

Zur Anatomie und Diagnostik von Erkrankungen des caninen Carpus unter
besonderer Berücksichtigung des Ultraschalls

von Sven Klußmann

Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde der
Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität
München

Zur Anatomie und Diagnostik von Erkrankungen des caninen Carpus unter
besonderer Berücksichtigung des Ultraschalls

von Sven Klußmann
aus Bremerhaven

München 2024

Aus dem Zentrum für Klinische Tiermedizin der
Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität
München

Lehrstuhl für Chirurgie der Kleintiere

Arbeit angefertigt unter der Leitung von:
Univ.- Prof. Dr. Andrea Meyer- Lindenberg

Mitbetreuung durch:
Priv.-Doz. Dr. Andreas Brüschwein

Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Reinhard K. Straubinger, Ph.D.

Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. Andrea Meyer-Lindenberg

Korreferent: Priv.-Doz. Dr. Bettina Wollanke

Tag der Promotion: 06.07.2024

INHALTSVERZEICHNIS

I	EINLEITUNG	1
II	LITERATURÜBERSICHT	3
1.	<u>Anatomie des caninen Carpus</u>	3
1.1	Knöcherner Strukturen	3
1.2	Gelenke	4
1.3	Gelenkaufbau, Gelenkkapsel und Gelenkhöhle	7
1.4	Bandapparat	8
1.5	Muskulatur mit anteiligen Hilfseinrichtungen, Nerven und Funktion	13
1.6	Blutgefäße	18
2.	<u>Erkrankungen des caninen Carpus</u>	22
2.1	Spezielle Erkrankungen des Carpus	23
2.1.1	Frakturen	23
2.1.2	Dislokationen	25
2.1.3	Hyperextension und Carpal laxity syndrome	26
2.1.4	Muskulotendinöse Erkrankungen	29
2.1.5	Neoplasien	30
2.1.6	Weitere Erkrankungen	30
2.1.7	Arthritis und Arthrose	34
3.	<u>Untersuchungsverfahren des caninen Carpus</u>	35
3.1	Lahmheitsuntersuchung	35
3.2	Arthrozentese	37
3.3	Synoviavolumen und Synoviauntersuchung	39
3.4	Bildgebende Verfahren	40
3.4.1	Röntgen	40
3.4.2	Ultraschall	41
3.4.3	CT und Volumen Rendering Technologie (VRT)	42
3.4.4	MRT	44
3.4.5	Nuklearmedizin	45
3.4.6	Arthrographie	45
III	PUBLIKATIONEN	47
IV	DISKUSSION	98
V	ZUSAMMENFASSUNG	107
VI	SUMMARY	109
VII	LITERATURVERZEICHNIS	111
VIII	DANKSAGUNG	121

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

A.	Arteria
Art.	Articulatio
Artt.	Articulationes
CT	Computertomographie
G	Gauge
HU	Hounsfield Unit
I	primum
II	secundum
III	tertium
IV	quartum
Lig.	Ligamentum
Ligg.	Ligamenta
M.	Musculus
Mc	Os metacarpus
Mcc	Ossa metacarpalia
Mm.	Musculi
MRT	Magnetresonanztomographie
OA	Osteoarthritis
OCD	Osteochondrosis dissecans
PET	Positronenemissionstomographie
Proc.	Processus
PRP	Platelet-rich plasma
US	Ultraschall
3D-VRT	3D-Volume Rendering Technique/Volumen Rendering Technologie

I EINLEITUNG

Die komplexe Anatomie und die vielfältigen Weichteilstrukturen des caninen Carpus (Yalden 1970, Evans und de Lahunta 2013) können auf unterschiedlicher Weise geschädigt werden und zu einer Lahmheit der Vordergliedmaße führen (Marcellin-Little und von Pfeil 2020). Verschiedene Frakturen (Phillips 1979, Vaughan 1985, Johnson 1987, Li et al. 2000, Vedrine 2013, Engel und Kneiss 2014), Dislokationen (Punzet 1974, Vaughan 1985, Guilliard 2001, Guilliard und Mayo 2001, Palierne et al. 2008), Erkrankungen des Bandapparat (Earley 1978, Guilliard 1997, Guilliard 1998, Guilliard und Mayo 2000, Grundmann und Montavon 2001, Kuan et al. 2007, Tani 2022, Franini et al. 2023), Neoplasien (Berg et al. 1990, Griffon et al. 1994, Corzo-Menéndez et al. 2001, Basa et al. 2020, Reising et al. 2021) oder der Osteoarthritis-Komplex (Vaughan 1985, Rondeau et al. 2005, Shaughnessy et al. 2016) sind beschrieben.

Der Carpus des Hundes ist ein häufiges Studienobjekt mit unterschiedlichen Studieninteresse (Adams et al. 2005). Experimentelle Kadaverstudien zur Kinematik des Art. antebrachioarpea und des palmaren Bandapparat im Rahmen der häufigen und schwerwiegenden Hyperextensionsverletzung wurden durchgeführt (Neville-Towle et al. 2018, Milgram et al. 2019). Unterschiedliche chirurgische Behandlungsmöglichkeiten wie die Teilarthrodese und Panarthrodese wurden untersucht (Parker et al. 1981, Willer et al. 1990, Haburjak et al. 2003, Théoret und Moens 2007, Jerram et al. 2009).

Der canine Carpus ist eine häufige Lokalisation für Osteoarthrose (OA) (Sbrana et al. 2014, Shaughnessy et al. 2016). Gelenke können bei einer OA geschwollen und dolent bei Palpation sein. Die Schwellung ist auf eine periartikuläre Knochenbildung, einer Kapselfibrose und einem Gelenkerguss zurückzuführen. Der Gelenkerguss mit Arthrozentese und Synoviauntersuchung ist essenziell zur weiteren Differenzierung einer OA (Marcellin-Little und von Pfeil 2020). Ein Gelenkerguss kann klinisch schwierig bis gar nicht für den Untersucher feststellbar sein (Rondeau et al. 2005), was die Entscheidung für eine Arthrozentese im klinischen Alltag beeinflussen kann. Das physiologische canine carpale Synovialvolumen ist in der Literatur weniger beschrieben und mit einem Tropfen bis zu 1 ml als gering angegeben (Whitelock 2001, Clements 2006, Fernandes 2020). Am Ellbogen des Hundes kann ein Gelenkerguss mittels US sicher diagnostiziert werden (Jacqmin et al. 2023). Ultrasonographische Studien zur caninen carpalen Gelenkhöhle, ihrer Recessus sowie zum Synovialvolumen fehlen in der zugänglichen Literatur.

Der diagnostische Untersuchungsgang einer carpalen Lahmheit oder Schwellung basiert klassisch auf einer klinisch-orthopädischen und röntgenologischen Untersuchung. Spezifische Stressaufnahmen und eine Arthrozentese mit anschließender Synoviauntersuchung führen mehrheitlich zu einer sicheren Diagnose (Farrow 1982, Marcellin-Little und von Pfeil 2020).

Das Röntgen ist hier das Bildgebungsverfahren der ersten Wahl (Kramer et al. 1997, Sadan 2010), die direkte Visualisierung von Weichteilstrukturen wie Bändern, Gelenkknorpel oder Gelenkflüssigkeit ist röntgenologisch allerdings nicht möglich (Allan und Davies 2018). Weiterführende bildgebende Verfahren wie die Computertomographie (CT) (Woods und Perry 2018), die Magnetresonanztomographie (MRT) (Nordberg und Johnson 1999, Sage und Gavin 2016, Porter et al. 2018, Castelli et al. 2019, Basa et al. 2020) oder die Positronenemissionentomographie (PET) in Kombination mit CT als PET-CT (Mann et al. 2016, Frank et al. 2019) werden je nach Indikation eingesetzt. Im Gegensatz zum breit verfügbaren, nicht-invasiven Ultraschall benötigen Schnittbildverfahren für eine optimale Bildqualität eine Narkose (Cook 2016).

In der Humanmedizin ist der diagnostische Ultraschall (US) das Bildgebungsverfahren der ersten Wahl zur Untersuchung des Carpus, insbesondere zur Beurteilung der komplexen Weichteilstrukturen, andere bildgebende Verfahren liefern selten zusätzliche Informationen (Sconfienza et al. 2018). Die technisch aktuellen Ultraschallsysteme ermöglichen am Carpus eine genaue Visualisierung kleiner, oberflächlicher Strukturen mit hoher Auflösung, eine kostengünstige und dynamische Untersuchung von Weichteilstrukturen ist möglich (Olubaniyi et al. 2013, Sofka 2014).

Der US des caninen Carpus kann zur Visualisierung der Normalanatomie, insbesondere der Weichteilstrukturen und Variationen der Strecksehnen, eingesetzt werden (González-Rellán et al. 2021, Entani et al. 2022, González-Rellán et al. 2023, Kamali et al. 2023). Im klinischen Kontext wird er zur Diagnose der Stenosierenden Tenovaginitis des M. abductor pollicis longus eingesetzt (Hittmair et al. 2012). Einzelfallberichte zur Diagnose der Tendinopathie des M. flexor carpi ulnaris sind beschrieben (Tani 2022, Franini et al. 2023). Ultrasonographisch frequenter untersuchte Regionen des Hundes, wie zum Beispiel die Schulter, haben in der zugänglichen Literatur ein vielfältiges Studieninteresse erfahren (Kramer et al. 1997, Long und Nyland 1999, Bruce et al. 2000, Kramer et al. 2001, Mistieri et al. 2012, Lassaigne et al. 2020).

Eine systematische Untersuchung der Gelenkanatomie und dem morphologischen Erscheinungsbild der Gelenkhöhle und Recessus des caninen Carpus mittels Ultraschall, Röntgen, CT und 3D-Volume Rendering Technique (3D-VRT) existiert in der zugänglichen Literatur bisher nicht. Daher war es ein Ziel der vorliegenden Arbeit, diese Lücke zu schließen und die Anwendbarkeit des US zur Detektion eines artifiziellen Gelenkerguss zu belegen.

Ein weiteres Ziel war es die diagnostischen Gütemaße Sensitivität, Spezifität und Genauigkeit des muskuloskelettalen US und des Röntgen zur Diagnose von Erkrankungen des caninen Carpus anhand einer größeren Fallserie zu bestimmen und ultrasonographische Befunde einzelner Erkrankungen herauszuarbeiten.

II LITERATURÜBERSICHT

1. Anatomie des caninen Carpus

Der canine Carpus mit seinen sieben Carpalknochen wird durch eine Vielzahl an Weichteilstrukturen zusammengehalten. Er ist ein komplexes Gelenk und funktioniert als Scharniergelenk (Art. ginglymus) (Yalden 1970). Mit den angrenzenden Knochen von Unterarm und Mittelhand bilden sich drei Gelenketagen aus (Frewein et al. 2004).

1.1 Knöcherne Strukturen

Die Trochlea radii stellt die distale Gelenkrolle vom Radius dar und artikuliert mit der proximalen Reihe der Karpalknochen (Horowitz und Berg 2010, Salomon 2020).

Auf der Facies dorsalis proximal der Trochlea radii befinden sich von medial nach lateral drei Sehnenrinnen für die Ansatzsehnen der Mm. abductor pollicis longus, extensor carpi radialis und extensor digitorum communis. Auf der Facies caudalis verläuft die Christa transversa als Ursprung für Bänder (Evans und de Lahunta 2013, Salomon 2020).

Der distale Radius besitzt medial einen Fortsatz, dieser Proc. styloideus medialis dient als Ursprung für das mediale Kollateralband. Lateral besitzt der distale Radius die Incisura ulnaris zur Artikulation mit der Ulna. Das distale Ende der Ulna mit ihrem Caput ulnae besitzt für diese Artikulation die Gelenkfläche Circumferentia articularis. Lateral bildet die distale Ulna den Proc. styloideus lateralis als Ursprung für das laterale Kollateralband aus (Frewein et al. 2004, Salomon 2020).

Die Vorderfußwurzelknochen (Ossa carpi) bestehen embryologisch aus drei Reihen. Das Os carpi centrale ist als intercarpale Reihe angedeutet und verschmilzt wenige Wochen nach der Geburt mit dem Os carpi radiale (Salomon 2020). Postnatal besteht der Carpus aus einer proximalen antebrachialen und einer distalen metacarpalen Reihe (König et al. 2007). Die antebrachiale Reihe besteht aus dem Os carpi intermedioradiale, dem Os carpi ulnare und dem Os carpi accessorium. Das Os carpi intermedioradiale ist entwicklungsgeschichtlich ein Verschmelzungsprodukt aus dem Os carpi radiale, dem Os carpi intermedium und dem Os carpi centrale und ist der größte Carpalknochen. Die drei Ossifikationszentren des Os carpi intermedioradiale fusionieren im Alter von drei bis vier Monaten (Gnudi et al. 2003). Das Os carpi ulnare ist lateral davon gelegen. Das Os carpi accessorium ist lateral gelegen und ragt palmar heraus. Es besteht aus zwei Ossifikationszentren, deren Fusion 14 Wochen nach der Geburt abgeschlossen ist (Frewein et al. 2004, König et al. 2007, Horowitz und Berg 2010).

Die metacarpale Reihe besteht aus dem Os carpale primum (I), secundum (II), tertium (III), quartum (IV). Die Bezeichnungen der Ossa carpi des Menschen werden synonym bei den Haussäugetieren verwendet (Salomon 2020):

Os carpi intermedioradiale als Os scapholunatum, Kahn-Mondbein.

Os carpi ulnare als Os triquetrum, Dreiecksbein.

Os carpi accessorium als Os pisiforme, Erbsenbein.

Os carpale primum als Os trapezium, großes Vieleckbein.

Os carpale secundum als Os trapezoideum, kleines Vieleckbein.

Os carpale tertium als Os capitatum, Kopfbein.

Os carpale quartum als Os hamatum, Hakenbein.

Sesambeine (Ossa sesamoidea) können aus hyalinem Knorpel, Faserknorpel, Knochen oder aus knochenbildenden Übergangsgeweben bestehen (Vickaryous und Olson 2006). Auf der Palmarseite zwischen beiden Carpalreihen sind gelegentlich zwei bis drei Sesambeine ausgebildet (Frewein et al. 2004, Horowitz und Berg 2010). Die Endsehne des M. abductor pollicis longus enthält das Os sesamoideum musculi abductoris longi, welches lediglich bei kleineren Hunderassen, insbesondere der Französischen Bulldogge, fehlen kann. Röntgenologisch ist es durchschnittlich mit dem 108. Lebensstag darstellbar (Van den Broeck et al. 2022) und mediodistal vom Os carpi intermedioradiale gelegen (Frewein et al. 2004, Evans und de Lahunta 2013).

Die Ossa metacarpalia I-V sind vom Aufbau kurze Röhrenknochen. Die Basis stellt den proximalen Bereich dar, welche proximal mit den distalen Carpalknochen artikuliert und seitlich mit den benachbarten Metacarpalia. Sie sind nebeneinander leicht bogenförmig angeordnet, das Mittelstück der Metacarpalknochen ist das Corpus und das distale Endstück ist das Caput (Frewein et al. 2004). Metacarpalknochen (Mc) III und Mc IV sind am längsten und viereckig. Mc II und Mc IV sind kürzer und dreieckig. Mc I ist der reduzierteste Metacarpalknochen (Salomon 2020).

1.2 Gelenke des Carpus

Im Folgenden werden alle Gelenke genannt, die am caninen Carpus beteiligt sind.

Art. radioulnaris distalis:

Dieses Gelenk ist als Verbindung zwischen dem distalen Radius und der distalen Ulna beschrieben. Es besteht aus der Circumferentia articularis ulnae und der Incisura ulnaris radii. Die von der Gelenkkapsel (Capsula articularis) umschlossene Gelenkhöhle steht mit der weiträumigen Ausstülpung vom Art. antebrachioarpea in Verbindung (Frewein et al. 2004, König et al. 2007, Salomon 2020).

Art. carpi:

Im Carpus verbinden sich die Knochen des Antebrachium, der Vorderfußwurzel und des Mittelfußes. Die einzelnen Gelenketagen besitzen jeweils eine eigene Gelenkkapsel (Frewein et al. 2004). Insgesamt besteht das Art. carpi aus 5 Gelenken (Horowitz und Berg 2010):

- Art. antebrachioarpea
- Art. mediocarpea
- Art. carpometacarpea
- Art. ossis carpi accessorium
- Artt. intercarpeae

Art. antebrachioarpea:

Die proximale Gelenketage ist unterteilt in die Articulationes (Artt.) radiocarpea et ulnocarpea. Sie besteht proximal aus Radius und Ulna, distal aus dem Os carpi intermedioradiale und dem Os carpi ulnare. Die Capsula articularis des Art. antebrachioarpea ist weit und dorsal ausgestülpt. Die Facies articularis carpea des Radius ist konkav und ermöglicht auch kreisende Bewegungen. Das Art. antebrachioarpea ist als Walzengelenk (Frewein et al. 2004) bzw. als Ellipsoidgelenk beschrieben (König et al. 2007).

Art. mediocarpea:

Die mittlere Gelenketage verbindet die Knochen der antebrachialen Reihe, Os carpi intermedioradiale et ulnare, mit der metacarpalen Reihe, Ossa carpalia I-IV. Die Gelenkhöhle ist eng und steht mit der Gelenkhöhle der Art. carpometacarpea in Verbindung (König et al. 2007). Ein enger Spalt zwischen Os carpale III et IV ist als Verbindung beschrieben. Das Art. mediocarpea ist ein Wechselgelenk funktionierendes Walzengelenk (Frewein et al. 2004).

Art. ossis carpi accessorium:

Dieses straffe Gelenk verbindet über seine Gelenkfacetten das Os carpi accessorium mit Ulna und dem Os carpi ulnare (König et al. 2007, Horowitz und Berg 2010). Das Art. ossis carpi accessorium wird systematisch einzeln eingeordnet (Horowitz und Berg 2010) oder dem Art. mediocarpea zugeordnet (König et al. 2007).

Art. carpometacarpea:

Die distale Gelenketage verbindet die Ossa carpalia I-IV mit Ossa metacarpalia I-V. Es ist ein straffes Gelenk mit enger Capsula articularis (Frewein et al. 2004). Die Gelenkhöhle steht mit der vom Art. mediocarpea in Verbindung (König et al. 2007).

Artt. intercarpeae:

Die Artt. intercarpeae sind zwischen den einzelnen Knochen derselben Reihe ausgebildete straffe Gelenke mit wenig Bewegungsfreiheit (Frewein et al. 2004, König et al. 2007). Systematisch werden sie auch dem Art. mediocarpea zugeordnet (König et al. 2007).

Artt. intermetacarpeae:

Die Ossa metacarpalia sind beim Fleischfresser im Vergleich zu anderen Tierarten beweglich miteinander verbunden. Die jeweils proximalen Artt. intermetacarpeae werden von der Gelenkkapsel der Artt. carpometacarpeae umschlossen (Frewein et al. 2004).

Die Röntgenanatomie des caninen Carpus ist in den Abbildungen 1 und 2 dargestellt.



Abbildung 1: Röntgenanatomie eines Carpus in dorsopalmarer Ansicht. 1. Radius; 2. Ulna; 3. Linea physialis radii; 4. Linea physialis ulnae; 5. Processus styloideus ulnae; 6. Trochlea radii; 7. Os carpi intermedioradiale; 8. Os carpi ulnare; 9. Os carpale I; 10. Os carpale II; 11. Os carpale III; 12. Os carpale IV; 13. Os sesamoideum muscili abductoris longi; 14. Mc I-V. Aus Evans und de Lahunta (2013).



Abbildung 2: Röntgenanatomie eines Carpus in mediolateraler und leicht gebeugter Ansicht. 1. Radius 2. Ulna; 3. Os carpi accessorium; 4. Os carpi ulnare; 5. Art. radiocarpea; 6. Art. mediocarpea; 7. Art. carpometacarpea. Aus Evans und de Lahunta (2013).

1.3 Gelenkaufbau, Gelenkkapsel und Gelenkhöhle

Der Carpus ist eine Art. synoviales und wird wegen der vorhandenen Gelenkspalten im Gegensatz zum Art. fibrosa und Art. cartilaginea auch echtes Gelenk genannt. Ein synoviales Gelenk besteht aus folgenden Strukturen: den jeweiligen Gelenkenden, dem Gelenkknorpel (Cartilago articularis), der Gelenkkapsel (Capsula articularis), der Gelenkhöhle (Cavum articulare), der Gelenkflüssigkeit (Synovia), den Gelenkbändern (Ligamenta) sowie mögliche intraartikuläre Strukturen wie ein Meniscus articularis (Salomon 2020).

Die Gelenkkapsel geht am Übergang vom Knochen zum Knorpel aus der Knochenhaut, dem Periost hervor. Sie verbindet die jeweiligen Gelenkenden miteinander und umgibt die mit Synovia gefüllte Gelenkhöhle allseitig. Die Gelenkkapsel besteht aus dem äußeren Stratum fibrosum und dem innen liegenden

Stratum synoviale. Das Stratum synoviale ist in Synovialis und Subsynovialis unterteilt (Frewein et al. 2004, Horowitz und Berg 2010).

Die Gelenkhöhle des Carpus besteht aus zwei getrennten, nicht miteinander kommunizierenden Abteilungen und ist in der Abbildung 3 schematisch dargestellt. Die proximale Abteilung umfasst die Artt. antebrachioarpea, ossis carpi accessorium et radioulnaris distalis. Die distale Abteilung umfasst die Artt. mediocarpea et carpometacarpea (Frewein et al. 2004, Horowitz und Berg 2010).

Eine differenzierte Zuordnung von Artt. intercarpeae und Artt. intermetacarpeae ist aus der zugänglichen Literatur nicht ersichtlich.

Die Capsula articularis vom Art. antebrachioarpea besitzt dorsal eine weite Ausbuchtung. Das Art. mediocarpea besitzt dorsal eine nicht so weite Ausbuchtung (Frewein et al. 2004).

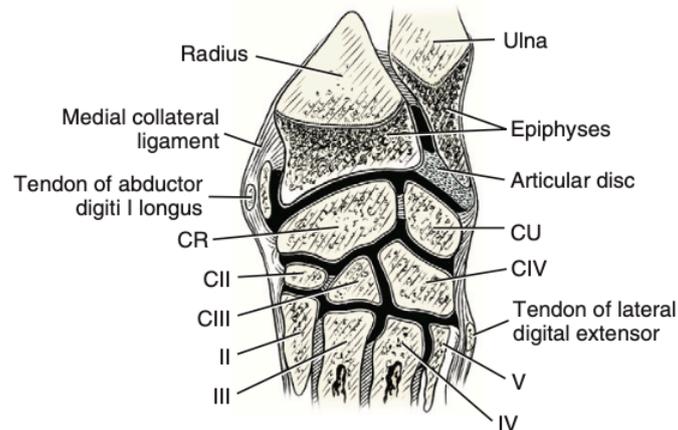


Abbildung 3: Schematische Darstellung der carpalen Gelenkhöhlen. CII-CIV: Os carpale II-IV; CR: Os carpi intermedioradiale; CU: Os carpi ulnare, II-V: Mc II-V. Aus Evans und de Lahunta (2013).

1.4 Bandapparat

Viele einzelne Bänder und Faszienverstärkungen bilden am Carpus zur Stabilisierung eine funktionelle Einheit im Sinne eines Bandapparates (König et al. 2007). Folgende Strukturen des Bandappart sind beschrieben:

Retinaculum extensorum:

Das dorsal liegende Retinaculum wird durch die bindegewebige Fibrosaverstärkung der Gelenkkapsel und die Fascia dorsalis manus gebildet. Das Retinaculum extensorum strahlt in die Sehnencheidenfibrosa der Extensoren ein (Frewein et al. 2004). Sie dient als Führungsschiene der Strecksehnen (Horowitz und Berg 2010).

Retinaculum flexorum:

Palmar befindet sich das Retinaculum flexorum, eine Modifikation und Verstärkung der Karpalfaszie. Es zieht vom palmaren Ende des Os carpi accessorium nach medial und setzt am

Processus styloideus radii sowie palmar am Os carpi intermedioradiale und Os carpale primum an. Das Retinaculum besteht aus zwei Teilen, einen oberflächlich liegenden Teil und einen tief liegenden Teil zwischen der oberflächlichen Beugesehne und der tiefen Beugesehne. Das Retinaculum flexorum ist an der Bildung des Karpaltunnels beteiligt (Evans und de Lahunta 2013, González-Rellán et al. 2022).

Canalis carpi:

Der Carpalkanal stellt einen palmaren Raum zwischen tiefen Anteil des Retinaculum flexorum und der palmaren Gelenkkapsel dar. Er beinhaltet das neurovaskuläre Packet aus A. et V. mediana und N. medianus sowie M. flexor digitorum profundum und M. interflexorius. Ein dünnes Septum vom tiefen Anteil des Retinaculum flexorum isoliert diese Strukturen vom M. carpi ulnaris, N. ulnaris, Os carpi accessorium und Ligamente (González-Rellán et al. 2022). Eine schematische Darstellung der palmaren Strukturen ist in Abbildung 4 dargestellt.

Discus articularis und Lig. radioulnare:

Die Art. radioulnare distalis wird auch als proximale Verlängerung der Gelenkkapsel der Art. antebrachioarpea beschrieben. Das Stratum fibrosum vom Art. radioulnare distalis und die Membrana interossea antebrachii gehen ineinander über. Cranial entsteht daraus das kleine und kurze Lig. radioulnare (Evans und de Lahunta 2013), eine dorsale und transversale Verbindung zwischen distalem Radius und distaler Ulna (Frewein et al. 2004). Distal, in der Region zwischen dem Lig. radioulnare und dem Art. antebrachioarpea befindet sich eine keilförmige Faserknorpelstruktur (González-Rellán et al. 2021). Beim Menschen wird diese ähnliche Struktur als „triangular fibrocartilage complex“ (TFCC) bezeichnet. Diese dreieckige Struktur befindet sich zwischen dem distalen Radioulnargelenk, der Ulna und der proximalen Handwurzel. Der TFCC besteht aus dem Meniskus ulnocarpalis, dem Discus triangularis und aus Bändern. Er stabilisiert das distale Radioulnargelenk, verteilt die Last der Handwurzel auf die Ulna und ermöglicht komplexe Bewegungen (Nöbauer-Huhmann et al. 2012). Beim Hund besteht diese Struktur histologisch aus Faserknorpel und wird homolog als Discus articularis des Art. radioulnaris distalis bezeichnet (Mikić et al. 1992). Eine weitere Einordnung oder Abgrenzungen des caninen carpalen Discus articularis zu anderen Gelenken und Disci ist aus der zugänglichen Literatur nicht ersichtlich.

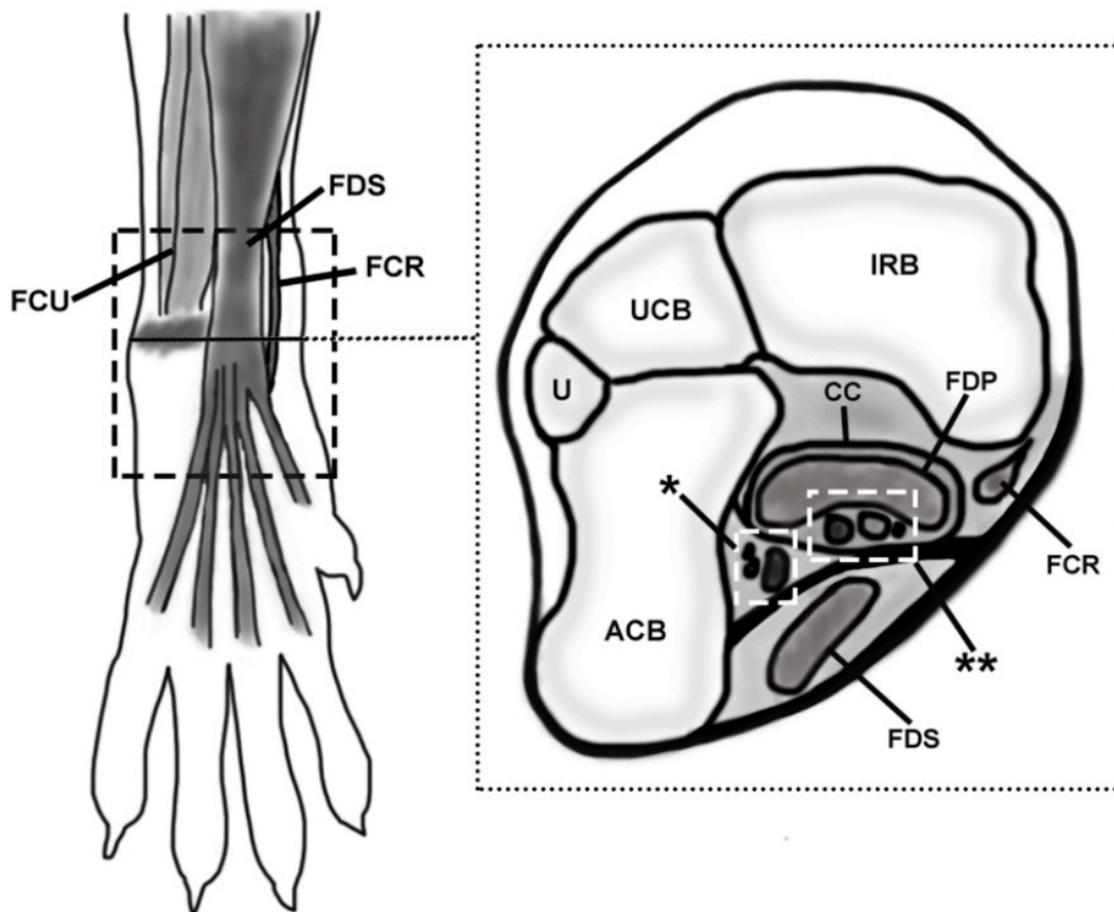


Abbildung 4: Schematische Darstellung der palmaren Strukturen des caninen Carpus. Die schwarze Linie zeigt das korrespondierende transversale Schnittbild. FCR: M. flexor carpi radialis; FDS: M. flexor digitorum superficialis; FCR: M. flexor carpi radialis; U: Ulna; UCB: Os carpi ulnare; IRB: Os carpi intermedioradiale; CC: Canalis carpi; FDP: M. flexor digitorum profundus; Sternchen: Ulnare neurovaskuläre Bündel aus A. und V. und N. medianus sowie M. interflexorius. Aus González-Rellán, Barreiro et al. (2022).

Fibrocartilago carpometacarpeum palmaris:

Die Fibrocartilago carpometacarpeum palmaris ist eine Modifikation der palmaren Gelenkkapsel. Diese massive Faserknorpelplatte beinhaltet palmare kleine Ligamente und setzt an alle Carpalknochen sowie der Basis von Mc III-V an. Ihre Funktion besteht in der Glättung der palmaren Knochenoberfläche. Wodurch ein Gleitlager für die palmaren Strukturen des Carpus entsteht. Ebenso dient sie als Ursprung für Muskeln der Zehen oder der Mm. interossei (Evans und de Lahunta 2013). Die Crista transversa radii ist als Ursprung angegeben (Frewein et al. 2004).

Die Bänder des Carpus lassen sich nach ihren Ursprüngen und Ansätzen in 5 Gruppen einteilen (Frewein et al. 2004) und werden in der Abbildung 5 schematisch dargestellt:

1. Seitenbänder – Ligg. collateralia
2. Unterarm-Fußwurzelbänder – Ligg. antebrachioarpea
3. Fußwurzelbänder – Ligg. intercarpea
4. Bänder des Os carpi accessorium – Ligg. ossis carpi accessorii
5. Fußwurzel-Mittelfußbänder – Ligg. carpometacarpea

Zu 1. Seitenbänder – Ligg. collateralia

Lange Seitenbänder, die alle drei Gelenketagen überspannen, fehlen (Evans und de Lahunta 2013). Das Lig. collaterale mediale mit seinen zwei Anteilen ist wegen der stärkeren mechanischen Belastung kräftiger ausgebildet als das Lig. collaterale laterale. Der oberflächliche, gerade Anteil entspringt am Tuberculum oberhalb vom Processus styloideus medialis und setzt medial am Os carpi intermedioradiale an. Der tiefe, schräge Anteil, mit gleichem Ursprung, setzt an der mediopalmaren Fläche des Os carpi intermedioradiale an. Die Endsehne des M. abductor pollicis longus verläuft zwischen beiden Anteilen (Frewein et al. 2004, Evans und de Lahunta 2013).

Das Lig. collaterale laterale entspringt am Processus styloideus lateralis und setzt am Os carpi ulnare an (Horowitz und Berg 2010).

Zu 2. Unterarm-Fußwurzelbänder – Ligg. antebrachioarpea

Als dorsale Verdickung der Gelenkkapsel verbindet das Lig. radiocarpeum dorsale den distalen Radius mit der Ulna und dem Os carpi ulnare (Mikić et al. 1992, Frewein et al. 2004).

Die palmaren Bänder vom Carpus wirken in ihrer Summe einer Hyperextension und Dorsalflexion entgegen. Es lassen sich in der zugänglichen Literatur palmar das Lig. ulnocarpeum palmare und das Lig. radiocarpeum palmare unterscheiden.

Das Lig. ulnocarpeum entspringt medial der Ulna, neben dem Ansatz vom Lig. radioulnare distale und zieht an die Palmarfläche der Ossa carpalia II-IV. Das Lig. radiocarpeum dorsale entspringt am palmaromedialen Rand der Gelenkfläche des Radius und verläuft bis zu lateralen Seite des Os carpi intermedioradiale (Mikić et al. 1992, Evans und de Lahunta 2013).

In der zugänglichen Literatur besteht weitgehender Konsens über die palmare gelenkassoziierte Faserplatte, die die Gelenkspalten palmar überbrückt. Sie wird als Fibrocartilago carpometacarpeum palmare oder als Lig. carpi palmare profundum bezeichnet. Ein klarer Konsens, welche palmaren Bänder zugehörig sind, besteht nicht. Einigkeit besteht in der Differenzierbarkeit von Lig. radiocarpeum palmare und

Lig. ulnocarpeum palmare. Das Lig. carpi radiatum wird benannt und nicht weiter beschrieben (Frewein et al. 2004, Horowitz und Berg 2010, Evans und de Lahunta 2013).

Zu 3. Fußwurzelbänder oder Intercarpalbänder – Ligg. intercarpea

Die Intercarpalbänder werden nach ihrem Verlauf in dorsale, palmare und innere Fußwurzelbänder unterteilt und dementsprechend als Ligg. intercarpea dorsalia, palmaria et interossea benannt. Sie verbinden die einzelnen Carpalknochen miteinander (Salomon 2020). Sie sind oft mit der Gelenkkapsel oder anderen Bändern verbunden. Die Ligg. intercarpea überbrücken, längs oder schräg

verlaufend, meistens nur eine Gelenkspalte und sind teils schwierig isoliert darstellbar (Frewein et al. 2004).

Zu 4. Bänder des Os carpi accessorium – Ligg. ossis carpi accessorii

Das Os carpi accessorium wird durch einen komplexen Bandapparat mit den restlichen Knochen des Carpus verbunden. Das Lig. accessorioulnare entspringt gemeinsam mit dem mediopalmaren Anteil des Lig. accessoriocarpoulnare an der Basis des Os carpi accessorium. Beide strahlen in das Lig. ulnocarpeum ein. Der dorsolaterale Anteil des Lig. accessoriocarpoulnare verbindet das Os carpi accessorium und Os carpi ulnare miteinander. Das zweiseitige und nach distal ziehende Lig. accessoriometacarpeum verbindet das Os carpi accessorium mit dem Os metacarpale IV et V. (Frewein et al. 2004, Evans und de Lahunta 2013).

Zu 5. Fußwurzel-Mittelfußbänder – Ligg. carpometacarpea

Die Ligg. carpometacarpalia verbinden dorsal und palmar die jeweiligen Carpalknochen mit den Metacarpalknochen. Sie sind meist mit der Gelenkkapsel verbunden, überbrücken nur einen Gelenkspalt und werden nach ihrer Lage als Ligg. carpometacarpea dorsalia bzw. palmaria bezeichnet (Frewein et al. 2004).

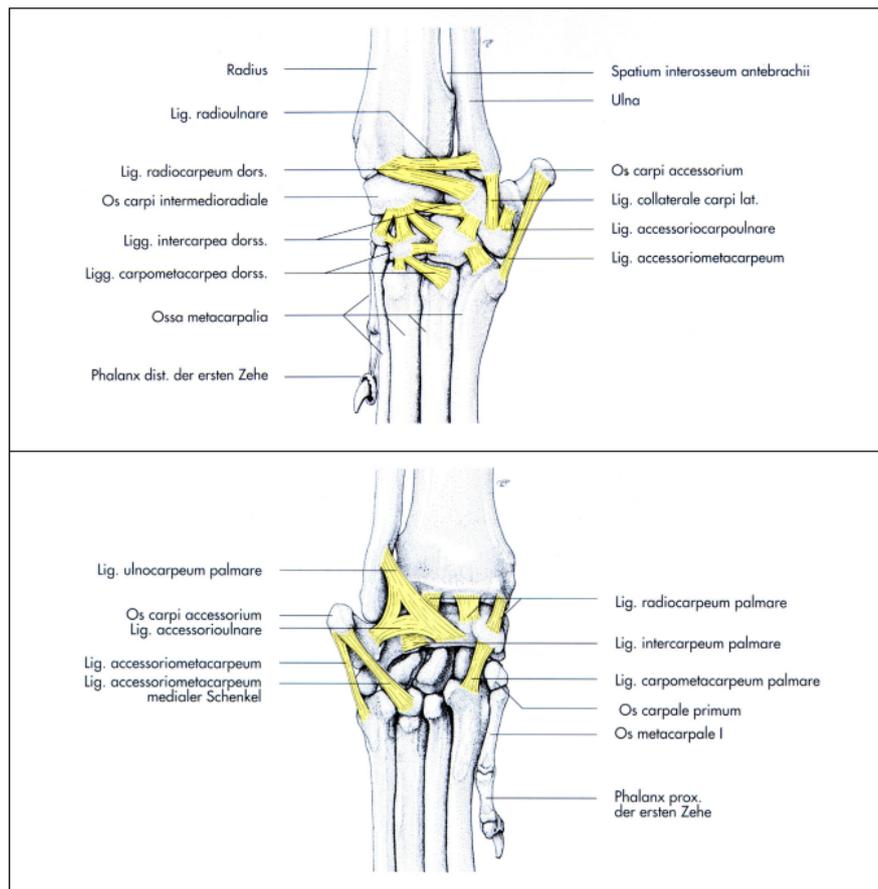


Abbildung 5: Schematische Darstellung der Bänder des linken Carpus in dorsolateraler (oben) und mediopalmarer (unten) Ansicht. Aus König und Liebich (2001).

1.5 Muskulatur mit anteiligen Hilfseinrichtungen, Nerven und Funktion

Die vorwiegend schlanken, spindelförmigen Muskeln des Carpus entspringen oberhalb des Ellbogengelenkes am Humerus und liegen direkt unter der Fascia antebrachii dem Unterarm cranialateral und caudal auf. Man unterscheidet Strecker und Beuger (Frewein et al. 2004).

Sämtliche Angaben dieses Kapitels sind aus der folgenden Literatur entnommen:

(Frewein et al. 2004, König et al. 2007, Horowitz und Berg 2010, Hermanson 2013, Salomon 2020, González-Rellán et al. 2021, González-Rellán et al. 2022). Eine Übersicht wichtiger Strukturen auf Höhe des Os carpi accessorium wird in der Abbildung 6 dargestellt.

M. extensor carpi radialis

Sein Ursprung liegt am Epicondylus lateralis humeri. Im distalen Drittel des Radius spaltet sich dieser undeutlich zweibäuchige Muskel sehnig auf. Beide Endsehnen verlaufen ummantelt von einer Sehnenscheide auf der Streckseite vom Carpus durch den Sulcus musculi extensor carpi radialis. Danach ziehen sie jeweils zu ihrem Ansatz. Der M. extensor carpi radialis longus inseriert an einer kleinen Tuberositas des Mc II. Der M. extensor carpi radialis inseriert am Mc III. Etwa die Hälfte der Hunde haben stets eine gemeinsame Sehnenscheide (Vagina tendinis m. extensoris carpi radialis), welche vom sehnigen Anteil bis zu den Mc II et III reicht. Zwei fakultative Schleimbeutel sind beschrieben. Eine Bursa liegt unterhalb beider Endsehnen auf Höhe der proximalen Carpalreihe. Eine weitere liegt seltener unterhalb vom M. extensor carpi longus auf Höhe der distalen Carpalreihe. Die Innervation erfolgt über den tiefen Ast des N. radialis. Die Funktion liegt in der Extension des Carpus und in der Flexion des Ellbogens.

M. flexor carpi ulnaris

Sein Ursprung liegt mit dem schwächeren Caput ulnare caudomedial am Olekranon und mit seinem stärkeren Caput humerale am Epicondylus medialis humeri. Das Caput ulnare geht in der Mitte vom Unterarm in die Endsehne über, verläuft zunächst lateral und caudal und schließlich kurz vor ihrem Ansatz am freien Ende des Os carpi accessorium unterhalb der Endsehne vom Caput humerale. Das Caput humerale setzt mit seiner kräftigen Endsehne ebenfalls am freien Ende des Os carpi accessorium an. Es sind zwei Schleimbeutel beschrieben. Eine Bursa liegt am Ursprung und kommuniziert mit der Bursa des M. flexor digitorum superficialis. Eine Bursa liegt zwischen beiden Endsehnen kurz vor ihrem Ansatz an das Os carpi accessorium und kann bis zu 1,5 cm proximale Ausdehnung erreichen. Die Innervation erfolgt über den N. ulnaris. Die Funktion liegt in Flexion und Abduktion der Pfote.

M. flexor carpi radialis

Er entspringt am Epicondylus medialis humeri. Geht mittig des Unterarms in eine Sehnenscheide (Vagina tendinis m. flexoris carpi radialis) ummantelte, flache Sehne über. Diese zieht durch den Canalis carpi und teilt sich auf Höhe des Metacarpus in zwei Endsehnen auf, die proximal an Mcc II et III inserieren. Die Innervation erfolgt über den N. medianus. Die Funktion liegt in der Flexion des Carpus.

M. extensor carpi ulnaris seu M. ulnaris lateralis

Sein Ursprung liegt am Epicondylus lateralis humeri. Seine Endsehne verläuft lateral über den Carpus und findet seinen Ansatz proximolateral am Mc V. Vor seinem Ansatz verbinden sich zwei kleine Abspaltungen der Sehne nach dorsolateral mit dem Retinaculum extensorum und nach lateral über das Os carpi accessorium hinweg mit dem Retinaculum flexorum, diese Abspaltung kann von einem Schleimbeutel unterlagert sein. Ein weiterer Schleimbeutel kann sich zwischen dem distalen Ende der Ulna und der Endsehne befinden. Seine Innervation erfolgt durch den N.

radialis. Die Funktion trotz seines Verlaufes ist die Flexion vom Carpus, sowie laterale Rotation und Supination vom Unterarm. Der Ansatz des M. extensor carpi ulnaris lässt hier mehrere Interpretationen zu.

Im Folgendem werden die Sehnenverläufe der weiteren Muskeln im Bereich des Carpus berücksichtigt:

M. extensor digitalis communis

Er entspringt am Epicondylus lateralis humeri. Das vierteilige Sehnenbündel tritt mittig des Unterarm aus den Muskelbäuchen hervor. Verläuft in einer gemeinsamen Sehnenscheide über den M. abductor pollicis longus im Sulcus musculi extensor digitorum communis über die Streckseite des Carpus hinweg. Auf Höhe des Metacarpus trennen sich die Endsehnen auf und inserieren an der 2. – 5. Zehe.

Die Sehnenscheide des M. extensor digitorum communis (Vagina tendinis m. extensoris digitorum communis) schließt die Sehne des M. extensor pollicis longus et indicis ein. Die Innervation erfolgt über den N. radialis. Die Funktion ist die Extension des Carpus.

M. extensor digitalis lateralis

Sein Ursprung ist am lateralen Seitenband des Ellbogengelenkes sowie am Epicondylus lateralis des Radius. Im distalen Verlauf entstehen aus den beiden Muskelbäuchen zwei Sehnen mit einer gemeinsamen Sehnenscheide (Vagina tendinis m. extensoris digitorum lateralis). Sie liegen gemeinsam in einer Rinne zwischen den distalen Enden von Radius und Ulna und ziehen über die dorsolaterale Kante des Carpus. Auf Höhe des Metacarpus trennen sich die Sehnen auf. Die Endsehne des größeren, caudalen Muskelbauches verläuft von Mc V zur 5. Zehe und vereinigt sich mit dem M. extensor digitalis communis. Die Endsehne des kleineren Muskelbauch teilt sich nochmal auf und verläuft von Mc III et IV zur 3. und 4. Zehe. Die Innervation erfolgt über den N. radialis. Die Funktion ist die Extension der Zehengelenke der 3. – 5. Zehe.

M. extensor pollicis longus et indicis seu M. extensor digitalis I et II

Diese Kombination aus zwei Muskeln hat ihren Ursprung lateral am Antebrachium. Die dünne Sehne unterkreuzt den M. extensor digitalis communis und verläuft in der gemeinsamen Sehnenscheide (Vagina tendinis m. extensoris digitorum communis) über den Carpus. Auf Höhe des Mc III teilt sich die Sehne in zwei Schenkel auf. Der mediale Schenkel inseriert am distalen Ende des Mc I und der laterale Schenkel strahlt in die Strecksehne der 2. Zehe. Die Innervation erfolgt über den N. radialis. Die Funktion ist die Extension der 1. – 2. Zehe und die Adduktion der 1. Zehe.

M. abductor pollicis longus

Sein Ursprung ist der proximolaterale Radius, die Ulna sowie die Membrana interossea. Er zieht erst unter die Sehnen der Zehenstrecker hindurch und dann im distalen Drittel des Unterarms über die Sehne des M. extensor carpi radialis hinweg. Hier kann unterhalb ein Schleimbeutel liegen. Der M. abductor pollicis longus besitzt eine individuell variierende Sehnenscheide. Er verläuft im medialen Sulcus der drei beschriebenen Sehnenrinnen, dem Sulcus musculi abductor pollicis longus. Er tritt durch die beiden Anteile des Lig. collaterale mediale des Art. antebrachioarpea hindurch und inseriert medial am proximalen Mc I. Ein Os sesamoideum musculi abductoris longi, welches lediglich bei kleinen Hunderassen, insbesondere der Französischen Bulldogge, fehlen kann, ist in die Endsehne kurz vor der Insertion eingebettet (Van den Broeck et al. 2022). Die Innervation erfolgt über den N. radialis. Seine Funktion ist die Abduktion der 1. Zehe und die Adduktion des Carpus. Ebenso sind Extension von 1. Zehe und Carpus beschrieben.

M. flexor digitalis superficialis

Der Epicondylus medialis humeri dient als Ursprung. Die Sehne der oberflächlichen Beugesehne zieht ohne Sehnenscheide medial vom Os carpi accessorium palmar über die Beugeseite des Carpus im Retinaculum flexorum hinweg. Dabei kann ein Schleimbeutel eingelagert sein. Im oberen Drittel des Metacarpus teilt sich die oberflächliche Beugesehne in vier einzelne Äste auf. Diese inserieren dann palmar an der Phalanx media und bilden röhrenartige Manschetten (Manica flexoria) für den Durchtritt der Endsehnen der tiefen Beugesehne. Die Funktion liegt in der Flexion des Vorderfußes sowie der ersten beiden Zehengelenke der Stützehen. Die Innervation erfolgt über den N. medianus und N. ulnaris.

M. flexor digitalis profundus

Der M. flexor digitalis profundus besteht aus drei Anteilen, einem Caput humerale, radiale und ulnare. Das Caput humerale entspringt am Epicondylus medialis humeri, das Caput radiale entspringt als Schwächster proximal am caudalen und medialen Rand des Radius. Das Caput ulnae entspringt caudal an der Ulna, proximal am Olecranon bis zum unteren Schaftviertel. Proximal des Carpus verschmelzen die drei Muskelbäuche zur tiefen Beugesehne. Diese zieht dann außerhalb und dorsal des Retinaculum flexorum und palmar vom Fibrocartilago carpometacarpea durch den Canalis carpi. In ihrem Verlauf durch den Canalis carpi ist die tiefe Beugesehne von einer Sehnenscheide ummantelt und von einem Schleimbeutel unterlagert. Distal vom Carpus gibt sie einen Seitenast an die erste Zehe ab und teilt sich in vier weitere Schenkel auf, die jeweils an der Tuberositas der 2. – 5. Zehe inserieren. Die Funktion liegt in der Flexion des Vorderfußes und aller Zehengelenke. Die Innervation erfolgt über den N. medianus und N. ulnaris.

M. interflexorius distalis

Der untere Zwischenbeugemuskel entspringt am distalen Unterarm caudal aus dem lateralen Bauch des Caput humerale des M. flexor digitalis profundus. Er liegt zwischen der oberflächlichen

und tiefen Beugesehne. Beim Durchtritt durch den Canalis carpi liegt er außerhalb vom Retinaculum flexorum zwischen der oberflächlichen und tiefen Beugesehne, dicht am Os carpi accessorium. Auf Höhe des Metacarpus teilt sich der Zwischenbeugemuskel in zwei bis drei Endsehnen auf und verschmilzt proximal der Zehengrundgelenke mit den Ästen des oberflächlichen Zehenbeugers für die zweite, dritte und vierte Zehe. Die Innervation erfolgt durch den N. medianus. Die Funktion liegt in der Unterstützung der langen Zehenbeuger.

Kurze Zehenmuskeln

Die kurzen Zehenmuskeln haben eine topographische Nähe zum Carpus und werden daher nur kurz erwähnt. Sie liegen im Bereich des Metacarpus und der Zehen und werden in gemeinsame und besondere kurze Zehenmuskeln unterteilt.

Die gemeinsamen kurzen Zehenmuskeln können sowohl einzelne als auch mehrere Zehen gleichzeitig bewegen. Zu dieser Gruppe werden die Mm. interossei, die Mm. lumbricales und der M. flexor digitorum brevis gezählt. Zu der Gruppe der besonderen kurzen Zehenmuskeln zählen für die 1. Zehe der M. flexor pollicis brevis, der M. abductor pollicis brevis und der M. adductor pollicis, für die 2. Zehe der M. adductor digiti II und für die 5. Zehe die Mm. flexor digiti V, adductor digiti V sowie abductor digiti V. Ihre jeweilige Funktion ergibt sich aus dem Namen. Die Innervation erfolgt durch den N. medianus und N. ulnaris.

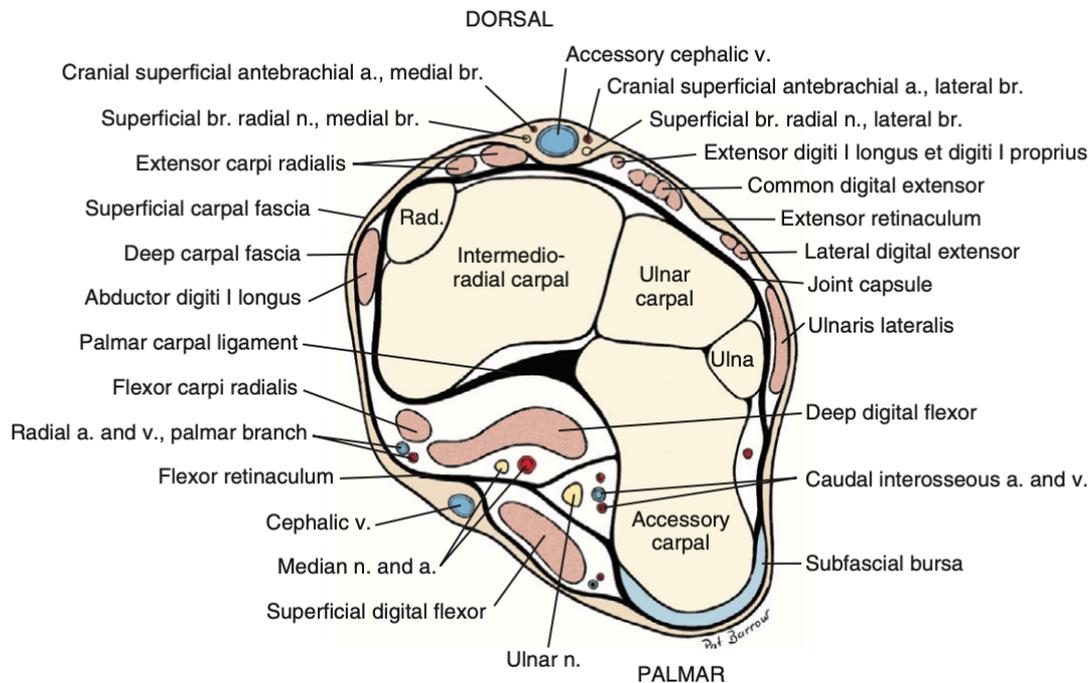


Abbildung 6: Schematische transversales Schnittbild durch das Os carpi accessorium als Übersicht wichtiger Strukturen. Anteile von drei Nerven aus dem Plexus brachialis verlaufen mit ihren Ästen über den Carpus, es sind Äste des N. radialis, N. medianus und des N. ulnaris. Aus Evans und de Lahunta (2013).

1.6 Blutgefäße des Carpus

Arterien

Die aus der A. subclavia stammende A. axillaris versorgt die Schultergliedmaße mit arteriellem Blut. Nach Abgabe einiger Äste für die proximale Vordergliedmaße verläuft sie als A. brachialis medial vom Humerus weiter (von Deroo 2020). Aus der A. brachialis entspringen alle weiteren arteriellen Gefäße für die distale Gliedmaße (Horowitz und Berg 2010).

Am distalen Oberarm entlässt die A. brachialis die A. brachialis superficialis, woraus die A. antebrachialis superficialis cranialis entspringt. Als kurzer Gefäßabschnitt teilt sich die A. antebrachialis superficialis cranialis proximal am M. extensor carpi radialis in einen Ramus medialis et lateralis. Diese Rami werden jeweils vom lateralen und medialen Ramus superficialis des N. radialis distal zur Pfote begleitet (Habermehl et al. 2005, Bezuidenhout 2013).

Die A. interossea communis stammt aus der A. brachialis und teilt sich auf Höhe des Spatium interosseum am Unterarm in die kräftige A. interossea caudalis und in die schwache A. interossea cranialis. Die A. interossea cranialis zieht durch das Spatium interosseum antebrachii und entlässt im distalen Verlauf Äste an den M. extensor carpi ulnaris und den M. abductor pollicis longus. Über

den Ramus interosseus verbindet sie sich mit der A. interossea caudalis. Als Ramus carpeus dorsalis zieht sie über die Streckseite des Carpus und verzweigt sich im Rete carpi dorsale.

Die A. interossea caudalis liegt zwischen Radius und Ulna, caudal vom M. pronator quadratus begrenzt. Die drei Gefäßäste der A. interossea caudalis sind der Ramus interosseus, der Ramus carpeus palmaris und der Ramus palmaris. Der Ramus carpeus dorsalis kann ein Gefäßast der A. interossea cranialis sein oder eine Fortsetzung des Ramus interosseus darstellen (Habermehl et al. 2005, Horowitz und Berg 2010, Bezuidenhout 2013).

Eine weitere Hauptabzweigung der A. brachialis ist die A. mediana. Diese größte Arterie des Antebrachium zieht entlang der caudomedialen Seite des Radius nach distal. Hierbei wird sie vom N. medianus und der V. mediana begleitet sowie vom M. flexor carpi radialis bedeckt. Sie entlässt die A. profunda antebrachii für die Versorgung des M. flexor digitalis superficialis und des M. flexor digitalis profundus sowie die A. radialis, welche distal vom M. pronator teres abgeht (Bezuidenhout 2013). Die A. mediana zieht palmar des Carpus durch den Canalis carpi. Auf Höhe des Metacarpus beteiligt sie sich an der Versorgung des Arcus palmaris superficialis. Im Wesentlichen endet die A. mediana als Aa. digitales palmares communes II-IV (Habermehl et al. 2005).

Die A. ulnaris entspringt aus der A. interossea communis und begleitet den N. ulnaris in der Ulnarisrinne. Distal am Antebrachium zweigt sich der Ramus dorsalis ab, der über lateral auf die Streckseite des Carpus zieht und dorsolateral des Mc V als A. digitalis dorsalis V zur 5. Zehe zieht. Proximal des Carpus entspringen der Ramus carpeus palmaris sowie der Ramus carpeus dorsalis mit Mündung ins Rete carpi palmaris bzw. dorsalis (Habermehl et al. 2005, Bezuidenhout 2013).

Die A. radialis als craniale Ast der A. mediana entlässt am Carpus den Ramus carpeus dorsalis und den Ramus carpeus palmaris. Der Ramus carpeus dorsalis wirkt beim Rete carpi dorsale mit. Der Ramus carpeus palmaris verbindet sich mit den Ästen der A. interossea caudalis und endet im Arcus palmaris profundus (Habermehl et al. 2005).

Arcus palmaris und Rete carpi: Der Arcus palmaris sind querverlaufende Anastomosen palmar des proximalen Metacarpus zur Versorgung der Zehengefäße. Der tiefe Anteil, der Arcus palmaris profundus erhält Zufluss vom Ramus palmaris profundus der A. radialis und vom Ramus palmaris der A. interossea caudalis. Der oberflächliche Anteil, der Arcus palmaris superficialis erhält Zufluß vom Ramus palmaris der A. interossea caudalis und der A. mediana.

Die vom Unterarm kommenden Gefäße bilden dorsal am Carpus ein arterielles Gefäßnetz, dieses Rete carpi entlässt die tiefen Zehengefäße. Zufluß erhält es über die Äste der A. ulnaris, der A. interossea caudalis über den Ramus interosseus sowie über den Ramus carpeus dorsalis der A. radialis (Habermehl et al. 2005, Bezuidenhout 2013). Eine schematische Übersicht zu den Arterien ist in den Abbildungen 7 und 8 dargestellt.

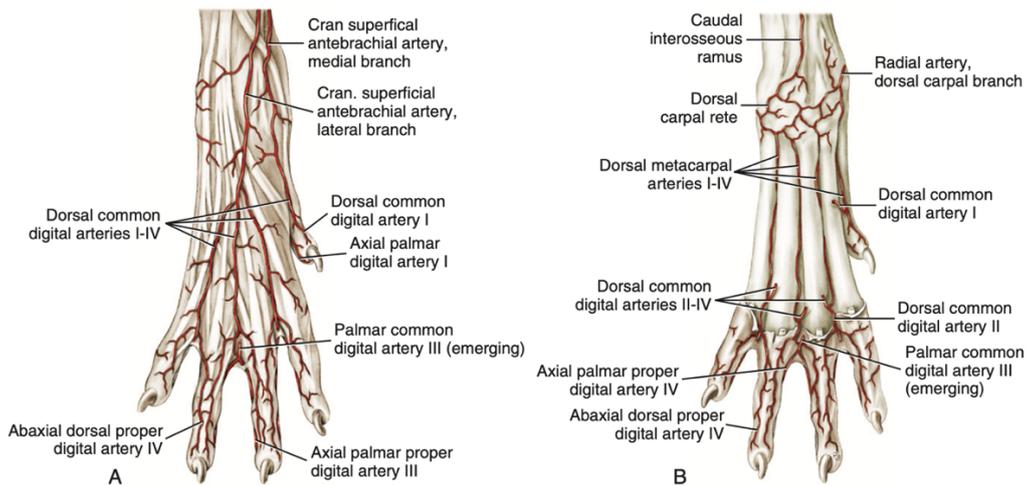


Abbildung 7: Schematische Übersicht der oberflächlichen (A) und tiefen Arterien einer rechten Pfote in dorsaler Aufsicht. Aus Evans und de Lahunta (2013).

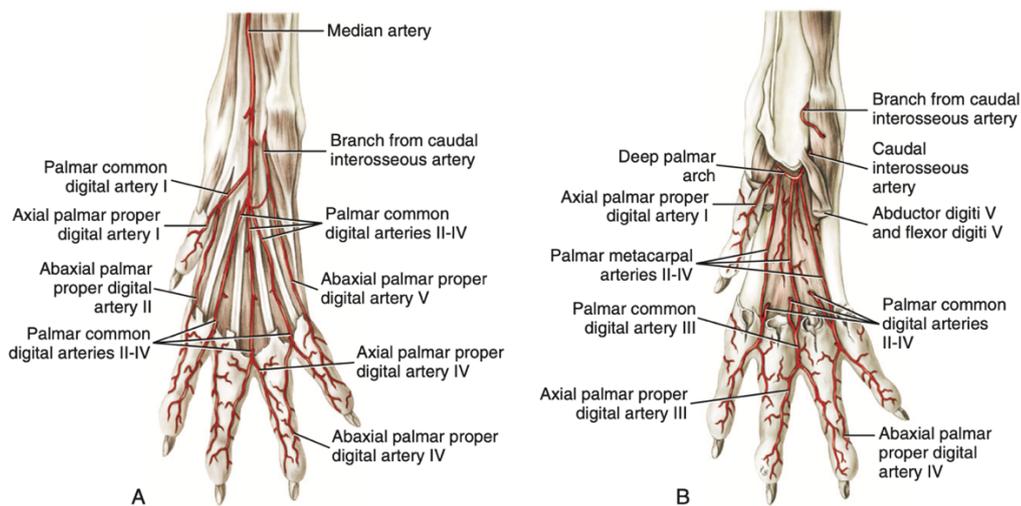


Abbildung 8: Schematische Übersicht der oberflächlichen (A) und tiefen Arterien einer rechten Pfote in palmarer Aufsicht. Aus Evans und de Lahunta (2013).

Venen

Das Venensystem der Vordergliedmaße kann in ein tiefes und oberflächliches System unterschieden werden. Das oberflächliche Venensystem mündet in die V. cephalica (Abbildung 9) und das tiefe Venensystem mündet in die V. axillaris. Anastomosen und anatomische Unterschiede zum arteriellen System sind beschrieben (Horowitz und Berg 2010, Bezuidenhout 2013). Die Venen am Carpus verlaufen überwiegend analog zum arteriellen Gefäßsystem (Abbildung 10). Das venöse Rete carpi erfährt Abfluss über die V. cephalica accessoria. Proximal erfährt die V. cephalica accessoria von medial Zufluß von der V. radialis und mündet am Übergang zum distalen

Antebrachium cranial in die V. cephalica. Die V. cephalica dient dem Arcus palmaris als Abfluss (Bezuidenhout 2013).

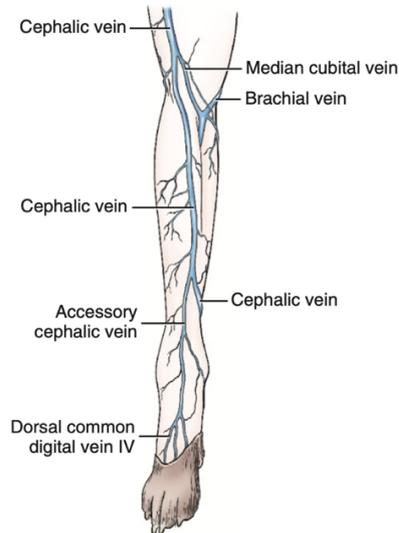


Abbildung 9: Schematische Übersicht der oberflächlichen Venen eines rechten Antebrachium in cranialer Aufsicht. Aus Evans und de Lahunta (2013).

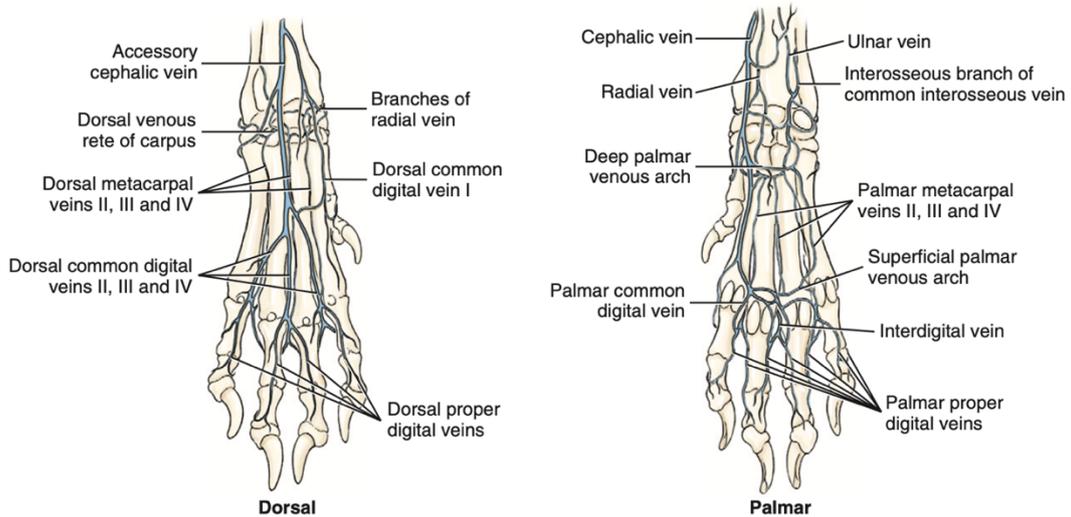


Abbildung 10: Schematische Übersicht der Venen einer rechten Pfote in dorsaler und palmarer Aufsicht. Aus Evans und de Lahunta (2013).

2. Erkrankungen des caninen Carpus

Die Erkrankungen des Carpus lassen sich in traumatische und nichttraumatische Erkrankungen einteilen. Frakturen, Subluxationen, Luxationen, Hyperextensionsverletzungen, Abschleißverletzungen, Schussverletzungen, Schnittverletzungen, Stichverletzungen, Verletzungen oder Rupturen des Bandapparat oder der Muskeln sowie Verletzungen von Nerven und Blutgefäßen sind zu den traumatischen Erkrankungen zu zählen.

Tumore, entzündliche Erkrankungen infektiöser oder immunmediierter Genese, primäre oder sekundär genetisch bedingte, degenerative Veränderungen sowie alimentär verursachte Erkrankungen sind den nichttraumatischen Erkrankungen zuzuordnen (Vaughan 1985, Vaughan 1985, Basa und Johnson 2019, Marcellin-Little und von Pfeil 2020, Beierer 2021).

Häufige Erkrankungen und ihre diagnostischen Tests sind in der Abbildung 11 von Marcellin-Little und von Pfeil (2020) zusammengefasst.

Disease	Common signalment	Diagnostic test of choice	Exam findings	Treatment	Clinical pearls	Terminology
Hyperextension injury	All breeds	Stress radiographs	Increased carpal extension	Mild injuries are protected with a brace or splint. Arthrodesis for severe injuries	Conservative management most often fails	
Carpal bone fractures	Racing and sporting dogs	Computed tomography	Swelling and loss of carpal flexion	Bone screws placed with precision	Use intraoperative fluoroscopy to enhance precision of screw placement	
Distal R/U fractures	Toy-breed dogs	Radiographs	Swelling, pain, and obvious instability	Surgical Fixation	Frequently happen without substantial trauma	
Antebrachial deformities	Chondrodystrophic dogs and physeal injuries	Palpation, radiography, and computed tomography	Varus or valgus, length deficit, and elbow joint subluxation	External fixation or bone plate	Deformities should be treated promptly, before the onset of joint subluxation	Valgus = lateral deviation Varus = medial deviation
Lack or loss of carpal extension	Large-breed growing dogs	Gait observation and goniometry	Lack of extension	Conservative, coaptation, and exercise	Optimize growth in growing dogs by decreasing food intake	Flexural deformity and carpal laxity syndrome
Immune-mediated polyarthritis	Large-breed (nonerosive) and small-breed (erosive)	Radiographs and arthrocentesis	Effusion, pain, and hyperextension	Immunosuppressive drugs and pancarpal arthrodesis	Severe carpal effusion suggests polyarthritis. Instability suggests that polyarthritis is erosive	
Hypertrophic osteodystrophy (HOD)	Large-breed puppies	Clinical signs and radiographs	Metaphyseal pain and swelling and hyperthermia	Supportive care	Most patients will recover. Antebrachial deformities can occur as a consequence of HOD	

Abbildung 11: Zusammenfassung häufiger traumatischer und nicht traumatischer des caninen Carpus. Aus Marcellin-Little und von Pfeil (2020)

2.1 Spezielle Erkrankungen des Vorderfußwurzelgelenk

2.1.1 Frakturen

Autounfälle sind die häufigste Ursache für Frakturen beim Hund, Frakturen des Carpus kommen im Vergleich zu anderen Frakturen seltener vor (Phillips 1979, Sadan 2010). Die Diagnose einer Fraktur am Carpus kann für den Untersucher herausfordernd sein. Die klinischen Befunde können minimal sein und Frakturen gehen häufig mit komplexen Erkrankungen des Bandapparates einher. Hochwertige Röntgenbilder und zusätzlichen Projektionen sowie die CT stehen zur Diagnosefindung im Vordergrund (Woods und Perry 2018).

Zu den Frakturen des Carpus können die Frakturen des distalen Radius und der distalen Ulna gezählt werden. Frakturen der Wachstumsfugen bei juvenilen Hunden sind hier häufig beschrieben (Marretta und Schrader 1983, Engel und Kneiss 2014). Die Einteilung erfolgt nach der Salter-Harris Klassifikation (Salter und Harris 1963). Wachstumsfugentraumata führen zu einem frühzeitigen Wachstumsfugenschluss und somit zu Wachstumsstörungen. Der frühzeitige Wachstumsfugenschluss der distalen Ulna mit der resultierenden „Angular front limb deformity“ ist hier am häufigsten beschrieben (Marcellin-Little und von Pfeil 2020).

Frakturen vom Processus styloideus radii oder Processus styloideus ulnae führen durch die jeweilige Seitenbandbeteiligung zur Instabilität des Carpus. Hierbei sind neben der dorsopalmaren und mediolateralen Röntgenstandardprojektion zusätzliche Stressaufnahmen notwendig (Farrow 1982, Tobolska et al. 2020).

Frakturen des Os carpi intermedioradiale können sich als Fragmentation oder „slab fracture“ darstellen. Eine vermehrte Gelenkfüllung ist in der Regel zusätzlich vorhanden (Vaughan 1985). Drei Frakturtypen sind häufig, eine sagittale Fraktur mit einem kleinen medialen Fragment, eine Trümmerfraktur oder eine Schrägfraktur mit einem großen medialen Fragment. Diese seltene Fraktur kann röntgenologisch schwierig festzustellen sein. Besondere Beachtung sollten hier der überrepräsentierte Boxer und Hunde (Pointer, Setter, Englische und Bretonische Spaniels, Labrador Retriever) mit chronisch unklarer Lahmheit geschenkt werden (Li et al. 2000). Der Frakturmechanismus ist unbekannt (Tomlin et al. 2001). Histopathologische Untersuchungen deuten bei bilateraler Fraktur auf eine inkomplette Ossifikation der drei Ossifikationszentren hin (Abbildung 17) als auf eine echte Fraktur. Die 3 Ossifikationszentren des Os carpi intermedioradiale fusionieren im Alter von 3-4 Monaten (Gnudi et al. 2003).

Frakturen des Os carpi ulnare und Os carpale I-IV sind selten und wenig in der zugänglichen Literatur beschrieben (Sadan 2010, Beierer 2021). Sie können als Komplikation einer Luxation

auftreten (Vaughan 1985) oder als Trümmerfraktur (Vedrine 2013). Neben den Standardröntgenaufnahmen sind weitere Schrägaufnahmen empfohlen (Woods und Perry 2018).

Frakturen des Os carpi accessorium treten häufiger bei Windhunden (Greyhounds) auf. Sie stellen eine häufige Fraktur dar und können den sportlichen Einsatz limitieren.

Beim Hunderennen ist in 80 % der Fälle der Carpus betroffen, der sich auf der Außenbahn befindet und in der Wende eine sehr hohe Druckbelastung und Gewichtbelastung ausgesetzt ist (Johnson 1987). Bei Haushunden kommt diese Fraktur selten vor und ist im Zusammenhang mit Autounfall oder Sprung aus großer Höhe beschrieben (Marcellin-Little und von Pfeil 2020). Bei einer Rennverletzungen tritt die Lahmheit gerne mit pericarpaler Schwellung, insbesondere im Bereich vom Os carpi accessorium, oft am Folgetag auf (Vaughan 1985). Frakturen vom Os carpi accessorium werden nach dem Klassifikationssystem von Johnson (1988) in Typ I-V eingeteilt und in der Tabelle aus Woods (2018) der Abbildung 12 zusammenfassend genauer beschrieben.

Fracture Classification	Description of fracture	
Type I (67%) Ia – Palmarolateral Ib - Palmaromedial	Avulsion of the distal margin of the articular surface at the attachment of the ligament from the accessory carpal bone to the ulnar carpal bone	Sprain/avulsion fracture Intra-articular
Type II (13%)	Avulsion that occurs at the proximal margin of the articular surface of the accessory carpal bone at the origin of the ligaments connecting the accessory carpal bone to the distal radius and ulna	Sprain/avulsion fracture Intra-articular
Type III (3%)	Avulsion at the distal surface at the caudal end of the accessory carpal bone. This is the origin of the two accessorometacarpal ligaments that insert on metacarpals IV and V	Sprain/avulsion fracture
Type IV (12%)	Avulsion at the tendon insertion of the flexor carpi ulnaris muscle at the caudoproximal surface of the accessory carpal bone	
Type V (5%)	Comminuted fracture of the accessory carpal bone	Articular

The percentages shown next to each type of fracture come from a study of accessory carpal bone fractures in 50 racing greyhounds, giving an indication of how commonly these fractures occur. In a large clinical study, all type II and III fractures occurred in conjunction with type I fractures (Johnson et al, 1988).

Abbildung 12: Klassifikation der Os carpi accessorium Frakturen nach Johnson (1988) aus Woods (2018).

Frakturen vom Metacarpus sind häufiger als vom Metatarsus (Muir und Norris 1997).

Frakturen am Metacarpus kommen an der Basis, Schaft und Caput vor. Bei Haushunden sind es häufig geschlossene, glatte Querbrüche des Schafts an Mc III-IV (Kornmayer et al. 2014). Bei jungen Greyhounds sind es häufig Stressfrakturen des linken Mc V (Bellenger et al. 1981). Die Diagnose wird meist durch eine dorsopalmare Standardprojektion gestellt, die klassische mediolaterale Projektion führt häufig zu unklaren Überlagerungen. Die palmaromedial-dorsolateral oblique Projektion ist hier überlegen. Die CT kann zur Abklärung von Trümmerfrakturen und Gelenkbeteiligung eingesetzt werden (Marcellin-Little und von Pfeil 2020).

2.1.2 Dislokationen

Die verschiedenen Subluxationen oder Luxationen im Carpus sind in der Regel traumatischen Ursprungs. Häufig sind neben knöchernen Veränderungen der komplexe Bandapparat und die Gelenkkapsel involviert (Sadan 2010, Marcellin-Little und von Pfeil 2020).

Bei einer Dislokation im Art. antebrachioarpea ist häufig das mediale Seitenband involviert. Man unterscheidet die häufigere Subluxation von der Luxation. Bei einer Subluxation können 3 Typen unterschieden werden (Vaughan 1985):

- a) Dislokation vom Carpus nach caudal mit oder ohne Fraktur des Processus styloideus ulnae
- b) Mediale Instabilität durch Ruptur vom medialen Seitenband mit primären Carpus Valgus
- c) Laterale Instabilität durch Ruptur vom lateralen Seitenband mit primären Carpus Varus

Eine Luxation im Art. antebrachioarpea inkludiert die Ruptur vom medialen und lateralen Seitenband, der Ligg. antebrachioarpea sowie der Gelenkkapsel (Vaughan 1985). Die isolierte Luxation vom Os carpi intermedioradiale ist mit einer Dislokation nach palmaromedial beschrieben (Miller et al. 1990). Ein einzelner Fallbericht beschreibt eine dorsomediale Luxation (Palierne et al. 2008).

Dislokationen im Art. mediocarpea oder carpometacarpea sind selten (Vaughan 1985) und mit einer Subluxation des Os carpi II bei zwei Greyhounds (Guilliard und Mayo 2001) wenig in der zugänglichen Literatur beschrieben (Beierer 2021).

2.1.3 Hyperextension und „Carpal laxity syndrome“

Die Hyperextension beschreibt eine abnormal gesteigerte Streckung des Carpus. Gesunde Labrador Retriever haben ein physiologischen Standwinkel von $196^\circ \pm 2^\circ$ (Jaegger et al. 2002). $>10^\circ$ über dem physiologischen Standwinkel hinaus stellt eine carpale Hyperextension dar (Koestlin et al. 1986). Man unterscheidet eine angeborene und eine erworbene carpale Hyperextension. (Marcellin-Little und von Pfeil 2020).

Die erworbene carpale Hyperextension wird auch als Hyperextensionsverletzung oder Niederbruch bezeichnet und stellt eine häufige Indikation für eine Pan- oder Teilarthrodese dar (Parker et al. 1981, Bristow et al. 2015). Hauptursache sind Traumata wie Sprung oder Fall (Feldman und Sato 2022) aus größerer Höhe, nicht selten liegen dann Verletzungen beider Vordergliedmaßen vor. Große, schwere Hunde sind häufiger betroffen (Koestlin et al. 1986, Willer et al. 1990, Bristow et al. 2015). Nach Überdehnung oder Zerreißung einzelner oder mehrerer Strukturen des Bandapparates kommt es zur Hyperextension bis hin zur plantigraden Fußung. Am häufigsten rupturieren die Ligg. intercarpea et carpometacarpea palmaria, woraus eine Hyperextension im Art. mediocarpea et carpometacarpea resultiert. Bei diesem „distalen Niederbruch“ befindet sich das Os carpi accessorium in physiologischer Stellung. Beim selteneren „proximalen Niederbruch“ sind die Ligg. accessoriometacarpea IV-V beteiligt und ein Hochstand und Rotation des Os carpi accessorium liegt vor. Subluxationen, Luxationen der Ossa carpi und weitere Bandverletzungen sind möglich (Sadan 2010, Marcellin-Little und von Pfeil 2020). Neben der klinischen Diagnose der Instabilität dient die Röntgenuntersuchung der weiteren Differenzierung und Lokalisierung mit folgenden Aufnahmen: Dorsopalmare und mediolaterale Ansicht in neutraler Position als Standardaufnahme. Funktionsaufnahmen in gehaltener Position, die craniocaudale Ansicht wird in maximaler Abduktion bzw. Adduktion durchgeführt, die mediolaterale Ansicht in maximaler Hyperextension. Gelegentlich sind weitere Schrägaufnahmen notwendig, kleine Avulsionen sind möglich. Die contralaterale Seite ist ebenfalls identisch für den Vergleich zu röntgen (Koestlin et al. 1986, Marcellin-Little und von Pfeil 2020). In bis zu 28% der Fälle können begleitende Metacarpalfrakturen auftreten (Parker et al. 1981). Mit der Vermutung, dass es zu komplexen Kombinationen an Bandappartverletzungen kommen kann, wurde durch Slocum und Devine (1982) eine Kategorisierung der Hyperextensionsverletzung in 3 Gruppen vorgenommen. Gruppe I: (Sub-)luxation des Art. antebrachioarpea mit vollständiger Entlastung der Gliedmaße. Gruppe II: Ruptur des palmaren Bandapparat des Art. mediocarpea und des Art. carpometacarpea, Hochstand des Os carpi ulnare und des Os carpi accessorium, beginnende minimale Belastung der Gliedmaße. Gruppe III: Ruptur der Bandstrukturen des Os carpi accessorium, des Fibrocartilago palmaris und der palmaren Bänder des Art. carpometacarpea, Subluxation des Art. carpometacarpea ohne Hochstand des Os carpi ulnare und Os carpi accessorium, beginnende Belastung der Gliedmaße (Haburjak et al. 2003, Beierer 2021, Feldman und Sato 2022). Ein Zusammenfassung über möglich Varianten einer Hyperextensionsverletzung zeigt Abbildung 13.

Experimentelle Kadaverstudien an Hunden belegen, dass sowohl die Lig. collateralia als auch palmare Bandstrukturen an der Gelenkstabilität des Art. antebrachioarpea beteiligt sind und eine Hyperextension verhindern (Milgram et al. 2012, Milgram et al. 2019).

Eine CT kann bei fraglichen Frakturen oder zusätzlichen Frakturen am Metacarpus durchgeführt werden (Woods und Perry 2018). Eine MRT kann als weiterführendes Diagnostikum der carpalen Weichteilstrukturen eingesetzt werden und bei der weiteren Behandlungsentscheidung helfen (Sage und Gavin 2016, Marcellin-Little und von Pfeil 2020). Über die topographische Häufigkeitsverteilung der betroffenen Gelenke sind in der zugänglichen Literatur unterschiedliche Angaben zu finden (Earley 1978, Parker et al. 1981, Willer et al. 1990, Denny und Barr 1991, Beierer 2021).

Bei bereits längerem Bestehen einer Hyperextensionsverletzung kann es zu degenerativen Veränderungen im Bereich der Gelenktagen kommen. Diese treten insbesondere dort auf, wo die proximalen Knochen über die distalen Knochen gleiten (Vaughan 1985). Eine chronische Instabilität im Art. mediocarpea stellt sich durch eine Verlagerung der distalen Karpalknochenreihe nach palmar und dadurch zustande kommender Berührung der Dorsalränder der Metacarpalknochen mit denen der proximalen Karpalknochenreihe sowie einer dorsalen Aufweitung des Art. antebrachioarpea dar (Sadan 2010). Liegt eine akute Instabilität vor, ist häufig nur eine Aufweitung zwischen dem Os carpi ulnare und des Basis des Mc V festzustellen (DeCamp et al. 2016, Marcellin-Little und von Pfeil 2020).

Weitere und weniger häufige Ursache für eine erworbene carpale Hyperextension oder carpale Instabilität sind der Hyperadrenokortizismus oder die immuninduzierte Arthritis (Vaughan 1985, Bennett 1987, Ralphs et al. 2000). Der Sheltie scheint für einen immunmedierten Niederbruch prädisponiert zu sein (Ralphs et al. 2000, DeCamp et al. 2016). Als weitere Ursache ist eine traumatische Neuropathie des N. radialis bei einem Junghund beschrieben (Holland 2005).

Angeborene Ursachen für eine carpale Hyperextension bei Welpen sind ein zu geringer carpaler Muskeltonus (Shires et al. 1985). Unterernährung oder Überernährung bei schnell wachsenden Welpen großer Rassen sind als eine mögliche Ursache beschrieben. Männliche Welpen sind häufiger betroffen als weibliche Welpen (Cetinkaya et al. 2007).

Ein zu hoher Muskeltonus mit Kontraktur des M. flexor carpi ulnaris führt zur „flexural deformity“, dem Verlust der Extension (Vaughan 1992, Petazzoni et al. 2022). Der Überbegriff „Carpal laxity syndrome“ wird für den Verlust der Extension und Flexion des Carpus („hyperextension“ und „hyperflexion deformity“) verwendet (Marcellin-Little und von Pfeil 2020).

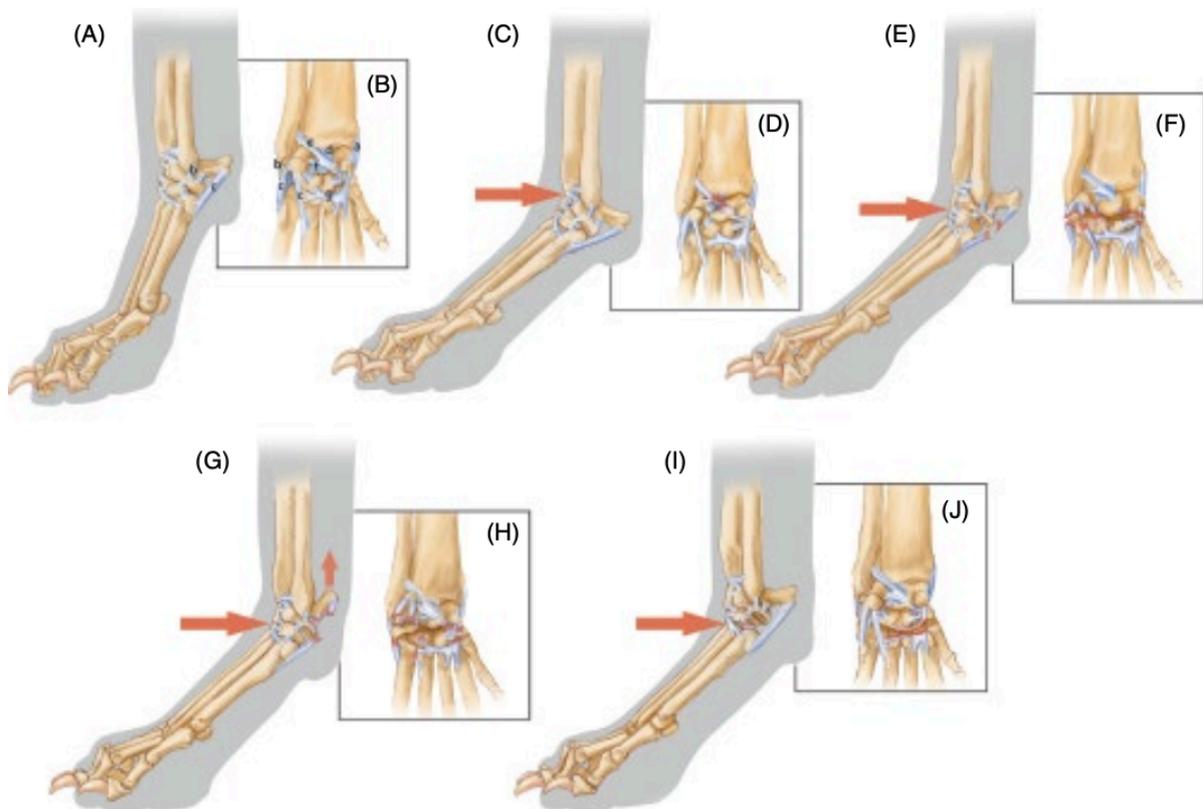


Abbildung 13: Schematische Darstellung einer Hyperextensionsverletzung: (A, B) Physiologischer Standwinkel. (C, D) Verletzung auf Höhe der Art. antebrachio-carpea (roter Pfeil), Os carpi accessorium und Os carpi ulnare befinden sich in normaler Position, was darauf hindeutet, dass vermutlich nur die Ligg. radiocarpea et ulnocarpea gerissen sind; (E, F) Verletzung auf der Höhe der Art. medio-carpea (roter Pfeil) mit proximaler Dislokation des Os carpi accessorium und des Os carpi ulnare. Gleichzeitig tritt eine Gelenkspalterweiterung zwischen dem Os carpi ulnare und dem Os carpale IV auf, was auf eine Ruptur von mehreren Ligg. intercarpea hindeutet. Palmare Bandstrukturen wie die Ligg. accessoriometacarpea IV-V sowie das Lig. accessorioulnare können betroffen sein, scheinen aber nicht rupturiert zu sein. (G, H) Verletzung auf der Höhe der Art. medio-carpea (roter Pfeil) mit proximaler Dislokation des Os carpi accessorium und des Os carpi ulnare. Gleichzeitig tritt eine Gelenkspalterweiterung zwischen dem Os carpi ulnare und dem Os carpale IV auf, was auf eine Ruptur von mehreren Ligg. intercarpea hindeutet. Der deutliche Hochstand des Os carpi accessorium zeigt, dass palmare Bandstrukturen wie die Ligg. accessoriometacarpea IV-V sowie das Lig. accessorioulnare rupturiert sind. (I, J) Verletzung auf Höhe der Art. carpometacarpea (roter Pfeil) bedeuten immer eine Schädigung oder Ruptur des Fibrocartilago palmaris. Aus Marcellin-Little und von Pfeil (2020).

2.1.4 Muskulotendinöse Erkrankungen

Muskulotendinöse Erkrankungen außerhalb des Hyperextensionskomplex sind in der zugänglichen Literatur wenig beschrieben.

Tendinopathie des M. flexor carpi ulnaris:

Diese primär traumatische Erkrankung des M. flexor carpi ulnaris ist bei sportlich genutzten Hunden mit einer Weichteilschwellung proximal des Os carpi accessorium beschrieben. Der M. flexor carpi ulnaris mit seinen zwei Bäuchen inseriert proximal am Os carpi accessorium. Röntgen und Ultraschall dienen der Diagnosefindung. Differentialdiagnostisch kann eine Neoplasie in Betracht gezogen werden (Marcellin-Little und von Pfeil 2020), eine FNA hilft hier zur weiteren Differenzierung. Diese Tendinopathie ist auch im Zusammenhang der carpalen Hyperextension beschrieben (Kuan et al. 2007, Tani 2022, Franini et al. 2023).

Stenosierende Tenosynovitis des M. abductor pollicis longus:

Chronische Lahmheit mit einer Schwellung medial auf Höhe des Art. antebrachio-carpea (Abbildung 14) kann durch die stenosierende Tenosynovitis des M. abductor pollicis longus verursacht werden (Grundmann und Montavon 2001). Röntgen und Ultraschall werden kombiniert zur Diagnosefindung eingesetzt. Im Röntgen zeigen sich eine Weichteilschwellung medial am Carpus, ein tiefer medialer Sulcus, Osteophytenbildung am distalen Radius sowie Enthesiopathie des M. abductor pollicis longus. Im Ultraschall sind die beschriebenen knöchernen Veränderungen ebenfalls nachvollziehbar. Ultrasonographisch wird die röntgenologisch unspezifische Weichteilschwellung weiter in Tendinitis und Veränderungen der Sehnenscheide (Füllung, Verdickung, Mineralisation) differenziert. Die Veränderungen führen zu einer Stenose und chronischen Tendinitis des M. abductor pollicis longus und werden dem degenerativen Komplex zugeordnet (Hittmair et al. 2012).

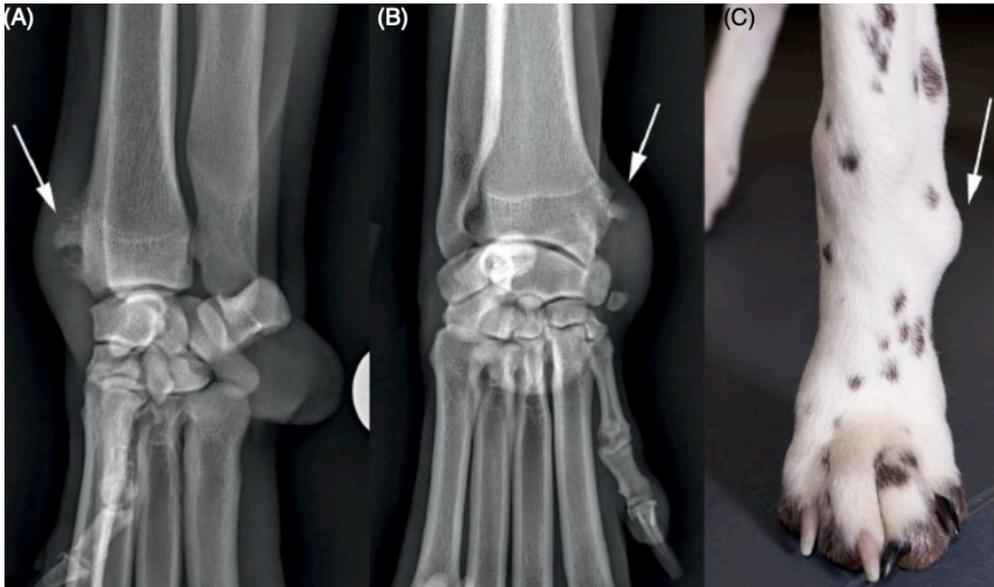


Abbildung 14: Röntgenbild (A, B) und klinische Präsentation einer stenosierenden Tenosynovitis des M. abductor pollicis longus. (A, B) Knöcherne Proliferationen im Bereich vom Sulcus (Pfeil); (C) Diffuse Weichteilschwellung (Pfeil). Aus Marcellin-Little und von Pfeil (2020).

2.1.5 Neoplasien

Der häufigste Tumor im Bereich des Carpus ist das Osteosarkom (Abbildung 17) des distalen Radius (Gamblin et al. 1995). Es gibt Einzelfallberichte über weitere Tumore des Carpus: Über ein Riesenzelltumor des Os carpi accessorium (Berg et al. 1990). Über ein Neurofibrom des N. ulnaris im Canalis carpi (Basa et al. 2020), über ein Plasmozytom des Os carpale II et III (Reising et al. 2021), über ein synoviales Myxom des Art. antebrachioarpea (Griffon et al. 1994), über ein synoviales Lymphom (Gaughan 2007) und ein vaskuläres Hamartom in den Flexoren (Corzo-Menéndez et al. 2001).

2.1.6 Weitere Erkrankungen

Hunde haben häufiger Fremdkörper im Bereich der Zehe, neben den klassischen Modalitäten wie Röntgen und Ultraschall (Schoenfeld et al. 2023) kann die MRT mit flüssigkeitssensitiven Sequenzen ebenfalls zur Fremdkörperdetektion im Bereich vom Carpus eingesetzt werden (Sage und Gavin 2016).

Abschliffverletzungen werden in der Regel durch Autounfälle oder andere Traumata verursacht, die möglichen Weichteilschäden und begleitenden Knochenschäden sind vielfältig (Vaughan 1985, von Pfeil et al. 2015, Marcellin-Little und von Pfeil 2020).

Eine weitere Erkrankung ist die ischämische Nekrose des Os carpi accessorium (Abbildung 15), die röntgenologisch und histologisch ähnlich der ischämischen Femurkopfnekrose ist und differentialdiagnostisch zur Neoplasie mittels histopathologischer Untersuchung abgegrenzt wird (Harris und Langley-Hobbs 2013, Schmid et al. 2018). Viele Ursachen wie eine vorangegangene Fraktur oder Corticoidgaben werden diskutiert, eine gesicherte Ursache ist jedoch nicht belegt. Die ischämische Nekrose ist ebenfalls am Os carpi intermedioradiale (Diaz-Bertrana et al. 2009) und Os carpale II (Morgan 2002) beschrieben.



Abbildung 15: Craniocaudale (A) und laterale (B) Ansicht eines Carpus mit ischämischer Nekrose des Os carpi accessorium und den monoostotischen destruktiven und expansiven Knochenläsionen mit begleitender knöcherner Proliferation. Aus Harris and Langley-Hobbs (2013).

Ein Fallbericht beschreibt bei einem Mops mit Lahmheit und pericarpaler Weichteilschwellung das magnetresonanztomographische Erscheinungsbild einer carpalen Synovialzyste (Tzounos et al. 2020). Die klinische Relevanz von „nonarticular osseus cyst-like lesions“ (Abbildung 16) des Os carpi intermedioradiale ist noch unklar, angeborene oder erworbene Ursachen werden diskutiert. Bei der Diagnostik ist das MRT dem Röntgen überlegen, die röntgenologischen Befunde sind weniger ersichtlich (Porter et al. 2018).

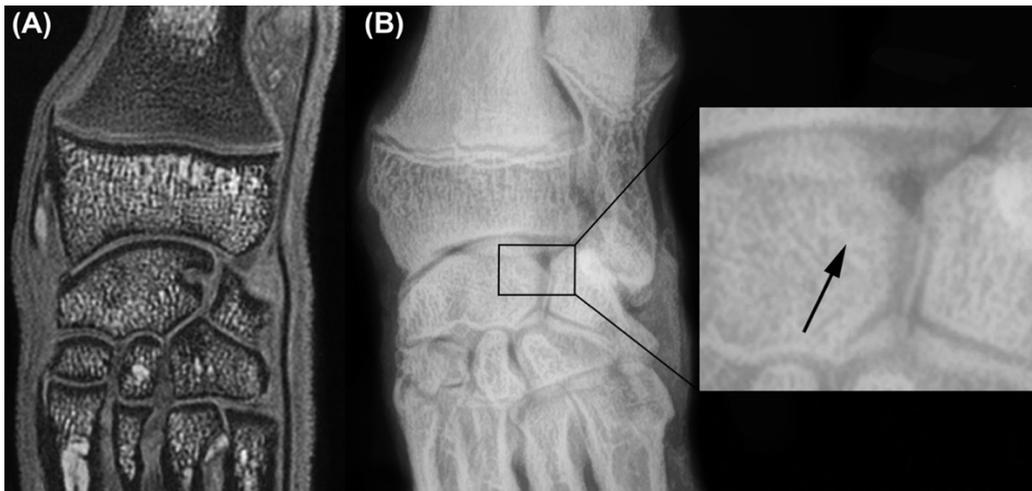


Abbildung 16: Vergleich einer prominenten Knochenzyste mit klinischer Relevanz des Os carpi accessorium im MRT (A) und Röntgen (B). Aus Porter et al. (2018).

Die Hypertrophe Osteodystrophie betrifft primär die langen Röhrenknochen, seltener sind die Wachstumsfugen der distalen Ulna und des distalen Radius betroffen, die irregulär erscheinen und das „double physis sign“ aufweisen. Neben periostealen Reaktionen oder mineraldichten Weichteileinlagerungen ist die Angular limb deformity als mögliche Folge beschrieben. Die Ursache ist unklar, diskutiert werden Impfungen, Infektionen oder Mangelerscheinungen (Vitamin C). Große, schnell wachsenden Hunderassen sind bevorteilt (Scholz et al. 2012, Marcellin-Little und von Pfeil 2020).



Abbildung 17: Beispiele von Erkrankungen des Carpus. (A-D) Osteosarkom vom distalen Radius; (E-F) "Retained cartilaginous core" der distalen Ulna; (G-I) Inkomplette Ossifikation vom Os carpi intermedioradiale (Pfeile). Aus Marcellin-Little und von Pfeil (2020).

2.1.7 Arthritis und Arthrose

Arthropathie ist ein Oberbegriff für entzündliche, degenerative, metabolische, rheumatische oder infektiöse verursachte Erkrankungen der Gelenke. Eine klare Abgrenzung zwischen einer rein degenerativen Arthrose und einer rein entzündlichen Arthritis ist oft nicht möglich. Degenerative Veränderungen können durch ihren Gewebeuntergang zu entzündlichen Veränderungen bzw. zu einer chronischen Gelenkentzündung führen und umgekehrt. In der angloamerikanischen Literatur wird eine Arthrose daher auch als Osteoarthritis bezeichnet. Die Klassifizierung der verschiedenen Formen ist für Therapie und Prognose von großer Bedeutung. (Vaughan 1985, Woodard et al. 1991, Johnson und Mackin 2012, Marcellin-Little und von Pfeil 2020).

Die nicht entzündlichen Arthropathien umfassen die primär oder sekundär degenerativen, traumatischen, neoplastischen oder kongenitalen Erkrankungen. Die entzündlichen Arthropathien sind entweder infektiös oder nicht infektiös, wobei letztere entweder immun- oder kristallinduzierte Gelenkerkrankungen sind. Kristallinduzierte Arthritiden sind selten und Ansammlungen von Natriumurat- oder Kalziumpyrophosphatdihydrat-Kristallen unklarer Genese (Forsyth et al. 2007, Bertram et al. 2019, Henschen et al. 2020). Als mögliche Auslöser für diese Ablagerungen wird zum Beispiel eine Ehrlichiose in der zugänglichen Literatur diskutiert (de Haan und Andreasen 1992). Die immuninduzierten Arthropathien werden in erosive und nicht-erosive mit ihren jeweiligen Unterformen unterschieden. Obwohl die Klassifizierung der Arthropathien in entzündlich und nicht entzündlich erfolgt, lassen sich in beiden Formen entzündliche Veränderungen der Synovialis erkennen. (Vaughan 1985, Woodard et al. 1991, Johnson und Mackin 2012, Marcellin-Little und von Pfeil 2020).

Autounfall, Abschliffverletzungen oder Bissverletzungen sind Ursachen für eine infektiöse carpale Arthritis. Unbehandelte infektiöse oder nicht infektiöse carpale Arthritiden sowie alte Band- oder Gelenkverletzung können in eine carpale Arthrose münden (Vaughan 1985, Marcellin-Little und von Pfeil 2020).

Eine häufige carpale Arthritis ist die immuninduzierten Arthritis mit ihren Unterformen, insbesondere mit der erosiven Form (Shaughnessy et al. 2016). Die immuninduzierte Arthritis ist durch eine Entzündung der Synovialis mit Infiltration von Entzündungszellen gekennzeichnet und meist eine Polyarthritis. Bei einer Oligoarthritis sind 2-5 Gelenke betroffen und bei einer Monoarthritis ist ein Gelenk betroffen (Fernandes 2020). Klassische Symptome äußern sich gerne systemisch mit Fieber, Lethargie und Arthralgie. Die nicht erosive canine Polyarthritis wird in idiopathisch (Typ I), reaktiv (Typ II), enterohepatisch (Typ III) und paraneoplastisch (Typ IV) unterteilt. Zusätzlich gibt es noch die Arthritis bei systemischem Lupus erythematosus, beim Polyarthritis/Polymyositis-Syndrom, beim Polyarthritis/Meningitis Syndrom, bei Polyarteritis nodosa, bei juveniler Akita Polyarthritis, beim Shar-Pei Fiebersyndrom, nach Medikamentengabe und Impfung (Jacques et al.

2002, Rondeau et al. 2005, Hewicker-Trautwein et al. 2008, Johnson und Mackin 2012, Marcellin-Little und von Pfeil 2020). Die erosive Form der Arthritis beinhaltet die rheumatoide, idiopathische und Greyhound Polyarthritits (Bennett 1987, Woodard et al. 1991, Ralphs et al. 2000).

Die immunvermittelte Polyarthritits des Hundes ist eine Ausschlussdiagnose, die in erster Linie auf Vorbericht, klinischen Symptomen, einer charakteristischen Analyse der Gelenkflüssigkeit, zusammenfassend dargestellt in Abbildung 19, und dem Ausschluss anderer Arthropathien wie einer möglichen Gelenkinfektion beruht (Shaughnessy et al. 2016). Der Gelenkerguss nimmt hierbei eine Schlüsselrolle ein, klinisch dient er als Entscheidungshilfe zur Arthrozentese, welche stets empfohlen wird (Rondeau et al. 2005, Johnson und Mackin 2012). Die meisten röntgenologischen Veränderungen einer Arthropathie sind unspezifisch, progressive Gelenkerkrankungen haben zu unterschiedlichen Zeitpunkten unterschiedliche röntgenologische Veränderungen (Allan und Davies 2018), wobei der perakute Zustand unauffällig sein kann oder lediglich eine gesteigerte Gelenkfüllung vorliegen kann (Vaughan 1985). Neben der gesteigerten Gelenkfüllung sind bei der nicht erosiven caninen Polyarthritits keine weiteren röntgenologische Befunde feststellbar. Die erosive canine Polyarthritits zeigt neben dem Gelenkerguss und je nach Stadium erosive Läsionen, Verlust des Gelenkspalt, periartikuläre Proliferationen, Instabilität, Subluxation oder Luxation bis hin zur Ankylose und lässt sich so differentialdiagnostisch von der nicht erosiven Form abgrenzen (Ralphs et al. 2000). Beide Formen der immunvermittelten Polyarthritits können die periartikulären Weichteilstrukturen, insbesondere den Bandapparat vom Carpus schädigen, was zur carpalen Laxizität führen kann (Whitworth et al. 2019).

3. Untersuchungsverfahren des caninen Carpus

Der diagnostische Untersuchungsgang des Carpus basiert klassisch auf eine klinisch-orthopädische und röntgenologische Untersuchung, spezifische Stressaufnahmen und Arthrozentese führen mehrheitlich zu einer sicheren Diagnose (Farrow 1982, Marcellin-Little und von Pfeil 2020). Weiterführende Verfahren wie CT, MRT und Ultraschall werden eingesetzt (Hittmair et al. 2012, DeCamp et al. 2016, Beierer 2021). Die diagnostische Nuklearmedizin findet weniger Einsatz am caninen Carpus (Frank et al. 2019).

3.1 Lahmheitsuntersuchung

Der Lahmheitsuntersuchung ist die Grundlage für die Diagnose einer Erkrankung des Carpus. Die Lahmheitsuntersuchung kann in 4 Hauptteile gegliedert werden, der Anamnese, der Adspektion und Ganganalyse, der Untersuchung des stehenden Hundes und die Untersuchung des liegenden Hundes. Die Untersuchungsmethoden hierbei sind die Inspektion, Palpation und Manipulation (Scharvogel 2004).

Häufig lässt sich die vorliegende Lahmheit der Vordergliedmaße bereits aus Vorbericht und Adspektion auf den Carpus lokalisieren. Das Vorliegen von Frakturen, Bandläsionen oder einer Kombination aus beidem ist möglich (Frewein et al. 2004, Horowitz und Berg 2010).

Bei der Inspektion wird auf Achsenabweichungen, Konturstörungen oder Schmerzreaktionen geachtet. Häufige Achsenabweichungen sind die Hyperextensionsstellung (Bristow et al. 2015) sowie die Valgus- oder Varusfehlstellung (Marcellin-Little und von Pfeil 2020).

Bei der Palpation wird auf Temperaturerhöhung, Konturstörung, Fluktuation und Dolenz geachtet. Prominente Knochenpunkte wie der Processus styloideus von Radius und Ulna oder das Os carpi accessorium werden palpiert (Scharvogel 2004).

Bei der Manipulation wird ebenfalls auf eine Achsenabweichung, Krepitation, Hypermobilität oder Hypomobilität sowie Schmerzreaktion geachtet. Die Tests werden immer seitenvergleichend durchgeführt. Die Seitenstabilität wird durch Abduktion und Adduktion geprüft (Scharvogel 2004). Extension und Flexion vom Carpus werden durchgeführt. Eine Gelenkfüllung am Carpus wird am einfachsten in Beugung dorsal palpiert (Marcellin-Little und von Pfeil 2020).

Bei der Adspektion des Gangbildes werden die gewonnen Informationen überprüft und die betroffene Gliedmaße identifiziert. Die Art des Gangbildes sowie die Haltung können Hinweise auf die Erkrankung liefern (Scharvogel 2004).

Eine Lahmheit kann in Lahmheitsgrade nach Brunnberg (2014) eingeteilt werden:

- Grad 0: keine Lahmheit
- Grad 1: kaum gestört
- Grad 2: gestört, aber stetig belastend
- Grad 3: gestört, nicht stetig belastend
- Grad 4: gestört, keine Belastung

Die orthopädische Untersuchung kann durch andere Untersuchungen wie die Allgemeinuntersuchung oder neurologische Untersuchung ergänzt oder je nach Verlauf unterbrochen werden (Brunnberg et al. 2014). Weiterführende Untersuchungen können nach der orthopädischen Untersuchung je nach Indikation und Verfügbarkeit angeschlossen werden (Marcellin-Little und von Pfeil 2020).

3.2 Arthrozentese

Bei der Punktion eines Gelenks kann Flüssigkeit aspiriert und appliziert werden. Die Applikation kann eine diagnostische (Lokalanästhetikum, Kontrastmittel zur Arthrographie) oder therapeutische (Antibiotikum, Kortikoid, andere) Injektion sein (Vollmerhaus 2007). Indikationen für eine Gelenkpunktion des Carpus sind zum Beispiel eine vermehrte Gelenkfüllung, Arthralgie, Lahmheit, Fieber unklarer Genese, Ausschlussdiagnostik oder eine Verlaufskontrolle (Clements 2006, Torres und Duerr 2020). Mögliche Komplikationen einer Arthrozentese sind eine Gelenkinfektion oder andere iatrogene, traumatischen Schäden. Die Inzidenz einer Gelenkinfektion ist beim Hund unzureichend untersucht und wird mit 0 % bei 1000 Arthrozentesen angegeben (Pedersen 1978). Die häufigste Komplikation beim Hund ist keine Flüssigkeit zu gewinnen oder blutkontaminierte Flüssigkeit zu gewinnen (Clements 2006).

Eine Arthrozentese ist unter sterilen Bedingungen durchzuführen, mehrheitlich wird eine Sedation oder Narkose empfohlen (Clements 2006, Torres und Duerr 2020). Der Hund ist in Brust-Bauchlage oder Seitenlage fixiert. Der Carpus ist abgebeugt zu halten, sodass Radius und Metacarpus etwa einen rechten Winkel bilden. Die Haut kann im Bereich der Einstichstelle digital fixiert werden.

Die Punktion des Art. antebrachioarpea erfolgt 3-5 mm distal der Trochlea radii an der lateralen Kante der Sehne des M. extensor carpi radialis und medial der V. cephalica accessoria. Die senkrecht durch die Haut geführte Kanüle ist oblique in mediopalmarer Richtung langsam vorzuschieben, bis Synovia abgeht oder die Nadelspitze den Gelenkknorpel berührt (Clements 2006, Vollmerhaus 2007, Martinez und Santangelo 2017).

Die Größe, Außendurchmesser und Länge, der Kanüle richtet sich nach der Größe des zu punktierenden Hundes. Kleine Hunde 25 Gauge (G), mittlere Hunde 22 G, große Hunde 20 G, die Länge ist an Hundegröße und Gelenk anzupassen, wobei eine Länge von 40mm für kleine und mittlere Hunderassen und alle Gelenke geeignet ist. Für die Aspiration wird durchschnittlich eine sterile 2ml Einmalspritze verwendet (Baudin Tréhiou et al. 2020, Torres und Duerr 2020).

Die Punktion des Art. mediocarpea erfolgt 2-4 mm distal der cranialen Kante des Os carpi intermedioradiale, lateral der Sehne des M. extensor carpi radialis und medial der V. cephalica accessoria. Die Art. mediocarpea kommuniziert mit der Art. carpometacarpea (Vollmerhaus 2007, Martinez und Santangelo 2017). Die aspirierte Flüssigkeit wird im Anschluss weiterverarbeitet, zum Beispiel in ein Blutröhrchen mit EDTA verbracht und spezifisch untersucht. Eine Zusammenfassung über Zubehör und mögliche weiterführende Untersuchungen wird in Abbildung 18 zusammengefasst.

Arthrocentesis supplies

Sedation	<ul style="list-style-type: none"> • Sedation and monitoring supplies and equipment
Site preparation	<ul style="list-style-type: none"> • Hair clippers • Sterile scrub solution and alcohol • Sterile gauze • Sterile gloves
Needles	<ul style="list-style-type: none"> • Small dogs and cats = 25–22 g needles; 5/8" to 1" length • Medium to large dogs = 22–20 g needles; 1–1.5" length • Giant-breed dogs = may require spinal needle; 2.5" length
Syringes	<ul style="list-style-type: none"> • Sterile disposable syringes <ul style="list-style-type: none"> ○ Small dogs and cats = 1–3 ml ○ Medium- to Giant-breed dogs = 3–6 ml
Sample submission supplies	<ul style="list-style-type: none"> • Glass slides (and slide mailer) for <ul style="list-style-type: none"> ○ submission of freshly prepared smears • Pediatric blood culture flasks for <ul style="list-style-type: none"> ○ obtaining bacterial culture and sensitivity^a • Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) blood tubes (<i>purple or lavender top tubes</i>)^b for <ul style="list-style-type: none"> ○ total nucleated cell count ○ cytology ○ total protein (if not underfilled) • Sterile, no additive blood tubes (<i>red top glass tubes</i>)^c for <ul style="list-style-type: none"> ○ biochemical analytes (lactate, glucose, and total protein) ○ mucin clot test (rarely indicated) ○ obtaining bacterial culture and sensitivity^a • Heparin blood tubes (<i>green top</i>)^{b,c} for <ul style="list-style-type: none"> ○ mucin clot test (rarely indicated) ○ total nucleated cell count ○ total protein (if not underfilled)

^a Pediatric blood culture flasks are preferred (over culturette swabs or red top tubes) particularly if >0.5 ml of synovial fluid is available to increase the chances of obtaining a successful culture result. If large amounts of sample are available, cultures should be submitted in blood culture flasks and red top tubes (Chapter 9).

^b Small volume (pediatric) heparin and EDTA tubes are recommended to reduce dilutional effects that may lead to testing errors.

^c Unless EDTA blood tubes are unavailable, heparin blood tubes are generally not utilized. Please note that heparin tubes cannot be used for cytology.

Abbildung 18: Zusammenfassende Tabelle über Zubehör und mögliche weiterführende Untersuchungen bei einer Arthrozentese. Aus Marcellin-Little und von Pfeil (2020).

3.3 Synoviavolumen und Synoviauntersuchung

Die Synovia wird von den Synoviozyten gebildet. Das Synoviavolumen von gesunden Gelenken ist in der zugänglichen Literatur mit 0,1 – 1 ml Aspirationsvolumen angegeben (Baudin Tréhiou et al. 2020, Fernandes 2020, Torres und Duerr 2020). Spezifisch für den caninen Carpus ist ein physiologisches Synoviavolumen von 0,5 ml beschrieben (Whitelock 2001), differenzierte Volumenangaben zu den carpalen Gelenketagen werden nicht genannt. Erkrankungen des Carpus gehen häufig mit einer gesteigerten Gelenkfüllung einher, als Reaktion auf Verletzungen oder Entzündungen wird vermehrt Synovia gebildet (Vaughan 1985, Rondeau et al. 2005). Ursachen für eine gesteigerte Gelenkfüllung sind eine OCD (Morris und Anderson 2013), die carpale OA im Zusammenhang der „Angular limb deformity“ (Theyse et al. 2005) oder unterschiedliche immunvermittelten Arthritiden (Rondeau et al. 2005). Bei den immunvermittelten Arthritiden kann der diagnostisch wichtige Gelenkerguss klinisch und röntgenologisch am Carpus abwesend sein und eine Herausforderung für den Untersucher darstellen (Rondeau et al. 2005).

Zur Differenzierung und Klassifizierung einer Arthropathie wird die aspirierte Gelenkflüssigkeit untersucht. In der makroskopischen Untersuchung wird das Volumen, die Transparenz, die Farbe und die Viskosität bewertet und liefert erste Hinweise auf die vorliegende Arthropathie. Danach schließen sich labortechnische Untersuchungen wie zum Beispiel die zytologische und bakteriologische Untersuchung, die Zellzahlbestimmung, die Bestimmung des Proteingehaltes oder der Mucin Clot Test an (Clements 2006, Torres und Duerr 2020, Wood und Gibson 2020).

Weitere Biomarker wie das C-reaktive Protein sind zur weiteren Klassifizierung (Hillström et al. 2016) oder zum Monitoring (Bayer et al. 2023) in der Literatur beschrieben. Wenn nur wenig Synovia gewonnen wird, liefert die zytologische Untersuchung die meisten relevanten Informationen (Martinez und Santangelo 2017). Typische Ergebnisse einer Synoviauntersuchung sind in Tabelle 19 zusammengefasst.

Category	Subtype	Appearance	Volume	Protein concentration (g/dl)	Mucin clot	TNCC	% Neutrophils	% Mononuclear cells
Normal	N/A	Clear, pale yellow	Normal	1.5–3.0	Good	<3000	<10	80–90
Nonsuppurative	Osteoarthritis and trauma	Slightly cloudy and red (trauma)	Reduced, normal, or increased	>3.0	Fair to poor	3000–5000	<10	80–90
Suppurative	Infectious and immune-mediated	Cloudy and turbid	Increased	>3.0	Fair to very poor	3000–100000	20–99	0–80
Neoplastic	Highly variable – cytology primarily used as the differentiating feature							

TNCC, total nucleated cell count (cells/ μ l).

Abbildung 19: Zusammenfassende Tabelle über typische Ergebnisse einer Synoviauntersuchung bei normalen und kranken Gelenken. Aus Marcellin-Little und von Pfeil (2020).

3.4 Bildgebende Verfahren

Bildgebung mit Röntgen, Ultraschall, CT und MRT wird bei Patienten mit orthopädischen Fragestellungen zur Diagnosefindung angewendet. Eine Szintigraphie wird deutlich weniger und sehr selten durchgeführt (Marcellin-Little und von Pfeil 2020). Röntgen und Ultraschall sind die initialen Modalitäten zur Aufarbeitung einer Lahmheit, führen mehrheitlich zu einer Diagnose, sind breit verfügbares und im Vergleich kostengünstiges bildgebendes Verfahren (Tobolska et al. 2020). Neuere Verfahren wie die PET in Kombination mit CT als PET-CT sind am caninen Carpus bei einer Muskulotendinopathie des M. flexor carpi ulnaris beschrieben (Mann et al. 2016, Frank et al. 2019).

3.4.1 Röntgen

Mit der Röntgenuntersuchung des caninen Carpus lassen sich neben Frakturen und Dislokationen, (Guilliard und Mayo 2001, Vedrine 2013) Weichteilschwellungen, eine veränderte Röntgendichte des subchondralen Knochens, Osteophyten- oder Enthesiophytenbildung, Mineralisationen und eine veränderte Gelenkmorphologie aufzeigen (Allan und Davies 2018). Erkrankungen im Frühstadium oder die direkte Visualisierung von Weichteilstrukturen wie Bandstrukturen, Gelenkknorpel oder Synovia ist röntgenologisch nicht möglich (Allan und Davies 2018). Die Bewertung erfolgt indirekt, sekundär über periartikuläre oder subchondrale Veränderungen (Denny und Butterworth 2000, Allan und Davies 2018). Eine Korrelation zwischen dem röntgenologischen Schweregrad einer Arthrose und den klinischen Symptomen besteht nicht (Innes et al. 2004, DeLuke et al. 2012).

Standardprojektionen sind der dorsopalmare und mediolaterale Strahlengang. Bei Läsionen des Bandapparates werden zusätzlich Stressröntgenaufnahmen bzw. Funktionsröntgenaufnahmen in gehaltener Position durchgeführt. Dabei wird je nach Projektion eine kontrollierte Kraft auf die unterschiedlichen Gelenketagen ausgeübt. Eine Sedation oder Vollnarkose ist empfohlen, unterschiedliches Equipment zur Anfertigung wie ein Holzkochlöffel oder Sandsäcke sind beschrieben (Farrow 1982, Feldman und Sato 2022). Zur Untersuchung der Seitenbandstabilität wird der craniocaudale Strahlengang in maximaler Abduktion bzw. Adduktion durchgeführt. Zur Untersuchung der palmaren Strukturen wird der mediolaterale Strahlengang in maximaler Hyperextension durchgeführt (Farrow 1982, Slocum und Devine 1982, Beierer 2021, Feldman und Sato 2022). Gelegentlich sind weitere Schrägaufnahmen notwendig. Der mediolaterale Strahlengang in Flexion kann bei Frakturen hilfreich sein. Die contralaterale Seite ist identisch für den Vergleich zu röntgen. Bewertet wird unter anderem die periartikuläre Weichteilschwellung, Avulsionen, Gelenkspalterweiterung, Achsenabweichung oder Subluxation (Farrow 1982, Koestlin et al. 1986, Whitelock 2001, Marcellin-Little und von Pfeil 2020).

Eine häufig rupturierte Bandstruktur auf Höhe des Art. antebrachioarpea ist das mediale Kollateralband, was zu einer medialen Instabilität und Valgus Deformität führen kann (DeCamp et

al. 2016). Isolierte mediale Kollateralbandverletzungen außerhalb des Hyperextensionssyndrom sind selten und werden meist beim Greyhound beschrieben (Guilliard 1998). Eine unvollständige Seitenbrandruptur kann röntgenologisch gar nicht oder nur indirekt durch eine unspezifische Weichteilschwellung gekennzeichnet sein. Heilen Bandstrukturen unvollständig aus oder werden repetitiv geschädigt, sind dystrophen Verkalkung, Remodeling und Enthesiopathie mögliche Folgen (Guilliard 1998, Guilliard und Mayo 2000, Langley-Hobbs et al. 2007). Pericarpale Enthesiopathien sind im Bereich der Kollateralbänder, des M. abductor pollicis longus, des M. extensor carpi radialis, des M. flexor carpi ulnaris, des M. flexor carpi radialis und der Ligg. accessorio-metacarpea IV-IV beschrieben (Guilliard 1998, Guilliard und Mayo 2000, Hittmair et al. 2012, Allan und Davies 2018, Marcellin-Little und von Pfeil 2020).

3.4.2 Ultraschall

Der diagnostische Ultraschall ist eine häufige Ergänzung zur Röntgenuntersuchung, wenn keine offensichtlichen knöchernen Veränderungen vorliegen und der Verdacht einer musklotendinösen Erkrankung besteht. Weichteilstrukturen wie Sehnen, Bänder, Schleimbeutel, Nerven und anteilig Gelenke und Knochen können untersucht werden (Kramer et al. 1997, Dickie 2006).

Die dynamische Komponente einer Ultraschalluntersuchung von Weichteilstrukturen bietet einen Vorteil gegenüber anderen Modalitäten, Adhäsionen oder die Integrität von Sehnen können dabei untersucht werden (Cook 2016). Beim Hund wird der muskuloskeletale Ultraschall vielfältig angewendet (Kramer et al. 1997, Long und Nyland 1999, Bruce et al. 2000, Kramer et al. 2001, Arnault et al. 2009, Caine et al. 2009, Cook 2016, Gamble et al. 2017, Barella et al. 2018, Van der Vekens et al. 2019, Lassaigne et al. 2020)

Der muskuloskeletale Ultraschall kann am Carpus zur Darstellung der dorsalen (González-Rellán et al. 2021) und palmaren Normalanatomie (Entani et al. 2022, González-Rellán et al. 2023) angewendet werden. Die anatomischen Variationen der Strecksehnen im Bereich des Carpus und der Zehen lassen sich ultrasonographisch darstellen. In einer Kadaverstudie konnte unter anderem gezeigt werden, dass der M. extensor carpi radialis bei 4,4 % der untersuchten Hunde drei Endsehnen aufweist, die Extrasehne inseriert entweder unabhängig am vierten Metacarpus oder zusammen mit der zweiten Endsehne am dritten Metacarpus (Kamali et al. 2023). Die ultrasonographische Darstellung der Normalanatomie der Karpalkanalstrukturen ist beschrieben (Turan et al. 2009).

Im klinischen Kontext kann der Ultraschall zur Diagnose der Stenosierenden Tenosynovitis des M. abductor pollicis longus angewendet werden (Hittmair et al. 2012). Während die Röntgenuntersuchung hilfreich zur Darstellung des tiefen Sulcus und der Osteophytenbildung medial des distalen Radius ist, kann die unspezifische Weichteilschwellung ultrasonographisch weiter in Tendinitis und Veränderungen der Sehnenscheide (Füllung, Verdickung, Mineralisation) differenziert werden (Hittmair et al. 2012). Der muskuloskeletale Ultraschall kann einerseits zur

Diagnose einer Muskulotendinopathie des M. flexor carpi ulnaris als auch zur ultraschallgestützten therapeutischen Injektion eingesetzt werden (Franini et al. 2023).

Die ultrasonographische Diagnose eines Gelenkergusses ist in der zugänglichen Literatur am Carpus nicht beschrieben. Weitere mögliche Anwendung findet der Ultraschall bei Raumforderungen wie Hämatome (Kramer et al. 1997), einem Hamartom des M. flexor carpi ulnaris (Corzo-Menéndez et al. 2001), Lipome (Volta et al. 2006) und deren diagnostische Punktion, sowie bei der Fremdkörperdiagnostik (Armbrust et al. 2003) und Fremdkörperentfernung (Manfredi et al. 2020).

Der canine Carpus ist ein häufiges und vielfältiges Studienobjekt (Parker et al. 1981, Willer et al. 1990, Haburjak et al. 2003, Adams et al. 2005, Théoret und Moens 2007, Jerram et al. 2009, Neville-Towle et al. 2018, Milgram et al. 2019), Forschungsergebnisse aus Tiermodellen mit Hunden zur Arthritis (McCoy 2015) oder Heilung der tiefen Beugesehne (Zhang et al. 2018) finden Anwendung in der Humanmedizin. Diagnostischen Ultraschall des Carpus hat im Vergleich weniger Studieninteresse in der zugänglichen Literatur erfahren.

3.4.3 CT und Volumen Rendering Technologie (VRT)

Die CT bietet den Vorteil der kurzen Untersuchungszeit und der überlagerungsfreien Darstellung von Weichteil- und Knochenstrukturen. Eine genau Differenzierung einzelner Weichteilstrukturen ist nur begrenzt möglich. Häufig wird die CT am caninen Carpus bei Frakturen angewendet (Woods und Perry 2018). Die CT des Karpalkanal ist beschrieben (Turan und Erden 2003).

Eine CT-Arthrographie kann bei spezifischen Fragestellungen, wie zum Beispiel am Knie bei Kreuzbandruptur oder Meniskopathie, zur Verbesserung der Darstellbarkeit von Weichteilstrukturen eingesetzt werden (Van der Vekens et al. 2019).

Die CT-Arthrographie des caninen Carpus verbessert nicht die Darstellbarkeit des Bandapparats (Castelli et al. 2019), bei der Katze wird die Darstellbarkeit verbessert. (Basa et al. 2022).

Die CT ist ein auf Röntgenstrahlen basierendes Schnittbildverfahren. Ein CT-System besteht vereinfacht aus einer Gantry, auf deren rotierenden Seite Röntgenröhre und Detektor montiert sind sowie aus dem Patiententisch (Dössel 2016). Bei einer CT-Untersuchung wird der Patient mit einer Vielzahl an Röntgenstrahlen aus verschiedenen Blickwinkeln abgebildet. Der Patient stellt in diesem Moment einen Absorber dar. Die Schwächung der Röntgenstrahlen wird durch das Lambert-Beer'sche Gesetz beschrieben (Bushberg et al. 2012, Kachelrieß 2018). Entweder durchlaufen die Röntgenphotonen den Absorber auf direktem Weg, werden im Sinne des Photoeffektes absorbiert oder in andere Richtung im Sinne des Compton-Effekts gestreut. Die Röntgenstrahlen werden von den jeweiligen Detektoren aufgezeichnet und in ein Bildsignal umgewandelt. Durch die Rotation der Röntgenröhre werden dieselben Strukturen aus unterschiedlichen Richtungen mehrfach „durchleuchtet“, sodass aus mehreren zweidimensionalen Bildern ein dreidimensionales Bild entsteht. Durch die computergestützte Bildrekonstruktion, die

häufig mit dem Algorithmus der gefilterten Rückprojektion erfolgt, kann für jedes Volumenelement (Voxel) der Absorptionsgrad ermittelt und das Bild errechnet werden (Dössel 2016, Kachelrieß 2018).

Im CT-Bild wird diese Schwächung in Form von Grauwerten dargestellt. Es hat sich als vorteilhaft herausgestellt, die Schwächungskoeffizienten (μ) relativ zu den dominierenden Geweben und Stoffen eines Körpers darzustellen. Um dies zu erreichen, wird der lineare Schwächungskoeffizient ($\mu(r)$) mittels folgender linearer Transformation in den sogenannten CT-Wert umgerechnet und auf der Hounsfield-Skala ausgegeben (Bushberg et al. 2012, Kachelrieß 2018):

$$CT(r) = \frac{\mu(r) - \mu_{\text{Water}}}{\mu_{\text{Water}}} \cdot 1000 \text{ HU}$$

Die CT-Skala ist so aufgebaut, dass Luft einen CT-Wert von minus 1000 Hounsfield Units (HU) hat und Wasser einen CT-Wert von 0 HU. Für die bildliche Darstellung wird jeder CT-Zahl ein Grauwert zugeordnet. Bei Gewebe mit starker Absorption der Röntgenstrahlen werden die Voxel hell bzw. hyperattenuiert dargestellt. Bei Gewebe mit geringer Absorption der Röntgenstrahlen werden die Voxel dunkel bzw. hypoattenuiert dargestellt (Bushberg et al. 2012).

Die klassische Darstellung der CT-Bilder erfolgt in Binärbildern. Das sind digitale Grafiken, deren Pixel ausschließlich aus schwarz und weiß bzw. Graustufen bestehen. Die einfachste Form bestünde aus einem Raster von Nullen (schwarz) und Einsen (weiß), die dann ein schwarz-weißes Bild erzeugen würden. Für Graustufen werden weitere Zwischenstufen benötigt, zum Beispiel eine Skala von 0 (schwarz) bis 255 (weiß). Je niedriger bzw., je höher die Zahl, desto dunkler bzw. heller der jeweilige Pixel (Bushberg et al. 2012, Dössel 2016).

Bedingt durch die Varianz der Schwächungskoeffizienten, hat sich in der CT eine Binärbild mit 4096 Graustufen und einer Hounsfield-Skala von minus 1024 bis plus 3071 HU durchgesetzt. Dieser Bereich reicht für die Darstellung von Menschen und Tieren aus. Künstlich eingebrachte Materialien hoher Dichte, wie Metallimplantate oder unverdünntes Kontrastmittel, werden geometrisch korrekt aber dichtemäßig nicht korrekt dargestellt. Die über 3071 HU liegenden CT-Werte werden abgeschnitten und als 3071 HU eingetragen. Die 4096 Graustufen können vom menschlichen Auge nicht kontrastreich erfasst werden (Bushberg et al. 2012, Kachelrieß 2018).

Der Mensch kann ca. 200 Grautöne psychophysisch erkennen. (Grüsser und Grüsser-Cornehls 2000). Zur Kontrastverbesserung werden die CT-Bilder gefenstert. Definiert wird die Fensterung durch das Fensterzentrum C und die Fensterbreite W. Ein Graustufenfenster von C = 200 HU und W= 600 HU bedeutet, dass die CT-Werte zwischen minus 100 und plus 500 HU linear von schwarz bis weiß als Graustufen dargestellt werden und dass Werte unterhalb von minus 100 HU schwarz und Werte oberhalb von 500 HU weiß dargestellt werden. Klassische Fenster sind das

Knochenfenster ($W = 1600$ HU; $C = +500$ HU), das Weichteilfenster ($W = 400$ HU; $C = +50$ HU) und das Lungenfenster ($W = 1500$ HU; $C = -400$ HU) (Harris et al. 2011, Dössel 2016, Kachelrieß 2018).

Die VRT ist eine 3D-Nachverarbeitungstechnik in der CT und wird zur besseren Visualisierung komplexer Anatomie, Lehre oder chirurgischen Planung eingesetzt. Die Mehrschicht-Computertomographie liefert isotrope Voxel, hierbei haben alle drei Dimensionen des Volumens die gleiche Kantenlänge, eine wesentliche Voraussetzung für eine qualitativ hochwertige 3D-Visualisierung. Bildunschärfe oder Verzerrungen wären bei ungleichen Kantenlängen die Folge (Shin und Galonski 2002, Bushberg et al. 2012). Bei der direkten Volumenvisualisierung werden den gewonnenen CT-Werten Eigenschaften zugeordnet. Dies sind neben den klassischen Grauwerte auch Farbwerte und entsprechend ihrer Dichte eine Transparenz (Opazität) (Shin und Galonski 2002). Da der lineare Schwächungskoeffizient in guter Näherung proportional zur Massendichte des entsprechenden Gewebes ist, lässt sich der CT-Wert in guter Näherung als Dichtewert interpretieren (Kachelrieß 2018). Zur Betonung von Konturen, die klassisch Gewebeübergänge sind, wird zusätzlich die Dichtedifferenz unmittelbar benachbarter Volumenelemente (Gradient) als weitere Eigenschaft bestimmt (Shin und Galonski 2002). Alle Eigenschaften gehen mit unterschiedlicher Gewichtung in die VRT ein und produzieren so eine 3D-Volumenvisualisierung der Untersuchungsregion (Fang et al. 1998, Calhoun et al. 1999, König und Gröller 2001). Im Vergleich zu anderen Nachverarbeitungstechniken wie der Maximumintensitätsprojektion (MIP) oder der Minimumintensitätsprojektion (MinIP) wird bei der VRT nicht nur das Voxel mit maximaler (MIP) oder minimaler Dichte (MinIP) berücksichtigt, sondern alle Voxel entsprechend ihrer Dichte zugeordneten Opazität (Shin und Galonski 2002, Bushberg et al. 2012). Die VRT-Bilder können in einer filmartigen Sequenz (Cine-Mode) zusammengefasst werden. Durch die Segmentierung, also die virtuelle Entfernung von zum Beispiel knöchernen Strukturen aus einem 3D-Bild, besteht die Gefahr, dass relevante Strukturen entfernt werden, daher sollte die 3D-VRT neben weiteren komplexen

Gründen hauptsächlich zur Befundpräsentation und weniger zur Diagnosefindung verwendet werden (Shin und Galonski 2002, Bushberg et al. 2012).

3.4.4 MRT

Die MRT mit der nachteilig längeren Untersuchungsdauer findet ein breites Anwendungsgebiet bei muskuloskelettalen Fragestellungen. Die Verfügbarkeit und Nachfrage von MRTs in der Kleintiermedizin steigt. Die MRT eignet sich zur Erkennung von Erkrankungen des Knochen-, Gelenk- und Weichteilgewebes und ist damit ein umfassendste bildgebendes Diagnoseverfahren. (Sage und Gavin 2016).

Am caninen Carpus ist die Darstellbarkeit der Normalanatomie des Bandapparates (Nordberg und Johnson 1999) sowie dessen verbesserte Darstellbarkeit mittels MRT-Arthrographie (Castelli et al.

2019) beschrieben. Im Vergleich zur CT ermöglichen eine 3 Tesla MRT und MR-Arthrographie des caninen Carpus eine hervorragende Darstellung der Bandstrukturen (Castelli et al. 2019)

Im klinischen Kontext wird die MRT am Carpus weniger eingesetzt (Sage und Gavin 2016). Angewendet wird sie zum Beispiel bei Frakturen (Powder et al. 2016), muskulotendinöse Erkrankungen (Guilliard 2001) inklusive Fremdkörpersuche (Sage und Gavin 2016), „nonarticular osseus cyst-like lesions (Porter et al. 2018) oder Neoplasien (Basa et al. 2020).

3.4.5 Nuklearmedizin

Die diagnostische Nuklearmedizin hat mit der zunehmender Verfügbarkeit an Schnittbildverfahren an Bedeutung verloren. Die Szintigraphie fand Anwendung bei okkulten Lahmheiten (Schwarz et al. 2004, Samoy et al. 2008), der Coronoiderkrankung (Van Bruggen et al. 2010) oder Neoplasien (Berg et al. 1990, Leibman et al. 2001) und Metastasensuche (Forrest und Thrall 1994). Ein neueres bildgebendes Verfahren zur Untersuchung des Bewegungsapparates ist die PET in Kombination mit einem CT. Für diese Hybridbildgebung verwendet man radioaktiv markierte Glucose, F-18-Fluorodesoxyglukose (FDG), um den Zuckerstoffwechsel im Körper darzustellen. FDG zeichnet sich durch eine Aufnahme und Speicherung in hypermetabolischen Zellen aus und kann so zur Diagnose genutzt werden (Dössel 2016). Am caninen Carpus ist dieses Verfahren im Zusammenhang mit einer Muskulotendinopathie vom M. flexor carpi ulnaris beschrieben (Mann et al. 2016, Frank et al. 2019).

3.4.6 Arthrographie

Die Arthrographie ist eine radiologische Untersuchung eines Gelenkes mit intraartikulärer Injektion eines Kontrastmittels. Sie verbessert die Visualisierung von intraartikulären Strukturen wie Knorpel, Bänder oder Menisken und wird je nach Fragestellung und Verfügbarkeit mit verschiedenen Modalitäten (Röntgen, CT, MRT) durchgeführt. Einsatz findet die Arthrographie bei der Osteochondrose und Gelenkmäuse der Schulter, Kapseltrauma, Gelenkkapseladhäsionen, synoviale Hypertrophie, Muskulotendinopathie der Bicepssehne oder Desmopathie des cranialen Kreuzband (Suter und Carb 1969, Muir und Johnson 1994, Van der Vekens et al. 2019, Pappa et al. 2020). Die klassische Arthrographie mit Röntgen wurde mit zunehmender Verfügbarkeit durch CT und MRT ersetzt. (Allan und Davies 2018).

Man unterscheidet die Positivkontrast-Arthrographie mit iodhaltigen Kontrastmittel (Iohexol, Iothalamate, Diatrizoate) oder die Negativkontrast-Arthrographie mit Luft und die Doppelkontrast-Arthrographie mit iodhaltigem Kontrastmittel und Luft. Die Dosierung des iodhaltigen Kontrastmittel beträgt allgemein 150 mg I₂ pro ml Injektionsvolumen (Denny und Butterworth 2000). Das Injektionsvolumen ist von der Indikation und der Gelenkgröße abhängig, für den caninen Carpus

sind Volumenangaben von 1-3 ml mit 175 mg I₂ pro ml für das Art. antebrachioarpea et mediocarpea beschrieben (Castelli et al. 2019).

Bei der MRT-Arthrographie wird Gadolinium 1:200 mit physiologischer Kochsalzlösung verdünnt (0.5 mol/l Gadolinium in Saline) als positives Kontrastmittel verwendet (Osinski et al. 2006, Schaefer et al. 2010).

Zur Verbesserung der Bildschärfe kann ein positives Kontrastmittel mit Epinephrin (0,2 mg/Gelenk) kombiniert verabreicht werden (van Bree 1989, De Rycke et al. 2015). Die theoretische Erklärung liegt in der ausgelösten Vaskonstriktion und der damit verbundenen temporär reduzierten Flüssigkeitsbewegung und Kontrastmittelbewegung an der Synovialmembran (Spataro et al. 1978, Ng et al. 1989).

III PUBLIKATION

Das Manuskript:

“Arthrographic description of the canine carpal joint cavities and its recesses”

DOI: 10.1111/ah.13026

Sven Klußmann^{1,2}

Andrea Meyer-Lindenberg¹

Andreas Brühshwein¹

1. Clinic for Small Animal Surgery and Reproduction, LMU Munich, Munich, Germany

2. Equine Clinic, LMU Munich, Munich, Germany

Correspondence

Sven Klußmann, Equine Clinic, LMU Munich, 85764 Oberschleißheim, Germany

Email: Sven.Klussmann@lmu.de

wurde am 16.02.2024 akzeptiert und am 10.03.2024 im Journal of Anatomia, Histologia, Embryologia veröffentlicht.



Received: 9 January 2024 | Accepted: 16 February 2024

DOI: 10.1111/ah.13026

ORIGINAL ARTICLE



Arthrographic description of the canine carpal joint cavities and its recesses

Sven Klußmann^{1,2} | Andrea Meyer-Lindenberg¹ | Andreas Brühnschwein¹

¹Clinic for Small Animal Surgery and Reproduction, LMU Munich, Munich, Germany

²Equine Clinic, LMU Munich, Munich, Germany

Correspondence

Sven Klußmann, Equine Clinic, LMU Munich, Munich 85764, Germany.
Email: sven.klussmann@lmu.de

Abstract

Joint effusion is diagnostically important. The canine carpal joint effusion, which is sometimes difficult to detect clinically, has received less attention in diagnostic ultrasound (US) studies. The aim of the present study was to provide a description of the morphological appearance of the canine carpal joint cavities and recesses using US, radiography, helical computed tomography (CT) and three-dimensional volume rendering technique (3D-VRT) images and to prove the applicability of musculoskeletal US for the detection of artificial carpal joint effusion in dogs. The understanding of the characteristics of these structures in normal patients is essential in the diagnosis. Twenty-eight clinically and radiologically unremarkable canine carpal cadavers of different breeds were examined, representative images were selected and anatomical structures were labelled. The canine carpal joint cavities and in particular its recesses had a complex appearance with a basic structure found in all dogs: Antebrachiocarpal joint: dorsoproximal antibrachiocarpal recess, dorsodistal antibrachiocarpal recess, medial antibrachiocarpal recess, lateral antibrachiocarpal recess and five palmar antibrachiocarpal recesses. Middle carpal joint: two dorsal middle carpal recesses, medial common middle carpal and carpometacarpal recess, lateral common middle carpal and carpometacarpal recess, four palmar middle carpal recesses. The carpometacarpal joint had dorsal and palmar funnel-shaped and irregular, finely tubular extensions, the most prominent ran dorsal to metacarpal III, the maximum distal end represented the proximal metacarpal diaphysis. All recesses presented ultrasonographically as a generalized anechogenic to hypoechoic filled continuation of the articular capsule with an indistinct peripheral hypoechoic to isoechogenic fine capsule, the synovial-connective tissue interface was difficult to identify. The novel results of this study provide the first morphological description of the ultrasonographic, radiographic and computed tomographic arthrographic appearance of the canine carpal joint cavities and recesses with different injection volumes. The canine carpal joint cavities and in particular its recesses had a complex appearance with a basic structure found in all dogs. The applicability of musculoskeletal US to visualize an artificial carpal effusion has been demonstrated. The results of this study, and in particular US, give the

This is an open access article under the terms of the [Creative Commons Attribution License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

© 2024 The Authors. *Anatomia, Histologia, Embryologia* published by Wiley-VCH GmbH.

practitioner an advantage in visualizing joint effusion and assist in the decision to perform arthrocentesis.

KEYWORDS

arthrography, canine, carpus, computed tomography, joint capsule, ultrasound

1 | INTRODUCTION

The canine carpus with its seven carpal bones, arranged in two rows and held together by a multitude of carpal ligaments, is a complex joint and functions as a ginglymus (Yalden, 1970). These structures can be damaged by many causes and lead to forelimb lameness (Marcellin-Little & von Pfeil, 2020).

Traumatic hyperextension is a common injury and often results in multiligamentous pathology (Bristow et al., 2015), the radiocarpal and the carpometacarpal joints are most commonly involved (Denny & Barr, 1991; Parker et al., 1981). Fractures (DeCamp et al., 2016; Johnson, 1987; Li et al., 2000) and soft tissue diseases like carpal sprain injuries (Guilliard, 1997; Guilliard & Mayo, 2000) are described. Rare diseases are the neurofibroma of the ulnar nerve in the carpal canal (Basa et al., 2020) or the solitary osseous plasmacytoma of the second and third carpal bones (Reising et al., 2021). Interest in canine carpus research is diverse (Adams et al., 2005). Experimental cadaveric studies of the carpal hyperextension complex are described with regard to the kinematics of the antebrachiocarpal joint, the palmar radiocarpal ligament and the palmar ulnocarpal ligament (Milgram et al., 2019; Neville-Towle et al., 2018). Several surgical treatment options have been investigated, including partial carpal arthrodesis and panarthrodesis (Haburjak et al., 2003; Jerram et al., 2009; Parker et al., 1981; Théoret & Moens, 2007; Willer et al., 1990). The diagnostic workup of canine carpal lameness is classically based on orthopaedic and radiographic examinations, including stress radiography techniques as well as arthrocentesis and are sufficient in most cases to achieve an accurate diagnosis (Farrow, 1982; Marcellin-Little & von Pfeil, 2020; Tobolska et al., 2020). Injuries or mild loss of mineralized bone may be difficult or impossible to detect radiographically, direct visualization of soft tissue opaque structures such as cartilage or synovial fluid cannot be obtained in radiography with only periarticular and subchondral changes discernible (Allan & Davies, 2018). Arthroscopy of the antebrachiocarpal joint is described as a useful adjunct to standard diagnostic modalities (Warnock & Beale, 2004). US is described for the anatomy of the dorsal (González-Rellán et al., 2021) and palmar region (González-Rellán et al., 2023) or in the case of stenosing tenosynovitis of the abductor pollicis longus muscle (Hittmair et al., 2012). Advanced imaging such as magnetic resonance imaging (MRI) is used for carpal ligaments visualization (Castelli et al., 2019; Nordberg & Johnson, 1999) or for the diagnosis of the avascular necrosis of the intermedioradial carpal bone (Pownder et al., 2016). CT arthrography improves soft tissue differentiation and has successfully used for enhancing the appearance of the feline carpal ligaments (Basa et al., 2022) or as useful adjunct to surgery CT to find a diagnosis in the canine shoulder (Eivers et al., 2018).

Joint diseases are often associated with increased joint fluid in response to injury or inflammation (Rondeau et al., 2005; Vaughan, 1985). Immune mediated arthritis and its subtypes are a common form of carpal arthritis (Shaughnessy et al., 2016). Joint effusion with arthrocentesis and synovial fluid examination plays a key role in further differentiation and classification of joint disease (Harris & Santangelo, 2020). However, joint effusion can be difficult or even impossible for the examiner to detect clinically (Rondeau et al., 2005), which may influence the decision to use arthrocentesis in everyday clinical practice. The physiological carpal synovial volume is described as a drop of up to 1 mL (Clements, 2006; Cowell & Valenciano, 2014; Whitelock, 2001), canine carpal joint fluid or effusion has received less attention in diagnostic ultrasound studies. In horses, joint effusion can be reliably diagnosed by ultrasonography (Beccati et al., 2015). Morphological and imaging studies of the carpal joint cavity in horses (Ford et al., 1988; Gerdes et al., 2022; Getman et al., 2007; Gray et al., 2013; McQuillan et al., 2022; Suarez Sanchez-Andrade et al., 2018; Tnibar et al., 1993) and donkeys (Alsafy et al., 2015; El-Gendy et al., 2020) are described in various ways. In dogs, there is no imaging study with description of the carpal joint cavity and its recesses in healthy dogs, ultrasonographic studies on carpal joint effusion are lacking. Therefore, the aim of the present study was (1) to provide a description of the morphological appearance of the canine carpal joint cavities and recesses using US, radiography, helical CT and 3D-VRT arthrography images, (2) to prove the applicability of musculoskeletal US for the detection of carpal joint effusion in dogs.

2 | MATERIALS AND METHODS

The study design was prospective and descriptive. A structured flow chart with a detailed description of materials and methods is shown in Figure 1. All dogs used in this study were dead due to other reasons unrelated to this study, the owners have provided the dogs for teaching and research purposes. The study was conducted in accordance with the local legislation, all procedures were performed in accordance to animal care committee requirements.

2.1 | Canine carpal cadavers

A total of 38 canine carpal cadavers from 19 dogs of different breeds were collected. Carpal cadaver processing procedure: after an unremarkable orthopaedic and radiographic examination

in two planes, the forelimb was dissected proximal to the elbow, tightly placed adhesive tape prevented air entrapment and slippage of soft tissue structures distally (Figure 2). Due to continuous hospital operations and available refrigeration and storage facilities, freshly collected limbs were stored frozen (-12°C) for a maximum of 2 weeks. The hair was carefully clipped from the entire carpus and the skin was washed with soap. After thawing to room temperature, each carpus was radiographed again in two planes and examined by US and CT to rule out musculoskeletal disorders, particularly soft tissue damage or air entrapment during freezing and storage.

2.2 | Arthrocentesis and arthrography

Arthrocentesis and arthrography were carried out on the antebrachiocarpal joint and the middle carpal joint, but not on the carpometacarpal joint. A puncture of the carpometacarpal joint was not performed due to the described connection between the

middle carpal joint and the carpometacarpal joint (König et al., 2007; Salomon, 2020).

Arthrocentesis was performed flexed using anatomical landmarks (Vollmerhaus, 2007) under fluoroscopic guidance. The puncture of the antebrachiocarpal joint was performed 3–5 mm distal to the trochlea of radius at the lateral edge of the tendon of the extensor carpi radialis muscle and medial to the accessory cephalic vein. The needle was inserted vertically through the skin and advanced obliquely in a mediopalmar direction. The puncture of the middle carpal joint was performed 2–4 mm distal to the joint edge of the intermedioradia carpal bone, at the lateral edge of the tendon of the extensor carpi radialis muscle and medial to the accessory cephalic vein. The needle was considered to be safely intra-articular if the bevel of the needle was in the respective centre of the joint space. Aspiration of synovial fluid before the first contrast agent (CA) injection was performed and recorded.

For arthrography, the non-ionic, monomeric, triiodinated, water-soluble CA iohexol (Accupaque 300, GE Healthcare

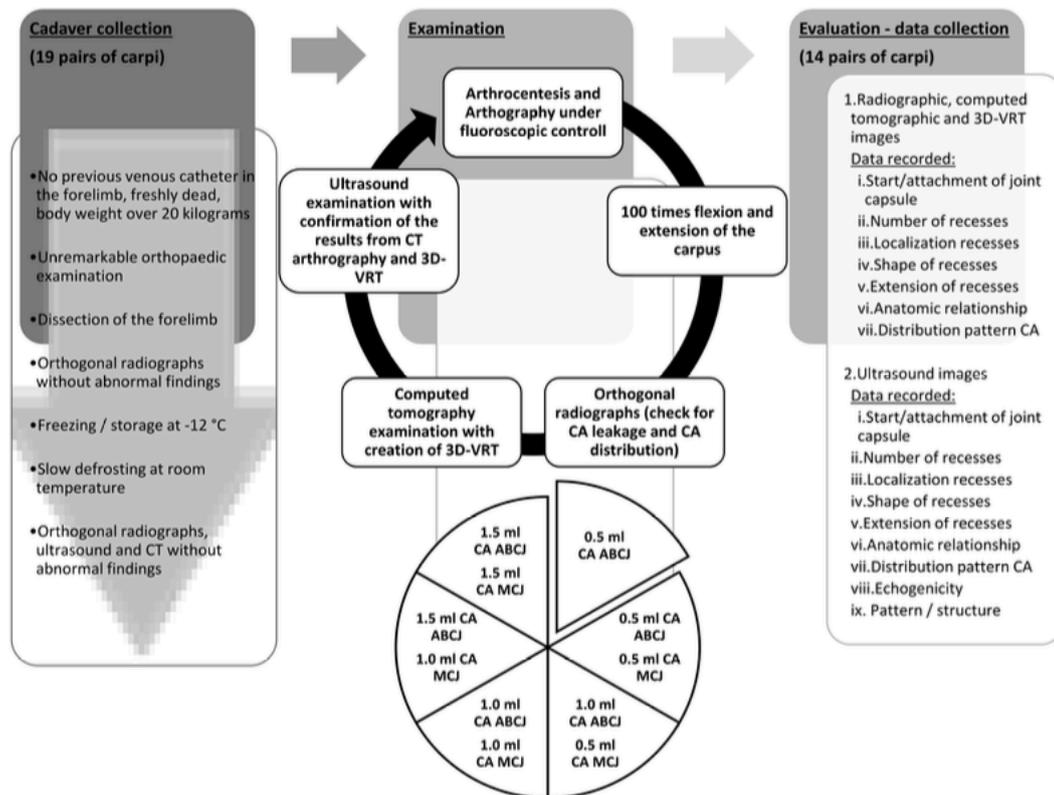


FIGURE 1 Flowchart materials and methods. ABCJ: antebrachiocarpal joint; CA, Contrast agent; MCJ, middle carpal joint; 3D-VRT: Three-dimensional volume rendering technique.



FIGURE 2 Cadaver preparation. The forelimb was dissected proximal to the elbow (a), tightly placed adhesive tape prevented air entrapment and slippage of soft tissue structures distally (b).

Buchler GmbH & Co. KG, Braunschweig, Germany) was diluted by 50% with saline solution for an iohexol concentration of 323,5 mg/mL, which corresponds to a bound iodine concentration of 150 mg iodine/mL. CA concentration was based on veterinary and human reference values to avoid beam hardening (Castelli et al., 2019; De Rycke et al., 2015; Moser et al., 2007; Samii et al., 2009). The diluted CA was warmed up by hand to body temperature for better viscosity. Under fluoroscopic control, 0.5 mL of diluted CA was injected three times into the antebrachiocarpal and middle carpal joint using a 27 g needle, six graded joint fillings were created. After each injection, the carpus was flexed and extended for 100 times to ensure adequate CA distribution, radiographic control for extraarticular contrast leakage and contrast distribution in a dorsopalmar and mediolateral view was performed and CT and US images were acquired. Joints with extravasation more than the needle tract with a small drop-shaped extraarticular

leak were excluded. Contrast injection was discontinued as soon palpable resistance was sensed during pressure on the syringe plunger or contrast backflow was identified on fluoroscopy. Twenty-eight canine carpal cadavers from 14 dogs (7 bitches and 7 dogs; age in years: 1–12, \varnothing 8,05; size in kg: 22–40, \varnothing 30,1) met all the inclusion criteria for examination and data collection: no previous venous catheter in the forelimb, freshly dead, body weight over 20 kg, carpi were present in pairs, orthopaedic, ultrasonographic, radiographic and computertomographic examination without evidence of musculoskeletal respectively soft tissue disorders in the carpal region or severe extravasation. All dogs were companion animals, neutered, and the breeds included three crossbreeds, two German Boxers, two Golden Retrievers, a Labrador Retriever, a Hungarian Short-Haired Pointer, a Siberian Husky, an Entlebucher Mountain Dog, a German Shepherd, a Border Collie and a Doberman Pinscher.

2.3 | CT examination

All examinations were performed with the 64-slice helical CT scanner SOMATOM Definition AS, CT070/13/S, from Siemens AG (Siemens Healthcare GmbH, Erlangen, Germany) with parameters of 140 mAs, 120 kV, 512 × 512 image size matrix, 0.6 mm reconstructed slice thickness, 0.6 mm reconstruction interval, rotation time 0.5 s, field of view as small as possible, but as large as necessary and kernel settings of B30s and B70s for all acquired data. Each carpus was positioned in head-first prone position on the CT table. The region of interest was set using a topogram and included the region from the distal third of the antebrachium to the middle third of the metacarpus. The canine carpus DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) studies were multiplanar reconstructed in transverse, sagittal, and dorsal planes at syngo CT Workplace (Siemens Healthcare GmbH, Erlangen, Germany), the colour image creation of the 3D-VRT (standard presetting: osseus transparent metal, Siemens Healthcare GmbH, Erlangen, Germany) was used for visualization of the joint capsules and recesses. The following data were collected: start/attachment of joint capsule, number of recesses, localization of recesses, shape of recesses, extension of recesses, anatomic relationship and distribution pattern of CA.

2.4 | US examination

The carpus was systematically divided into four surfaces in dorsal, palmar, medial, and lateral and examined ultrasonographically in transverse, sagittal and oblique planes from the distal third of the antebrachium to the proximal third of the metacarpus by a wide-band interoperative linear array transducer (LB-L18i-D Hockey Stick Probe, GE Healthcare, Solingen, Germany) without a standoff pad at an US



FIGURE 3 Radiographic and fluoroscopic (inverted) images of the arthrogram. 0.5 mL CA was injected with a 27 G needle in the dorsal and flexed approach into the antebrachiocarpal (a) and middle carpal joint (b, c). Opacification of the joint cavity on the dorsal and palmar side confirmed adequate CA administration (arrowhead). Please note the absence of communication between the radiocarpal and middle carpal joint. (c) The needle was safely intra-articular if the bevel of the needle was in the respective centre from the joint space. (d) radiographic control for extraarticular contrast leakage and CA distribution in the second plane. Please note the carpometacarpal joint cavity irregular appearance and the always distal extending and attaching to the proximal metacarpal bones at varying heights (arrowheads); the palmar recess of the middle carpal joint extended to the carpometacarpal joint I (arrow).

frequency of 15–18 MHz. Each carpus was examined before and after each injection of CA. The following data were collected: start/attachment of joint capsule, number of recesses, localization of recesses, shape of recesses, extension of recesses, anatomic relationship, distribution pattern of CA, echogenicity and pattern/structure.

2.5 | Evaluation

All radiographic, computed tomographic, ultrasonographic and 3D-VRT images and recorded data were evaluated and compared. The results and anatomical structures were compared with the literature (Entani et al., 2022; González-Rellán et al., 2021; González-Rellán et al., 2022; Hermanson, 2013; Mikić et al., 1992). Image viewing and analysis were performed and generated using medical imaging software Horos™ (version 3.3.6, <http://www.horosproject.org/>, open source, © 2022 Horos Project). Scan plane, window level and width and the zoom within the individual imaging study could be modified.

3 | RESULTS

The results of this study provide a morphological description of the arthrographic findings on US, CT, and radiography of artificially injected canine carpal joints and comprise the images presented in Figures 3–16. All 14 dogs showed for all modalities the same basic pattern in all carpi without side differences and sufficient opacification with 0.5 mL injected CA in the antebrachiocarpal and middle carpal joint. The amount of synovial fluid presented in the joints before the CA injection was not visualized ultrasonographically, radiographically and computed tomographically. The aspirated volume of arthrocentesis from the antebrachiocarpal and middle carpal joint was ≤ 0.1 mL. Ultrasonographically, each carpal joint capsule had a heterogeneous echogenic appearance and were confluent with the articular bone surface (Figure 14b/2), the synovial-connective tissue interface was indistinct to identify and the joint capsule fused with the echoes of adjacent soft tissue (Figure 14b/3). All carpal recesses presented as generalized anechogenic to hypoechoic (Figure 14b/1) filled continuation of the

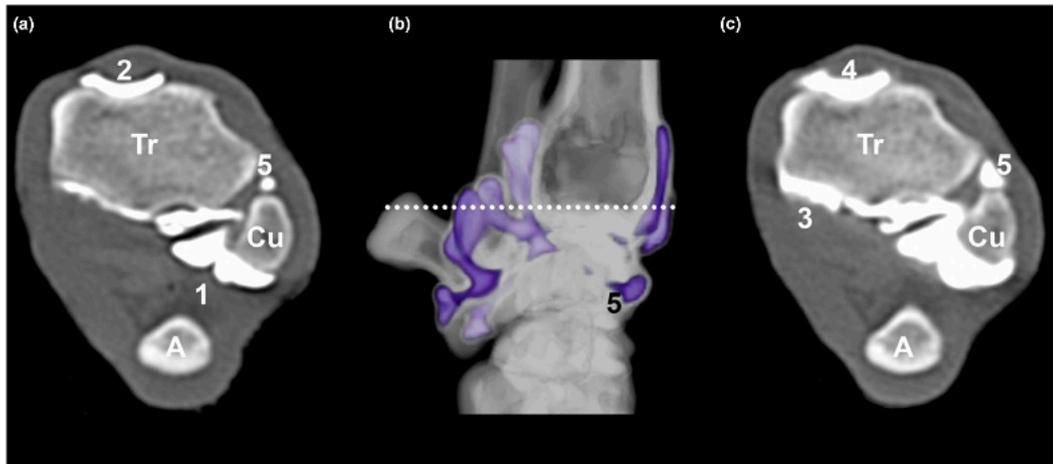


FIGURE 4 Distribution of CA of the antebrachioacarpal joint with increasing CA volume. The middle image (b) shows a lateral VRT 3D image of a canine carpal arthrogram with 0.5 mL CA filling, the white dashed line indicates the level of the transverse CT arthrogram images with 0.5 mL (a) and 1.0 mL (c) CA filling. Window (WW=500; WL=2500). (A) accessory carpal bone; (Cu) head of ulna; (Tr) trochlea of radius. The CA filling of the antebrachioacarpal joint first appeared mostly palmar with a palmarolateral (1) tendency as well as thin dorsoproximal (2) and dorsodistal (5), then thicker palmaromedial (3) and dorsoproximal (4), (5) distal radioulnar joint.

joint capsule with an indistinct peripheral hypoechoic to isoechoic fine capsule (Figure 14b/5). The basic pattern was as follows:

3.1 | Antebrachioacarpal joint

The antebrachioacarpal joint showed no synovial communication with the middle carpal joint, which always showed synovial communication with the carpometacarpal joint (Figure 3a,b). 0.5 mL CA filling of the antebrachioacarpal joint appeared first palmar (Figure 4) with a palmarolateral tendency (Figure 4a/1) as well as thin dorsoproximal (Figure 4a/2) and dorsodistal (Figure 4b/5). Then with 1.0 mL CA filling palmaromedial (Figure 4c/3) and thicker dorsal (Figure 4c/4), 1.5 mL CA filling resulted in generalized joint filling.

The antebrachioacarpal joint capsule released dorsal two map-like recesses. The dorsoproximal recess (Figure 5a-c/2) started broad-based at the craniodistal edge of the radius, filled completely the groove of extensor carpi radialis (Figure 5a/1) below the extensor carpi radialis longus et brevis muscle (Figure 5a/3) and ended at the level of the epiphyseal line (Figure 5c/1). The groove of extensor carpi radialis, the extensor carpi radialis brevis muscle and the dorsal antebrachioacarpal fat pad with its triangular shape proved to be a quickly found dorsal landmark (Figure 15 and 16). With increasing volume, the anechoic joint filling between bone and fat pad can be traced (Figure 16b/3-4), which is compressed and displaced dorsally out of the bone bed (Figure 16b/2).

The dorsodistal recess (Figure 5a-c/4) started at the cranio-proximal edge of the intermedioradial carpal bone and covered it mostly. The dorsoproximal and dorsodistal recess confluent to form the smaller drop shaped medial recess (Figure 5b/5) at the level of the

medial styloid process and the larger lateral recess (Figure 5b/6), which is squared and completely adjacent to the ulnar carpal bone. The palmar recesses showed a shape variance from teardrop-shaped (Figure 14b/1) to sac-like or irregular mushroom-like with a basic pattern of at least five recesses (Figure 9/3-7), one irregularly branched recess proximomedial to the radius (Figure 6/1), three further recesses proximolateral in the triangle of radius, ulna and accessory carpal bone (Figure 6/2-4), always one distolateral recess is located distal to the accessory carpal bone (Figure 6/5). There was CA filling of the distal radioulnar joint (Figure 4a,b/5).

3.2 | Middle carpal joint

The middle carpal joint was always associated with the carpometacarpal joint (Figure 3a,b). Tendency of CA distribution was not evident with certainty and the gradual volume increase led to more distension and generalized joint filling without a clear dominating shape. The dorsal middle carpal joint capsule began at the dorso-distal edge of the intermedioradial and ulnar carpal bone, continued circularly medially, laterally and palmarly, and ended at the dorso-proximal edge of the distal carpal bones (Figure 7a,b/arrow heads).

In the triangle of the intermedioradial carpal bone, the ulnar carpal bone and the carpal bone IV, there was a dorsal overlap of the dorsodistal antebrachioacarpal recess and the middle carpal joint in neutral (Figure 8/1-2) and slightly flexed position (Figure 9/arrow head).

There were always two dorsal middle carpal joint recesses, one extended from the distal edge of the intermedioradial carpal bone and covered completely the proximal half of the carpal bone III

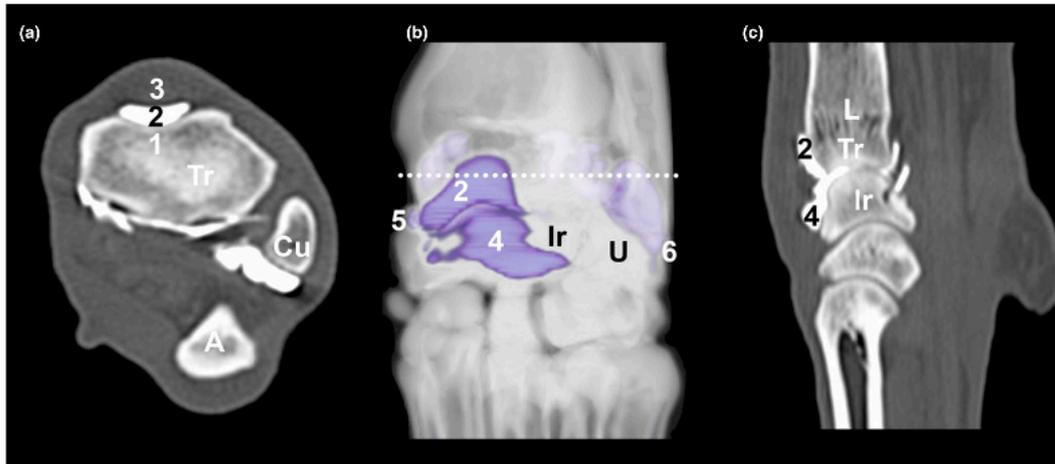


FIGURE 5 Dorsal, medial, and lateral antebrachioacarpal joint cavities and recesses. The middle image (b) shows a dorsal VRT 3D image of a canine carpal arthrogram with 0.5 mL CA filling of the antebrachioacarpal joint, the white dashed line indicates the level of the transverse (a) and sagittal (c) CT arthrogram images. Window (WW = 500; WL = 2500). (Tr) trochlea of radius; (Cu) head of ulna; (A) accessory carpal bone; (Ir) intermedioradial carpal bone (L) epiphysal line; (U) ulnar carpal bone. (1) groove of extensor carpi radialis; (2) dorsoproximal antebrachioacarpal recess; (3) extensor carpi radialis brevis muscle; (4) dorsodistal antebrachioacarpal recess; (5) medial antebrachioacarpal recess; (6) lateral antebrachioacarpal recess. Please note that in the dorsal VRT 3D image (b) the clear confluence to the lateral antebrachioacarpal recess was absent due to low CA volume.

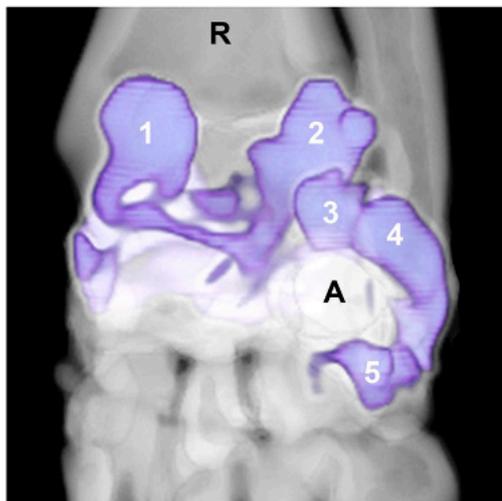


FIGURE 6 3D VRT CT image of the basic pattern of the five palmar antebrachioacarpal recesses. (A) accessory carpal bone; (R) radius; (1) proximomedial palmar antebrachioacarpal recess, (2-4) three proximolateral palmar antebrachioacarpal recesses, (5) distolateral palmar antebrachioacarpal recess.

(Figure 10a/1), the second extended from the distal edge of the ulnar carpal bone and covered the proximal two third of the carpal bone IV (Figure 10/2).

The middle carpal and the carpometacarpal joint formed a common drop-like medial (Figure 7a,b/4) and a lateral recess (Figure 7a,b/5). Proximally, the common medial recess was close to the distal end of the medial antebrachioacarpal recess, laterally it was not (Figure 10b/3-6).

In the palmar region there were always four recesses, the 1st almost completely covered the carpal bone I and extended to the carpometacarpal joint I without direct communication (Figure 3d/arrow), the 2nd one was between the intermedioradial carpal bone and the carpal bone III (Figure 11/8), the 3rd was between the ulnar carpal bone and the carpal bone IV (Figure 10a/7), the 4th recess (Figure 12/7), which was distal to the accessory carpal bone, extended from this.

3.3 | Carpometacarpal joint

The carpometacarpal joint filled in simultaneously with the injection of the middle joint.

Tendency of CA distribution was not evident with certainty and the gradual volume increase led to more distension and generalized joint filling. The carpometacarpal joint showed an irregular appearance without recognizing a constant pattern. The dorsal, medial, lateral and palmar joint capsule began close to the distal edge of the distal carpal bones, extended distally and attached to the proximal metacarpals at varying levels (Figure 3d/arrowheads). There were no clear dorsal and palmar recesses, they appeared here as funnel-shaped (Figure 12/8) and irregular, finely tubular extensions (Figure 11/10). Some conflated, extended dorsal and palmar along

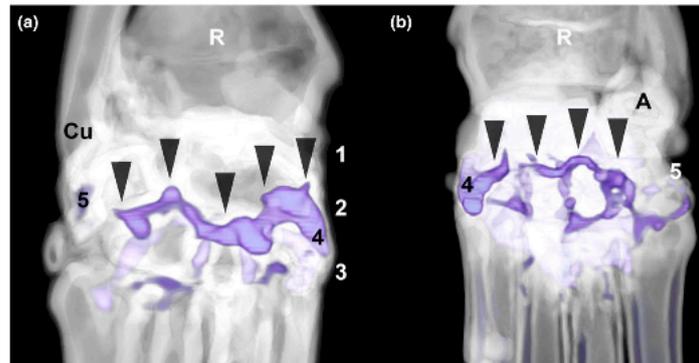


FIGURE 7 3D VRT CT images of the circularly running middle carpal joint cavity (arrow heads) in a dorsal (a) and palmar (b) view, isolated with 1.0 mL CA shown. (A) accessory carpal bone; (Cu) head of ulna; (R) radius; (1) antebrachiocarpal joint space; (2) middle carpal joint space; (3) carpometacarpal joint space; (4) common medial middle carpal and carpometacarpal recess; (5) common lateral middle carpal and carpometacarpal recess. The common lateral middle carpal and carpometacarpal recess was incompletely filled with contrast medium, the common fine confluence was visible.

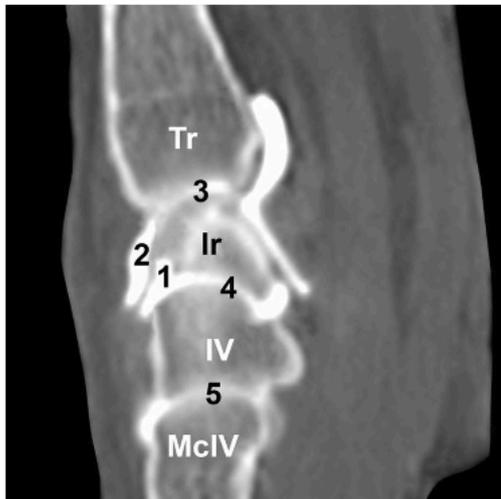


FIGURE 8 Sagittal CT arthrogram image of the overlap of the middle carpal joint with the part of the second dorsal middle carpal recess (1) with the dorsodistal antebrachiocarpal recess (2). Window (WW=500; WL=2500). (3) antebrachiocarpal joint space; (4) middle carpal joint space; (5) carpometacarpal joint space; (Ir) intermedioradial carpal bone; (McIV) metacarpal IV; (Tr) trochlea of radius; (IV) carpal bone IV.

the metacarpals I–V as well as in the intermetacarpal space. The most distal extension reached the level of the proximal metacarpal diaphysis (Figure 13). The most prominent finely tubular extension (Figure 11/9) ran dorsal to metacarpal III. Only ultrasonographically, the dorsal and palmar carpometacarpal tubular extensions could not be visualized distally.

3.4 | Extravasation

CA outside the joints along the needle tract occurred, but did not interfere with the evaluation of the images. In all dogs, 1.5 mL CA within in the antebrachiocarpal and the middle carpal joint generated back pressure with return flow into the syringe, and in seven dogs a small drop-shaped leak of CA occurred at the middle carpal joint when the needle was pulled out. Four carpi with extravasation more than needle tract or one drop CA leakage were not part of the study. Two carpi with a soft tissue defect due to improper storage and four carpi with degenerative changes were not included in this study.

4 | DISCUSSION

The aim of the present study was to provide a description of the morphological appearance of the canine carpal joint cavities and recesses using US, radiography, helical CT and 3D-VRT arthrography images. The novel results of this study provide the first morphological description of the ultrasonographic, radiographic and computed tomographic arthrographic appearance of the canine carpal joint cavities and recesses with different injection volumes. The canine carpal joint cavities and in particular its recesses had a complex appearance with a basic structure found in all dogs. The previous general description from the available literature (Evans & de Lahunta, 2013; Frewein et al., 2004; Horowitz & Berg, 2010; König et al., 2007; Mikić et al., 1992) are comprehensible, but in comparison to the results of this study, they only describe a part of the complex appearance. The described wide dorsal pouch of the antebrachiocarpal joint and the dorsal pouch of the middle carpal joint (Frewein et al., 2004) are comprehensible, at the antebrachiocarpal joint it presented as two recesses, the dorsoproximal antebrachiocarpal and the dorsodistal antebrachiocarpal recess, and at

FIGURE 9 Slightly flexed radiographic (a) and fluoroscopic (b) images of the arthrogram, contrast was injected with a 27 G needle (n) in the dorsal middle carpal joint under fluoroscopic control. There was an overlap (arrowhead) of the dorsal middle carpal joint (1) with the dorsodistal antebrachioacarpal recess (2). Please note the 5 clear basic palmar antebrachioacarpal recesses (3–7).

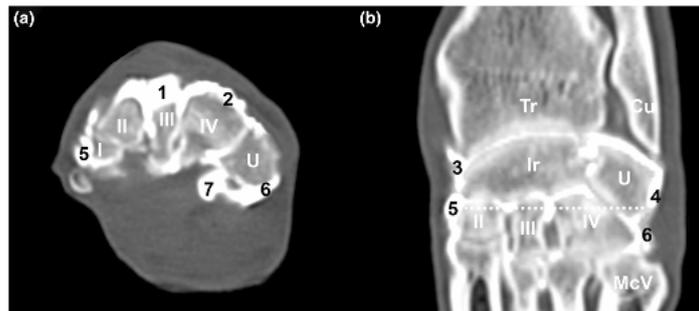
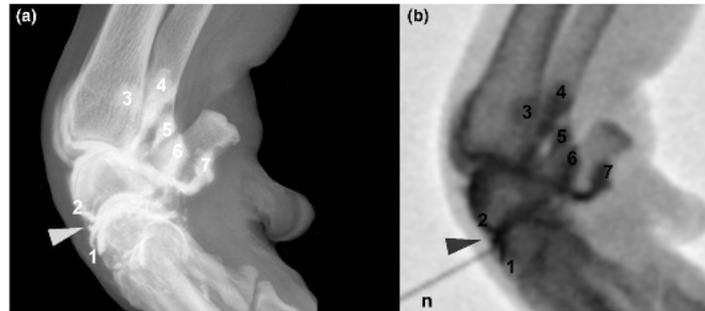


FIGURE 10 Transverse (a) and sagittal (b) CT arthrogram images of the 2 dorsal middle carpal recesses. Window (WW=500; WL=2500). The white dashed line indicates the level of the transverse CT arthrogram image. (Cu) head of ulna; (I) carpal bone I; (II) carpal bone II; (III) carpal bone III; (IV) carpal bone IV; (Ir) intermedioradial carpal bone; (McV) metacarpal V. (Tr) trochlea of radius; (U) ulnar carpal bone; (1) first dorsal middle carpal recess; (2) second dorsal middle carpal recess; (3) medial antebrachioacarpal recess; (4) lateral antebrachioacarpal recess; (5) common medial middle and carpometacarpal recess; (6) common lateral middle and carpometacarpal recess; (7) third palmar middle carpal recess.

the middle carpal joint it represented as two dorsal middle carpal recesses. The generally described multiple recesses of the antebrachioacarpal joint (Mikić et al., 1992) are in agreement with our results, their anatomical location, shape, and number were described precisely in this study.

Regardless of the size difference, the already described dorsal overlap of the antebrachioacarpal and the middle carpal joint in the cat (Basa et al., 2022) was also presented in all dogs. In our study, the antebrachioacarpal joint was always punctured first, there was no incorrect joint puncture of the middle carpal joint due to the dorsal overlap of the antebrachioacarpal joint and the middle carpal joint. In the clinical setting, diseased joints may differ morphologically from healthy joints; therefore, the dorsal overlap should be considered in diseased joints. For example, only the antebrachioacarpal joint may be altered or filled and mistakenly punctured as the middle carpal joint or vice versa, especially if the carpus is insufficiently flexed during puncture.

In veterinary medicine, arthrocentesis (Torres & Duerr, 2020) or arthrography (Reis Silva et al., 2013) can be performed 'blindly' with anatomical landmarks. In this study, correct needle placement was performed using anatomical landmarks (Vollmerhaus, 2007) and confirmed by fluoroscopy. Three types of extravasation occurred.

In addition to the subtle extravasation along the needle tract, which is interpreted for technical reasons, a small drop-shaped leak occurred when the needle was withdrawn in seven dogs with an injection volume of 1.5 mL CA in the middle carpal joint. The cause is not interpreted to be a malpuncture of the joint, but rather the pressure created due to the high injection volume. Diffuse dorsal extravasation and long-range contrast distribution in the extensor tendon sheath occurred in four study-excluded cadavers and can be considered as an arthrographic puncture failure. Post-mortem changes such as adhesions or a physiological connection would be other causes of direct communication between the tendon sheath and the joint cavity. For safe puncture of the joint cavity, in addition to using anatomical landmarks, it is recommended to lateralise and fixate the tendon structures with the fingers and to check the final position of the needle using US, fluoroscopy or radiography.

A further aim of this study was to prove the applicability of musculoskeletal US for the detection of carpal joint effusion in dogs using three ascending artificial joint fillings. For this purpose, all examined dogs were clinically and radiologically normal and had no joint effusion. The physiological carpal synovial volume is described as a drop of up to 1 mL (Clements, 2006; Cowell & Valenciano, 2014; Whitelock, 2001) in the literature. In our study, the aspirated volume

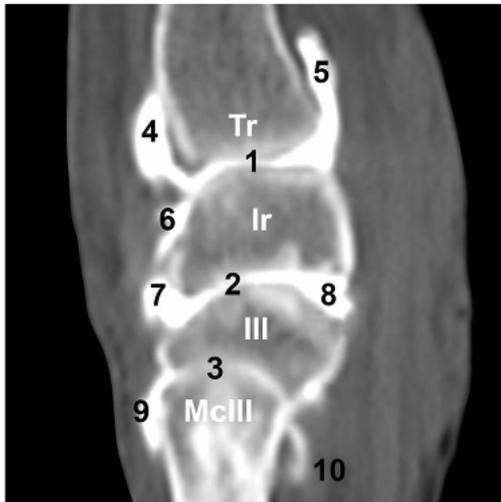


FIGURE 11 Overview of the dorsal and palmar carpal recesses, sagittal CT arthrogram image. Window (WW=500; WL=2500). (III) carpal bone III; (lr) intermedioradial carpal bone; (McIII) metacarpal III; (Tr) trochlea of radius; (1) antebrachiocarpal joint space; (2) middle carpal joint space; (3) carpometacarpal joint space; (4) dorsoproximal antebrachiocarpal recess; (5) proximolateral palmar antebrachiocarpal recess; (6) dorsodistal antebrachiocarpal recess; (7) first dorsal middle carpal recess; (8) second palmar middle carpal recess; (9) tubular dorsal carpometacarpal extension; (10) finely tubular palmar carpometacarpal extension.

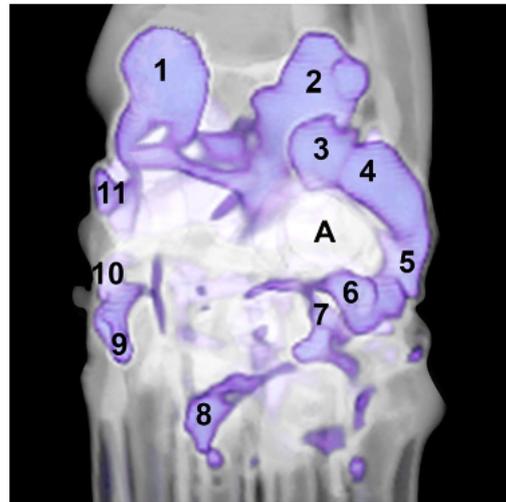


FIGURE 12 Overview of the palmar carpal recesses, 3D VRT CT arthrogram image in palmar view with 1.0 mL CA filling in both antebrachiocarpal and middle carpal joint. For a better understanding, please compare with the isolated filled antebrachiocarpal joint from Figure 2. (A) accessory carpal bone; (1) proximomedial palmar antebrachiocarpal recess; (2-4) proximolateral palmar antebrachiocarpal recesses; (5) lateral antebrachiocarpal recess; (6) distolateral palmar antebrachiocarpal recess; (7) fourth palmar middle carpal recess; (8) palmar carpometacarpal funnel-like extension; (9) first palmar middle carpal recess; (10) medial common middle carpal and carpometacarpal recess; (11) medial antebrachiocarpal recess.

of arthrocentesis from the antebrachiocarpal and middle carpal joint was ≤ 0.1 mL, thus, all carpi were in the lower range of the described reference value and had no joint effusion. This amount of synovial fluid presented in the joints before the CA injection was not visualized ultrasonographically, radiographically and computed tomographically. All artificial joint fillings could be visualized, demonstrating the applicability of US in the detection of artificial carpal effusion. This result should be transferable to clinical patients with carpal effusion. However, not all results from cadavers can necessarily be transferred to clinical patients, it must be considered that the synovial volume was either physiologically low or was reduced by the freezing process, it is also unclear whether the freezing process altered the fine joint capsule and recesses. Healthy carpal joints without a freezing process or an animal experiment are required for a reliable evaluation to draw conclusions about physiological canine carpal joint filling or joint effusion. Our injected volumes can be used as a guide for further research in canine carpal effusion.

A different pattern of contrast distribution from the antebrachiocarpal joint is described in the cat compared to the dog, the feline antebrachiocarpal joint tends to occur dorsally and distally first, with the palmar joint cavity filling last with CA (Basa et al., 2022). CA filling of the canine antebrachiocarpal joint always appeared initially palmarolaterally pronounced and dorsally thin without dorso-proximal or dorsodistal tendency, then palmaromedially and thicker

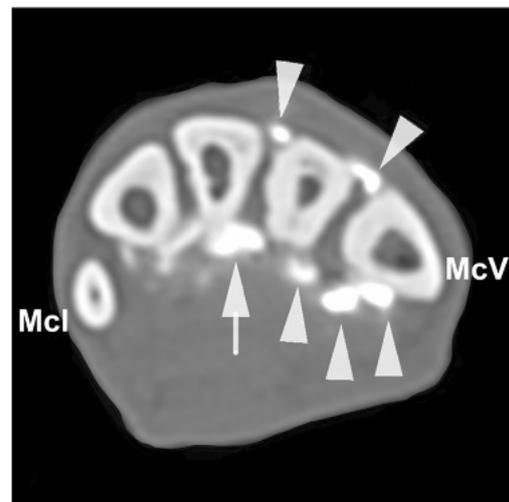


FIGURE 13 Transverse CT arthrogram image of the dorsal intermetacarpal and palmar carpometacarpal extensions, tubular (arrowheads) and confluent (arrow), at the level of the proximal metacarpal diaphysis. (Mcl) metacarpal I; (McV) metacarpal V.

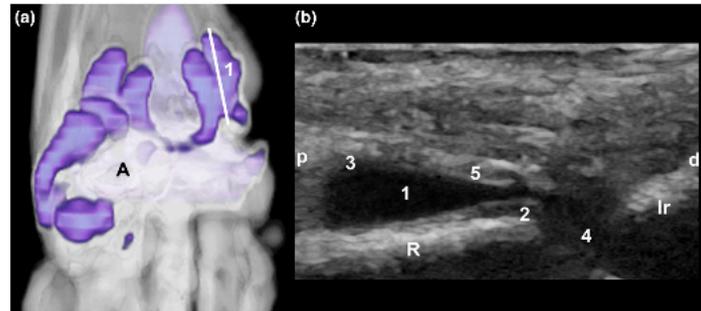


FIGURE 14 Sagittal ultrasonographic image (b) of the teardrop-shaped proximalateral palmar antebrachiocarpal recess, the white oblique line in the 3D-VRT CT arthrogram image in palmar view (a) shows the corresponding transducer position. (A) accessory carpal bone; (Ir) intermedioradial carpal bone; (R) radius; (p) proximal; (d) distal; (1) anechoic proximalateral palmar antebrachiocarpal recess; (2) joint capsule; (3) synovial-connective tissue interface; (4) antebrachiocarpal joint space; (5) indistinct peripheral hypoechoic to isoechoic fine recess capsule.

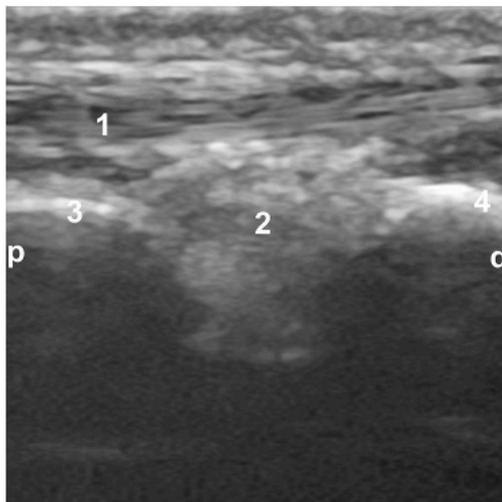


FIGURE 15 Sagittal ultrasonographic image of the unfilled dorsal antebrachiocarpal recess. (p) proximal; (d) distal; (1) extensor carpi radialis brevis muscle; (2) dorsal antebrachiocarpal fat pad; (3) groove of extensor carpi radialis; (4) intermedioradial carpal bone.

dosally. Disregarding the fact that an artificial joint effusion may not have the same distribution as a naturally occurring joint effusion, the canine distribution pattern suggested that a low-grade antebrachiocarpal joint effusion is clinically and radiographically difficult to detect or undetectable. Despite the variance of the recesses and the multitude of variable US positions for detection, an US examination with palmarolateral and dorsal focus is recommended, especially in questionable clinical situation or joint effusion. The sagittal plane is preferred, which allowed a better overview, and may enable imaging of two or three joint spaces together on one sonogram.

US and CT arthrography with the colour image creation of the 3D-VRT were reliable methods to identify the artificially injected joint fillings. All recesses could be visualized ultrasonographically. Carpometacarpal were no clear dorsal and palmar recesses, they appeared here as tubular extensions along the metacarpals I-V, which could not be visualized distally by US. The maximum distal end represented the proximal metacarpal diaphysis. The most prominent finely tubular extension runned dorsal to metacarpal III. In case of injury or an open metacarpal fracture, the anatomical position of the carpometacarpal joint with the finely tubular extension on metacarpus III should be taken into account with regard to joint involvement. Especially as metacarpal fractures are common in dogs (Muir & Norris, 1997), and most fractures affected the body followed by the base of metacarpus III (Kornmayer et al., 2014).

The limitations of the present study were, first, the heterogeneity and the number of included dogs, which did not permit analyses transferable to the whole canine population. Additional studies are necessary to generate this data in specific breeds and sizes to characterize what a veterinarian will observe in a clinical setting. Second, the results were obtained by a combination of three imaging techniques alone compared with the current literature, histological studies would be conceivable. Third, the US examination was performed with one US probe, a wide-band interoperative linear array transducer. Further examinations with different US probes and lower US frequencies would be useful, as a high-frequency transducer is not always available in the clinical setting and different equipment is used. Fourth, the technically necessary pressure to be applied for optimal coupling was not standardized and may lead to variable results.

In conclusion, this study provided a complete description of the appearance of the canine carpal joint cavities and their recesses. In clinically absent or unclear carpal joint effusion, US assists the practitioner in deciding to perform an arthrocentesis by visualizing the joint effusion. Further studies about ultrasonographic characteristics of carpal disorders and the sensitivity and applicability are required.

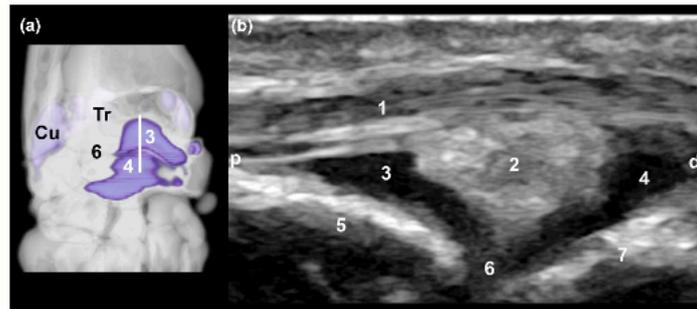


FIGURE 16 Sagittal ultrasonographic image (b) of the filled dorsal antebrachioacarpal recess, the white line in the 3D VRT CT arthrogram image in dorsal view (a) shows the corresponding transducer position. (Cu) head of ulna; (Tr) trochlea of radius; (p) proximal; (d) distal; (1) extensor carpi radialis brevis muscle; (2) dorsal antebrachioacarpal fat pad; (3) dorsoproximal antebrachioacarpal recess; (4) dorsodistal antebrachioacarpal recess; (5) groove of extensor carpi radialis; (6) dorsal antebrachioacarpal joint space; (7) intermedioradial carpal bone. Please compare with Figure 13 and note the dorsal displacement of the antebrachioacarpal fat pad.

ACKNOWLEDGEMENTS

We are deeply indebted to the many colleagues and friends who offered intellectual guidance and valuable advice. Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

CONFLICT OF INTEREST STATEMENT

The authors declare that there is no conflict of interest.

DATA AVAILABILITY STATEMENT

The data that support the findings of this study are available from the corresponding author S.K. Whenever possible, the persistent identifier (DOI) was inserted along the reference.

ORCID

Sven Klufsmann  <https://orcid.org/0009-0000-1491-045X>

Andrea Meyer-Lindenberg  <https://orcid.org/0000-0001-6137-3773>

org/0000-0001-6137-3773

Andreas Brühnschwein  <https://orcid.org/0000-0002-7833-8031>

REFERENCES

- Adams, J. E., Zobitz, M. E., Reach, J. S., Jr., An, K. N., Lewallen, D. G., & Steinmann, S. P. (2005). Canine carpal joint fusion: A model for four-corner arthrodesis using a porous tantalum implant. *The Journal of Hand Surgery*, 30(6), 1128–1135. <https://doi.org/10.1016/j.jhns.2005.08.008>
- Allan, G., & Davies, S. (2018). Radiographic signs of joint disease in dogs and cats. In D. E. Thrall (Ed.), *Textbook of veterinary diagnostic radiology* (Vol. 7, pp. 403–433). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-48247-9.00033-4>
- Alsafy, M. A. M., El-Gendy, S. A. A., & Abou-Ahmed, H. M. (2015). The carpal joint of the donkey (*Equus asinus*): Morphological investigation. *International Journal of Morphology*, 33, 948–954. http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-95022015000300023&nrm=iso
- Basa, R. M., Crowley, A. M., & Johnson, K. A. (2020). Neurofibroma of the ulnar nerve in the carpal canal in a dog: Treatment by marginal neurectomy. *The Journal of Small Animal Practice*, 61(8), 512–515. <https://doi.org/10.1111/jsap.12945>
- Basa, R. M., Johnson, K. A., & Podadera, J. M. (2022). The effect of CT and MRI with and without arthrography on the appearance of the feline carpal ligaments. *BMC Veterinary Research*, 18(1), 368. <https://doi.org/10.1186/s12917-022-03463-6>
- Beccati, F., Gialletti, R., Passamonti, F., Nannarone, S., Di Meo, A., & Pepe, M. (2015). Ultrasonographic findings in 38 horses with septic arthritis/tenosynovitis. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 56(1), 68–76. <https://doi.org/10.1111/vru.12183>
- Bristow, P. C., Meeson, R. L., Thorne, R. M., Butterworth, S. J., Rutherford, S., Renwick, A. I. C., Wustefeld-Janssens, B., Witte, P. G. K., Woods, S., Parsons, K. J., Keeley, B. J., Owen, M. R., Li, A., & Arthurs, G. I. (2015). Clinical comparison of the hybrid dynamic compression plate and the castless plate for pancarpal arthrodesis in 219 dogs. *Veterinary Surgery*, 44, 70–77. <https://doi.org/10.1111/j.1532-950X.2014.12183.x>
- Castelli, E., Pozzi, A., Klisch, K., Scotti, L., Hoey, S., & Dennler, M. (2019). Comparison between high-field 3 tesla MRI and computed tomography with and without arthrography for visualization of canine carpal ligaments: A cadaveric study. *Veterinary Surgery*, 48(4), 546–555. <https://doi.org/10.1111/vsu.13186>
- Clements, D. (2006). Arthrocentesis and synovial fluid analysis in dogs and cats. *In Practice*, 28(5), 256–262. <https://doi.org/10.1136/inpractice.28.5.256>
- Cowell, R. L., & Valenciano, A. C. (2014). *Cowell and Tyler's diagnostic cytology and hematology of the dog and cat*. Elsevier <https://books.google.de/books?id=BOTXIAEACAAJ>
- Denny, H. R., & Barr, A. R. S. (1991). Partial carpal and pancarpal arthrodesis in the dog: A review of 50 cases. *Journal of Small Animal Practice*, 32(7), 329–334. <https://doi.org/10.1111/j.1748-5827.1991.tb00943.x>
- De Rycke, L. M., Gielen, I. M., Dingemans, W., Kromhout, K., & van Bree, H. (2015). Computed tomographic and low-field magnetic resonance arthrography: A comparison of techniques for observing intra-articular structures of the Normal canine shoulder. *Veterinary Surgery*, 44(6), 704–712. <https://doi.org/10.1111/vsu.12321>
- DeCamp, C. E., Johnston, S. A., Déjardin, L. M., & Schaefer, S. L. (2016). 14 - fractures and other orthopedic conditions of the carpus, metacarpus, and phalanges. In C. E. DeCamp, S. A. Johnston, L. M. Déjardin, & S. L. Schaefer (Eds.), *Brinker, Piermattei and Flo's handbook of small animal orthopedics and fracture repair* (Fifth ed., pp. 389–433). W.B. Saunders. <https://doi.org/10.1016/B978-1-4377-2364-9.00023-9>
- Eivers, C. R., Corzo-Menéndez, N., Austwick, S. H., Thomson, D. G., Gibson, S. M., Handel, I., & Schwarz, T. (2018). Computed

- tomographic arthrography is a useful adjunct to survey computed tomography and arthroscopic evaluation of the canine shoulder joint. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 59(5), 535–544. <https://doi.org/10.1111/vru.12670>
- El-Gendy, S. A. A., Alsafy, M. A. M., Rutland, C. S., El-Khamary, A. N., Abu-Ahmed, H. M., & El-Kammar, M. H. (2020). Morphological and imaging evaluation of the metacarpophalangeal and metatarsophalangeal joints in healthy and lame donkeys. *Journal of Equine Veterinary Science*, 88, 102904. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2019.102904>
- Entani, M. G., Frani, A., Barella, G., Saleri, R., De Rensis, F., & Spattini, G. (2022). High-resolution ultrasonographic anatomy of the carpal tendons of sporting border collies. *Animals*, 12(16), 2050 <https://www.mdpi.com/2076-2615/12/16/2050>
- Evans, H. E., & de Lahunta, A. (2013). Arthrology. In *Miller's anatomy of the dog* (Vol. 4th, pp. 158–184). Elsevier Health Sciences <https://books.google.de/books?id=6eBOAQAQBAJ>
- Farrow, C. S. (1982). Stress radiography: Applications in small animal practice. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 181(8), 777–784. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7141974>
- Ford, T. S., Ross, M. W., & Orsini, P. G. (1988). Communications and boundaries of the middle carpal and carpometacarpal joints in horses. *American Journal of Veterinary Research*, 49(12), 2161–2164.
- Frewein, J., Nickel, R., Schummer, A., & Seiferle, E. (2004). Knochen der Schultergliedmaße, Verbindungen der Knochen der Schultergliedmaße. In *Lehrbuch der Anatomie der Haustiere* (Vol. 8, pp. 67–97). Parey <https://books.google.de/books?id=VU4mNYC6GyC>
- Gerdes, C., Morgan, R., Terry, R., Foote, A., & Smith, R. (2022). Computed tomographic arthrography, gross anatomy and histology demonstrate a communication between synovial invaginations in the proximal aspect of the third interosseous muscle and the carpo-metacarpal joint in horses. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, 958598. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.958598>
- Getman, L. M., McKnight, A. L., & Richardson, D. W. (2007). Comparison of magnetic resonance contrast arthrography and arthroscopic anatomy of the equine palmar lateral outpouching of the middle carpal joint. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 48(6), 493–500. <https://doi.org/10.1111/j.1740-8261.2007.00286.x>
- González-Rellán, S., Barreiro, A., Cifuentes, J. M., & Fdz-de-Trocóniz, P. (2022). Anatomy of the palmar region of the carpus of the dog. *Animals (Basel)*, 12(12), 1573. <https://doi.org/10.3390/ani12121573>
- González-Rellán, S., Fdz-de-Trocóniz, P., & Barreiro, A. (2021). Ultrasonographic anatomy of the dorsal region of the carpus of the dog. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 62(5), 591–601. <https://doi.org/10.1111/vru.13003>
- González-Rellán, S., Fdz-de-Trocóniz, P., & Barreiro, A. (2023). Ultrasonographic anatomy of the palmar region of the carpus of the dog. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 64(3), 546–556. <https://doi.org/10.1111/vru.13224>
- Gray, S. N., Puchalski, S. M., & Galuppo, L. D. (2013). Computed tomographic arthrography of the intercarpal ligaments of the equine carpus. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 54(3), 245–252. <https://doi.org/10.1111/vru.12033>
- Guilliard, M. J. (1997). Dorsal radiocarpal ligament sprain causing intermittent carpal lameness in high activity dogs. *The Journal of Small Animal Practice*, 38(10), 463–465. <https://doi.org/10.1111/j.1748-5827.1997.tb03442.x>
- Guilliard, M. J., & Mayo, A. K. (2000). Sprain of the short radial collateral ligament in a racing greyhound. *The Journal of Small Animal Practice*, 41(4), 169–171. <https://doi.org/10.1111/j.1748-5827.2000.tb03188.x>
- Haburjak, J. J., Lenehan, T. M., Davidson, C. D., Tarvin, G. B., Carlson, K. R., & Hayes, A. (2003). Treatment of carpometacarpal and middle carpal joint hyperextension injuries with partial carpal arthrodesis using a cross pin technique: 21 cases. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology*, 16, 105–111. <https://doi.org/10.1055/s-0038-1632760>
- Harris, A., & Santangelo, K. (2020). Joint fluid analysis and collection considerations. In F. M. Duerr (Ed.), *Canine Lameness* (pp. 111–123). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781119473992.ch9>
- Hermanson, J. W. (2013). The muscular system. In H. E. Evans & A. de Lahunta (Eds.), *Miller's anatomy of the dog* (Vol. 4, pp. 185–280). Elsevier Health Sciences <https://books.google.de/books?id=6eBOAQAQBAJ>
- Hittmair, K. M., Groessl, V., & Mayrhofer, E. (2012). Radiographic and ultrasonographic diagnosis of stenosing tenosynovitis of the abductor pollicis longus muscle in dogs. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 53(2), 135–141. <https://doi.org/10.1111/j.1740-8261.2011.01886.x>
- Horowitz, A., & Berg, R. (2010). Thoracic limb. In K. D. Budras (Ed.), *Anatomy of the dog* (Vol. 5, pp. 16–27). Schlütersche Verlagsgesellschaft mbH & Company KG <https://books.google.de/books?id=kEuBQAQBAJ>
- Jerram, R. M., Walker, A. M., Worth, A. J., & Kuipers von Lande, R. G. (2009). Prospective evaluation of pancarpal arthrodesis for carpal injuries in working dogs in New Zealand, using dorsal hybrid plating. *New Zealand Veterinary Journal*, 57(6), 331–337. <https://doi.org/10.1080/00480169.2009.60927>
- Johnson, K. A. (1987). Accessory carpal bone fractures in the racing greyhound Classification and Pathology. *Veterinary Surgery*, 16(1), 60–64. <https://doi.org/10.1111/j.1532-950x.1987.tb00914.x>
- König, H. E., Liebich, H. G., & Bragulla, H. (2007). Vorder-oder Schultergliedmaßen. In *Anatomie der Haussäugetiere: Lehrbuch und Farbatlas für Studium und Praxis* (Vol. 3, pp. 141–210). Wiley <https://books.google.de/books?id=QoXIBjSp368C>
- Kornmayer, M., Failing, K., & Matis, U. (2014). Long-term prognosis of metacarpal and metatarsal fractures in dogs. A retrospective analysis of medical histories in 100 re-evaluated patients. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology*, 27(1), 45–53. <https://doi.org/10.3415/vcot-13-03-0038>
- Li, A., Bennett, D., Gibbs, C., Carmichael, S., Gibson, N., Owen, M., Butterworth, S. J., & Denny, H. R. (2000). Radial carpal bone fractures in 15 dogs. *The Journal of Small Animal Practice*, 41(2), 74–79. <https://doi.org/10.1111/j.1748-5827.2000.tb03167.x>
- Marcellin-Little, D. J., & von Pfeil, D. J. F. (2020). Carpal Region. In F. M. Duerr (Ed.), *Canine Lameness* (pp. 169–193). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781119473992.ch13>
- McQuillan, S., Kearney, C., Hoey, S., Connolly, S., & Rowan, C. (2022). A threshold volume of 10 ml is suggested for detecting articular cartilage defects in equine carpal joints using CT arthrography: Ex vivo pilot study. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 63(1), 54–63. <https://doi.org/10.1111/vru.13028>
- Mikić, Ž. D., Ercegan, G., & Somer, T. (1992). Detailed anatomy of the antebrachioacarpal joint in dogs. *The Anatomical Record*, 233(2), 329–334. <https://doi.org/10.1002/ar.1092330217>
- Milgram, J., Stockman, J., Segev, G., Meiner, Y., & Shipov, A. (2019). Contribution of palmar radiocarpal and ulnocarpal ligaments to the stability of the canine Antebrachioacarpal joint. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology*, 32(4), 305–313. <https://doi.org/10.1055/s-0039-1685208>
- Moser, T., Dosch, J.-C., Moussaoui, A., & Dietemann, J.-L. (2007). Wrist ligament tears: Evaluation of MRI and combined MDCT and MR arthrography. *American Journal of Roentgenology*, 188(5), 1278–1286. <https://doi.org/10.2214/ajr.06.0288>
- Muir, P., & Norris, J. L. (1997). Metacarpal and metatarsal fractures in dogs. *The Journal of Small Animal Practice*, 38(8), 344–348. <https://doi.org/10.1111/j.1748-5827.1997.tb03482.x>
- Neville-Towle, J. D., Tan, C. J., Parr, W. C. H., Walsh, W. R., & Johnson, K. A. (2018). Three-dimensional kinematics of the canine carpal bones imaged with computed tomography after ex vivo axial limb

- loading and palmar ligament transection. *Veterinary Surgery*, 47(6), 861–871. <https://doi.org/10.1111/vsu.12921>
- Nordberg, C. C., & Johnson, K. A. (1999). Magnetic resonance imaging of normal canine carpal ligaments. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 40(2), 128–136. <https://doi.org/10.1111/j.1740-8261.1999.tb01897.x>
- Parker, R. B., Brown, S. G., & Wind, A. P. (1981). Pancarpal arthrodesis in the dog: A review of forty-five cases. *Veterinary Surgery*, 10(1), 35–43. <https://doi.org/10.1111/j.1532-950X.1981.tb00627.x>
- Pownder, S. L., Cooley, S., Hayashi, K., Bezuidenhout, A., Koff, M. F., & Potter, H. G. (2016). Non-invasive magnetic resonance imaging diagnosis of presumed intermedioradial carpal bone avascular necrosis in the dog. *The Canadian Veterinary Journal*, 57(8), 879–881. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27493290>
- Reis Silva, H., Uosyte, R., Clements, D. N., Bergkvist, G. T., & Schwarz, T. (2013). Computed tomography and positive contrast computed tomographic arthrography of the canine shoulder: Normal anatomy and effects of limb position on visibility of soft tissue structures. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 54(5), 470–477. <https://doi.org/10.1111/vru.12054>
- Reising, A. J., Donnelly, L. L., Flesner, B. K., Maitz, C. A., & Bryan, J. N. (2021). Solitary osseous plasmacytomas in dogs: 13 cases (2004–2019). *The Journal of Small Animal Practice*, 62(12), 1114–1121. <https://doi.org/10.1111/jsap.13411>
- Rondeau, M. P., Walton, R. M., Bissett, S., Drobatz, K. J., & Washabau, R. J. (2005). Suppurative, nonseptic Polyarthropathy in dogs. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 19(5), 654–662. <https://doi.org/10.1111/j.1939-1676.2005.tb02743.x>
- Salomon, F. V. (2020). Bewegungsapparat. In F. V. Salomon, H. Geyer, & U. Gille (Eds.), *Anatomie für die Tiermedizin* (Vol. 4, pp. 36–248). Thieme. [10.1055/b-007-168897](https://doi.org/10.1055/b-007-168897)
- Samii, V. F., Dyce, J., Pozzi, A., Drost, W. T., Mattoon, J. S., Green, E. M., Kowaleski, M. P., & Lehman, A. M. (2009). Computed tomographic arthrography of the stifle for detection of cranial and caudal cruciate ligament and meniscal tears in dogs. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 50(2), 144–150. <https://doi.org/10.1111/j.1740-8261.2009.01507.x>
- Shaughnessy, M. L., Sample, S. J., Abicht, C., Heaton, C., & Muir, P. (2016). Clinical features and pathological joint changes in dogs with erosive immune-mediated polyarthritis: 13 cases (2004–2012). *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 249(10), 1156–1164. <https://doi.org/10.2460/javma.249.10.1156>
- Suarez Sanchez-Andrade, J., Richter, H., Kuhn, K., Bischofberger, A. S., Kircher, P. R., & Hoey, S. (2018). Comparison between magnetic resonance imaging, computed tomography, and arthrography to identify artificially induced cartilage defects of the equine carpal joints. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 59(3), 312–325. <https://doi.org/10.1111/vru.12598>
- Théoret, M. C., & Moens, N. M. (2007). The use of veterinary cuttable plates for carpal and tarsal arthrodesis in small dogs and cats. *The Canadian Veterinary Journal*, 48(2), 165–168. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1780233/pdf/cvj48pg165.pdf>
- Tnibar, M., Kaser-Hotz, B., & Auer, J. A. (1993). Ultrasonography of the dorsal and lateral aspects of the equine carpus: Technique and normal appearance. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 34(6), 413–425. <https://doi.org/10.1111/j.1740-8261.1993.tb02030.x>
- Tobolska, A., Adamiak, Z., & Głodek, J. (2020). Clinical applications of imaging modalities of the carpal joint in dogs with particular reference to the Carpal Canal. *J Vet Res*, 64(1), 169–174. <https://doi.org/10.2478/jvetres-2020-0006>
- Torres, B. T., & Duerr, F. M. (2020). Arthrocentesis technique. In F. M. Duerr (Ed.), *Canine Lameness* (pp. 93–104). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781119473992.ch7>
- Vaughan, L. C. (1985). Disorders of the carpus in the dog II. *British Veterinary Journal*, 141(5), 435–446. <https://doi.org/10.1016/0007-1935>
- Vollmerhaus, B. (2007). Gelenkpunktion (Arthrozentese). In H. Schebitz & W. Brass (Eds.), *Operationen an Hund und Katze* (pp. 19–24). Parey <https://books.google.de/books?id=MPD306OmNLOC>
- Warnock, J. J., & Beale, B. S. (2004). Arthroscopy of the antebrachio-carpal joint in dogs. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 224(6), 867–874. <https://doi.org/10.2460/javma.2004.224.867>
- Whitelock, R. (2001). Conditions of the carpus in the dog. *In Practice*, 23(1), 2–13. <https://doi.org/10.1136/inpract.23.1.2>
- Willer, R. L., Johnson, K. A., Turner, T. M., & Piermattei, D. L. (1990). Partial carpal arthrodesis for third degree carpal sprains. A review of 45 carpi. *Veterinary Surgery*, 19(5), 334–340. <https://doi.org/10.1111/j.1532-950x.1990.tb01201.x>
- Yalden, D. W. (1970). The functional morphology of the carpal bones in carnivores. *Acta Anatomica (Basel)*, 77(4), 481–500. <https://doi.org/10.1159/000143557>

How to cite this article: Klußmann, S., Meyer-Lindenberg, A., & Brühshwein, A. (2024). Arthrographic description of the canine carpal joint cavities and its recesses. *Anatomia, Histologia, Embryologia*, 53, e13026. <https://doi.org/10.1111/ah.13026>

Das Manuskript:

“Ultrasonography as a sensitive and specific diagnostic modality for the detection of specific canine carpal disorders”

Sven Klußmann^{1,2}
Andreas Brühshwein¹
Andrea Meyer-Lindenberg¹

1. Clinic for Small Animal Surgery and Reproduction, LMU Munich, Munich, Germany
2. Equine Clinic, LMU Munich, Munich, Germany

Correspondence

Sven Klußmann, Equine Clinic, LMU Munich, 85764 Oberschleißheim, Germany

Email: Sven.Klussmann@lmu.de

“Wird im Journal of Veterinary Radiology & Ultrasound eingereicht werden.“

Ultrasonography as a sensitive and specific diagnostic modality for the detection of specific canine carpal disorders

Sven Klußmann^{1,2}, Andreas Brühshwein², Andrea Meyer-Lindenberg²

¹Equine Clinic, Centre for Clinical Veterinary Medicine, LMU Munich, Oberschleißheim, Germany

²Clinic of Small Animal Surgery and Reproduction, Centre for Clinical Veterinary Medicine, LMU Munich, Munich, Germany

* Correspondence:

Sven Klußmann

Sven.Klussmann@lmu.de

Keywords: joint effusion₁, ligament₂, musculoskeletal₃, soft tissue disorder₄, tendon₅

Abstract

Ultrasonography is a widely available diagnostic modality for the detection of musculoskeletal disorders in dogs. The complex canine carpus may be injured by traumatic, inflammatory, infectious, neoplastic, and degenerative disorders. Recent literature has demonstrated that high-resolution ultrasonographic anatomy of the canine carpus is possible. Ultrasonographic studies of disorders are less available, mostly case reports or limited to a single anatomical carpal structure. Published studies detailing the sensitivity and specificity of canine carpus diagnostic ultrasound are currently lacking. The primary aim of this prospective, single center, descriptive, diagnostic accuracy study was to evaluate the sensitivity and specificity of musculoskeletal US for the diagnosis of various canine carpal disorders, using a final confirmed diagnosis, based on arthrocentesis, microbiologic, histopathologic, CT, MRI, or surgical findings, and a clinical course of at least one year, as the gold standard for comparison. The secondary aim was to investigate and characterize US findings of individual canine carpal disorders to provide ultrasonographic reference data for evaluating dogs with suspected carpal disorder. For this purpose, the medical records of dogs with a confirmed carpal disorder (N = 41 dogs; n = 48 carpi) were analyzed, ultrasonographic and radiographic appearance of the various carpal disorders were evaluated, sensitivity, specificity, and overall diagnostic accuracy of radiographs and US for detecting disordered carpal structures and for detecting final carpal disorder were calculated. For ethical reasons, healthy canine carpi or carpi without clinical indication were not examined in everyday clinical practice. To provide a comparable and comprehensive analysis, these data were obtained from 8 unremarkable and freshly dead dogs. US has been shown to be a reliable diagnostic modality for the detection of various canine carpal disorders with a sensitivity of 100%, a specificity of 40%, and an overall accuracy of 78.6%. If one considers only the ability of US to detect all affected carpal structures, specificity (72.7 %) and an overall accuracy (94.6 %) increased. The ability to correctly assign the altered carpal structures to one disease category (polyarthropathy, bone lesions, neoplasia, musculotendinous disorders), specificity (88.9 %) and overall accuracy (98.2 %) increased. Overall, radiographic examination was less suitable for detecting disordered structures or making a specific or category diagnosis. While the sensitivity of the radiographs was high (100 %), the overall specificity was rather low (22-23 %), resulting in an overall accuracy of about 50 %.

The other results of our study provide the first detailed ultrasonographic case collection of various canine carpal disorders and can serve as reference data for evaluating dogs with suspected carpal disorder. Soft tissue swelling is the most common sign of canine carpal disorder, the disease-specific distribution pattern has been analyzed and summarized in an ultrasonographic and radiographic map to aid in diagnosis. The dorsal displacement of the antebrachio-carpal fad pat was a reliable ultrasonographic finding for the diagnosis of antebrachio-carpal joint effusion. The main ultrasonographic finding for every musculotendinous disease (n = 30; 63 %) was a

heterogeneous volume increase, and a hypoechogenic to mixed echogenicity of the corresponding disordered anatomical structure. Additional studies with larger case numbers on hyperextension injury, especially fractures and luxation are required.

Abbreviations

Accessoriometacarpal ligament IV (AMLIV)
Accessoriometacarpal ligament V (AMLV)
Abductor pollicis longus muscle (APLM)
Extensor carpi radialis muscle (ECRM)
Extensor digitorum communis muscle (EDCM)
Flexor carpi radialis muscle (FCRM)
Flexor carpi ulnaris muscle (FCUM)
Superficial digital flexor muscle (SDFM)
Deep digital flexor muscle (DDFM)
Lateral collateral ligament (LCL)
Medial collateral ligament (MCL)
Antebrachiocondylar joint (ABCJ)
Mediocarpal joint (MCJ)
Carpometacarpal joint (CMCJ)

1. Introduction

The complex anatomy and various soft tissue structures of the canine carpus (1-3) can be damaged in different ways, resulting in forelimb lameness (4). Different fractures (5-10), dislocations (11-15), ligament (16-20) and tendon (21-24) diseases, or neoplasms (25-29) and osteoarthritis with the immune mediated arthritis and its subtypes (12, 30, 31) have been described. Traumatically acquired hyperextension caused by jumping or falling from a great height is a common injury in the canine population and often results in multiligamentous lesions (32, 33). The radiocarpal and the carpometacarpal joints are most involved (34, 35). Experimental cadaver studies on the kinematics of the radiocarpal joint and the palmar ligamentous apparatus in the context of hyperextension injury were performed (36, 37). Canine sport-related carpal injuries have been increasingly noted (38, 39). In a survey of racing greyhounds, the second most injured body region was the carpus, usually with fractures of the accessory carpal bone or sprains of the carpus, the rate of carpal injuries reached 17% (40). Less common carpal abnormalities include ischemic necrosis of individual carpal bones (41-43), or genetic malformations such as ectrodactyly (44, 45). The diagnostic workup of canine carpal lameness is classically based on orthopedic and radiographic examinations, including stress radiography techniques as well as arthrocentesis and are sufficient in most cases to achieve an accurate diagnosis (4, 46). Radiography is the first-choice imaging modality to assess alignment and integrity of bones (4, 47). Early-stage disease or direct visualization of soft tissue structures such as ligaments, articular cartilage or synovial fluid is not possible with radiography (48). Further advanced imaging modalities such as computed tomography (CT) (49, 50), positron emission tomography (PET)-CT (51, 52), or magnetic resonance imaging (MRI) (26, 50, 53-55) are used for specific indications in the carpal region. In humans, according to the European Society of Musculoskeletal Radiology (ESSR), ultrasonography (US) is the first-choice technique for tendons, nerves and soft tissue evaluation of the wrist, other imaging modalities rarely provide more information (56). Musculoskeletal US of the canine carpus can be used to visualize normal anatomy (57-59) or intraspecific anatomical variations of the extensor tendons (60). In a clinical context, it is described for the diagnosis of stenosing tenosynovitis of the abductor pollicis longus muscle (61), or tendinopathy of the flexor carpi ulnaris muscle (22, 23). Regions other than the carpus are more frequently examined when comparing musculoskeletal US regions in dogs (47, 62-74). The primary aim of the current study was to evaluate the sensitivity, specificity and accuracy of musculoskeletal US and radiographs for the diagnosis of various canine carpal disorders, using a final diagnosis, based on arthrocentesis, microbiologic, histopathologic, CT, MRI, or surgical

findings, and a clinical course of at least one year, as the gold standard for comparison. The secondary aim was to investigate and characterize US findings of individual canine carpal disorders to provide ultrasonographic reference data for evaluating dogs with suspected carpal disorder.

2. Materials and Methods

2.1 Selection and description of subjects

This prospective, single-center case series study analyzed the medical records of the Clinic of Small Animal Surgery and Reproduction, LMU Munich, Germany between 2018 and 2022 for dogs with a suspected carpal disease. Data were collected for patients that had undergone a general and orthopedic examination indicating carpal disease only. Inclusion criteria were a neurological examination without abnormalities, a musculoskeletal US, and a radiographic examination of the carpus, with at least two orthogonal projections, and a final confirmed diagnosis of carpal disease. The final diagnosis based on arthrocentesis, microbiologic, histopathologic, CT, MRI, or surgical findings, and a clinical course of at least one year. Each individual case was performed by or under the supervision of the authors (A.M-L.)² and (A.B.)²; or ECVS board-certified surgeons. Cases were excluded from the study if a definitive final diagnosis of carpal disorder, ultrasonographic images or diagnostic imaging reports were not available. For ethical reasons, healthy carpi or carpi without clinical indication were not examined in everyday clinical practice; to provide a comparable and comprehensive statistical analysis, these data were obtained from a fresh cadaver study. The owners have provided the dogs for teaching and research purposes. The study was conducted in accordance with the local legislation, all procedures were performed in accordance with Animal care and Use committee requirements. Inclusion criteria for healthy carpal cadavers were: All dogs were freshly dead (<3 hours) due to other reasons unrelated to this study, had no previous venous catheter in the forelimb, were stored without a freezing process, had the same available data as the living population without a history of carpal disorder, an unremarkable orthopedic and radiographic examination in two planes, an unremarkable arthrocentesis volume of the radiocarpal and mediocarpal joint (75-77), and an unremarkable US and CT examination (49, 50, 78-80). All decisions regarding the inclusion or exclusion of cases were made jointly by the authors of the study.

2.2 Generation of imaging data

All imaging data, both, the in vivo and the ex vivo group, were generated in the same way. Radiographs were taken on a direct digital radiography system (Siemens Axiom Luminos dRF; Siemens Healthcare GmbH, Erlangen Germany). Mediolateral and dorsopalmar radiographs of the distal front limb were always available, additional functional radiographs (4, 33, 46, 81) were available for evaluation when indicated, such as suspected or clinical instability, hyperextension, avulsions, or fractures. US examination of the carpus was performed with a GE LOGIQ E9 (GE Healthcare, Solingen, Germany), using a wide-band interoperative linear array transducer (L8-L18i-D Hockey Stick Probe, GE Healthcare, Solingen, Germany) without a standoff pad at an ultrasound frequency of 15-18 MHz. For US the patient was placed in lateral recumbency with the carpus to be examined in the uppermost position. The hair was carefully clipped from the entire carpus, the skin was washed with soap, and ultrasonographic gel was applied to ensure good contact between the skin and the transducer. All US examinations of the in vivo group were performed by the authors (S.K.)^{1,2} and (A.B.)², the US examinations of the carpal cadavers were performed by the author (SK)^{1,2}. Frequency, depth, focus, and gain were set and optimized for each patient. To have ultrasound images that can be evaluated, and reproducible, certain criteria were established prior to this study and apply in principle at Clinic of Small Animal Surgery and Reproduction, LMU Munich². A longitudinal image through muscle, tendon or ligament was defined as a scan in the same direction of the grain of the fiber. The application surface laid on the upper position of the ultrasound image. A transverse image was done perpendicular to the longitudinal image. The left side of the image was cranial, and the right side was caudal. In a

cranial or caudal image, the left side was medial, and the right was lateral. The systematic of the ultrasound examination was determined by the lesions and the course of anatomical structures (1, 57, 58, 60, 82-86). CT and MRI (1.5T MAGNETOM Symphony, Siemens, Erlangen, Germany) were only partially performed in the in vivo group, depending on the indication, with standard protocols. CT were always performed in the ex vivo group.

CT examinations were performed with a 64-slice helical CT scanner (SOMATOM Definition AS, CT070/13/S, Siemens Healthcare GmbH, Erlangen, Germany) with parameters of 140 mAs, 120 kV, 512 x 512 image size matrix, 0.6 mm reconstructed slice thickness, 0.6 mm reconstruction interval, rotation time 0.5 s, field of view as small as possible, but as large as necessary and kernel settings of B30s and B70s for all acquired data. Each carpus was positioned in head-first prone position on the CT table. The region of interest was set using a topogram and included the region from the distal third of the antebrachium to the middle third of the metacarpus.

A total of 12 dogs were examined in the ex vivo group. 8 carpal cadavers from 8 dogs of different breeds met all the inclusion criteria (5 dogs and 3 bitches, all were neutered; age: 9.2 ±3.8 years; body weight: 28.3±6.3 kg; all dogs were companion animals, breeds included: 3 Crossbreeds, Golden Retriever, Magyar Vizsla, Boxer, German Shepard, Labrador Retriever). The included carpi were always present on both sides; the contralateral side was intended for student training. 4 dogs were excluded due to severe carpal arthrosis. The data of the included cadaver population were reviewed, analyzed, and evaluated in the same way as the living population.

2.3 Data Recording and Analysis

Medical records were reviewed by the author (S.K.). In the first step of data evaluation, signalment, body weight, medical history, general and orthopedic examination findings, microbiologic, histopathologic, and surgical findings, therapy and treatment plans, clinical course, and the final confirmed diagnosis of the carpus were analyzed and documented. The orthopedic examination included gait assessment, palpation, and provocation samples. Lameness was graded on a modified 0 to 5 scale (87) (0: no lameness; 1: indistinctly slightly lame; 2: clearly slightly lame (noticeable in stride); 3: moderately lame (not constant strain); 4: highly lame (only brief loading); 5: extremely lame (no weight bearing). Pain, pericarpal soft tissue swelling, joint effusion and instability were graded on a 4-point scale (0: normal; 1: mild; 2: moderate; 3 severe). The clinical course of the in vivo group was finally assessed after 1 year as: no lameness, symptom free; residual lameness, improvement; lameness, no improvement; euthanasia.

In the second step of data evaluation, ultrasonographic and radiographic images were reviewed independently of each other and analyzed. Disordered carpal structures were identified, imaging findings and a finale imaging diagnosis were made and compered to documented data like imaging reports and final confirmed diagnosis.

Radiographic evaluation: In addition to the radiographic signs, each carpus was divided into 8 areas from the distal third of the antebrachium to the proximal third of the metacarpus (1: proximomedial area; 2: proximolateral area; 3: distomedial area; 4: distolateral area; 5: cranioproximal area; 6: caudoproximal area; 7: dorsodistal area; 8: palmarodistal area) (88), and systematically evaluated for normal findings and carpal disorder (4, 48, 61, 89). The following was documented: anatomical structures, soft tissue swelling and disorders, dislocations or misalignments, abnormal opening of the joint space (neutral or stressed, varus, valgus, extension, flexion); fractures, avulsions; enthesophytes; mineralization; osteophytes or degenerative joint disease, malformations; osteolysis; sclerosis; and aggressive bone lesions. Where possible, the 4-point scale was used.

Ultrasonographic evaluation: Each carpus was divided into 16 areas from the distal third of the antebrachium to the proximal third of the metacarpus (Cranial/Dorsal areas: 1: proximomedial; 2: proximolateral; 3: distomedial; 4: distolateral. Medial areas: 5: cranioproximal; 6: caudoproximal; 7: dorsodistal; 8: palmarodistal. Lateral areas: 9: cranioproximal; 10: caudoproximal; 11: dorsodistal; 12: palmarodistal. Caudal/Palmar areas: 13: proximomedial; 14: proximolateral; 15: distomedial; 16: distolateral) (88) and systematically evaluated for normal findings and carpal disorder (22, 23, 47, 58, 59, 61, 85, 90-93). Following ultrasonographic findings

were documented per area, anatomical structure, and lesion: Volume/thickening, echotexture, echogenicity, distribution pattern, shadowing, acoustic enhancement, fluid, bone contour/surface, bone gap/step, involvement and insertion fibers, demarcation, vascularization, capsule, mass lesion, joint capsule, and effusion. Where possible, the 4-point scale was used. CT and MRI were evaluated, documented, and included as part of the final diagnosis. Image viewing and analysis of all canine carpus DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) studies were performed and generated using medical imaging software Horos™ (version 3.3.6, <http://www.horosproject.org/>, open source, © 2022 Horos Project). Scan plane, window level and width, and the zoom within the individual imaging study could be modified.

2.4 Statistics

All results were stored in an excel spreadsheet (Microsoft 365 Excel, 2024, Microsoft Corporation, Redmond, Washington, USA). For a better overview, the cases with a disorder were classified into one of four categories based on final diagnosis: 1: polyarthropathy, 2: bone lesion, 3: neoplasia, 4: musculotendinous disorder. All statistical analyses were performed by the author (S.K.)^{1,2} in consultation with a state-certified senior medical statistician using the commercially available statistical software package R (version 4.3). Descriptive analyses were performed in form of means and standard deviations. The sensitivity, specificity, predictive, and overall diagnostic accuracy of radiographs and US for detecting disordered carpal structures and for detecting final carpal disorder were calculated.

3 Results

3.1 In vivo carpal disorder study population:

41 dogs fulfilled all inclusion criteria. 7 dogs (17 %) were affected bilaterally, 20 dogs (49 %) were affected unilaterally on the left side, and 14 dogs (34 %) were affected unilaterally on the right side. At the time of data collection, the mean SD age was 7.12 ± 3.2 years (range: 1-12.3), the mean SD body weight was 27.4 ± 11.8 kg (range: 5.1-50.1). There were 14 intact males, 14 neutered males, 6 intact females and 7 spayed females. Breeds included: 12 crossbreeds, 3 Golden Retrievers, 3 Labrador Retrievers, 3 Labrador Retrievers, 2 Magyar Vizslas, 2 Siberian Huskies, and one each of a Labradoodle, a Berger Blanc Suisse, an Entlebucher Mountain Dog, an Irish Setter, a Galgo Español, a Lagotto Romagnolo, a German Longhaired Pointer, a German Shepherd, an Italian Short-Haired Segugio, a Miniature Schnauzer, a Border Collie, a Deerhound, a Doberman Pinscher, a Dachshund, a Yorkshire Terrier and a Smooth Collie.

A total of 48 joints with a confirmed carpal disorder were found in the medical records and included in this study. 30 (63%) were classified as musculotendinous category and 6 (≈12%) each were classified as polyarthropathy, bone lesion, and neoplasia category (Figure 1). A total of 27 (56%) left and 21 (44%) right carpi were examined. 28 (58%) were examined awake and 20 (42%) under general anesthesia. Detailed information per category and carpus is summarized in Tables 1 and 2.

The most common clinical sign from the medical history was a combination of lameness and soft tissue swelling (n = 19; 40 %), followed by only lameness (n = 17; 35 %) and only soft tissue swelling (n = 9; 19 %). Arthralgia was less frequently reported (n = 3; 6.6%). The most common clinical signs of the orthopedic examination were soft tissue swelling (n = 37; 77 %), lameness (n = 34; 71 %) and pain (n = 32; 67 %). Joint effusion was rare overall (n = 7; 15 %); all carpi in the category of polyarthropathy (n = 6; 100 %) had joint effusion. The majority (n = 40; 83 %) had no known cause of carpal disease, followed by trauma (n = 5; 10%); male dogs were overrepresented in each category. The final diagnosis, including how it was confirmed, therapy, and clinical course for at least 1 year are summarized in Table 2. 37 (77 %) carpi were confirmed by microbiological, histopathological, CT, MRI, or surgical findings. 11 (23%) carpi with a musculotendinous disorder were concluded by the clinical course. The majority (n = 34; 77 %) received conservative treatment (NSAID; immobilization; peritendinous triamcinolone acetonide injection) and were asymptomatic (n = 22; 46 %) or showed improvement in clinical signs (n = 18; 38 %) at 1 year. 3

dogs were euthanized within 1 year due to intoxication, carpal neoplasia, and transitional cell carcinoma (TCC) of the urinary bladder. Detailed treatment and clinical outcome information is summarized in Tables 3 and 4.

Polyarthropathy category:

The final diagnosis of all carpi in this category (n=6; 100%) was confirmed by arthrocentesis, microbiological and histopathological examination (Table 2). 4 (67 %) carpi had immune-mediated causes. 2 (33 %) carpi had non-immune-mediated causes, with 1 (17 %) traumatic hemarthrosis, and 1 (17 %) bacterial arthritis with concurrent stenosing tenosynovitis of the abductor pollicis longus muscle. The main radiographic finding for each carpus was the generalized increase in soft tissue volume, 4 (67 %) carpi had additional mild signs of DJD (Table 5). Every radiographic area was changed, area 1-4 (n = 5; 83 %) and area 5-8 (n = 6; 100 %) (Figure 2). The radiographic diagnoses were unspecific soft tissue disorder (n = 4; 67 %); stenosing tenosynovitis of the abductor pollicis longus muscle (n = 1; 17 %); and unremarkable (n = 1; 17 %). US findings: All 6 (100%) carpi had homogeneous anechoic effusion in the ABCJ, MCJ, and CMCJ with dorsal displacement of the antebrachiocarpal fat pad (Figure 6). The joint capsule of the ABCJ was only poorly visible in 1 (17 %) carpus. 4 (67%) carpi had mild degenerative changes and heterogeneous volume increase of the subcutaneous tissue (Table 6). The ultrasonographically altered areas are summarized in Figure 3. The ultrasound diagnosis was always joint effusion, 1 (17 %) carpus was additionally diagnosed with stenosing tenosynovitis of the abductor pollicis longus muscle (Table 6).

Bone lesion category:

This heterogeneous category includes 3 (67 %) carpi with fractures, 2 (33 %) carpi with hypertrophic osteopathy (HO) due to TCC of the urinary bladder, and 1 bacterial osteomyelitis. The detailed radiographic and ultrasonographic findings are summarized in Tables 5 and 6 and Figures 2 and 3. Each fracture had homogeneous anechoic joint effusion in the CMCJ, and the two complex fractures also had joint effusion in the ABCJ and MCJ (Table 6). The fracture of Mc5 was not diagnosed radiographically and the two complex fractures were incompletely diagnosed, as was the ultrasound. The HO and the osteomyelitis could be diagnosed radiographically and ultrasonographically (Tables 5 and 6).

Category Neoplasia:

The 6 neoplasms in this category were 3 sarcomas, 1 hydrocytoma, 1 infiltrating lipoma (Figure 9) and 1 fibrolipoma. Each was confirmed by a histopathological examination. Radiographic findings are summarized in Table 5. The most frequently changed areas were area 6 (caudoproximal; n = 5; 83 %) and area 8 (palmarodistal; n = 4; 67 %) (Figure 2). 1 carpus had mild signs of DJD. The radiographic diagnoses were mass lesion (n = 3; 50 %); unspecific soft tissue disorder (n = 2; 33 %); and unremarkable (n = 1; 17 %).

US findings: Each type of neoplasia had a heterogeneous echotexture, mixed echogenicity, no shadowing, was demarcable to indistinctly demarcable, and had an indistinct capsule. Except for hydrocytoma, all had increased vascularization. 3 (50%) had heterogeneous subcutaneous volume increase. (Table 6). The most frequently changed areas were area 14 (n = 5; 83 %) and 16 (n = 5; 83 %) (Figure 3). The US diagnosis was always neoplasm. Additional musculotendinous diseases were not present ultrasonographically and radiographically, 1 carpus had additional mild signs of DJD (Table 6).

Category Musculotendinous disorder:

The largest category contains 30 carpi with different musculotendinous diseases, several carpi have more than one musculotendinous disease (Table 2). The main radiographic finding in all carpi was an increase in soft tissue volume (n = 28; 87 %), the majority (n = 22; 73 %) were diffuse (Table 5). The radiographic changed areas and their pattern are summarized in Figure 4. 16 (53%) carpi were radiographically diagnosed with stenosing tenosynovitis of the abductor pollicis longus muscle, 12 carpi (40%) with an unspecific soft tissue disorder, 1 (3.3%) carpus was diagnosed with a mass lesion, and 1 (3.3%) was unremarkable. 4 carpi had additional mild signs of DJD (Table 5). Enthesopathy of the accessorioulnar ligament and the accessoriocarpoulnar ligament were detected across categories by radiography but not by US (Table 5).

The main ultrasonographic finding for every musculotendinous disease was a heterogeneous volume increase, and a hypoechogenic ($n = 13$; 43 %) to mixed ($n = 17$; 57 %) echogenicity of the corresponding anatomical structure. 15 (50 %) carpi had a concurrent increase in subcutaneous volume with heterogeneous echogenicity, the majority were evaluated as secondary subcutaneous edema. (Table 6). 27 carpi were diagnosed ultrasonographically with the specific musculotendinous disease (Table 2), 4 carpi had additional homogenous, anechoic joint effusion of the ABCJ and mild signs of DJD (Table 6). 3 carpi were diagnosed with a mass lesion, 2 of them had increased vascularization of the disordered anatomical structure (Table 6).

To provide a better overview and to make all detailed information available, the ultrasound findings for each diseased anatomical structure are provided in Table 7. The most common diseased structures are described in more detail below:

APLM ($n = 16$; 53 %):

The most common affected anatomic structure was the APLM with stenosing tenosynovitis of the abductor pollicis longus muscle. 4 dogs were affected bilaterally and 9 dogs unilaterally without side preference. (Table 2). The most common radiographic sign was diffuse soft tissue volume increase in the proximomedial area (1) ($n = 12$; 75 %) (Figure 4). 9 (30 %) carpi had bony proliferation and osteophytes either in or around the radial groove. The osteophytes were either singular in the groove or more extensive with irregular tubular proliferations extending beyond the styloid process. 9 (30 %) carpi had a deep medial sulcus that appeared more radiolucent with radiopaque contours. 2 (7 %) carpi had enthesopathy, recognizable as bony proliferation or periosteal reaction on the medial aspect of the proximal aspect of the first metacarpal (Table 5). Ultrasonographically, areas 1 and 5 were the most commonly altered and soft tissue volume increased areas ($n = 15$; 93%) (Figure 5). All 16 APLMs had volume increase with heterogeneous echotexture and hypoechogenic to mixed echogenicity. 15 APLMs had heterogeneous thickening of the tendon sheath with hyperechogenic to mixed echogenicity, the thickness varied along the tendon with an irregular inner surface. 8 APLMs had increased homogeneous anechoic fluid in the tendon sheath and 6 had acoustic shadowing due to mineralization of the tendon sheath and areas of hypoechoic foci without acoustic shadowing. 10 had evidence of enthesopathy. Focal anechoic fluid collection was less common ($n = 4$) (Table 7).

AMLIV ($n = 7$; 23 %) and AMLV ($n = 4$; 13 %):

The second most common diseased anatomical structure in this category was the AMLV. AMLIV was affected less often. Due to their anatomical relationship, AMLIV and AMLV are described together. The radiographically and ultrasonographically altered areas with an increased soft tissue volume based on the anatomic course of AMLIV and AMLV (Figure 4 and 5). Once rupture of AMLV with desmopathy of AMLIV, otherwise desmopathy with enthesopathy ($n = 5$) was diagnosed (Tables 2, 5 and 6). The ultrasound findings are provided in Table 7.

FCUM ($n = 5$; 17 %):

The third common diseased and diagnosed anatomical structure in this category was the FCUM with a musculotendinopathy. The most common altered areas with an increased soft tissue volume are radiographically areas 2 and 5, and ultrasonographically areas 13 and 14 (Figure 4 and 5). 2 (7 %) carpi had additional mild enthesopathy (Table 5). US allowed differentiation between a lesion of the 2 bellies, the ulnar and the humeral heads (Figure 7). In two carpi both heads were affected, in 2 only the humeral head and in one only the ulnar head. The ultrasound findings are summarized in Table 7.

EDCM ($n = 1$; 3 %), ECRM ($n = 3$; 10 %), SDFM ($n = 2$; 7 %), DDFM ($n = 2$; 7 %) and MCL ($n = 1$; 3 %):
The radiographic and ultrasonographic findings of these less frequently altered structures are summarized in Table 2, 4, 5, 6 and 7.

3.2 Study population carpal cadavers:

The included 8 carpal cadavers were clinically, radiographically, and ultrasonographically unremarkable. AMLIV, AMLV, APLM, ECRM, EDCM, FCRM, FCUM, SDFM, DDFM, MCL, LCL and the antebrachiocarpal fat pad could be visualized ultrasonographically.

3.3 Statistical results

Using the confirmed final carpal disorder as the gold standard, for detecting disordered carpal structures, radiographic examination had a sensitivity of 100%, a specificity of 22.9%, and an overall accuracy of 51.8%; US examination had a sensitivity of 100%, a specificity of 72.7%, and an overall accuracy of 94.6% (Table 8). For the diagnosis of specific terminal carpal disorder, radiography had a sensitivity of 100%, a specificity of 22.2%, and an overall accuracy of 50%; US had a sensitivity of 100%, a specificity of 40%, and an overall accuracy of 78.6%. For the detection of a category disease, US had a sensitivity of 100%, a specificity of 88.9%, and an overall accuracy of 98.2% (Table 8). Statistical analysis between breeds was not performed due to poor representation of some breeds. There was no statistically significant correlation between final carpal disorder and mild degenerative joint changes.

4 DISCUSSION

This study aimed to evaluate the sensitivity and specificity of US for the diagnosis of canine carpal disorders. For this purpose, confirmed canine carpal disorders presenting to the Clinic of Small Animal Surgery and Reproduction, LMU Munich, Germany between 2018 and 2022 were evaluated. US has been shown to be a safe and reliable diagnostic modality for the detection of certain canine carpal disorders with a sensitivity of 100%, a specificity of 40%, and an overall accuracy of 78.6%. If one considers only the ability of US to fully detect all affected carpal structures, specificity (72.7 %) and an overall accuracy (94.6 %) increased. The ability to correctly assign the altered carpal structures to one of the four disease groups, specificity (88.9 %) and overall accuracy (98.2 %) increased. Overall, the radiographic examination was less suitable for detecting disordered structures or making a specific diagnosis. While the sensitivity of the radiographs was high (100 %), the overall specificity was rather low (22-23 %), resulting in an overall accuracy of about 50 %. The sensitivity and specificity of US and radiographs for detecting canine carpal disorders has not been previously reported. Such examinations were carried out on the frequently examined musculoskeletal regions of the dog and were mostly disease-specific (67, 94-99). In principle, the low specificity and accuracy of the radiographic examination can be explained by the fact that injuries or mild loss of mineralized bone may be difficult or impossible to detect radiographically, direct visualization and differentiation of soft tissue opaque structures cannot be obtained in radiography (48). This is also due to the lower proportion of bony disorders and the high proportion of soft tissue disorders in our study. Further studies with higher case number and a balanced proportion of bone disorders, in particular more fractures and luxation, and soft tissue disorders would be needed to provide more accurate data.

Another aim of this study was to investigate and characterize the ultrasonographic findings of individual canine carpal disorders. The results of our study provide the first ultrasonographic case collection of various canine carpal disorders. To our knowledge, larger ultrasonographic studies on different canine carpal disorders as an overview are lacking in the available literature. Previous ultrasonographic studies of the canine carpus have focused on the visualization of normal anatomy (57-60), artificial carpal joint effusion (84), stenosing tenosynovitis of the abductor pollicis longus muscle (61), or flexor carpi ulnaris tendinopathy as a case report (22, 23). Findings from the current study can serve as a reference for evaluating dogs with suspected carpal disorder.

The most common sign of carpal disease in our study was soft tissue swelling. Orthopedic examination revealed soft tissue swelling in 77 % and imaging studies revealed soft tissue swelling in 96 % of all cases. Another novel finding of this study is not the association of carpus disorder with associated swelling, which is described (4, 14, 33, 38, 61, 100-102), but rather the characteristic pattern and frequency distribution of soft tissue swelling depending on the disease. The resulting swelling pattern was always dependent on the anatomic location of the affected structure. The only exception was the polyarthropathy category, where generalized soft tissue

swelling always occurred. Our results can be used as a supporting map to visualize diseased structures and as support for making a diagnosis in daily practice.

The soft tissue swelling could ultrasonographically be differentiated into an increase in the subcutaneous tissue volume and the altered other soft tissue structures. In 56 % of all cases, the subcutis was heterogeneously increased in volume, only the bone lesions category was more affected, due to the proportion of complex fractures or bacterial inflammation. In our study, heterogeneously altered or thickened subcutaneous tissue was only a non-specific indicator or indication that a disorder was present in or adjacent to this area. In most cases, the increase in volume was interpreted as subcutaneous edema or, if bacterial genesis was proven, as cellulitis. Doppler evidence of increased blood flow to the affected tissues, as described for cellulitis and to differentiate between cellulitis and edema (93), was not possible in our study for technical reasons due to the generally thin soft tissues of the canine carpus. Ultrahigh-frequency ultrasound studies (103) on this topic would be of interest.

The carpal disorders were classified into one of four categories based on final diagnosis: 1: polyarthropathy, 2: bone lesions, 3: neoplasia, 4: musculotendinous disorders. The musculotendinous disorders category was the biggest and included the most frequently occurring carpal disorder in our study, the stenosing tenosynovitis of the abductor pollicis longus muscle. The already described clinical, radiographic and ultrasonographic findings were confirmed (24, 61, 104, 105). Ultrasonography was also superior to radiography for detection (61). In our study, all dogs with abductor pollicis longus tenosynovitis were older and medium to large-breed dogs, the only small breed represented was an old Yorkshire Terrier. The described more frequent occurrence in agility dogs and working-dogs (61) could also not be confirmed, there was no clear breed predisposition and all dogs were companion animals. 4 dogs were affected bilateral and 9 dogs unilateral without side preference, this corresponds to the frequency distribution already described (61).

The second most common carpal disorder in our study was the desmopathy of the AMLIV and AMLV. Due to their anatomical relationship and classic association with the common hyperextension injury (4, 32, 33), AMLIV and AMLV have been described together. Ultrasonographic studies of this complex are lacking in the available literature. Carpal hyperextension is most associated with a fall or jump from a great height (33-35), like in our study. Physiological, during weight-bearing, the carpus is stabilized by the flexor carpi ulnaris muscle and the accessory metacarpal ligament, which originate on the distal aspect of the accessory carpal bone and insert on the proximopalmar aspects of metacarpal bones IV and V (34, 35, 82). Carpal hyperextension injury often involves rupture of the palmar carpal ligaments, like in one case in our study, and rupture of the fibrocartilage, that support the normal angulation of the carpal joints (106). Several cadaveric studies have investigated the structures involved in carpal stability in dogs (36, 37, 107). The diagnosis is classically based on a physical and radiographic examination, including stress radiographs, CT can be considered if there is concern for additional fractures of the carpal bones that may not be visible on radiographs or if stress radiographs do not reveal a subluxation of any joint. (4, 46, 108, 109). This diagnostic procedure was always performed at the facility where this study was conducted, many dogs with suspected hyperextension were classically diagnosed without US and treated directly conservative or with arthrodesis (4, 34, 35, 110). The cases included in our study showed ultrasonographic changes of a hyperextension injury, such as rupture and desmitis of the AMLV, but classic instability or dislocation was always absent. Our results may provide an impetus for further combined ultrasonographic and radiographic studies in the common complex of hyperextension injuries. The role of US evaluation of hyperextension injury is promising and could lead to better understanding and treating, even if ultrasonographic detection of fractures was not reliably possible in our study. The ultrasonographic visualization of the AMLIV and AMLV was hereby proven.

FCU musculotendinopathy is less described in veterinary literature. It has been reported in Greyhounds and a Weimaraner (21), in a Yorkshire Terrier, a Chihuahua (22), and a Whippet (23). The results of this study represent the first ultrasonographic case series of FCU musculotendinopathy. To identify pathological findings, the knowledge of normal (57) and pathological findings of the FCUM, more than a case report (22, 23), is mandatory.

Particular as the flexor tendon system of dogs has often been studied as an animal model for the investigation of the flexor tendon healing process, and results have already been applied in human medicine (111). US constituted a feasible technique to evaluate unclear proximopalmar soft tissue swelling as a FCU musculotendinopathy. US made it possible to distinguish between a lesion of the 2 bellies, the ulnar and humeral heads. In two carpi both heads were affected, in 2 only the humeral head and in one only the ulnar head. In unclear cases, in the absence of a clear anatomical affiliation or questionable mass lesion a fine needle aspiration with histopathological examination is recommended. The high sensitivity and specificity of US demonstrated in this study, may reduce the need for invasive and expensive modalities, such as PET-CT described for the FCU musculotendinopathy (51, 52).

Like in our study, joint effusion with arthrocentesis and synovial fluid examination plays a key role in further differentiation and classification of joint disease (112) and can be difficult or even impossible for the examiner to detect clinically (31). This may influence the decision for arthrocentesis. Canine carpal joint effusion has received less attention in diagnostic ultrasound studies. The morphological description of the ultrasonographic arthrographic appearance of the canine carpal joint cavities and recessus are described, the applicability of US to visualize an artificial carpal effusion has been demonstrated (84). The results of our study demonstrated the applicability of US for the detection of naturally occurring carpal joint effusion. Despite the variance of the recesses and the multitude of variable US positions for detection, the dorsal displacement of the antebrachiocondylar fat pad outside the bone bed was a quick and reliable ultrasound finding for an antebrachiocondylar joint effusion. It should be noted that applying too much pressure may cause the effusion to spread. To assist in the decision to perform arthrocentesis, especially in questionable clinical situation or unclear joint effusion, an US examination is recommended. Studies on the possible classification and grading of canine carpal effusion would be of interest, especially with the available ultrahigh frequency ultrasound.

An important part of our study was the question of what is behind a simple soft tissue swelling, whether it is a musculotendinous disorder or a neoplasia. Clinically, soft tissue swelling was more often misdiagnosed as a possible neoplasia as radiographically. All final neoplasms were ultrasonographically correctly detected as mass lesion. The sum of all ultrasonographic findings and the lack of association or affiliation to another anatomical structure made a ultrasonographic neoplastic diagnosis possible. However, 3 carpi with a final musculotendinous disorder were ultrasonographically misdiagnosed with mass lesion, 2 of them had increased vascularization of the disordered anatomical structure. The fact that the tumors studied did not belong to a musculotendinous structure may be a distinguishing feature, cannot be used as an exclusion criterion. Further examinations of the rare canine carpal tumors (25, 26, 28, 29) are required and a histopathological examination is still obligatory.

The limitations of this study were, first, the heterogeneity and number of dogs included, which did not allow measurements to be extrapolated to the entire canine population. Additional studies are needed to generate these data in specific breeds and sizes. Second, a disadvantage of this study was that only US examinations were available when clinically indicated. Side-by-side US examinations would provide more reliable results. Third, the dogs included representing an intra-European and regional group of patients presenting to a referral clinic. Patient groups from everyday practice and from outside the European Union would be of interest in terms of disease frequency and breed predisposition. Fourth, the US examination was performed with one US probe, a broadband interoperative linear array transducer. Further studies with different US probes and lower US frequencies would be useful, as a high-frequency transducer is not always available in clinical practice and different equipment is used. Fifth, the technical pressure to be

applied, especially for joint effusion detection, was not standardized and may lead to variable results.

In conclusion, this study demonstrates that musculoskeletal ultrasound is a reliable modality for the detection of various carpus disorders with a significantly higher specificity than the most used diagnostic imaging tool modality in veterinary medicine, radiography. Different soft tissue disorders and joint effusion with dorsal displacement of the antebrachiocondylar fat pad could be diagnosed with certainty. Additional studies with higher case numbers on fractures and luxation are also required. The results of our study provide the first ultrasonographic case collection of different canine carpal disorders and can serve as reference data for evaluating dogs with suspected carpal disorder.

Acknowledgments

We are deeply indebted to many colleagues who offered intellectual guidance and valuable advice.

5 List of author contributions

Category 1

(a) Conception and Design: Sven Klußmann, Andreas Brühshwein, Andrea Meyer-Lindenberg

(b) Acquisition of Data: Sven Klußmann, Andreas Brühshwein, Andrea Meyer-Lindenberg

(c) Analysis and Interpretation of Data: Sven Klußmann, Andreas Brühshwein, Andrea Meyer-Lindenberg

Category 2

(a) Drafting the Article: Sven Klußmann

(b) Reviewing Article for Intellectual Content: Andreas Brühshwein, Andrea Meyer-Lindenberg

Category 3

(a) Final Approval of the Completed Article: Sven Klußmann, Andreas Brühshwein, Andrea Meyer-Lindenberg

Category 4

(a) Agreement to be accountable for all aspects of the work in ensuring that questions related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved: Sven Klußmann, Andreas Brühshwein, Andrea Meyer-Lindenberg

Conflict of interest

The authors have declared no conflict of interest.

Previous presentation or publication disclosure

These results were not presented or publicized before.

References

1. Evans HE, de Lahunta A. *Arthrology. Miller's Anatomy of the Dog*. 4. Missouri, USA: Elsevier Health Sciences; 2013. p. 158-84.
2. Yalden DW. The functional morphology of the carpal bones in carnivores. *Acta Anat (Basel)*. 1970;77(4):481-500.
3. Mikić ŽD, Ercegan G, Somer T. Detailed anatomy of the antebrachiocondylar joint in dogs. *The Anatomical Record*. 1992;233(2):329-34.

4. Marcellin-Little DJ, von Pfeil DJF. Carpal Region. In: Duerr FM, editor. Canine Lameness. 6. NJ, USA: John Wiley & Sons; 2020. p. 169-93.
5. Vaughan LC. Disorders of the carpus in the dog. I. Br Vet J. 1985;141(4):332-41.
6. Engel E, Kneiss S. Salter-harris fractures in dogs and cats considering problems in radiological reports - a retrospective analysis of 245 cases between 1997 and 2012. Berl Muench Tieraerztl Wochenschr. 2014;127(2):77-83.
7. Li A, Bennett D, Gibbs C, Carmichael S, Gibson N, Owen M, et al. Radial carpal bone fractures in 15 dogs. J Small Anim Pract. 2000;41(2):74-90.
8. Vedrine B. Comminuted fracture of the ulnar carpal bone in a Labrador retriever dog. Can Vet J. 2013;54(11):1067-70.
9. Johnson KA. Accessory carpal bone fractures in the racing greyhound. Classification and pathology. Vet Surg. 1987;16(1):60-4.
10. Phillips IR. A survey of bone fractures in the dog and cat. Journal of Small Animal Practice. 1979;20(11):661-74.
11. Punzet G. Luxation of the os carpi radiale in the dog - pathogenesis, symptoms, and treatment. Journal of Small Animal Practice. 1974;15(12):751-6.
12. Vaughan LC. Disorders of the carpus in the dog II. British Veterinary Journal. 1985;141(5):435-46.
13. Guilliard MJ, Mayo AK. Subluxation/luxation of the second carpal bone in two racing greyhounds and a Staffordshire bull terrier. Journal of Small Animal Practice. 2001;42(7):356-9.
14. Guilliard MJ. Accessory carpal bone displacement in two dogs. Journal of Small Animal Practice. 2001;42(12):603-6.
15. Palierne S, Delbeke C, Asimus E, Meynaud-Collard P, Mathon D, Zahra A, Autefage A. A case of dorso-medial luxation of the radial carpal bone in a dog. Vet Comp Orthop Traumatol. 2008;21(2):171-6.
16. Guilliard MJ. Dorsal radiocarpal ligament sprain causing intermittent carpal lameness in high activity dogs. J Small Anim Pract. 1997;38(10):463-5.
17. Guilliard MJ. Enthesiopathy of the short radial collateral ligaments in racing greyhounds. J Small Anim Pract. 1998;39(5):227-30.
18. Guilliard MJ, Mayo AK. Sprain of the short radial collateral ligament in a racing greyhound. J Small Anim Pract. 2000;41(4):169-71.
19. Earley T. Canine carpal ligament injuries. Vet Clin North Am. 1978;8(2):183-99.
20. Vaughan LC. Disorders of the carpus in the dog I. British Veterinary Journal. 1985;141(4):332-41.
21. Kuan SY, Smith BA, Fearnside SM, Black AP, Allan GS. Flexor carpi ulnaris tendonopathy in a Weimaraner. Aust Vet J. 2007;85(10):401-4.
22. Tani Y. Reconstruction of the flexor carpi ulnaris tendon with a fascia lata autograft in two dogs with carpal hyperextension. Veterinary Surgery. 2022;51(8):1311-8.
23. Franini A, Entani MG, Colosio E, Melotti L, Patruno M. Case report: Flexor carpi ulnaris tendinopathy in a lure-coursing dog treated with three platelet-rich plasma and platelet lysate injections. Front Vet Sci. 2023;10:1003993.
24. Grundmann S, Montavon PM. Stenosing tenosynovitis of the abductor pollicis longus muscle in dogs. Vet Comp Orthop Traumatol. 2001;14(2):95-100.
25. Berg J, Gliatto JM, Wallace MK. Giant cell tumor of the accessory carpal bone in a dog. J Am Vet Med Assoc. 1990;197(7):883-5.
26. Basa RM, Crowley AM, Johnson KA. Neurofibroma of the ulnar nerve in the carpal canal in a dog: treatment by marginal neurectomy. J Small Anim Pract. 2020;61(8):512-5.
27. Reising AJ, Donnelly LL, Flesner BK, Maitz CA, Bryan JN. Solitary osseous plasmacytomas in dogs: 13 cases (2004-2019). J Small Anim Pract. 2021;62(12):1114-21.
28. Griffon D, Wallace L, Barnes D, Johnston G. Myxoma arising from the radiocarpal joint capsule in a dog. Journal of the American Animal Hospital Association. 1994;30(3):257-60.
29. Corzo-Menéndez N, White RN, Whitelock RG, Blunden AS. Vascular hamartoma within the flexor muscles of the left carpus in a dog. J Small Anim Pract. 2001;42(8):399-402.

30. Shaughnessy ML, Sample SJ, Abicht C, Heaton C, Muir P. Clinical features and pathological joint changes in dogs with erosive immune-mediated polyarthritits: 13 cases (2004-2012). *J Am Vet Med Assoc.* 2016;249(10):1156-64.
31. Rondeau MP, Walton RM, Bissett S, Drobotz KJ, Washabau RJ. Suppurative, Nonseptic Polyarthropathy in Dogs. *Journal of Veterinary Internal Medicine.* 2005;19(5):654-62.
32. Bristow PC, Meeson RL, Thorne RM, Butterworth SJ, Rutherford S, Renwick AI, et al. Clinical comparison of the hybrid dynamic compression plate and the castless plate for pancarpal arthrodesis in 219 dogs. *Vet Surg.* 2015;44(1):70-7.
33. Koestlin R, Matis U, Waibl W. Zur Diagnostik und Therapie der Hyperextensionsverletzungen im Karpalgelenk ("Niederbruch") des Hundes. *Kleintierpraxis.* 1986;31:101-8.
34. Denny HR, Barr ARS. Partial carpal and pancarpal arthrodesis in the dog: a review of 50 cases. *Journal of Small Animal Practice.* 1991;32(7):329-34.
35. Parker RB, Brown SG, Wind AP. Pancarpal Arthrodesis in the Dog: A Review of Forty-five Cases. *Veterinary Surgery.* 1981;10(1):35-43.
36. Neville-Towle JD, Tan CJ, Parr WCH, Walsh WR, Johnson KA. Three-dimensional kinematics of the canine carpal bones imaged with computed tomography after ex vivo axial limb loading and palmar ligament transection. *Vet Surg.* 2018;47(6):861-71.
37. Milgram J, Stockman J, Segev G, Meiner Y, Shipov A. Contribution of Palmar Radiocarpal and Ulnocarpal Ligaments to the Stability of the Canine Antebrachiocarpal Joint. *Vet Comp Orthop Traumatol.* 2019;32(4):305-13.
38. von Pfeil DJ, Liska WD, Nelson S, Jr., Mann S, Wakshlag JJ. A survey on orthopedic injuries during a marathon sled dog race. *Vet Med (Auckl).* 2015;6:329-39.
39. Cullen KL, Dickey JP, Bent LR, Thomason JJ, Moëns NM. Internet-based survey of the nature and perceived causes of injury to dogs participating in agility training and competition events. *J Am Vet Med Assoc.* 2013;243(7):1010-8.
40. Iddon J, Lockyer RH, Freaun SP. The effect of season and track condition on injury rate in racing greyhounds. *Journal of Small Animal Practice.* 2014;55(8):399-404.
41. Harris KP, Langley-Hobbs SJ. Idiopathic ischemic necrosis of an accessory carpal bone in a dog. *J Am Vet Med Assoc.* 2013;243(12):1746-50.
42. Diaz-Bertrana C, Darnacullea F, Durall I. The stepped hybrid plate for carpal panarthrodesis—part II: a multi-centre study of 52 arthrodeses. *Vet Comp Orthop Traumatol.* 2009;22(5):389-97.
43. Morgan J. Radiographic diagnosis of bone disease. *Radiology of veterinary orthopedics: features of diagnosis.* 1. NJ, USA: Wiley Blackwell; 2002. p. 37-168.
44. Carrig C, Wortman J, Morris E, Blevins W, Root C, Hanlon G, Suter P. Ectrodactyly (split-hand deformity) in the dog. *Veterinary Radiology.* 1981;22(3):123-44.
45. Harasen G. Surgical management of ectrodactyly in a Siberian husky. *Can Vet J.* 2010;51(4):421-4.
46. Farrow CS. Stress radiography: applications in small animal practice. *J Am Vet Med Assoc.* 1982;181(8):777-84.
47. Kramer M, Gerwing M, Hach V, Schimke E. Sonography of the musculoskeletal system in dogs and cats. *Vet Radiol Ultrasound.* 1997;38(2):139-49.
48. Allan G, Davies S. Radiographic Signs of Joint Disease in Dogs and Cats. In: Thrall DE, editor. *Textbook of Veterinary Diagnostic Radiology.* 7. St. Louis, Missouri, USA: Elsevier; 2018. p. 403-33.
49. Woods S, Perry KL. Fractures of the carpus. *Companion Animal.* 2018;23(7):368-75.
50. Castelli E, Pozzi A, Klisch K, Scotti L, Hoey S, Dennler M. Comparison between high-field 3 Tesla MRI and computed tomography with and without arthrography for visualization of canine carpal ligaments: A cadaveric study. *Vet Surg.* 2019;48(4):546-55.
51. Mann K, Hart J, Duerr F. 18F-FDG Positron Emission Tomography - An Innovative Technique for the Diagnosis of a Canine Lameness. *Front Vet Sci.* 2016;3:45.
52. Frank I, Mann K, Duerr F. Fluorine-18-fluoro-2-deoxy-d-glucose PET-CT aids in detection of soft-tissue injuries for dogs with thoracic or pelvic limb lameness. *Vet Radiol Ultrasound.* 2019;60(5):575-85.

53. Nordberg CC, Johnson KA. Magnetic resonance imaging of normal canine carpal ligaments. *Vet Radiol Ultrasound*. 1999;40(2):128-36.
54. Sage JE, Gavin P. Musculoskeletal MRI. *Vet Clin North Am Small Anim Pract*. 2016;46(3):421-51.
55. Porter IR, Pownder SL, McDonough SP, Potter HG, Hayashi K. Nonarticular osseous cyst-like lesions of the intermedioradial carpal bone may be incidental magnetic resonance imaging findings in dogs. *Vet Radiol Ultrasound*. 2018;59(6):715-20.
56. Sconfienza LM, Albano D, Allen G, Bazzocchi A, Bignotti B, Chianca V, et al. Clinical indications for musculoskeletal ultrasound updated in 2017 by European Society of Musculoskeletal Radiology (ESSR) consensus. *European Radiology*. 2018;28(12):5338-51.
57. González-Rellán S, Fdz-de-Trocóniz P, Barreiro A. Ultrasonographic anatomy of the palmar region of the carpus of the dog. *Veterinary Radiology & Ultrasound*. 2023;64(3):546-56.
58. González-Rellán S, Fdz-de-Trocóniz P, Barreiro A. Ultrasonographic anatomy of the dorsal region of the carpus of the dog. *Veterinary Radiology & Ultrasound*. 2021;62(5):591-601.
59. Entani MG, Franini A, Barella G, Saleri R, De Rensis F, Spattini G. High-Resolution Ultrasonographic Anatomy of the Carpal Tendons of Sporting Border Collies. *Animals*. 2022;12(16):2050.
60. Kamali Y, Almasi R, Moradi HR, Fathollahi S. Intraspecific anatomical variations of the extensor tendons of the carpus and digits with a reexamination of their insertion sites in the domestic dog (*Canis lupus familiaris*): a cadaveric study. *BMC Veterinary Research*. 2023;19(1):197.
61. Hittmair KM, Groessl V, Mayrhofer E. Radiographic and ultrasonographic diagnosis of stenosing tenosynovitis of the abductor pollicis longus muscle in dogs. *Vet Radiol Ultrasound*. 2012;53(2):135-41.
62. Long CD, Nyland TG. Ultrasonographic evaluation of the canine shoulder. *Vet Radiol Ultrasound*. 1999;40(4):372-9.
63. Bruce WJ, Burbidge HM, Bray JP, Broome CJ. Bicipital tendinitis and tenosynovitis in the dog: a study of 15 cases. *N Z Vet J*. 2000;48(2):44-52.
64. Kramer M, Gerwing M, Sheppard C, Schimke E. Ultrasonography for the diagnosis of diseases of the tendon and tendon sheath of the biceps brachii muscle. *Vet Surg*. 2001;30(1):64-71.
65. Mistieri ML, Wigger A, Canola JC, Filho JG, Kramer M. Ultrasonographic evaluation of canine supraspinatus calcifying tendinosis. *J Am Anim Hosp Assoc*. 2012;48(6):405-10.
66. Lassaigne CC, Boyer C, Sautier L, Taeymans O. Ultrasound of the normal canine supraspinatus tendon: comparison with gross anatomy and histology. *Vet Rec*. 2020;186(17):e14.
67. Arnault F, Cauvin E, Viguier E, Kraft E, Sonet J, Carozzo C. Diagnostic value of ultrasonography to assess stifle lesions in dogs after cranial cruciate ligament rupture: 13 cases. *Vet Comp Orthop Traumatol*. 2009;22(6):479-85.
68. Rivers BJ, Walter PA, Kramek B, Wallace L. Sonographic Findings in Canine Common Calcaneal Tendon Injury. *Vet Comp Orthop Traumatol*. 1997;10(01):45-53.
69. Caine A, Agthe P, Posch B, Herrtage M. Sonography of the soft tissue structures of the canine tarsus. *Vet Radiol Ultrasound*. 2009;50(3):304-8.
70. Jacqmin M, Livet V, Sonet J, Harel M, Viguier E, Moissonnier PH, Cachon T. Use of Ultrasonography in Diagnosis of Medial Compartment Disease of the Elbow in Dogs. *Vet Comp Orthop Traumatol*. 2023;36(3):132-8.
71. Manfredi S, Covi G, Bonazzi M, Gnudi G, Fumeo M, Miduri F, et al. Ultrasound-guided removal of soft tissue foreign bodies in companion animals: A case series. *Veterinárni medicína*. 2020;65(2):49-55.
72. Gamble L-J, Canapp D, Canapp S. Evaluation of Achilles Tendon Injuries with Findings from Diagnostic Musculoskeletal Ultrasound in Canines – 43 Cases. *Veterinary Evidence*. 2017;2(3):3-23.
73. Van der Vekens E, de Bakker E, Bogaerts E, Broeckx BJG, Ducatelle R, Kromhout K, Saunders JH. High-frequency ultrasound, computed tomography and computed tomography arthrography of the cranial cruciate ligament, menisci and cranial meniscotibial ligaments in 10 radiographically normal canine cadaver stifles. *BMC Vet Res*. 2019;15(1):146.

74. Barella G, Lodi M, Faverzani S. Ultrasonographic findings of shoulder teno-muscular structures in symptomatic and asymptomatic dogs. *J Ultrasound*. 2018;21(2):145-52.
75. Clements D. Arthrocentesis and synovial fluid analysis in dogs and cats. *In Practice*. 2006;28(5):256-62.
76. Torres BT, Duerr FM. Arthrocentesis Technique. In: Duerr FM, editor. *Canine Lameness*. 6. NJ, USA: John Wiley & Sons; 2020. p. 93-104.
77. Vollmerhaus B. Gelenkpunktion (Arthrozentese). In: Schebitz H, Brass W, editors. *Operationen an Hund und Katze*. 3: Parey; 2007. p. 19-24.
78. Brühshwein A. Anatomische Darstellung des caninen Karpalgelenkes mittels Magnetresonanztomographie und Computertomographie unter besonderer Berücksichtigung der Weichteilstrukturen. München, Germany: LMU Munich; 2005.
79. Turan E, Erden H. Computed tomography and morphometry of the carpal canal in the dog. *Ann Anat*. 2003;185(2):173-8.
80. Ober CP, Freeman LE. Computed tomographic, magnetic resonance imaging, and cross-sectional anatomic features of the manus in cadavers of dogs without forelimb disease. *Am J Vet Res*. 2009;70(12):1450-8.
81. Whitelock R. Conditions of the carpus in the dog. *In Practice*. 2001;23(1):2-13.
82. Frewein J, Nickel R, Schummer A, Seiferle E. Knochen der Schultergliedmaße, Verbindungen der Knochen der Schultergliedmaße. *Lehrbuch der Anatomie der Haustiere*. 8. Berlin, Germany: Parey; 2004. p. 67-97, 230-57.
83. Horowitz A, Berg R. Thoracic Limb. In: Budras KD, editor. *Anatomy of the Dog*. 5. Hannover, Germany: Schlütersche Verlagsgesellschaft mbH & Company KG; 2010. p. 16-27.
84. Klußmann S, Meyer-Lindenberg A, Brühshwein A. Arthrographic description of the canine carpal joint cavities and its recesses. *Anat Histol Embryol*. 2024;53(2):e13026.
85. González-Rellán S, Barreiro A, Cifuentes JM, Fdz-de-Trocóniz P. Anatomy of the Palmar Region of the Carpus of the Dog. *Animals (Basel)*. 2022;12(12):1573.
86. Spattini G, Grazia Entani M, Barella G, de Rensis F. High resolution ultrasound of the tendons of the Border Collies carpus. Abstracts of the European Veterinary Diagnostic Imaging (EVDI) Congress, Basel, Switzerland, August 21-August 24, 2019. *Vet Radiol Ultrasound*. 2019:85-118.
87. Brunnberg L, Waibl H, Lehmann J, von Wense von der W. Lahmheit beim Hund: untersuchen - erkennen - behandeln: Procane Claudio Brunnberg; 2014. p. 74-6.
88. Smallwood JE, Shively MJ, Rendano VT, Habel RE. A STANDARDIZED NOMENCLATURE FOR RADIOGRAPHIC PROJECTIONS USED IN VETERINARY MEDICINE*. *Veterinary Radiology*. 1985;26(1):2-9.
89. Sadan MAAE. Radiographic studies on the carpal joints in some small animals. Giessen, Germany: Justus-Liebig-Universität Gießen; 2010.
90. Dickie A. Imaging of the Musculoskeletal System. In: Mannion P, editor. *Diagnostic Ultrasound in Small Animal Practice*. 1. Oxford, UK: Blackwell Science Ltd.; 2006. p. 251-77.
91. Cook CR. Ultrasound Imaging of the Musculoskeletal System. *Vet Clin North Am Small Anim Pract*. 2016;46(3):355-71.
92. Turan E, Ozsunar Y, Yildirim IG. Ultrasonographic examination of the carpal canal in dogs. *J Vet Sci*. 2009;10(1):77-80.
93. Chau CLF, Griffith JF. Musculoskeletal infections: ultrasound appearances. *Clinical Radiology*. 2005;60(2):149-59.
94. Tsoi H, Canapp S, Canapp D. Ultrasonographic detection of cranial cruciate ligament pathology in canine stifles without cranio-caudal instability. *Veterinary Evidence*. 2023;8(2).
95. Wall CR, Cook CR, Cook JL. Diagnostic sensitivity of radiography, ultrasonography, and magnetic resonance imaging for detecting shoulder osteochondrosis/osteochondritis dissecans in dogs. *Veterinary Radiology & Ultrasound*. 2015;56(1):3-11.
96. Samoy Y, Gielen I, Saunders J, van Bree H, Van Ryssen B. Sensitivity and specificity of radiography for detection of elbow incongruity in clinical patients. *Vet Radiol Ultrasound*. 2012;53(3):236-44.

97. Blond L, Dupuis J, Beauregard G, Breton L, Moreau M. Sensitivity and specificity of radiographic detection of canine elbow incongruence in an in vitro model. *Vet Radiol Ultrasound*. 2005;46(3):210-6.
98. Ober CP, Jones JC, Larson MM, Lanz OI, Werre SR. Comparison of ultrasound, computed tomography, and magnetic resonance imaging in detection of acute wooden foreign bodies in the canine manus. *Vet Radiol Ultrasound*. 2008;49(5):411-8.
99. Chung CS, Tu YJ, Lin LS. Comparison of Digital Radiography, Computed Tomography, and Magnetic Resonance Imaging Features in Canine Spontaneous Degenerative Stifle Joint Osteoarthritis. *Animals (Basel)*. 2023;13(5).
100. Ferguson JF. What is your diagnosis? Sagittal and a small dorsally displaced slab fracture of the radial carpal bone with secondary degenerative joint disease. *J Small Anim Pract*. 1998;39(8):367, 406.
101. Tomlin JL, Peard MJ, Langley-Hobbs SJ, Muir P. Radial carpal bone fracture in dogs. *J Am Anim Hosp Assoc*. 2001;37(2):173-8.
102. Guilliard MJ, Mayo AK. Subluxation/luxation of the second carpal bone in two racing greyhounds and a Staffordshire bull terrier. *J Small Anim Pract*. 2001;42(7):356-9.
103. Viviano SL, Chandler LK, Keith JD. Ultrahigh Frequency Ultrasound Imaging of the Hand: A New Diagnostic Tool for Hand Surgery. *Hand (N Y)*. 2018;13(6):720-5.
104. Okamura Y, Okamoto Y, Morita T, Minami S. Enthesiopathy with an abductor pollicis longus dysfunction in a Rough Collie dog. *Aust Vet J*. 2007;85(8):329-31.
105. Moores AP, Comerford EJ. What is your diagnosis? Stenosing tenosynovitis of the tendon of the abductor pollicis longus muscle. *J Small Anim Pract*. 2005;46(1):41-3.
106. Slocum B, Devine T. Partial carpal fusion in the dog. *J Am Vet Med Assoc*. 1982;180(10):1204-8.
107. Bitton E, Joseph R, Portman L, Segev G, Meiner Y, Shipov A, Milgram J. The effect of extension and loading of the carpus on radial rotation. *Vet Surg*. 2013;42(8):909-17.
108. Feldman A, Sato AF. What Is Your Diagnosis? *J Am Vet Med Assoc*. 2022;260(7):724-6.
109. Tobolska A, Adamiak Z, Głodek J. Clinical Applications of Imaging Modalities of the Carpal Joint in Dogs with Particular Reference to the Carpal Canal. *J Vet Res*. 2020;64(1):169-74.
110. Beierer LH. Canine Carpal Injuries: From Fractures to Hyperextension Injuries. *Vet Clin North Am Small Anim Pract*. 2021;51(2):285-303.
111. Zhang T, Lu C-C, Reisdorf RL, Thoreson AR, Gingery A, Moran SL, et al. Revitalized and synovialized allograft for intrasynovial flexor tendon reconstruction in an in vivo canine model. *Journal of Orthopaedic Research*. 2018;36(8):2218-27.
112. Harris A, Santangelo K. Joint Fluid Analysis and Collection Considerations. In: Duerr FM, editor. *Canine Lameness*. NJ, USA: John Wiley & Sons; 2020. p. 111-23.

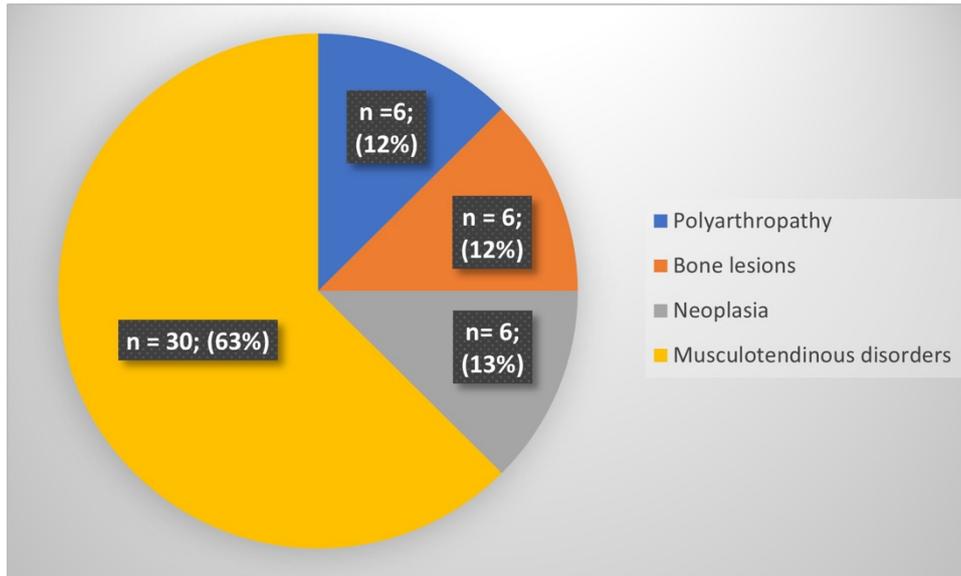


FIGURE 1
Aetiology of carpal disease.

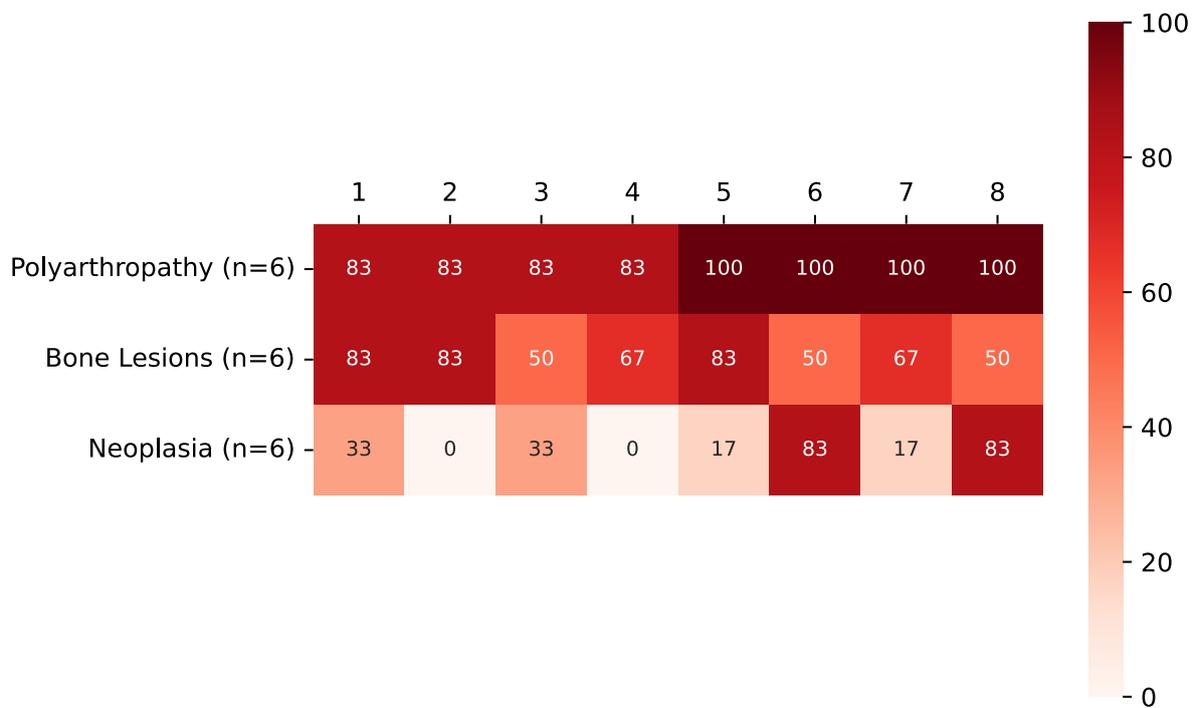


FIGURE 2
Distribution of radiographically altered soft tissue volume per area and category.

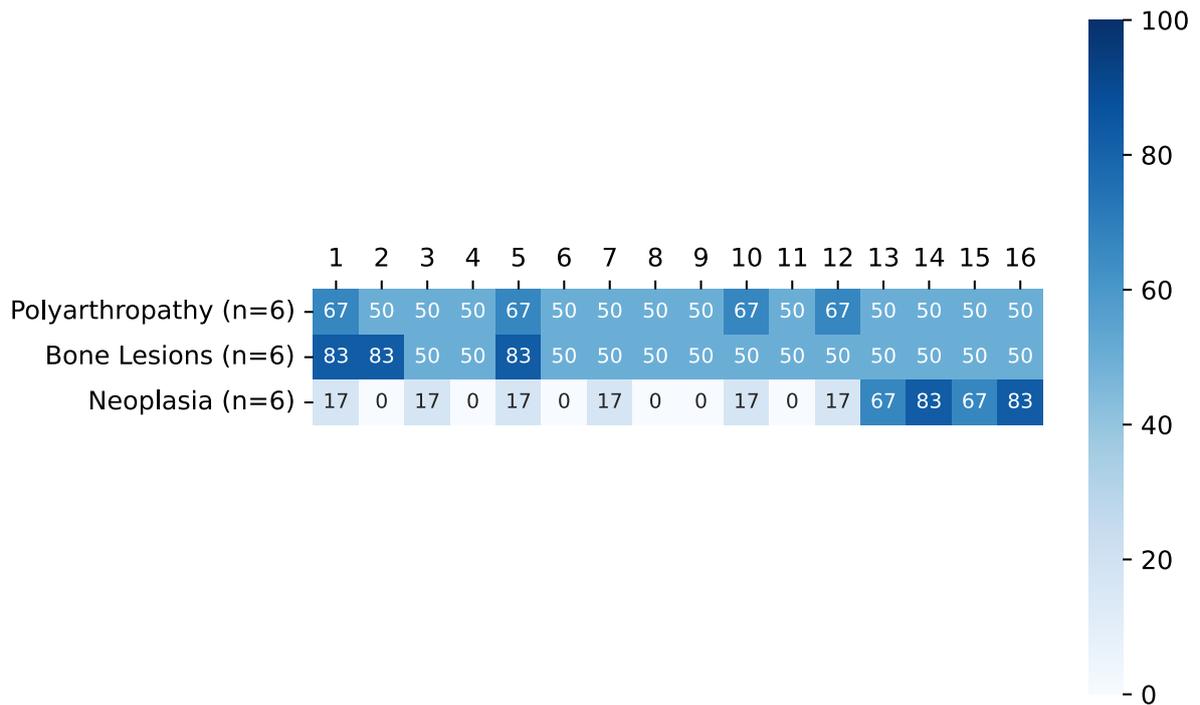


FIGURE 3
Distribution of ultrasonographically altered soft tissue volume per area and category.

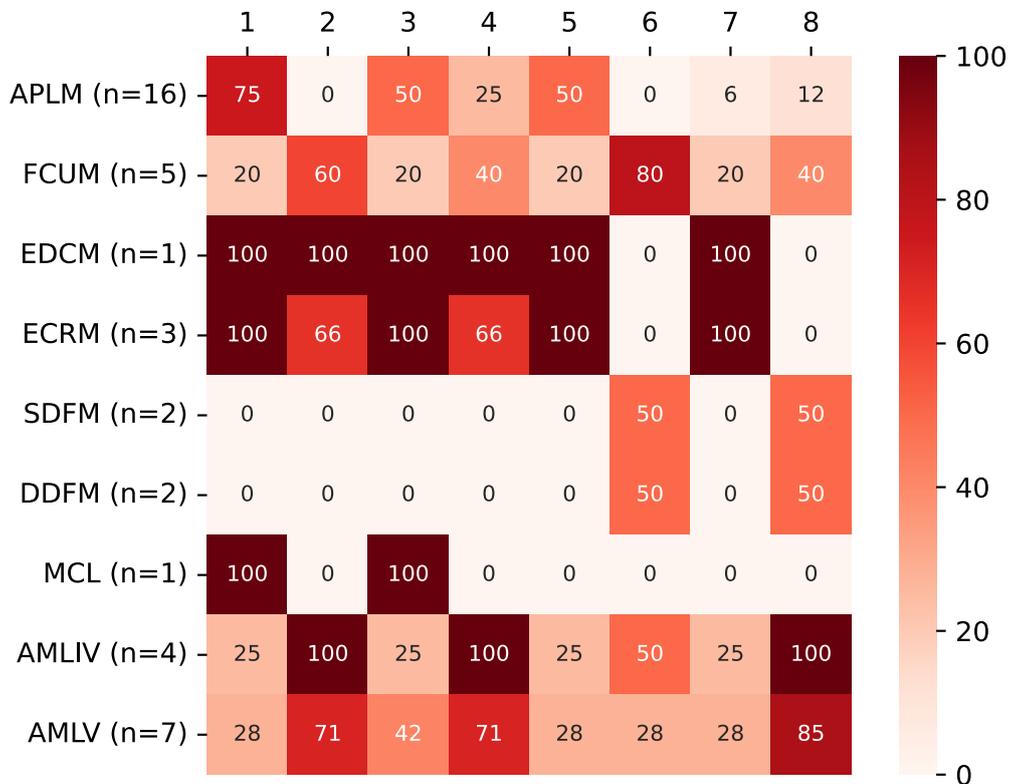


FIGURE 4
Distribution of radiographically altered soft tissue volume per anatomical structure and area.

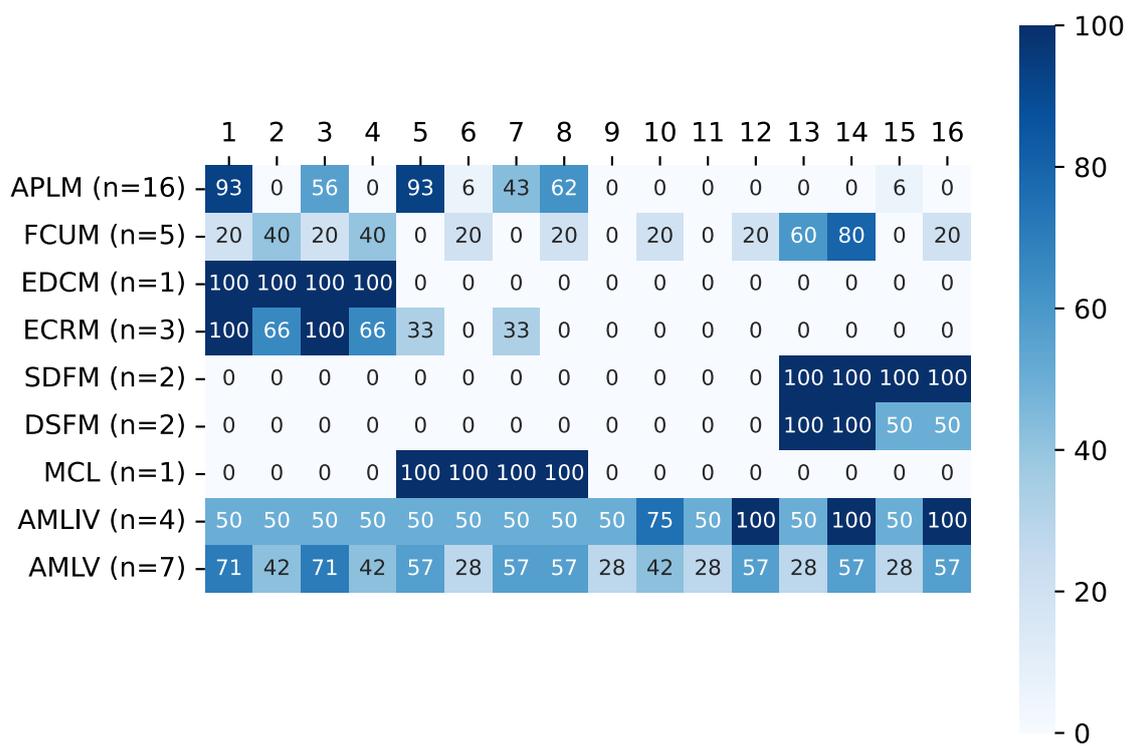


FIGURE 5
Distribution of ultrasonographically altered soft tissue volume per anatomical structure and area.

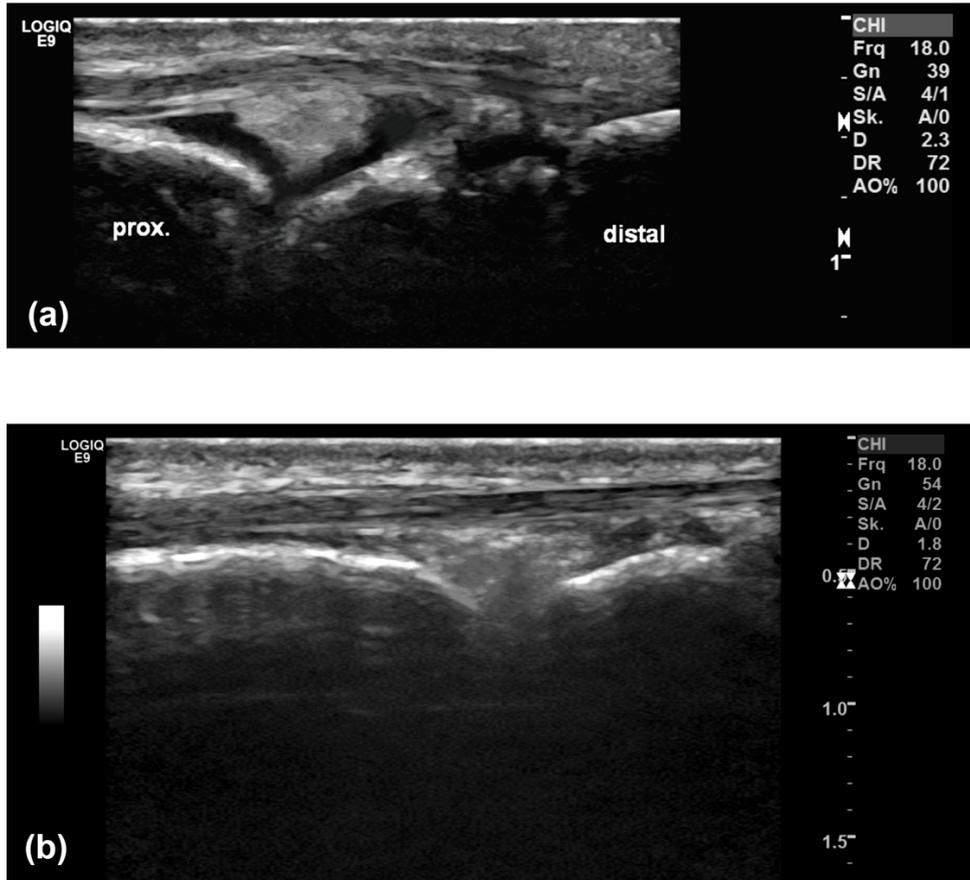


FIGURE 6

(a), sagittal image of the ABCJ with homogeneous anechoic joint effusion and dorsal displacement of the antebrachioradial fad pad. The joint capsule is not visible. (b), normal sagittal image of the ABCJ with location of the antebrachioradial fad pad in the bone bed.

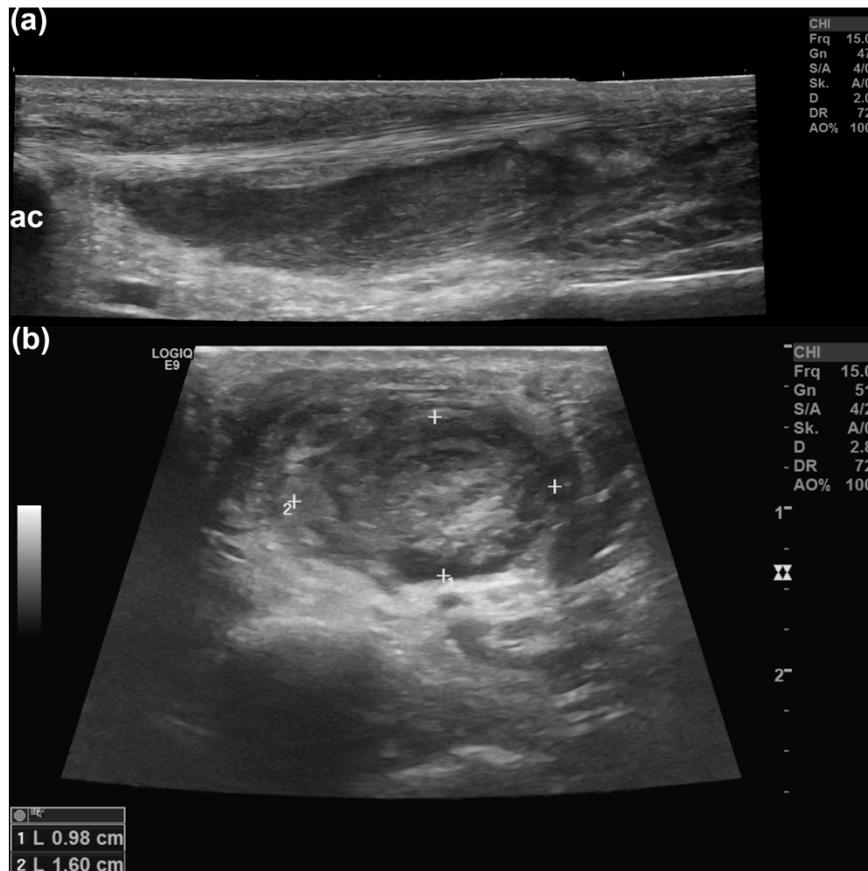


FIGURE 7

(a), sagittal image of a severe musculotendinopathy of the FCUM, the humeral head of the FCUM is not distinguishable and heterogenic severe volume increased, the ulnar head and its tendon is clear distinguishable. (b), transverse image of the humeral head of the same lesion with diameter.



FIGURE 8

Transverse image on the center of the AMLIV (2) and AMLV (1). AMLV was generalist hypoechogenic, note the small amount of anechogenic perilesional fluid. The cause of the desmitis was a hyperextension injury.

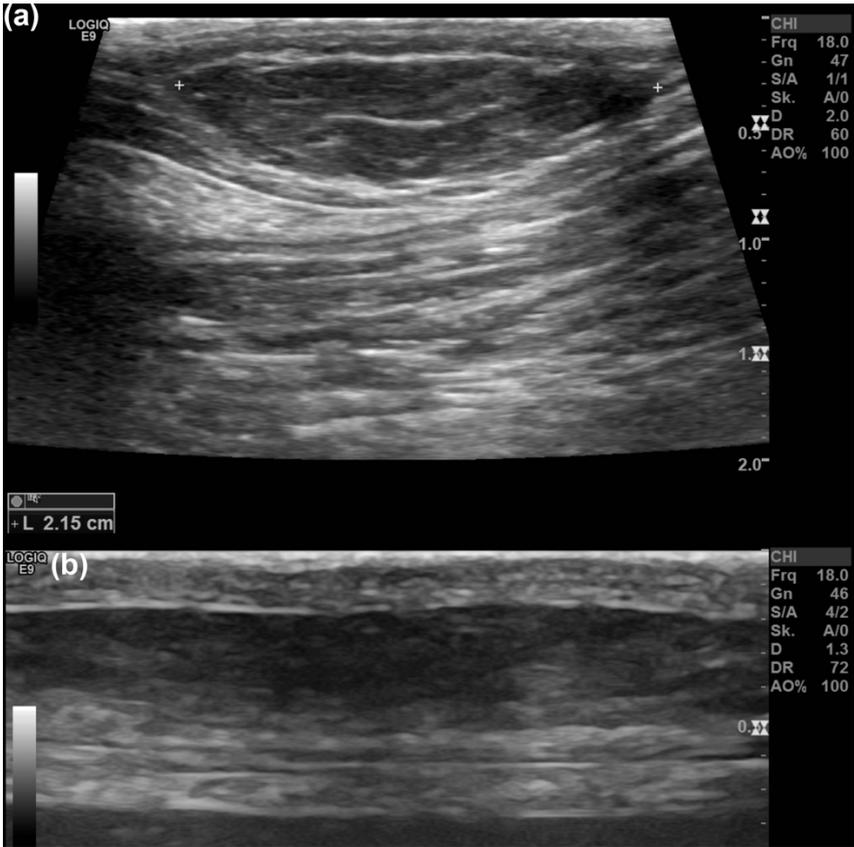


FIGURE 9
(a), transverse and, (b) sagittal image of a palmar infiltrating lipoma.

TABLE 1

Summary of the clinical parameters per category and carpus.

Characteristic	Polyarthropathy n = 6	Bone lesion n = 6	Neoplasia n = 6	Musculotendinous disorder n = 30
Age in years	5.67 ± 5.43	5.83 ± 3.49	7.83 ± 1.72	7.17 ± 2.84
Sex				
female	2 (33%)	2 (33%)	2 (33%)	11 (37%)
male	4 (67%)	4 (67%)	4 (67%)	19 (63%)
Body weight [kg]	20.05 ± 15.49	22.65 ± 7.61	29.75 ± 14.91	29.37 ± 10.70
US exam				
awake	3 (50%)	1 (17%)	3 (50%)	21 (70%)
anaesthesia	3 (50%)	5 (83%)	3 (50%)	9 (30%)
Side disease				
left	2 (33%)	1 (17%)	3 (50%)	14 (47%)
right	2 (33%)	1 (17%)	3 (50%)	8 (27%)
bilateral	2 (33%)	4 (67%)	0 (0%)	8 (27%)
Anamnesis				
lameness	1 (17%)	5 (83%)	0 (0%)	11 (37%)
soft tissue volume swelling	0 (0%)	1 (17%)	1 (17%)	7 (23%)
arthralgia	2 (33%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (3.3%)
lameness + soft tissue swelling	3 (50%)	0 (0%)	5 (83%)	11 (37%)
Degree of lameness				
grade 0	3 (50%)	0 (0%)	2 (33%)	9 (30%)
grade 1	1 (17%)	2 (33%)	1 (17%)	10 (33%)
grade 2	1 (17%)	2 (33%)	1 (17%)	5 (17%)
grade 3	1 (17%)	0 (0%)	2 (33%)	2 (6.7%)
grade 4	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	4 (13%)
grade 5	0 (0%)	2 (33%)	0 (0%)	0 (0%)
Soft tissue swelling				
no	1 (17%)	0 (0%)	0 (0%)	10 (33%)
yes	5 (83%)	6 (100%)	6 (100%)	20 (67%)
Grading soft tissue swelling				
grade 0	1 (17%)	0 (0%)	0 (0%)	10 (33%)
grade 1	1 (17%)	3 (50%)	1 (17%)	5 (17%)
grade 2	3 (50%)	3 (50%)	3 (50%)	14 (47%)
grade 3	1 (17%)	0 (0%)	2 (33%)	1 (3.3%)
Joint effusion				
no effusion	0 (0%)	5 (83%)	6 (100%)	30 (100%)
effusion	6 (100%)	1 (17%)	0 (0%)	0 (0%)
Location joint effusion				
no joint effusion	0 (0%)	5 (83%)	6 (100%)	30 (100%)
ABCJ + MCJ + CMCJ	6 (100%)	1 (17%)	0 (0%)	0 (0%)
Grading joint effusion				
grade 0	0 (0%)	5 (83%)	6 (100%)	30 (100%)
grade 1	0 (0%)	1 (17%)	0 (0%)	0 (0%)
grade 2	5 (83%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
grade 3	1 (17%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Pain palpation/flexion/extension				
grade 0	3 (50%)	2 (33%)	2 (33%)	9 (30%)
grade 1	1 (17%)	1 (17%)	2 (33%)	12 (40%)
grade 2	2 (33%)	1 (17%)	2 (33%)	8 (27%)
grade 3	0 (0%)	2 (33%)	0 (0%)	1 (3.3%)
Genesis/cause				
unknown	5 (83%)	4 (67%)	6 (100%)	25 (83%)
IMPA	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	3 (10%)
Trauma	1 (17%)	2 (33%)	0 (0%)	2 (6.7%)

TABLE 2

Detailed information about side, category, final diagnosis and confirmation, therapy, and clinical course. Nr.: number; Cat.: category (1: polyarthropathy; 2 fracture; 3: neoplasia; 4: musculotendinous disorder). T: therapy (0: no therapy; 1: NSAID, supporting and immobilizing bandage, movement restriction; 2: peritendinous injection of triamcinolone acetonide; 3: surgical treatment; 4: radiotherapy; 5: radiotherapy and surgical treatment). Course: 0: no therapy; 1: conservative (NSAID, immobilization, support bandage); 2: peritendinous injection of triamcinolone acetonide; 3: surgical treatment; 4: radiotherapy; 5: radiotherapy and surgical treatment. ME: Microbiological examination; HE: Histopathological examination.

Nr.	Cat.	Side	Finale Diagnosis	T	Course	ME	Surgery	HE	CT	MRI
1	4	left	Chronic fibrosing granulating tendovaginitis and dystrophic calcifying tendinitis of the EDC	3	1	yes	yes	yes	yes	
2	4	left	Strain of the FCU, sprain of the AMLIV+V	1	0					
3	1	left	IMPA	1	1	yes		yes		
4	4	left	Stenosing Tenosynovitis of the Abductor Pollicis Longus Muscle	2	1					yes
5	3	right	Hydrocytoma	3	0	yes	yes	yes		
6	4	right	Sterile purulent tenosynovitis of the ECR, DJD	3	0	yes	yes	yes	yes	
7	4	right	Steril fibrinous tenosynovitis of the DDFM	1	1			yes		
8	4	left	Stenosing Tenosynovitis of the Abductor Pollicis Longus Muscle	1	0				yes	
9	1	right	Pericarpal edema, Hemarthros	1	0	yes		yes		
10	4	right	Musculotendinopathy of the FCU	1	0					
11	2	right	Fracture McV, DJD, Enthesopathy AMLV, Sec. joint effusion	3	1		yes	yes	yes	
12	4	left	Enthesopathy of the ECR and AMLV	2	0				yes	yes
13	4	right	Stenosing Tenosynovitis of the Abductor Pollicis Longus Muscle	1	0			yes	yes	
14	4	left	Stenosing Tenosynovitis of the Abductor Pollicis Longus Muscle, Metaplasia MCL	1	0				yes	
15	4	right	Tendovaginitis of the SDFM, IMPA	1	0			yes		yes
16	4	left	Stenosing Tenosynovitis of the Abductor Pollicis Longus Muscle, DJD	1	1					
17	4	right	Stenosing Tenosynovitis of the Abductor Pollicis Longus Muscle, DJD	1	1					
18	4	right	Stenosing Tenosynovitis of the Abductor Pollicis Longus Muscle	1	2					
19	4	left	Stenosing Tenosynovitis of the Abductor Pollicis Longus Muscle	1	0					
20	4	right	Stenosing Tenosynovitis of the Abductor Pollicis Longus Muscle	1	0					
21	3	right	Sarcoma	5	1		yes	yes		
22	1	left	Non-erosive immune-mediated arthritis, SLA	1	1			yes		
23	1	right	Non-erosive immune-mediated arthritis, SLA	1	1			yes		
24	1	right	Suppurative arthritis, Stenosing Tenosynovitis of the Abductor Pollicis Longus Muscle	1	0	yes		yes		
25	4	left	Muskulotendinopathy of the FCU, Enthesopathy of the AMLIV+V	2	1					
26	4	left	Muskulotendinopathy of the ECR, DJD	1	0				yes	
27	2	left	Complex fracture	3	3		yes		yes	
28	2	right	Complex fracture	3	3		yes		yes	
29	4	left	Unspecific joint effusion, edema, desmopathy of the AMLIV+V	1	0				yes	
30	2	left	HO, TCC urinary bladder	0	3			yes	yes	

31	2	right	HO, TCC urinary bladder	0	3			yes	yes	
32	4	left	Muskulotendinopathy of the FCU, Desmopathy of the AMLV	3	1	yes	yes			
33	4	left	Stenosing Tenosynovitis of the Abductor Pollicis Longus Muscle	1	0					
34	4	right	Stenosing Tenosynovitis of the Abductor Pollicis Longus Muscle	1	0					
35	1	left	IMPA, DJD	1	1			yes		
36	4	right	Stenosing Tenosynovitis of the Abductor Pollicis Longus Muscle	1	1			yes		
37	4	left	Stenosing Tenosynovitis of the Abductor Pollicis Longus Muscle	2	0			yes		
38	4	right	Stenosing Tenosynovitis of the Abductor Pollicis Longus Muscle	2	0			yes		
39	4	left	Stenosing Tenosynovitis of the Abductor Pollicis Longus Muscle	1	0					
40	2	left	Bacterial osteomyelitis	1	0	yes		yes	yes	
41	3	right	Sarcoma	0	3			yes	yes	
42	3	left	Sarcoma	4	1			yes	yes	
43	3	left	Fibrolipoma	1	2			yes	yes	
44	4	left	Fibrosing Tenosynovitis of the SDFM	1	1			yes		
45	4	left	Stenosing Tenosynovitis of the Abductor Pollicis Longus Muscle, Hygrom	1	0	yes		yes		
46	4	left	Sprain of the AMLIV+V	3	1	yes	yes			
47	3	left	Infiltrating lipoma	4	2			yes		
48	4	right	Fibrosing Tenosynovitis of the FCUM	1	1			yes		
Total number:						10	9	27	17	3

TABLE 3
Treatment information per category.

Treatment	Polyarthropathy n = 6	Bone lesion n = 6	Neoplasia n = 6	Musculotendinous disorder n = 30
No treatment	0 (0%)	2 (33%)	1 (17%)	0 (0%)
NSAID, movement restriction, supporting and immobilizing bandage	6 (100%)	1 (17%)	1 (17%)	21 (70%)
Peritendinous injection of triamcinolone acetonide	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	5 (17%)
Surgical treatment	0 (0%)	3 (50%)	1 (17%)	4 (13%)
Radiotherapy	0 (0%)	0 (0%)	2 (33%)	0 (0%)
Radiotherapy and surgical treatment	0 (0%)	0 (0%)	1 (17%)	0 (0%)

TABLE 4
Results clinical course for at least 1 year per category.

Result clinical course	Polyarthropathy n = 6	Bone lesion n = 6	Neoplasia n = 6	Musculotendinous disorder n = 30
No lameness, symptom-free	2 (33%)	1 (17%)	1 (17%)	18 (60%)
Residual lameness, improvement	4 (67%)	1 (17%)	2 (33%)	11 (37%)
Lameness; no improvement	0 (0%)	0 (0%)	2 (33%)	1 (3.3%)
Euthanasia	0 (0%)	4 (67%)	1 (17%)	0 (0%)

TABLE 5
Radiographic imaging findings per category.

Characteristic	All n = 48	Polyarthropathy n = 6	Bone lesion n = 6	Neoplasia n = 6	Musculotendinous disorder n = 30
Volume soft tissue					
normal	3 (6.3%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	3 (10%)
mild increased	20 (42%)	6 (100%)	3 (50%)	0 (0%)	11 (37%)
moderate increased	22 (46%)	0 (0%)	3 (50%)	4 (67%)	15 (50%)
severe increased	2 (4.2%)	0 (0%)	0 (0%)	2 (33%)	0 (0%)
decreased	1 (2.1%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (3.3%)
Contour					
normal	48 (100%)	6 (100%)	6 (100%)	6 (100%)	30 (100%)
Pattern					
normal soft tissue	3 (6.3%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	3 (10%)
focal	6 (13%)	0 (0%)	1 (17%)	0 (0%)	5 (17%)
multifocal	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
diffus	39 (81%)	6 (100%)	5 (83%)	6 (100%)	22 (73%)
Opacity					
soft tissue opacity	39 (81%)	6 (100%)	5 (83%)	6 (100%)	22 (73%)
gas opacity	1 (2.1%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (3.3%)
mixed	8 (17%)	0 (0%)	1 (17%)	0 (0%)	7 (23%)
Thickness joint space ABCJ					
normal	48 (100%)	6 (100%)	6 (100%)	6 (100%)	30 (100%)
Thickness joint space MCJ					
normal	47 (98%)	6 (100%)	6 (100%)	6 (100%)	29 (97%)
decreased	1 (2.1%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (3.3%)
Thickness joint space CMCJ					
normal	47 (98%)	6 (100%)	6 (100%)	6 (100%)	29 (97%)
decreased	1 (2.1%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (3.3%)
increased	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Subchondral bone opacity ABCJ					
normal	47 (98%)	5 (83%)	6 (100%)	6 (100%)	30 (100%)
increased	1 (2.1%)	1 (17%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Subchondral bone opacity MCJ					
normal	46 (96%)	5 (83%)	6 (100%)	6 (100%)	29 (97%)
increased	2 (4.2%)	1 (17%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (3.3%)
Subchondral bone opacity CMCJ					
normal	45 (94%)	5 (83%)	5 (83%)	6 (100%)	29 (97%)
decreased	1 (2.1%)	0 (0%)	1 (17%)	0 (0%)	0 (0%)
increased	2 (4.2%)	1 (17%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (3.3%)
Perichondral bone opacity ABCJ					
normal	46 (96%)	6 (100%)	5 (83%)	6 (100%)	29 (97%)
decreased and increased	2 (4.2%)	0 (0%)	1 (17%)	0 (0%)	1 (3.3%)
Perichondral bone opacity MCJ					
normal	47 (98%)	6 (100%)	6 (100%)	6 (100%)	29 (97%)
decreased and increased	1 (2.1%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (3.3%)
Perichondral bone opacity CMCJ					
normal	47 (98%)	6 (100%)	5 (83%)	6 (100%)	30 (100%)
decreased and increased	1 (2.1%)	0 (0%)	1 (17%)	0 (0%)	0 (0%)
Bony proliferation ABCJ					
no	38 (79%)	3 (50%)	4 (67%)	5 (83%)	26 (87%)
mild	10 (21%)	3 (50%)	2 (33%)	1 (17%)	4 (13%)
Bony proliferation MCJ					
no	40 (83%)	2 (33%)	6 (100%)	5 (83%)	27 (90%)
mild	8 (17%)	4 (67%)	0 (0%)	1 (17%)	3 (10%)
Bony proliferation CMCJ					
no	35 (73%)	2 (33%)	2 (33%)	5 (83%)	26 (87%)
mild	13 (27%)	4 (67%)	4 (67%)	1 (17%)	4 (13%)
Size new bone ABCJ					
no new bone	38 (79%)	3 (50%)	4 (67%)	5 (83%)	26 (87%)
mild	10 (21%)	3 (50%)	2 (33%)	1 (17%)	4 (13%)
Size new bone MCJ					
no new bone	40 (83%)	2 (33%)	6 (100%)	5 (83%)	27 (90%)
mild	8 (17%)	4 (67%)	0 (0%)	1 (17%)	3 (10%)
Size new bone CMCJ					

no new bone	35 (73%)	2 (33%)	2 (33%)	5 (83%)	26 (87%)
mild	13 (27%)	4 (67%)	4 (67%)	1 (17%)	4 (13%)
Shape of new bone ABCJ					
no new bone	38 (79%)	3 (50%)	4 (67%)	5 (83%)	26 (87%)
smooth	10 (21%)	3 (50%)	2 (33%)	1 (17%)	4 (13%)
Shape of new bone MCJ					
no new bone	40 (83%)	2 (33%)	6 (100%)	5 (83%)	27 (90%)
smooth	8 (17%)	4 (67%)	0 (0%)	1 (17%)	3 (10%)
Shape of new bone CMCJ					
no new bone	35 (73%)	2 (33%)	2 (33%)	5 (83%)	26 (87%)
smooth	13 (27%)	4 (67%)	4 (67%)	1 (17%)	4 (13%)
Articular soft tissue mineralization	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Intraarticular calcified bodies	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Intraarticular gas	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Bony proliferation distal radial epiphyseal line	4 (8.3%)	0 (0%)	2 (33%)	0 (0%)	2 (6.7%)
Malformation	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Deformation	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Osteolysis	1 (2.1%)	0 (0%)	1 (17%)	0 (0%)	0 (0%)
Sclerosis	2 (4.2%)	1 (17%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (3.3%)
Subondral bone cyst formation	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Aggressiv bone lesion	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Alignment					
normal	46 (96%)	6 (100%)	5 (83%)	6 (100%)	29 (97%)
Subluxation/luxation	2 (4.3%)	0 (0%)	1 (17%)	0 (0%)	0 (0%)
Fracture					
no	46 (96%)	6 (100%)	4 (67%)	6 (100%)	30 (100%)
complex	2 (4.2%)	0 (0%)	2 (33%)	0 (0%)	0 (0%)
Fragmentation					
no	46 (96%)	6 (100%)	4 (67%)	6 (100%)	30 (100%)
>2	2 (4.2%)	0 (0%)	2 (33%)	0 (0%)	0 (0%)
Fracture Accessory carpal bone					
Entheses	2 (4.3%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	2 (6.7%)
Unknown	1	1	0	0	0
Enthesopathy ECR					
normal	46 (96%)	6 (100%)	6 (100%)	6 (100%)	28 (93%)
Enthesopathy	2 (4%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	2 (7%)
Enthesopathy APL					
normal	46 (96%)	6 (100%)	6 (100%)	6 (100%)	28 (93%)
Enthesopathy	2 (4.2%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	2 (6.7%)
Enthesopathy FCR					
normal	48 (100%)	6 (100%)	6 (100%)	6 (100%)	30 (100%)
Enthesopathy FCU					
normal	46 (96%)	6 (100%)	6 (100%)	6 (100%)	28 (93%)
Enthesopathy	2 (4.2%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	2 (6.7%)
Enthesopathy AMLIV/AMLV					
normal	43 (90%)	6 (100%)	6 (100%)	6 (100%)	25 (83%)
Enthesopathy proximal	2 (4%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	2 (6.7%)
Enthesopathy proximal and distal	3 (6%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	3 (10%)
Enthesopathy MCL					
normal	47 (98%)	6 (100%)	6 (100%)	6 (100%)	29 (97%)
Metaplasia	1 (2.1%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (3.3%)
Enthesopathy LCL					
normal	48 (100%)	6 (100%)	6 (100%)	6 (100%)	30 (100%)
Enthesopathy Accessoriocarpoulnar lig.					
normal	39 (81%)	5 (83%)	6 (100%)	6 (100%)	22 (73%)
Enthesopathy proximal	2 (4.2%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	2 (6.7%)
Enthesopathy distal	1 (2.1%)	1 (17%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Enthesopathy proximal and distal	6 (13%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	6 (20%)
Enthesopathy Accessorioulnar lig.					

normal	42 (88%)	5 (83%)	6 (100%)	6 (100%)	25 (83%)
Enthesopathy proximal	2 (4.2%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	2 (6.7%)
Enthesopathy distal	1 (2.1%)	1 (17%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Enthesopathy proximal and distal	3 (6.3%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	3 (10%)
Bony proliferation Sulcus APL					
no	37 (77%)	6 (100%)	4 (67%)	6 (100%)	21 (70%)
mild	7 (15%)	0 (0%)	2 (33%)	0 (0%)	5 (17%)
moderate	2 (4.2%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	2 (6.7%)
severe	2 (4.2%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	2 (6.7%)
Deep Sulcus APL					
no	39 (81%)	6 (100%)	6 (100%)	6 (100%)	21 (70%)
mild	8 (17%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	8 (27%)
moderate	1 (2%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (3%)

TABLE 6
Ultrasonographic imaging findings per category.

Characteristic	All n = 48	Polyarthropathy n = 6	Bone lesion n = 6	Neoplasia n = 6	Musculotendinous disorder n = 30
Volume subcutaneous areas 1-16					
normal	21 (44%)	2 (33%)	1 (17%)	3 (50%)	15 (50%)
increased	27 (56%)	4 (67%)	5 (83%)	3 (50%)	15 (50%)
Echotexture subcutaneous					
homogeneous	21 (44%)	2 (33%)	1 (17%)	3 (50%)	15 (50%)
heterogeneous	27 (56%)	4 (67%)	5 (83%)	3 (50%)	15 (50%)
Echogenicity subcutaneous					
isoechogenic	20 (42%)	2 (33%)	1 (17%)	3 (50%)	14 (47%)
hypoechoic	8 (17%)	2 (33%)	0 (0%)	0 (0%)	6 (20%)
hyperechogenic	1 (2.1%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (3.3%)
anechoic	3 (6.3%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (17%)	2 (6.7%)
mixed	16 (33%)	2 (33%)	5 (83%)	2 (33%)	7 (23%)
Fluid focal subcutaneous	4 (8.3%)	0 (0%)	1 (17%)	0 (0%)	3 (10%)
Shadowing subcutaneous					
no shadowing	46 (96%)	6 (100%)	6 (100%)	6 (100%)	28 (93%)
acoustic shadowing gas	2 (4.2%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	2 (6.7%)
acoustic shadowing mineralization	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Acoustic enhancing					
no acoustic enhancing	46 (96%)	6 (100%)	6 (100%)	6 (100%)	28 (93%)
acoustic enhancing	2 (4.2%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	2 (6.7%)
Volume musculotendinous structures					
normal	17 (35%)	5 (83%)	6 (100%)	6 (100%)	0 (0%)
increased	31 (65%)	1 (17%)	0 (0%)	0 (0%)	30 (100%)
Echotexture musculoten. structures					
homogeneous	17 (35%)	5 (83%)	6 (100%)	6 (100%)	0 (0%)
heterogeneous	31 (65%)	1 (17%)	0 (0%)	0 (0%)	30 (100%)
Echogenicity musculoten. structures					
isoechogenic	17 (35%)	5 (83%)	6 (100%)	6 (100%)	0 (0%)
hypoechoic	14 (29%)	1 (17%)	0 (0%)	0 (0%)	13 (43%)
mixed	17 (35%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	17 (57%)
Pattern musculoten. structures					
normal	17 (35%)	5 (83%)	6 (100%)	6 (100%)	0 (0%)
focal	8 (17%)	1 (17%)	0 (0%)	0 (0%)	7 (23%)
multifocal	2 (4.2%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	2 (6.7%)
diffus	11 (23%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	11 (37%)
mixed	10 (21%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	10 (33%)
Shadowing musculoten. structures					
no shadowing	38 (79%)	6 (100%)	6 (100%)	6 (100%)	20 (67%)
acoustic shadowing mineralization	10 (21%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	10 (33%)
No acoustic enhancing mus. structures					
Fluid musculoten. structures	48 (100%)	6 (100%)	6 (100%)	6 (100%)	30 (100%)
no fluid	40 (83%)	6 (100%)	6 (100%)	6 (100%)	22 (73%)
focal (homogenous, anechoic)	7 (15%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	7 (23%)
mixed (heterogeneous; mixed)	1 (2.1%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (3.3%)
Vascularisation					
normal	42 (88%)	6 (100%)	6 (100%)	2 (33%)	28 (93%)
increased	6 (13%)	0 (0%)	0 (0%)	4 (67%)	2 (6.7%)
Mass lesion					
no	39 (81%)	6 (100%)	6 (100%)	0 (0%)	27 (90%)
yes (heterogeneous; mixed)	9 (19%)	0 (0%)	0 (0%)	6 (100%)	3 (10%)
Capsule indistinct (mass lesion)	6 (13%)	0 (0%)	0 (0%)	6 (100%)	0 (0%)
Joint effusion ABCJ					
no joint effusion	36 (75%)	0 (0%)	4 (67%)	6 (100%)	26 (87%)
joint effusion	12 (25%)	6 (100%)	2 (33%)	0 (0%)	4 (13%)
Joint effusion MCJ					
no joint effusion	38 (79%)	0 (0%)	4 (67%)	6 (100%)	30 (100%)
joint effusion	10 (21%)	6 (100%)	2 (33%)	0 (0%)	0 (0%)
Joint effusion CMCJ					

no joint effusion	38 (79%)	0 (0%)	3 (50%)	6 (100%)	30 (100%)
joint effusion	10 (21%)	6 (100%)	3 (50%)	0 (0%)	0 (0%)
Echotexture joint effusion					
no joint effusion	40 (83%)	0 (0%)	3 (50%)	6 (100%)	26 (87%)
homogeneous	8 (17%)	6 (100%)	3 (50%)	0 (0%)	4 (13%)
heterogeneous	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Echogenicity joint effusion					
no joint effusion	35 (73%)	0 (0%)	3 (50%)	6 (100%)	26 (87%)
anechogenic	13 (27%)	6 (100%)	3 (50%)	0 (0%)	4 (13%)
Joint capsule					
not visible	47 (98%)	5 (83%)	6 (100%)	6 (100%)	30 (100%)
indistinctly visible or incomplete	1 (2.1%)	1 (17%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Joint surface					
normal	36 (75%)	6 (100%)	1 (17%)	5 (83%)	26 (87%)
irregular or rough	12 (25%)	0 (0%)	5 (83%)	1 (17%)	4 (13%)
Bone surface					
normal	27 (56%)	6 (100%)	1 (17%)	5 (83%)	26 (87%)
loss of specular echo	20 (42%)	0 (0%)	5 (83%)	1 (17%)	1 (4%)
irregular/rough/bony proliferations	1 (2.1%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	4 (13%)
Fracture gap or step	2 (4.2%)	0 (0%)	2 (33%)	0 (0%)	0 (0%)

TABLE 7

Detailed ultrasonographic imaging findings per disordered anatomical structure (category musculotendinous disorders).

Musculotendinous disorder (n = 30)									
Structure	APL	FCU	EDC	ECR	SDFM	DDFM	MCL	AMLIV	AMLV
Characteristic	n = 16	n = 5	n = 1	n = 3	n = 2	n = 2	n = 1	n = 4	n = 7
Volume									
normal	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
mildly increased	9 (56%)	2 (40%)	0 (0%)	1 (33%)	1 (50%)	1 (50%)	1 (100%)	2 (50%)	5 (71%)
moderately increased	6 (38%)	2 (40%)	1 (100%)	2 (67%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (25%)	1 (14%)
severely increased	1 (6.3%)	1 (20%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (50%)	1 (50%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Pattern									
normal	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (25%)	1 (14%)
focal	2 (13%)	1 (20%)	0 (0%)	1 (33%)	1 (50%)	1 (50%)	1 (100%)	1 (25%)	1 (14%)
multifocal	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
diffus	8 (50%)	4 (80%)	1 (100%)	1 (33%)	1 (50%)	1 (50%)	0 (0%)	2 (50%)	5 (71%)
mixed	6 (38%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (33%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Echotexture									
heterogeneous	16 (100%)	5 (100%)	1 (100%)	3 (100%)	2 (100%)	2 (100%)	1 (100%)	4 (100%)	7 (100%)
Echogenicity									
hypoechoogenic	9 (56%)	1 (20%)	0 (0%)	1 (33%)	1 (50%)	1 (50%)	0 (0%)	2 (50%)	5 (71%)
hyperechoogenic	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
anechoogenic	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
mixed	7 (44%)	4 (80%)	1 (100%)	2 (67%)	1 (50%)	1 (50%)	1 (100%)	2 (50%)	2 (29%)
Shadowing									
no shadowing	12 (75%)	5 (100%)	0 (0%)	1 (33%)	2 (100%)	2 (100%)	0 (0%)	4 (100%)	7 (100%)
acoustic shadowing									
mineralization	4 (25%)	0 (0%)	1 (100%)	2 (67%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (100%)	0 (0%)	0 (0%)
acoustic shadowing									
unknown	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Acoustic enhancing									
no acoustic									
enhancing	16 (100%)	5 (100%)	1 (100%)	3 (100%)	2 (100%)	2 (100%)	1 (100%)	4 (100%)	7 (100%)
acoustic enhancing	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Involvement fibers									
normal fibers	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (50%)	1 (50%)	0 (0%)	1 (25%)	1 (14%)
mild disrupted									
fibers	11 (69%)	2 (40%)	0 (0%)	2 (67%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	2 (50%)	5 (71%)
moderate disrupted									
fibers	4 (25%)	1 (20%)	1 (100%)	1 (33%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
severe disrupted									
fibers	1 (6.3%)	2 (40%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (50%)	1 (50%)	1 (100%)	1 (25%)	0 (0%)
no fiber structure	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (14%)
Demarcation lesion									
not demarcable	4 (25%)	2 (40%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (25%)	1 (14%)
indistinct									
demarcable	12 (75%)	3 (60%)	1 (100%)	2 (67%)	1 (50%)	1 (50%)	1 (100%)	2 (50%)	5 (71%)
demarcable	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (33%)	1 (50%)	1 (50%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Fluid									
no fluid	12 (75%)	3 (60%)	0 (0%)	2 (67%)	2 (100%)	2 (100%)	1 (100%)	2 (50%)	5 (71%)

Table 8
Sensitivity, specificity, and accuracy

(A) Digital radiographs vs anatomical structures + cat

		Anatomical structures				Criteria		
		pos	neg	sum				
Digital radiographs	pos	21	27	48	Accuracy	51,8%	AUC	61,4%
	neg	0	8	8	Sensitivity	100,0%	PPV	43,8%
	sum	21	35	56	Specificity	22,9%	NPV	100,0%

(B) Digital radiographs vs final diagnosis

		Final diagnosis				Criteria		
		pos	neg	sum				
Digital radiographs	pos	20	28	48	Accuracy	50,0%	AUC	61,1%
	neg	0	8	8	Sensitivity	100,0%	PPV	41,7%
	sum	20	36	56	Specificity	22,2%	NPV	100,0%

(C) Ultrasonography vs anatomical structures

		Anatomical structures				Criteria		
		pos	neg	sum				
Ultra-Sonography	pos	45	3	48	Accuracy	94,6%	AUC	86,4%
	neg	0	8	8	Sensitivity	100,0%	PPV	93,8%
	sum	45	11	56	Specificity	72,7%	NPV	100,0%

(D) Ultrasonography vs final diagnosis

		Final diagnosis				Criteria		
		pos	neg	sum				
Ultra-Sonography	pos	36	12	48	Accuracy	78,6%	AUC	70,0%
	neg	0	8	8	Sensitivity	100,0%	PPV	75,0%
	sum	36	20	56	Specificity	40,0%	NPV	100,0%

(E) Ultrasonography vs cat

		Group Disease				Criteria		
		pos	neg	sum				
Ultra-Sonography	pos	47	1	48	Accuracy	98,2%	AUC	94,4%
	neg	0	8	8	Sensitivity	100,0%	PPV	97,9%
	sum	47	9	56	Specificity	88,9%	NPV	100,0%

AUC = Area under the curve (here: average of Sensitivity and Specificity), PPV = Positive Predictive Value, and NPV = Neg:

IV DISKUSSION

Der canine Carpus mit seinen sieben Knochen und anatomisch anspruchsvollen Bandapparat stellt ein komplexes Gelenk dar (Salomon 2020).

Eine systematische Untersuchung der Gelenkanatomie und dem morphologischen Erscheinungsbild der Gelenkhöhle und Recessus des caninen Carpus mittels Ultraschall, Röntgen, CT und 3D-Volume Rendering Technique (3D-VRT) existierte in der zugänglichen Literatur bisher nicht. Ein erstes Ziel der vorliegenden Arbeit war es, diese Lücke zu schließen und die Anwendbarkeit des US zur Detektion eines artifiziellen Gelenkergusses an carpalgelenkgesunden Hunden zu belegen (Klußmann et al. 2024).

Darauf aufbauend war es ein zweites Ziel der Untersuchung, die erarbeiteten Ergebnisse auf pathologisch veränderte Carpalgelenke zu übertragen und anzuwenden sowie die diagnostischen Gütemaße Sensitivität, Spezifität und Genauigkeit des muskuloskelettalen US und des Röntgen zur Diagnose von verschiedenen Erkrankungen des caninen Carpus anhand einer größeren Fallserie zu bestimmen und ultrasonographische Befunde einzelner Erkrankungen herauszuarbeiten.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie (Klußmann et al. 2024) liefern eine umfassende ultrasonographische, röntgenologische und CT-arthrographische morphologische Beschreibung der caninen carpalen Gelenkhöhle und Recessus unter der Verwendung von unterschiedlichen artifiziellen Gelenkfüllungen (Klußmann et al. 2024). Die allgemeinen Beschreibungen der Gelenkhöhle aus der zugänglichen Literatur (Frewein et al. 2004, König et al. 2007, Horowitz und Berg 2010, Salomon 2020) konnten bestätigt werden, umschreiben allerdings nicht das komplexe Erscheinungsbild und gefundene Grundmuster und wird im Folgenden weiter erörtert. Bestätigt werden konnte in der eigenen Studie, dass die Gelenkhöhle des Carpus aus zwei getrennten, nicht miteinander kommunizierenden Abteilungen besteht (Frewein et al. 2004, Horowitz und Berg 2010). Die proximale Abteilung umfasste die Artt. antebrachioarpea, ossis carpi accessorium et radioulnaris distalis, die distale Abteilung umfasst die Artt. mediocarpea et carpometacarpea. Die beschriebene enge, spaltartige Verbindung der Art. mediocarpea mit dem Art. carpometacarpea zwischen den Ossa carpalia tertium und quartum (Frewein et al. 2004) konnte ebenfalls nachvollzogen werden. Die neuen Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass die Art. mediocarpea und die Art. carpometacarpea auch über einen gemeinsamen lateralen und gemeinsamen medialen Recessus in Verbindung stehen (Klußmann et al. 2024).

Der von Frewein et al. (2004) beschriebene weitere dorsale Recessus des Art. antebrachioarpea und der dorsale Recessus des Art. mediocarpea waren nachvollziehbar. Die dorsale Aussackung des Art. antebrachioarpea stellte sich als zwei Recessus dar, einmal als dorsoproximaler

antebrachiocarpaler Recessus sowie als dorsodistaler antebrachiocarpaler Recessus. Die dorsale Aussackung des Art. mediocarpea stellte sich ebenfalls als zwei dorsale Recessus dar. Die zuvor allgemeingültig beschriebenen Recessus des Art. antebrachioarpea (Mikić et al. 1992) stimmen mit den Ergebnissen dieser Studie überein, ihre anatomische Lage, Form und Anzahl konnten jedoch noch dezidierter beschrieben werden (Klußmann et al. 2024).

Ungeachtet des Größenunterschiedes von Hund und Katze, konnte die bereits beschriebene dorsale Gelenkhöhlenüberlappung des Art. antebrachioarpea und Art. mediocarpea der Katze (Basa et al. 2022) in der eigenen Studie auch bei allen Hunden nachvollzogen werden. In der vorliegenden Arbeit wurde das Art. antebrachioarpea immer zuerst punktiert, eine Fehlpunktion des Art. mediocarpea durch die dorsale Gelenkhöhlenüberlappung des Art. antebrachioarpea und Art. mediocarpea lag nie vor (Klußmann et al. 2024). Im klinischen Kontext kann sich aber ein erkrankter Carpus von einem morphologisch gesunden Carpus unterscheiden (Warnock und Beale 2004). Bei einer Gelenkpunktion sollte dies im klinischen Alltag berücksichtigt werden. Zum Beispiel könnte nur das Art. antebrachioarpea verändert oder gefüllt sein, bei der Gelenkpunktion könnte es dann fälschlicherweise für das Art. mediocarpea gehalten werden und umgekehrt.

In der Tiermedizin wird eine Arthrozentese (Torres und Duerr 2020) oder eine Arthrographie (Reis Silva et al. 2013) anhand von anatomischen Landmarks durchgeführt werden. Auch in der vorliegenden Arbeit erfolgte die korrekte Position der Nadel anhand von anatomischen Landmarks (Vollmerhaus 2007) mit anschließender fluoroskopischer Bestätigung. Es traten drei Arten von Extravasation auf. Die feine Extravasation des Stichkanals wurde als technisch bedingt interpretiert. Bei sieben Carpi trat bei einem Injektionsvolumen von 1,5 ml Kontrastmittel am Art. mediocarpea beim Herausziehen der Nadel eine kleine, tropfenförmige Extravasation auf. Interpretiert wurde diese Extravasation nicht als Fehlpunktion, ursächlich ist vielmehr der Druck des hohen Injektionsvolumen anzusehen. Diffuse dorsale Extravasationen und langstreckige Extravasationen in den Sehnnenscheiden der Extensoren traten bei vier Carpi auf, die nicht weiter für die Auswertung einbezogen wurden. Dies wurde als eine echte arthrographische Fehlpunktion interpretiert. Postmortale Veränderungen wie Adhäsionen oder physiologische Verbindungen können theoretisch weitere Ursachen für eine direkte Verbindung von Gelenkhöhle und Sehnnenscheide sein (Mila et al. 2021). Für eine sichere Gelenkpunktion ist die Verwendung anatomischer Landmarken (Vollmerhaus 2007) zu empfehlen, wie sie auch in der vorliegenden Arbeit beachtet wurden, die Sehnenstrukturen digital zu fixieren und zu lateralisieren sowie die endgültige Position der Nadel mittels Ultraschall, Fluoroskopie oder Röntgen zu überprüfen.

Die Anwendbarkeit des US zur Gelenkergussdiagnostik sollte in dieser Arbeit anhand von drei aufsteigenden artifiziellen Gelenkfüllungen belegt werden. Alle untersuchten Carpi waren hierfür klinisch und röntgenologisch unauffällig und wiesen ultrasonographisch keine gesteigerte Gelenkfüllung auf. Das physiologische Synovialvolumen des caninen Carpus ist in der

zugänglichen Literatur mit bis zu 1 ml beschrieben (Whitelock 2001, Clements 2006, Fernandes 2020). In der vorliegenden Arbeit lag das aspirierte Volumen des Art. antebrachioarpea und des Art. mediocarpea jeweils nicht höher als 0,1 ml. Somit lagen alle untersuchten Carpi im unteren physiologischen Referenzbereich und hatten keinen Gelenkerguss. Diese Menge an Gelenkflüssigkeit konnte vor Arthrozentese und Arthrographie weder ultrasonographisch, röntgenologisch noch computertomographisch visualisiert werden. Alle artifiziellen Gelenkfüllungen konnten dargestellt werden (Klußmann et al. 2024). Die Anwendbarkeit des US zur artifiziellen Gelenkergussdiagnostik wurde in der eigenen Arbeit belegt und das Ergebnis der Kadaverstudie kann auf Patienten mit einem carpalen Gelenkerguss übertragen werden. Allerdings ist bei der Gelenkflüssigkeit davon auszugehen, dass sie eher durch Lagerung und Gefrierprozess verändert wurde und deswegen niedrig war, als dass es physiologisch niedrig war. Der Gefrierprozess könnte die Elastizität der Gelenkkapsel und Recessus und somit das mögliche Gelenkvolumen verändert haben (Mila et al. 2021). Eine Kadaverstudie ohne Lagerung und Gefrierprozess oder eine klinische Studie von carpalgesunden Hunden wären notwendig, um zuverlässigere Daten über das physiologische Synovialvolumen zu erhalten. Die injizierten Volumina der vorliegenden Arbeit könnten jedoch als Richtwerte für weitere Studien dienen.

Im Umkehrschluss indiziert die Visualisierung von Gelenkflüssigkeit einen möglichen Gelenkerguss. Eine gesteigerte Gelenkfüllung und ihre Darstellbarkeit ist unter anderem bei der OA (Hewicker-Trautwein et al. 2008, Jacqmin et al. 2023), der OCD (Morris und Anderson 2013) oder der Angular limb deformity mit sekundärem carpalen Gelenkerguss (Theyse et al. 2005) beschrieben.

Bei der Katze ist ein anderes Muster der Kontrastmittelverteilung des Art. antebrachioarpea beschrieben als bei den Hunden der eigenen Arbeit (Klußmann et al. 2024). Das feline Art. antebrachioarpea füllt sich zuerst dorsal und distal und zuletzt palmar mit Kontrastmittel aus (Basa et al. 2022). In der eigenen Arbeit füllte sich das canine Art. antebrachioarpea zuerst deutlich palmarolateral und dünner dorsal, ohne dorsoproximaler oder dorsodistaler Tendenz, dann palmaromedial und dicker dorsal. Ungeachtet der Tatsache, dass ein künstlicher Gelenkerguss nicht das gleiche Verteilungsmuster aufweisen muss wie ein natürlicher Gelenkerguss, deutet das mit dieser Arbeit gefundene canine artifizielle Verteilungsmuster daraufhin, dass eine geringgradige antebrachioarpeale Gelenkfüllung klinisch und röntgenologisch schwer oder gar nicht feststellbar sein kann. Trotz des komplexen Erscheinungsbildes und der Vielzahl variabler Ultraschallsondenpositionen zur Untersuchung der Gelenkaussackungen wird daher eine Ultraschalluntersuchung stets mit palmarolateralen und dorsalen Fokus empfohlen, insbesondere bei klinisch fraglichen Gelenkerguss des Art. antebrachioarpea. Die sagittale Ultraschallebene ist zu bevorzugen, da sie einen besseren Überblick bietet und die Darstellung von zwei oder drei Gelenketagen ermöglicht (Klußmann et al. 2024).

Ultraschall, CT-Arthrographie sowie die Farbbilddarstellung der 3D-VRT waren in der eigenen Studie zuverlässige Methoden zur Visualisierung der artifiziellen Gelenkfüllungen. Alle Recessus konnten ultrasonographisch dargestellt werden. Carpometacarpal waren dorsal und palmar keine Recessus visualisierbar. Die Recessus stellten sich als trichterförmige und unregelmäßige, feintubuläre Ausziehungen entlang der Metacarpalia I-V dar. Das distalste Ende war die proximale metacarpale Diaphyse, die prominenteste tubuläre Extension verlief dorsal des Mc III (Klußmann et al. 2024). Im Falle einer Verletzung oder offenen metacarpalen Frakturen sollte die anatomische Lage der tubulären Extensionen des Mc III in Hinblick auf eine mögliche Gelenkbeteiligung berücksichtigt werden. Zumal Frakturen des Metacarpus beim Hund häufiger sind (Muir und Norris 1997) und auch im Zusammenhang der häufigen Hyperextensionsverletzung auftreten (Parker et al. 1981).

Die Limitationen der vorliegenden Kadaverstudie an gesunden Carpi waren:

1. Die Heterogenität und Anzahl der untersuchten Hunde, wodurch keine Messungen und Analysen durchgeführt werden konnten, die eine Übertragbarkeit auf einzelne Rassen oder auf die gesamte Hundepopulation zuließen. Diese Limitation ist auch in der zugänglichen Literatur adressiert (González-Rellán et al. 2021, González-Rellán et al. 2023), nicht weiter diskutiert und am ehesten der geringen Studienlage im Bereich der Ultrasonographie des Carpus geschuldet. Weitere Untersuchungen sind somit erforderlich.

2. Die Ergebnisse wurden durch 3 verschiedene bildgebende Verfahren unter Berücksichtigung der aktuellen zugänglichen Literatur gewonnen, vergleichende und fortführende Untersuchungen mittels Sektion (González-Rellán et al. 2021, González-Rellán et al. 2023) Plastinaten (Brühschwein 2005), Gefrierschnittverfahren oder histologischen Untersuchungen wären denkbar.

3. Die Ultraschalluntersuchung wurde immer mit derselben hochfrequenten Ultraschallsonde durchgeführt. Weitere Untersuchungen mit anderen Ultraschallsonden und Ultraschallfrequenzen, insbesondere niedrigeren Ultraschallfrequenzen, wären sinnvoll, da im klinischen Alltag nicht immer hochfrequente Ultraschallsonde verfügbar sind (Cook 2016).
4. Der für eine optimale Ankopplung notwendige aufzubringende Druck wurde nicht standardisiert, was zu unterschiedlichen Ergebnissen führen könnte. Studien in der zugänglichen Literatur fehlen dazu.

Ein weiteres Ziel dieser Arbeit war es die diagnostischen Gütemaße Sensitivität, Spezifität und Genauigkeit des muskuloskelettalen US und des Röntgen zur Diagnose verschiedener Erkrankungen des caninen Carpus anhand einer größeren bestätigten Fallserie zu bestimmen und ultrasonographische Befunde einzelner Erkrankungen herauszuarbeiten. 48 erkrankte und 8 gesunde Carpalgelenke unterschiedlicher Hunderassen erfüllten alle Einschlusskriterien und wurden für diesen Zweck prospektiv ausgewertet. Zur Berechnung von Sensitivität, Spezifität und Genauigkeit des US und Röntgen diente als Goldstandard eine final bestätigte Carpalerkrankung

basierend aus Ergebnisse von Arthrozentese, mikrobiologischer und histopathologischer Untersuchung, CT, MRT und klinischen Verlauf von mindestens einem Jahr. Für eine bessere Übersicht und Vergleichbarkeit wurden die erkrankten Carpi anhand ihrer finalen Diagnose in einer der folgenden Kategorien eingeteilt: „Polyarthropathie“; „Bone lesions“; Neoplasia; „Musculotendineous disorders“.

Mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit konnte gezeigt werden, dass der US nicht nur eine zuverlässige Modalität zur Detektion erkrankter Carpalstrukturen ist (Sensitivität: 100%; Spezifität: 72,7 %; Genauigkeit: 94,6 %), sondern auch zur Diagnose einer Kategorie (Sensitivität: 100 %; Spezifität: 88,9 %; Genauigkeit: 98,2 %) sowie letztlich einer dezidierten Carpalgelenkserkrankung (Sensitivität: 100 %; Spezifität: 40 %; Genauigkeit: 78,6 %). Die Unterschiede in Spezifität und Genauigkeit lassen sich durch den faktischen Zusammenhang erklären, dass es leichter ist, veränderte Strukturen zu erkennen, als diese einer Kategorie oder finale Diagnose zu zuordnen. Derartige Untersuchungen und Ergebnisse sind in der zugänglichen Literatur am canine Carpus nicht beschrieben. Lediglich wenige Studien zu den ultrasonographisch frequenter untersuchten muskuloskelettalen Regionen des Hundes sind im ähnlichen Kontext beschrieben, meist jedoch spezifisch für eine anatomische Struktur bzw. Krankheit (Ober et al. 2008, Arnault et al. 2009, Wall et al. 2015, Tsoi et al. 2023) und daher weniger als Vergleich geeignet.

Ein weiteres Ergebnis dieser Arbeit ist, dass sich das Röntgen, zusammenfassend betrachtet, mit einer Sensitivität von 100 %; Spezifität von 23 %, Genauigkeit von 51 %; zur alleinigen Detektion erkrankter Carpalstrukturen oder zur Diagnose einer spezifischen Kategorie und letztlich spezifischen Carpalerkrankung, als Modalität weniger eignet. Dieses Ergebnis ist in der zugänglichen Literatur am caninen Carpus bisher ebenfalls nicht beschrieben. Untersuchungen in diesem Kontext wurden an den frequenter untersuchten Regionen des Hundes, meist mit Schwerpunkt auf knöchernen Veränderungen, durchgeführt (Samoy et al. 2012, Allan und Davies 2018). Mit der Röntgenuntersuchung des caninen Carpus lassen sich neben Frakturen und Dislokationen, (Guilliard und Mayo 2001, Vedrine 2013) Weichteilschwellungen, eine veränderte Röntgengichte des subchondralen Knochens, Osteophyten- oder Enthesiophytenbildung, Mineralisationen und eine veränderte Gelenkmorphologie aufzeigen (Allan und Davies 2018). Erkrankungen im Frühstadium oder die direkte Visualisierung von Weichteilstrukturen wie Bandstrukturen, Gelenkknorpel oder Synovia ist röntgenologisch nicht möglich (Allan und Davies 2018) und eine Erklärung für die in dieser Arbeit festgestellten niedrigen Spezifität und Genauigkeit der Röntgenuntersuchung. Gleichzeitig war in der vorliegenden Arbeit der Anteil an Patienten mit knöchernen Veränderungen („Category Bone lesions“; n = 6), insbesondere Frakturen, welche sowohl ultrasonographisch als auch röntgenologisch zwar detektiert, jedoch im Ausmaß nicht vollständig erkannt wurden, sehr gering und der Anteil mit muskulotendinösen Veränderungen („Category Musculotendinous disorders“; n = 30), verhältnismäßig hoch. Weitere Untersuchungen mit höheren Fallzahlen und einem ausgewogenen Verhältnis von Knochenkrankungen und

Weichteilerkrankungen wären von Interesse und würden vermutlich die in dieser Arbeit gemachten Ergebnisse, sowohl für den US als auch dem Röntgen, relativieren.

Ein weiteres Ergebnis dieser Arbeit ist eine ultrasonographische Fallsammlung verschiedener Carpalerkrankungen des Hundes, welche Referenzdaten für die ultrasonographische Beurteilung von Hunden mit einer möglichen Carpalerkrankung bereitstellt. In der zugänglichen Literatur fehlen derartige Zusammenfassungen. Die bereits ausführlich in der zugänglichen Literatur beschriebenen ultrasonographische Normalanatomie (Spattini et al. 2019, González-Rellán et al. 2021, González-Rellán et al. 2023) konnten mit der vorliegenden Arbeit bestätigt werden.

Das häufigste Zeichen für eine Carpalerkrankung des Hundes war in der vorliegenden Arbeit eine Weichteilschwellung. In der orthopädischen Untersuchung konnte in 77 % der Fälle, in der röntgenologischen und ultrasonographischen Untersuchung in 96 % der Fälle eine Weichteilschwellung festgestellt werden. Ein weiteres Ergebnis ist nicht die bereits häufig in der Literatur beschriebene carpale Weichteilschwellung bei Carpalerkrankungen des Hundes (Guilliard und Mayo 2001, Tomlin et al. 2001, Hittmair et al. 2012, Bristow et al. 2015, von Pfeil et al. 2015, Marcellin-Little und von Pfeil 2020), sondern das gefundene Verteilungsmuster der Weichteilschwellung im Röntgen und Ultraschall. Bestimmt wurde das Verteilungsmuster stets von der anatomischen Lage der betroffenen Struktur, bei einem deutlichen Gelenkerguss trat stets eine generalisierte Weichteilschwellung ohne Tendenz für ein Muster auf. Die Ergebnisse der gefundenen Weichteilschwellungsmuster können als Referenzdaten und Unterstützung im Sinne einer „Landkarte“ zur Diagnose einer Carpalerkrankung verwendet werden. Derartige erkrankungsspezifische Muster sind am caninen Carpus in der zugänglichen Literatur nicht beschrieben.

Ultrasonographisch konnte die carpale Weichteilschwellung in eine volumenveränderte Unterhaut und volumenveränderte andere anatomische Struktur differenziert werden. In 56 % aller Fälle war die Unterhaut heterogen volumenvergrößert. Die Kategorie „Bone lesions“ hatte am häufigsten eine ultrasonographisch veränderte Unterhaut, was auf den Anteil komplexer Frakturen oder bakterieller Entzündung zurückzuführen war. In der vorliegenden Arbeit war eine heterogen veränderte Unterhaut oder verdickte Unterhaut mehrheitlich ein unspezifischer ultrasonographischer Befund sekundär zu einer strukturellen Erkrankung des Carpus und wurde als subkutanes Ödem gewertet. Lag eine nachgewiesene bakterielle Entzündung vor, wurde dies als Cellulitis gewertet. Die in der zugänglichen Literatur beschriebene Möglichkeit eine Cellulitis durch das Doppler-Verfahren und der bei einer Cellulitis einhergehenden gesteigerte Durchblutung festzustellen (Cook 2016), war in der vorliegenden Arbeit aus technischen Gründen, aufgrund des dünnen Weichteilmantels der Unterhaut, nicht möglich. Weitere Studien mit modernen Ultrahochfrequenz-Ultraschallsonden wären hier von Interesse (Viviano et al. 2018).

Die häufigste erkrankte Struktur des caninen Carpus in der vorliegenden Arbeit war der M. abductor pollicis longus mit stenosierender Tenovaginitis. Die bereits ausführlich in der zugänglichen Literatur beschriebenen klinischen, röntgenologischen und ultrasonographischen Befunde (Grundmann und Montavon 2001, Moores und Comerford 2005, Okamura et al. 2007, Hittmair et al. 2012) konnten mit der vorliegenden Arbeit bestätigt werden. Ebenfalls war in der vorliegenden Arbeit der US zuverlässiger als das Röntgen zur Diagnosefindung, was auch von Hittmair et al. (2012) bestätigt wurde. Das in der Literatur beschriebene gehäufte Auftreten bei großen Hunderassen, Arbeitshunden und sportlich geführten Hunden (Hittmair et al. 2012), konnte hingegen nicht bestätigt werden. In der vorliegenden Arbeit waren alle Hunde mit einer stenosierenden Tenovaginitis des M. abductor pollicis longus ältere Hunde und mittelgroße bis große Hunderassen ohne spezifische Nutzungsrichtung. Eine Rasseprädisposition war nicht ersichtlich. Der einzige und kleinste Hund war ein Yorkshire Terrier.

Die zweithäufigste erkrankte Struktur in der vorliegenden Arbeit waren die Bänder des Os carpi accessorium, die Ligg. accessoriometacarpea IV+V. In der zugänglichen Literatur werden die Bänder im Zusammenhang mit der häufigen Hyperextensionsverletzung beschrieben (Bristow et al. 2015, Marcellin-Little und von Pfeil 2020), welche, so wie auch in der vorliegenden Arbeit, am häufigsten durch ein Trauma wie Sturz oder Fall aus großer Höhe verursacht wird und zu einer Ruptur der palmaren Bandstrukturen führen kann (Marcellin-Little und von Pfeil 2020, Feldman und Sato 2022). Experimentelle Kadaverstudien zur Hyperextensionsverletzung an Hunden belegen, dass sowohl die Lig. collateralia als auch palmare Bandstrukturen an der Gelenkstabilität des Art. antebrachioarpea beteiligt sind und eine Hyperextension verhindern (Milgram et al. 2012, Milgram et al. 2019). Ultrasonographische Studien zur Hyperextensionsverletzung fehlen in der zugänglichen Literatur. Die Diagnose basiert klassisch, unter Berücksichtigung der Anamnese, auf einer orthopädischen und röntgenologischen Untersuchung, einschließlich Stressröntgenaufnahmen. Bei Verdacht einer okkulten Fraktur oder bei unauffälligen Funktionsröntgenaufnahmen ist eine CT zur weiteren Differenzierung in der zugänglichen Literatur beschrieben (Marcellin-Little und von Pfeil 2020, Tobolska et al. 2020, Beierer 2021).

Dieser diagnostische Ablauf wurde an der Chirurgischen und Gynäkologischen Kleintierklinik der LMU München ebenfalls durchgeführt. Viele Hunde mit einer Hyperextensionsverletzung wurden allerdings im Notdienst vorstellig und wurden meistens direkt behandelt. Eine ultrasonographische Untersuchung war daher nicht immer möglich. Die in der vorliegenden Arbeit untersuchten Hunde wiesen alle ultrasonographische Befunde einer Hyperextensionsverletzung auf, Desmitis oder eine Ruptur des Lig. accessoriometacarpeum V konnten festgestellt werden. Instabilität oder Luxation waren allerdings nicht vorhanden. Die Rolle des Ultraschalls zur Evaluierung einer Hyperextensionsverletzung scheint vielversprechend zu sein und ungeachtet dessen, dass es weitere Studien mit höheren Fallzahlen hierzu bedarf, konnte der Nutzen der Ultraschalluntersuchung im Bereich der Hyperextensionsverletzung belegt werden. Die

ultrasonographische Visualisierung und Untersuchung der Ligg. accessoriometacarpea IV+V ist in der zugänglichen Literatur bisher nicht beschrieben.

Die ultrasonographische Diagnose einer Muskulotendinopathie des M. flexor carpi ulnaris ist in der zugänglichen Literatur relativ selten beschrieben (Kuan et al. 2007, Tani 2022, Franini et al. 2023). Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit können unter Berücksichtigung der bereits in der Literatur beschriebenen ultrasonographischen Normalanatomie (González-Rellán et al. 2023) als weitere Referenzdaten zur Diagnose einer Muskulotendinopathie des M. flexor carpi ulnaris dienen. Ultrasonographisch war es in der vorliegenden Arbeit möglich zwischen Läsionen des Caput humerale und Caput ulnare zu unterscheiden. Diese Unterscheidungsmöglichkeit könnte im therapeutischen Kontext genutzt werden, wie bei den in der zugänglichen Literatur beschriebenen gezielt injizierten regenerativen Therapien (Franini et al. 2023). Bei fraglicher anatomischer Zugehörigkeit oder deutlichem Masseneffekt wurde eine Feinnadelaspiration und histopathologische Untersuchung durchgeführt, welche in unklaren Fällen empfohlen ist (Marcellin-Little und von Pfeil 2020). Die mit dieser Arbeit belegte hohe Spezifität des US kann den Einsatz von invasiven und teuren bildgebenden Verfahren, wie dem PET-CT, die in der zugänglichen Literatur zur Diagnose einer Muskulotendinopathie des M. flexor carpi ulnaris beschrieben ist (Mann et al. 2016, Frank et al. 2019), reduzieren.

Das Ergebnis dieser vorliegenden Arbeit, dass ein artifizieller carpaler Gelenkerguss ultrasonographisch diagnostiziert werden kann (Klußmann et al. 2024), konnte auf natürlich vorkommende Gelenkergüsse übertragen und angewendet werden. Das in der vorliegenden Arbeit gefundene morphologische Grundmuster (Klußmann et al. 2024) konnte ebenfalls bei allen natürlich vorkommenden Gelenkergüssen ultrasonographisch festgestellt werden. Die dorsale Dislokation des dorsalen antebrachiocarpalen Fettpolster (Klußmann et al. 2024) erwies sich in der vorliegenden Arbeit als ein sicheres Kriterium zur Diagnose einer Gelenkfüllung des Art. antebrachioarpea. Die Fettpolsterverdrängung ist in der zugänglichen Literatur am Ellbogengelenk und Kniegelenk des Hundes beschrieben (Allan und Davies 2018), bisher aber nicht am Carpus. Berücksichtigt wurde bei der antebrachiocarpalen Fettpolsterverdrängung, dass ein zu hoher aufgebrachte Druck das Fettpolster komprimieren konnte und der Gelenkerguss verdrängt werden konnte.

Die Ergebnisse dieser vorliegenden Arbeit schließen somit eine Lücke in der zugänglichen Literatur und können bei klinisch fraglicher Situation eines Gelenkergusses des Carpus den Untersucher bei der Arthrozenteseentscheidung unterstützen. Weitere Studien zur Klassifizierung eines carpalen Gelenkerguss wären von Interesse.

Der letzte Teil dieser vorliegenden Arbeit zeigte, dass der muskuloskeletale Ultraschall eine zuverlässige Modalität zur Diagnose verschiedener Carpalgelenkserkrankungen des Hundes ist, und zwar mit einer deutlich höheren Spezifität als das Röntgen, das in der Veterinärmedizin am

häufigsten eingesetzte bildgebende Verfahren. Muskulotendinöse Erkrankungen, Neoplasien und Gelenkergüsse konnten zuverlässig diagnostiziert werden. Muskulotendinöse Erkrankungen und Neoplasien konnten weniger durch ihre Echotextur und Echogenität voneinander unterschieden werden als vielmehr dadurch, ob eine muskulotendinöse Struktur betroffen war oder nicht. Bei allen untersuchten Neoplasien stellten sich alle muskulotendinösen Strukturen des Carpus ultrasonographisch unauffällig dar und die stets heterogene Masse hatte keine Assoziation zu einer muskulotendinösen Struktur. Bei einer muskulotendinösen Erkrankung war stets die erkrankte anatomische Struktur heterogen volumenvergrößert. Ultrasonographischen Kontrastmittelstudien wären hier von Interesse. Ein weiteres Ergebnis dieser vorliegenden Arbeit ist die detaillierte ultrasonographische Fallsammlung verschiedener Carpalgelenkerkrankungen des Hundes, welche als Referenzdaten für den klinischen Alltag dienen kann, Studien zum Heilungsverlauf verschiedener muskulotendinöser Erkrankungen könnten in Betracht gezogen werden.

V ZUSAMMENFASSUNG

Der canine Carpus mit seinen Gelenketagen, diffizilen Bandapparat und Vielzahl an möglichen Erkrankungen ist eine anspruchsvolle Untersuchungsregion und setzt für eine Diagnosestellung dezidierte anatomische Kenntnisse voraus. Der carpale Gelenkerguss und das physiologische Erscheinungsbild der carpalen Gelenkhöhle und Recessus haben bis jetzt wenig bildgebendes Studieninteresse erfahren. Ein Ziel dieser Arbeit war es die carpale Gelenkhöhle und Recessus von carpalgesunden Hunden mittels Röntgen (Siemens Axiom Luminos dRF; Siemens Healthcare GmbH, Erlangen, Germany), Ultraschall (GE LOGIQ E9; L8-L18i-D Hockey Stick Probe, GE Healthcare, Solingen, Germany), CT, CT-Arthrographie und 3D-VRT (SOMATOM Definition AS, CT070/13/S, Siemens Healthcare GmbH, Erlangen, Germany) zu untersuchen, das morphologische Erscheinungsbild zu beschreiben und die Anwendbarkeit der US zur Detektion einen artifiziellen Gelenkergusses zu belegen.

Hierzu wurden 28 carpalgesunde Kadaver von unterschiedlichen Hunderassen mit einem Körpergewicht von >20 kg untersucht. Die neuen Ergebnisse dieser Arbeit liefern die erste umfassende morphologische Beschreibung des ultrasonographischen, röntgenologischen und CT-arthrographischen Erscheinungsbildes der caninen carpalen Gelenkhöhle und der Recessus. Die carpale Gelenkhöhle und Recessus hatten ein komplexes Erscheinungsbild. Alle Hunde hatten folgendes gleiches Grundmuster: Art. antebrachioarpea: ein dorsoproximaler und ein dorsodistaler Recessus, einen medialen und einen lateralen Recessus sowie fünf palmare Recessus. Art. mediocarpea: zwei dorsale Recessus, vier palmare Recessus sowie einen gemeinsamen medialen und gemeinsamen lateralen Recessus zusammen mit dem Art. carpometacarpea. Das Art. carpometacarpea hatte dorsal und palmar trichterförmige und unregelmäßige, fein-tubuläre Ausziehungen. Die prominenteste Ausziehung verlief dorsal des Mc III. Das distalste Ende war die proximale metacarpale Diaphyse. Alle Recessus stellten sich ultrasonographisch als generalisiert anechogen bis hypoechogen gefüllte Fortsetzung der Gelenkhöhle dar. Eine undeutliche, feine hypoechogene bis isoechogene Kapsel war darstellbar. Die klare Abgrenzung dieser Kapsel zum umliegenden Weichteilgewebe war schwierig. Ein weiteres Ergebnis dieser Studie war, dass sich der Ultraschall zur Detektion einer artifiziellen carpalen Gelenkfüllung eignet.

Ein darauf aufbauendes weiteres Ziel dieser Arbeit war es, die Ergebnisse auf pathologisch veränderte Carpalgelenke zu übertragen und anzuwenden, Sensitivität, Spezifität und Genauigkeit des muskuloskelettalen US und des Röntgen zur Diagnose von verschiedenen Erkrankungen des caninen Carpus anhand einer größeren Fallserie zu bestimmen sowie ultrasonographische Befunde einzelner Erkrankungen herauszuarbeiten. Hierzu wurden in einem weiteren Schritt 41 Hunde, die an der Chirurgischen und Gynäkologischen Kleintierklinik der LMU München in den Jahren zwischen 2018 und 2022 mit einer Carpalerkrankung vorstellig geworden sind, eine orthopädische Untersuchung sowie eine röntgenologische und ultrasonographische Untersuchung des Carpus erhalten haben, prospektiv ausgewertet. Zur Berechnung der Sensitivität, Spezifität

und Genauigkeit des US und Röntgen diene als Goldstandard eine final bestätigte Carpalerkrankung, basierend auf Ergebnissen von Arthrozentese, mikrobiologischer und histopathologischer Untersuchung, CT, MRT, chirurgischer Befunde und klinischem Verlauf von mindestens einem Jahr. Mit den neuen Ergebnissen der vorliegenden Arbeit konnte gezeigt werden, dass der US eine zuverlässige Modalität zur Diagnose von unterschiedlichen Carpalerkrankungen des Hundes ist (Sensitivität: 100 %; Spezifität: 40 %; Genauigkeit: 78,6 %) und dem Röntgen (Sensitivität: 100 %; Spezifität: 23 %, Genauigkeit: 51 %) hierbei überlegen ist. Ein weiteres Ergebnis dieser Arbeit ist eine ultrasonographische Fallsammlung verschiedener Carpalerkrankungen des Hundes, welche Referenzdaten für die ultrasonographische Beurteilung von Hunden mit einer möglichen Carpalerkrankung bereitstellt. Ein weiteres Ergebnis dieser Arbeit ist, dass sich der US zur Diagnose eines pathologischen Gelenkergusses eignet und die dorsale Dislokation des dorsalen antebrachiocarpalen Fettpolsters ein einfaches Kriterium zur Diagnose einer Gelenkfüllung des Art. antebrachioarpea ist.

VI SUMMARY

The canine carpus with its seven carpal bones, arranged in two rows and held together by a multitude of carpal ligaments, is a complex joint. These structures can be damaged by many causes. The canine carpus is a challenging region to examine and requires a thorough knowledge of the anatomy to make a diagnosis. Carpal effusion and the physiologic appearance of the carpal cavity and recess have received little attention in imaging studies. The purpose of this study was to examine the carpal joint cavity and its recesses in healthy dogs using radiography (Siemens Axiom Luminos dRF; Siemens Healthcare GmbH, Erlangen, Germany), ultrasonography (GE LOGIQ E9; L8-L18i-D Hockey Stick Probe, GE Healthcare, Solingen, Germany), CT, CT-arthrography, and 3D-VRT (SOMATOM Definition AS, CT070/13/S, Siemens Healthcare GmbH, Erlangen, Germany), to describe the morphologic appearance, and to prove the applicability of musculoskeletal US for the detection of artificial carpal joint effusion in dogs. Twenty-eight clinically and radiologically unremarkable canine carpal cadavers of different breeds were examined. The novel results of this study provide the first morphological description of the ultrasonographic, radiographic and computed tomographic arthrographic appearance of the canine carpal joint cavities and recesses with different injection volumes. The canine carpal joint cavities, and particularly its recesses had a complex appearance with a basic structure found in all dogs: Antebrachiocarpal joint: dorsoproximal antebrachiocarpal recess, dorsodistal antebrachiocarpal recess, medial antebrachiocarpal recess, lateral antebrachiocarpal recess and five palmar antebrachiocarpal recesses. Middle carpal joint: two dorsal middle carpal recesses, medial common middle carpal and carpometacarpal recess, lateral common middle carpal, and carpometacarpal recess, four palmar middle carpal recesses. The carpometacarpal joint had dorsal and palmar funnel-shaped and irregular, finely tubular extensions, the most prominent ran dorsal to metacarpal III, the maximum distal end represented the proximal metacarpal diaphysis. All recesses presented ultrasonographically as a generalized anechogenic to hypoechoic filled continuation of the articular capsule with an indistinct peripheral hypoechogenic to isoechogenic fine capsule, the synovial-connective tissue interface was difficult to identify. The applicability of musculoskeletal US to visualize an artificial carpal effusion has been demonstrated.

A further and subsequent aim of this study was to transfer and apply the results obtained to disordered canine carpal joints and to evaluate the sensitivity and specificity of musculoskeletal US for the diagnosis of various canine carpal disorders, using a final confirmed diagnosis, based on arthrocentesis, microbiologic, histopathologic, CT, MRI, or surgical findings, and a clinical course of at least one year, as the gold standard for comparison. A further aim was to investigate and characterize these US findings of individual canine carpal disorders to provide ultrasonographic reference data for evaluating dogs with suspected carpal disorder. The new results of the present study demonstrate that US is a reliable modality for the diagnosis of various canine carpal disorders (sensitivity: 100%; specificity: 40%; accuracy: 78.6%) and is superior to radiography (sensitivity:

100%; specificity: 23%; accuracy: 51%). Another result of this work is an ultrasonographic case collection of different canine carpal disorders, which provides reference data for the ultrasonographic evaluation of dogs with possible carpal disease. Another finding of this study is that US is useful in the diagnosis of pathologic joint effusion and that dorsal displacement of the dorsal antebrachiocondylar fat pad is an easy ultrasound finding for the diagnosis of joint filling of the antebrachiocondylar joint.

VII LITERATURVERZEICHNIS

1. Adams, J. E., M. E. Zobitz, J. S. Reach, Jr., K. N. An, D. G. Lewallen und S. P. Steinmann (2005). "Canine carpal joint fusion: a model for four-corner arthrodesis using a porous tantalum implant." *J Hand Surg Am* 30(6): 1128-1135.
2. Allan, G. und S. Davies (2018). *Radiographic Signs of Joint Disease in Dogs and Cats. Textbook of Veterinary Diagnostic Radiology*. D. E. Thrall. St. Louis, Missouri, USA, Elsevier. 7: 403-433.
3. Armbrust, L. J., D. S. Biller, M. G. Radlinsky und J. J. Hoskinson (2003). "Ultrasonographic diagnosis of foreign bodies associated with chronic draining tracts and abscesses in dogs." *Vet Radiol Ultrasound* 44(1): 66-70.
4. Arnault, F., E. Cauvin, E. Viguier, E. Kraft, J. Sonet und C. Carozzo (2009). "Diagnostic value of ultrasonography to assess stifle lesions in dogs after cranial cruciate ligament rupture: 13 cases." *Vet Comp Orthop Traumatol* 22(6): 479-485.
5. Barella, G., M. Lodi und S. Faverzani (2018). "Ultrasonographic findings of shoulder teno-muscular structures in symptomatic and asymptomatic dogs." *J Ultrasound* 21(2): 145-152.
6. Basa, R. M., A. M. Crowley und K. A. Johnson (2020). "Neurofibroma of the ulnar nerve in the carpal canal in a dog: treatment by marginal neurectomy." *J Small Anim Pract* 61(8): 512-515.
7. Basa, R. M. und K. A. Johnson (2019). "Management of feline carpal injuries: What are the options and when is arthrodesis indicated?" *J Feline Med Surg* 21(9): 809-823.
8. Basa, R. M., K. A. Johnson und J. M. Podadera (2022). "The effect of CT and MRI with and without arthrography on the appearance of the feline carpal ligaments." *BMC Vet Res* 18(1): 368.
9. Baudin Tréhiou, C., S. Gibert, P. Sériot, A. Dunié-Mérigot und L. Blond (2020). "CT is helpful for the detection and presurgical planning of lung perforation in dogs with spontaneous pneumothorax induced by grass awn migration: 22 cases." *Vet Radiol Ultrasound* 61(2): 157-166.
10. Bayer, K., A.-K. Jasensky, R. Merle, C. Weber, E. Müller und B. Kohn (2023). "Das C-reaktive Protein und Albumin als Biomarker bei der primär immunbedingten Polyarthrit des Hundes." *Kleintierpraxis* 68: 116–126.
11. Beierer, L. H. (2021). "Canine Carpal Injuries: From Fractures to Hyperextension Injuries." *Vet Clin North Am Small Anim Pract* 51(2): 285-303.
12. Bellenger, C. R., K. A. Johnson, P. E. Davis und J. E. Ilkiw (1981). "Fixation of metacarpal and metatarsal fractures in greyhounds." *Aust Vet J* 57(5): 205-211.
13. Bennett, D. (1987). "Immune-based erosive inflammatory joint disease of the dog: canine rheumatoid arthritis." *Journal of Small Animal Practice* 28(9): 779-797.
14. Berg, J., J. M. Gliatto und M. K. Wallace (1990). "Giant cell tumor of the accessory carpal bone in a dog." *J Am Vet Med Assoc* 197(7): 883-885.
15. Berg, J., C. R. Lamb und M. W. O'Callaghan (1990). "Bone scintigraphy in the initial evaluation of dogs with primary bone tumors." *J Am Vet Med Assoc* 196(6): 917-920.
16. Bertram, C. A., M. Burger, G. Raila, J. Zentek und A. D. Gruber (2019). "Pseudogout - periarticular calcium pyrophosphate crystal deposition disease in a dog." *J Small Anim Pract* 60(5): 323.
17. Bezuidenhout, A. (2013). *The Heart and Arteries. Miller's Anatomy of the Dog*. H. E. Evans and A. DeLahunta. St. Louis, USA, Elsevier Saunders. 4: 428-504.
18. Bezuidenhout, A. (2013). *Veins. Miller's Anatomy of the Dog*. H. E. Evans and A. DeLahunta. St. Louis, USA, Elsevier Saunders. 4: 505-534.
19. Bristow, P., R. Meeson und R. Thorne (2015). "Clinical comparison of the hybrid dynamic compression plate and the castless plate for pancarpal arthrodesis in 219 dogs." *Vet Surg*. 44(1): 70-77.
20. Bristow, P. C., R. L. Meeson, R. M. Thorne, S. J. Butterworth, S. Rutherford, A. I. Renwick, B. Wustefeld-Janssens, P. G. Witte, S. Woods, K. J. Parsons, B. J. Keeley, M. R. Owen, A. Li und

- G. I. Arthurs (2015). "Clinical comparison of the hybrid dynamic compression plate and the castless plate for pancarpal arthrodesis in 219 dogs." *Vet Surg* 44(1): 70-77.
21. Bruce, W. J., H. M. Burbidge, J. P. Bray und C. J. Broome (2000). "Bicipital tendinitis and tenosynovitis in the dog: a study of 15 cases." *N Z Vet J* 48(2): 44-52.
 22. Brühshwein, A. (2005). Anatomische Darstellung des caninen Karpalgelenkes mittels Magnetresonanztomographie und Computertomographie unter besonderer Berücksichtigung der Weichteilstrukturen. Dr. med. vet., LMU Munich.
 23. Brunberg, L., H. Waibl, J. Lehmann und W. von Wense von der (2014). Lahmheit beim Hund: untersuchen - erkennen - behandeln, Procane Claudio Brunberg: 74-76.
 24. Bushberg, J. T., J. A. Seibert, E. M. Leidholdt Jr., J. M. Boone und E. J. Goldschmidt Jr. (2012). *Computed Tomography. The Essential Physics of Medical Imaging*. Philadelphia, USA, Wolters Kluwer, Lippincott Williams & Wilkins. 3: 312-374.
 25. Bushberg, J. T., J. A. Seibert, E. M. Leidholdt Jr., J. M. Boone und E. J. Goldschmidt Jr. (2012). *Medical Imaging Informatics. The Essential Physics of Medical Imaging*. Philadelphia, USA, Wolters Kluwer, Lippincott Williams & Wilkins. 3: 101-167.
 26. Caine, A., P. Agthe, B. Posch und M. Herrtage (2009). "Sonography of the soft tissue structures of the canine tarsus." *Vet Radiol Ultrasound* 50(3): 304-308.
 27. Calhoun, P. S., B. S. Kuszyk, D. G. Heath, J. C. Carley und E. K. Fishman (1999). "Three-dimensional volume rendering of spiral CT data: theory and method." *Radiographics* 19(3): 745-764.
 28. Castelli, E., A. Pozzi, K. Klisch, L. Scotti, S. Hoey und M. Dennler (2019). "Comparison between high-field 3 Tesla MRI and computed tomography with and without arthrography for visualization of canine carpal ligaments: A cadaveric study." *Vet Surg* 48(4): 546-555.
 29. Cetinkaya, M. A., C. Yardimci und M. Sağlam (2007). "Carpal laxity syndrome in forty-three puppies." *Vet Comp Orthop Traumatol* 20(2): 126-130.
 30. Clements, D. (2006). "Arthrocentesis and synovial fluid analysis in dogs and cats." *In Practice* 28(5): 256-262.
 31. Cook, C. R. (2016). "Ultrasound Imaging of the Musculoskeletal System." *Vet Clin North Am Small Anim Pract* 46(3): 355-371.
 32. Corzo-Menéndez, N., R. N. White, R. G. Whitelock und A. S. Blunden (2001). "Vascular hamartoma within the flexor muscles of the left carpus in a dog." *J Small Anim Pract* 42(8): 399-402.
 33. de Haan, J. J. und C. B. Andreasen (1992). "Calcium crystal-associated arthropathy (pseudogout) in a dog." *J Am Vet Med Assoc* 200(7): 943-946.
 34. De Rycke, L., H. van Bree, A. Van Caelenberg, I. Polis, L. Duchateau und I. Gielen (2015). "Epinephrine-enhanced computed tomographic arthrography of the canine shoulder." *Res Vet Sci* 102: 15-21.
 35. DeCamp, C. E., S. A. Johnston, L. M. Déjardin und S. L. Schaefer (2016). Fractures and other orthopedic conditions of the carpus, metacarpus, and phalanges. Brinker, Piermattei and Flo's Handbook of Small Animal Orthopedics and Fracture Repair. C. E. DeCamp, S. A. Johnston, L. M. Déjardin und S. L. Schaefer, W.B. Saunders. 5: 389-433.
 36. DeLuke, A. M., D. A. Allen, E. R. Wilson, J. A. Lineberger, T. W. Lehenbauer, M. Fabiani und B. A. Poteet (2012). "Comparison of radiographic osteoarthritis scores in dogs less than 24 months or greater than 24 months following tibial plateau leveling osteotomy." *Can Vet J* 53(10): 1095-1099.
 37. Denny, H. and S. Butterworth (2000). *Classification und Investigation of Joint Disease. A Guide to Canine and Feline Orthopaedic Surgery*. Oxford, UK, Blackwell Science Ltd. 4: 39-51.
 38. Denny, H. R. und A. R. S. Barr (1991). "Partial carpal und pancarpal arthrodesis in the dog: a review of 50 cases." *Journal of Small Animal Practice* 32(7): 329-334.
 39. Diaz-Bertrana, C., F. Darnaculleta und I. Durall (2009). "The stepped hybrid plate for carpal panarthrodesis—part II: a multi-centre study of 52 arthrodeses." *Vet Comp Orthop Traumatol* 22(5): 389-397.

40. Dickie, A. (2006). Imaging of the Musculoskeletal System. Diagnostic Ultrasound in Small Animal Practice. P. Mannion. Oxford, UK, Blackwell Science Ltd. 1: 251-277.
41. Dössel, O. (2016). Computertomographie. Bildgebende Verfahren in der Medizin: Von der Technik zur medizinischen Anwendung. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg. 2: 131-178.
42. Dössel, O. (2016). Positronen-Emissions-Tomographie PET. Bildgebende Verfahren in der Medizin: Von der Technik zur medizinischen Anwendung. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg. 2: 227-237.
43. Earley, T. (1978). "Canine carpal ligament injuries." *Vet Clin North Am* 8(2): 183-199.
44. Engel, E. und S. Kneiss (2014). "Salter-harris fractures in dogs and cats considering problems in radiological reports - a retrospective analysis of 245 cases between 1997 and 2012." *Berl. Muench. Tieraerztl. Wochenschr.* 127(2): 77-83.
45. Entani, M. G., A. Franini, G. Barella, R. Saleri, F. De Rensis and G. Spattini (2022). "High-Resolution Ultrasonographic Anatomy of the Carpal Tendons of Sporting Border Collies." *Animals* 12(16): 2050.
46. Evans, H. E. und A. de Lahunta (2013). Arthrology. Miller's Anatomy of the Dog. Missouri, USA, Elsevier Health Sciences. 4: 158-184.
47. Evans, H. E. und A. de Lahunta (2013). The Skeleton, Arthrology, The muscular system, Spinal nerves. Miller's Anatomy of the Dog. Missouri, USA, Elsevier Health Sciences. 4: 80-280, 611-657.
48. Fang, S., T. Biddlecome und M. Tuceryan (1998). Image-based transfer function design for data exploration in Volume visualization. Proceedings Visualization '98 (Cat. No.98CB36276), Research Triangle Park, NC, USA, IEEE.
49. Farrow, C. S. (1982). "Stress radiography: applications in small animal practice." *J Am Vet Med Assoc* 181(8): 777-784.
50. Feldman, A. und A. F. Sato (2022). "What Is Your Diagnosis?" *J Am Vet Med Assoc* 260(7): 724-726.
51. Fernandes, P. J. (2020). Synovial Fluid Analysis. Cowell and Tyler's Diagnostic Cytology and Hematology of the Dog and Cat. A. C. Valenciano and R. L. Cowell. St. Louis (MO), Mosby. 5: 186-204.
52. Forrest, L. J. und D. E. Thrall (1994). "Bone scintigraphy for metastasis detection in canine osteosarcoma." *Veterinary Radiology & Ultrasound* 35(2): 124-130.
53. Forsyth, S. F., K. G. Thompson und J. J. Donald (2007). "Possible pseudogout in two dogs." *J Small Anim Pract* 48(3): 174-176.
54. Franini, A., M. G. Entani, E. Colosio, L. Melotti und M. Patruno (2023). "Case report: Flexor carpi ulnaris tendinopathy in a lure-coursing dog treated with three platelet-rich plasma and platelet lysate injections." *Front Vet Sci* 10: 1003993.
55. Frank, I., K. Mann und F. Duerr (2019). "Fluorine-18-fluoro-2-deoxy-d-glucose PET-CT aids in detection of soft-tissue injuries for dogs with thoracic or pelvic limb lameness." *Vet Radiol Ultrasound* 60(5): 575-585.
56. Frewein, J., R. Nickel, A. Schummer und E. Seiferle (2004). Knochen der Schultergliedmaße, Verbindungen der Knochen der Schultergliedmaße. Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. Berlin, Germany, Parey. 8: 67-97, 230-257.
57. Gamble, L.-J., D. Canapp und S. Canapp (2017). "Evaluation of Achilles Tendon Injuries with Findings from Diagnostic Musculoskeletal Ultrasound in Canines – 43 Cases." *Veterinary Evidence* 2(3): 3-23.
58. Gamblin, R. M., R. C. Straw, B. E. Powers, R. D. Park, M. M. Bunge und S. J. Withrow (1995). "Primary osteosarcoma distal to the antebrachio-carpal and tarsocrural joints in nine dogs (1980-1992)." *J Am Anim Hosp Assoc* 31(1): 86-91.
59. Gaughan, J. M. (2007). "What is your diagnosis? Lymphoma of the carpal joint." *J Am Vet Med Assoc* 231(2): 203-204.

60. Gnudi, G., C. M. Mortellaro, G. Bertoni, F. M. Martini, A. M. Cantoni, M. Di Giancamillo und M. Vignoli (2003). "Radial carpal bone fracture in 13 dogs." *Vet Comp Orthop Traumatol* 16(3): 178-183.
61. González-Rellán, S., A. Barreiro, J. M. Cifuentes und P. Fdz-de-Trocóniz (2022). "Anatomy of the Palmar Region of the Carpus of the Dog." *Animals (Basel)* 12(12): 1573.
62. González-Rellán, S., P. Fdz-de-Trocóniz und A. Barreiro (2021). "Ultrasonographic anatomy of the dorsal region of the carpus of the dog." *Veterinary Radiology & Ultrasound* 62(5): 591-601.
63. González-Rellán, S., P. Fdz-de-Trocóniz und A. Barreiro (2023). "Ultrasonographic anatomy of the palmar region of the carpus of the dog." *Veterinary Radiology & Ultrasound* 64(3): 546-556.
64. Griffon, D., L. Wallace, D. Barnes und G. Johnston (1994). "Myxoma arising from the radiocarpal joint capsule in a dog." *Journal of the American Animal Hospital Association* 30(3): 257-260.
65. Grundmann, S. und P. M. Montavon (2001). "Stenosing tenosynovitis of the abductor pollicis longus muscle in dogs." *Vet Comp Orthop Traumatol* 14(2): 95-100.
66. Grüsser, O.-J. und U. Grüsser-Cornehls (2000). *Gesichtssinn und Okulomotorik. Physiologie des Menschen*. R. F. Schmidt, G. Thews and F. Lang. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg. 28: 278-315.
67. Guilliard, M. J. (1997). "Dorsal radiocarpal ligament sprain causing intermittent carpal lameness in high activity dogs." *J Small Anim Pract* 38(10): 463-465.
68. Guilliard, M. J. (1998). "Enthesiopathy of the short radial collateral ligaments in racing greyhounds." *J Small Anim Pract* 39(5): 227-230.
69. Guilliard, M. J. (2001). "Accessory carpal bone displacement in two dogs." *Journal of Small Animal Practice* 42(12): 603-606.
70. Guilliard, M. J. und A. K. Mayo (2000). "Sprain of the short radial collateral ligament in a racing greyhound." *J Small Anim Pract* 41(4): 169-171.
71. Guilliard, M. J. und A. K. Mayo (2001). "Subluxation/luxation of the second carpal bone in two racing greyhounds and a Staffordshire bull terrier." *Journal of Small Animal Practice* 42(7): 356-359.
72. Guilliard, M. J. und A. K. Mayo (2001). "Subluxation/luxation of the second carpal bone in two racing greyhounds and a Staffordshire bull terrier." *J Small Anim Pract* 42(7): 356-359.
73. Habermehl, K. H., R. Nickel, A. Schummer und E. Seiferle (2005). *Arterien, Arteria. Lehrbuch der Anatomie der Haustiere: Kreislaufsystem, Haut und Hautorgane*. Stuttgart, Germany, Parey. 3: 74-188.
74. Haburjak, J. J., T. M. Lenehan, C. D. Davidson, G. B. Tarvin, K. R. Carlson und A. Hayes (2003). "Treatment of carpometacarpal and middle carpal joint hyperextension injuries with partial carpal arthrodesis using a cross pin technique: 21 Cases." *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology* 16: 105-111.
75. Harris, K. P. und S. J. Langley-Hobbs (2013). "Idiopathic ischemic necrosis of an accessory carpal bone in a dog." *J Am Vet Med Assoc* 243(12): 1746-1750.
76. Harris, K. P., A. P. Moores, S. J. Butterworth und M. A. Bush (2011). "Three cases of accessorioulnar arthrodesis to address accessory carpal bone subluxation or fracture." *Vet Rec* 169(7): 181.
77. Henschen, B. R., M. R. Lewin-Smith, P. J. Mouser, H. M. Jenkins, S. L. Strausborger, J. F. Fetsch und E. E. B. LaDouceur (2020). "Tophaceous pseudogout in a 12-year-old dog, with a review of applicable laboratory tests." *J Vet Diagn Invest* 32(5): 727-732.
78. Hermanson, J. W. (2013). *The Muscular System. Miller's Anatomy of the Dog*. H. E. Evans and A. de Lahunta. Missouri, USA, Elsevier Health Sciences. 4: 185-280.
79. Hewicker-Trautwein, M., A. Läkamp, E. M. Beckold, A. Gerdwilker, I. Nolte und A. Meyer-Lindenberg (2008). "Polyarthritis/polymyositis syndrome in a six-months-old Deutsch Stichelhaar." *Tierärztl Prax Ausg K Kleintiere Heimtiere* 36(1): 47-54.

80. Hillström, A., J. Bylin, R. Hagman, K. Björhall, H. Tvedten, K. Königsson, T. Fall und M. Kjelgaard-Hansen (2016). "Measurement of serum C-reactive protein concentration for discriminating between suppurative arthritis and osteoarthritis in dogs." *BMC Veterinary Research* 12(1): 240.
81. Hittmair, K. M., V. Groessl und E. Mayrhofer (2012). "Radiographic and ultrasonographic diagnosis of stenosing tenosynovitis of the abductor pollicis longus muscle in dogs." *Vet Radiol Ultrasound* 53(2): 135-141.
82. Holland, C. T. (2005). "Carpal hyperflexion in a growing dog following neural injury to the distal brachium." *J Small Anim Pract* 46(1): 22-26.
83. Horowitz, A. und R. Berg (2010). *Thoracic Limb. Anatomy of the Dog*. K. D. Budras. Hannover, Germany, Schlütersche Verlagsgesellschaft mbH & Company KG. 5: 16-27.
84. Innes, J. F., M. Costello, F. J. Barr, H. Rudolf und A. R. S. Barr (2004). "Radiographic Progression of Osteoarthritis of the Canine Stifle Joint: A Prospective Study." *Veterinary Radiology & Ultrasound* 45(2): 143-148.
85. Jacqmin, M., V. Livet, J. Sonet, M. Harel, E. Viguier, P. H. Moissonnier und T. Cachon (2023). "Use of Ultrasonography in Diagnosis of Medial Compartment Disease of the Elbow in Dogs." *Vet Comp Orthop Traumatol* 36(3): 132-138.
86. Jacques, D., L. Cauzinille, B. Bouvy und G. Dupre (2002). "A retrospective study of 40 dogs with polyarthritis." *Vet Surg* 31(5): 428-434.
87. Jaegger, G., D. J. Marcellin-Little und D. Levine (2002). "Reliability of goniometry in Labrador Retrievers." *Am J Vet Res* 63(7): 979-986.
88. Jerram, R. M., A. M. Walker, A. J. Worth und R. G. Kuipers von Lande (2009). "Prospective evaluation of pancarpal arthrodesis for carpal injuries in working dogs in New Zealand, using dorsal hybrid plating." *N Z Vet J* 57(6): 331-337.
89. Johnson, K. A. (1987). "Accessory Carpal Bone Fractures in the Racing Greyhound: Classification and Pathology." *Veterinary Surgery* 16(1): 60-64.
90. Johnson, K. C. und A. Mackin (2012). "Canine immune-mediated polyarthritis: part 1: pathophysiology." *J Am Anim Hosp Assoc* 48(1): 12-17.
91. Johnson, K. C. und A. Mackin (2012). "Canine immune-mediated polyarthritis: part 2: diagnosis and treatment." *J Am Anim Hosp Assoc* 48(2): 71-82.
92. Kachelrieß, M. (2018). *Computertomographie. Medizinische Physik: Grundlagen – Bildgebung – Therapie – Technik*. W. Schlegel, C. P. Karger and O. Jäkel. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg. 2: 153-203.
93. Kamali, Y., R. Almasi, H. R. Moradi und S. Fathollahi (2023). "Intraspecific anatomical variations of the extensor tendons of the carpus and digits with a reexamination of their insertion sites in the domestic dog (*Canis lupus familiaris*): a cadaveric study." *BMC Veterinary Research* 19(1): 197.
94. Klußmann, S., A. Meyer-Lindenberg und A. Brühschwein (2024). "Arthrographic description of the canine carpal joint cavities and its recesses." *Anat Histol Embryol* 53(2): e13026.
95. Koestlin, R., U. Matis und H. Waibl (1986). "Zur Diagnostik und Therapie der Hyperextensionsverletzungen im Karpalgelenk ("Niederbruch") des Hundes." *Kleintierpraxis* 31: 101-108.
96. Koestlin, R., U. Matis und W. Waibl (1986). "Zur Diagnostik und Therapie der Hyperextensionsverletzungen im Karpalgelenk ("Niederbruch") des Hundes." *Kleintierpraxis* 31: 101-108.
97. König, A. and E. Gröller (2001). "Mastering Transfer Function Specification by using VolumePro Technology." *Spring Conference on Computer Graphics* 17(4): 279-286.
98. König, H. E., H. G. Liebich und H. Bragulla (2007). *Vorder- oder Schultergliedmaßen. Anatomie der Haussäugetiere: Lehrbuch und Farbatlas für Studium und Praxis*. Stuttgart, Germany, Wiley. 3: 141-210.
99. Kornmayer, M., K. Failing und U. Matis (2014). "Long-term prognosis of metacarpal and metatarsal fractures in dogs. A retrospective analysis of medical histories in 100 re-evaluated patients." *Vet Comp Orthop Traumatol* 27(1): 45-53.

100. Kramer, M., M. Gerwing, V. Hach und E. Schimke (1997). "Sonography of the musculoskeletal system in dogs and cats." *Vet Radiol Ultrasound* 38(2): 139-149.
101. Kramer, M., M. Gerwing, C. Sheppard und E. Schimke (2001). "Ultrasonography for the diagnosis of diseases of the tendon and tendon sheath of the biceps brachii muscle." *Vet Surg* 30(1): 64-71.
102. Kuan, S. Y., B. A. Smith, S. M. Fearnside, A. P. Black und G. S. Allan (2007). "Flexor carpi ulnaris tendonopathy in a Weimaraner." *Aust Vet J* 85(10): 401-404.
103. Langley-Hobbs, S. J., M. H. Hamilton und J. N. J. Pratt (2007). "Radiographic and clinical features of carpal varus associated with chronic sprain of the lateral collateral ligament complex in 10 dogs." *Vet Comp Orthop Traumatol* 20(04): 324-330.
104. Lassaigue, C. C., C. Boyer, L. Sautier und O. Taeymans (2020). "Ultrasound of the normal canine supraspinatus tendon: comparison with gross anatomy and histology." *Vet Rec* 186(17): e14.
105. Leibman, N. F., C. A. Kuntz, P. F. Steyn, M. J. Fettman, B. E. Powers, S. J. Withrow und W. S. Dernell (2001). "Accuracy of radiography, nuclear scintigraphy, and histopathology for determining the proximal extent of distal radius osteosarcoma in dogs." *Vet Surg* 30(3): 240-245.
106. Li, A., D. Bennett, C. Gibbs, S. Carmichael, N. Gibson, M. Owen, S. J. Butterworth und H. R. Denny (2000). "Radial carpal bone fractures in 15 dogs." *J Small Anim Pract* 41(2): 74-90.
107. Long, C. D. und T. G. Nyland (1999). "Ultrasonographic evaluation of the canine shoulder." *Vet Radiol Ultrasound* 40(4): 372-379.
108. Manfredi, S., G. Covi, M. Bonazzi, G. Gnudi, M. Fumeo, F. Miduri, E. Daga und A. Volta (2020). "Ultrasound-guided removal of soft tissue foreign bodies in companion animals: A case series." *Veterinárni medicína* 65(2): 49-55.
109. Mann, K., J. Hart und F. Duerr (2016). "18F-FDG Positron Emission Tomography - An Innovative Technique for the Diagnosis of a Canine Lameness." *Front Vet Sci* 3: 45.
110. Marcellin-Little, D. J. und D. J. F. von Pfeil (2020). *Carpal Region. Canine Lameness*. F. M. Duerr. NJ, USA, John Wiley & Sons. 6: 169-193.
111. Marretta, S. M. und S. C. Schrader (1983). "Physeal injuries in the dog: a review of 135 cases." *J Am Vet Med Assoc* 182(7): 708-710.
112. Martinez, C. R. und K. S. Santangelo (2017). "Preanalytical Considerations for Joint Fluid Evaluation." *Vet Clin North Am Small Anim Pract* 47(1): 111-122.
113. McCoy, A. M. (2015). "Animal Models of Osteoarthritis: Comparisons and Key Considerations." *Veterinary Pathology* 52(5): 803-818.
114. Mikić, Ž. D., G. Ercegan und T. Somer (1992). "Detailed anatomy of the antebrachio-carpal joint in dogs." *The Anatomical Record* 233(2): 329-334.
115. Mila, H., C. Guerard und I. Raymond-Letron (2021). "Guidelines for postmortem examination of newborn dogs." *Animal Health Research Reviews* 22(2): 109-119.
116. Milgram, J., T. Milshtein und Y. Meiner (2012). "The role of the antebrachio-carpal ligaments in the prevention of hyperextension of the antebrachio-carpal joint." *Vet Surg* 41(2): 191-199.
117. Milgram, J., J. Stockman, G. Segev, Y. Meiner und A. Shipov (2019). "Contribution of Palmar Radiocarpal and Ulnocarpal Ligaments to the Stability of the Canine Antebrachio-carpal Joint." *Vet Comp Orthop Traumatol* 32(4): 305-313.
118. Miller, A., S. Carmichael, T. J. Anderson und I. Brown (1990). "Luxation of the radial carpal bone in four dogs." *Journal of Small Animal Practice* 31(3): 148-154.
119. Mistieri, M. L., A. Wigger, J. C. Canola, J. G. Filho und M. Kramer (2012). "Ultrasonographic evaluation of canine supraspinatus calcifying tendinosis." *J Am Anim Hosp Assoc* 48(6): 405-410.
120. Moores, A. P. und E. J. Comerford (2005). "What is your diagnosis? Stenosing tenosynovitis of the tendon of the abductor pollicis longus muscle." *J Small Anim Pract* 46(1): 41-43.

121. Morgan, J. (2002). Radiographic diagnosis of bone disease. Radiology of veterinary orthopedics: features of diagnosis. NJ, USA, Wiley Blackwell. 1: 37-168.
122. Morris, A. und A. Anderson (2013). "Osteochondrosis dissecans of the canine shoulder." *Companion Animal* 18(6): 264-269.
123. Muir, P. und K. A. Johnson (1994). "Supraspinatus and biceps brachii tendinopathy in dogs." *Journal of Small Animal Practice* 35(5): 239-243.
124. Muir, P. und J. L. Norris (1997). "Metacarpal and metatarsal fractures in dogs." *J Small Anim Pract* 38(8): 344-348.
125. Neville-Towle, J. D., C. J. Tan, W. C. H. Parr, W. R. Walsh und K. A. Johnson (2018). "Three-dimensional kinematics of the canine carpal bones imaged with computed tomography after ex vivo axial limb loading and palmar ligament transection." *Vet Surg* 47(6): 861-871.
126. Ng, Y. Y., K. T. Khaw, S. Halpin und D. J. Stoker (1989). "A comparative study to evaluate the role of intra-articular adrenaline in double-contrast knee arthrography." *Clin Radiol* 40(6): 598-601.
127. Nöbauer-Huhmann, I. M., M. Pretterklieber, J. Erhart, P. Bär, P. Szomolanyi, C. Kronnerwetter, S. Lang, K. M. Friedrich und S. Trattig (2012). "Anatomy and variants of the triangular fibrocartilage complex and its MR appearance at 3 and 7T." *Semin Musculoskelet Radiol* 16(2): 93-103.
128. Nordberg, C. C. and K. A. Johnson (1999). "Magnetic resonance imaging of normal canine carpal ligaments." *Vet Radiol Ultrasound* 40(2): 128-136.
129. Ober, C. P., J. C. Jones, M. M. Larson, O. I. Lanz und S. R. Werre (2008). "Comparison of ultrasound, computed tomography, and magnetic resonance imaging in detection of acute wooden foreign bodies in the canine manus." *Vet Radiol Ultrasound* 49(5): 411-418.
130. Okamura, Y., Y. Okamoto, T. Morita und S. Minami (2007). "Enthesiopathy with an abductor pollicis longus dysfunction in a Rough Collie dog." *Aust Vet J* 85(8): 329-331.
131. Olubaniyi, B., G. Bhatnagar, V. Vardhanabhuti, S. Brown, A. Gafoor und P. Suresh (2013). "Comprehensive Musculoskeletal Sonographic Evaluation of the Hand and Wrist." *Journal of ultrasound in medicine* 32(6): 901-914.
132. Osinski, T., D. Malfair und L. Steinbach (2006). "Magnetic resonance arthrography." *Orthop Clin North Am* 37(3): 299-319.
133. Palierne, S., C. Delbeke, E. Asimus, P. Meynaud-Collard, D. Mathon, A. Zahra und A. Autefage (2008). "A case of dorso-medial luxation of the radial carpal bone in a dog." *Vet Comp Orthop Traumatol* 21(2): 171-176.
134. Palierne, S., C. Delbeke, E. Asimus, P. Meynaud-Collard, D. Mathon, A. Zahra und A. Autefage (2008). "A case of dorso-medial luxation of the radial carpal bone in a dog." *Vet Comp Orthop Traumatol* 21(2): 171-176.
135. Pappa, E., A. Tomlinson, A. Ferreira, R. Pettitt und J. Mortier (2020). "Ultrasonographic and CT arthrography findings in two dogs with biceps brachii tendon avulsion." *Veterinary Record Case Reports* 8(1): e000989.
136. Parker, R. B., S. G. Brown und A. P. Wind (1981). "Pancarpal Arthrodesis in the Dog: A Review of Forty-five Cases." *Veterinary Surgery* 10(1): 35-43.
137. Pedersen, N. C. (1978). "Synovial fluid collection and analysis." *Vet Clin North Am* 8(3): 495-499.
138. Petazzoni, M., C. M. Mortellaro, A. Esposito, F. Ferrari, A. Piras und R. J. Boudrieau (2022). "Outcome of rest with or without bandaging for treatment of carpal flexural contracture deformities in puppies: 47 puppies and 75 joints (2000–2018)." *Journal of the American Veterinary Medical Association* 260(3): 320-325.
139. Phillips, I. R. (1979). "A survey of bone fractures in the dog and cat." *Journal of Small Animal Practice* 20(11): 661-674.
140. Porter, I. R., S. L. Pownder, S. P. McDonough, H. G. Potter und K. Hayashi (2018). "Nonarticular osseous cyst-like lesions of the intermedioradial carpal bone may be incidental magnetic resonance imaging findings in dogs." *Vet Radiol Ultrasound* 59(6): 715-720.

141. Pownder, S. L., S. Cooley, K. Hayashi, A. Bezuidenhout, M. F. Koff und H. G. Potter (2016). "Non-invasive magnetic resonance imaging diagnosis of presumed intermedioradial carpal bone avascular necrosis in the dog." *Can Vet J* 57(8): 879-881.
142. Punzet, G. (1974). "Luxation of the os carpi radiale in the dog - pathogenesis, symptoms, and treatment." *Journal of Small Animal Practice* 15(12): 751-756.
143. Ralphs, S. C., B. S. Beale, W. O. Whitney und W. Liska (2000). "Idiopathic erosive polyarthritis in six dogs (description of the disease and treatment with bilateral pancarpal arthrodesis)." *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology* 13: 191-196.
144. Reis Silva, H., R. Uosyte, D. N. Clements, G. T. Bergkvist und T. Schwarz (2013). "Computed tomography and positive contrast computed tomographic arthrography of the canine shoulder: normal anatomy and effects of limb position on visibility of soft tissue structures." *Vet Radiol Ultrasound* 54(5): 470-477.
145. Reising, A. J., L. L. Donnelly, B. K. Flesner, C. A. Maitz und J. N. Bryan (2021). "Solitary osseous plasmacytomas in dogs: 13 cases (2004-2019)." *J Small Anim Pract* 62(12): 1114-1121.
146. Rondeau, M. P., R. M. Walton, S. Bissett, K. J. Drobatz und R. J. Washabau (2005). "Suppurative, Nonseptic Polyarthropathy in Dogs." *Journal of Veterinary Internal Medicine* 19(5): 654-662.
147. Sadan, M. A. A. E. (2010). Radiographic studies on the carpal joints in some small animals. Dr. med. vet., Justus-Liebig-Universität Gießen.
148. Sage, J. E. and P. Gavin (2016). "Musculoskeletal MRI." *Vet Clin North Am Small Anim Pract* 46(3): 421-451.
149. Salomon, F. V. (2020). Bewegungsapparat. Anatomie für die Tiermedizin. F. V. Salomon, H. Geyer und U. Gille. Stuttgart, Germany, Thieme. 4: 36-248.
150. Salter, R. B. and W. R. Harris (1963). "Injuries Involving the Epiphyseal Plate." *JBSJ* 45(3): 587-622.
151. Samoy, Y., I. Gielen, J. Saunders, H. van Bree und B. Van Ryssen (2012). "Sensitivity and specificity of radiography for detection of elbow incongruity in clinical patients." *Vet Radiol Ultrasound* 53(3): 236-244.
152. Samoy, Y., B. Van Ryssen, A. Van Caelenberg, I. Gielen, D. Van Vynckt, H. Van Bree, D. De Bacquer and K. Peremans (2008). "Single-phase bone scintigraphy in dogs with obscure lameness." *Journal of Small Animal Practice* 49(9): 444-450.
153. Sbrana, S., V. Marchetti, F. Mancianti, G. Guidi und D. Bennett (2014). "Retrospective study of 14 cases of canine arthritis secondary to Leishmania infection." *J Small Anim Pract* 55(6): 309-313.
154. Schaefer, S. L., C. A. Baumel, J. R. Gerbig und L. J. Forrest (2010). "Direct magnetic resonance arthrography of the canine shoulder." *Vet Radiol Ultrasound* 51(4): 391-396.
155. Scharvogel, S. (2004). Klinisch-orthopädischer Untersuchungsgang. Kompendium der Allgemeinen Veterinärchirurgie. M. Kramer. Hannover, Germany, Schlütersche GmbH & Co. KG. 1: 20-36.
156. Schmid, L., A. Klang, N. Katic, A. Ansón, M. Gumpenberger und S. Kneissl (2018). "Imaging diagnosis - Radiography and computed tomography of radioulnar ischemic necrosis in a jack russel terrier." *Veterinary Radiology & Ultrasound* 59(1): 7-11.
157. Schoenfeld, E., M. Combs, E. Callcott, K. Jermyn und R. Rotne (2023). "The development of a systematic ultrasound protocol facilitates the visualization of foreign bodies within the canine distal limb." *Frontiers in Veterinary Science* 10.
158. Scholz, M., F. Höhne und A. Kirchhoff (2012). "Hypertrophe Osteodystrophie bei einem sieben Monate alten Mischlingswelpen." *Kleintierpraxis* 57: 535-541.
159. Schwarz, T., V. S. Johnson, L. Voute und M. Sullivan (2004). "Bone scintigraphy in the investigation of occult lameness in the dog." *Journal of Small Animal Practice* 45(5): 232-237.
160. Sconfienza, L. M., D. Albano, G. Allen, A. Bazzocchi, B. Bignotti, V. Chianca, F. Facal de Castro, E. E. Drakonaki, E. Gallardo, J. Gielen, A. S. Klauser, C. Martinoli, G. Mauri, E.

- McNally, C. Messina, R. Mirón Mombiela, D. Orlandi, A. Plagou, M. Posadzy, R. de la Puente, M. Reijnierse, F. Rossi, S. Rutkauskas, Z. Snoj, J. Vucetic, D. Wilson und A. S. Tagliafico (2018). "Clinical indications for musculoskeletal ultrasound updated in 2017 by European Society of Musculoskeletal Radiology (ESSR) consensus." *European Radiology* 28(12): 5338-5351.
161. Shaughnessy, M. L., S. J. Sample, C. Abicht, C. Heaton und P. Muir (2016). "Clinical features and pathological joint changes in dogs with erosive immune-mediated polyarthritis: 13 cases (2004-2012)." *J Am Vet Med Assoc* 249(10): 1156-1164.
162. Shin, H. und M. Galonski (2002). "Interaktive direkte Volumendarstellung von CT-Daten: Technische Grundlagen und Einsatzmöglichkeiten." *Rofo* 174(03): 342-348.
163. Shires, P. K., D. A. Hulse und M. T. Kearney (1985). "Carpal hyperextension in two-month-old pups." *J Am Vet Med Assoc* 186(1): 49-52.
164. Slocum, B. und T. Devine (1982). "Partial carpal fusion in the dog." *J Am Vet Med Assoc* 180(10): 1204-1208.
165. Sofka, C. M. (2014). "Ultrasound of the hand and wrist." *Ultrasound Q* 30(3): 184-192.
166. Spataro, R. F., R. W. Katzberg, F. A. Burgener und H. W. Fischer (1978). "Epinephrine Enhanced Knee Arthrography." *Investigative Radiology* 13(4): 286-290.
167. Spattini, G., M. Grazia Entani, G. Barella und F. de Rensis (2019). "High resolution ultrasound of the tendons of the Border Collies carpus. Abstracts of the European Veterinary Diagnostic Imaging (EvdI) Congress, Basel, Switzerland, August 21-August 24, 2019." *Vet Radiol Ultrasound*: 85-118.
168. Suter, P. F. und A. V. Carb (1969). "Shoulder Arthrography in Dogs—Radiographic Anatomy und Clinical Application." *Journal of Small Animal Practice* 10(7): 407-413.
169. Tani, Y. (2022). "Reconstruction of the flexor carpi ulnaris tendon with a fascia lata autograft in two dogs with carpal hyperextension." *Veterinary Surgery* 51(8): 1311-1318.
170. Théoret, M. C. und N. M. Moens (2007). "The use of veterinary cuttable plates for carpal and tarsal arthrodesis in small dogs and cats." *Can Vet J* 48(2): 165-168.
171. Theyse, L. F., G. Voorhout und H. A. Hazewinkel (2005). "Prognostic factors in treating antebrachial growth deformities with a lengthening procedure using a circular external skeletal fixation system in dogs." *Vet Surg* 34(5): 424-435.
172. Tobolska, A., Z. Adamiak und J. Głodek (2020). "Clinical Applications of Imaging Modalities of the Carpal Joint in Dogs with Particular Reference to the Carpal Canal." *J Vet Res* 64(1): 169-174.
173. Tomlin, J. L., M. J. Pead, S. J. Langley-Hobbs und P. Muir (2001). "Radial carpal bone fracture in dogs." *J Am Anim Hosp Assoc* 37(2): 173-178.
174. Torres, B. T. und F. M. Duerr (2020). *Arthrocentesis Technique. Canine Lameness*. F. M. Duerr. NJ, USA, John Wiley & Sons. 6: 93-104.
175. Tsoi, H., S. Canapp und D. Canapp (2023). "Ultrasonographic detection of cranial cruciate ligament pathology in canine stifles without cranio-caudal instability." *Veterinary Evidence* 8(2).
176. Turan, E. und H. Erden (2003). "Computed tomography and morphometry of the carpal canal in the dog." *Ann Anat* 185(2): 173-178.
177. Turan, E., Y. Ozsunar und I. G. Yildirim (2009). "Ultrasonographic examination of the carpal canal in dogs." *J Vet Sci* 10(1): 77-80.
178. Tzounos, C., O. Taeymans, R. Quinn und G. Haimel (2020). "MRI findings and surgical treatment of a carpal synovial cyst in a dog." *Veterinary Record Case Reports* 8(2): e001059.
179. van Bree, H. (1989). "Epinephrine enhanced positive contrast shoulder arthrography in the dog." *Zentralbl Veterinarmed A* 36(9): 687-691.
180. Van Bruggen, L. W. L., H. A. W. Hazewinkel, C. F. Wolschrijn, G. Voorhout, Y. W. E. A. Pollak und P. Y. Barthez (2010). "Bone scintigraphy for the diagnosis of an abnormal medial coronoid process in dogs." *Veterinary Radiology & Ultrasound* 51(3): 344-348.
181. Van den Broeck, M., E. Stock, L. Duchateau und P. Cornillie (2022). "The sesamoid bone in the long abductor muscle tendon of the first digit in the dog." *The Anatomical Record* 305(1): 37-51.

182. Van der Vekens, E., E. de Bakker, E. Bogaerts, B. J. G. Broeckx, R. Ducatelle, K. Kromhout und J. H. Saunders (2019). "High-frequency ultrasound, computed tomography and computed tomography arthrography of the cranial cruciate ligament, menisci and cranial meniscotibial ligaments in 10 radiographically normal canine cadaver stifles." *BMC Vet Res* 15(1): 146.
183. Vaughan, L. C. (1985). "Disorders of the carpus in the dog I." *British Veterinary Journal* 141(4): 332-341.
184. Vaughan, L. C. (1985). "Disorders of the carpus in the dog II." *British Veterinary Journal* 141(5): 435-446.
185. Vaughan, L. C. (1992). "Flexural deformity of the carpus in puppies." *Journal of Small Animal Practice* 33(8): 381-384.
186. Vedrine, B. (2013). "Comminuted fracture of the ulnar carpal bone in a Labrador retriever dog." *Can Vet J* 54(11): 1067-1070.
187. Vickaryous, M. K. und W. M. Olson (2006). *Sesamoids and Ossicles in the Appendicular Skeleton. Fins into Limbs*. K. H. Brian. Chicago, University of Chicago Press. 19: 323-342.
188. Viviano, S. L., L. K. Chandler und J. D. Keith (2018). "Ultrahigh Frequency Ultrasound Imaging of the Hand: A New Diagnostic Tool for Hand Surgery." *Hand (N Y)* 13(6): 720-725.
189. Vollmerhaus, B. (2007). *Gelenkpunktion (Arthrozentese). Operationen an Hund und Katze*. H. Schebitz and W. Brass, Parey. 3: 19-24.
190. Volta, A., M. Bonazzi, G. Gnudi, M. Gazzola und G. Bertoni (2006). "Ultrasonographic features of canine lipomas." *Vet Radiol Ultrasound* 47(6): 589-591.
191. von Deroo, H. K. (2020). *Morphologie der Arterien caniner Schultergliedmaßen in der computertomographischen Angiographie*. Dr. med. vet, LMU Munich.
192. von Pfeil, D. J., W. D. Liska, S. Nelson, Jr., S. Mann und J. J. Wakshlag (2015). "A survey on orthopedic injuries during a marathon sled dog race." *Vet Med (Auckl)* 6: 329-339.
193. Wall, C. R., C. R. Cook und J. L. Cook (2015). "Diagnostic sensitivity of radiography, ultrasonography, and magnetic resonance imaging for detecting shoulder osteochondrosis/osteochondritis dissecans in dogs." *Veterinary Radiology & Ultrasound* 56(1): 3-11.
194. Warnock, J. J. und B. S. Beale (2004). "Arthroscopy of the antebrachiocarpal joint in dogs." *J Am Vet Med Assoc* 224(6): 867-874.
195. Whitelock, R. (2001). "Conditions of the carpus in the dog." *In Practice* 23(1): 2-13.
196. Whitworth, F., S. Adamantos, P. Frowde, R. Whitelock und V. L. Black (2019). "Ligament Laxity in Nonerosive Immune-Mediated Polyarthritis in Dogs: Five Cases (2009-2017)." *J Am Anim Hosp Assoc* 55(4): 210-214.
197. Willer, R. L., K. A. Johnson, T. M. Turner und D. L. Piermattei (1990). "Partial carpal arthrodesis for third degree carpal sprains. A review of 45 carpi." *Vet Surg* 19(5): 334-340.
198. Wood, R. D. and T. Gibson (2020). *Synovial Fluid Analysis of the Dog and Cat*. *Veterinary Cytology*: 727-735.
199. Woodard, J. C., W. H. Riser, M. S. Bloomberg, J. M. Gaskin und R. L. Goring (1991). "Erosive polyarthritis in two greyhounds." *J Am Vet Med Assoc* 198(5): 873-876.
200. Woods, S. and K. L. Perry (2018). "Fractures of the carpus." *Companion Animal* 23(7): 368-375.
201. Yalden, D. W. (1970). "The functional morphology of the carpal bones in carnivores." *Acta Anat (Basel)* 77(4): 481-500.
202. Zhang, T., C.-C. Lu, R. L. Reisdorf, A. R. Thoreson, A. Gingery, S. L. Moran, P. C. Amadio und C. Zhao (2018). "Revitalized and synovialized allograft for intrasynovial flexor tendon reconstruction in an in vivo canine model." *Journal of Orthopaedic Research* 36(8): 2218-2227.

VIII DANKSAGUNG

Eine wissenschaftliche Arbeit ist stets ein Werk mehrerer Personen. Ich möchte mich bei allen Menschen bedanken, die mich hierbei auf beruflicher und privater Ebene unterstützt haben.

Besonderer und herzlicher Dank gilt hier Frau Prof. Meyer-Lindenberg, dass ich die Promotion am Lehrstuhl für Chirurgie der Kleintiere der veterinärmedizinischen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München unter ihrer Betreuung schreiben durfte und alle Ressourcen und Freiheiten zur Verfügung gestellt bekommen habe. Ihre intensive Korrektur und ausdauerndes Vertrauen in mich haben maßgeblich zu dieser Arbeit beigetragen.

Ein großer und herzlicher Dank gilt meinem direkten Betreuer Dr. Andreas Brühschwein. Du hast mich akribisch bei der Umsetzung, allen Fragestellungen und beim Schreiben dieser Arbeit begleitet. Ohne dich wäre der Grundstein des wissenschaftlichen Schreibens und somit diese Arbeit nicht entstanden.

Weiterer Dank gilt besonders dem ganzen Team der Radiologie der Chirurgischen und Gynäkologischen Kleintierklinik der LMU München. Lieber Thomas, ohne dich wäre die Arbeit schwer umsetzbar gewesen, du warst eine große Unterstützung. Liebe Birgit, lieber Martin und lieber Julius, herzlichen Dank für den technischen Input, den vielfältigen Ratschlägen. Ihr wart eine große Unterstützung.

Ich bedanke mich bei allen Kollegen der Chirurgischen und Gynäkologischen Kleintierklinik der LMU München und allen Tierärzten, die mir Patienten zur Verfügung gestellt haben.

Abschließend liegt es mir besonders am Herzen, ein großes Dankeschön an meine Eltern und meine Schwester für die Unterstützung und das nie endende Vertrauen in mich auszusprechen.

