

3.2.2. Spezielle Untersuchung: Physiologische Befunde

Die vorliegenden Bilder stammen aus dem Forschungslabor von Professor Denoix, der sie mir freundlicherweise für die vorliegende Arbeit zur Verfügung stellte.

Longitudinale Abbildungen per Linearscanner, 7,5 MHz, Vorlaufstrecke: Standoff-Pad von 0,5 cm

In der sagittalen dorsalen Ansicht der Zehe (Abb. 19) erkennt man proximal an der Oberfläche die Haut (1) mit Subcutis und Bindegewebe (3). Die Krone befindet sich am rechten Bildrand (2). Darunter befindet sich das Kronpolster (4). Es stellt sich sehr dick und echogen dar. Die Strecksehne (5) befindet sich unterhalb des subkutanen Bindegewebes. Ihre Fasern sind parallel und homogener Echogenität, bei einer Dicke von 2 und 4 mm. Auf der Höhe des Saumsegments wendet sie sich in distopalmare Richtung zum **Processus extensorius** der Phalanx distalis (9), wobei sie sich um einige Millimeter verbreitert. Die **Gelenkkapsel** (6) inseriert proximal des **Gelenkhöckers** der **Phalanx media**. Ihr Durchmesser ist unregelmäßig und nimmt ab, wo sie sich der Strecksehne annähert. Sie erscheint echogen. Der flüssigkeitsgefüllte **Recessus dorsalis** des Hufgelenks (7) wirkt gewöhnlich anechogen. Die weitgehende Echolosigkeit des Gelenkknorpels erschwert seine Visualisierung bzw. seine Abgrenzung gegenüber von Synovia gefüllten Höhlen. Gelenkspalt und -knorpel ermöglichen die Unterscheidung von *Phalanx media* und *distalis*. Die *Margines* des Kronbeins (8) und der *Processus extensorius* (9) entsprechen hyperechogenen Bändern.

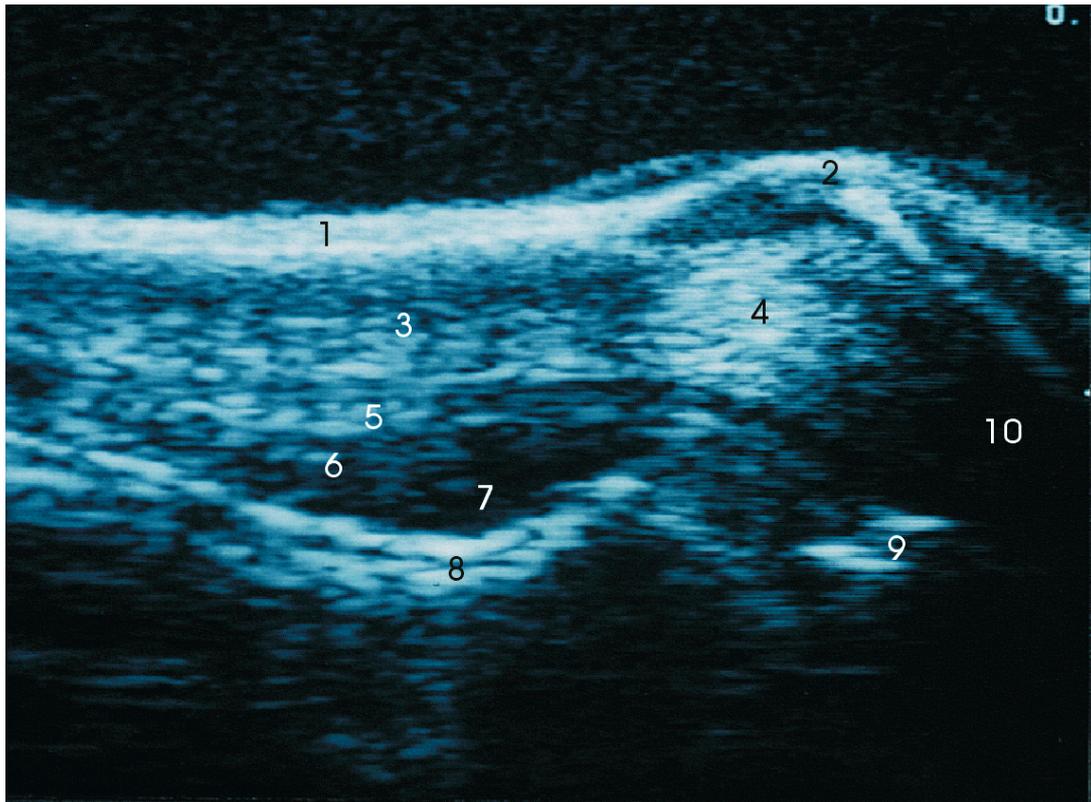
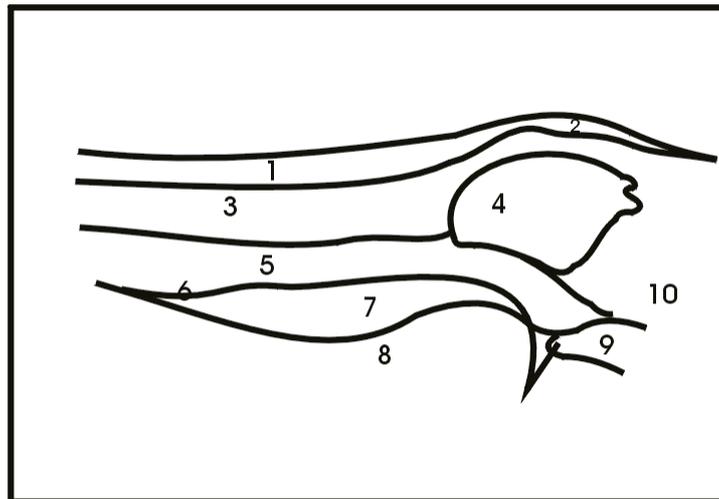


Abb. 19: Hufgelenk, sagittal, in dorsaler Projektion



- | | |
|---|------------------------------|
| 1 - Haut | 8 - Margo dorsalis P2 |
| 2 - Krone | 9 - Processus extensorius P3 |
| 3 - Bindegewebe | 10 - Corium parietis |
| 4 - Kronpolster | |
| 5 - Tendo m. extensor digitorum communis resp. longus | |
| 6 - Capsula articularis | |
| 7 - Recessus dorsalis der AIPD | |

Verglichen mit der vorherigen Abbildung bleibt die Darstellung der Haut (1) und des Kronpolsters (3) in Abbildung 20 gleich. Das heterogene und hypoechogene **Ligamentum chondrocoronale** (5) wird sichtbar. Das **Ligamentum collaterale laterale** des Hufgelenks (6) bildet eine leicht hypoechogene Linie, denn sein Faserverlauf ist schräg zur Achse des einfallenden Ultraschalls. Eine lineare Sonde kann aufgrund ihrer Konstruktion nicht so orientiert werden, dass der Schallstrahl senkrecht zum Band einfällt. Aus demselben Grund lässt sich die distale Insertion des Bandes in der Exkavation der *Phalanx distalis* nicht aufzeigen. Die **Kollateralbänder** des **Hufgelenks** beginnen symmetrisch in der konkaven Insertionsgrube an der *Phalanx media* (7). Jedes Band ist dick und verbreitert sich nach distal. Der Vergleich der lateralen und medialen Anteile erlaubt eine zuverlässige Beurteilung der Bänder, ihrer Echogenität und Ausdehnung, trotz oben beschriebener Schwierigkeiten. Dem *Margo articularis* der *Phalanx media* entspricht eine hyperechogene Linie, als Fortsetzung der knöchernen Oberfläche des proximalen Insertionsareals. Dorsal bleibt der *Recessus dorsalis* des Hufgelenks (8) auch in leicht seitlicher Position des Schallkopfs sichtbar.

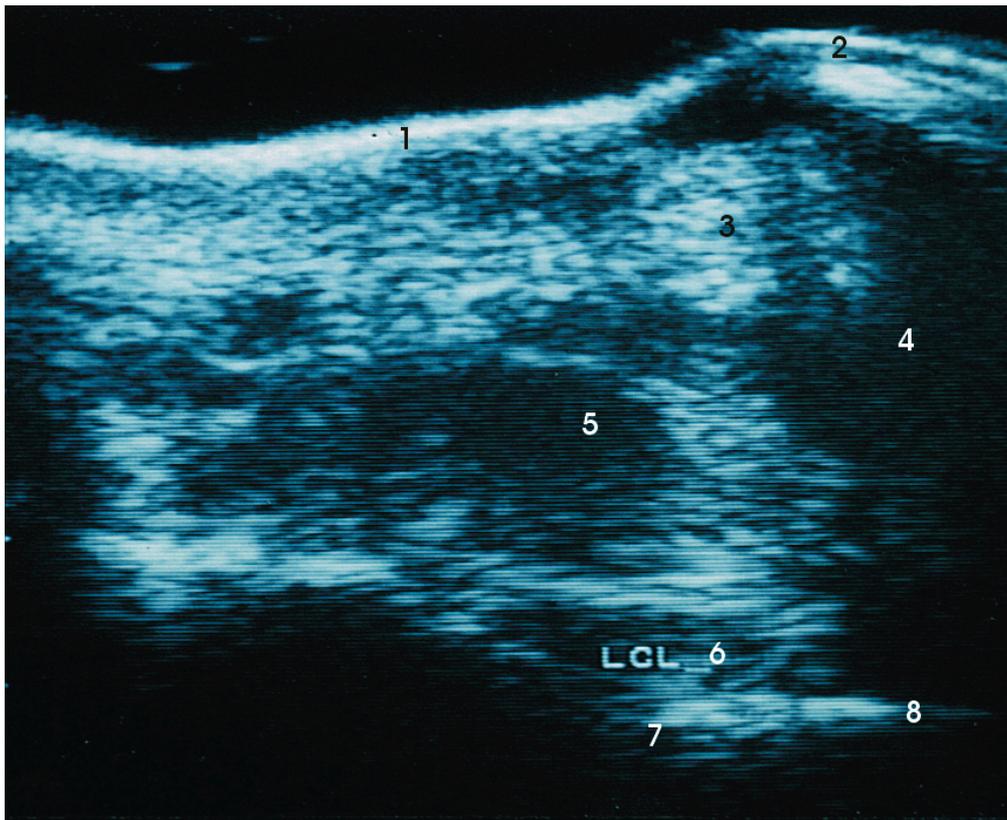
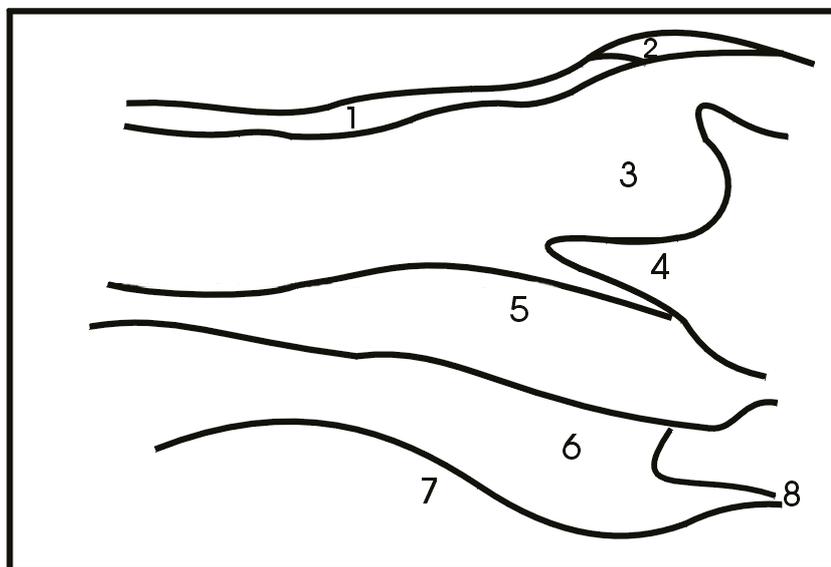


Abb. 20: Hufgelenk, frontal, in kollateraler Projektion (Facies longitudinalis dorsolateralis)



1 - Haut

2 - Krone

3 - Kronpolster

4 - Corium parietis

5 - Lig. chondrocoronale

6 - Lig. collaterale laterale

7 - laterale Bandgrube von P2

8 - AIPD

Schräge Abbildung per Linearscanner, 7,5 MHz, Vorlaufstrecke: Standoff-Pad von 0,5 cm

Abbildung 21 zeigt das **kollaterale Strahlbeinband** (4). Die Oberhaut erscheint hier als mäßig echogene Linie (1), die Unterhaut ist hypoechogen (2). Das **Ligamentum sesamoideum collaterale** (4) liegt unter einer echogenen Zone von Bindegewebe (3). Wo der Faserverlauf des Kollateralbandes ausreichend senkrecht zum Ultraschall orientiert ist, nimmt die Echogenität im Vergleich zu den mehr proximalen und distalen Anteilen zu. Die distal des Bandes gelegene anechogene Struktur entspricht dem *Recessus proximalis* des Hufgelenks (6). Die hyperreflektierende Beschaffenheit der Oberfläche der *Phalanx media* (5) begrenzt die Darstellung in der Tiefe.

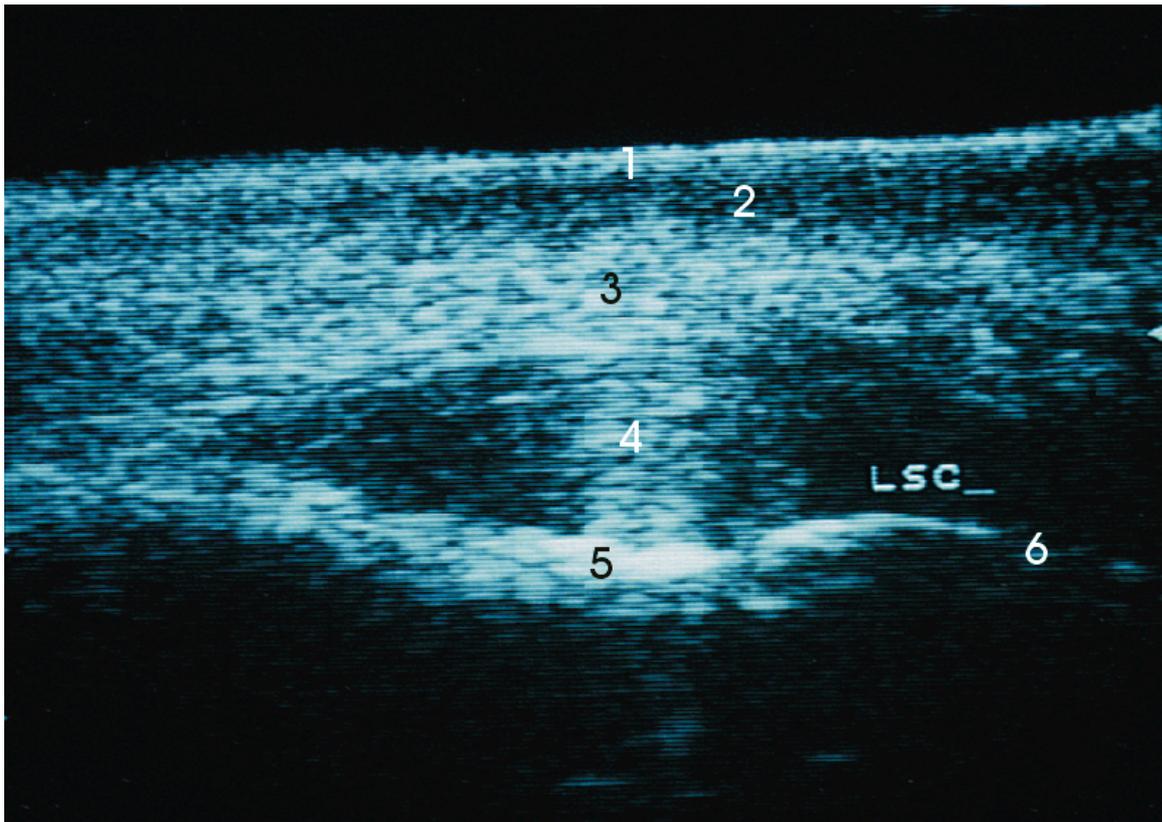
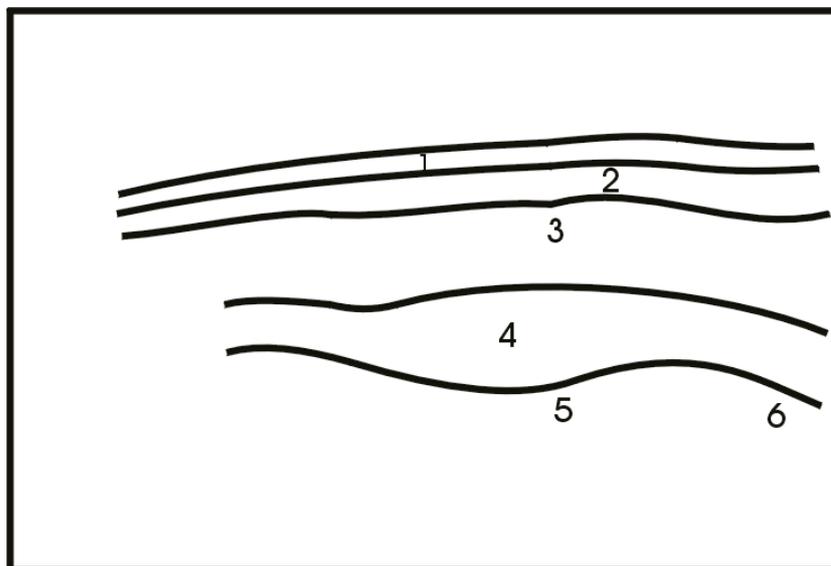


Abb. 21: Hufgelenk, schräg, in palmarer abaxialer Ansicht



1 - Epidermis

2 - Subcutis

3 - Bindegewebe

4 - Lig. sesamoideum collaterale

5 - laterale Bandgrube von P2

6 - AIPD

Abbildungen per Sektorscanner, 7,5 MHz und integrierte Vorlaufstrecke

Das Relief der Zehe in Abbildung 22 wurde in Höhe der *Articulatio interphalangea distalis* aufgenommen. Die **tiefe Beugesehne** (3) kann dargestellt werden und wirkt angesichts des von der Senkrechten abweichenden Einfalls des Ultraschalls hypoechogen. Dennoch ist sie identifizierbar, da ihre Echogenität sich von den umgebender Strukturen unterscheidet. In dieser Aufnahme erweist sich, dass ab Höhe der *Phalanx media* Echogenität und Dicke der Sehne konstant bleiben. Distal wird vom Schall der **Recessus proximalis** der **Bursa podotrochlearis** (5) gestreift. Die **Facies flexoria** des **Os sesamoideum distale** (7) bzw. ihre subchondrale Knochenplatte präsentiert sich als hyperechogene Bande. Tiefer liegendes Knochengewebe kann wegen totaler Reflexion nicht dargestellt werden. Der **Recessus palmaris proximalis** des **Hufgelenks** (5) ist ebenfalls abgebildet. Angefüllt mit Flüssigkeit, wirkt er anechogen. Die **Ligamenta sesamoidea collateralia** (4) erscheinen in Form von echogenen bis geringfügig hyperechogenen Dreiecken. In der Tiefe wird die Visualisierung von der reflexgebenden knöchernen Linie der *Phalanx media* begrenzt, zwischen dem *Os sesamoideum distale* (7) und ihr (8) ist der Hufgelenkspalt (9) zu erkennen.

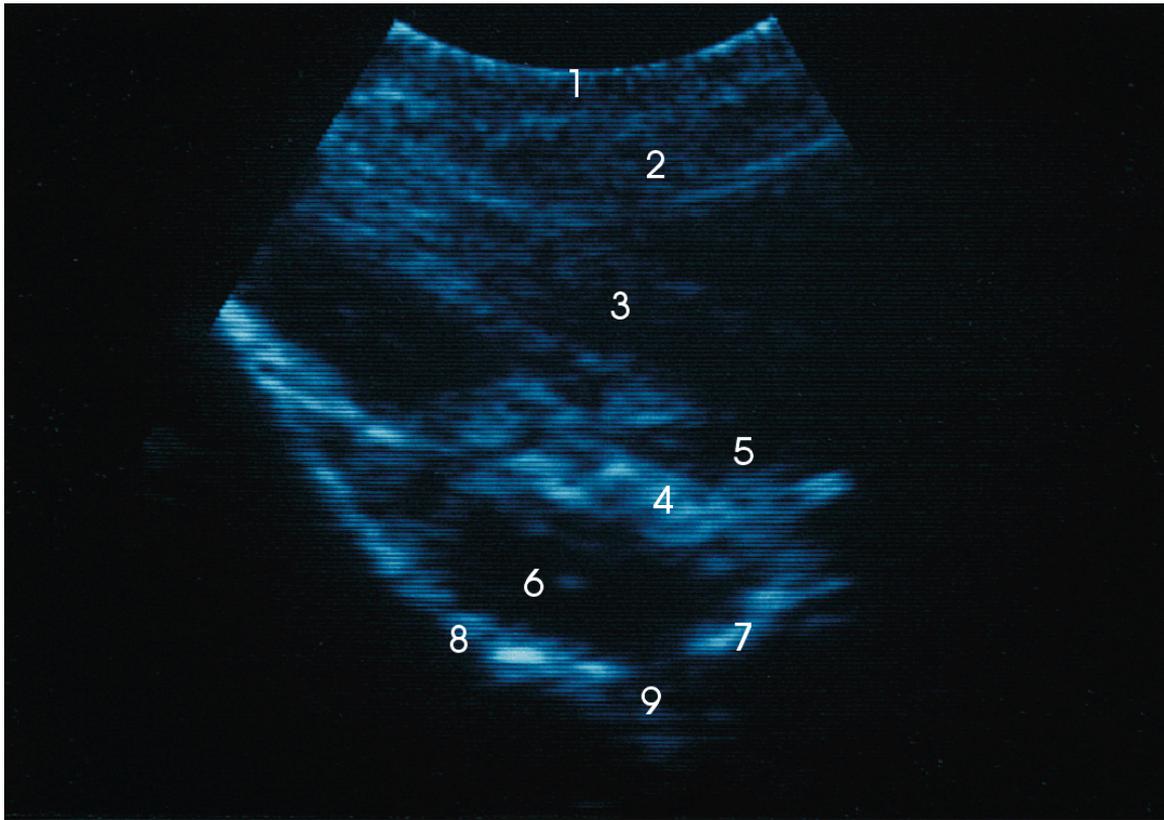
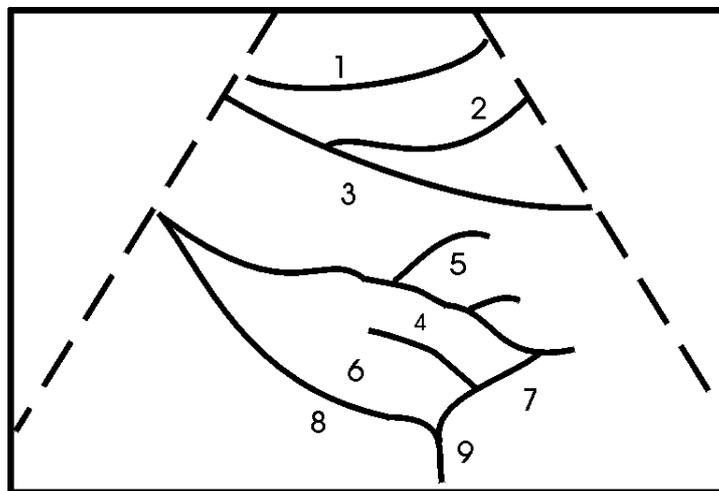


Abb. 22: Hufgelenk, sagittal, in palmarer Projektion

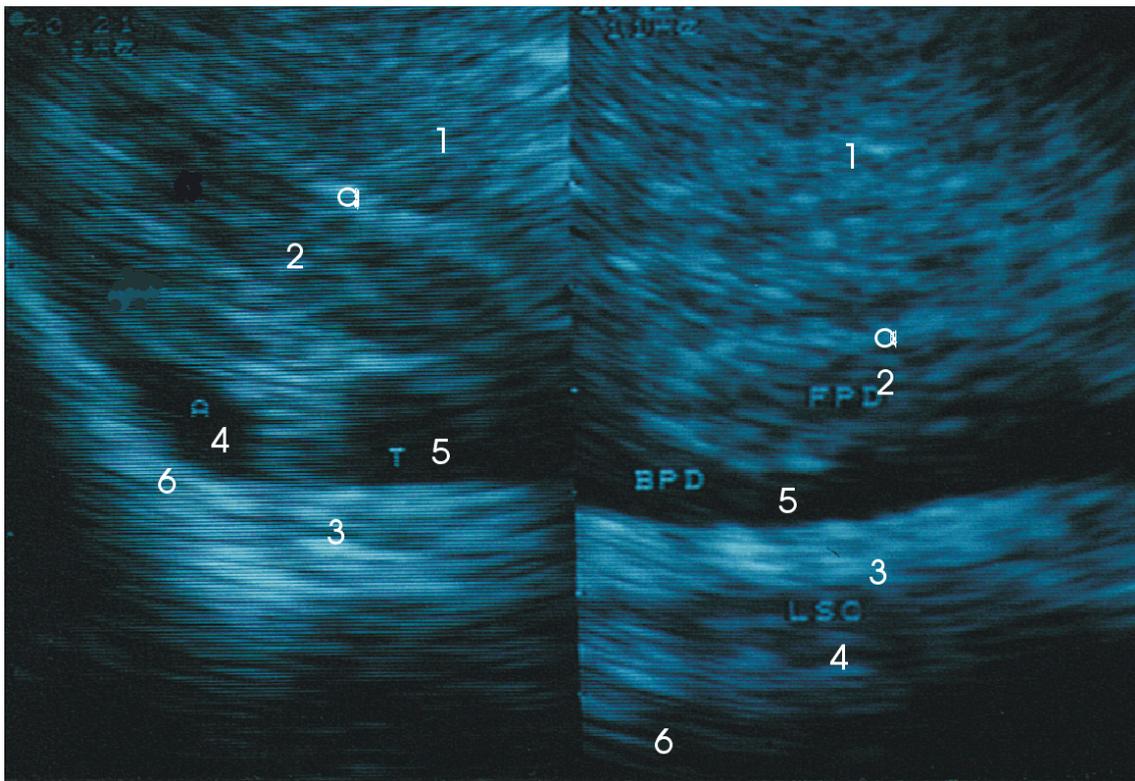


- | | |
|--|--|
| 1 - Haut | 6 - Rec. palmaris proximalis der AIPD |
| 2 - Bindegewebe | 7 - Os sesamoideum distale
(Margo proximalis) |
| 3 - Tendo m. flexor dig. prof. | 8 - P2 |
| 4 - Lig. sesamoidea collateralia | 9 - AIPD |
| 5 - Rec. proximalis
der Bursa podotrochlearis | |

Die longitudinale Abbildung (Abb. 23, links) der palmaren Fläche zeigt im Vergleich zur vorherigen Aufnahme ein vergrößertes Explorationsfeld. Die **tiefe Beugesehne** gleitet auf dem *Scutum distale*. Nach palmar schließt sich das dichte und echogene **Ligamentum anulare digiti** (2a) an. Die transversal verlaufender Fasern der *Ligamenta sesamoidea collateralia laterale* und *mediale* (3) vereinigen sich und inserieren am proximalen Rand der *Facies flexoria* des *Os sesamoideum distale*. Diese eher parasagittale Ansicht ermöglicht, ihrem Verlauf zu folgen. Das so entstandene echogene Dreieck trennt den **Recessus palmaris proximalis** des **Hufgelenks** (4), der sich dorsal und proximal des **Recessus proximalis** der **Bursa podotrochlearis** (5) befindet, voneinander. Beide Recessus sind leicht aufzufinden. Der *Recessus palmaris proximalis* des Hufgelenks ist ausgedehnt und wird begrenzt durch den knöchernen Rand der *Phalanx media* (6). Eine Volumenzunahme des *Recessus palmaris proximalis* des Hufgelenks bedeutet nicht zwangsläufig, dass eine Volumenzunahme des dorsalen Recessus am Hufgelenk nachweisbar ist und umgekehrt. Die Rundung der hyperechogenen *Phalanx media* erstreckt sich nach distal und endet mit der Begrenzung des Sichtfelds.

In transversalen Ansichten wie in der Abbildung 24 (rechts) ist die Darstellung tiefer oder konkaver Elemente mit sektoriellen Sonden besser durchführbar. Für diese horizontale abaxiale Ansicht wurde hier die Sonde in der Fesselgelenksbeuge platziert. Dieses Bild erreicht die Höhe der distalen Partie der *Phalanx media*. Das Hufpolster (1) ist die am oberflächlichsten gelegene Formation und erscheint ausgedehnt und echogen. Der zum Schall schräge Faserverlauf der tiefen Beugesehne führt zur Erzeugung eines hypoechogenen Abbildes (2). Das echogene **Ligamentum anulare digiti** (2a) umgibt die **tiefe Beugesehne** palmar. Bevor die Schallkeule den *Margo articularis* der *Phalanx media* (6) erreicht, durchquert sie den anechogenen **Recessus palmaris proximalis** der **Articulatio interphalangea distalis** (4) und den ebenfalls anechogenen **Recessus proximalis** der **Bursa podotrochlearis** (5). Das *Ligamentum sesamoideum collaterale* (3), d.h. seine Oberfläche, präsentiert sich durch den Faserverlauf in transversaler Ansicht weniger echogen als in anderen und ist außerdem heterogener. Abbildung 22,23 und 24 zusammengenommen erlauben eine Beurteilung der **lateralen** und **medialen Ligamenta sesamoidea collateralia** und die der **kollateralen Winkel** des

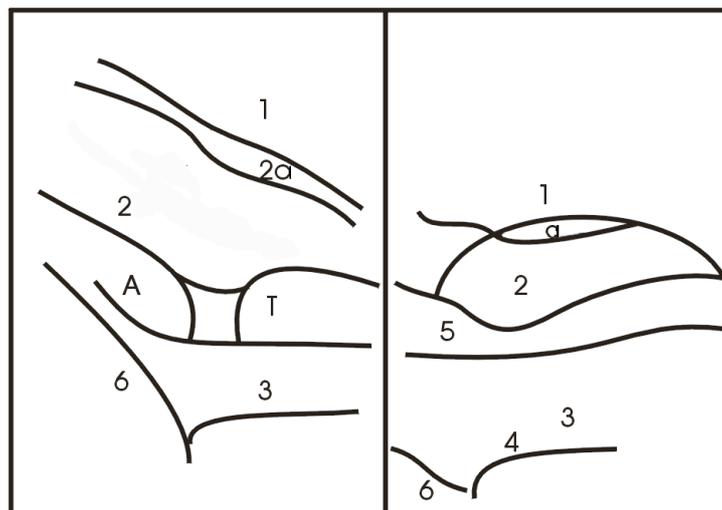
Strahlbeins durch den kombinierten Gebrauch verschiedener Perspektiven mit einem Sektorscanner.



Sagittale Projektion

Transversale Projektion

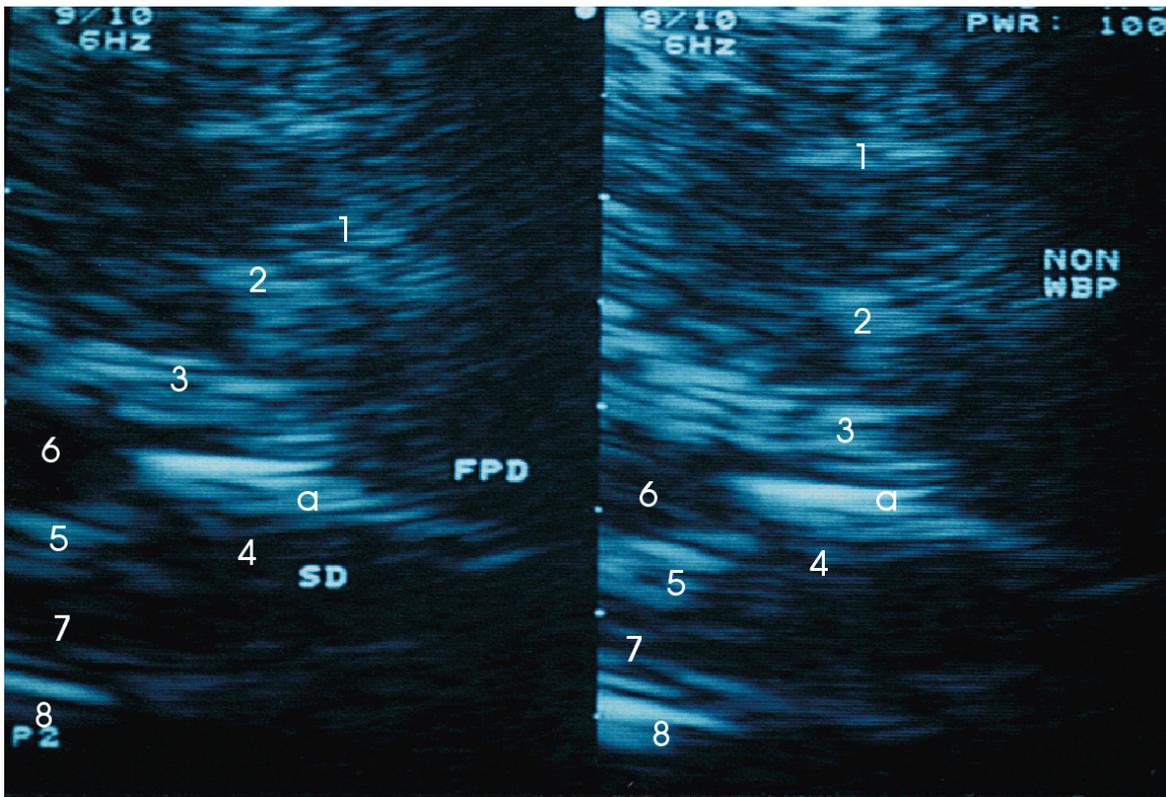
Abb. 23/24: Sagittale abaxiale und transversale abaxiale Projektionen der palmaren Fläche des Hufgelenks



- 1 - Tela subcutanea tori
- 2 - Tendo m. flexor dig. prof.
- a - Ligamentum anulare digiti

- 3 - Ligamenta sesamoidea collateralia
- 4 - AIPD (Rec. palmaris proximalis)
- 5 - Bursa podotrochlearis (Rec. proximalis)

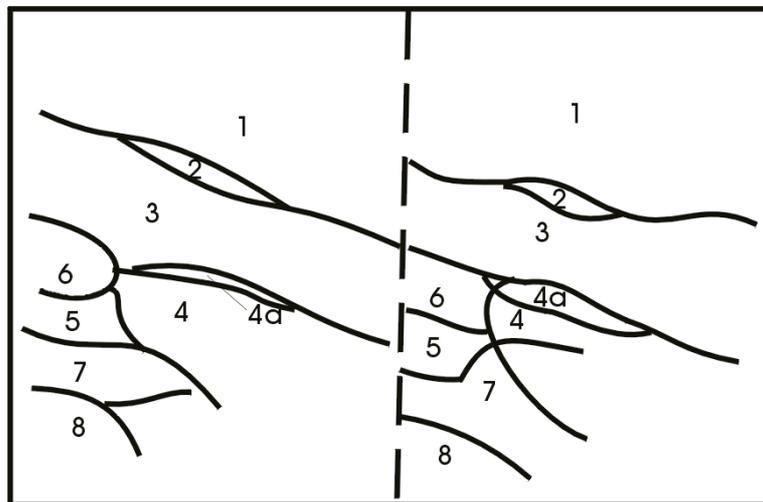
Abschließend erscheint es sinnvoll, einen Vergleich der Strukturen an der belasteten und der unbelasteten Gliedmaße hinzuzufügen. In Abbildung 25 erreicht die sektorielle Sonde mit einer Frequenz von 7,5 MHz mit ihren Echos das Strahlbein (4). Der Ultraschall durchquert die *Tela subcutanea tori* (1), die tiefe Beugesehne (3), auch das **Ligamentum anulare digiti** (2) ist sichtbar, ebenso der **Recessus proximalis** der **Bursa podotrochlearis** (6) und der **Recessus palmaris proximalis** des **Hufgelenks** (7). Dazwischen gelagert ist die dreieckige Vereinigung der **Ligamenta sesamoidea collateralia** (5), es ist sehr wichtig, die Echogenität der synovialen Flüssigkeit zu beachten. Die Belastung in der *Weight Bearing Position* führt zu einer Anspannung der Sehnenfasern und der Fasern der Bänder und damit zu einer deutlicheren Echogenität. Die synovialen Recessus erscheinen ebenfalls echogener als an der entlasteten Gliedmaße. Der subchondrale Knochen der **Facies flexoria** (4a) und der **Margo articulationis** präsentieren sich, wie zu erwarten, hyperechogen.



Belastet

Unbelastet

Abb. 25: Sagittale palmare Projektionen (distal) der Bursa podotrochlearis



1 - Tela subcutanea tori

2 - Lig. anulare digiti

3 - Tendo m. flexor dig. prof.

4 - Os sesamoideum distale

a - Facies flexoria

5 - Ligamentum sesamoideum collaterale

6 - Rec. proximalis der Bursa podotrochlearis

7 - Rec. palmaris proximalis der AIPD

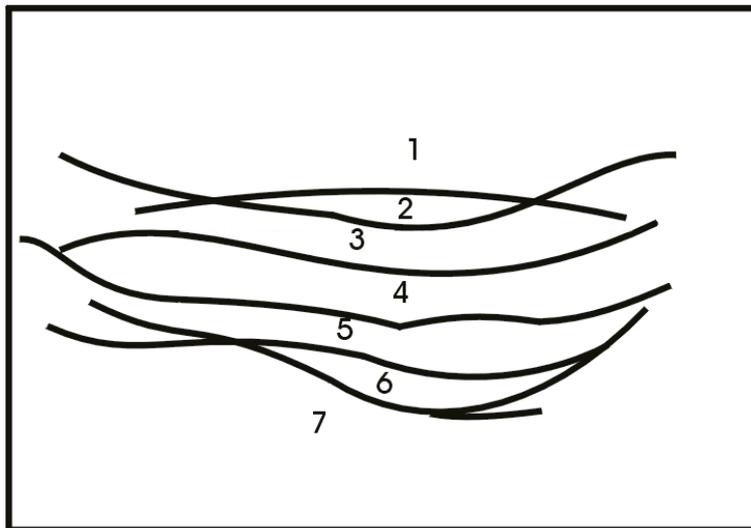
8 - P2

Transversale Abbildungen

Die in Abbildung 26 parasagittal realisierte Ansicht erreicht die tiefen Strukturen des Hufgelenks. Die *Tela subcutanea tori* erscheint relativ echogen (1). Das Ligamentum anulare digiti (2) wirkt dünn und hyperechogen. In Folge durchquert der Schall die ausgedehnte tiefe Beugesehne (3). Der **Recessus palmaris** der **Bursa podotrochlearis** (4) zeigt sich anechogen und erstreckt sich in lateromedialer Richtung von einer Seite an die gegenüberliegende. Die echogene Vereinigung der **Ligamenta sesamoidea collateralia** (5) ist fibrös und befindet sich unterhalb des anechogenen **Recessus palmaris proximalis** der **Bursa podotrochlearis**, aber ausgedehnter als der **Recessus palmaris proximalis** des **Hufgelenks** (6). Eine fibrinöse Verklebung zwischen Sehne und Strahlbein kann eine Verringerung der Größe der *Bursa podotrochlearis* und einen Verlust ihrer Anechogenität herbeiführen. Normalerweise erscheint hier die *Bursa podotrochlearis* weiter als der *Recessus palmaris proximalis*. Die **Phalanx media** erstreckt sich mit ihrem **Caput** distal und wird durch den knöchernen, hyperechogenen Rand abgrenzbar (7). Die Abtastung von proximal nach distal in mehreren Ebenen erlaubt es, mehrere palmare Profile des Strahlbeins respektive seiner **Facies flexoria** zu realisieren. Aufgrund der Orientierung der Fasern ist die tiefe Beugesehne nicht echogen, sondern hypoechogen im Endbereich.



Abb. 26: Hufgelenk, transversal, in palmarer Projektion



- | | |
|---|---------------------------------------|
| 1 - Tela subcutanea tori | 5 - Lig. sesamoideum collaterale |
| 2 - Lig. anulare digiti | 6 - Rec. palmaris proximalis der AIPD |
| 3 - Tendo m. flexor dig. prof. | 7 - P2 |
| 4 - Rec. proximalis der Bursa podotrochlearis | |

Die in Abb. 27 und Abb. 28 abgebildeten Strukturen sind in lateraler und medialer Richtung symmetrisch. Der Ultraschall durchquert von der Oberfläche in die Tiefe an der seitlichen Fläche mehrere Strukturen: Die **Epidermis** (1), sie bildet eine **hyperechogene** Zone und wird von der verhältnismäßig **anechogenen Subcutis** (2) begrenzt. Letztere wird durch das bindegewebige **hetero- und echogene Kronpolster** (3) unterlagert. Die wichtigste Struktur dieser Abbildung ist das **Ligamentum collaterale laterale** (4) des Hufgelenks. Es erscheint **stark echo- und heterogen**, sein Faserverlauf ist parallel. An der *Phalanx media* zeigt sich die laterale **Insertionsgrube** (5) als **feine regelmäßige und hyperechogene Linie**.

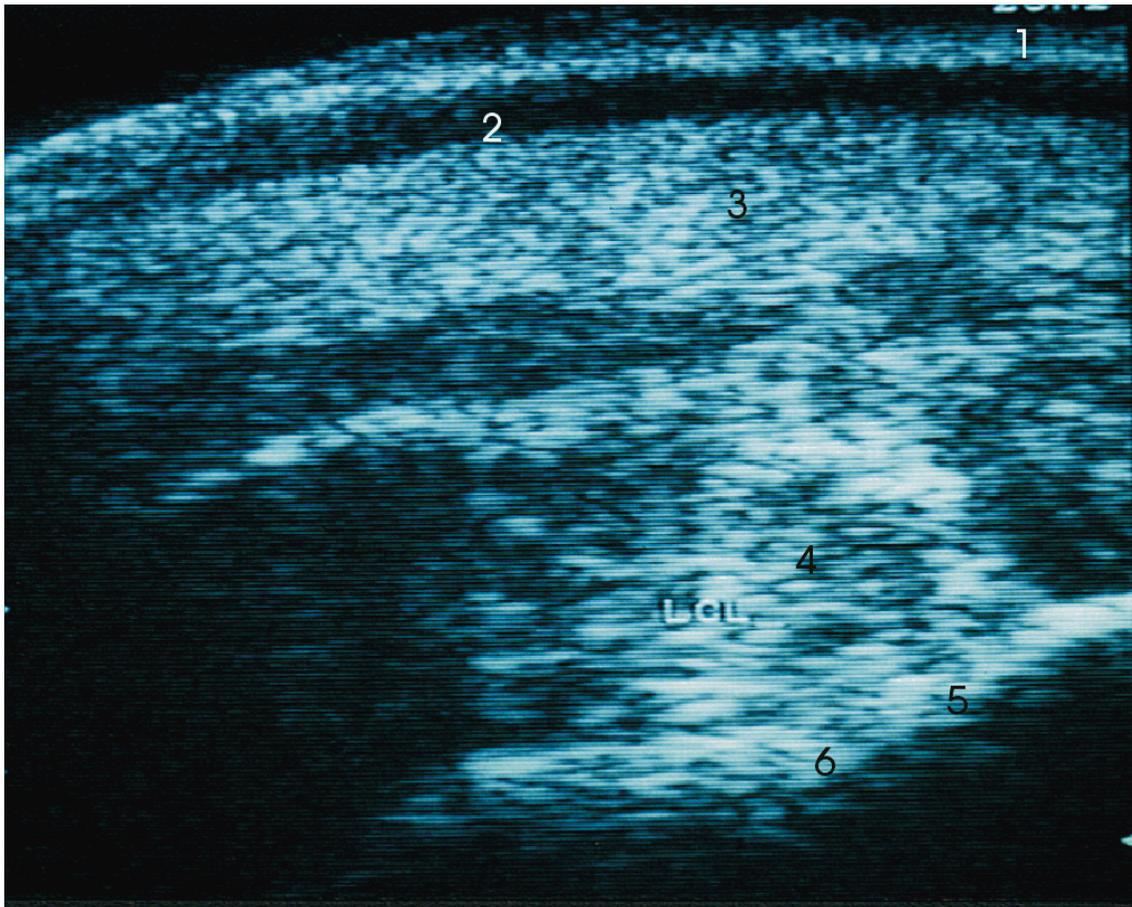
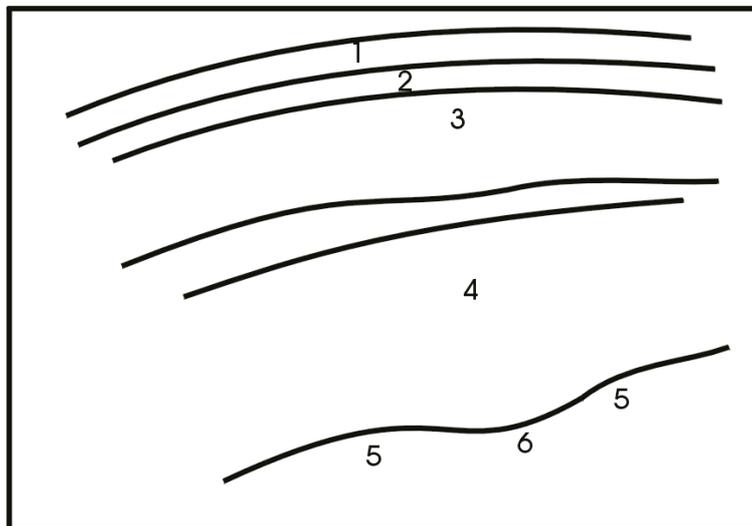


Abb. 27: Hufgelenk, horizontal, in dorsaler abaxialer Projektion
(Facies transversalis dorsolateralis)



- | | |
|-----------------------------|-------------------------------------|
| 1 - Epidermis | 4 - Lig. collaterale laterale |
| 2 - Subcutis | 5 - P2 |
| 3 - Tela subcutanea coronae | 6 - laterale Insertionsgrube von P2 |

Das folgende sonographische Bild (Abb. 28) entstand mehr lateral als das vorherige (Abb. 27). Der Hufknorpel (5) wird sichtbar und der Verlauf der Insertionsgrube kann in lateraler Richtung verfolgt und beurteilt werden.

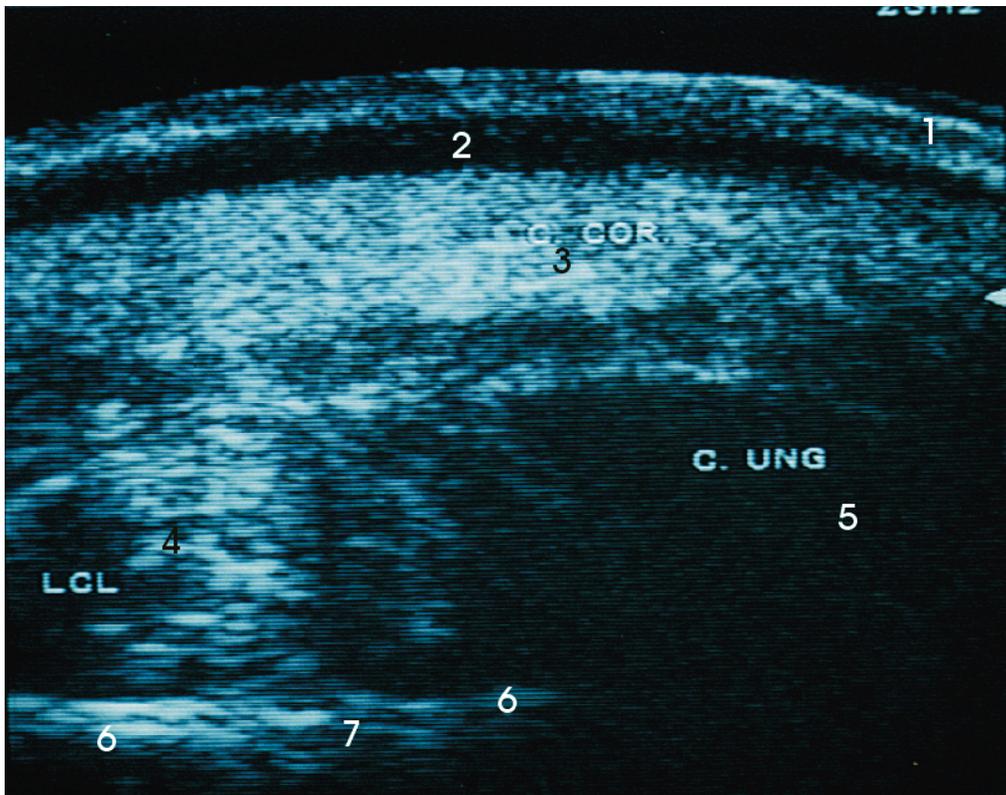
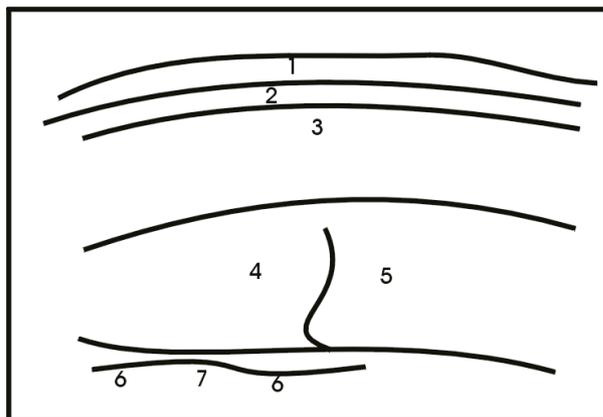


Abb. 28: Hufgelenk, horizontal, in dorsaler abaxialer Projektion
(Facies transversalis lateralis)



1 - Epidermis

2 - Subcutis

3 - Tela subcutanea coronae

4 - Lig. collaterale laterale

5 - Cartilago unguaris (C. ung.)

6 - P2

7 - laterale Insertionsgrube von P2