

Wie untersuche ich ein Handgelenk / eine Hand in der MRT?

Rainer Schmitt

München, 15. November 2025

Agenda

- Klinische Information
- Korrekte Lagerung
- Untersuchungsregion
- Primäre Ebene
- Hochauflösung (inkl. AI)
- Kontrastmittel
- 2D-Sequenzen
- 3D-Sequenzen
- Vordefinierte Protokolle
- Korrelation von Klinik zu MR-Befund



aktuell vom 11.07.2025

MODERN
RADIOLOGY
eBook

**Prescription of
Radiologic Imaging:
Ingredients for
Good Practice**

ESR EUROPEAN SOCIETY
OF RADIOLOGY



- The Referrer's Responsibilities
 - Justification
 - Decision Support
 - Overuse of Diagnostic Imaging
 - Incorrect Use
 - Completing the Prescription

Info entscheidend für

- Planung und Durchführung der Hand-MRT
- klinisch motivierte Befunderstellung

Korrekte Lagerung der Hand

In-center-Lagerung („superman“)

- Bauchlage, Arm über Kopf
- Ellenbogen-Flexion, Hand in **Pronation**

Off-center-Lagerung („hab Acht“)

- Rückenlage, Hand an der Hüfte
- Handfläche zur Hüfte, Daumen hoch



Bequeme Lagerung, gute Fixierung

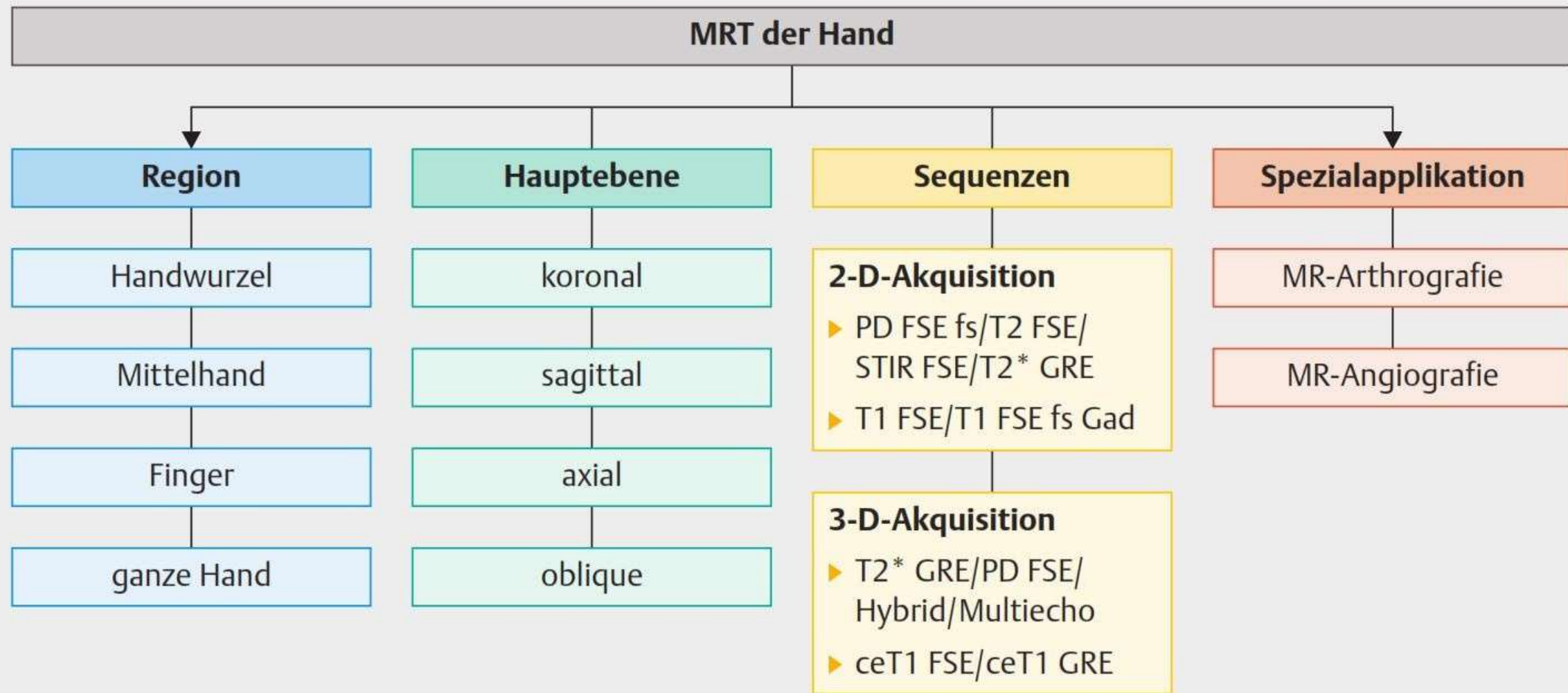
Ausrichtung der Hand

- kolinear frontal: Mittelfinger parallel zu Unterarm
- kolinear seitlich: dorsale Hand zu dorsalem Unterarm



Venöser Zugang in gegenseitiger Ellenbeuge

Planung einer Hand-MRT



Untersuchungsregionen

FoV 80 mm

Karpus

Finger klein

FoV 130 mm

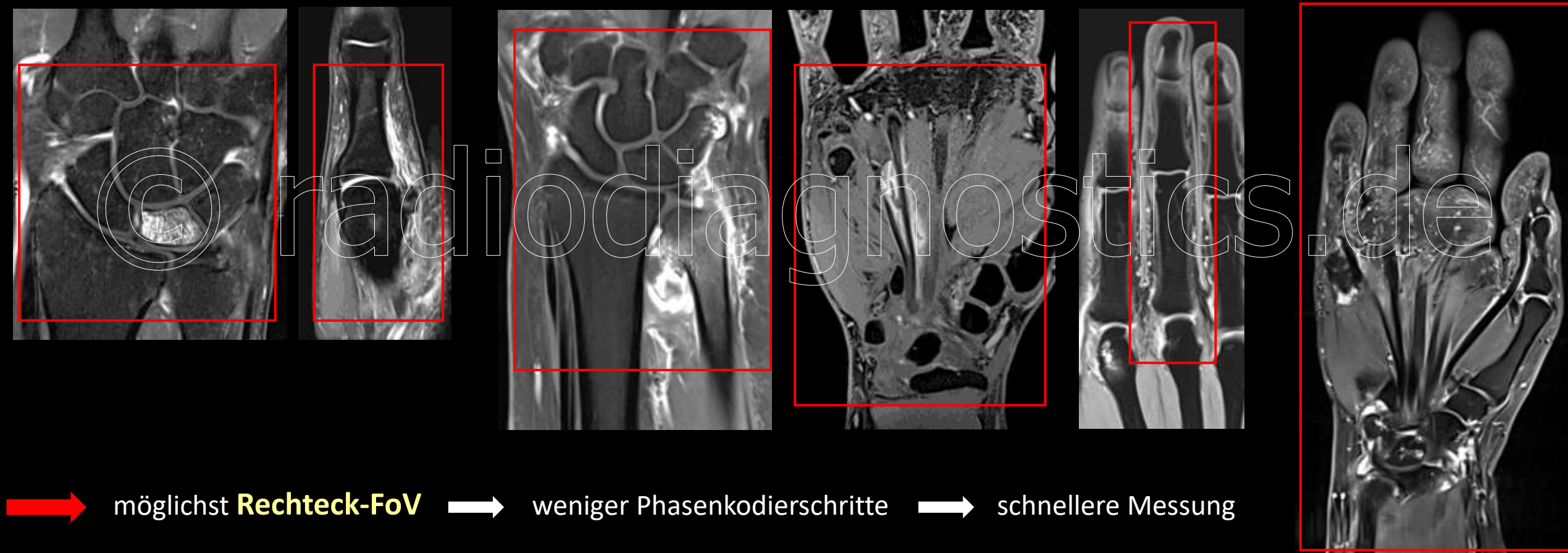
Distaler UA + Karpus

Handwurzel + Karpus

Finger groß

FoV 240 mm

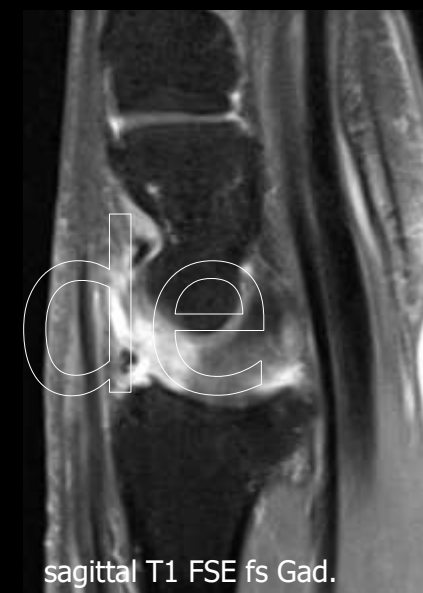
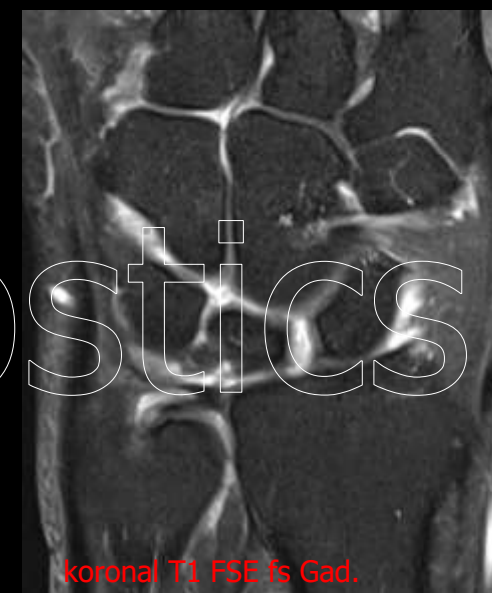
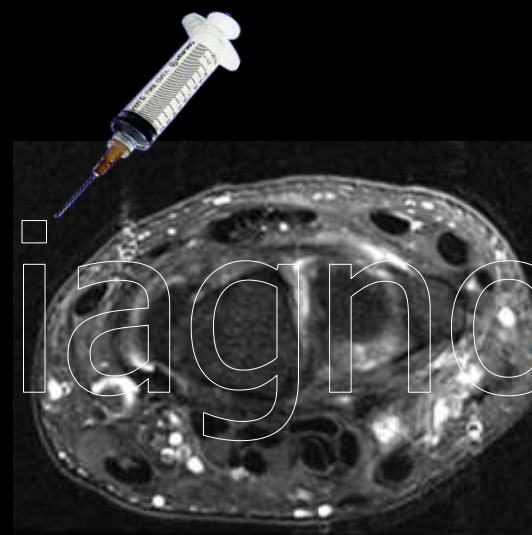
Gesamte Hand



- ist die Ebene, die die Pathologie an der Hand übersichtlich darstellt
- orthogonale Ebenen (axial, koronal, sagittal) oder oblique Ebenen (z.B. am Skaphoid)
- beinhaltet drei Sequenztypen: **PD FSE fs** + **T1 FSE** + **T1 FSE fs Gad**

Koronale Primärebene

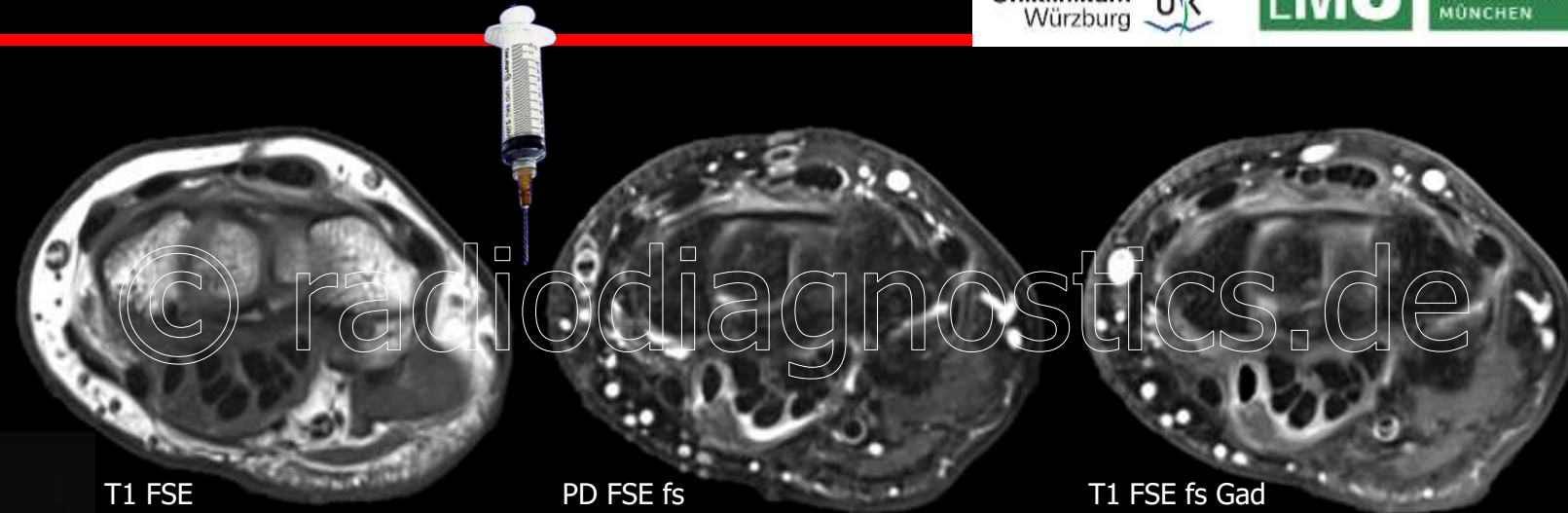
- Alignment und Ligamente am Karpus
- Fingergelenke



Primäre Ebene

Axiale Primärebene

- Sehnenpathologien am Karpus
- Nervenpathologien

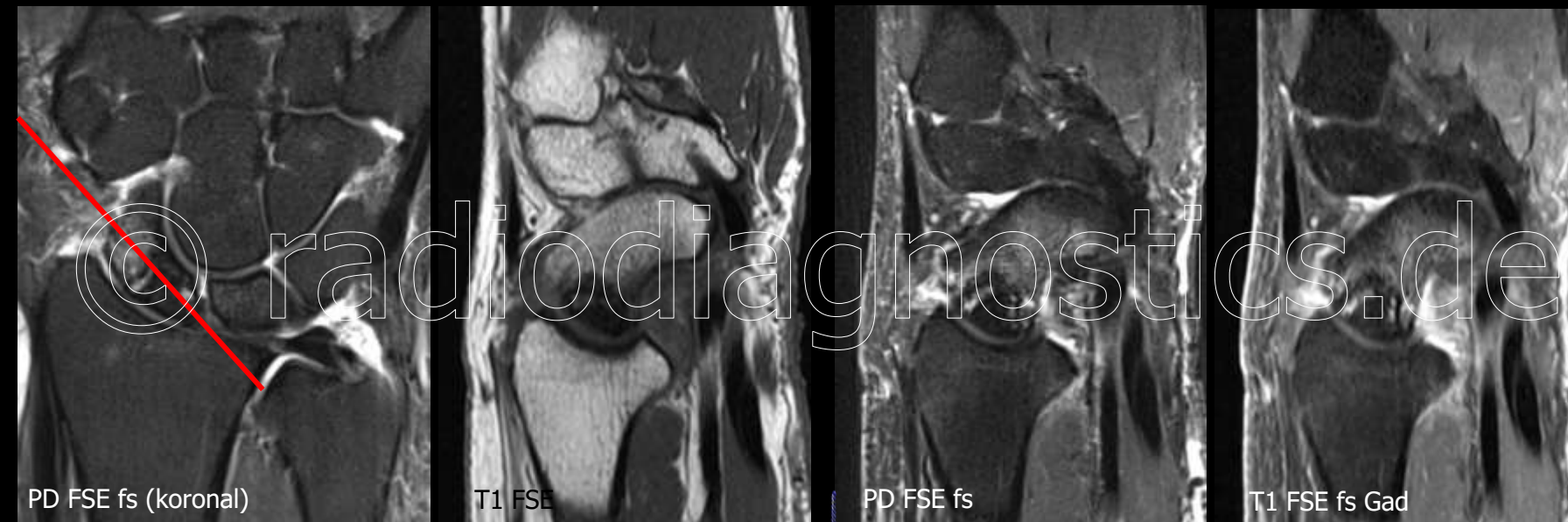


Sagittale Primärebene

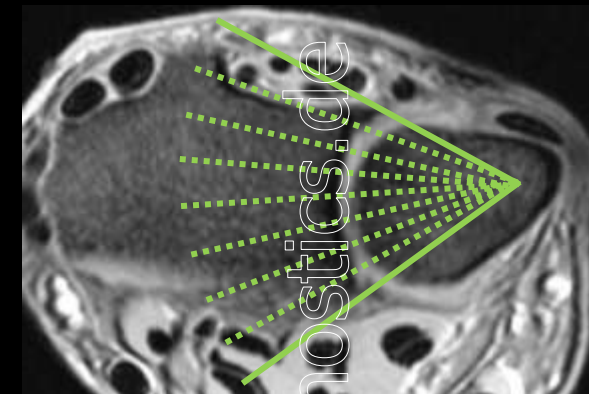
- Sehnenpathologien an den Fingern
- Alignment des Karpus

Schräge Primärebene

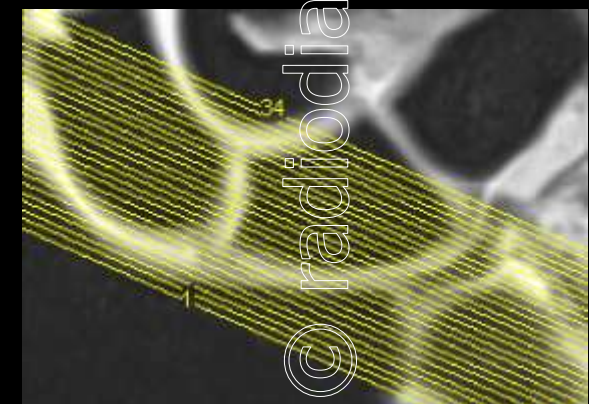
- Skaphoid: Fraktur, Pseudarthrose, Morbus Preiser



Schräge Reformationen

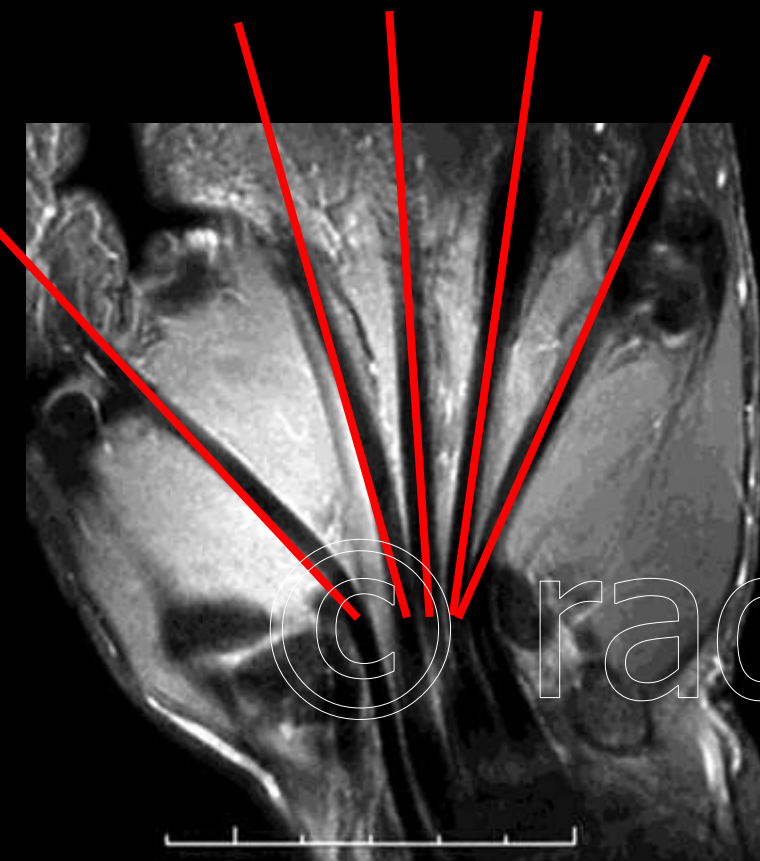


ulnokarpaler Komplex (TFCC)

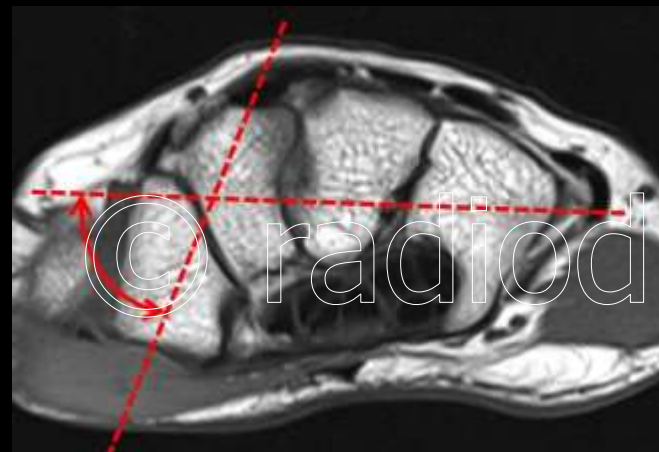


Lig. scapholunatum

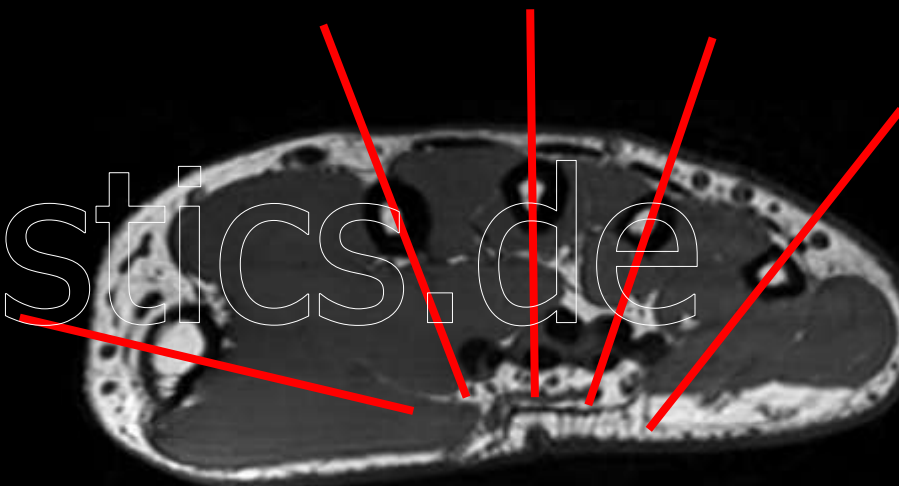
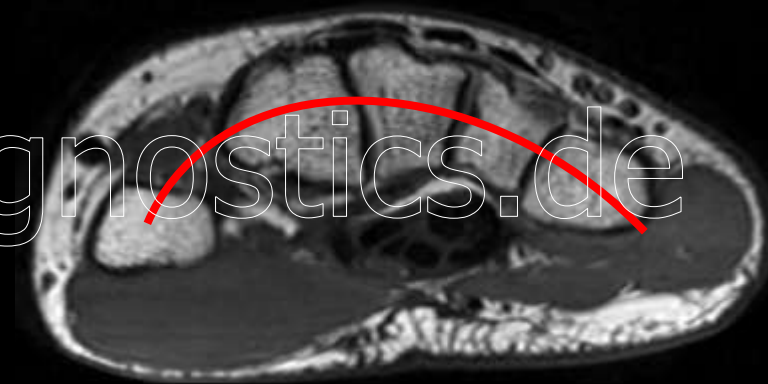
3D-Anatomie und Scan-Ebenen



Konvergenz der Fingerstrahlen



Opposition des Daumens



Quergewölbe der Hand

Planung der Scan-Ebenen

Schritt 1

- 3 Localizer in **sukzessiver** Folge
- „triplane localizer“ vermeiden



Schritt 2

- Einzeichnen des Scan-Volumens in den 3 Raumebenen
- Shim-Volumen muss im Scan-Volumen liegen



Geometrische Hochauflösung (Handwurzel)

Umfang

- in-plane-Auslösung
 - Abtastfeld (FoV)
 - Bildmatrix
- 2D-Schichtdicke / 3D-Partitionsdicke
- Künstliche Intelligenz (KI, „deep learning“) mit Interpolation von
 - Matrix
 - Rauschen
 - Akquisitionszeit



Handwurzel

	1,5 Tesla	3,0 Tesla
Field of View (Fov)	80 mm	80 mm
Bildmatrix ohne KI	T1w: 320 x 320 PDw: 256 x 256	T1w: 384 x 384 PDw: 320 x 320
Bildmatrix mit KI	T1w: 640 x 640 PDw: 512 x 512	T1w: 768 x 768 Pdw: 640 x 640
Schichtdicke koronal *	2,0 mm	2,0 oder 1,5 mm
Schichtdicke axial, sagittal *	2,5 mm	2,5 oder 2,0 mm
Partitionsdicke koronal	0,5 mm	0,4 mm

* Schichtlücke („gap“): koronal 0 % (interleaved acq.), axial und sagittal 10 %

Geometrische Hochauflösung (Finger)

Finger

	1,5 Tesla	3,0 Tesla
Field of View (Fov)	80 oder 130 mm	80 oder 130 mm
Bildmatrix ohne KI	T1w: 320 x 320 PDw: 256 x 256	T1w: 384 x 384 PDw: 320 x 320
Bildmatrix mit KI	T1w: 640 x 640 PDw: 512 x 512	T1w: 768 x 768 PdW: 640 x 640
Schichtdicke koronal, sagittal *	2,0 mm	1,5 mm
Schichtdicke axial *	2,5 mm	2,0 mm
Partitionsdicke koronal	0,5 mm	0,4 mm

* Schichtlücke („gap“): koronal und sagittal 0 % (interleaved acq.), axial 10 %



Künstliche Intelligenz („deep learning“)

Herkömmliche Techniken

- hohe Magnetfeldstärke, leistungsstarke Gradienten
- Ansätze aus Interpolation und Rauschreduktion mit Beschleunigung von 2D-FSE-Sequenzen
- mit phased-array-Spulen
 - parallele Bildgebung bis PAT-Faktor 4 (baseline)
 - Mehrschichtbildgebung (simultaneous multi-slice = SMS)
- Compressed Sensing (CS)
- **Problem:** u.a. Streifenartefakte bei zu starker Beschleunigung („undersampling artifact“)

Deep Learning (DL)

- KI-gestützte Algorithmen zur Bildrekonstruktion aus „undersampled“ Rohdaten
 - ab den ersten Rekon-Schritten
 - auf der Grundlage von anatomischen Datensätzen
- **Kombinationen** aus PAT, SMS und Deep learning
- **Deep Resolve** (Siemens Healthcare)
 - **Deep Resolve Gain (DRG)** entauscht über Noise-Maps
 - **Deep Resolve Boost (DRB)** beschleunigt Messzeit
 - **Deep Resolve Sharp (DRS)** erstellt hochaufgelöste Bilder

Künstliche Intelligenz („deep learning“)

DL-Akquisitionszeit verkürzen

- 50 % schneller bei gleicher Bildqualität
- mit PAT, SMS und DL maximiert

?

DL-Bildqualität erhöhen

- Matrix $\uparrow$, Rauschen $\downarrow$
- $\sqrt{2}$ bessere Qualität bei gleicher Zeit

DL-Kombination

- z.B. 20 % schneller
- z.B. 80 % besser



Cave: DL erfordert „saubere“ Akquisition

- korrekte Lagerung (Bewegung vermeiden)
- Pulsartefakte unterdrücken (Vorsättiger, Mittelung)
- ETL kurz, Flipwinkel 180°

Parameter für das MR-Signal

- Sequenztyp wählen (FSE, GRE, ...)
- TR und TE optimieren
- ETL eher klein halten (< 10)
- Voxelgröße ausreichend machen
- Signal steigern
 - FoV, Schichtdicke
 - Mittelung
 - Phasenversampling

Kontrastmittel applizieren

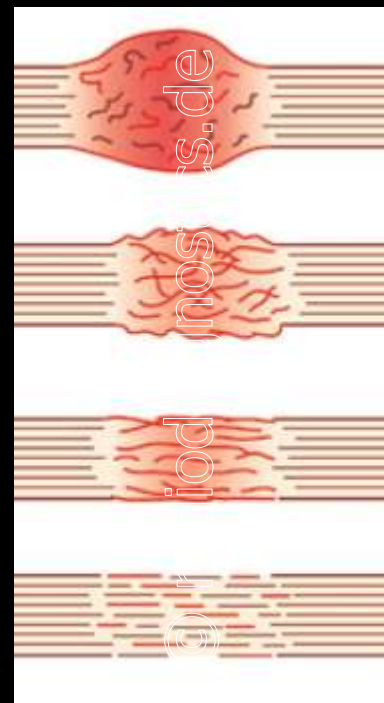
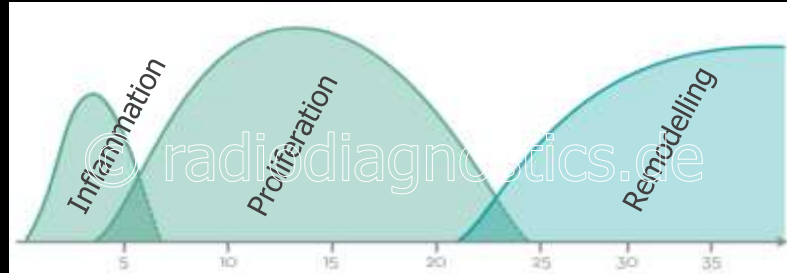
- reichert u.a. an fibrovaskulärem Reparationsgewebe an



- Unterscheide: **Ödem** (in T2w fs) vs. **Hyperämie** (in T1w fs Gad)

Intravenöses Kontrastmittel

z.B. Ligamente: Phasen der Heilung



Inflammation
Faserruptur, Blutkoagel

Proliferation
Resorption, neues Kollagen

Remodelling
Kollagenfasern reorganisiert

Andauerndes Remodelling

- Inflammation
(zellulär)
- Permeabilität
(vaskulär)
 - Gefäßwand
 - Synovialmembran
- lokale Hyperämie

z.B. Knochenmark: Ödem vs. Vitalität



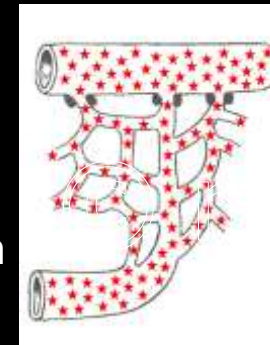
vital



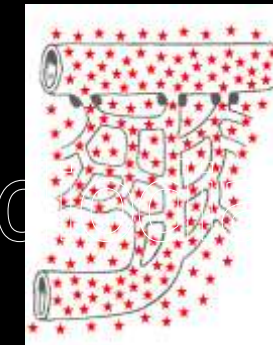
partiell vital



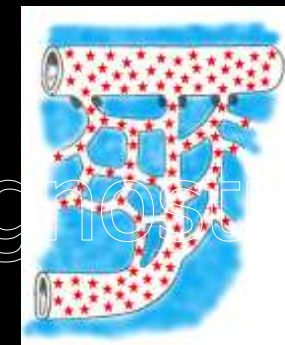
avital



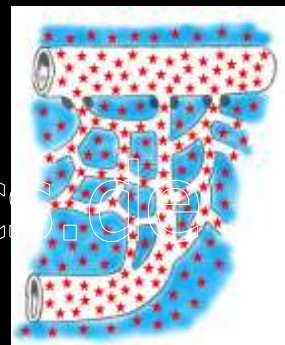
avital



vital

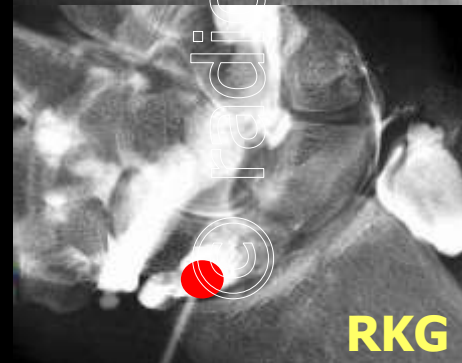
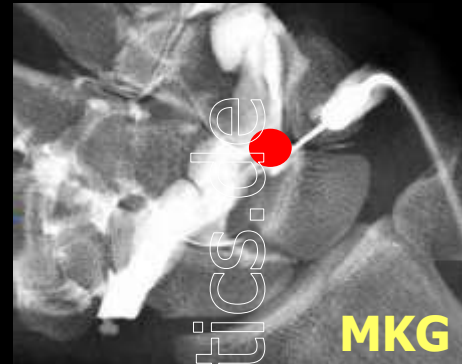
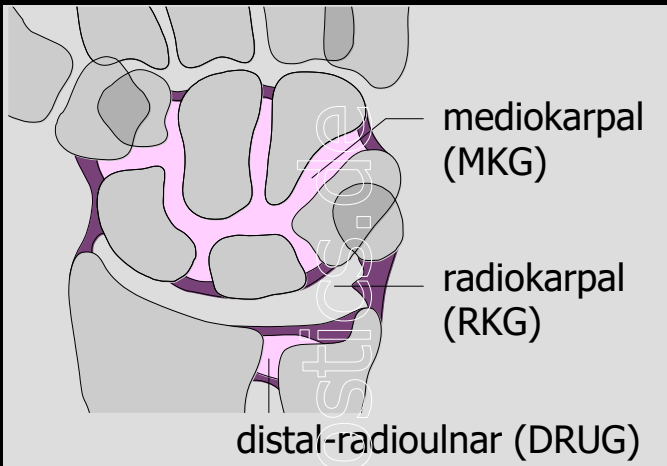


avital



vital

Intraartikuläres Kontrastmittel



Gezielte Indikationen

- SL-Dissoziation, LT-Dissoziation
- Lamina fovealis des TFCC
- Chondropathien



Effekte

- Distension
- Umgebungskontrast

2D-Sequenzen

- Fettsaturiert PD-gewichtet FSE
 - TE ca. 40 – 45 ms (intermediär gewichtet)
- T1-gewichtet FSE
 - für anatomische Detail und Knochenmark
- Fettsaturiert T1-gewichtet FSE nach i.v.-Gadolinium
 - detektiert Gewebehyperämie
- T2*-GRE-gewichtet
 - sensitiv auf Hämosiderin

3D-Sequenzen

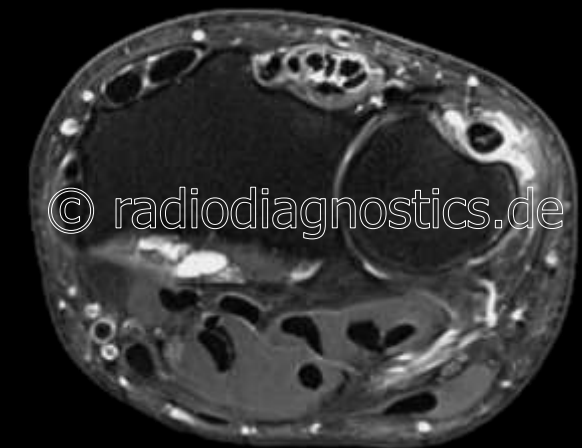
- Double Echo Steady State (DESS)
 - stellt Knorpel und Ligamente gut dar
- Volume Interpolated Breath-hold Examination (VIBE)
 - detektiert Gadolinium-Enhancement



Video

Vordefinierte MRT-Protokolle (1)

Handwurzel



Protokoll	Indikationen an der Handwurzel	PD FSE fs	T1 FSE nativ	PD FSE fs oder T2* GRE	T1 FSE fs nach i. v. Gadolinium	T1 FSE fs nach i. v. Gadolinium	optional
1	Übersicht, Ligament-, TFCC-Veränderungen, Arthritis	koronal	koronal	axial	koronal	sagittal	3-D-DESS ¹
2	Ganglien, Tumoren, Neuropathien ²	koronal ³	axial	axial ³	axial	sagittal	–
3	Tendopathien ⁴	koronal	axial	sagittal	axial	koronal	3-D-VIBE ⁵
4	Skaphoidfraktur, Skaphoid-pseudarthrose ⁶	koronal	schräg-sagittal	schräg-sagittal	schräg-sagittal	schräg-koronal	–
5	Lunatumnekrose, Impaktation, intraossäres Ganglion	koronal	koronal	sagittal ⁷	koronal	sagittal	–
6	MR-Arthrografie	koronal	koronal	axial	–	–	3-D-VIBE ⁸

¹ empfohlen bei TFCC-Läsionen: Akquisition koronal, MPR radiär (Drehzentrum im Processus styloideus ulnae)

² gilt auch für Ganglien, Tumoren und Neuropathien der Mittelhand

³ vorzugsweise T2-FSE-Sequenz ohne/mit Fettsättigung verwenden

⁴ gilt auch für Tendopathien der Mittelhand

⁵ empfohlen bei schräg verlaufenden Sehnen (z. B. EPL, EDM): Akquisition koronal, MPR einfach oder doppelt anguliert

⁶ parallel zur Längsachse des Skaphoids ausrichten

⁷ Schichtdicke 2 mm, auf das Lunatum begrenzt

⁸ empfohlen bei jeder MR-Arthrografie: Akquisition koronal, MPR axial, koronal, sagittal und schräg anguliert

PD = Protonendichte, fs = „fat saturated“, FSE = „fast spin echo“, GRE = „gradient echo“, DESS = „double echo steady state“,

VIBE = „volume interpolated breathhold excitation“

Vordefinierte MRT-Protokolle (2)

Finger



Gesamte Hand



Protokoll	Indikationen an Fingern und Daumen	PD FSE fs	T1 FSE nativ	PD FSE fs oder T2* GRE	T1 FSE fs nach i. v. Gadolinium	T1 FSE fs nach i. v. Gadolinium	optional
7	Übersicht, Kollateralbänder ¹	koronal	koronal	axial	koronal	sagittal	3-D-VIBE ²
8	Sehnen, palmare Platte ¹	sagittal	sagittal	axial	sagittal	koronal	3-D-VIBE ³

¹ Akquisition mit axialen Schichten beginnen, auf axialen Schichten die koronalen und sagittalen Ebenen planen. Vorsicht beim Daumen, der 45°–60° zu den übrigen Fingern anguliert ist.

² zur Diagnostik der Kollateralbänder hilfreich; Akquisition koronal, MPR schräg-sagittal parallel zu den Kollateralbändern

³ zur Diagnostik der Extensorsehnen hilfreich; Akquisition koronal, MPR sagittal

PD = Protonendichte, fs = „fat saturated“, FSE = „fast spin echo“, GRE = „gradient echo“, VIBE = „volume interpolated breathhold excitation“

Protokoll	seltene Indikationen	PD FSE fs	T1 FSE nativ	PD FSE fs oder T2* GRE	T1 FSE fs nach i. v. Gadolinium	T1 FSE fs nach i. v. Gadolinium	MR-Angiografie
9	ganze Hand: Arthritis, Synovialitis ¹	koronal	koronal	axial	koronal	–	–
10	ganze Hand: MR-Angiografie, Hämangiom ¹	koronal	axial	–	axial	koronal	zeitaufgelöst ²

¹ Schichtdicke 3 mm koronal lückenlos und axial mit Schichtlücke

² koronale Akquisition: Partitionsdicke 1,2–1,8 mm, Phasenzeit 3–5 s, koronale MIP-Rekonstruktion meist ausreichend (TRICKS, Fa. GE Healthcare; CENTRA, Fa. Philips Healthcare; TWIST, Fa. Siemens Healthineers)

PD = Protonendichte, fs = „fat saturated“, FSE = „fast spin echo“, GRE = „gradient echo“, DESS = „double echo steady state“, VIBE = „volume interpolated breathhold excitation“

Protokoll - Handwurzel koronal

Protokoll	Indikationen an der Handwurzel	PD FSE fs	T1 FSE nativ	PD FSE fs oder T2* GRE	T1 FSE fs nach i. v. Gadolinium	T1 FSE fs nach i. v. Gadolinium	optional
1	Übersicht, Ligament-, TFCC-Veränderungen, Arthritis	koronal	koronal	axial	koronal	sagittal	3-D-DESS ¹

hier: **Skapholunäre Dissoziation (SLD)**

alternatives DESS-Protokoll



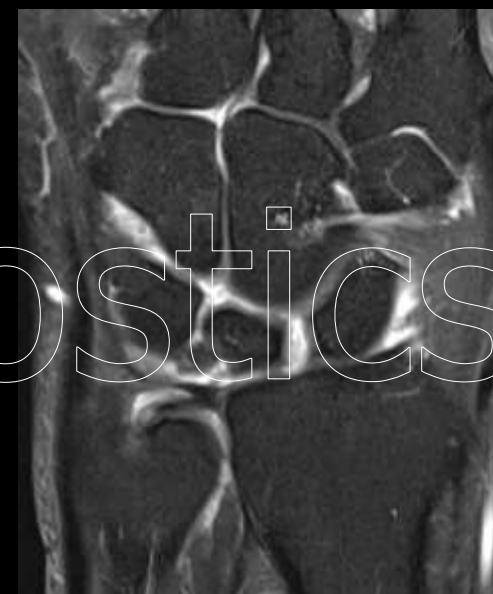
PD FSE fs



T1 FSE



PD FSE fs



T1 FSE fs Gad.



T1 FSE fs Gad.

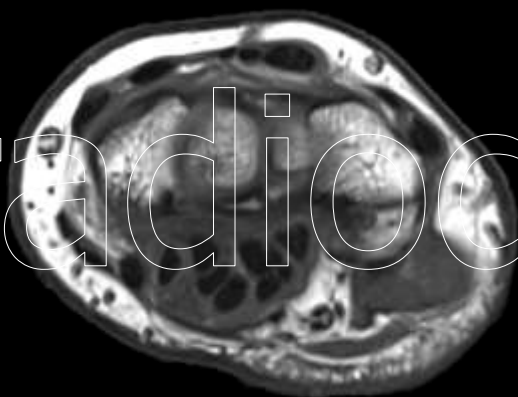
Protokoll - Handwurzel axial

Protokoll	Indikationen an der Handwurzel	PD FSE fs	T1 FSE nativ	PD FSE fs oder T2* GRE	T1 FSE fs nach i. v. Gadolinium	T1 FSE fs nach i. v. Gadolinium
2	Ganglien, Tumoren, Neuropathien ²	koronal ³	axial	axial ³	axial	sagittal

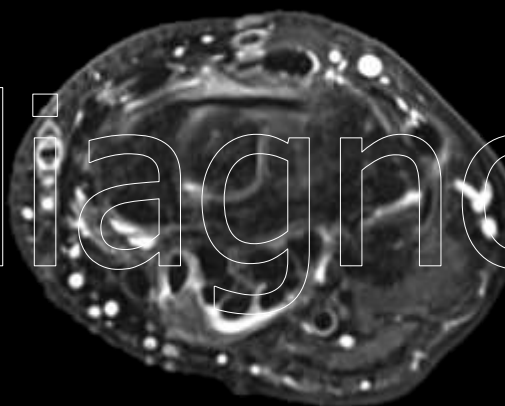
hier: **Karpaltunnelsyndrom (KTS)**



PD FSE fs



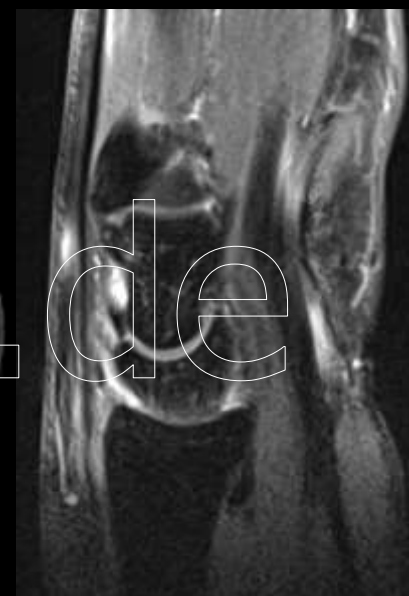
T1 FSE



PD FSE fs



T1 FSE fs Gad.



T1 FSE fs Gad.

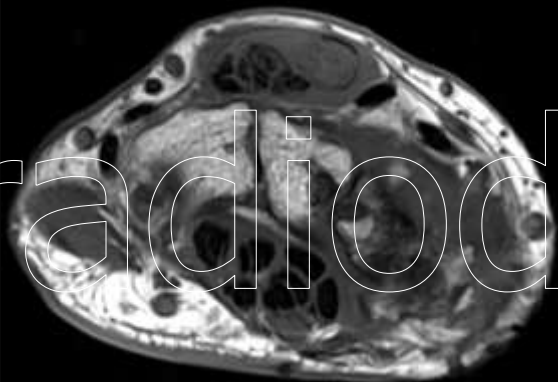
Protokoll - Handwurzel koronal + axial

Protokoll	Indikationen an der Handwurzel	PD FSE fs	T1 FSE nativ	PD FSE fs oder T2* GRE	T1 FSE fs nach i. v. Gadolinium	T1 FSE fs nach i. v. Gadolinium	optional
3	Tendopathien ⁴	koronal	axial	sagittal	axial	koronal	3-D-VIBE ⁵

hier: **stenosierende Tendovaginose**



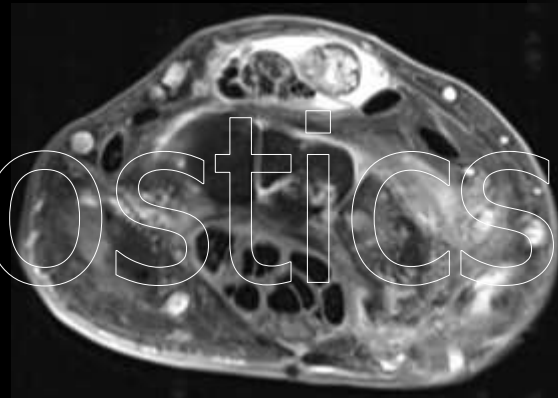
PD FSE fs



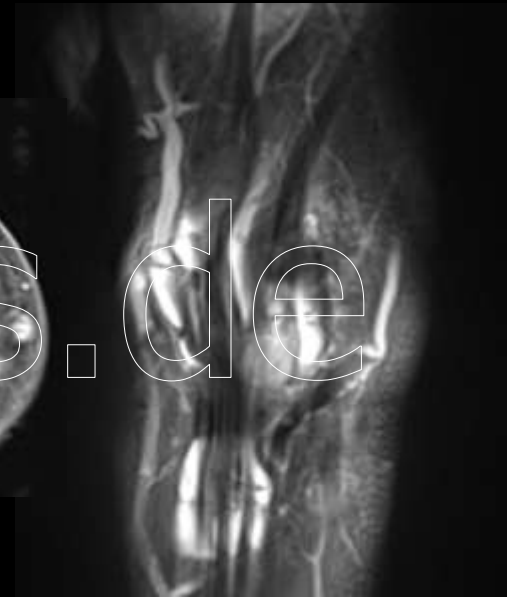
T1 FSE



PD FSE fs



T1 FSE fs Gad



T1 FSE fs Gad.

Protokoll - Handwurzel Skaphoid

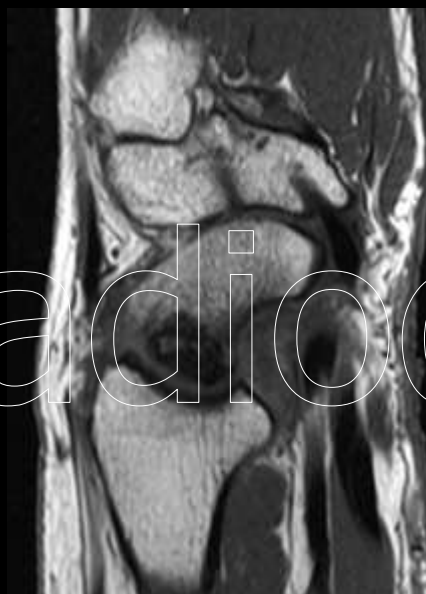
Protokoll	Indikationen an der Handwurzel	PD FSE fs	T1 FSE nativ	PD FSE fs oder T2* GRE	T1 FSE fs nach i. v. Gadolinium	T1 FSE fs nach i. v. Gadolinium
4	Skaphoidfraktur, Skaphoid-pseudarthrose ⁶	koronal	schräg-sagittal	schräg-sagittal	schräg-sagittal	schräg-koronal



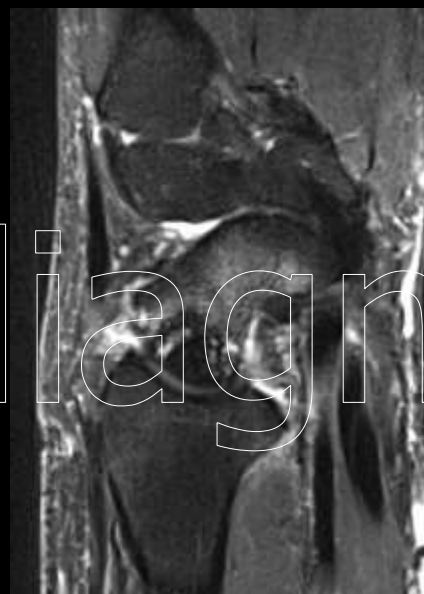
hier: **Idiopath. Skaphoidnekrose (Morbus Preiser)**



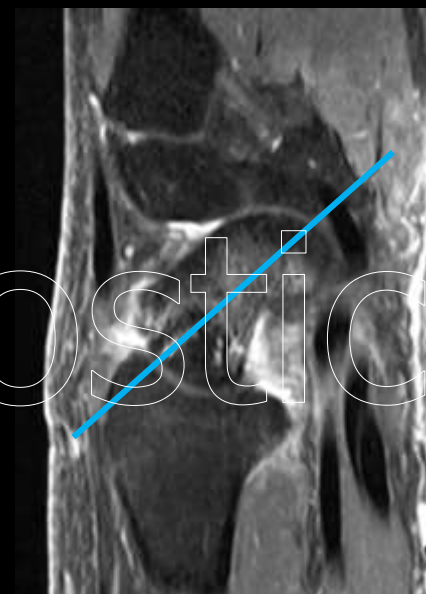
PD FSE fs



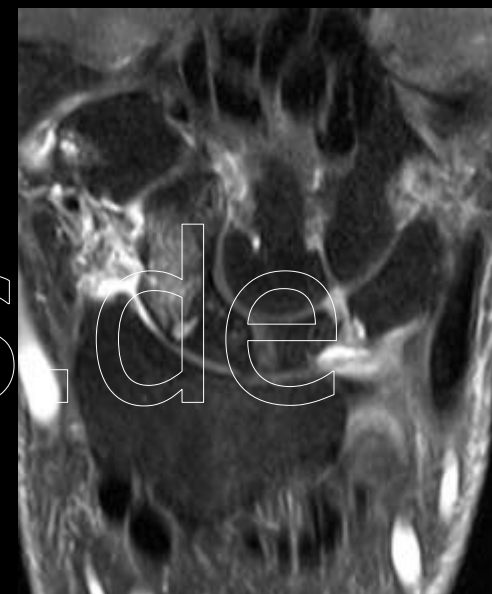
T1 FSE



PD FSE fs



T1 FSE fs Gad.



T1 FSE fs Gad

Protokoll - Handwurzel Lunatum

Protokoll	Indikationen an der Handwurzel	PD FSE fs	T1 FSE nativ	PD FSE fs oder T2* GRE	T1 FSE fs nach i. v. Gadolinium	T1 FSE fs nach i. v. Gadolinium
5	Lunatumnekrose, Impaktation, intraossäres Ganglion	koronal	koronal	sagittal ⁷	koronal	sagittal



hier: **Juvenile Lunatumnekrose**



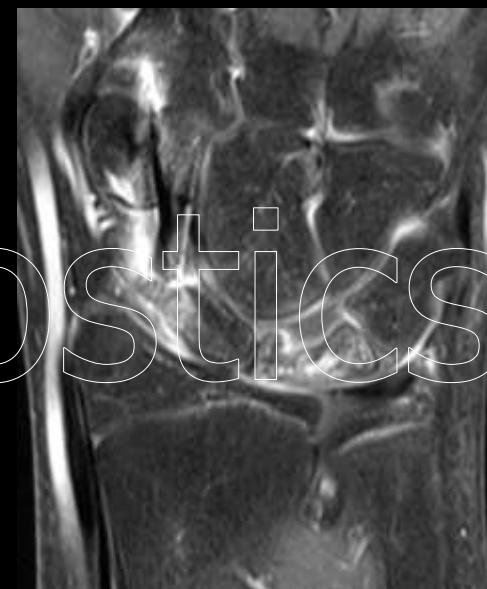
T1 FSE



T1 FSE



PD FSE fs



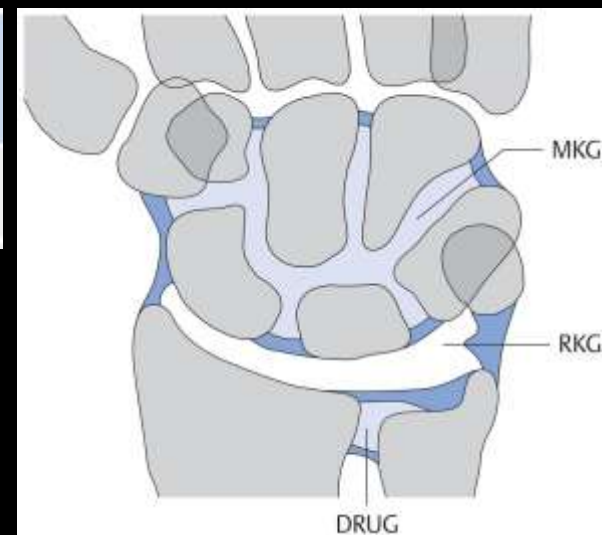
T1 FSE fs Gad.



T1 FSE fs Gad.

Protokoll - Handwurzel Arthrographie

Protokoll	Indikationen an der Handwurzel	PD FSE fs	T1 FSE nativ	PD FSE fs oder T2* GRE	T1 FSE fs nach i. v. Gadolinium	T1 FSE fs nach i. v. Gadolinium	optional
6	MR-Arthrografie	koronal	koronal	axial	-	-	3-D-VIBE ^B



Empfohlene Mischung

- 10 ml Lokalanästhetikum
- 10 ml Röntgenkontrastmittel 300
- 0,1 ml Gadolinium



Skapholunäre Dissoziation



Chondropathie bei SLAC wrist I



Lunotriquetrale Dissoziation

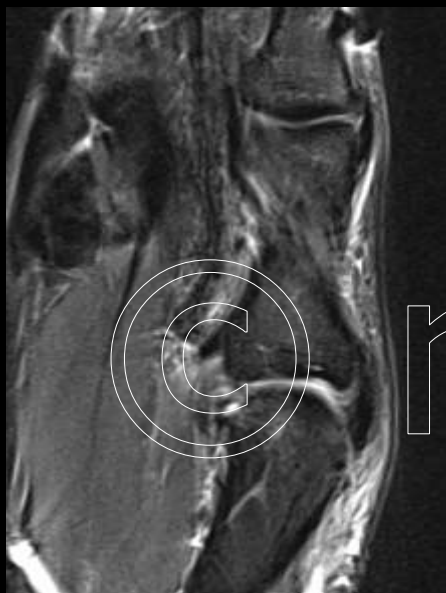


Ruptur der Lamina fovealis (TFCC)

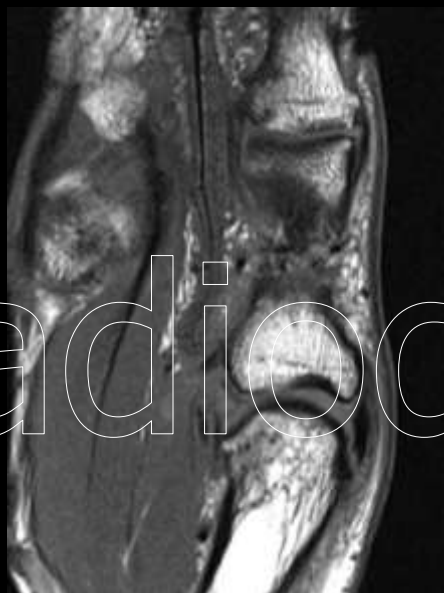
Protokoll - Finger koronal

Protokoll	Indikationen an Fingern und Daumen	PD FSE fs	T1 FSE nativ	PD FSE fs oder T2* GRE	T1 FSE fs nach i. v. Gadolinium	T1 FSE fs nach i. v. Gadolinium	optional
7	Übersicht, Kollateralbänder ¹	koronal	koronal	axial	koronal	sagittal	3-D-VIBE ²

hier: **Kollateralbandruptur (Stener)**



PD FSE fs



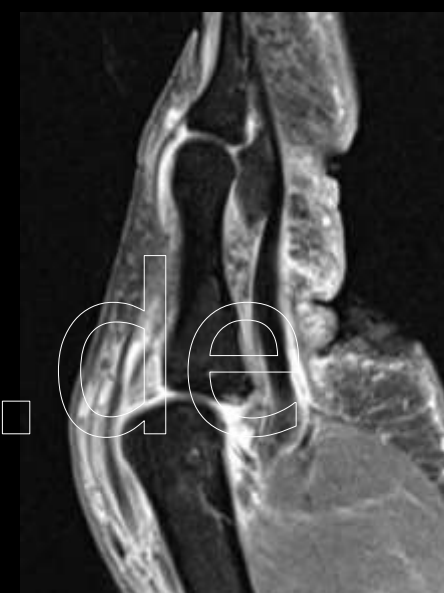
T1 FSE



T2* GRE



T1 FSE fs Gad.



T1 FSE fs Gad.

Protokoll - Finger sagittal

Protokoll	Indikationen an Fingern und Daumen	PD FSE fs	T1 FSE nativ	PD FSE fs oder T2* GRE	T1 FSE fs nach i. v. Gadolinium	T1 FSE fs nach i. v. Gadolinium	optional
8	Sehnen, palmare Platte ¹	sagittal	sagittal	axial	sagittal	koronal	3-D-VIBE ³

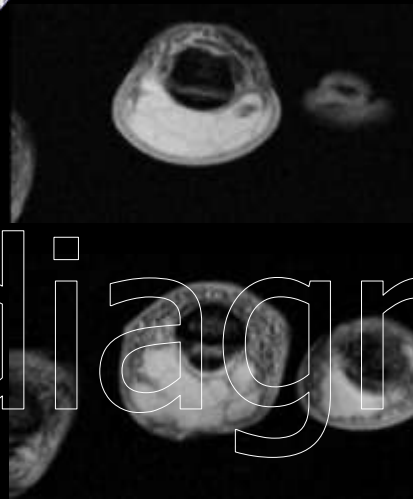
hier: **Tuberkulöse Tenosynovialitis**



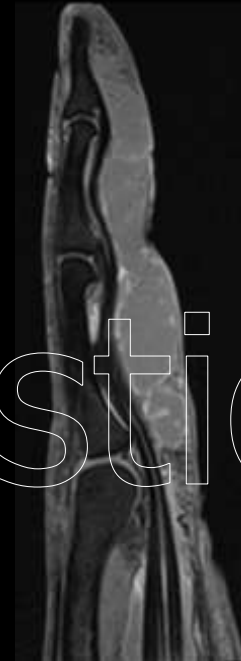
PD FSE fs



T1 FSE



PD FSE fs



T1 FSE fs Gad.



T1 FSE fs Gad.

Protokoll - Ganze Hand

Protokoll	seltene Indikationen	PD FSE fs	T1 FSE nativ	PD FSE fs oder T2* GRE	T1 FSE fs nach i. v. Gadolinium	T1 FSE fs nach i. v. Gadolinium	MR-Angiografie
9	ganze Hand: Arthritis, Synovialitis ¹	koronal	koronal	axial	koronal	–	–



hier:
rheumatic immune-related adverse event

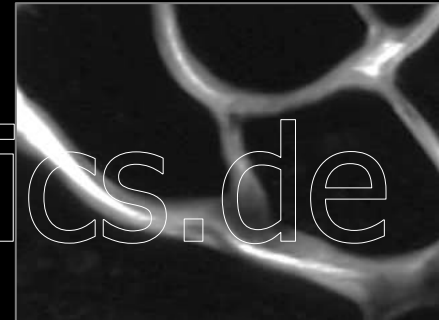
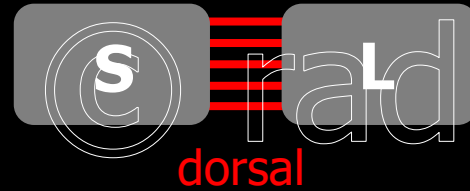
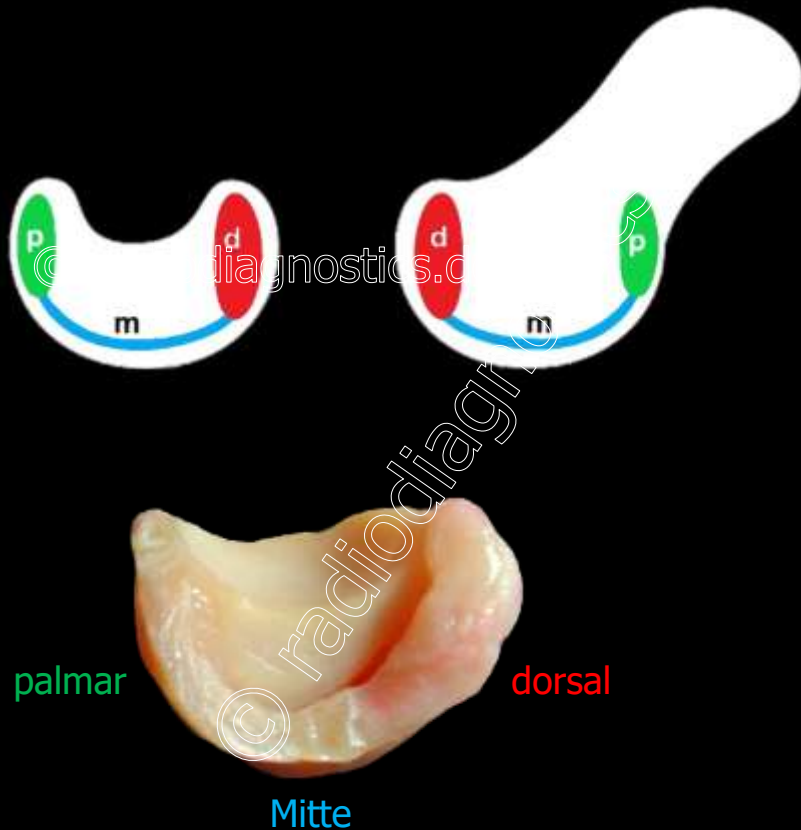
alternatives weVIBE-Protokoll

Protokoll - Ganze Hand Angiographie

Protokoll	seltene Indikationen	PD FSE fs	T1 FSE nativ	PD FSE fs oder T2* GRE	T1 FSE fs nach i. v. Gadolinium	T1 FSE fs nach i. v. Gadolinium	MR-Angiographie
10	ganze Hand: MR-Angiografie, Hämangiom ¹	koronal	axial	–	axial	koronal	zeitaufgelöst ²



Lig. scapholunatum - Anatomie und MRT



TFCC - Anatomie und MRT

Discus ulnocarpalis



Lamina styloidalis

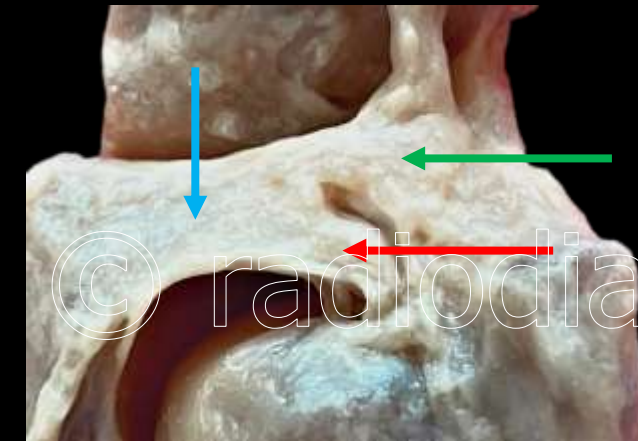
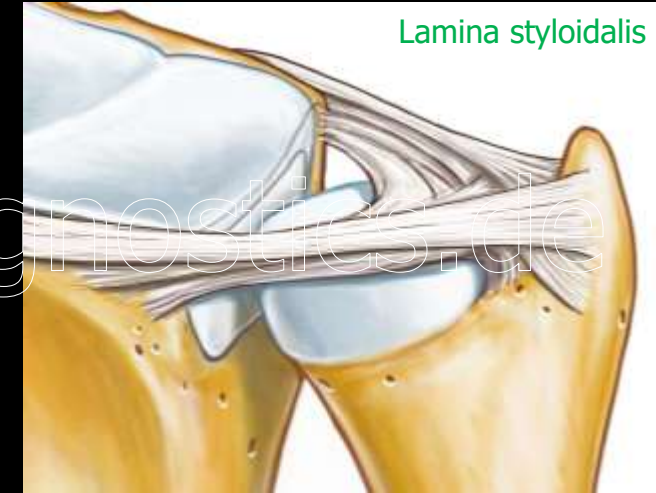
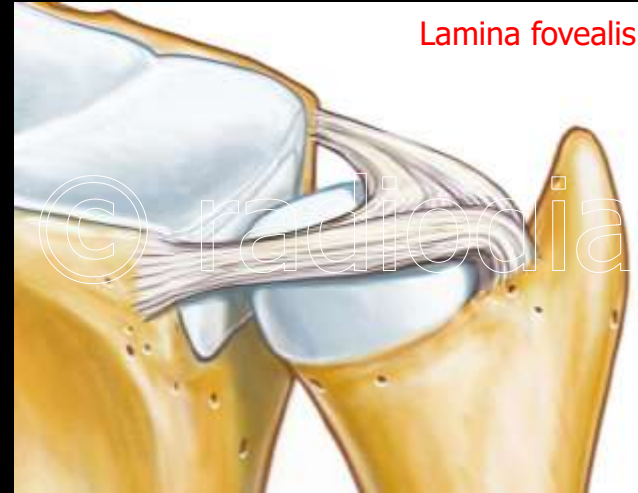


Lamina fovealis



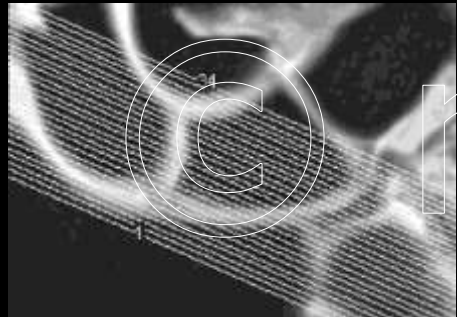
Lamina fovealis

Lamina styloidalis

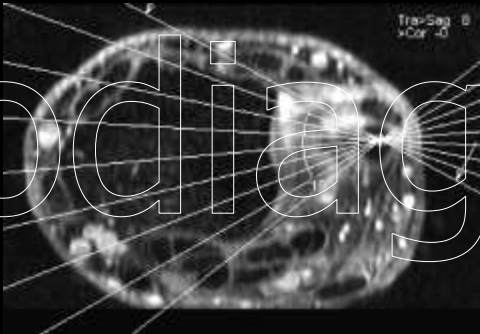


Alternatives Protokoll - Handwurzel koronal

Protokoll	Indikationen an der Handwurzel	PD FSE fs	T1 FSE nativ	PD FSE fs oder T2* GRE	T1 FSE fs nach i. v. Gadolinium	T1 FSE fs nach i. v. Gadolinium	optional
1	Übersicht, Ligament-, TFCC-Veränderungen, Arthritis	koronal	koronal	axial	koronal	sagittal	3-D-DESS ¹



parallel



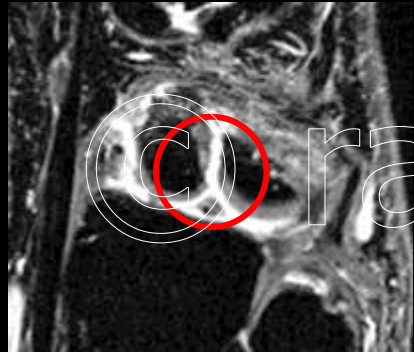
radiär



3D-Datensatz DESS



Rekonstruktion



Skapholunäre Dissoziation

TFCC-Ruptur CUP U3

Fingersehnen - Anatomie und MRT

Akquisition koronal

- VIBE, SPACE, THRIVE, FIESTA
- Partitionsdicke 0.4 mm



MPR sagittal

- anatomiebasiert
- Rekon-Dicke 0.4 – 1,0 mm



Extensorensehnen

- sehr dünn (1 bis 1,5 mm)
- Mittelzügel, 2 Seitenzügel

Flexorensehnen

- komplexe Anatomie
- FDP perforiert FDS

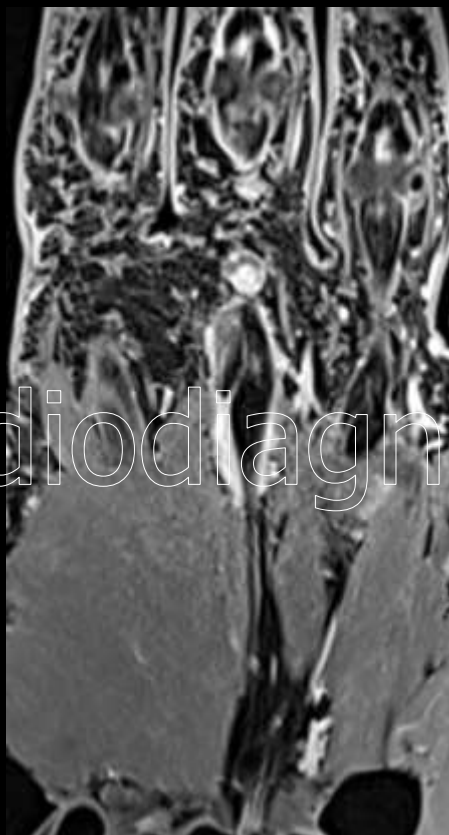


Alternatives Protokoll - Fingersehnen

Protokoll	Indikationen an Fingern und Daumen	PD FSE fs	T1 FSE nativ	PD FSE fs oder T2* GRE	T1 FSE fs nach i.v. Gadolinium	T1 FSE fs nach i.v. Gadolinium	optional
8	Sehnen, palmare Platte ¹	sagittal	sagittal	axial	sagittal	koronal	3-D-VIBE ³

3D-VIBE water-enhanced

- Partitionsdicke 0,4 mm
- Akquisition koronal
- Rekonstruktion sagittal



FDS geteilt, FDP perforiert

Ruptur des radialen FDS-Zügels



Video

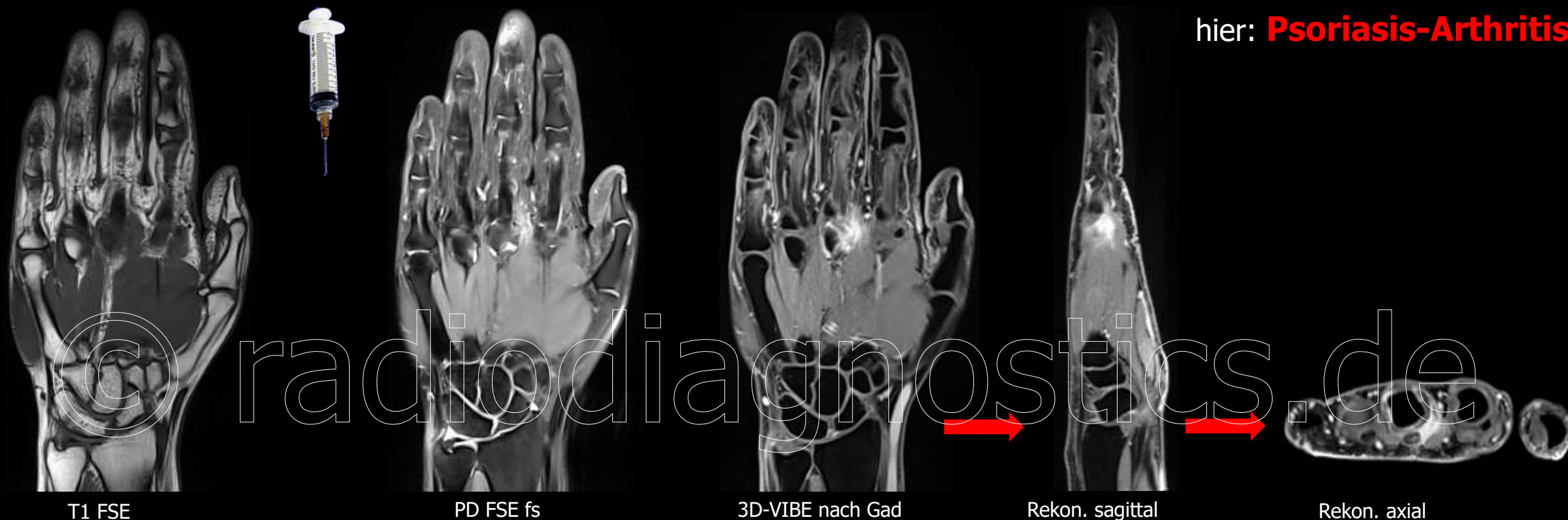
Ruptur des Extensoren-Mittelzügels

Alternatives Protokoll - Ganze Hand

Protokoll	seltene Indikationen	PD FSE fs	T1 FSE nativ	PD FSE fs oder T2* GRE	T1 FSE fs nach i.v. Gadolinium
9	ganze Hand: Arthritis, Synovialitis ¹	koronal	koronal	axial	koronal

Schnellprogramm

- koronal 3D-VIBE nach Gad
- Rekonstruktionen sagittal + axial



Korrelation von Klinik zu MR-Befund

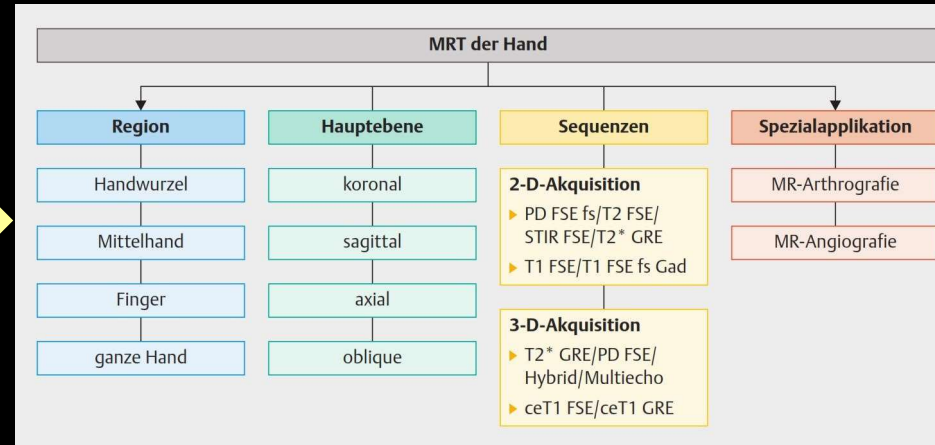
Anatomie-/ MSK-Kenntnis



Klinische Information



Region und Sequenzen



Fokussierte MRT-Protokolle

Protokoll	Indikationen an der Handwurzel	PD FSE fs	T1 FSE nativ	PD FSE fs oder T2* GRE	T1 FSE fs nach i. v. Gadolinium	T1 FSE fs nach i. v. Gadolinium	optional
1	Übersicht, Ligament-, TFCC-Veränderungen, Arthritis	koronal	koronal	axial	koronal	sagittal	3-D-DESS ¹
2	Ganglien, Tumoren, Neuropathien ²	koronal ³	axial	axial ³	axial	sagittal	-
3	Tendopathien ⁴	koronal	axial	sagittal	axial	koronal	3-D-VIBE ⁵
4	Skaphoidfraktur, Skaphoid-pseudarthrose ⁶	koronal	schräg-sagittal	schräg-sagittal	schräg-sagittal	schräg-koronal	-
5	Lunatumnekrose, Impaktation, Intraossäres Ganglion	koronal	koronal	sagittal ⁷	koronal	sagittal	-
6	MR-Arthrografie	koronal	koronal	axial	-	-	3-D-VIBE ⁸

Klinisch korrelierte Befunde



Referenz Radiologie – Hand

Rainer Schmitt
Jan-Peter Grunz

 Online-Version in der eRef

