Ist ein „Handradiologe“ sinnvoll?

Diese Frage, vom Handchirurgen an einen Radiologen gestellt, kann zu 2 kontroversen Thesen führen:

1. Ja, ein „Handradiologe“ ist sinnvoll. Der Radiologe bringt sein fachspezifisches Wissen ein, um es in engem Kontakt mit dem Handchirurgen und mit profunden Kenntnissen der jeweiligen Klinik für eine optimale Diagnostik handchirurgischer Patienten einzusetzen. Dazu muss er bereit sein, sich in die jeweiligen Fragestellungen und Anforderungen aus Sicht der Handchirurgie hineinzu-denken und die relevanten Krankheitsbilder einschließlich ihrer therapeutischen Konsequenzen genau zu kennen.
2. Nein, ein „Handradiologe“ ist nicht sinnvoll. In diesem Fall ist davon auszugehen, dass der Handchirurg alle bildgebenden Methoden in guter Qualität beherrscht und den Radiologen nur als Dienstleister für die Bilderstellung in Anspruch nimmt. Die praktisch relevanten Diagnosen stellt in diesem Fall der Handchirurg allein und kann auch Vor- und Nachteile der einzelnen Techniken richtig bewerten.

Nachfolgend werden die einzelnen bildgebenden Verfahren mit ihrer aktuellen Wertigkeit abgehandelt. Anschließend wird eine Wertung vorgenommen, ob inhaltlich und methodisch der Handchirurg oder der „Handradiologe“ besser geeignet sind, das optimale diagnostische Ergebnis zu erzielen. Dabei wird davon aus-

gegangen, dass auf beiden Seiten ein hohes individuelles Engagement zur Aneignung des jeweiligen Wissensgebiets besteht. Natürlich kann eine solche Einschätzung immer nur von der jeweiligen Einrichtung ausgehen, in der diese Fachgebiete zusammenarbeiten, unter dem Eindruck individuellen Erlebens und entsprechenden Kommunikationen zwischen den Fachgebieten. Eine Verallgemeinerung ist insofern nur unter Berücksichtigung dieser lokalen Gegebenheiten möglich.

Konventionelles Röntgen

Die Anfertigung konventioneller Röntgenaufnahmen ist nach Indikationsstellung durch den behandelnden klinischen Arzt, also den Handchirurgen, primär Aufgabe des medizinisch-technischen Röntgenassistenten (MTRA). Die exakte Durchführung der angeforderten Projektionen im Sinne der Qualitätssicherung ist einerseits primär Aufgabe der MTRA, unterliegt aber andererseits auch der Kontrolle durch den jeweiligen Radiologen, die – je nach Organisationsform – im Sinne der Teilgebetsradiologie auch vom Handchirurgen übernommen werden kann.

Die Einstelltechniken sind in zahlreichen Standardwerken ausführlich beschrieben [2, 15]. Hilfsmittel wie Lagerungsblöcke, Keilkissen, mit Reismehl gefüllte Säcken, Bleibuchstaben für die Kennzeichnung der jeweiligen geröntgten Seite und adäquat konstanzgeprüfte Röntgenanlagen stellen die Basisvoraussetzungen für die Anfertigung qualitativ hochwertiger Röntgenbilder dar. Möglichst genaue Kenntnisse über die Anatomie der Hand

erleichtern im Zusammenspiel mit den MTRA die Entstehung der gewünschten Bilder.

Ebenso wichtig wie die optimale Röntgeneinstelltechnik ist eine exakte Anforderung der gewünschten Aufnahmen durch die klinischen Partner.

Die Beurteilung der konventionellen Röntgenbilder der Hand einschließlich angefertigter Spezialaufnahmen gelingt dem röntgenologisch erfahrenen Handchirurgen in der Regel mindestens genauso gut wie dem Radiologen, wenn nicht besser. Ursächlich ist häufig die genauere Kenntnis des Patienten mit entsprechender klinischer Fokussierung bei der Betrachtung des Röntgenbilds. Die Qualität der Befundung des Radiologen leidet mitunter durch nicht oder unvollständig mitgeteilte klinische Informationen.

Mit Einführung digitaler Röntgentechnik nimmt im Bereich der konventionellen Röntgendiagnostik, dann im Sinne der digitalen Projektionsradiographie, die Bedeutung des Radiologen wieder zu. Mit zunehmender Verbreitung so genannter PACS-Installationen (picture archiving and communication system) wird die zentrale Rolle der Radiologie in der Erstellung, Speicherung, Befundung und Verteilung digitaler Bilder gestärkt. Die Vorteile dieser Technik liegen auf der Hand: Eine Vielzahl digitaler Nachverarbeitungstechniken (Vergrößerungen, Kantenanhebungen, variable Fensterung) erhöht die Qualität der Befundung signifikant (■ Abb. 1) [19]. Der ewige Streit um das Röntgenbild gehört der Vergangenheit an, da alle Bilder jederzeit an mehreren Stellen der Klinik abrufbar sind.

Voraussetzung für die definitive Befundung dieser Bilder sind hoch auflösende Monitore (2 K Matrix) mit einem entsprechenden Kostenaufwand. Häufig befinden sich diese Monitore nur zentral in der Radiologie [1]. Dezentral in den klinischen Abteilungen untergebrachte Bildbetrachtungsstationen erlauben jedoch über entsprechende Zoomtechniken ebenfalls eine adäquate Bildbeurteilung.

Bewertung

- Handchirurg: +++
- Handradiologe: ++

Konventionelle Tomographie, Szintigraphie

Diese Methoden haben in den vergangenen Jahren rasant an Bedeutung verloren. Die konventionelle Tomographie muss inzwischen als weitgehend obsolet eingeschätzt werden, zumal auch die geräte-technischen Voraussetzungen zunehmend kaum noch verfügbar sind.

Für die Skelettszintigraphie ergeben sich aus unserer Sicht nur noch extrem wenige Einzelindikationen, die bei adäquater MRT-Technik problemlos kompensiert werden können.

Handgelenkkinematographie

Die technischen Voraussetzungen für die Durchführung einer qualitativ hochwertigen Kinematographie sind relativ umfangreich und häufig aus organisatorischen und logistischen Gründen innerhalb radiologischer Abteilungen verfügbar. Idealerweise können bei hoher Ortsauflösung bis zu 25 Bilder/s aufgezeichnet werden. Diese hohe Bildfrequenz ist nur mit einer Hochfrequenzkamera, die auf Bildverstärker montiert wird, möglich.

Mit zunehmender Digitalisierung von radiologischen Arbeitsprozessen steht jetzt auch die digitale Radiographie in Form des *DSI-Verfahrens* zur Verfügung (Digital spot Imaging). Der Vorteil liegt in

- einer einfacheren Praktikabilität mit allen Möglichkeiten der Bildnachverarbeitung,
- einer niedrigeren Strahlendosis und

Zusammenfassung · Abstract

Trauma Berufskrankh 2004 · 6 [Suppl 6] : S484–S489
DOI 10.1007/s10039-004-0856-y
© Springer-Verlag 2004

S. Mutze · A. Eisenschenk

Ist ein „Handradiologe“ sinnvoll?

Zusammenfassung

Verletzungen und Erkrankungen der Hand erfordern je nach Ausmaß der Veränderungen eine umfangreiche bildgebende Diagnostik. Das konventionelle Röntgen, idealerweise in Form von digitaler Projektionsradiographie, stellt in jedem Fall die Basisdiagnostik dar. Spezialprojektionen, eine adäquate Bildauswertung mit entsprechenden Winkelmessungen und ständige Qualitätssicherung auf Seiten der MTRA für eine optimale Bilderstellung sind die Voraussetzung für weiterführende bildgebende Methoden. Die Handgelenkkinematographie hilft bei der Aufdeckung und Klassifikation dynamischer Instabilitäten. Ergänzt wird diese mitunter über die invasive Arthrographie, die als 3-Kompartimentarthrographie durchgeführt werden sollte. Zugabe von MRT-Kontrastmittel erhöht die diagnostische Aussage einer ergänzend anwendbaren Magnetresonanztomographie der Hand, insbesondere

mit hoher Aussagekraft zu Veränderungen im Bereich der Handwurzel. Die Computertomographie hat ihre Daseinsberechtigung für die Erfassung von komplexen Fraktursituationen und zur Klassifikation der Skaphoidfraktur. Invasiv angiographisch muss vor allem vor aufwändigen mikrochirurgischen Eingriffen diagnostiziert werden. Die Indikationsstellung für diese komplexen Diagnostikalgorithmien sollte interdisziplinär zwischen spezialisierten Radiologen und Handchirurgen erfolgen. Die Bildauswertung gewinnt ebenfalls an Treffsicherheit in gemeinsamen Konferenzen.

Schlüsselwörter

Bildgebende Diagnostik der Hand · Kinematographie · 3-Kompartiment-Arthrographie · MR-Arthrographie

Is a “hand radiologist” useful?

Abstract

Injuries and diseases of the wrist require extensive diagnostic imaging to determine their extent. Conventional X-ray is the basic method of diagnosis. Special projections and adequate image evaluation with corresponding angle measurements and constant quality assurance are essential for further diagnostic imaging. Wrist cinematography is the method of choice in the case of dynamic instability. Sometimes this is supplemented by invasive arthrography. Contrast-enhanced MRI increases the reliability of diagnosis particularly in the case of changes in the area of the carpus. Computed tomography is important for detecting complex fracture situations and for the classification of scaphoid fractures. Angiography must always be performed

before a microsurgical operation. An interdisciplinary team made up of specialist radiologists and hand surgeons is needed to decide whether this complex algorithm is indicated for the diagnosis, and the evaluation of the images will also benefit from the work of such a team. Radiologists who have specialized in musculoskeletal radiology and have a special interest in the diagnosis of conditions affecting the hand would be an asset in specialized centres.

Keywords

Diagnostic imaging of hand and wrist · Cinematography · Three-compartment arthrography · MR-arthrography

Abb. 1a,b ▲ Rechte Hand, a a.-p.-Röntgenaufnahme in digitaler Projektionsradiographie, b digitale Nachverarbeitung derselben Aufnahme mit Zoom und Kantenanhebung

Abb. 2 ▲ Arthrographie: mediokarpale Injektion mit Nachweis eines Kontrastmittelübertritts durch das lunotriquetrale Band und zusätzlichen Riss im TFCC

- geringeren Kosten.

Allerdings werden Bildfrequenzen von nur noch etwa 8 Bildern/s erreicht.

Ebenfalls einsetzbar sind Angiographieanlagen, die je nach Aufrüstung auch höhere Bildfrequenzen zulassen.

Indikationen zur Kinematographie sind im Wesentlichen

- Symptome der dynamischen Instabilität,
- posttraumatische Bewegungseinschränkungen,
- postoperative Funktionskontrollen und
- unklare Schmerzen am Handgelenk [21].

Das Verfahren wird nach entsprechender Lagerung und Fixierung des Unterarms mindestens in 2 Projektionen durchgeführt, nämlich der Flexions- und Extensionsbewegung sowie der Radial- und Ulnardeviation. Fakultativ können Faustschlussaufnahmen und Schrägprojektionen ergänzt werden [3, 15].

Sofern der Handchirurg über das entsprechende technische Equipment verfügt, ist er wiederum aufgrund der besseren klinischen Kenntnisse auch aus dem vorangegangenen Untersuchungsablauf in der Methode überlegen. Der „Handradiologe“ muss sich sehr exakt in die klinischen Fragestellungen einarbeiten, und ebenfalls in der Lage sein, klinisch zu un-

tersuchen, wenn er eine adäquate Diagnose aus den ihm unmittelbar zur Verfügung stehenden gerätetechnischen Möglichkeiten stellen will.

Bewertung

- Handchirurg: +++
- Handradiologe: ++

Mehrkompartmentarthrographie

Voraussetzungen für eine qualitativ hochwertige Mehrkompartmentarthrographie sind einerseits eine gute Gerätetechnik, idealerweise in Form einer digitalen Subtraktionsangiographie, andererseits Kenntnisse und Erfahrungen über die exakte technische Durchführung bei minimaler Belastung des Patienten und Berücksichtigung entsprechender steriler Kautelen [4, 10, 15]. Sowohl Handchirurg als auch Radiologe sind bei entsprechender Einarbeitung in die technische Durchführung in der Lage, hochwertige Arthrogramme zu erzielen. Die Methode eignet sich hervorragend zur Darstellung von Defekten der Ligamente, des TFCC und der Gelenkkapsel, jedoch nur bei Punktion des mediokarpalen und radiokarpalen Gelenks sowie abschließend des distalen Radioulnargelenks (■ Abb. 2) [9]. Der Vorteil der digitalen Subtraktionsangiographie besteht in der unmittelbar zeitlich zusammenhängenden Durchführbarkeit in einem kurzen Zeitraum, da die Subtrak-

tionstechnik Überlagerungen vermeiden hilft. Bestehen klinisch die Beschwerden eher radial, sollte das mediokarpale Kompartiment ulnar zwischen Os lunatum, triquetrum, capitatum und hamatum punktiert werden, während sich bei ulnarseitiger Symptomatik der mediokarpale Zugang zwischen Skaphoid und Capitatum empfiehlt. Erfahrungsgemäß ist insbesondere bei komplexen Fragestellungen bei unklarer Handgelenksymptomatik die Zugabe von MRT-Kontrastmitteln in starker Verdünnung empfehlenswert, da im Anschluss an die konventionelle Arthrographie die MR-Arthrographie wichtige Zusatzinformationen liefern kann.

Auch diese Technik kann bei entsprechender Einarbeitung sowohl von Handchirurgen als auch Radiologen durchgeführt werden. Die Verwendung digitaler Subtraktionsangiographieanlagen und die Kombination mit nachfolgender MRT-Untersuchung lässt, zumindest bezogen auf die Logistik, eine Durchführung in der Radiologie effektiver erscheinen. Die Interpretation der Arthrographie ist für beide Fachdisziplinen nach entsprechender Einarbeitung gut möglich. Im Einzelfall wird der Handchirurg durch die bessere klinische Kenntnis und vorangegangene Untersuchungen im Vorteil sein.

Bewertung

- Handchirurg: +++
- Handradiologe: ++

Angiographie

Die arterielle Angiographie stellt überwiegend eine Domäne der Radiologie dar. Moderne Angiographieranlagen als digitale Subtraktionsangiographie sind in den radiologischen Einrichtungen installiert und mit dem umfangreichen Equipment in Form von Kathetern, Schleusen, Führungsdrähten und entsprechend ausgebildetem Personal dort auch effektiv einsetzbar (■ Abb. 3).

Nach gemeinsamer Indikationsstellung durch Handchirurg und Radiologen wird der Patient rechtzeitig über die Art der invasiven Diagnostik aufgeklärt. Der Zugangsweg kann transfemorale oder transbrachiale sein. Die wichtigsten Indikationen zu dieser Untersuchung sind

- akute und chronische Durchblutungsstörungen,
- traumatische Gefäßläsionen und
- präoperative Bildgebung bei Handmissbildungen bzw. aufwändigen rekonstruktiven Eingriffen [7, 15].
- Seltener Indikationen sind Weichteiltumoren [13].

Je nach Anforderung des zuweisenden Handchirurgen können Untersuchungen in Narkose mit maximaler Gefäßdilatation oder Pharmakoangiographien notwendig sein, um Gefäßspasmen als Reaktion auf das Röntgenkontrastmittel auszuschließen und eine exakte Gefäßdarstellung bis in die feinsten Verzweigungen zu erhalten. Idealerweise werden als Kontrastmittel dimere isoosmolare Substanzen verwendet, die das Endothel so gering wie möglich reizen [20]. Lange Angiographieserien zeigen bei intraarterieller Injektion auch in ausreichender Qualität das venöse System. In Einzelfällen kann eine zusätzliche Phlebographie nach venöser Direktpunktion erforderlich werden.

Gerätetechnische Voraussetzungen, Erfahrungen in der Katheterangiographie und die Kenntnisse über aktuelle Materialentwicklungen lassen den Radiologen bei dieser Methode in den Vordergrund treten. In Einzelfällen kann intraoperativ eine Angiographie erforderlich werden.

Abb. 3 ◀ Selektive arterielle Angiographie der Handgefäße in Subtraktionstechnik

Abb. 4a, b ◀ Spiral-CT der Handwurzel mit 1,5 mm Schichtdicke in sagittaler Reformatierung und Darstellung einer Fraktur des Hamulus ossis hamati (a), axialer CT-Schnitt mit Lagekontrolle der osteosynthetischen Versorgung der Fraktur (b)

Bewertung

- Handchirurg: +
- Handradiologe: +++

Computertomographie

Sie ermöglicht die überlagerungsfreie Abbildung insbesondere der knöchernen Strukturen der Hand in Form von Schnittbildern. Computertomographen sind ausschließlich in radiologischen Abteilungen

integriert und werden von MTRA unter Aufsicht und Qualitätssicherung von Radiologen bedient.

Wesentliche Voraussetzung für die Erzeugung optimaler Bilder ist die exakte Lagerung der Patienten mit entsprechender Schnittführung. Hauptindikationen sind Frakturen des distalen Radius und der Handwurzel, insbesondere Skaphoidfrakturen. Pathologische Veränderungen von Weichteilstrukturen können nur eingeschränkt dargestellt werden [12, 15].

Abb. 5 ▲ MRT der Handwurzel, TSE, T1-W, fettgesättigt koronal nach direkter Arthrographie mit Darstellung eines Risses im TFCC

Die Computertomographie hat in den letzten Jahren durch die Einführung von Spiral-CT-Geräten, jetzt auch in Form von Mehrzeilentechnik, eine wesentliche Weiterentwicklung erfahren (■ Abb. 4). Bei axialer Schichtung können mit entsprechender Untersuchungstechnik andere Ebenen nachrekonstruiert werden. Insbesondere mit der Einführung der Mehrzeilenspiral-CT ist die Bildqualität sekundär errechneter Schichten aus dem Originaldatensatz nur mit einem geringen Qualitätsverlust verbunden. Trotzdem ist insbesondere für die häufige Frage der Skaphoidfrakturen eine Scanebene in Richtung der Längsachse des Skaphoids vorzuziehen.

Die CT-Arthrographie mit Röntgenkontrastmittel ist nach unseren Erfahrungen der MR-Arthrographie deutlich unterlegen.

Bewertung

- Handchirurg: +
- Handradiologe: +++

Magnetresonanztomographie

Auch diese Technik ist nahezu ausschließlich in radiologischen Abteilungen angesiedelt. Für die Diagnostik der Hand und ihrer Verletzungen ist einem Hochfeldgerät gegenüber den Niedrigfeldgeräten deutlich der Vorzug zu geben. Das bessere Signal-Rausch-Verhältnis und die höhere Ortsauflösung sind für eine subtile

Diagnostik von Erkrankungen, insbesondere im Bereich der Handwurzel, von großer Bedeutung (■ Abb. 5) [16]. Die Magnetresonanztomographie ist eines der innovativsten Verfahren, das bildgebend innerhalb der Radiologie zur Verfügung steht [17]. Es besteht eine sehr dynamische Entwicklung von Pulssequenzen, Spulentechnologien und Kontrastmittelanwendung, was regelmäßige Weiterbildung und Studium der radiologischen Literatur voraussetzt [5, 23]. Eine adäquate Untersuchungsführung mit dem gezielten Einsatz von Kontrastmitteln lässt das MRT, auch unter Einschluss der direkten Arthrographie, zu einer Herausforderung für den radiologischen MRT-Diagnostiker werden [8]. Die wesentlichen Indikationen sind

- ligamentäre Läsionen,
- avaskuläre Knochennekrosen,
- Entzündungen,
- Weichteiltumoren und
- verschiedene Arthritiden.

Während für die meisten der genannten Indikationen eine i. v. Kontrastmittelgabe die diagnostische Aussage erhöht, kann die Aussagekraft hinsichtlich der karpalen Ligamente und des ulnokarpalen Komplexes durch eine direkte MR-Arthrographie erheblich gesteigert werden [11, 14, 18, 22]. Die Wahl der jeweiligen Schnittebenen und die Anwendung verschiedener Pulssequenzen, einschließlich fettgesättigter Techniken, müssen je nach Fragestellung vom Radiologen exakt ausgewählt werden. Prinzipiell gilt, dass für alle Weichteilfragestellungen und knöchernen Veränderungen mit Ödemen das MRT das sensitivste Schnittbildverfahren ist, während für die rein knöchernen Veränderungen mitunter ein ergänzendes CT die Diagnose besser stellen hilft.

Bewertung

- Handchirurg: +
- Handradiologe: +++

Sonographie

Die Ultraschalldiagnostik stellt in der Hand des Erfahrenen eine wertvolle Erweiterung des bildgebenden Spektrums

für Erkrankungen der Hand dar [6]. Hauptindikationen bestehen in

- der Beurteilung des Karpaltunnelsyndroms,
- der Ausdehnung und Charakterisierung von Weichteiltumoren,
- der Erkennung von Gelenkergüssen bei entzündlichen Erkrankungen und
- der Abbildung von Sehnenscheidenpathologien.

Voraussetzung dafür ist die Verwendung hochfrequenter Schallköpfe, z. T. in Kombination mit Wasservorlaufstrecken. Methodisch bedingt können knöchernen Strukturen nur unzureichend beurteilt werden. Neben dem Vorteil der fehlenden Strahlenexposition eignet sich die Methode unmittelbar im Zusammenhang mit der klinischen Untersuchung zur Bestätigung einzelner Diagnosen. Somit ist das Verfahren am ehesten beim Handchirurgen anzusiedeln.

Bewertung

- Handchirurg: +++
- Handradiologe: +

Fazit

Da der Erstautor Radiologe ist, mag die Beantwortung der Frage „Ist ein Handradiologe sinnvoll?“ mit einem deutlichen „Ja“ nicht verwundern. Diese Aussage gilt jedoch nicht uneingeschränkt. Voraussetzung für eine qualitativ hochwertige handradiologische Diagnostik ist eine sehr enge Kooperation zwischen Handchirurg und „Handradiologen“. Wenn ein Radiologe den Anspruch erhebt, „Handradiologe“ zu sein, muss er sich explizit in die klinischen handchirurgischen Fragestellungen einarbeiten und den unmittelbaren Kontakt zu diesem Fachgebiet suchen. Regelmäßige Besprechungen von Indikationen und Untersuchungsergebnissen sind ebenso notwendig wie Besuche im Operationssaal und systematische Auswertungen von Untersuchungsergebnissen und Strategien. Radiologie ist unter heutigen, auch ökonomischen Bedingungen, eine Dienstleistungsdisziplin, die allerdings in dieser Form auch ernst ge-

nommen werden muss, indem ihr alle wesentlichen anamnestischen und klinischen Informationen zur Verfügung gestellt werden. Aus der eigenen Erfahrung heraus kann festgestellt werden, dass bei Einhaltung dieser Voraussetzungen eine außerordentlich fruchtbare Zusammenarbeit entsteht, die nicht in einer diagnostischen Konkurrenzsituation mündet, sondern die jeweiligen spezifischen Kenntnisse des einen Fachgebiets in das andere einmünden lässt – zum Wohl der gemeinsamen Patienten und einer effektiven und optimalen Diagnostik der Erkrankungen der Hand.

Korrespondierender Autor

Priv.-Doz.Dr. S. Mutze

Institut für Radiologie, Unfallkrankenhaus Berlin,
Warener Straße 7, 12683 Berlin,
E-mail: sven.mutze@ukb.de

Interessenkonflikt: Der korrespondierende Autor versichert, dass keine Verbindungen mit einer Firma, deren Produkt in dem Artikel genannt ist, oder einer Firma, die ein Konkurrenzprodukt vertreibt, bestehen.

Literatur

- Ackermann S, Gitlin J, Gayler R et al. (1993) Receiver operating characteristic analysis of fracture and pneumonia detection: comparison of laser-digitized workstation images and conventional analog radiographs. *Radiology* 186: 263–268
- Bohndorf K, Imhof H (1998) Radiologische Diagnostik der Knochen und Gelenke. Thieme, Stuttgart New York, S 88–96
- Bond JR, Berquist TH (1991) Radiologic evaluation of hand and wrist motion. *Hand Clin* 7: 113–123
- Conway WF, Hayes CW (1989) Three-compartment wrist arthrography: use of low-iodine-concentration contrast agent to decrease study time. *Radiology* 173: 569–570
- Dalinka MK (1995) MR imaging of the wrist. *AJR Am J Roentgenol* 164: 1–9
- Fornage BD, Schernberg FL, Rifkin MD (1985) Ultrasound examination of the hand. *Radiology* 155: 785–788
- Harder T, Lackner K, Franken T (1983) Digitale Subtraktionsangiographie (DSA) der oberen Extremität. *Fortschr Röntgenstr* 139: 609–615
- Klein HM, Vrsalovic V, Balas R et al. (2002) Imaging diagnostics of the wrist: MRI and arthrography/arthro-CT. *Fortschr Röntgenstr* 174: 177–182
- Levinsohn EM, Rosen ID, Palmer AK (1991) Wrist arthrography: value of the three-compartment injection method. *Radiology* 179: 231–239
- Manaster BJ (1991) The clinical efficacy of triple-injection wrist arthrography. *Radiology* 178: 267–270
- Palmer AK (1989) Triangular fibrocartilage lesions: a classification. *J Hand Surg [Am]* 14-A: 594–606
- Preißer P, Buck-Gramcko D (1992) Computertomographie der Hand in hochauflösender Technik. *Handchir Mikrochir Plast Chir* 24: 136–144
- Rosenthal H, Majewski A, Wagner HH (1987) Handarteriographie. Chirurgische Indikationen und Ergebnisse. *Fortschr Röntgenstr* 146: 51–57
- Scheck RJ, Romagnola A, Hierner R et al. (1999) The carpal ligaments in MR arthrography of the wrist: correlation with standard MRI and wrist arthroscopy. *J Magn Reson Imaging* 9: 468–474
- Schmitt R, Lanz U (1996) Bildgebende Diagnostik der Hand. Hippokrates, Stuttgart
- Stäbler A, Spieker A, Bonel H et al. (2000) Magnetresonanztomographie des Handgelenkes – Vergleich hochauflösender Pulssequenzen und unterschiedlicher Fettsignalunterdrückungen an Leichenpräparaten. *Fortschr Röntgenstr* 172: 168–174
- Stoller DW (1997) The wrist and hand. In: Stoller DW (ed) *Magnetic resonance imaging in orthopaedics & sports medicine*, 2nd edn. Lippincott-Raven, Philadelphia New York, pp 851–993
- Totterman SM, Miller RJ (1995) Triangular fibrocartilage complex: normal appearance of coronal three-dimensional gradient-recalled-echo MR images. *Radiology* 195: 521–527
- Ueba Y, Hata K, Tsuji T et al. (1998) Computed radiography (Fuji) as a diagnostic tool for carpal disease. *J Hand Surg [Am]* 14-A: 408–410
- Viehweger G, Plötz J (1974) Vergleichende angiographische Untersuchungen in Lokal-, Regional- und Allgemeinanästhesie an der oberen Extremität. *Fortschr Röntgenstr* 121: 303–310
- Youm Y, McMurtry RY, Flatt AE et al. (1978) Kinematics of the wrist. An experimental study of radial-ulnar deviation and flexion-extension. *J Bone Joint Surg Am* 60 A: 423–431
- Zanetti M, Bräm J, Hodler J (1997) Triangular fibrocartilage and intercarpal ligaments of the wrist: does MR arthrography improve standard MRI? *Magn Reson Imaging* 7: 590–594
- Zanetti M, Hodler J, Gilula LA (1998) Assessment of dorsal or ventral intercalated segment instability configurations of the wrist: reliability of sagittal MR images. *Radiology* 206: 339–345