

AWMF Leitlinie (S1) Ganzkörpermagnetresonanztomografie im Kindes- und Jugendalter

Jürgen Frank Schäfer^{1,2}, Daniel Berthold^{3,1}, Gabriele Hahn^{4,1}, Thekla von Kalle^{5,1}, Jörg Moritz^{6,1}, Cornelia Schröder^{7,1}, Marc Steinborn^{8,1}, Jürgen Weidemann^{9,1}, Rainer Wunsch^{10,1} und Hans-Joachim Mentzel^{11,1}

¹ Leitlinienkommission der Gesellschaft für Pädiatrische Radiologie

² Bereich pädiatrische Radiologie, Abt. diagnostische und interventionelle Radiologie, Universitätsklinikum Tübingen, Hoppe-Seyley-Straße 3, 72076 Tübingen

³ Sektion Kinderradiologie, Diagnostische und Interventionelle Radiologie und Kinderradiologie, Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH, Feulgenstraße 10-12, 35392 Gießen

⁴ Bereich Kinderradiologie, Institut und Poliklinik für Diagnostische und Interventionelle Radiologie, Universitätsklinikum Carl Gustav Carus an der TU Dresden, Fetscherstrasse 74, 01307 Dresden

⁵ Kinderradiologie, Radiologisches Institut, Olgahospital, Klinikum Stuttgart, Kriegsbergstraße 62, 70174 Stuttgart

⁶ Kinderradiologie, Klinik für Radiologie und Neuroradiologie, Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel, Haus C, Arnold-Heller Str. 3, 24105 Kiel

⁷ Förderradiologicum, Standort Lubinus, Steenbeker Weg 25, 24106 Kiel

⁸ Institut für Diagnostische und Interventionelle Radiologie und Kinderradiologie, München Kliniken, Klinikum Schwabing, Kölner Platz 1, 80804 München

⁹ Kinderradiologie, Kinder- und Jugendkrankenhaus Auf der Bult, Janusz-Korczak-Allee 12, 30173 Hannover

¹⁰ MVZ blick Radiologie - Kinderradiologie am Marienhospital Witten, Marienplatz 2, 58455 Witten

¹¹ Sektion Kinderradiologie, Institut für Diagnostische und Interventionelle Radiologie, Universitätsklinikum Jena, Am Klinikum 1, 07747 Jena

1. Einleitung

Die Ganzkörpermagnetresonanztomografie (GK-MRT) ist eine bildgebende Methode, welche unter Nutzung fortgeschrittener Verfahren moderner MRT-Geräte eine hochaufgelöste Darstellung des gesamten Körpers ermöglicht (1-5). Prinzipiell unterscheiden sich unter diesen Voraussetzungen weder Bildqualität noch Bildkontrast von Teilkörperuntersuchungen an Kopf und Körperstamm, wenn alters- und indikationsadaptierte Protokolle zusätzlich angewendet werden (1, 3-7). Einbußen in der Ortsauflösung im Bereich von peripheren Gelenken sind allerdings zu beachten. Eine GK-MR-Angiografie ist möglich (8). Eine GK-MRT ist sowohl bei einer Feldstärke von 1,5 als auch von 3 Tesla durchführbar (9). Die Untersuchungsdauer ist abhängig von der Anzahl der gewählten Bildkontraste sowie weiterer geräte- und messprotokollabhängiger Parameter und kann daher stark variieren. Insbesondere bei Kindern und Jugendlichen ist eine Anpassung des Protokolls an die Fragestellung zur Begrenzung der Untersuchungszeit erforderlich.

Bekanntermaßen ist die MRT bei soliden Tumoren im Kindes- und Jugendalter Methode der Wahl zur Beurteilung des Lokalbefundes. Sie wird aber zunehmend auch als GK-MRT im Rahmen der systemischen Ausbreitungsdiagnostik durchgeführt (3, 6, 7, 10-33). Insbesondere die osteomedullären Metastasen stehen hierbei im Fokus (22, 23, 26, 32, 34-37). Bei hereditären Syndromen mit erhöhter Tumorfrequenz wird die GK-MRT im Rahmen des Screenings zukünftig eine noch größere Rolle spielen (38-46). Neben den malignen soliden Tumoren bedürfen eine Reihe nicht maligner Erkrankungen z.B. aus dem rheumatischen Formenkreis einer systemischen Ausbreitungsdiagnostik mittels bildgebender Verfahren. Ziel ist es, mittels GK-MRT eine Differenzierung zwischen lokal begrenzter und fortgeschrittener systemischer Erkrankung sowie unter Umständen eine Detektion bisher klinisch stummer Regionen zu erreichen (47-56). Auch die Suche nach einem entzündlichen Fokus ist eine Indikation für die GK-MRT (57).

Die GK-MRT konkurriert mit anderen Verfahren der radiologischen Diagnostik, insbesondere mit der Computertomografie (CT), der Positronenemissionstomografie in Kombination mit der CT (PET/CT) oder MRT (PET/MRT) und der Szintigrafie, die alle mit einer relevanten Strahlenexposition einhergehen können. Generell gilt daher, dass die GK-MRT immer dann zur Anwendung kommen kann, wenn sich bei zumindest gleicher radiologischer Aussagekraft eines der genannten Verfahren einsparen lässt oder wenn die GK-MRT komplementäre Informationen liefert (7, 12, 14-17, 19, 20, 23, 27, 32, 35-37, 43, 47, 48, 50, 51, 53-56, 58-68).

In den letzten beiden Jahrzehnten wurde die diagnostische Genauigkeit der GK-MRT verschiedener pädiatrischer Erkrankungen in erster Linie im Vergleich zu anderen bildgebenden Verfahren untersucht und die Überlegenheit gegenüber konventionellen bildgebenden Methoden außerhalb der Lungenbildgebung gezeigt (15, 27, 32, 35, 36, 52, 54, 55, 64). Aufgrund des Mangels an großen prospektiven und randomisierten Studien liegt für die GK-MRT jedoch kein hoher Evidenzgrad vor.

Aus Sicht der Leitlinienkommission kann aufgrund der hohen Sensitivität der Methode die Gefahr einer Überdiagnostik insbesondere im Umgang mit Zufallsbefunden oder vermeintlichen Pathologien bestehen, wenn die Befunderstellung ohne ausreichende Erfahrung in der pädiatrischen Radiologie erfolgt. Da die GK-MRT in allen Altersstufen sinnvoll eingesetzt werden kann, sind umfangreiche Kenntnisse zur normalen Reifung der Organsysteme eine wesentliche Voraussetzung für eine optimale Befundqualität und Bewertung der erhobenen Befunde.

Ziel dieser Leitlinie ist es, Indikationen zu benennen, bei denen die GK-MRT im Kindes- und Jugendalter empfohlen werden kann, und dafür notwendige, technische Voraussetzungen zu beschreiben.

2. Schlüsselempfehlungen

	Votum	Verhältnis
Mit der Ganzkörper-Magnetresonanztomografie (GK-MRT) kann die Ausbreitung von systemischen malignen und nicht malignen Erkrankungen im Kindes- und Jugendalter untersucht werden.	Ja	10/10
Für eine klinisch verwertbare diagnostische Aussage der Methode sollten alters- und indikationsadaptierte Protokolle gewählt werden und die Befunderstellung durch in der pädiatrischen Radiologie erfahrene Untersucher erfolgen.	Ja	10/10
Zusätzliche Untersuchungen mittels anderer bildgebender Verfahren können indiziert sein.	Ja	10/10

3. Erläuterungen

3.1. Indikationen

Tabelle 1. Indikationen für eine GK-MRT

Diagnose	Fragestellung
Maligne Tumore	Staging, Tumorausbreitung, Restaging und Follow-up
Langerhans Cell Histiocytose (LCH)	Ausbreitungsdiagnostik, Unifokal vs. Multifokal, Therapiemonitoring
Avaskuläre Osteonekrose (AVN)	Ausmaß und Schweregrad, Detektion von asymptomatischen Befunden
Chronisch nicht bakterielle Osteomyelitis (CNO/NBO/CRMO)	Unifokal vs. multifokal, „silent lesion“, Therapiemonitoring
Juvenile idiopathische Arthritis (JIA)	Unifokal vs. multifokal, „silent lesion“, Therapiemonitoring
Fiebersyndrome	Fokus, Ausmaß der Veränderungen, Tumorausschluss
Tumorprädispositionssyndrome (TPS)	Tumor-Screening
Nicht akzidentielle Verletzung, non accidental injury (NAI)	Kein Standard; ergänzend zur Beurteilung des Ausmaßes der Verletzungen, insbesondere Weichteile und Organbeteiligung (siehe AWMF Leitlinie S3 + Kinderschutz 027-069)

3.1.1 Maligne Tumore

Aufgrund der bisherigen Datenlage ergeben sich für eine Reihe von malignen Tumoren Indikationen für eine GK-MRT, die die weitere Bildgebung komplett ersetzen, einsparen oder ergänzen können. Die GK-MRT als Instrument zur Ausbreitungsdiagnostik ist bislang in Therapiestudien der onkologischen nationalen und internationalen Fachgesellschaften (GPOH, SIOP) in der Regel nicht vorgesehen. In den AWMF Empfehlungen zum Neuroblastom ist die GK-MRT optional vorgesehen (025/008). Es ist jedoch anzunehmen, dass die GK-MRT mit der Weiterentwicklung der Protokolle zukünftig noch mehr Berücksichtigung finden wird. Die Indikationen können dennoch auch jetzt schon an die vorhandenen Studienprotokolle adaptiert werden und die GK-MRT komplementär durchgeführt werden.

Für das **Hodgkin Lymphom (HL)** ist die 18F-FDG-PET/CT sowohl im nodalen und extranodalen Staging als auch in der Therapiekontrolle vorgesehen. Die GK-MRT kann in dieser Phase ergänzend durchgeführt werden, insbesondere wenn im Rahmen der PET/CT keine diagnostische CT erfolgte (27). Die Bedeutung der Diffusionsbildgebung (DWI) im Rahmen der Responsebeurteilung ist noch Gegenstand der Forschung. Eine Multizenterstudie aus dem Jahre 2021 bei 68 pädiatrischen Patienten ergab eine hohe Konkordanz zwischen PET/CT und GK-MRT unter Einschluss der DWI für das initiale Staging (69). Darüber hinaus ist die Verringerung der Diffusionsrestriktion als Hinweis auf ein Therapieansprechen zu werten (28, 33). Allgemeingültige Kriterien zur Beurteilung einer kompletten Remission oder auch Schwellenwerte für den apparent diffusion coefficient (ADC) gibt es noch nicht. Darüber hinaus scheint das Ausmaß der Diffusionsrestriktion in der Interimskontrolle prognostische Bedeutung zu haben (28) und kennzeichnet die residuelle Tumorlast mit sehr hoher Sensitivität (33). Für die weitere Verlaufskontrolle nach abgeschlossener Therapie mit der Frage nach Rezidiv und zur Überwachung von therapieassoziierten Komplikationen (z.B. Osteonekrosen) kann die GK-MRT umfassend Aufschluss geben und daher empfohlen werden (58).

Wenn kein PET/CT durchgeführt wird, stellt das **Non-Hodgkin Lymphom (NHL)** grundsätzlich eine Indikation für die GK-MRT dar, insbesondere wenn höhere Stadien (Ann-Arbor Klassifikation >2) oder eine primär extranodale Manifestation (z.B. Knochen) oder eine ZNS – Beteiligung verdächtig werden (11-13, 18, 31, 33, 70). Die Diffusionsrestriktion scheint beim aggressiven NHL stärker ausgeprägt zu sein als beim HL (71). Für das großzellige B-Zell Lymphom konnte gezeigt werden, dass das Risiko für einen Tumorprogress oder für ein Rezidiv signifikant höher ist, wenn das MRT einen Knochenmarkbefall aufdeckt und dabei die ungezielte Biopsie negativ bleibt (14). Für die posttherapeutische Phase gelten im Übrigen die gleichen Empfehlungen wie für das HL.

Bei **Weichteilsarkomen** (z.B. Rhabdomyosarkome) sowie **Osteo- und Ewing-Sarkomen** existiert in vielen Fällen bereits eine lokale Schnittbildgebung des Tumors. Ist das nicht der Fall, kann die GK-MRT um die lokale MR-Bildgebung mit ergänzenden Sequenzen und Untersuchungsebenen entsprechend der GPOH-Studien-Vorgaben vervollständigt werden (7, 24). Großer Vorteil der Methode ist, dass bei metastasierten Tumoren in einer einzigen Untersuchung das Ansprechen auf die neoadjuvante Behandlung und der Primärtumor vor lokaler Behandlung erfasst werden können. Für das metastasierte Ewing-Sarkom konnte in einer retrospektiven Auswertung gezeigt werden, dass die konsequente Bestrahlung aller primär mit der GK-MRT erfassten osteomedullären Metastasen ein signifikant höheres Überleben gegenüber einem vergleichbaren Kollektiv sichert (22). Während der Knochen- bzw. Knochenmarkbefall im Vergleich zur Knochenszintigrafie in den meisten Studien mit höherer Treffsicherheit (23, 26, 36, 37, 72) und Weichteilbefunde sowie Hirnmetastasen mit hoher Genauigkeit beurteilt werden können (20, 35), bleibt die Detektion von Lungenmetastasen mittels MRT

umstritten (35). Daher muss die Indikation zur CT des Thorax in Abhängigkeit von der Tumorentität und Behandlungssituation großzügig gestellt werden.

Von den embryonalen Tumoren gibt es für das **Neuroblastom** eine gewisse Evidenz zur Diagnostik mittels GK-MRT (10, 15, 20, 21, 32, 73). Je nach Risikogruppe (niedrig, intermediär, hoch) und Stadium (INSS, International Neuroblastoma Staging System) ist die GK-MRT hilfreich und in jeder Phase der Erkrankung indiziert. Niedrige Stadien (lokal begrenztes Tumorwachstum) und fehlende chromosomale Aberrationen (Amplifikation des MYCN Onkogens oder Deletionen des kurzen Armes von Chromosom 1) stellen in der Regel keine Indikation dar. Die GK-MRT ist additiv und/oder komplementär zur ¹²³I MIBG (Metaiodobenzylguanidin) Szintigrafie zu sehen und ersetzt dabei die zusätzlich notwendige Skelettszintigrafie (21, 32). Darüber hinaus wurde für GK-MRT mit Anwendung der DWI - bei generell guter Übereinstimmung mit der ¹²³I MIBG - ein etwas höherer SIOPEN-Score erreicht (74), welcher für die Prognose bei ossären Metastasen von hoher Relevanz ist (75). Prätherapeutisch kann die lokale Tumorausdehnung hinsichtlich der IDRFs (image-defined risk factors) des INGRSS (International Neuroblastoma Risk Group Staging System) bei angepasstem Untersuchungsprotokoll beurteilt werden. Insbesondere eignet sich die GK-MRT für Multikompartiment-Ausdehnung und die Detektion von Metastasen (6, 20). Die aktuellen Studien zeigen, dass es einen Zusammenhang zwischen der Abnahme der Diffusionsrestriktion und dem Therapieansprechen gibt (74, 76, 77). Bei okkulten Tumoren im Rahmen eines Opsoklonus-Myoklonus-Syndroms (OMS) kann die ¹²³I MIBG (Metaiodobenzylguanidin) Szintigrafie in bis zu 57% der Fälle negativ sein, wenn ein Ganglioneurom vorliegt (78). Daher ist die GK-MRT als Suchmethode zu favorisieren, nicht zuletzt auch wegen der fehlenden Strahlenexposition (10, 79).

3.1.2 Langerhans-Zell-Histiozytose (LCH)

Der multifokale und/oder multisystemische Herdnachweis hat für Therapie und Verlaufskontrollen erhebliche Konsequenzen. Die GK-MRT ist sensitiver für eine Knochenmarkinfiltration als die röntgenbasierten Verfahren oder die Skelettszintigrafie und die 18-F-FDG-PET (52, 55, 56). Aufgrund des primären Befalls des Knochenmarks sowie einer in der Regel raschen Osteodestruktion lässt sich die reduzierte Sensitivität der Szintigrafie erklären. Generell kann die GK-MRT aufgrund der simultanen Erfassung der extraskelletalen Manifestationen einschließlich des ZNS-Befalls beim primären Staging vorteilhaft sein (52, 56). Die mögliche geringere Spezifität der MRT sollte in Abhängigkeit methodischer Aspekte bei der Beurteilung der Ausbreitung und des Therapieansprechens bedacht werden (52), auch um eine unnötige bzw. zu extensive Behandlung zu vermeiden. Die größte aktuelle Studie konnte bei 46 Patienten im Vergleich zur Standardbildgebung mit Röntgen und Szintigraphie bei besserer Sensitivität keine erhöhte Rate von falsch positiven Befunden finden (80).

3.1.3 Avaskuläre Osteonekrose (AVN)

Unter Steroidtherapie oder in Kombination mit einer Hochdosischemotherapie finden sich mehr avaskuläre Nekrosen als klinisch vermutet (58, 81, 82). Die konventionelle Bildgebung ist in frühen Stadien negativ (58, 81, 82). Der Schweregrad und die Lokalisation (z.B. subchondral) sind wichtige Kriterien für die Entscheidung zu einer notwendigen operativen Therapie (58, 81, 82). Bei entsprechender Risikokonstellation ergibt sich daher eine Indikation zur GK-MRT um rechtzeitig, auch bei asymptomatischen Patienten besonders die epiphysären/subchondralen Läsionen zu detektieren (58).

3.1.4 Chronische nicht bakterielle Osteomyelitis (CNO)

Die GK-MRT kann mit hoher Sensitivität neben den symptomatischen auch die klinisch stummen Manifestationen z.B. an der Wirbelsäule in einer Untersuchung feststellen und beschleunigt so die Diagnose der Multifokalität aufgrund typischer Befunde (53, 62). Hierbei werden bis zu 45% mehr Herde detektiert als bei der klinischen Untersuchung (47, 49). Im Vergleich zur konventionellen radiologischen Diagnostik ergibt sich eine erheblich verbesserte Detektionsrate (54). Im Vergleich zur Skelettzintigrafie ist die GK-MRT bezogen auf symptomatische Regionen sogar signifikant sensitiver (64). Die Übereinstimmung der Befundung durch verschiedene Untersucher ist gut bis exzellent (83, 84). Differentialdiagnostische Erwägungen in der Abgrenzung zu malignen Prozessen können mittels der DWI vorgenommen werden (59). Darüber hinaus sind insbesondere Therapieansprechen sowie die gegebenenfalls notwendige Intensivierung der medikamentösen Therapie relevante Indikationen für die GK-MRT (49, 50, 83, 85).

3.1.5 Rheumatische Erkrankungen und Fiebersyndrome

Die MRT ist für verschiedene rheumatische Erkrankungen eine der Grundlagen zur objektiven Beurteilung von Inflammationsaktivität und Gelenkdestruktion in klinischen Studien. So wurden hierfür sowohl für die rheumatoide Arthritis als auch für die Psoriasisarthritis Scoringssysteme entwickelt (86). Für den Einsatz der GK-MRT bei Kindern mit rheumatischer Arthritis gibt es erste Konsensusreports der Outcome Measures in Rheumatology (OMERACT) MRI Working Group, in welchem anhand eines systematischen Literaturreview auch für die GK-MRT ein Scoringssysteme sowohl für Erwachsene als auch für Kinder mit JIA vorgeschlagen wurde (87) (86, 88). Für die juvenile Spondylarthritis wurden charakteristische Befunde für die GK-MRT beschrieben (60) und es wurde gezeigt, dass eine Objektivierung der Enthesitis im Vergleich zum klinischen Befund möglich ist sowie zusätzliche Informationen an Wirbelsäule und Beckenskelett gefunden werden können (89). Dies kann auch für andere Formen der rheumatoiden Arthritis im Einklang mit den Daten für Erwachsene angenommen werden (86). Die Detektion extraskelettaler Befunde in Gehirn, Weichteilen, Muskulatur sind bei einer Reihe von weiteren autoinflammatorischen Erkrankungen von großer Bedeutung. Für die juvenile Dermatomyositis und Polymyositis wurden eine exzellente Korrelation zu klinischen Parametern gefunden und im Verlauf zusätzliche Informationen zum Behandlungserfolg generiert (61). Des Weiteren ließ sich mit Hilfe der GK-MRT eine gezielte Muskelbiopsie durchführen (51). Indikationen für eine GK-MRT ergeben sich darüber hinaus, wenn klinische und laborchemische Befunde differieren oder wenn Multifokalität mittels anderer Methoden nur eingeschränkt fassbar ist.

Auch Fiebersyndrome und unklare Entzündungskonstellationen, die für eine systemische Erkrankung, einen unerkannten Fokus oder ein bisher unbekanntes malignes Geschehen sprechen, sind Indikationen für eine Ganzkörperbildgebung. So lieferte die GK-MRT in einer Studie bei 24 Patienten in 70% der Fälle die korrekte Diagnose, und in 46% war es die einzige Methode, die den inflammatorischen Prozess fand (90). Die GK-MRT ohne Strahlenexposition ist hier alternativ zur PET/CT zu sehen (57), wobei vergleichende Studien bislang nicht existieren.

3.1.6 Tumorprädispositionssyndrome (TPS)

Die GK-MRT ist bei asymptomatischen Patienten mit hereditären Tumorprädispositionssyndromen geeignet, um die Entwicklung eines soliden Tumors zu erfassen, wie bereits für das Li-Fraumeni Syndrom (38, 40, 91) gezeigt. Nach Empfehlung der Li-Fraumeni Association Deutschland wird bei Kindern und Jugendlichen ergänzend zur jährlichen MRT-Untersuchung des Kopfes die Ganzkörper-MRT empfohlen (92, 93). Insbesondere TPS mit erhöhter Strahlensensibilität profitieren von der GK-MRT als Verfahren, das frei ist von ionisierender Strahlung (94). Bei der Neurofibromatose Typ 1

korreliert die in der GK-MRT detektierte Tumorlast von plexiformen Neurofibromen mit der Entwicklung eines malignen peripheren Nervenscheidentumors (MPNST)(42, 46). Dennoch bleibt die Differenzierung zwischen symptomatischen plexiformen Neurofibromen und MPNST problematisch (44). Darüber hinaus müssen Intervalle und die Anwendung weiterer bildgebender Verfahren (z.B. 18F-FDG-PET) in ihrer Wertigkeit abgeschätzt werden (44). Die GK-MRT wird auch für andere Syndrome indiziert (39, 95-97). Die American Association for Cancer Research (AACR) hat in einem Consensus-Workshop zur Etablierung von Screening-Programmen die GK-MRT für weitere TPS (z.B. Hereditary paraganglioma and pheochromocytoma syndrome, Neurofibromatosis type I and II, Constitutional mismatch repair deficiency) empfohlen (98). Auch für das Rhabdoid tumor predisposition syndrome (RTPS), das DICER1 Syndrom, die Hippel-Lindau Disease und das hereditäre Retinoblastom wird die GK-MRT zunehmend eingesetzt (99).

3.1.7 Nicht akzidentielle Verletzung

Während die Schädel-MRT die sensitivste Methode zur Beurteilung von Blutungen, Ischämien und axonalen Schädigungen im Rahmen eines nichtakzidentellen Traumas ist, kann die GK-MRT bisher nicht als alleinige Standardbildgebung bei NAI empfohlen werden. Dem großen Vorteil der umfassenden Diagnostik in einer einzigen Untersuchung (100) steht die nicht ausreichende Sensitivität der alleine mittels coronaler STIR durchgeführten GK-MRT für die typischen Skelettbefunde insbesondere beim Säugling gegenüber (101). (AWMF Leitlinie 064-014 Verdacht auf Misshandlung bei Kindern – Bildgebende Diagnostik).

3.2 Technische Voraussetzungen

Die automatische Tischverschiebung, der Anschluss von multiplen Array-Spulenelementen, die den Körper komplett abdecken und die simultane Signalakquisition durch unabhängige Empfangskanäle sind Grundvoraussetzungen zur Durchführung einer erfolgreichen hochaufgelösten GK-MRT (1-4, 6). Ein großes field of view (FOV) in Z-Richtung (z.B. 500 mm) einschließlich homogener Fettsättigung ist für die Erfassung des gewünschten Volumens von Relevanz und beschleunigt durch eine geringere Anzahl von Messblöcken die Untersuchung. Daneben sind parallele Bildgebung in allen 3 Raumrichtungen, automatische Tischverschiebung und Spulwahl für die rasche Durchführung erforderlich. Üblicherweise werden die sich etwas überlappenden coronalen Aufnahmen der einzelnen Körperregionen automatisch zu Ganzkörperschichtdarstellungen zusammengesetzt.

3.3 Vorgeschlagene Protokolle

Da die Aussagekraft der MRT von den gewählten Sequenzen und Sequenzparametern abhängig ist, aber gleichzeitig die Untersuchungsdauer den Patientenkomfort einschränkt, ist der modulare Aufbau eines Sequenzpools, bestehend aus einem Basismodul und erweiternden Sequenzen, essentiell (Tabelle 2, Beispiel eines GK-MRT – Protokolls aus der pädiatrischen Radiologie der Universitätsklinik Tübingen) (1-4, 6, 102). Das modulare Konzept erlaubt hierbei eine Adaptation des Protokolls an die jeweilige Indikation. Gleichzeitig werden Reproduzierbarkeit und Vergleichbarkeit verbessert.

Eine Ganzkörperdarstellung mittels hochaufgelöster fettgesättigter T2-gewichteter Sequenzen (z.B. STIR) mit Schichtdicken von 3-4 mm in coronaler Orientierung sollte in jedem Fall akquiriert werden. Um mögliche Einschränkungen der diagnostischen Genauigkeit durch Partialvolumeneffekte zu vermeiden, sollten weitere Akquisitionen in transversaler Orientierung zum Beispiel mittels T2-gewichteter und fettgesättigter bzw. STIR Sequenzen im Bereich von Kopf und Hals sowie Körperstamm erfolgen (1-4, 6, 102). Hierbei sind Sequenzen mit radialer k-Raum Akquisition und/oder

Atemnavigation zur Reduktion von Bewegungsartefakten im Bereich des Körperstamms empfehlenswert. Sagittal orientierte Sequenzen bzw. Reformationen sind bei Fragen zum Achsen skelett notwendig. Erweiterungen des Protokolls durch diffusionsgewichtete und / oder T1-gewichtete Sequenzen vor und nach Kontrastmittelgabe sind in Abwägung des Nutzens zu planen. Hier sind Dixon-Sequenzen vorteilhaft. Bei soliden Tumoren sind Verbesserungen der diagnostischen Sicherheit durch diese Ergänzung zu erwarten.

Unabhängig von Ganzkörperuntersuchungen können mittels der unter 3.1 genannten Voraussetzungen aufgrund der Geräte und Spulenkonfiguration lokale Regionen ohne Einschränkung (Gehirn, Gesichtsschädel und Hals, Oberbauch und Beckenorgane, Wirbelsäule) untersucht werden (1-4, 6). Dies ist besonders bei den Kindern und Jugendlichen zu beachten, die nur in Narkose oder Sedierung untersucht werden können, wenn hierdurch weitere Untersuchungstermine eingespart werden. Die Verlängerung der Untersuchungszeit sollte dann in Relation zur Einsparung weiterer bildgebender Verfahren abgewogen werden (7).

Die Mehrzahl der Protokollempfehlungen für die GK-MRT bei Kindern und Jugendlichen weisen ein festes Field of View (FoV) und eine feste Auflösungsmatrix sowie Schichtdicke und damit Voxelgröße aus (1-4, 6, 40, 102). Allerdings sollten wie üblich in der pädiatrischen MRT-Bildgebung diese Sequenzparameter den verschiedenen Körpergrößen von Säugling über Kleinkind und Kind zu Jugendlichen angepasst werden, da die örtliche Auflösung für die diagnostische Sicherheit von großer Bedeutung ist (103). Dies gilt umso mehr, wenn lediglich eine Schichtebene akquiriert wird. Daher kann folgende Vorgehensweise hilfreich sein: ausgehend von einer üblichen Auflösungsmatrix ($256^2 - 384^2$) reduziert sich die Voxelgröße durch Anpassung von FoV und in moderatem Maße der Schichtdicke an eine geringere Körpergröße, wodurch die anatomische Auflösung / Bildinformation aber relativ gleichbleibend gehalten werden kann. Allerdings muss der damit einhergehende Signalverlust kompensiert werden (z.B. Erhöhung von Phasen-Oversampling oder Signal-Mittelungen), wodurch aber die Akquisitionszeit verlängert wird. Deshalb sollte ein optimaler Kompromiss aus tolerablem SNR-Verlust und Messzeit gefunden werden. Hierbei ist es vorteilhaft, dass sich, bedingt durch die Körpergeometrie von kleinen Kindern, die Anzahl der Schichtblöcke / Stationen in Z-Richtung und damit die gesamte Akquisitionsdauer reduzieren lässt. Vorgegebene und auf Körperumfang und Körperlänge optimierte Protokolle erleichtern die Anpassung in der täglichen Routine.

Beispiel eines GK-MRT – Protokolls aus der pädiatrischen Radiologie der Universitätsklinik Tübingen (nach 6)					
Module	Region	Sequenztyp	Orientierung und Phasenkodierrichtung	Basismatrix (ohne Interpolation in Ausleserichtung)	Anmerkungen
Basismodul	Ganzkörper	2D STIR TSE/FSE	Coronal FH	384	Bei MSK-Fragestellungen Hände auf das Abdomen lagern
	Kopf und Hals	2D STIR TSE/FSE	Transversal AP	384	Caudal bis Aortenbogen
	Thorax	2D T2w TSE/FSE mit Fettsättigung mit Atemtrigger	Transversal AP	384	Wenn möglich, radiales K-Raum Sampling
	Abdomen und Becken	2D T2 TSE/FSE mit Fettsättigung mit Atemtrigger	Transversal AP	384	Wenn möglich, radiales K-Raum Sampling
DWI	Ganzkörper	2D EPI (SPAIR) 2 b-Werte 50 und 900s/mm ²	Transversal AP	128	Coronale MPR ADC Karte Kalkulation eines hohen b-Wertes >1200 s/mm ²
Kontrastmittel angehobene Sequenzen	Ganzkörper	3D T1w GRE (VIBE) mit Fettsättigung oder Dixon	Transversal AP	288-320	Wenn möglich, Aufnahmen in Atemstopp Coronale MPR

Optional weitere Sequenzen und lokale Bildgebung (Gehirn, Gesichtsschädel, Oberbauch-Organ, Wirbelsäule, Extremitäten) in Abhängigkeit der Fragestellung

DWI= Diffusion weighted Image; STIR=Short -T1 Inversion Recovery; TSE=Turbo spin echo; FSE=Fast spin echo; EPI=Echo planar imaging; GRE= Gradient echo; VIBE=Volumetric interpolated breath-hold examination; SPAIR= Spectral attenuated inversion recovery; FH = feet head; AP = anterior posterior

4. Literatur

1. Darge K, Jaramillo D, Siegel MJ. Whole-body MRI in children: current status and future applications. *European journal of radiology* 2008;68(2):289-298. doi: 10.1016/j.ejrad.2008.05.018
2. Greer MC. Whole-body magnetic resonance imaging: techniques and non-oncologic indications. *Pediatric radiology* 2018;48(9):1348-1363. doi: 10.1007/s00247-018-4141-9
3. Ley S, Ley-Zaporozhan J, Schenk JP. Whole-body MRI in the pediatric patient. *European journal of radiology* 2009;70(3):442-451. doi: 10.1016/j.ejrad.2009.02.012
4. Schaefer JF, Schlemmer HP. Total-body MR-imaging in oncology. *European radiology* 2006;16(9):2000-2015. doi: 10.1007/s00330-006-0199-0
5. Nievelstein RA, Littooi AS. Whole-body MRI in paediatric oncology. *La Radiologia medica* 2016;121(5):442-453. doi: 10.1007/s11547-015-0600-7
6. Schaefer JF, Kramer U. [Whole-body MRI in children and juveniles]. *RoFo : Fortschritte auf dem Gebiete der Rontgenstrahlen und der Nuklearmedizin* 2011;183(1):24-36. doi: 10.1055/s-0029-1245883
7. Goo HW. Regional and whole-body imaging in pediatric oncology. *Pediatric radiology* 2011;41 Suppl 1:S186-194. doi: 10.1007/s00247-011-2050-2
8. Hong TS, Greer ML, Grosse-Wortmann L, Yoo SJ, Babyn PS. Whole-body MR angiography: initial experience in imaging pediatric vasculopathy. *Pediatric radiology* 2011;41(6):769-778. doi: 10.1007/s00247-010-1958-2
9. Mohan S, Moineddin R, Chavhan GB. Pediatric whole-body magnetic resonance imaging: Intra-individual comparison of technical quality, artifacts, and fixed structure visibility at 1.5 and 3 T. *The Indian journal of radiology & imaging* 2015;25(4):353-358. doi: 10.4103/0971-3026.169448
10. Miras Azcon F, Culienez Casas M, Pastor Pons E. [Whole-body magnetic resonance imaging in a patient with an occult abdominal neuroblastoma and opsoclonus-myoclonus syndrome]. *Radiologia* 2014;56(6):e54-57. doi: 10.1016/j.rx.2012.04.002
11. Littooi AS, Kwee TC, Barber I, Granata C, Vermoolen MA, Enriquez G, Zsiros J, Soh SY, de Keizer B, Beek FJ, Hobbelink MG, Bierings MB, Stoker J, Nievelstein RA. Whole-body MRI for initial staging of paediatric lymphoma: prospective comparison to an FDG-PET/CT-based reference standard. *European radiology* 2014;24(5):1153-1165. doi: 10.1007/s00330-014-3114-0
12. Klenk C, Gawande R, Uslu L, Khurana A, Qiu D, Quon A, Donig J, Rosenberg J, Luna-Fineman S, Moseley M, Daldrup-Link HE. Ionising radiation-free whole-body MRI versus (18)F-fluorodeoxyglucose PET/CT scans for children and young adults with cancer: a prospective, non-randomised, single-centre study. *The Lancet Oncology* 2014;15(3):275-285. doi: 10.1016/s1470-2045(14)70021-x
13. Adams HJ, Kwee TC, Vermoolen MA, Ludwig I, Bierings MB, Nievelstein RA. Whole-body MRI vs. CT for staging lymphoma: patient experience. *European journal of radiology* 2014;83(1):163-166. doi: 10.1016/j.ejrad.2013.10.008
14. Adams HJ, Kwee TC, Lokhorst HM, Westerweel PE, Fijnheer R, Kersten MJ, Verkooijen HM, Stoker J, Nievelstein RA. Potential prognostic implications of whole-body bone marrow MRI in diffuse large B-cell lymphoma patients with a negative blind bone marrow biopsy. *Journal of magnetic resonance imaging : JMRI* 2014;39(6):1394-1400. doi: 10.1002/jmri.24318
15. Siegel MJ, Acharyya S, Hoffer FA, Wyly JB, Friedmann AM, Snyder BS, Babyn PS, Khanna G, Siegel BA. Whole-body MR imaging for staging of malignant tumors in pediatric

- patients: results of the American College of Radiology Imaging Network 6660 Trial. *Radiology* 2013;266(2):599-609. doi: 10.1148/radiol.12112531
16. Punwani S, Taylor SA, Saad ZZ, Bainbridge A, Groves A, Daw S, Shankar A, Halligan S, Humphries PD. Diffusion-weighted MRI of lymphoma: prognostic utility and implications for PET/MRI? *European journal of nuclear medicine and molecular imaging* 2013;40(3):373-385. doi: 10.1007/s00259-012-2293-7
17. Punwani S, Cheung KK, Skipper N, Bell N, Bainbridge A, Taylor SA, Groves AM, Hain SF, Ben-Haim S, Shankar A, Daw S, Halligan S, Humphries PD. Dynamic contrast-enhanced MRI improves accuracy for detecting focal splenic involvement in children and adolescents with Hodgkin disease. *Pediatric radiology* 2013;43(8):941-949. doi: 10.1007/s00247-012-2616-7
18. Punwani S, Taylor SA, Bainbridge A, Prakash V, Bandula S, De Vita E, Olsen OE, Hain SF, Stevens N, Daw S, Shankar A, Bomanji JB, Humphries PD. Pediatric and adolescent lymphoma: comparison of whole-body STIR half-Fourier RARE MR imaging with an enhanced PET/CT reference for initial staging. *Radiology* 2010;255(1):182-190. doi: 10.1148/radiol.09091105
19. Kwee TC, Takahara T, Vermoolen MA, Bierings MB, Mali WP, Nievelstein RA. Whole-body diffusion-weighted imaging for staging malignant lymphoma in children. *Pediatric radiology* 2010;40(10):1592-1602; quiz 1720-1591. doi: 10.1007/s00247-010-1775-7
20. Krohmer S, Sorge I, Krausse A, Kluge R, Bierbach U, Marwede D, Kahn T, Hirsch W. Whole-body MRI for primary evaluation of malignant disease in children. *European journal of radiology* 2010;74(1):256-261. doi: 10.1016/j.ejrad.2009.01.037
21. Goo HW. Whole-body MRI of neuroblastoma. *European journal of radiology* 2010;75(3):306-314. doi: 10.1016/j.ejrad.2009.09.014
22. Burdach S, Thiel U, Schoniger M, Haase R, Wawer A, Nathrath M, Kabisch H, Urban C, Laws HJ, Dirksen U, Steinborn M, Dunst J, Jurgens H. Total body MRI-governed involved compartment irradiation combined with high-dose chemotherapy and stem cell rescue improves long-term survival in Ewing tumor patients with multiple primary bone metastases. *Bone marrow transplantation* 2010;45(3):483-489. doi: 10.1038/bmt.2009.184
23. Mentzel HJ, Kentouche K, Sauner D, Fleischmann C, Vogt S, Gottschild D, Zintl F, Kaiser WA. Comparison of whole-body STIR-MRI and 99mTc-methylene-diphosphonate scintigraphy in children with suspected multifocal bone lesions. *European radiology* 2004;14(12):2297-2302. doi: 10.1007/s00330-004-2390-5
24. Laffan EE, O'Connor R, Ryan SP, Donoghue VB. Whole-body magnetic resonance imaging: a useful additional sequence in paediatric imaging. *Pediatric radiology* 2004;34(6):472-480. doi: 10.1007/s00247-004-1184-x
25. Kellenberger CJ, Epelman M, Miller SF, Babyn PS. Fast STIR whole-body MR imaging in children. *Radiographics : a review publication of the Radiological Society of North America, Inc* 2004;24(5):1317-1330. doi: 10.1148/rg.245045048
26. Daldrup-Link HE, Franzius C, Link TM, Laukamp D, Sciuk J, Jurgens H, Schober O, Rummeny EJ. Whole-body MR imaging for detection of bone metastases in children and young adults: comparison with skeletal scintigraphy and FDG PET. *AJR American journal of roentgenology* 2001;177(1):229-236. doi: 10.2214/ajr.177.1.1770229
27. Regacini R, Puchnick A, Luisi FAV, Lederman HM. Can diffusion-weighted whole-body MRI replace contrast-enhanced CT for initial staging of Hodgkin lymphoma in children and adolescents? *Pediatric radiology* 2018;48(5):638-647. doi: 10.1007/s00247-018-4071-6
28. Albano D, Patti C, Matranga D, Lagalla R, Midiri M, Galia M. Whole-body diffusion-weighted MR and FDG-PET/CT in Hodgkin Lymphoma: Predictive role before treatment and early assessment after two courses of ABVD. *European journal of radiology* 2018;103:90-98. doi: 10.1016/j.ejrad.2018.04.014
29. Yoon HM, Kim JR, Jung AY, Cho YA, Im HJ, Lee JS. Whole Body MR Imaging: A Useful Imaging Modality in the Management of Children With Acute Myeloid Leukemia. *Clinical lymphoma, myeloma & leukemia* 2017;17(4):231-237. doi: 10.1016/j.clml.2017.02.004
30. Raissaki M, Demetriou S, Spanakis K, Skiadas C, Katzilakis N, Velivassakis EG, Stiakaki E, Karantanas AH. Multifocal bone and bone marrow lesions in children - MRI findings. *Pediatric radiology* 2017;47(3):342-360. doi: 10.1007/s00247-016-3737-1

31. Littooij AS, Kwee TC, Barber I, Granata C, de Keizer B, Beek FJ, Hobbelink MG, Fijnheer R, Stoker J, Nievelstein RA. Accuracy of whole-body MRI in the assessment of splenic involvement in lymphoma. *Acta radiologica (Stockholm, Sweden : 1987)* 2016;57(2):142-151. doi: 10.1177/0284185115571657
32. Pai Panandiker AS, Coleman J, Shulkin B. Whole-Body Pediatric Neuroblastoma Imaging: 123I-mIBG and Beyond. *Clinical nuclear medicine* 2015;40(9):737-739. doi: 10.1097/rlu.0000000000000829
33. Littooij AS, Kwee TC, de Keizer B, Bruin MC, Coma A, Beek FJ, Fijnheer R, Nievelstein RA. Whole-body MRI-DWI for assessment of residual disease after completion of therapy in lymphoma: A prospective multicenter study. *Journal of magnetic resonance imaging : JMRI* 2015;42(6):1646-1655. doi: 10.1002/jmri.24938
34. Smets AM, Deurloo EE, Slager TJE, Stoker J, Bipat S. Whole-body magnetic resonance imaging for detection of skeletal metastases in children and young people with primary solid tumors - systematic review. *Pediatric radiology* 2018;48(2):241-252. doi: 10.1007/s00247-017-4013-8
35. Kembhavi SA, Rangarajan V, Shah S, Qureshi S, Arora B, Juvekar S, Laskar S, Vora T, Chinnaswamy G, Ramadwar M, Kurkure P. Prospective observational study on diagnostic accuracy of whole-body MRI in solid small round cell tumours. *Clinical radiology* 2014;69(9):900-908. doi: 10.1016/j.crad.2014.04.006
36. Kumar J, Seith A, Kumar A, Sharma R, Bakhshi S, Kumar R, Agarwala S. Whole-body MR imaging with the use of parallel imaging for detection of skeletal metastases in pediatric patients with small-cell neoplasms: comparison with skeletal scintigraphy and FDG PET/CT. *Pediatric radiology* 2008;38(9):953-962. doi: 10.1007/s00247-008-0921-y
37. Goo HW, Choi SH, Ghim T, Moon HN, Seo JJ. Whole-body MRI of paediatric malignant tumours: comparison with conventional oncological imaging methods. *Pediatric radiology* 2005;35(8):766-773. doi: 10.1007/s00247-005-1459-x
38. O'Neill AF, Voss SD, Jagannathan JP, Kamihara J, Nibecker C, Itriago-Araujo E, Masciari S, Parker E, Barreto M, London WB, Garber JE, Diller L. Screening with whole-body magnetic resonance imaging in pediatric subjects with Li-Fraumeni syndrome: A single institution pilot study. *Pediatric blood & cancer* 2018;65(2). doi: 10.1002/pbc.26822
39. Rednam SP, Erez A, Druker H, Janeway KA, Kamihara J, Kohlmann WK, Nathanson KL, States LJ, Tomlinson GE, Villani A, Voss SD, Schiffman JD, Wasserman JD. Von Hippel-Lindau and Hereditary Pheochromocytoma/Paraganglioma Syndromes: Clinical Features, Genetics, and Surveillance Recommendations in Childhood. *Clinical cancer research : an official journal of the American Association for Cancer Research* 2017;23(12):e68-e75. doi: 10.1158/1078-0432.ccr-17-0547
40. Ballinger ML, Best A, Mai PL, Khincha PP, Loud JT, Peters JA, Achatz MI, Chojniak R, Balieiro da Costa A, Santiago KM, Garber J, O'Neill AF, Eeles RA, Evans DG, Bleiker E, Sonke GS, Ruijs M, Loo C, Schiffman J, Naumer A, Kohlmann W, Strong LC, Bojadzieva J, Malkin D, Rednam SP, Stoffel EM, Koeppe E, Weitzel JN, Slavin TP, Nehoray B, Robson M, Walsh M, Manelli L, Villani A, Thomas DM, Savage SA. Baseline Surveillance in Li-Fraumeni Syndrome Using Whole-Body Magnetic Resonance Imaging: A Meta-analysis. *JAMA oncology* 2017;3(12):1634-1639. doi: 10.1001/jamaoncol.2017.1968
41. Anupindi SA, Bedoya MA, Lindell RB, Rambhatla SJ, Zelle K, Nichols KE, Chauvin NA. Diagnostic Performance of Whole-Body MRI as a Tool for Cancer Screening in Children With Genetic Cancer-Predisposing Conditions. *AJR American journal of roentgenology* 2015;205(2):400-408. doi: 10.2214/ajr.14.13663
42. Nguyen R, Jett K, Harris GJ, Cai W, Friedman JM, Mautner VF. Benign whole body tumor volume is a risk factor for malignant peripheral nerve sheath tumors in neurofibromatosis type 1. *Journal of neuro-oncology* 2014;116(2):307-313. doi: 10.1007/s11060-013-1293-1
43. Friedman DN, Lis E, Sklar CA, Oeffinger KC, Reppucci M, Fleischut MH, Francis JH, Marr B, Abramson DH, Dunkel IJ. Whole-body magnetic resonance imaging (WB-MRI) as surveillance for subsequent malignancies in survivors of hereditary retinoblastoma: a pilot study. *Pediatric blood & cancer* 2014;61(8):1440-1444. doi: 10.1002/pbc.24835

44. Derlin T, Tornquist K, Munster S, Apostolova I, Hagel C, Friedrich RE, Wedegartner U, Mautner VF. Comparative effectiveness of 18F-FDG PET/CT versus whole-body MRI for detection of malignant peripheral nerve sheath tumors in neurofibromatosis type 1. *Clinical nuclear medicine* 2013;38(1):e19-25. doi: 10.1097/RLU.0b013e318266ce84
45. Karmazyn B, Cohen MD, Jennings SG, Robertson KA. Marrow signal changes observed in follow-up whole-body MRI studies in children and young adults with neurofibromatosis type 1 treated with imatinib mesylate (Gleevec) for plexiform neurofibromas. *Pediatric radiology* 2012;42(10):1218-1222. doi: 10.1007/s00247-012-2440-0
46. Mautner VF, Asuagbor FA, Dombi E, Funsterer C, Kluwe L, Wenzel R, Widemann BC, Friedman JM. Assessment of benign tumor burden by whole-body MRI in patients with neurofibromatosis 1. *Neuro-oncology* 2008;10(4):593-598. doi: 10.1215/15228517-2008-011
47. Arnoldi AP, Schlett CL, Douis H, Geyer LL, Voit AM, Bleisteiner F, Jansson AF, Weckbach S. Whole-body MRI in patients with Non-bacterial Osteitis: Radiological findings and correlation with clinical data. *European radiology* 2017;27(6):2391-2399. doi: 10.1007/s00330-016-4586-x
48. Herruela-Suffee C, Warin M, Castier-Amouyel M, Dallery F, Bonnaire B, Constans JM. Whole-body MRI in generalized cystic lymphangiomas in the pediatric population: diagnosis, differential diagnoses, and follow-up. *Skeletal radiology* 2016;45(2):177-185. doi: 10.1007/s00256-015-2280-8
49. Roderick M, Shah R, Finn A, Ramanan AV. Efficacy of pamidronate therapy in children with chronic non-bacterial osteitis: disease activity assessment by whole body magnetic resonance imaging. *Rheumatology (Oxford, England)* 2014;53(11):1973-1976. doi: 10.1093/rheumatology/keu226
50. Hofmann C, Wurm M, Schwarz T, Neubauer H, Beer M, Girschick H, Morbach H. A standardized clinical and radiological follow-up of patients with chronic non-bacterial osteomyelitis treated with pamidronate. *Clinical and experimental rheumatology* 2014;32(4):604-609.
51. Castro TC, Lederman H, Terreri MT, Caldana WI, Zanoteli E, Hilario MO. Whole-body magnetic resonance imaging in the assessment of muscular involvement in juvenile dermatomyositis/polymyositis patients. *Scandinavian journal of rheumatology* 2014;43(4):329-333. doi: 10.3109/03009742.2013.868509
52. Mueller WP, Melzer HI, Schmid I, Coppenrath E, Bartenstein P, Pfluger T. The diagnostic value of 18F-FDG PET and MRI in paediatric histiocytosis. *European journal of nuclear medicine and molecular imaging* 2013;40(3):356-363. doi: 10.1007/s00259-012-2278-6
53. Falip C, Alison M, Boutry N, Job-Deslandre C, Cotten A, Azoulay R, Adamsbaum C. Chronic recurrent multifocal osteomyelitis (CRMO): a longitudinal case series review. *Pediatric radiology* 2013;43(3):355-375. doi: 10.1007/s00247-012-2544-6
54. Fritz J, Tzaribatchev N, Claussen CD, Carrino JA, Horger MS. Chronic recurrent multifocal osteomyelitis: comparison of whole-body MR imaging with radiography and correlation with clinical and laboratory data. *Radiology* 2009;252(3):842-851. doi: 10.1148/radiol.2523081335
55. Steinborn M, Wortler K, Nathrath M, Schoniger M, Hahn H, Rummeny EJ. [Whole-body MRI in children with langerhans cell histiocytosis for the evaluation of the skeletal system]. *RoFo : Fortschritte auf dem Gebiete der Rontgenstrahlen und der Nuklearmedizin* 2008;180(7):646-653. doi: 10.1055/s-2008-1027345
56. Goo HW, Yang DH, Ra YS, Song JS, Im HJ, Seo JJ, Ghim T, Moon HN. Whole-body MRI of Langerhans cell histiocytosis: comparison with radiography and bone scintigraphy. *Pediatric radiology* 2006;36(10):1019-1031. doi: 10.1007/s00247-006-0246-7
57. Rossi E, Perrone A, Naresse D, Cangelosi M, Sollai S, Semeraro A, Mortilla M, Defilippi C. Role of Whole-Body MR with DWIBS in child's Bartonellosis. *La Clinica terapeutica* 2016;167(4):101-104. doi: 10.7417/ct.2016.1938
58. Littooj AS, Kwee TC, Enriquez G, Verbeke JI, Granata C, Beishuizen A, de Lange C, Zennaro F, Bruin MC, Nievelstein RA. Whole-body MRI reveals high incidence of osteonecrosis in children treated for Hodgkin lymphoma. *British journal of haematology* 2017;176(4):637-642. doi: 10.1111/bjh.14452

59. Leclair N, Thorner G, Sorge I, Ritter L, Schuster V, Hirsch FW. Whole-Body Diffusion-Weighted Imaging in Chronic Recurrent Multifocal Osteomyelitis in Children. *PloS one* 2016;11(1):e0147523. doi: 10.1371/journal.pone.0147523
60. Aquino MR, Tse SM, Gupta S, Rachlis AC, Stimec J. Whole-body MRI of juvenile spondyloarthritis: protocols and pictorial review of characteristic patterns. *Pediatric radiology* 2015;45(5):754-762. doi: 10.1007/s00247-015-3319-7
61. Malattia C, Damasio MB, Madeo A, Pistorio A, Providenti A, Pederzoli S, Viola S, Buoncompagni A, Mattiuz C, Beltramo A, Consolaro A, Ravelli A, Ruperto N, Picco P, Magnano GM, Martini A. Whole-body MRI in the assessment of disease activity in juvenile dermatomyositis. *Annals of the rheumatic diseases* 2014;73(6):1083-1090. doi: 10.1136/annrheumdis-2012-202915
62. von Kalle T, Heim N, Hospach T, Langendorfer M, Winkler P, Stuber T. Typical patterns of bone involvement in whole-body MRI of patients with chronic recurrent multifocal osteomyelitis (CRMO). *RoFo : Fortschritte auf dem Gebiete der Rontgenstrahlen und der Nuklearmedizin* 2013;185(7):655-661. doi: 10.1055/s-0033-1335283
63. Pratesi A, Medici A, Bresci R, Micheli A, Barni S, Pratesi C. Sickle cell-related bone marrow complications: the utility of diffusion-weighted magnetic resonance imaging. *Journal of pediatric hematology/oncology* 2013;35(4):329-330. doi: 10.1097/MPH.0b013e318290c5f3
64. Morbach H, Schneider P, Schwarz T, Hofmann C, Raab P, Neubauer H, Duren C, Beer M, Girschick HJ. Comparison of magnetic resonance imaging and 99mTechnetium-labelled methylene diphosphonate bone scintigraphy in the initial assessment of chronic non-bacterial osteomyelitis of childhood and adolescents. *Clinical and experimental rheumatology* 2012;30(4):578-582.
65. Miettunen PM, Lafay-Cousin L, Guilcher GM, Nettel-Aguirre A, Moorjani V. Widespread osteonecrosis in children with leukemia revealed by whole-body MRI. *Clinical orthopaedics and related research* 2012;470(12):3587-3595. doi: 10.1007/s11999-012-2579-x
66. Kennedy MT, Murphy T, Murphy M, Laffan E, Connolly P. Whole body MRI in the diagnosis of chronic recurrent multifocal osteomyelitis. *Orthopaedics & traumatology, surgery & research : OTSR* 2012;98(4):461-464. doi: 10.1016/j.otsr.2012.02.006
67. Guerin-Pfyffer S, Guillaume-Czitrom S, Tammam S, Kone-Paut I. Evaluation of chronic recurrent multifocal osteitis in children by whole-body magnetic resonance imaging. *Joint, bone, spine : revue du rhumatisme* 2012;79(6):616-620. doi: 10.1016/j.jbspin.2011.12.001
68. Ferreira EC, Brito CC, Domingues RC, Bernardes M, Marchiori E, Gasparetto EL. Whole-body MR imaging for the evaluation of McCune-albright syndrome. *Journal of magnetic resonance imaging : JMRI* 2010;31(3):706-710. doi: 10.1002/jmri.22056
69. Spijkers S, Littooij AS, Kwee TC, Tolboom N, Beishuizen A, Bruin MCA, Elias SG, van de Brug T, Enríquez G, Sábado C, Miller E, Granata C, de Lange C, Verzegnassi F, Greer MC, de Keizer B, Nievelstein RAJ. Whole-body MRI versus an FDG-PET/CT-based reference standard for staging of paediatric Hodgkin lymphoma: a prospective multicentre study. *European radiology* 2021;31(3):1494-1504. doi: 10.1007/s00330-020-07182-0
70. Lim GY, Hahn ST, Chung NG, Kim HK. Subcutaneous panniculitis-like T-cell lymphoma in a child: whole-body MRI in the initial and follow-up evaluations. *Pediatric radiology* 2009;39(1):57-61. doi: 10.1007/s00247-008-1002-y
71. Sun M, Cheng J, Zhang Y, Bai J, Wang F, Meng Y, Li Z. Application of DWIBS in malignant lymphoma: correlation between ADC values and Ki-67 index. *European radiology* 2018;28(4):1701-1708. doi: 10.1007/s00330-017-5135-y
72. Kalus S, Saifuddin A. Whole-body MRI vs bone scintigraphy in the staging of Ewing sarcoma of bone: a 12-year single-institution review. *European radiology* 2019;29(10):5700-5708. doi: 10.1007/s00330-019-06132-9
73. Kellenberger CJ, Miller SF, Khan M, Gilday DL, Weitzman S, Babyn PS. Initial experience with FSE STIR whole-body MR imaging for staging lymphoma in children. *European radiology* 2004;14(10):1829-1841. doi: 10.1007/s00330-004-2432-z
74. Gassenmaier S, Bares R, Barreuther M, Flaadt T, Lang P, Schaefer JF, Tsiflikas I. (123)Iodine-metaiodobenzylguanidine scintigraphy versus whole-body magnetic resonance imaging with diffusion-weighted imaging in children with high-risk neuroblastoma - pilot study. *Pediatric radiology* 2021;51(7):1223-1230. doi: 10.1007/s00247-020-04960-2

75. Ladenstein R, Lambert B, Pötschger U, Castellani MR, Lewington V, Bar-Sever Z, Oudoux A, Śliwińska A, Taborska K, Biassoni L, Yanik GA, Naranjo A, Parisi MT, Shulkin BL, Nadel H, Gelfand MJ, Matthay KK, Park JR, Kreissman SG, Valteau-Couanet D, Boubaker A. Validation of the mIBG skeletal SIOOPEN scoring method in two independent high-risk neuroblastoma populations: the SIOOPEN/HR-NBL1 and COG-A3973 trials. *European journal of nuclear medicine and molecular imaging* 2018;45(2):292-305. doi: 10.1007/s00259-017-3829-7
76. Neubauer H, Li M, Muller VR, Pabst T, Beer M. Diagnostic Value of Diffusion-Weighted MRI for Tumor Characterization, Differentiation and Monitoring in Pediatric Patients with Neuroblastic Tumors. *RoFo : Fortschritte auf dem Gebiete der Rontgenstrahlen und der Nuklearmedizin* 2017;189(7):640-650. doi: 10.1055/s-0043-108993
77. Gassenmaier S, Tsiflikas I, Fuchs J, Grimm R, Urla C, Esser M, Maennlin S, Ebinger M, Warmann SW, Schäfer JF. Feasibility and possible value of quantitative semi-automated diffusion weighted imaging volumetry of neuroblastic tumors. *Cancer Imaging* 2020;20(1):89. doi: 10.1186/s40644-020-00366-3
78. Georger B, Hero B, Harms D, Grebe J, Scheidhauer K, Berthold F. Metabolic activity and clinical features of primary ganglioneuromas. *Cancer* 2001;91(10):1905-1913.
79. Storz C, Bares R, Ebinger M, Handgretinger R, Tsiflikas I, Schäfer JF. Diagnostic value of whole-body MRI in Opsoclonus-myoclonus syndrome: a clinical case series (3 case reports). *BMC Med Imaging* 2019;19(1):70. doi: 10.1186/s12880-019-0372-y
80. Kim JR, Yoon HM, Jung AY, Cho YA, Seo JJ, Lee JS. Comparison of whole-body MRI, bone scan, and radiographic skeletal survey for lesion detection and risk stratification of Langerhans Cell Histiocytosis. *Sci Rep* 2019;9(1):317. doi: 10.1038/s41598-018-36501-1
81. Zhen-Guo H, Min-Xing Y, Xiao-Liang C, Ran Y, He C, Bao-Xiang G, Li-Guo Y, Kai-Ning S, Chan Q, Guo-Chun W. Value of whole-body magnetic resonance imaging for screening multifocal osteonecrosis in patients with polymyositis/dermatomyositis. *The British journal of radiology* 2017;90(1073):20160780. doi: 10.1259/bjr.20160780
82. Beer M, Stenzel M, Girschick H, Schlegel PG, Darge K. [Whole-body MR imaging in children with suspected osteonecrosis after intensive chemotherapy: preliminary results]. *RoFo : Fortschritte auf dem Gebiete der Rontgenstrahlen und der Nuklearmedizin* 2008;180(3):238-245. doi: 10.1055/s-2008-1027185
83. Panwar J, Tolend M, Lim L, Tse SM, Doria AS, Laxer RM, Stimec J. Whole-body MRI Quantification for Assessment of Bone Lesions in Chronic Nonbacterial Osteomyelitis Patients Treated With Pamidronate: A Prevalence, Reproducibility, and Responsiveness Study. *J Rheumatol* 2021;48(5):751-759. doi: 10.3899/jrheum.200329
84. Zhao Y, Sato TS, Nielsen SM, Beer M, Huang M, Iyer RS, McGuire M, Ngo AV, Otjen JP, Panwar J, Stimec J, Thapa M, Toma P, Taneja A, Gove NE, Ferguson PJ. Development of a Scoring Tool for Chronic Nonbacterial Osteomyelitis Magnetic Resonance Imaging and Evaluation of its Interrater Reliability. *J Rheumatol* 2020;47(5):739-747. doi: 10.3899/jrheum.190186
85. Andreasen CM, Jurik AG, Glerup MB, Høst C, Mahler BT, Hauge EM, Herlin T. Response to Early-onset Pamidronate Treatment in Chronic Nonbacterial Osteomyelitis: A Retrospective Single-center Study. *J Rheumatol* 2019;46(11):1515-1523. doi: 10.3899/jrheum.181254
86. Østergaard M, Eshed I, Althoff CE, Poggenborg RP, Diekhoff T, Krabbe S, Weckbach S, Lambert R, Pedersen S, Maksymowych W, Peterfy C, Freeston J, Bird P, Conaghan P, Hermann KG. Whole-body Magnetic Resonance Imaging in Inflammatory Arthritis: Systematic Literature Review and First Steps Toward Standardization and an OMERACT Scoring System. *J Rheumatol* 2017;44(11):1699-1705.
87. Althoff CE, Sieper J, Song IH, Haibel H, Weiss A, Diekhoff T, Rudwaleit M, Freundlich B, Hamm B, Hermann KG. Active inflammation and structural change in early active axial spondyloarthritis as detected by whole-body MRI. *Annals of the rheumatic diseases* 2013;72(6):967-973. doi: 10.1136/annrheumdis-2012-201545
88. Panwar J, Tolend M, Redd B, Srinivasalu H, Colbert RA, Akikusa J, Appenzeller S, Carrino JA, Herregods N, Jans L, Highmore K, von Kalle T, Kirkhus E, Rumsey DG, Jaremko JL, Clemente IEJ, van Rossum MA, Stimec J, Tse SM, Twilt M, Tzaribachev N, Sudol-

- Szopinska I, Meyers AB, Doria AS. Consensus-driven conceptual development of a standardized whole body-MRI scoring system for assessment of disease activity in juvenile idiopathic arthritis: MRI in JIA OMERACT working group. *Semin Arthritis Rheum* 2021. doi: 10.1016/j.semarthrit.2021.07.017
89. Babyn PS, Edrize J, Benseler SM, Lobo-Mueller E, Stimec J, Anderson M, Reaume M, Whitney-Mahoney K, Marcuz J, Tse SM. Whole body magnetic resonance imaging in juvenile spondyloarthritis: will it provide vital information compared to clinical exam alone? *Arthritis Rheum* 2011 63:S292.
90. Tavakoli AA, Reichert M, Blank T, Dinter D, Weckbach S, Buchheidt D, Schoenberg SO, Attenberger U. Findings in whole body MRI and conventional imaging in patients with fever of unknown origin-a retrospective study. *BMC Med Imaging* 2020;20(1):94. doi: 10.1186/s12880-020-00493-0
91. Villani A, Shore A, Wasserman JD, Stephens D, Kim RH, Druker H, Gallinger B, Naumer A, Kohlmann W, Novokmet A, Tabori U, Tijerin M, Greer ML, Finlay JL, Schiffman JD, Malkin D. Biochemical and imaging surveillance in germline TP53 mutation carriers with Li-Fraumeni syndrome: 11 year follow-up of a prospective observational study. *The Lancet Oncology* 2016;17(9):1295-1305. doi: 10.1016/s1470-2045(16)30249-2
92. Glutig K, Pfeil A, Renz DM. [Imaging of tumor predisposition syndromes]. *Radiologe* 2021;61(7):658-666. doi: 10.1007/s00117-021-00861-z
93. Kratz CP, Achatz MI, Brugières L, Frebourg T, Garber JE, Greer MC, Hansford JR, Janeway KA, Kohlmann WK, McGee R, Mullighan CG, Onel K, Pajtler KW, Pfister SM, Savage SA, Schiffman JD, Schneider KA, Strong LC, Evans DGR, Wasserman JD, Villani A, Malkin D. Cancer Screening Recommendations for Individuals with Li-Fraumeni Syndrome. *Clinical cancer research : an official journal of the American Association for Cancer Research* 2017;23(11):e38-e45. doi: 10.1158/1078-0432.Ccr-17-0408
94. Saade-Lemus S, Degnan AJ, Acord MR, Srinivasan AS, Reid JR, Servaes SE, States LJ, Anupindi SA. Whole-body magnetic resonance imaging of pediatric cancer predisposition syndromes: special considerations, challenges and perspective. *Pediatric radiology* 2019;49(11):1506-1515. doi: 10.1007/s00247-019-04431-3
95. Evans DGR, Salvador H, Chang VY, Erez A, Voss SD, Schneider KW, Scott HS, Plon SE, Tabori U. Cancer and Central Nervous System Tumor Surveillance in Pediatric Neurofibromatosis 1. *Clinical cancer research : an official journal of the American Association for Cancer Research* 2017;23(12):e46-e53. doi: 10.1158/1078-0432.ccr-17-0589
96. Anupindi SA, Chauvin NA, Nichols KE. Reply to "Whole-Body MRI Screening in Children With Li-Fraumeni and Other Cancer-Predisposition Syndromes.". *AJR American journal of roentgenology* 2016;206(3):W53. doi: 10.2214/ajr.15.15646
97. Nemes K, Bens S, Bourdeaut F, Hasselblatt M, Kool M, Johann P, Kordes U, Schneppenheim R, Siebert R, Fruhwald MC. Rhabdoid Tumor Predisposition Syndrome. In: Adam MP, Ardinger HH, Pagon RA, Wallace SE, Bean LJH, Stephens K, Amemiya A, eds. *GeneReviews*(R). Seattle (WA): University of Washington, Seattle University of Washington, Seattle. GeneReviews is a registered trademark of the University of Washington, Seattle. All rights reserved., 2017.
98. Brodeur GM, Nichols KE, Plon SE, Schiffman JD, Malkin D. Pediatric Cancer Predisposition and Surveillance: An Overview, and a Tribute to Alfred G. Knudson Jr. *Clinical cancer research : an official journal of the American Association for Cancer Research* 2017;23(11):e1-e5. doi: 10.1158/1078-0432.Ccr-17-0702
99. Al-Sarhani H, Gottumukkala RV, Grasparil ADS, 2nd, Tung EL, Gee MS, Greer MC. Screening of cancer predisposition syndromes. *Pediatric radiology* 2021. doi: 10.1007/s00247-021-05023-w
100. Merlini L, Carpentier M, Ferrey S, Anooshiravani M, Poletti PA, Hanquinet S. Whole-body MRI in children: Would a 3D STIR sequence alone be sufficient for investigating common paediatric conditions? A comparative study. *European journal of radiology* 2017;88:155-162. doi: 10.1016/j.ejrad.2017.01.014
101. Perez-Rossello JM, Connolly SA, Newton AW, Zou KH, Kleinman PK. Whole-body MRI in suspected infant abuse. *AJR American journal of roentgenology* 2010;195(3):744-750. doi: 10.2214/ajr.09.3364

102. Eutsler EP, Khanna G. Whole-body magnetic resonance imaging in children: technique and clinical applications. Pediatric radiology 2016;46(6):858-872. doi: 10.1007/s00247-016-3586-y

103. Olsen OE. Practical body MRI-A paediatric perspective. European journal of radiology 2008;68(2):299-308. doi: 10.1016/j.ejrad.2008.06.034

Versionsnummer: 2.0

Erstveröffentlichung: 10/2018

Überarbeitung von: 10/2021

Nächste Überprüfung geplant: 10/2024

Die AWMF erfasst und publiziert die Leitlinien der Fachgesellschaften mit größtmöglicher Sorgfalt - dennoch kann die AWMF für die Richtigkeit des Inhalts keine Verantwortung übernehmen. **Insbesondere bei Dosierungsangaben sind stets die Angaben der Hersteller zu beachten!**

Autorisiert für elektronische Publikation: AWMF online