

# Ganzkörper-Magnetresonanztomografie im Kindes- und Jugendalter – S1-Leitlinie

## Whole-Body MRI in Children and Adolescents – S1 Guideline

### Autoren

Jürgen F. Schaefer<sup>1</sup>, Lars Daniel Berthold<sup>2</sup>, Gabriele Hahn<sup>3</sup>, Thekla von Kalle<sup>4</sup>, Jörg Detlev Moritz<sup>5</sup>, Cornelia Schröder<sup>6</sup>, Joachim Stegmann<sup>7</sup>, Marc Steinborn<sup>8</sup>, Jürgen Weidemann<sup>9</sup>, Rainer Wunsch<sup>10</sup>, Hans-Joachim Mentzel<sup>11</sup>

### Institute

- 1 Division of Paediatric Radiology, Department of Radiology, University Hospital Tübingen, Tübingen, Germany
- 2 Radiology, Asklepios Clinic Lich, Lich, Germany
- 3 Division of Paediatric Radiology, Department of Radiology, Dresden University Hospital, Germany
- 4 Department of Paediatric Radiology, Olga Hospital, Klinikum Stuttgart, Stuttgart, Germany
- 5 Paediatric Radiology, Department of Diagnostic Radiology, University Hospital Schleswig-Holstein Campus Kiel, Kiel, Germany
- 6 Pediatric Radiology, Förderradiologicum, Standort Lubinus, Kiel, Germany
- 7 Department of Radiology, Children's Hospital Wilhelmstift gGmbH, Hamburg, Germany
- 8 Department of Diagnostic and Interventional Radiology and Pediatric Radiology, Städtisches Klinikum München Schwabing, München, Germany
- 9 Paediatric Radiology, Children's Hospital Auf der Bult, Hannover, Germany
- 10 Pediatric Radiology, Ranova Marienhospital Witten, Witten, Germany
- 11 Section of Paediatric Radiology, Institute of Diagnostic and Interventional Radiology, University Hospital Jena, Jena, Germany

### Key words

children, adolescents, whole-body MRI

eingereicht 12.12.2018

akzeptiert 02.01.2019

### Bibliografie

DOI <https://doi.org/10.1055/a-0832-2498>

Online-Publikation: 21.3.2019

Fortschr Röntgenstr 2019; 191: 618–625

© Georg Thieme Verlag KG, Stuttgart · New York

ISSN 1438-9029

### Korrespondenzadresse

Prof. Hans-Joachim Mentzel  
Pädiatrische Radiologie, Institut für Diagnostische und Interventionelle Radiologie  
Klinikum der Friedrich-Schiller-Universität Jena,  
Am Klinikum 1, 07747 Jena, Germany  
Tel.: ++49/36 41/9 32 85 01  
Fax: ++49/36 41/9 32 85 02  
[hans-joachim.mentzel@med.uni-jena.de](mailto:hans-joachim.mentzel@med.uni-jena.de)

### ZUSAMMENFASSUNG

Die Ganzkörper-Magnetresonanztomografie (GK-MRT) ist eine bildgebende Methode, welche unter Nutzung fortgeschrittener Verfahren moderner MRT-Geräte eine hochauflösende Darstellung des gesamten Körpers ermöglicht. 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.

### Zitierweise

- Schaefer JF, Berthold LD, Hahn G et al. Whole-Body MRI in Children and Adolescents – S1 Guidelines. Fortschr Röntgenstr 2019; 191: 618–625

### ABSTRACT

Whole-body MRI is an imaging method that uses advanced modern MRI equipment to provide high-resolution images of the entire body. The goal of these guidelines is to specify the indications for which whole-body MRI can be recommended in children and adolescents and to describe the necessary technical requirements.

# 1. Einleitung

Die Ganzkörper-Magnetresonanztomografie (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 Focus [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 Focus 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 Lungen-Bildgebung 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 insbe-

sondere 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

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 (► Tab. 1)

### 3.1.1 Maligne Tumoren

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. Allerdings ist die GK-MRT als Instrument zur Ausbreitungsdiagnostik bislang in Therapiestudien der onkologischen nationalen und internationalen Fachgesellschaften (GPOH, SIOP) in der Regel nicht vorgesehen. Es ist jedoch anzunehmen, dass die GK-MRT in der Weiterentwicklung der Protokolle zukünftig Berücksichtigung finden wird. Die Indikationen können dennoch 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 Diffusions-Bildgebung (DWI) im Rahmen der Responsebeurteilung ist noch Gegenstand der Forschung. Die Minderung der Diffusionsrestriktion ist 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 Inte-

► **Tab. 1** Mögliche Indikationen für eine GK-MRT.

Diagnose	Fragestellung
maligne Tumoren	Staging, Tumorausbreitung, Re-Staging und Follow-Up
Langerhans-Cell-Histiocytose (LCH)	Ausbreitungsdiagnostik, unifokal vs. multifokal, Therapie-Monitoring
avaskuläre Osteonekrose (AVN)	Ausmaß und Schweregrad, Detektion von asymptomatischen Befunden
chronisch nicht bakterielle Osteomyelitis (CNO/NBO/CRMO)	unifokal vs. multifokal, „silent lesion“, Therapie-Monitoring
Fiebersyndrome	Fokus, Ausmaß der Veränderungen, Tumorausschluss
Syndrome bzw. genetische Prädisposition mit erhöhtem Tumorrisiko	Ausmaß der Veränderungen, Tumor-Screening
battered-child-syndrome	kein Standard; ergänzend zur Beurteilung des Ausmaßes der Verletzungen, insbesondere Weichteile und Organbeteiligung (siehe Leitlinie Verdacht auf Kindesmisshandlung – bildgebende Diagnostik)

rimskontrolle prognostische Bedeutung zu haben [28] und kennzeichnet die residuelle Tumormast 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 verdächtigt werden [11–13, 18, 31, 33, 69]. Die Diffusionsrestriktion scheint beim aggressiven NHL stärker ausgeprägt zu sein als beim HL [70]. 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 Schnitt-Bildgebung 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] 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 gestellt werden.

Von den embryonalen Tumoren gibt es für das Neuroblastom eine gewisse Evidenz zur Diagnostik mittels GK-MRT [10, 15, 20, 21, 32, 71]. 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 <sup>123</sup>I-MIBG (Metaiodobenzylguanidin)-Szintigrafie zu sehen und ersetzt dabei die zusätzlich notwendige Skelettszintigrafie [21, 32]. 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 bisherigen Daten legen nahe, dass es einen Zusammenhang zwischen der Abnahme der Diffusionsrestriktion und dem Therapieansprechen gibt [72]. Bei okkulten Tumoren im Rahmen eines Opsoklonus-Myoklonus-Syndroms (OMS) kann die <sup>123</sup>I-MIBG (Metaiodobenzylguanidin)-Szintigrafie in bis zu 57 % der Fälle negativ sein, wenn ein Ganglioneurom vorliegt [73]. Daher ist die GK-MRT als Suchmethode zu favorisieren, nicht zuletzt auch wegen der fehlenden Strahlenexposition [10].

### 3.1.2 Langerhans-Zell-Histiocytose (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 extraskeletalen Manifestationen einschließlich des ZNS-Befalls beim primären Staging vorteilhaft sein [52, 56]. Die geringere Spezifität der MRT sollte in Abhängigkeit methodischer Aspekte bei der Beurteilung der Ausbreitung und des Therapiean-

sprechens bedacht werden [52], auch um eine unnötige bzw. zu extensive Behandlung zu vermeiden.

### 3.1.3 Avaskuläre Osteonekrose (AVN)

Unter Steroidtherapie oder in Kombination mit einer Hochdosischemotherapie finden sich mehr avaskuläre Nekrosen als klinisch vermutet [58, 74, 75]. Die konventionelle Bildgebung ist in frühen Stadien negativ [58, 74, 75]. Der Schweregrad und die Lokalisation (z. B. subchondral) sind wichtige Kriterien für die Entscheidung zu einer notwendigen operativen Therapie [58, 74, 75]. Bei entsprechender Risikokonstellation ergibt sich daher eine Indikation zur GK-MRT.

### 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 Skelettszintigrafie ist die GK-MRT bezogen auf symptomatische Regionen sogar signifikant sensitiver [64]. Differenzialdiagnostische 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].

### 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 Psoriasis-Arthritis Scoring-Systeme entwickelt [76]. Für den Einsatz der GK-MRT bei Erwachsenen mit rheumatischer Arthritis gibt es einen ersten Konsensus-Report der Outcome-Measures-in-Rheumatology (OMERACT) -MRI-Working-Group, in welchem anhand eines systematischen Literaturreviews auch für die GK-MRT ein Scoring-System vorgeschlagen wird [76, 77]. Studien im Kindes- und Jugendalter hingegen sind rar [2]. 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 [78]. Dies kann auch für andere Formen der rheumatoiden Arthritis im Einklang mit den Daten für Erwachsene angenommen werden [76]. Die Detektion extraskelettaler Befunde in Gehirn, Weichteilen und 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 mithilfe 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 Focus oder ein bisher unbekanntes malignes Geschehen sprechen, sind Indikationen für eine Ganzkörper-Bildgebung. Die GK-MRT ohne Strahlenexposition ist hier alternativ zur PET/CT zu sehen [57], wobei vergleichende Studien bislang nicht existieren.

### 3.1.6 Syndrome mit erhöhtem Tumorrisiko

Die GK-MRT ist grundsätzlich auch bei asymptomatischen Patienten mit hereditären Tumorsyndromen geeignet, um die Entwicklung eines soliden Tumors zu erfassen, wie bereits für das Li-Fraumeni-Syndrom [38, 40] gezeigt. Die GK-MRT wird auch für andere Syndrome empfohlen [39, 79–81]. 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]. Dies erscheint auch für andere Syndrome vernünftig.

### 3.1.7 Battered-child-syndrome

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 Standard-Bildgebung beim battered-child-syndrome empfohlen werden. Dem großen Vorteil der umfassenden *Diagnostik* in einer einzigen Untersuchung [82] steht die nicht ausreichende Sensitivität der alleine mittels koronaler STIR durchgeführten GK-MRT für die typischen Skelettbefunde insbesondere beim Säugling gegenüber [83] (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 hochauflösenden 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 koronalen Aufnahmen der einzelnen Körperregionen automatisch zu Ganzkörper-Schichtdarstellungen zusammengesetzt.

► **Tab. 2** Beispiel eines GK-MRT-Protokolls aus der pädiatrischen Radiologie der Universitätsklinik Tübingen (nach 6).

Module	Region	Sequenztyp	Orientierung und Phasenkodier-Richtung	Basismatrix (ohne Interpolation in Ausleserichtung)	Anmerkungen
Basismodul	Ganzkörper	2 D STIR TSE/FSE	koronal FH	384	bei MSK-Fragestellungen Hände auf das Abdomen lagern
	Kopf und Hals	2 D STIR TSE/FSE	transversal AP	384	kaudal bis Aortenbogen
	Thorax	2 D T2w TSE/FSE mit Fettsättigung mit Atemtrigger	transversal AP	384	wenn möglich, radiales K-Raum-Sampling
	Abdomen und Becken	2 D T2 TSE/FSE mit Fettsättigung mit Atemtrigger	transversal AP	384	wenn möglich, radiales K-Raum-Sampling
DWI	Ganzkörper	2 D EPI (SPAIR) 2 b-Werte 50 und 900 s/mm <sup>2</sup>	transversal AP	128	koronale MPR ADC-Karte Kalkulation eines hohen b-Wertes > 1200 s/mm <sup>2</sup>
Kontrastmittel angehobene Sequenzen	Ganzkörper	3 D T1w GRE (VIBE) mit Fettsättigung oder Dixon	transversal AP	288 – 320	wenn möglich, Aufnahmen in Atemstopp koronale 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.

### 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, essenziell (► **Tab. 2**, Beispiel eines GK-MRT-Protokolls aus der pädiatrischen Radiologie der Universitätsklinik Tübingen) [1–4, 6, 84]. 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 koronaler Orientierung sollte in jedem Fall akquiriert werden. Um mögliche Einschränkungen der diagnostischen Genauigkeit durch Partialvolumeneffekte zu vermeiden, sollten weitere Akquisitionen in transversaler Orientierung, z. B. mittels T2-gewichteter und fettgesättigter bzw. STIR-Sequenzen im Bereich von Kopf und Hals sowie Körperstamm, erfolgen [1–4, 6, 84]. 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 Achsenkett 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 können. 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, 84]. 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 [85]. Dies gilt umso mehr, wenn lediglich eine Schichtebene akquiriert wird. Daher kann folgende Vorgehensweise hilfreich sein: Ausgehend von einer üblichen Auflösungsmatrix (256<sup>2</sup>–384<sup>2</sup>) reduziert sich die Voxelgröße durch Anpassung von FoV und in moderatem Maße der Schichtdicke an eine geringere Körpergröße, wodurch die anatomische Auflösung/Bildinforma-



tion 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 Mess-Zeit 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.

## Interessenkonflikt

Die Autoren geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

## Publikation

Dieser Beitrag wurde auch in „Mentzel H-J et al.: Ganzkörper-MRT im Kindes- und Jugendalter. In: Deutsche Gesellschaft für Kinder- und Jugendmedizin (Hrsg.): Leitlinien Kinder- und Jugendmedizin. Loseblattwerk in 3 Bänden. 2019, München: Elsevier, Urban & Fischer“ publiziert.

## Literatur

- [1] Darge K, Jaramillo D, Siegel MJ. Whole-body MRI in children: current status and future applications. *European journal of radiology* 2008; 68: 289–298
- [2] Greer MC. Whole-body magnetic resonance imaging: techniques and non-oncologic indications. *Pediatric radiology* 2018; 48: 1348–1363
- [3] Ley S, Ley-Zaporozhan J, Schenk JP. Whole-body MRI in the pediatric patient. *European journal of radiology* 2009; 70: 442–451
- [4] Schaefer JF, Schlemmer HP. Total-body MR-imaging in oncology. *European radiology* 2006; 16: 2000–2015
- [5] Nieselstein RA, Littooi AS. Whole-body MRI in paediatric oncology. *La Radiologia medica* 2016; 121: 442–453
- [6] Schaefer JF, Kramer U. Whole-body MRI in children and juveniles. *RöFo: Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen und der Nuklearmedizin* 2011; 183: 24–36
- [7] Goo HW. Regional and whole-body imaging in pediatric oncology. *Pediatric radiology* 2011; 41 (Suppl. 1): S186–S194
- [8] Hong TS, Greer ML, Grosse-Wortmann L et al. Whole-body MR angiography: initial experience in imaging pediatric vasculopathy. *Pediatric radiology* 2011; 41: 769–778
- [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: 353–358
- [10] Miras Azcon F, Culiarez 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: e54–e57
- [11] Littooi AS, Kwee TC, Barber I et al. Whole-body MRI for initial staging of paediatric lymphoma: prospective comparison to an FDG-PET/CT-based reference standard. *European radiology* 2014; 24: 1153–1165
- [12] Klenk C, Gawande R, Uslu L et al. 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: 275–285
- [13] Adams HJ, Kwee TC, Vermoolen MA et al. Whole-body MRI vs. CT for staging lymphoma: patient experience. *European journal of radiology* 2014; 83: 163–166
- [14] Adams HJ, Kwee TC, Lokhorst HM et al. 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: 1394–1400
- [15] Siegel MJ, Acharyya S, Hoffer FA et al. 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: 599–609
- [16] Punwani S, Taylor SA, Saad ZZ et al. Diffusion-weighted MRI of lymphoma: prognostic utility and implications for PET/MRI? *European journal of nuclear medicine and molecular imaging* 2013; 40: 373–385
- [17] Punwani S, Cheung KK, Skipper N et al. Dynamic contrast-enhanced MRI improves accuracy for detecting focal splenic involvement in children and adolescents with Hodgkin disease. *Pediatric radiology* 2013; 43: 941–949
- [18] Punwani S, Taylor SA, Bainbridge A et al. 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: 182–190
- [19] Kwee TC, Takahara T, Vermoolen MA et al. Whole-body diffusion-weighted imaging for staging malignant lymphoma in children. *Pediatric radiology* 2010; 40: 1592–1602; quiz 720–721
- [20] Krohmer S, Sorge I, Krause A et al. Whole-body MRI for primary evaluation of malignant disease in children. *European journal of radiology* 2010; 74: 256–261
- [21] Goo HW. Whole-body MRI of neuroblastoma. *European journal of radiology* 2010; 75: 306–314
- [22] Burdach S, Thiel U, Schoniger M et al. 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: 483–489
- [23] Mentzel HJ, Kentouche K, Sauner D et al. Comparison of whole-body STIR-MRI and 99mTc-methylene-diphosphonate scintigraphy in children with suspected multifocal bone lesions. *European radiology* 2004; 14: 2297–2302
- [24] Laffan EE, O'Connor R, Ryan SP et al. Whole-body magnetic resonance imaging: a useful additional sequence in paediatric imaging. *Pediatric radiology* 2004; n34: n472–n480
- [25] Kellenberger CJ, Epelman M, Miller SF et al. Fast STIR whole-body MR imaging in children. *Radiographics: a review publication of the Radiological Society of North America, Inc* 2004; 24: 1317–1330
- [26] Daldrup-Link HE, Franzius C, Link TM et al. Whole-body MR imaging for detection of bone metastases in children and young adults: comparison with skeletal scintigraphy and FDG PET. *American journal of roentgenology* 2001; 177: 229–236
- [27] Regacini R, Puchnick A, Luisi FAV et al. Can diffusion-weighted whole-body MRI replace contrast-enhanced CT for initial staging of Hodgkin lymphoma in children and adolescents? *Pediatric radiology* 2018; 48: 638–647
- [28] Albano D, Patti C, Matranga D et al. 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
- [29] Yoon HM, Kim JR, Jung AY et al. Whole Body MR Imaging: A Useful Imaging Modality in the Management of Children With Acute Myeloid Leukemia. *Clinical lymphoma, myeloma & leukemia* 2017; 17: 231–237
- [30] Raissaki M, Demetriou S, Spanakis K et al. Multifocal bone and bone marrow lesions in children – MRI findings. *Pediatric radiology* 2017; 47: 342–360

- [31] Littooi AS, Kwee TC, Barber I et al. Accuracy of whole-body MRI in the assessment of splenic involvement in lymphoma. *Acta radiologica* (Stockholm, Sweden: 1987) 2016; 57: 142–151
- [32] Pai Panandiker AS, Coleman J, Shulkin B. Whole-Body Pediatric Neuroblastoma Imaging: 123I-mIBG and Beyond. *Clinical nuclear medicine* 2015; 40: 737–739
- [33] Littooi AS, Kwee TC, de Keizer B et al. 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: 1646–1655
- [34] Smets AM, Deurloo EE, Slager THE et al. 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: 241–252
- [35] Kembhavi SA, Rangarajan V, Shah S et al. Prospective observational study on diagnostic accuracy of whole-body MRI in solid small round cell tumours. *Clinical radiology* 2014; 69: 900–908
- [36] Kumar J, Seith A, Kumar A et al. 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: 953–962
- [37] Goo HW, Choi SH, Ghim T et al. Whole-body MRI of paediatric malignant tumours: comparison with conventional oncological imaging methods. *Pediatric radiology* 2005; 35: 766–773
- [38] O'Neill AF, Voss SD, Jagannathan JP et al. Screening with whole-body magnetic resonance imaging in pediatric subjects with Li-Fraumeni syndrome: A single institution pilot study. *Pediatric blood & cancer* 2018; 65: 1–9. doi:10.1002/pbc.26822
- [39] Rednam SP, Erez A, Druker H et al. 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: e68–e75
- [40] Ballinger ML, Best A, Mai PL et al. Baseline Surveillance in Li-Fraumeni Syndrome Using Whole-Body Magnetic Resonance Imaging: A Meta-analysis. *JAMA oncology* 2017; 3: 1634–1639
- [41] Anupindi SA, Bedoya MA, Lindell RB et al. Diagnostic Performance of Whole-Body MRI as a Tool for Cancer Screening in Children With Genetic Cancer-Predisposing Conditions. *American journal of roentgenology* 2015; 205: 400–408
- [42] Nguyen R, Jett K, Harris GJ et al. 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: 307–313
- [43] Friedman DN, Lis E, Sklar CA et al. 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: 1440–1444
- [44] Derlin T, Tornquist K, Munster S et al. 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: e19–e25
- [45] Karmazyn B, Cohen MD, Jennings SG et al. 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: 1218–1222
- [46] Mautner VF, Asuagbor FA, Dombi E et al. Assessment of benign tumor burden by whole-body MRI in patients with neurofibromatosis 1. *Neuro-oncology* 2008; 10: 593–598
- [47] Arnoldi AP, Schlett CL, Douis H et al. Whole-body MRI in patients with Non-bacterial Osteitis: Radiological findings and correlation with clinical data. *European radiology* 2017; 27: 2391–2399
- [48] Herruela-Suffee C, Warin M, Castier-Amouyel M et al. Whole-body MRI in generalized cystic lymphangiomatosis in the pediatric population: diagnosis, differential diagnoses, and follow-up. *Skeletal radiology* 2016; 45: 177–185
- [49] Roderick M, Shah R, Finn A et al. 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: 1973–1976
- [50] Hofmann C, Wurm M, Schwarz T et al. A standardized clinical and radiological follow-up of patients with chronic non-bacterial osteomyelitis treated with pamidronate. *Clinical and experimental rheumatology* 2014; 32: 604–609
- [51] Castro TC, Lederman H, Terreri MT et al. Whole-body magnetic resonance imaging in the assessment of muscular involvement in juvenile dermatomyositis/polymyositis patients. *Scandinavian journal of rheumatology* 2014; 43: 329–333
- [52] Mueller WP, Melzer HI, Schmid I et al. The diagnostic value of 18F-FDG PET and MRI in paediatric histiocytosis. *European journal of nuclear medicine and molecular imaging* 2013; 40: 356–363
- [53] Falip C, Alison M, Boutry N et al. Chronic recurrent multifocal osteomyelitis (CRMO): a longitudinal case series review. *Pediatric radiology* 2013; 43: 355–375
- [54] Fritz J, Tzaribatchev N, Claussen CD et al. Chronic recurrent multifocal osteomyelitis: comparison of whole-body MR imaging with radiography and correlation with clinical and laboratory data. *Radiology* 2009; 252: 842–851
- [55] Steinborn M, Wortler K, Nathrath M et al. Whole-body MRI in children with langerhans cell histiocytosis for the evaluation of the skeletal system. *RöFo: Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen und der Nuklearmedizin* 2008; 180: 646–653
- [56] Goo HW, Yang DH, Ra YS et al. Whole-body MRI of Langerhans cell histiocytosis: comparison with radiography and bone scintigraphy. *Pediatric radiology* 2006; 36: 1019–1031
- [57] Rossi E, Perrone A, Narese D et al. Role of Whole-Body MR with DWIBS in child's Bartonellosis. *La Clinica terapeutica* 2016; 167: 101–104
- [58] Littooi AS, Kwee TC, Enriquez G et al. Whole-body MRI reveals high incidence of osteonecrosis in children treated for Hodgkin lymphoma. *British journal of haematology* 2017; 176: 637–642
- [59] Leclair N, Thorner G, Sorge I et al. Whole-Body Diffusion-Weighted Imaging in Chronic Recurrent Multifocal Osteomyelitis in Children. *PLoS one* 2016; 11: e0147523
- [60] Aquino MR, Tse SM, Gupta S et al. Whole-body MRI of juvenile spondyloarthritis: protocols and pictorial review of characteristic patterns. *Pediatric radiology* 2015; 45: 754–762
- [61] Malattia C, Damasio MB, Madeo A et al. Whole-body MRI in the assessment of disease activity in juvenile dermatomyositis. *Annals of the rheumatic diseases* 2014; 73: 1083–1090
- [62] von Kalle T, Heim N, Hospach T et al. Typical patterns of bone involvement in whole-body MRI of patients with chronic recurrent multifocal osteomyelitis (CRMO). *RöFo: Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen und der Nuklearmedizin* 2013; 185: 655–661
- [63] Pratesi A, Medici A, Bresci R et al. Sickle cell-related bone marrow complications: the utility of diffusion-weighted magnetic resonance imaging. *Journal of pediatric hematology/oncology* 2013; 35: 329–330
- [64] Morbach H, Schneider P, Schwarz T et al. 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: 578–582
- [65] Miettunen PM, Lafay-Cousin L, Guilcher GM et al. Widespread osteonecrosis in children with leukemia revealed by whole-body MRI. *Clinical orthopaedics and related research* 2012; 470: 3587–3595
- [66] Kennedy MT, Murphy T, Murphy M et al. Whole body MRI in the diagnosis of chronic recurrent multifocal osteomyelitis. *Orthopaedics & traumatology, surgery & research: OTSR* 2012; 98: 461–464

- [67] Guerin-Pfyffer S, Guillaume-Czitrom S, Tammam S et al. Evaluation of chronic recurrent multifocal osteitis in children by whole-body magnetic resonance imaging. *Joint, bone, spine: revue du rhumatisme* 2012; 79: 616–620
- [68] Ferreira EC, Brito CC, Domingues RC et al. Whole-body MR imaging for the evaluation of McCune-albright syndrome. *Journal of magnetic resonance imaging: JMRI* 2010; 31: 706–710
- [69] Lim GY, Hahn ST, Chung NG et al. Subcutaneous panniculitis-like T-cell lymphoma in a child: whole-body MRI in the initial and follow-up evaluations. *Pediatric radiology* 2009; 39: 57–61
- [70] Sun M, Cheng J, Zhang Y et al. Application of DWIBS in malignant lymphoma: correlation between ADC values and Ki-67 index. *European radiology* 2018; 28: 1701–1708
- [71] Kellenberger CJ, Miller SF, Khan M et al. Initial experience with FSE STIR whole-body MR imaging for staging lymphoma in children. *European radiology* 2004; 14: 1829–1841
- [72] Neubauer H, Li M, Muller VR et al. Diagnostic Value of Diffusion-Weighted MRI for Tumor Characterization, Differentiation and Monitoring in Pediatric Patients with Neuroblastic Tumors. *RöFo: Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen und der Nuklearmedizin* 2017; 189: 640–650
- [73] Georger B, Hero B, Harms D et al. Metabolic activity and clinical features of primary ganglioneuromas. *Cancer* 2001; 91: 1905–1913
- [74] Zhen-Guo H, Min-Xing Y, Xiao-Liang C et al. Value of whole-body magnetic resonance imaging for screening multifocal osteonecrosis in patients with polymyositis/dermatomyositis. *The British journal of radiology* 2017; 90: 20160780
- [75] Beer M, Stenzel M, Girschick H et al. Whole-body MR imaging in children with suspected osteonecrosis after intensive chemotherapy: preliminary results. *RöFo: Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen und der Nuklearmedizin* 2008; 180: 238–245
- [76] Østergaard M, Eshed I, Althoff CE et al. 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: 1699–1705
- [77] Althoff CE, Sieper J, Song IH et al. Active inflammation and structural change in early active axial spondyloarthritis as detected by whole-body MRI. *Annals of the rheumatic diseases* 2013; 72: 967–973
- [78] Babyn PS, Edrize J, Benseler SM et al. Whole body magnetic resonance imaging in juvenile spondyloarthritis: will it provide vital information compared to clinical exam alone? *Arthritis Rheum* 2011; 63: S292
- [79] Evans DGR, Salvador H, Chang VY et al. 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: e46–e53
- [80] Anupindi SA, Chauvin NA, Nichols KE. Reply to “Whole-Body MRI Screening in Children With Li-Fraumeni and Other Cancer-Predisposition Syndromes”. *American journal of roentgenology* 2016; 206: W53
- [81] Nemes K, Bens S, Bourdeaut F et al. Rhabdoid Tumor Predisposition Syndrome. In: Adam MP, Ardinger HH, Pagon RA, et al., eds; *GeneReviews* ((R)). Seattle (WA): University of Washington, Seattle GeneReviews is a registered trademark of the University of Washington, Seattle. All rights reserved 2017
- [82] Merlini L, Carpentier M, Ferrey S et al. 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
- [83] Perez-Rossello JM, Connolly SA, Newton AW et al. Whole-body MRI in suspected infant abuse. *American journal of roentgenology* 2010; 195: 744–750
- [84] Eutsler EP, Khanna G. Whole-body magnetic resonance imaging in children: technique and clinical applications. *Pediatric radiology* 2016; 46: 858–872
- [85] Olsen OE. Practical body MRI-A paediatric perspective. *European journal of radiology* 2008; 68: 299–308