

Radiologe 2019 · 59:444–453
<https://doi.org/10.1007/s00117-019-0523-8>
 Online publiziert: 25. April 2019
 © Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von
 Springer Nature 2019



Christian Krestan

Abteilung für Allgemeine- und Kinderradiologie, Universitätsklinik für Radiologie und Nuklearmedizin,
 Medizinische Universität Wien, Wien, Österreich

Kontrastmittel – Handlungsempfehlungen für die Praxis

Der vorliegende Beitrag beschäftigt sich mit der Vorbereitung für die intravenöse Anwendung jodhaltiger und gadoliniumhaltiger Kontrastmittel (KM). Auf andere Kontrastmittelklassen wie bariumhaltige Suspensionen, negative MR-Kontrastmittel (Eisenoxydhaltig) sowie Ultraschallkontrastmittel wird hier nicht eingegangen. Bei vielen Fragestellungen, beispielsweise in der traumatologischen Diagnostik, der kardiovaskulären Radiologie sowie der radiologischen Abklärung onkologischer Patienten, ist die intravenöse Kontrastmittelapplikation essenziell.

Kontrastmittel werden vorwiegend renal und zu einem geringeren Anteil biliär ausgeschieden. Dies hat sowohl bei jodhaltigen als auch bei MR-Kontrastmitteln relevante Implikationen in der Anwendung bei Patienten mit eingeschränkter Nierenfunktion. Die Dichteanhebung durch jodhaltige Kontrastmittel in der CT und Angiographie sowie auch der Signalanstieg durch die Verkürzung der T1-Relaxationszeit bei gadoliniumhaltigen MR-Kontrastmitteln ist konzentrationsabhängig und führt zu einer Kontrastanhebung in Gefäßen und parenchymatösen Strukturen. Unabdingbar sind intravenöse Kontrastmittel zur Charakterisierung von fokalen Parenchymläsionen oder ischämischen Infarkten.

Kontrastmittel helfen bei der Differenzierung von neoplastischen und entzündlichen Läsionen und liefern Informationen über das Ausscheidungsverhalten der Niere und die morphologischen Gegebenheiten des ableitenden Harnsystems. Neben den diffusions-

gewichteten Sequenzen ist die MRT-Perfusionsdiagnostik des Gehirns ein unerlässliches Tool für die Vorgangsweise beim akuten ischämischen Insult. Auch die CT-Angiographie praktisch aller Gefäßsysteme beim Polytrauma und bei arteriellen Verschlusskrankungen ist aus der modernen radiologischen Diagnostik nicht mehr wegzudenken.

Die in der EU am weitesten verbreiteten und anerkannten Empfehlungen zur Verwendung von Kontrastmitteln sind die in der derzeit aktuellen Version 10.0 enthaltenen ESUR-Contrast Media Safety Guidelines der European Society of Urogenital Radiology (ESUR; <http://www.esur.org/>).

Der Fokus dieses Kapitels liegt auf der Vermittlung praktisch-relevanter Informationen zur Vorgangsweise bei Patienten mit anamnestisch bekannten akuten unerwünschten Nebenwirkungen bzw. zur Prävention bei geplanter Verabreichung gadolinium- und jodhaltiger Kontrastmittel.

Die modernen, nichtionischen, jodhaltigen Röntgenkontrastmittel weisen eine geringe Inzidenz unerwünschter Wirkungen auf; diese liegt bei deutlich weniger als 1 % (0,34 %). Davon ist die überwiegende Mehrheit als milde Nebenwirkung einzustufen [1]. Schwere unerwünschte Ereignisse sind in ca. 0,01 % der Fälle zu erwarten.

Patientenselektion und Kontrastmittelaufklärungsbögen

Bei der Durchführung einer Kontrastmittel-unterstützten CT- oder MRT-Untersuchung ist stets das individuelle Risiko-Nutzen-Verhältnis in Bezug auf die medizinische Notwendigkeit und Dring-

lichkeit der Untersuchung abzuwägen. Überwiegt der Patientennutzen gegenüber möglichen unerwünschten Wirkungen durch die Kontrastmittelgabe, so sind entsprechende Präventivmaßnahmen zu setzen. Bei der Auswahl von Alternativverfahren zur CT oder MRT ist die Datenlage in Bezug auf die jeweilige Indikation bzw. Verdachtsdiagnose zu berücksichtigen.

International gültige Leitlinien für die Anwendung radiologischer Untersuchungen sind die sog. ACR Appropriateness Criteria des American College of Radiology. Vom ACR werden verschiedene Themenbereiche angeführt (z. B. Breast, Gastrointestinal, Interventional, Pediatric). Zu jedem dieser Themenbereiche finden sich zahlreiche Unterthemen aufgelistet, z. B. Musculoskeletal – Acute Hand and Wrist Trauma, Acute Trauma to the Ankle, Acute Trauma to the Knee etc.

Was die Eignung der Untersuchung für die Beantwortung der Fragestellung betrifft, wird ein Rating angegeben. Dabei bedeutet:

- 1,2,3: üblicherweise nicht geeignet,
- 4,5,6: kann geeignet sein,
- 7,8,9: üblicherweise geeignet.

Exemplarisch sei das stumpfe Bauchtrauma mit V. a. Polytrauma angeführt: Eine CT Abdomen inkl. Becken mit Kontrastmittel erhält den Score 9, während eine CT Abdomen inkl. Becken ohne Kontrastmittel nur mit dem Score 5 bewertet wird. Der Ultraschall (US) des Abdomens (eFAST) wird mit einem Score von 4 bewertet, während die selektive US-Untersuchung der Niere und Harnblase nur mit einem Score von 2 versehen und somit als nicht geeignet angesehen wird.

Körpergröße (cm) Gewicht (kg)

Haben Sie schon einmal eine dieser Untersuchungen gehabt?

Computertomographie (CT) Nein Ja

Gefäßröntgen (Angiographie / Herzkatheter) Nein Ja

Nierenröntgen (Urographie) Nein Ja

Darstellung der Beinvenen (Phlebographie) Nein Ja

Traten bei Ihnen nach der Gabe von Kontrastmittel Nebenwirkungen auf? Nein Ja

Wenn ja, welche?

Übelkeit / Erbrechen / Würgegefühl Nein Ja

Asthmaanfall / Atemnot Nein Ja

Hautausschlag Nein Ja

Krampfanfälle, Bewusstlosigkeit Nein Ja

Schüttelfrost Nein Ja

Leiden Sie an einer der folgenden Erkrankungen?

Allergien, die einer Behandlung bedürfen? Nein Ja

des Herzens Nein Ja

Bluthochdruck Nein Ja

der Niere / Nebenniere? Nein Ja

Wie hoch war ihr letztes Serumkreatinin/eGFR

Z.n. Nierenoperation? Nein Ja

Eiweißausscheidung im Harn (Proteinurie) Nein Ja

Erkrankungen der Schilddrüse ? Nein Ja

Zuckerkrankheit (Diabetes)? Nein Ja

Wenn ja, welche Diabetes-Medikamente nehmen Sie? Metformin?

Myasthenia gravis? (spezielle Muskelerkrankung) Nein Ja

Für Frauen:

Besteht die Möglichkeit einer Schwangerschaft? Nein Ja

Abb. 1 ▲ Checkliste 1. (Adaptiert aus „Aufklärungsblatt Computertomographie“ der österreichischen Röntgengesellschaft, OERG; [2])

Man erkennt also, dass die Verwendung von intravenösem Kontrastmittel bei Polytraumapatienten die „appropriateness“ der jeweiligen Untersuchung um eine Stufe von „kann geeignet sein“ auf „üblicherweise geeignet“ anhebt.

Bei vitaler Indikation für eine Untersuchung (z. B. CT-Angiographie bei lebensbedrohlicher Blutung) kann die Entscheidung zur Kontrastmittelgabe auch bei relativen Kontraindikationen getroffen werden.

Rechtlich bedeutend ist die Patientenaufklärung, deren Verpflichtung sich

aus dem aus dem Behandlungsvertrag, den der Patient mit dem Krankenhaus-Arzt abschließt. Der Arzt hat als Teil der Heilbehandlung die Pflicht, den Patienten über Art und Schwere sowie über die möglichen Gefahren und schädlichen Folgen der Behandlung oder deren Unterlassung aufzuklären sowie darüber zu unterrichten, dass daneben auch noch andere, weniger gefährliche, wenngleich vielleicht länger dauernde Behandlungsmethoden Erfolgsaussichten haben. Aufklärungspflicht besteht natürlich – insbe-

sondere auch bei der Verabreichung von intravenösen Kontrastmitteln.

Folgende Kriterien sind daher bei der Aufklärungsverpflichtung zu beachten:

- die Risikohäufigkeit,
- die Dringlichkeit der Untersuchung
- die Persönlichkeitsstruktur des Patienten.

Die Aufklärung hat jedenfalls umso weniger umfassend zu sein, je notwendiger der Eingriff in die Gesundheit des Patienten ist. Selbst wenn der Patient seine schriftliche Zustimmung zu einem Eingriff gibt, ersetzt diese Unterschrift nicht die nötige Aufklärung durch den Arzt. Die Unterschrift des Patienten führt genauso wenig zu einem Haftungsausschluss des Arztes.

Beispiele für relevante Informationen, die vor geplanter Kontrastmittelgabe in der CT zu erheben sind, sind in der Checkliste in **Abb. 1** aufgeführt.

Fragebögen dienen dazu, Risikopatienten zu selektionieren. Um Patienten mit einer möglichen Nierenfunktions-einschränkung herauszufiltern, empfehlen manche Autoren eine eingeschränkte Checkliste und eine obligate Kreatininbestimmung ab 70 Jahren bei Fehlen sonstiger Risikofaktoren [2]. Die Prävalenz moderater bis schwerer renaler Insuffizienz bei vorheriger Anwendung des ESUR-Fragebogens betrug knapp über 6% [3].

Renale unerwünschte Wirkungen

Die Kontrastmittel-assoziierte akute Nierenschädigung (PC-AKI) ist definitionsgemäß eine akute Auslenkung des Serumkreatinins mit nachfolgenden Kriterien:

- Erhöhung des Serumkreatinins um 0,3 mg/dl innerhalb von 2 Tagen,
- Erhöhung des Serumkreatinins um das $\geq 1,5$ -fache des Referenzwertes innerhalb von 48–72 h nach KM-Gabe.

Üblicherweise ist die PC-AKI reversibel und weder oligurisch oder anurisch. Für die Abschätzung der Einschränkung der Nierenfunktion ist die berechnete glomeruläre Filtrationsrate heranzuzie-

hen (eGFR; **Tab. 1**). Diese bildet die Nierenfunktion deutlich genauer ab, als dies der Serumkreatininwert alleine zulässt [4]. So kann beispielsweise die eGFR bei adipösen Patienten selbst bei Kreatininwerten von >1,5/1,7 mg/dl noch im Normbereich sein.

Die Formeln zur Bestimmung der eGFR sind in **Abb. 2** abgebildet und unterscheiden sich nur marginal bezogen auf das errechnete Ergebnis. Die ESUR empfiehlt die CKD-EPI zur Berechnung der glomerulären Filtrationsrate. Auch die Art der Injektion bzw. die Frage, ob venös oder intraarteriell injiziert wird, hat entscheidenden Einfluss auf das Risiko für die Entwicklung einer PC-AKI.

Bei parenteraler Gabe wird zwischen einer *First-pass*-Exposition bei Angiographie im Bereich der thorakalen und abdominalen Aorta bzw. im Bereich der A. renalis, und einer *Second-pass*-Exposition bei Angiographie der supraaortalen Äste, bei der Koronarangiographie und Angiographie der Mesenterialgefäße und infrarenalen Gefäße bzw. der Rechtsherzangiographie unterschieden.

Hochrisikopatienten für die Entwicklung einer PC-AKI sind also wie folgt definiert: Patienten ab Stadium 3b einer Niereninsuffizienz (**Tab. 1**), also mit einer eGFR <45 ml/min, bei intraarterieller Gabe von jodhaltigem Kontrastmittel mit renaler *First-pass*-Exposition und Patienten ab Stadium 4 einer renalen Insuffizienz (**Tab. 1**), also mit einer eGFR <30 ml/min, bei intravenöser oder intraarterieller Gabe von jodhaltigem Kontrastmittel mit renaler *Second-pass*-Exposition [5].

Die beste protektive Maßnahme für die Verhinderung einer PC-AKI ist das sorgfältige Abwägen des Nutzen-Risiko-Verhältnisses mit Vermeidung der Kontrastmittelgabe bei fehlender Rechtfertigung. Risikoerhöhend sind wiederholte Gaben von Kontrastmittel in kürzeren Zeitabständen. Ein pragmatischer Zugang zur Erfassung von Risikopatienten ist die Serumkreatininbestimmung bzw. eGFR-Berechnung bei allen Patienten vor Kontrastmittelgabe. Falls dies aus praktischen bzw. logistischen Gründen nicht möglich ist, sollte im Fall einer Elektivuntersuchung wie folgt vorge-

Radiologe 2019 · 59:444–453 <https://doi.org/10.1007/s00117-019-0523-8>
© Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature 2019

C. Krestan

Kontrastmittel – Handlungsempfehlungen für die Praxis

Zusammenfassung

Kontrastmittel (KM) sind aus der modernen radiologischen Diagnostik nicht mehr wegzudenken. Sie liefern in der Multidetektor-Computertomographie (MDCT) und Magnetresonanztomographie (MRT) essenzielle Informationen u. a. bei vaskulären, entzündlichen und onkologischen Fragestellungen, die sonst nicht beantwortet werden könnten. Die wichtigsten Gruppen sind jodhaltige und gadoliniumhaltige Kontrastmittel, welche vorwiegend intravenös eingesetzt werden. Zu den seltenen unerwünschten Wirkungen beider Substanzgruppen gehören die mögliche akute Niereninsuffizienz (AKI), häufiger treten allergische und chemotoxische Reaktionen auf. Die nephrogene Fibrose ist seit der Etablierung von Guidelines nicht mehr nachgewiesen worden. Gadoliniumablagerungen im Zentralnervensystem (ZNS), deren klinische Bedeutung nach wie vor unklar ist, sind seit einigen Jahren ein aktuelles Thema. Ab einem Schwellenwert der Nierenfunktion mit einer eGFR von <45 bzw. <30 ml/min wird eine Hydrierung des Patienten bzw. eine

strengere Indikationsstellung empfohlen. Low-kV und DE-Scanprotokolle in der MDCT helfen, die benötigte Kontrastmittelmenge zu reduzieren. In der MRT sollten bis auf zugelassene Indikationen nur makrozyklische Substanzen verwendet werden. Die Anwendung in der Schwangerschaft, während der Laktation und bei Kindern ist immer einer sorgfältigen Nutzen-Risiko-Analyse zu unterziehen und ebenso ein wichtiges Thema dieses Übersichtsartikels. Die adäquate Patientenaufklärung und rechtliche Aspekte bei nichtzugelassenen Anwendungen sind unverzichtbarer Bestandteil im täglichen klinischen Einsatz. Das Wissen um die sachgerechte Anwendung der vielfältigen zugelassenen Kontrastmittel ist ständig zu aktualisieren und zu erweitern.

Schlüsselwörter

Gadolinium · Anaphylaxie · Akute Nierenschädigung · Multidetektor-Computertomographie · Magnetresonanztomographie

Contrast media – Guidelines for practical use

Abstract

Contrast agents have become an indispensable part of everyday life in diagnostic radiology. In multidetector computed tomography (MDCT) and magnetic resonance imaging (MRI), they provide essential diagnostic information, especially for vascular, inflammatory or oncologic diseases, which otherwise could not be answered. The two most important groups are iodine- and gadolinium-containing contrast agents. Rare side effects include PC-AKI (post-contrast acute kidney injury); more common are allergic and chemotoxic reactions. Since the introduction of guidelines, nephrogenic fibrosis has not been reported anymore, whereas gadolinium deposition in the central nervous system (CNS) has become a new topic. Concerning contrast media use in patients with reduced renal function, at a eGFR threshold of <45 ml/min or <30 ml/min, hydration and a review of indication for enhanced MDCT, depending

on the application, is recommended. Low kV and DE-scan protocols with MDCT can help to reduce the amount of iodinated contrast agents. In MRI examinations, only macrocyclic contrast agents should be used for enhanced MRI exams. There has to be a careful risk-benefit analysis with enhanced studies in pregnancy, during lactation and in the pediatric population. Patient information and legal aspects with nonapproved indications are indispensable parts of daily clinical routine. The continuous updating and broadening of knowledge regarding the appropriate use of the various contrast agents has to be an integral part of clinical diagnostic radiology.

Keywords

Gadolinium · Anaphylaxis · Acute kidney injury · Multidetector computed tomography · Magnetic resonance imaging

Tab. 1 Stadien der Nierenfunktionseinschränkung (eGFR-Clearance in /ml/min/1,73 m²)

Stadium 1	>90 ml/min/1,73 m ² normal
Stadium 2	60–89 ml/min/1,73 m ² mild
Stadium 3a	45–59 ml/min/1,73 m ² mild-moderat
Stadium 3b	30–44 ml/min/1,73 m ² moderat-schwer
Stadium 4	15–29 ml/min/1,73 m ² schwer
Stadium 5	<15 ml/min/1,73 m ² Nierenversagen

gangen werden: Um Risikopatienten herauszufiltern ist die Kreatininbestimmung bzw. Kalkulation der eGFR vor Kontrastmittelgabe bei allen Patienten mit primären oder sekundären Risikofaktoren laut **Tab. 2** anzuwenden [5].

Nach Identifizierung möglicher Risikopatienten laut **Tab. 2** bzw. aufgrund eines bereits vorliegenden Resultates der eGFR sollten folgende Empfehlungen eingehalten werden, um das Risiko einer PC-AKI zu minimieren:

- Vermeidung von hochosmolalen Kontrastmitteln,
- Verabreichung der geringstmöglichen Kontrastmittelmenge,

- Absetzen von potenziell nephrotischen Medikamenten unmittelbar vor und nach der Untersuchung,
- Adäquate Hydrierung mit 0,9 % NaCl-Lösung,
- eGFR-Kontrolle 48–96 h nach Kontrastmittelverabreichung.

Klinisch weitgehend etabliert ist die Flüssigkeitsadministration vor KM-Gabe zur Prävention der PC-AKI [6]. Neueste randomisierte Studien (AMACING-Trial) stellen zwar die Wertigkeit der Hydrierung in Frage [7], dennoch empfehlen die bisher gültigen Guidelines folgende konkrete Vorgangsweise bei Elektivuntersuchungen für Risikopatienten [5]:

Tab. 2 Primäre und sekundäre Risikofaktoren für eine kontrastmittelinduzierte akute Niereninsuffizienz

<i>Primäre Risikofaktoren</i>
Anamnestisch erhebbarer Nierenfunktionseinschränkung (eGFR <60 ml/min/1,73 m ²)
Anamnestisch Nierenoperation
Proteinurie
Hypertonie
Hyperurikämie
Diabetes mellitus
>70 a
<i>Sekundäre Risikofaktoren</i>
Kardiomyopathie
Volumendepletion/Exsikkose
Nephrotoxische Medikation
Hochdosierte Diuretikatherapie
Hochosmolale Kontrastmittel
Hohe Kontrastmittelmenge

Bei intravenöser oder intraarterieller Gabe von jodhaltigem Kontrastmittel mit renaler Second-pass-Exposition sowie bei intraarterieller Gabe von jodhal-

Hier steht eine Anzeige.

Cockcroft-Gault-Formel

Kreatinin-Clearance [ml/min]=

$$\frac{(140 - \text{Alter} * \text{Körpergewicht (kg)} * (0,85) \text{ falls weiblich}}{72}$$

Serum-Kreatinin [mg/dl] * 72

Die standardisierte 4-Variablen-MDRD-Formel

GFR [ml/min/1,73m²]=

$$175 * \text{Serum-Kreatinin [mg/dl]}^{-1,154} * \text{Alter}^{-0,203} * (0,85) \text{ falls weiblich}$$

Die rein Kreatinin-basierte CKD-EPI-Formel

Geschlecht	Serum-Kreatinin SCr [mg/dl]	GFR-Berechnung [ml/min/1,73m ²]
weiblich	≤0,7	144 * (SCR/0,7) ^{-0,229} (0,993) ^{Alter}
	>0,7	144 * (SCR/0,7) ^{-1,209} (0,993) ^{Alter}
männlich	≤0,9	144 * (SCR/0,9) ^{-0,411} (0,993) ^{Alter}

Die modifizierte Schwartz-Formel

$$\text{GFR [ml/min]} \approx 0,413 * \text{Körperlänge [cm]} / \text{Serumkreatinin [mg/dl]}$$

Abb. 2 ◀ Formeln zur Berechnung der glomerulären Filtrationsrate. *GFR* Glomeruläre Filtrationsrate, *SCR* Serumkreatinin, *MDRD* Modification of Diet Renal Disease

tigem Kontrastmittel mit renaler First-pass-Exposition wird die i.v.-Gabe von 1 ml/kgKG/h NaCl 0,9 % 3–4 h vor bis 4–6 h nach der KM-Gabe empfohlen. Die Verabreichung von Natriumbicarbonat 1,4 % ist eine mögliche Alternative ohne dokumentierten Vorteil. Ausgeglichen werden sollte in jedem Fall eine vorliegende Exsikkose. Zu beachten sind klinische Limitationen für die intravenöse Rehydrierung, wie z. B. eine Niereninsuffizienz Grad V (eGFR <15 ml/min) bzw. eine klinisch relevante Herzinsuffizienz.

Zum Vorgehen bei Notfallpatienten gibt es folgende Empfehlungen: Falls möglich, Abwarten des eGFR-Ergebnisses und Vorgangsweise wie oben erwähnt. Falls die Untersuchung so dringlich ist, dass das Ergebnis der eGFR nicht abgewartet werden kann, sind die Patienten wie Hochrisikopatienten des Stadiums 3b bzw. 4 zu behandeln, sofern die klinische Situation es zulässt.

Neben der oralen Hydrierung gibt es noch andere Möglichkeiten, wie die Verabreichung von Substanzen, denen eine renoprotektive Wirkung vor KM-Gabe zugeschrieben wird. Dazu gehört u. a. das N-Actetylcystein (NAC). NAC wird oral in einer Dosierung von 1200 mg pro Tag 48 vor und nach der KM-Unter-

suchung verabreicht. Allerdings existieren für die zusätzliche Gabe von oralem NAC widersprüchliche Angaben bezüglich der Wirksamkeit, sodass eine generelle Empfehlung nicht ausgesprochen werden kann [8–11].

Abschließend muss aber festgehalten werden, dass Metaanalysen selbst bei Intensivpatienten zeigen, dass die Verwendung von jodhaltigem Kontrastmittel kein signifikantes Risiko für die Entwicklung einer akuten Niereninsuffizienz darstellt [12, 13] und das Risiko vielfach oft überschätzt wird [14–16]. In klinischen Studien aus dem Jahr 2014 und 2017 ergab sich, dass die Gabe von intravenösem jodhaltigem Kontrastmittel, nicht mit einem erhöhten Risiko einer akuten Niereninsuffizienz bzw. Dialyse einhergeht und auch kein unabhängiger Faktor für eine erhöhte Mortalität ist [17]. Eine eingeschränkte kardiale Funktion stellt offenbar einen wichtigeren Risikofaktor für die Entwicklung einer AKI als die Gabe von jodhaltigem Kontrastmittel dar [18].

Dialyseverfahren

Der theoretische Ansatz, potenzielle Noxen zu hämodialysieren oder zu hämofiltrieren, hat – wie durch zahlreiche Studi-

en belegt wurde – keinen relevanten Nutzen gebracht. Eine prophylaktische oder nach Gabe von jodhaltigem Kontrastmittel durchgeführte Hämodialyse wird deshalb nicht empfohlen [19, 20]. Dies gilt ebenso für Patienten mit CAPD (chronisch ambulante Peritonealdialyse).

Management von Patienten mit Diabetes mellitus unter Metforminmedikation

Schon 1995 und in den Nachfolgejahren wurde mehrere Studien zum Thema Metformin, Kontrastmittelgabe, Niereninsuffizienz und dem Risiko einer Laktatazidose publiziert [21–23]. Die aktuellen Empfehlungen sind in der Version 10.0 der ESUR-Guidelines enthalten [5]. Der Cut-off-Wert der Nierenfunktion bei diesen Patienten liegt wiederum bei einer eGFR von 30 ml/min. Folgende Empfehlungen werden ausgesprochen:

1. Patienten mit einer eGFR >30 ml/min, die eine geplante intravenöse oder intraarterielle Kontrastmittelgabe mit einem Second-pass-Effekt haben, können Metformin ohne Pause weiternehmen.
2. Patienten mit einer eGFR von <30 ml/min und beabsichtigter intravenöser Kontrastmittelgabe bzw. intraarterieller Kontrastmittelgabe mit einem First-pass-Effekt sowie Patienten mit akutem Nierenversagen müssen Metformin unmittelbar vor KM-Gabe pausieren. Zusätzlich ist eine Verlaufskontrolle der eGFR innerhalb von 48 h indiziert. Im Fall einer konstanten eGFR ist die Medikation von Metformin wieder aufzunehmen.

Gadolinium und nephrogene systemische Fibrose

Die multifaktorielle Toxizität von Gadoliniumionen macht es notwendig, diese in einem möglichst stabilen chemischen Komplex zu binden, um die Dissoziation freier toxischer Gadoliniumionen im Körper zu verhindern. Dazu werden relativ große Moleküle benutzt, die mehrere Bindungsstellen zu einem zentralen Gadoliniumion besitzen. Anhand der chemischen Struktur lassen sich die

Tab. 3 Systematik der Symptome nichtrenaler unerwünschter Nebenwirkungen nach Ring und Messmer

	Grad 1	Grad 2	Grad 3	Grad 4
Grad 1	Juckreiz Urtikaria Angioödem	–	–	–
Grad 2	Juckreiz Flushing Urtikaria Angioödem	Übelkeit Krämpfe	Nasenlaufen Heiserkeit Atemnot	Tachykardie Hypotonie Abfall 20 mmHg Arrhythmie
Grad 3	Juckreiz Flushing Urtikaria Angioödem	Erbrechen Defäkation Durchfall	Larynxödem Bronchospasmus Zyanose	Schock
Grad 4	Juckreiz Flushing Urtikaria Angioödem	Erbrechen Defäkation Durchfall	Atemstillstand	Kreislaufstillstand

MR-Kontrastmittel in lineare und makrozyklische KM unterteilen. Die NSF ist besonders häufig bei wiederholter Gabe von linearen gadoliniumhaltigen Kontrastmitteln aufgetreten.

Die NSF ist eine krankhafte Vermehrung des Bindegewebes mit Verdickung und Verhärtung der Haut durch eine Gadolinium-induzierte, entzündlich bedingte Fibrosierung. Es können aber auch innere Organe wie Lunge, Leber, Herz und die Skelettmuskulatur befallen sein. Erstmalig beschrieben wurde die Erkrankung im Jahr 2000 [24]. Der mögliche Zusammenhang mit der Verabreichung von gadoliniumhaltigen Kontrastmitteln wurde aber erst 5 Jahre später erkannt [25].

Ältere Empfehlungen schränken die Gabe von Hochrisiko-MR-Kontrastmitteln [Gadopentetsäure (Magnevist®)/Gadodiamid (Omniscan®) und Gadoversetamid (Optimark®)] bei Patienten mit einer höhergradigen Niereninsuffizienz (eGFR <30 ml/min) ein. Zwischenzeitlich hat die europäische Arzneimittelbehörde (EMA) im Dezember 2017 u. a. wegen im ZNS nachgewiesener Gadoliniumdeposition die Zulassung dieser linearen Gadoliniumverbindungen ruhend gestellt. Die gadoliniumhaltigen Kontrastmittelverbindungen wie Gadoxetsäure (Primovist®) und Gadobensäure (MultiHance®) (beide linear) sind seit 12/2017 auf Indikationen zur Leberbildgebung beschränkt.

Die aktuellen ESUR-Guidelines empfehlen auch bei sog. Low-risk-Kon-

trastmitteln, welche Gadolinium enthalten (Gadobutrol [Gadovist®], Gadoteridol [ProHance®], Gadotersäure [Dotarem®]), eine vorsichtige Anwendung bei Patienten mit einer eGFR von <30 ml/min. Darüber hinaus sollte der Abstand zwischen 2 Injektionen mindestens 7 Tage betragen. Die ESUR-Guidelines halten explizit fest, dass keinem Patienten eine KM-verstärkte MR-Untersuchung, bei Vorliegen einer klaren klinischen Indikation, vorenthalten werden soll [5, 26, 27].

NSF-Fälle oder eine PC-AKI wurden auch in großen Patientenkollektiven bei modernen, makrozyklischen gadoliniumhaltigen Kontrastmitteln nicht nachgewiesen [28].

Bei Dialysepatienten wird nach MR-KM-Gabe eine extrakorporale Elimination 2–3 h nach der Applikation empfohlen [5]. Bei Patienten mit CAPD (kontinuierliche ambulante Peritonealdialyse) sollte die Notwendigkeit einer zeitnahen Hämodialyse mit dem Zuweiser besprochen werden.

Gleichzeitige Gabe von jodhaltigem Kontrastmittel und gadoliniumhaltigem Kontrastmittel am selben Tag.

Diesbezüglich empfiehlt die ESUR ein Intervall von 4 h bei Patienten mit einer eGFR >30 ml/min. Bei einer Einschränkung der Nierenfunktion auf eine eGFR <30 ml/min wird ein Intervall von 7 Tagen empfohlen.

Möglichkeiten der Einsparung von jodhaltigen Kontrastmitteln

Primär wichtig ist die Frage, was mit welcher Kontrastierung dargestellt werden soll und welche Möglichkeiten es gibt, die Kontrastmittelmenge bei vergleichbarer diagnostischer Aussage zu verringern.

Injektionsprotokolle und Verwendung von Kontrastmittelinjektoren

Kontrastmittelinjektoren sind heute Standard für die intravenöse und intraarterielle Kontrastmittelgabe. Üblicherweise wird Kontrastmittel aus einem Behälter und eine Spüllösung (0,9 % NaCl) aus einem zweiten Behälter appliziert.

Man unterscheidet rein venöse Kontrastmittelphasen von biphasischen (arterielle und venöse Applikation) Kontrastmittelprotokollen, die von der jeweiligen Fragestellung abhängen.

So sind biphasische Protokolle in der Bildgebung der Leber und des Pankreas sowie bei Polytraumapatienten Standard geworden. Bei diesen Untersuchungen sind die arterielle, venöse und ggf. spätarterielle/spätvenöse Kontrastierung zur Differenzierung von Pathologien essenziell. Die Schemata der Kontrastmittelapplikation in der CT hängen auch von der Scannerhardware ab, wobei aus Gründen des Umfangs in diesem Kapitel darauf nicht näher eingegangen werden kann. Vereinfacht besteht eine direkt proportionale Beziehung zwischen Kontrastmitteldosis und erreichter Dichteanhebung in der CT-Untersuchung. Somit kann das Körpergewicht zur Berechnung der Kontrastmitteldosis verwendet werden, wobei eine Dosis von 500–600 mg Jod/kg eine gute Organkontrastierung gewährleistet. Es werden aber auch alternative Maße wie Größe, Gewicht und Geschlecht sowie das Körpergewicht ohne Fettgehalt „lean body weight“ bzw. die Körperoberfläche „body surface area“ für die Abschätzung der benötigten Kontrastmittelmenge empfohlen. So gilt z. B. eine Dosis von 22 g Jodäquivalent/m² Körperoberfläche als ausreichend für eine adäquate Leberkontrastierung [29].

Tab. 4 Empfohlener Fragebogen zur Evaluierung einer vorangegangenen möglichen unerwünschten Kontrastmittelreaktion

1.	Wann war die allergische Reaktion?
2.	Liegt ein Vorbefund mit Dokumentation der Reaktion vor?
3.	Liegt ein Allergiepass vor?
4.	Wie schwer war die Reaktion (Graduierung nach Ring und Messmer)
5.	Wie oft wurden nach diesem Ereignis Kontrastmittel verabreicht, und wenn ja, genau welches?
6.	War die Reaktion u. U. auf eine chemotoxische Reaktion zurückzuführen?
7.	Wie war der Zeitabstand zwischen KM-Gabe und Beginn der Reaktion – dies ermöglicht die Differenzialdiagnose zu allergischen Reaktionen auf sonstige gleichzeitig verabreichte Medikamente (z. B. Antibiotika)
8.	Falls eine MR-Untersuchung geplant ist: War die berichtete unerwünschte Wirkung auf ein jodhaltiges KM oder ein gadoliniumhaltiges KM?
9.	Gibt es andere Begleiterkrankungen, z. B. Allergien auf andere Substanzen, instabiles Asthma bronchiale?
10.	Letztlich die Entscheidung des Radiologen in der Akutphase: Ist das KM wirklich notwendig?

KM Kontrastmittel

Im Folgenden sind die verfügbaren Möglichkeiten zur Verringerung der Kontrastmitteldosis aufgeführt.

Scannen mit niedrigerem kV

Der Abschwächungseffekt von jodhaltigem Kontrastmittel ist bei einer niedrigeren Strahlungsenergie nahe der K-Linie von Jod (33,2 kV) mit 80 kV höher als mit 120 kV, da es zu einer größeren photoelektrischen Interaktion kommt. Das bedeutet, dass Scannen bei geringerer Spannung (80 kV) eine niedrigere Menge an verabreichtem jodhaltigem Kontrastmittel erlaubt [30]. Gleichzeitig kommt es bei einer Reduktion der Röhrenspannung (kV) zu einer Abnahme der kinetischen Energie der beschleunigten Elektronen, was zu einer Abnahme der Strahlendosis führt.

Dual-Energy-Scanning

Dual-Energy-Scanning, z. B. durch sog. Splitfilter aus Zinn und Gold an der Strahlenquelle, führt zu einer spektralen Auftrennung des Strahlenspektrums röhrenseitig. Die Vorfilterung, also die Abänderung des Strahlenspektrums durch Zinn und Gold ermöglicht die Akquisition zweier unterschiedlicher Strahlenspektren bei vergleichbarer Bildqualität und potenziell verbessertem Signal-zu-Rausch-Verhältnis. Die Dosisabsenkung geschieht durch Vorfilterung jener weichen Anteile der Röntgenstrah-

lung, welche nur zur Dosis, jedoch nicht zum Bildkontrast beitragen [31, 32].

Mit der Rekonstruktion von sog. „Virtual monoenergetic plus“-Bildern kann die den Bildkontrast bestimmende kV künstlich verändert werden, was die Differenzierung von Läsionen ebenso verbessern kann [33]. Gleichzeitig kann durch den verbesserten Kontrast die Joddosis reduziert werden. So wurde von einer Reduktion von ca. 36 g (0,48g/kg) Jodmenge für einen ca. 75 kg schweren Patienten auf nunmehr knapp unter 20 g (0,28g/kg) für die Detektion von portalvenös, hypodensen Leberläsionen berichtet. Dies entspricht ca. 50 ml eines jodhaltigen Kontrastmittels mit einer Konzentration von 400 mg/ml [34].

NaCl-Bolus

Die Nachinjektion eines NaCl-Bolus spült das Ende des Kontrastmittelbolus aus dem Injektor und den peripheren Venen in das zentralvenöse System. Voraussetzung ist ein heute standardmäßig üblicher Doppelkammerinjektor. Dadurch wird noch ca. 10–50 ml Kontrastmittel, welches sonst nicht zur Kontrastierung verwendet würde, in den Körperkreislauf während des Scans eingebracht [35, 36]. Das Volumen des injizierten NaCl-Bolus sollte ca. 20–30 ml betragen. Eine weitere Steigerung des injizierten Volumens hat keinen posi-

tiven Effekt auf die erreichte arterielle Kontrastierung [37].

Richtlinien zur Verwendung von Kontrastmitteln in der Schwangerschaft und bei Kindern

Jodhaltige Kontrastmittel

Bei Neonaten und Säuglingen ergeben sich bei der Gabe von Kontrastmitteln spezielle Anforderungen durch die physiologische Unreife der Nieren und der Lungen. Die Indikation für radiologische Untersuchungen ist auch aufgrund des Strahlenschutzes entsprechend streng zu stellen [38]. So wird beim pädiatrischen Patientengut die Verwendung der modifizierten Schwartz-Formel zur Berechnung der eGFR empfohlen (Abb. 2). Anzustreben ist die Verwendung von Kontrastmitteln niedriger Osmolalität. Die Osmolalität steigt linear zur Jodkonzentration. So beträgt die Osmolalität eines Kontrastmittels mit 300 mg/ml ca. 520 mOsm/kg, bei 350 mg/ml 618 mOsm/kg und bei 400 mg/ml bereits 726 mOsm/kg. Die Viskosität steigt ebenfalls mit der Konzentration jedoch nicht linear, sondern exponentiell, kann aber durch Erwärmen auf Körpertemperatur signifikant abgesenkt werden. Die potenzielle Nephrotoxizität wird auch mit der steigenden Viskosität von Kontrastmitteln in Verbindung gebracht [39].

Generell sollte die Jodkonzentration unter einem Körpergewicht von 40 kg nicht über 300 mg/ml liegen. Erst ab einem Körpergewicht von >40 kg ist auch die Verwendung von Kontrastmittel mit einer Konzentration von 350 mg/ml möglich. Die zu applizierende Kontrastmittelmenge für Kinder kann groborientierend wie folgt angegeben werden [40]:

- Säuglinge: <1a (2,5 ml/kg/KG),
- Kleinkinder: 1–2a (2,0 ml/kg/KG),
- ab 2 Jahre: (1,5 ml/kg/KG).

Die Adaptierung der kV-Werte erfolgt heute in der Regel scannerseitig durch entsprechende Softwareprogramme, die automatisch anhand des Scannogramms die kV und die Gesamtdosis optimieren. Somit führt Low-kV-Scanning bei

kleineren Kindern neben einer Dosisreduktion auch zu einer Einsparung an benötigter Kontrastmittelmenge.

Gadoliniumhaltige Kontrastmittel

Die Dosisempfehlungen liegen für Standarduntersuchungen bei Säuglingen und Kindern zwischen 0,1 ml/kg für Gadobutrol (Gadovist®)/Gadobensäure (MultiHance®) und Gadoxetsäure (Primovist®), während die doppelte Dosis von 0,2 ml/kg für Gadoterensäure (Dotarem®) und Gadoteridol (ProHance®) empfohlen wird. Wichtig ist, dass immer die aktuell gültige Fachinformation des jeweiligen Kontrastmittels zu beachten ist. Besondere Beachtung verdienen die altersabhängigen Zulassungsbeschränkungen. So ist Gadoxetsäure (Primovist®) erst ab 18 Jahren zugelassen, wird aber von vielen Institutionen auch zur Leberbildung im Kleinkind- und Säuglingsalter verwendet. Beim sog. Off-label use ist zu beachten, dass die Verantwortung ausschließlich beim Anwender liegt.

Der Off-label-Einsatz von Arzneimitteln (das gilt auch für Kontrastmittel) – d. h. die Anwendung eines Arzneimittels bei einer bestimmten Indikation ohne Zulassung gemäß §§ 7 und 8 Arzneimittelgesetz (AMG) – ist aus arzneimittelrechtlicher Sicht zulässig. Idealerweise wird das ausgewählte Kontrastmittel nach der Bewertung durch Gremien (d. h. Fachkommissionen), explizit für den Off-label-Einsatz bei gewissen Indikationen empfohlen. Im Rahmen eines Off-label-Einsatzes sind erhöhte Aufklärungs- und Dokumentationspflichten zu beachten. Im Rahmen einer Heilbehandlung trägt zwar der behandelnde Arzt die Verantwortung, bezieht sich dabei allerdings strikt auf Empfehlungen der entsprechenden Gremien (d. h. Fachkommissionen), welche sich an von nationalen und internationalen Fachgesellschaften erarbeiteten Standards und Erkenntnissen der evidenzbasierten Medizin orientieren.

Die Anwendung von jod- und gadoliniumhaltigen Kontrastmitteln in der Schwangerschaft sollte nur in Einzelfällen und unter besonderen Umständen erfolgen, in welchen keine Alternativen

vorhanden sind. Es sollten nur makrozyklische Gadoliniumverbindungen verwendet werden [5].

Gadoliniumhaltige KM sind plazentagängig und werden vom Fötus in die Amnionflüssigkeit ausgeschieden. Zumindest im Tierversuchen konnte für gadoliniumhaltige KM in hoher und wiederholter Dosierung ein teratogener Effekt nachgewiesen werden [41].

Im Fall einer Kontrastmitteluntersuchung mit jodhaltigen Kontrastmitteln in der Schwangerschaft ist eine Schilddrüsenfunktionsuntersuchung des Neonaten in der 1. Woche durchzuführen, um eine potenzielle Überfunktion auszuschließen. Die Gadoliniumgabe bedingt keine postpartalen Folgeuntersuchungen.

In der Stillzeit ist bei Verwendung jodhaltiger Kontrastmittel keine Unterbrechung notwendig, dies trifft ebenso für die Verwendung makrozyklischer gadoliniumhaltiger Kontrastmittel zu.

Kontrastmittelallergie

Diagnose, Behandlung und Prävention

Unerwünschte Nebenwirkungen jodhaltiger und gadoliniumhaltiger Kontrastmittel können in renale und nichtrenale Nebenwirkungen unterteilt werden. Akute Kontrastmittelzwischenfälle nach gadoliniumhaltigen KM sind deutlich seltener als bei jodhaltigen KM; ihre Inzidenz liegt bei 0,06–4,7 pro 1000 Applikationen. Schwere akute Nebenwirkungen (z. B. hypotensiver Schock, Atem- oder Herzstillstand, Krampfanfall) treten äußerst selten auf (0,00–0,17 pro 1000 Anwendungen; [42–44]). Trotz dieses geringen Risikos sollten alle Patienten nach KM-Applikation für 30 min nachbeobachtet werden. Für einen etwaigen Notfall sollen entsprechende Medikamente und Geräte bereitstehen. Nichtrenale Nebenwirkungen lassen sich in 4 Schweregrade nach Ring und Messmer klassifizieren (■ Tab. 3).

Die Unterscheidung zwischen allergischer und nichtallergischer Reaktion ist insofern relevant, als allergische Reaktionen die Tendenz zur Aggravierung über den Zeitverlauf haben. Je schneller die unerwünschte Reaktion eintritt,

umso potenziell schwerwiegender fällt sie aus. Urtikaria/Flushing und Angioödem sind in der Regel IgE-mediiert und werden als Typ-I-Allergie bezeichnet. Eine Anaphylaxie liegt erst ab einem Grad II–IV nach Ring und Messmer vor.

Das Allergen ist das Kontrastmittelmolekül und darf nicht mit einer „Jodallergie“ auf freie Jodidlösung verwechselt werden. Die 24–48 h nach KM-Gabe auftretenden Arzneimittelexatheme gehören zur Gruppe der Allergien vom verzögerten Typ (IV) und sind T-Zell-mediiert. Neben allergischen Reaktionen gibt es chemotoxische Reaktionen, die üblicherweise dosisabhängig sind.

In Abhängigkeit des Schweregrades werden folgende Behandlungsschritte empfohlen (Dosierungsempfehlungen für Erwachsene):

1. Allergenzufuhr stoppen
2. Beinhochlagerung
3. i.v.-Zugang sichern
4. Volumensubstitution
5. Sauerstoff inhalativ (6–10 l/min)
6. Steroide i.v., z. B. Prednisolon 250–1000 mg
7. Antihistaminika, z. B. Dimetinden 1 ml/10 kg KG
8. β -Mimetika inhalativ
9. 1 Ampulle Epipen 1:1000 i.m. bei anaphylaktischem Schock bzw. Adrenalin-Bolusgabe i.v. 0,05–0,1 ml/kg KG von (1 mg Adrenalin/ml auf 1:10 ml verdünnt mit NaCl 0,9%) bei Kreislaufstillstand

Für die exakte Therapie konsultieren Sie unverzüglich das nächstgelegene Notfallteam bzw. die aktuellen Leitlinien zur Anaphylaxiebehandlung <https://www.acr.org/Clinical-Resources/Contrast-Manual> oder <http://www.esur.org/>.

Zu den Risikofaktoren für das Auftreten einer Anaphylaxie gehören moderate oder schwere Reaktionen auf ein jodhaltiges Kontrastmittel, Asthma und behandlungsbedürftige Allergien. Die genaue Anamnese lässt sich am besten anhand eines standardisierten Fragebogens erheben (■ Tab. 4).

Essenziell ist die Dokumentation der unerwünschten Wirkung auf intravenöse oder intraarterielle Kontrastmittelgabe, die idealerweise in der Krankengeschichte bzw. im Radiologie-Informationssystem

tem (RIS) bzw. sogar in einem Allergypass vermerkt sind. Fehlende oder lückenhafte Dokumentation insbesondere schwerwiegender, allergischer oder chemotoxischer Reaktionen können zu erheblichen rechtlichen Konsequenzen führen [45].

Deshalb empfiehlt sich die Verfassung von Standard Operation Procedures (SOP) für diese Vorgänge mit Etablierung von Kontrollinstanzen zwischen verschiedenen Berufsgruppen, um die Erfassung zu 100 % zu gewährleisten. In der Regel ist hier eine enge Kooperation zwischen Radiologen, dem RTD-Team und den Beauftragten für das Qualitätsmanagementsystem der jeweiligen Abteilung/Einrichtung notwendig.

Prophylaktische Prämedikation

Die orale Prophylaxe wird nach folgendem Schema empfohlen: beispielsweise mit 50 mg Apredisolon oral jeweils 13, 7 und 1 h vor Kontrastmittelgabe ist empfehlenswert. Fakultativ kann zusätzlich ein Antihistaminikum verabreicht werden, z. B. Dimetinden 1 Ampulle i.v. 1 h vor KM-Gabe.

Trotz Prämedikation kann die neuere allergische Reaktion (Durchbruchsreaktion) bei wiederholter Gabe von Kontrastmittel nicht hundertprozentig verhindert werden und beträgt ca. 1,2–2,1 % [46]. Deshalb müssen immer alle Vorbereitungen für eine adäquate Behandlung einer akuten allergischen Reaktion vorbereitet werden.

Thyreotoxikose

Auf das Thema Thyreotoxikose wird im vorliegenden Beitrag nicht eingegangen, da sich ein anderer Artikel im Themenheft „Kontrastmittel“ damit befasst.

Allergieaustestung

Die Austestung auf KM ist sehr ressourcenintensiv. Die Untersuchungen werden daher im Allgemeinen nur in Spezialambulanzen angeboten.

Deshalb empfiehlt es sich, nur schwerwiegende Reaktionen ab Grad II einer allergologischen Untersuchung zuzuführen. Man unterscheidet den Pricktest vom Epikutantest und dem Intradermaltest.

Bei Letzteren können Patienten durch die Testung aktiv sensibilisiert werden. Darüber hinaus besteht beim Intradermaltest mit relativ hoher Antigeneinbringung auch die Gefahr der Auslösung einer Anaphylaxie. Programme mit unselektivem Screening wurden jedenfalls wegen Ineffektivität wieder aufgegeben [40].

Kontrastmittel-Paravasate

Die Häufigkeit von KM-Paravasaten bei jodhaltigem Kontrastmittel liegt zwischen 0,1 und 0,9 % und ist bei der mechanischen Bolus-Injektion höher als bei manueller Injektion. Druckinjektoren haben deshalb ein höheres Risiko, da der unmittelbare Patientenkontakt vergleichsweise geringer ist. Zusätzliche Risikofaktoren sind verminderte Patientenvigilanz, atrophes subkutanes Fettgewebe und Vorschädigung der Applikationsstelle durch Chemotherapien. Ferner sind die chemische Zusammensetzung des Kontrastmittels, die Ionizität, die Osmolarität und das im Gewebe deponierte Volumen relevant. Die unerwünschten Wirkungen können vom milden Erythem bis zum Kompartmentsyndrom und sogar zur Weichteilnekrose reichen [47, 48].

Deutlich geringer ist die Inzidenz von Paravasaten in der MRT (0,06 %), wobei jedoch keine schwerwiegenden Komplikationen zu erwarten sind. Das injizierte Volumen ist bei gadoliniumhaltigen Kontrastmitteln jedenfalls erheblich geringer (5–10 ml; [49]). Zu den möglichen konservativen Therapiemaßnahmen gehören die mögliche Aspiration des Extravasats, die Entfernung des intravenösen Zugangs im betroffenen Areal, die erhöhte Lagerung der Extremität, kühle Umschläge und topische nichtsteroidale Antirheumatika (NSAR; [50]).

Aus forensischen Gründen ist eine Dokumentation im RIS und in der Krankengeschichte obligat. Bei größeren Volumina sollte in erster Instanz ein sofortiges dermatologisches Konsil veranlasst werden. Nur bei gravierenden Komplikationen ist auch ein plastisch-chirurgisches Facharztkonsil einzuholen. Verwiesen wird im Zusammenhang mit Paravasaten auf die umfassende aktuelle Pu-

blikation von Mandlik et al. vom Januar 2019 [51].

Fazit für die Praxis

- Die parenterale Gabe von jodhaltigen Kontrastmitteln in der Multidetektor-Computertomographie (MDCT) und Angiographie sowie in der Magnetresonanztomographie (MRT) steigert den diagnostischen Nutzen bei einer Reihe von Krankheitsbildern beträchtlich.
- Kenntnisse der verschiedenen Substanzen und deren Indikationen und Kontraindikationen sind für den sicheren Umgang essenziell.
- Schwere unerwünschte Wirkungen sind bei beiden Substanzgruppen selten, dennoch gilt es, das Risiko für Patienten zu minimieren.
- Die Kenntnisse der European-Society-of-Urogenital-Radiology (ESUR)-Guidelines sind neben den jeweiligen produktspezifischen Fachinformationen unerlässlich bei der Anwendung in der diagnostischen und interventionellen Radiologie.
- Das Stichwort „personalisierte Medizin“ hat auch in diesem Bereich mit der Erarbeitung patientenspezifischer Scanprotokolle und Dosierungen Einzug gehalten.
- In der klinischen Praxis werden Kontrastmittel für nicht zugelassene Indikationen oder Altersgruppen eingesetzt.
- In diesem Zusammenhang sind die Patientenaufklärung und juristische Aspekte bei Off-label use von großer praktischer Relevanz.

Korrespondenzadresse



PD Dr. Christian Krestan, MBA
Abteilung für Allgemeine- und Kinderradiologie, Universitätsklinik für Radiologie und Nuklearmedizin, Medizinische Universität Wien
Währinger Gürtel 18–20, 1090 Wien, Österreich
christian.krestan@medunivien.ac.at

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. C. Krestan gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Für diesen Beitrag wurden von den Autoren keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

Literatur

- Li X et al (2015) Clinical observation of the adverse drug reactions caused by non-ionic iodinated contrast media: Results from 109,255 cases who underwent enhanced CT examination in Chongqing, China. *Br J Radiol* 88(1047):20140491
- Zahringer C et al (2015) Serum creatinine measurements: Evaluation of a questionnaire according to the ESUR guidelines. *Acta Radiol* 56(5):628–634
- Ledermann HP et al (2010) Screening for renal insufficiency following ESUR (European Society of Urogenital Radiology) guidelines with on-site creatinine measurements in an outpatient setting. *Eur Radiol* 20(8):1926–1933
- Jin R et al (2008) Estimated glomerular filtration rate and renal function. *Ann Thorac Surg* 86(1):1–3
- European Society of Urogenital Radiology (2019) ESUR Guidelines: Contrast Media Safety Guidelines 10.0. <http://www.esur.org/esur-guidelines/>. Zugegriffen: 18.3.2019
- Mueller C (2006) Prevention of contrast-induced nephropathy with volume supplementation. *Kidney Int Suppl* 69(100):S16–S19
- Nijssen EC et al (2017) Prophylactic hydration to protect renal function from intravascularly iodinated contrast material in patients at high risk of contrast-induced nephropathy (AMACING): A prospective, randomised, phase 3, controlled, open-label, non-inferiority trial. *Lancet* 389(10076):1312–1322
- Brown JR et al (2009) Sodium bicarbonate plus N-acetylcysteine prophylaxis: A meta-analysis. *JACC Cardiovasc Interv* 2(11):1116–1124
- Sadat U (2014) N-acetylcysteine in contrast-induced acute kidney injury: Clinical use against principles of evidence-based clinical medicine! *Expert Rev Cardiovasc Ther* 12(1):1–3
- Inda-Filho AJ et al (2014) Do intravenous N-acetylcysteine and sodium bicarbonate prevent high osmolal contrast-induced acute kidney injury? A randomized controlled trial. *PLoS ONE* 9(9):e107602
- Tepel M et al (2000) Prevention of radio-graphic-contrast-agent-induced reductions in renal function by acetylcysteine. *N Engl J Med* 343(3):180–184
- Ehrmann S et al (2017) Contrast-associated acute kidney injury in the critically ill: Systematic review and Bayesian meta-analysis. *Intensive Care Med* 43(6):785–794
- McDonald JS et al (2017) Post-contrast acute kidney injury in intensive care unit patients: A propensity score-adjusted study. *Intensive Care Med* 43(6):774–784
- Newhouse JH et al (2008) Frequency of serum creatinine changes in the absence of iodinated contrast material: Implications for studies of contrast nephrotoxicity. *AJR Am J Roentgenol* 191(2):376–382
- Wilhelm-Leen E, Montez-Rath ME, Chertow G (2017) Estimating the risk of radiocontrast-associated nephropathy. *J Am Soc Nephrol* 28(2):653–659
- Kumar N et al (2009) Effect of elective coronary angiography on glomerular filtration rate in patients with advanced chronic kidney disease. *Clin J Am Soc Nephrol* 4(12):1907–1913
- McDonald RJ et al (2014) Intravenous contrast material exposure is not an independent risk factor for dialysis or mortality. *Radiology* 273(3):714–725
- Schmucker J et al (2018) Predictors of acute kidney injury in patients admitted with ST-elevation myocardial infarction—Results from the Bremen STEMI-Registry. *Eur Heart J Acute Cardiovasc Care* 7(8):710–722
- Reinecke H et al (2007) A randomized controlled trial comparing hydration therapy to additional hemodialysis or N-acetylcysteine for the prevention of contrast medium-induced nephropathy: the Dialysis-versus-Diuresis (DVD) Trial. *Clin Res Cardiol* 96(3):130–139
- Pistolesi V et al (2018) Contrast medium induced acute kidney injury: A narrative review. *J Nephrol* 31(6):797–812
- Rasuli P, French GJ, Hammond DI (1998) Metformin hydrochloride all right before, but not after, contrast medium administration. *Radiology* 209(2):586–587
- Pond GD et al (1996) Metformin and contrast media: Genuine risk or witch hunt? *Radiology* 201(3):879–880
- Nawaz S et al (1998) Clinical risk associated with contrast angiography in metformin treated patients: A clinical review. *Clin Radiol* 53(5):342–344
- Cowper SE et al (2001) Nephrogenic fibrosing dermopathy. *Am J Dermatopathol* 23(5):383–393
- Grobner T (2006) Gadolinium—A specific trigger for the development of nephrogenic fibrosing dermopathy and nephrogenic systemic fibrosis? *Nephrol Dial Transplant* 21(4):1104–1108
- Schieda N et al (2018) Gadolinium-based contrast agents in kidney disease: Comprehensive review and clinical practice guideline issued by the Canadian association of radiologists. *Can Assoc Radiol J* 69(2):136–150
- Endrikat J et al (2018) 10 years of nephrogenic systemic fibrosis: A comprehensive analysis of nephrogenic systemic fibrosis reports received by a pharmaceutical company from 2006 to 2016. *Invest Radiol* 53(9):541–550
- Young LK, Matthew SZ, Houston JG (2019) Absence of potential gadolinium toxicity symptoms following 22,897 gadoteric acid (Dotarem(R)) examinations, including 3,209 performed on renally insufficient individuals. *Eur Radiol* 29(4):1922–1930
- Kondo H et al (2013) Body size indices to determine iodine mass with contrast-enhanced multi-detector computed tomography of the upper abdomen: Does body surface area outperform total body weight or lean body weight? *Eur Radiol* 23(7):1855–1861
- Quaia C (2016) Comparison between 80 kV, 100 kV and 120 kV CT protocols in the assessment of the therapeutic outcome in HCC. *Liver Pancreat Sci* 1(1):1–4
- Euler A et al (2016) Initial results of a single-source dual-energy computed tomography technique using a split-filter: assessment of image quality, radiation dose, and accuracy of dual-energy applications in an in vitro and in vivo study. *Invest Radiol* 51(8):491–498
- Euler A et al (2018) Comparison of image quality and radiation dose between split-filter dual-energy images and single-energy images in single-source abdominal CT. *Eur Radiol* 28(8):3405–3412
- Lenga L et al (2018) Dual-energy CT in patients with colorectal cancer: Improved assessment of hypoattenuating liver metastases using noise-optimized virtual monoenergetic imaging. *Eur J Radiol* 106:184–191
- Goshima S et al (2014) Determination of optimal intravenous contrast agent iodine dose for the detection of liver metastasis at 80-kVp CT. *Eur Radiol* 24(8):1853–1859
- Sadick M et al (1997) Bolus tracking and NaCl bolus in biphasic spiral CT of the abdomen. *Rofo* 167(4):371–376
- Bader TR, Prokesch RW, Grabenwoger F (2000) Timing of the hepatic arterial phase during contrast-enhanced computed tomography of the liver: Assessment of normal values in 25 volunteers. *Invest Radiol* 35(8):486–492
- Bae KT (2010) Intravenous contrast medium administration and scan timing at CT: Considerations and approaches. *Radiology* 256(1):32–61
- Hojreh A, Dünkelmeyer M (2015) Leitlinie zum Schutz des ungeborenen Lebens. Universitätsklinik für Radiologie und Nuklearmedizin, Wien
- Seeliger E et al (2012) Contrast-induced kidney injury: Mechanisms, risk factors, and prevention. *Eur Heart J* 33(16):2007–2015
- Herold CJ, Krestan CR (Hrsg) (2017) Kontrastmittel und Tracer – Was Sie schon immer darüber wissen wollten. Breitenseher Publisher, Horn
- Okuda Y et al (1999) Reproductive and developmental toxicity study of gadobenate dimeglumine formulation (E7155) (3)—Study of embryo-fetal toxicity in rabbits by intravenous administration. *J Toxicol Sci* 24(Suppl 1):79–87
- Jung J-W, Kang H-R, Kim M-H, Lee W, Min K-U, Han M-H, Cho S-H (2012) Immediate Hypersensitivity Reaction to Gadolinium-based MR Contrast Media. *Radiology* 264(2):414–422
- Prince MR, Zhang H, Zou Z, Staron RB, Brill PW (2011) Incidence of Immediate Gadolinium Contrast Media Reactions. *American Journal of Roentgenology* 196(2):W138–W143
- Bruder O, Schneider S, Nothnagel D, Pilz G, Lombardi M, Sinha A et al (2011) Acute Adverse Reactions to Gadolinium-Based Contrast Agents in CMR. *JACC: Cardiovascular Imaging* 4(11):1171–1176
- Experte der rtaustria (2018) CIRSmedical: Dokumentationslücken im Arztbrief. <https://www.aerztezeitung.at/archiv/oeaz-2018/oeaz-5-10032018/cirsmedical-dokumentationsluecken-im-arztbrief.html> (Österreichische Ärztezeitung Nr. 5/10.03.2018). Zugegriffen: 18.3.2019
- Mervak BM et al (2015) Rates of breakthrough reactions in inpatients at high risk receiving premedication before contrast-enhanced CT. *AJR Am J Roentgenol* 205(1):77–84
- Hawi N et al (2014) Development of compartment syndrome after intravenous administration of an X-ray contrast medium. Recommendations on acute therapy regimens. *Unfallchirurg* 117(4):374–379
- Gault DT (1993) Extravasation injuries. *Br J Plast Surg* 46(2):91–96
- Shaqqan K et al (2014) Incidence of contrast medium extravasation for CT and MRI in a large academic medical centre: A report on 502,391 injections. *Clin Radiol* 69(12):1264–1272
- Khan MS, Holmes JD (2002) Reducing the morbidity from extravasation injuries. *Ann Plast Surg* 48(6):628–632 (discussion 632)
- Mandlik V, Prantl L, Schreyer AG (2019) Contrast media extravasation in CT and MRI—A literature review and strategies for therapy. *Rofo* 191(1):25–32