

Wie kontrastmittelverstärkte CT-Protokolle nachhaltig verbessert werden können

Prof. Dr. med. Michael Lell, Nürnberg

Zusammenfassung

Kontrastmittelverstärkte CT-Protokolle sind fester Bestandteil des radiologischen Alltages. Dabei gewinnt die effiziente und verantwortungsvolle Nutzung von Kontrastmitteln zunehmend an Bedeutung.

In dieser Fortbildung lernen Sie praxisorientiert die Grundlagen von CT-Technik und Kontrastmittelprotokollen mit dem Ziel, mit der vor Ort vorhandenen Gerätausstattung kontrastmittelverstärkte CT-Protokolle nachhaltig verbessern zu können. In aufgezeichneten Vorträgen werden der Einfluss von Scan-Parametern, Patienteneigenschaften, Kontrastmittelprotokollparametern und Kontrastmitteleigenschaften auf Kontrast und Bildqualität illustriert. Interaktive Fragen am Ende der jeweiligen Vorträge dienen der Wiederholung und der Reflexion der wichtigsten Lernziele.

LERNZIELE

Am Ende dieser Fortbildung werden Sie ...

- ✓ den Einfluss grundlegender Scan-Parameter auf Kontrast und Bildqualität verstehen,
- ✓ die Grundlagen von Kontrastmittelprotokollen kennen,
- ✓ den Einfluss von Patienteneigenschaften, Protokollparametern, Kontrastmitteleigenschaften und Röhrenspannung auf die Kontrastverstärkung verstehen,
- ✓ wesentliche Verbesserungen kontrastmittelverstärkter CT-Protokolle praktisch anwenden können.

Teilnahmemöglichkeiten

Diese Fortbildung steht als interaktiver Videovortrag bzw. zum Download in Textform zur Verfügung. Die Teilnahme ist kostenfrei. Die abschließende Lernerfolgskontrolle kann nur online erfolgen. Bitte registrieren Sie sich dazu kostenlos auf:

www.cme-kurs.de

Zertifizierung

Diese Fortbildung wurde nach den Fortbildungsrichtlinien der Landesärztekammer Rheinland-Pfalz von der Akademie für Ärztliche Fortbildung in RLP mit 4 CME-Punkten zertifiziert (Kategorie D). Sie gilt für das Fortbildungszertifikat der Ärztekammern. Die erworbenen CME-Punkte werden gemäß § 14 Abs. 4 Diplom-Fortbildungs-Programm der Österreichischen Ärztekammer (DFP) im gleichen Umfang als DFP-Punkte anerkannt.

Redaktionelle Leitung/Realisation

J.-H. Wiedemann
CME-Verlag
Siebengebirgsstr. 15
53572 Bruchhausen
E-Mail: info@cme-verlag.de



BASIS DER CT-TECHNIK

Meine sehr geehrten Kolleginnen und Kollegen, ich begrüße Sie ganz herzlich zur heutigen Fortbildung. Zunächst möchte ich über die Basics der Computertomografie-(CT-)Technik sprechen. Es geht hier um Parameter, mit denen wir unser CT-Protokoll verbessern können: die Schichtdicken, die Detektorbreiten, Rotationszeit, Röhrenleistungen, die MRS-Steuerung. Zur Gerätespezifikation habe ich Ihnen hier eine Tabelle mitgebracht, in der Sie einen Überblick über moderne CT-Geräte sehen (**Tab. 1**). Diese Geräte weisen eine immer größere Abdeckung hinsichtlich ihrer Detektor-

Tabelle 1
Gerätespezifikation

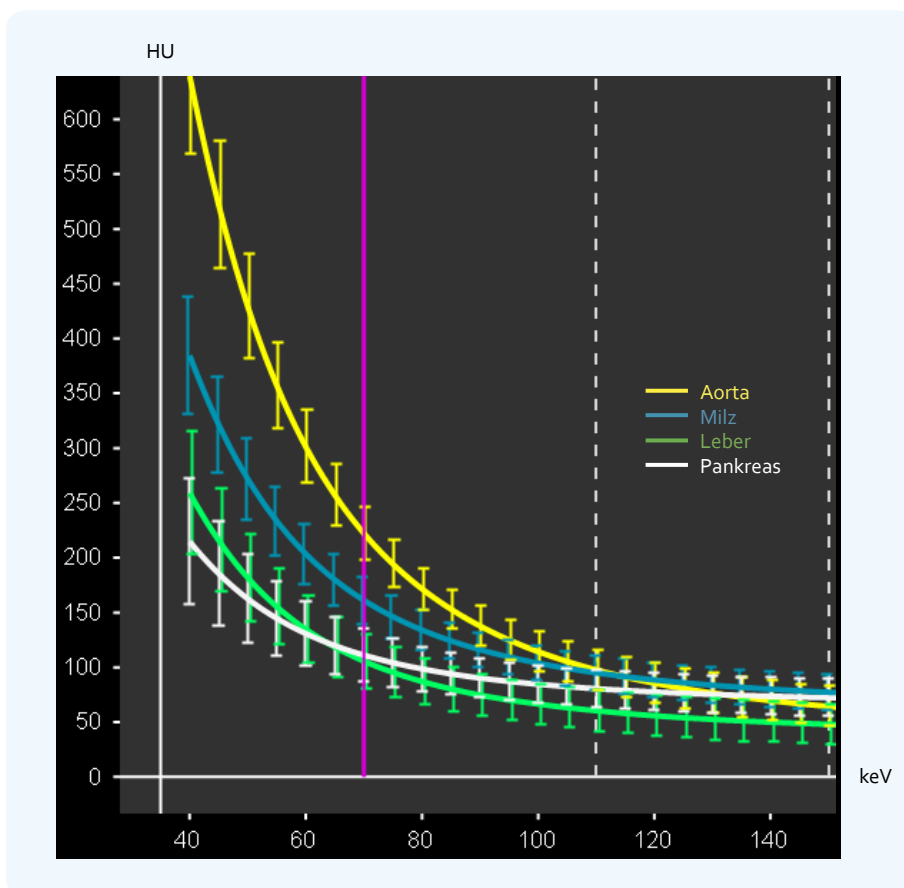
Vendor	CT-System	Configuration	Collim, Cone	Rot., FOM	Max. Power, Anode Angle	Max. mA @ low kV	Matrix	DECT
Canon	Aquilion ONE Genesis	320 × 0.5 mm PUREVISION	160 mm, 15°	0.275 s, 50 cm	100 kW, 10° MegaCool Vi	600 mA @ 80 kV	512	2 scans
Canon	Aquilion Precision	160 × 0.25 mm PUREVISION	40 mm, 3.9°	0.35 s, 50 cm	72 kW, 7° MegaCool Micro	600 mA @ 80 kV	512, 1024, 2048	2 scans
GE	Revolution Apex	256 × 0.625 mm GemStone Clarity	160 mm, 15°	0.28 s, 50 cm	110 kW, 10° Quantix 160	1300 mA @ 70, 80 kV	512	fast TVS
GE	CardioGraphe	192 × 0.73 mm (focused FOM)	140 mm, 17°	0.24 s, 25/16 cm	72 kW, 13° Dual MCS 2093	600 mA @ 80 kV	512	2 scans
Philips	Brilliance iCT	2 • 128 × 0.625 mm NanoPanel 3D	80 mm, 7.7°	0.27 s, 50 cm	120 kW, 8° iMRC	925 mA @ 80 kV	512, 768, 1024	2 scans
Philips	IQon	2 • 64 × 0.625 mm NanoPanel Prism	40 mm, 3.9°	0.27 s, 50 cm	120 kW, 8° iMRC	925 mA @ 80 kV	512, 768, 1024	sandwich
Siemens	Somatom Edge Plus	2 • 64 × 0.6 mm Stellar	38.4 mm, 3.7°	0.28 s, 50 cm	100 kW, 7° Stratron MX S	650 mA @ 70 kV 750 mA @ 80, 90 kV	512	split filter
Siemens	Somatom Force	2 • 2 • 96 × 0.6 mm Stellar	57.6 mm, 5.5°	0.25 s, 50/36 cm	2 • 120 kW, 8° Vectron	2 • 1300 mA @ 70, 80, 90 kV	512, 768, 1024	DSCT
Siemens prototype	Somatom CounT	32 × 0.5 mm (photon counting)	16 mm, 1.5°	0.5 s, 50/28 cm	77 kW, 7° Stratron MX P	500 mA @ 70 kV 550 mA @ 80 kV	512, 768, 1024, 2048	4 bin PC

breite sowie immer leistungsstärkere Röntgenröhren auf. Warum ist das wichtig? Wenn wir Röhrenstrommodulation betreiben, was jedes seit 2016 in Deutschland zugelassene Gerät leisten muss, haben wir keine konstante Dosis mehr. Stattdessen wird die Dosis durch die unterschiedliche Schwächung angepasst. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Dosis im seitlichen Strahlengang auch immer etwas anders ist als im anterior-posterioren Strahlengang. Es kann eine Dosisreduktion von etwa 15 bis 20 %, manchmal auch bis zu 35 % erreicht werden. Wenn die Kilovoltage-(kV-)Zahl angepasst wird, werden die neuen Röhren benötigt, die eine hohe Leistungsstärke aufweisen. Um eine optimale Bildqualität zu erreichen, ohne dabei den Dosisaspekt aus dem Auge zu verlieren, muss der individuellen Konstitution der Patienten Rechnung getragen werden. Bei schlanken Patienten reichen zumeist niedrige Spannungen aus, kräftigere Patienten benötigen hingegen eher höhere Spannungen mit automatischer Spannungsvorwahl und Röhrenstromanpassung. Wir haben in einem allgemeinen onkologischen Patientenkollektiv eine Studie mit automatischer Spannungsvorwahl und Röhrenstromanpassung durchgeführt. Dabei erhielten >100 Patienten ein Thorax- und 100 Patienten ein Abdomen-CT. Wir konnten für den Thorax eine mittlere Dosisreduktion von 26 % und für das Abdomen von 13 % erzielen. Wie Sie anhand dieses Beispiels erkennen können, haben wir eine Dosisreduktion von 30 % erreicht, nur mit dem Unterschied, dass wir statt den standardmäßigen 120 kV mit 80 kV untersucht haben. Wenn wir mit 80 kV untersuchen, muss ein höherer Röhrenstrom (mAs-Produkt) verwendet werden. Das heißt, die Röhrenleistung muss höher sein, und deshalb ist es notwendig, diese Röhren anders zu konstruieren. Während wir in der

Bei der Wahl der Röhrenspannung muss der individuellen Konstitution des Patienten Rechnung getragen werden.

Vergangenheit Röhren hatten, die über eine längere Zeit eine konstante Leistung erbracht haben, sind die neuen Röhren so optimiert, dass sie über eine kürzere Zeit eine sehr hohe Leistung bieten können. Dies bewirkt, dass wir nicht nur bei sehr schlanken Patienten mit niedrigeren kV-Werten arbeiten können, sondern auch bei den kräftigeren Patienten. Da die Röntgendetektoren mittlerweile so breit und die Untersuchungszeiten sehr kurz sind, reichen diese kurzen Leistungszeiten aus.

Wie nimmt nun die Röhrenspannung Einfluss auf den Iodkontrast? Wenn wir mit 120 kV arbeiten, sind wir bei einer Aorten-CTA typischerweise in einem Bereich von ungefähr 300 bis 350 Hounsfield-Einheiten (HU). Wählen wir eine Spannung von 70 kV, erreichen wir etwa das Doppelte, das heißt ca. 700 HU. Also bewirkt eine konstante Iodkonzentration bei Reduktion der Röntgenspannung von 120 auf 70 kV eine Verdoppelung der HU-Werte. Dies ist hier anhand eines Beispieles dargestellt. Unterschiedliche Organe weisen eine unterschiedliche Iodkonzentration bei einer KM-gestützten CT-Untersuchung auf. Die kann man sich beim sog. "monoenergetic imaging" zunutze machen. Unter Verwendung von dual-energy-CT-Daten können virtuell unterschiedliche keV-Stufen eingestellt werden, dadurch wird der Schwächungseffekt von Jod verändert: niedrige keV-Stufen führen zu einer Erhöhung, hohe keV-Stufen zu einer Verminderung des Jodkontrasts. Dabei entsprechen 70 keV etwa einer Röhrenspannung von 120 kV. Je mehr Iod im untersuchten Organ vorhanden ist, desto größer ist die Diskrepanz in den tieferen Röhrenspannungsbereichen (■ Abb. 1).



Moderne CT-Geräte erlauben es, auch bei Übergewicht mit geringeren Röhrenspannungen zu arbeiten.

Abbildung 1
Energieabhängigkeit (keV) der HU-Werte

In einem Bereich >100 bis 120 keV liegen diese Werte sehr eng zusammen; Sie sehen den Effekt der höheren Absorption nicht mehr. Dieses Prinzip kann man auch auf Artefakte übertragen. Hierbei wird vom gegenteiligen Effekt Gebrauch gemacht, das bedeutet, wir versuchen, die Bilder mit relativ hohen keV-Werten zu rekonstruieren. Dadurch können beispielsweise Streifenartefakte durch eine Hüft-TEP (totale Endoprothese, TEP) minimiert werden, wodurch eine bessere Abgrenzung der Beckenorgane gelingt.

Je niedriger die kV-Zahl ist, desto besser fällt der Kontrast zwischen Iod und Hintergrund aus.

Wie wirkt sich die Röhrenspannung auf die Bildqualität aus? Hier gilt: Je niedriger die kV-Zahl ist, desto höher ist das Rauschen, aber desto höher ist auch der Kontrast zwischen Iod und Hintergrund aus. Um das erhöhte Rauschen zu kompensieren muss der Röhrenstrom etwas angehoben werden, in der Summe ergibt sich allerdings ein besseres Signal-Rausch-Verhältnis bei niedrigerer Dosis wenn mit niedrigen kV-Werten untersucht wird. Rauschreduktion kann aber auch durch andere Maßnahmen erreicht werden. Hierfür kann z. B die iterative Bildrekonstruktion zum Einsatz kommen. Auf der linken Seite sehen Sie eine Abdomenuntersuchung mit relativ niedriger Dosis und gefilterter Rückprojektion. Auf der rechten Seite sehen Sie den Effekt eines bereits älteren bildbasiertes Iterationsverfahren, und – gerade wenn Sie so homogene Areale betrachten wie die Blase – erkennen Sie die deutliche Verminderung des Rauschens. Auch kommen Kontraste besser zur Darstellung. In einer Arbeit wurde untersucht, wie sich unterschiedliche Rekonstruktionsverfahren auf die Bildqualität auswirken. Hier wurden hybride iterative Rekonstruktionsverfahren mit modellbasierten iterativen Rekonstruktionsverfahren sowie mit Deep-Learning-Ansätzen verglichen. Von der gefilterten Rückprojektion bis hin zur Deep-Learning-basierten Bildrekonstruktion wird eine deutliche Steigerung der Bildqualität erzielt, v. a. in den Weichteilen. Aber auch in der Hochkontrastbildgebung kommt es zu einer Rauschreduktion und damit zu einer verbesserten Auflösung.

Ich möchte abschließend zur CT-Technik zusammenfassen:

Eine Reduktion der Röhrenspannung führt zu ...

- einer Reduktion der effektiven Dosis,
- zu einer Erhöhung des Rauschens sowie
- zu einer Erhöhung der Iodabsorption.

Eine Reduktion des Rauschens gelingt durch ...

- Anhebung des Röhrenstromzeitproduktes (mAs) sowie
- komplexe Bildrekonstruktionsverfahren.

Eine Reduktion der Dosis kann erreicht werden durch ...

- eine Reduktion der Röhrenspannung,
- die Anwendung von „tube current modulation“ (TCM) und
- Rauschunterdrückungsverfahren.

Wichtig: Eine Spannung von 120 kV ist heute nicht mehr Standard! Es ist eine individuelle Anpassung der Untersuchungsprotokolle erforderlich.

BASICS DES KONTRASTMITTELS

Wir unterscheiden grundsätzlich zwischen ionischen und nicht ionischen iodhaltigen Kontrastmitteln. Es gibt niedrigosmolare und isoosmolare Kontrastmittel, die sogenannten „low-osmolar contrast agents“ (LOCA) und „iso-osmolar contrast agents“ (IOCA). Wichtige Parameter bei der Kontrastmittelgabe sind die Flussrate, die Kontrastmittelmenge, die Iodkonzentration und, von zentraler Bedeutung, die Iodeinbringungsrate bzw. die „iodine delivery rate“ (IDR). Wir können uni- und mehrphasische Kontrastmittelprotokolle verwenden. Dabei ist es wichtig zu unterscheiden, ob es sich um eine Gefäß- oder Parenchymdarstellung handelt. An dieser Stelle sollen einige wichtige Statements der European Society of Urogenital Radiology (ESUR) zur Kontrastmittelgabe vorgestellt werden:

- Die Inzidenz akuter Reaktionen bei nicht ionischen niedrig osmolaren und nicht ionischen isoosmolaren Kontrastmitteln ist vergleichbar (LOCA entspricht IOCA).
- Es gibt keine unterschiedliche Inzidenz akuter unerwünschter Wirkungen in der Gruppe der nicht ionischen niedrig osmolaren Kontrastmittel.
- Falls ein Patient auf ein bestimmtes Kontrastmittel reagiert hat, sollte bei einer Folgeuntersuchung ein anderes Kontrastmittel verwendet werden.
- Eine Prämedikation ist fragwürdig, da die klinische Evidenz für die Wirksamkeit limitiert ist.
- Eine Nahrungskarenz ist vor Applikation von niedrig osmolaren, nicht ionischen iodhaltigen Röntgenkontrastmitteln oder von Gadoliniumhaltigen Kontrastmitteln nicht erforderlich.

Im nächsten Punkt geht es um die akute Nierenschädigung („acute kidney injury“, AKI). Von einem Kontrastmittelinduzierten Nierenversagen sollte nur noch gesprochen werden, wenn dieses zwei bis drei Tage nach Kontrastmittelgabe auftritt und andere Ursachen sicher ausgeschlossen sind. Es sollte der Begriff „post-contrast AKI“ (PC-AKI) verwendet werden. Diese Empfehlungen basieren darauf, dass die Ursachen einer AKI im klinischen Alltag mannigfaltig sind. Bis zu 7 % aller stationären Patienten und bis zu 30 % der Patienten, die über die Notaufnahme aufgenommen werden, entwickeln im Verlauf des Aufenthaltes eine AKI. Die ESUR unterscheidet zwischen Risikofaktoren für PC-AKI und untersuchungsbedingten Risiken. Ein wichtiger Risikofaktor ist eine errechnete glomeruläre Filtrationsrate (eGFR) $<45 \text{ ml/min/1,73 m}^2$ vor intraarterieller Röntgenkontrastmittelgabe mit renalem First-Pass-Effekt oder bei Patienten einer Intensivstation. Beim CT ist man hier entspannter, weil das Kontrastmittel dabei in verdünnter Form in der Niere ankommt (renaler second pass Effekt). Für die Gabe von Kontrastmittel im CT gilt deshalb erst eine eGFR $<30 \text{ ml/min/1,73 m}^2$ als Risikofaktor. Zudem weisen Patienten mit bekanntem oder vermutetem akuten Nierenversagen ein erhöhtes Risiko für PC-AKI auf. Die untersuchungsbedingten Risikofaktoren sind

- intraarterielle Röntgenkontrastmittelgabe mit renalem First-Pass-Effekt,
- große Menge eines intraarteriellen Kontrastmittels mit renalem First-Pass-Effekt,
- hoch osmolare Röntgenkontrastmittel sowie
- mehrfache Röntgenkontrastmittelgabe innerhalb von 48 bis 72 Stunden.

Man ist mittlerweile der Meinung, dass die Inzidenz des PC-AKI in der Vergangenheit deutlich überschätzt wurde. Dies spiegelt sich in den Empfehlungen der Canadian Association of Radiologists (CRA) von 2022 wider. Gemäß diesen Empfehlungen ist eine eGFR-Bestimmung bei ambulanten Patienten nicht mehr erforderlich; ein Fragebogen genügt. Es muss v. a. ausgeschlossen werden, dass eine Nierenerkrankung oder ein Zustand nach Nierentransplantation vorliegt. Bei stationären Patienten soll bis zu sieben Tage vor Kontrastmittelgabe eine eGFR-Bestimmung erfolgen. Im Notfall soll sofort untersucht werden, ohne Verzögerung durch eine eGFR-Bestimmung. Eine allgemeine Empfehlung zur Hydrierung vor der Untersuchung besteht nicht mehr. Eine Hydrierung kann durchgeführt bei Patienten mit einer eGFR $<30 \text{ ml/min/1,73 m}^2$, aber der Erfolg ist unklar. Bei Dialysepatienten ist eine Änderung des Dialyseschemas nicht angezeigt. Eine pharmakologische Prophylaxe wird nicht mehr empfohlen. Hinsichtlich der Wahl des Kontrastmittels wurden zuvor isoosmolare Kontrastmittel empfohlen. Inzwischen gibt es bezüglich der

Bei intraarterieller Röntgenkontrastmittelgabe mit renalem Second-Pass-Effekt gilt eine eGFR $<30 \text{ ml/min/1,73 m}^2$ als Risikofaktor für ein akutes Nierenversagen.

Die Inzidenz des PC-AKI wurde früher überschätzt.

Eine Bestimmung der eGFR ist nicht mehr bei allen Patienten vor Kontrastmittelgabe erforderlich.

Routinemäßige eGFR-Kontrollen nach Kontrastmittelgabe sind nicht notwendig.

Osmolarität keine Präferenz mehr. In der Vergangenheit galt die Empfehlung, dass die Kontrastmittelmenge möglichst gering zu halten ist, ohne den Untersuchungserfolg zu gefährden. Die neue CRA-Leitlinie von 2022 empfiehlt eine Kontrastmittelanpassung unterhalb des Standards hingegen nicht mehr. Metformin muss nur bei Patienten mit einer eGFR <30 ml/min/1,73 m² bis 48 Stunden nach Kontrastmittelapplikation pausiert werden. Routinemäßige eGFR-Kontrollen nach Untersuchung mit Kontrastmitteln werden nicht mehr empfohlen.

Die aktuellen ESUR-Empfehlungen sind im Vergleich zu den CRA-Empfehlungen etwas zurückhaltender. Hier sind die ESUR-Guidelines von 2018 den kanadischen von 2022 gegenübergestellt (Tab. 2).

	Empfehlungen 2022 (CAR)	Empfehlungen 2018 (ESUR)
eGFR-Bestimmung elektiv	Ambulante Patienten: Fragebogen (Nierenerkrankung oder Nierentransplantation) Stationäre Patienten: Bestimmung bis zu sieben Tage vor Untersuchung	Ambulante Patienten: alle oder Patienten mit Nierenerkrankung, Hyperurikämie, Diabetes, Hypertonie Stationäre Patienten: Bestimmung bis zu sieben Tage vor Untersuchung
Notfall	Sofortige Untersuchung	Sofortige Untersuchung, aber falls möglich Volumenexpansion
Dialyse	Keine Änderung	Keine Änderung
Hydrierung	eGFR <30 ml/min/1,73 m ² möglich, aber Erfolg unklar	eGFR <30 ml/min/1,73 m ²
Pharmakologische Prophylaxe	Keine	Keine
KM-Typ	Keine Änderung (LOCA = IOCA)	Keine Änderung (LOCA = IOCA)
KM-Menge	Keine KM-Reduktion	KM-Reduktion, wenn diagnostisch vertretbar
Metformin	eGFR <30 ml/min/1,73 m ² : Stopp bis 48 Std. nach KM	eGFR <30 ml/min/1,73 m ² : Stopp bis 48 Std. nach KM
eGFR-Kontrolle	Keine Empfehlung	48 h nach KM bei Risikopatienten

Tabelle 2

Gegenüberstellung der aktuellen Empfehlungen der CAR (2022) und ESUR (2018) zum Einsatz von iodhaltigen Kontrastmitteln (KM)

Hier wird eine eGFR-Bestimmung im ambulanten Setting entweder bei allen Patienten *oder* bei Patienten mit bekannter Nierenerkrankung, mit Hyperurikämie, Diabetes mellitus oder arterieller Hypertonie empfohlen. Insbesondere bei Patienten höheren Lebensalters sind somit bei einem erheblichen Teil Laborkontrollen notwendig. Im Notfall wird in der europäischen Leitlinie die Volumenexpansion noch empfohlen. Auch wird weiterhin eine Kontrastmittelreduktion empfohlen, allerdings mit dem Zusatz, nur soweit es diagnostisch vertretbar ist. Zudem werden bei Risikopatienten eGFR-Kontrollen 48 Stunden nach der Kontrastmittelgabe empfohlen.

SCAN-ZEIT

Die Scan-Zeit hat sich mit Einführung der neuen Geräte dramatisch verändert. Wenn wir an die Herzuntersuchung denken, bietet ein Hersteller die sogenannte „high-pitch“ Angio-CT an, bei der die Untersuchungsdauer den Bruchteil einer Sekunde beträgt. Bei anderen Herstellern, die mit sehr breiten Detektorpanels arbeiten und das Herz mit einer Umdrehung bzw. einer halben Umdrehung des Röhrendetektorsystems erfassen, liegt die Untersuchungsdauer ebenfalls deutlich <1 Sec. Für eine sequenzielle Angio-CT des Herzens werden typischerweise 5 bis 10 Sec benötigt. Mit solch kurzen Untersuchungszeiten muss auch nicht über einen besonders langen Zeitraum Kontrastmittel injiziert werden. Die Angio-CT des Rumpfes samt proximalen Oberschenkeln benötigt mit einer „high-pitch“ Angio-CT etwa 1 bis 2 Sec., mit konventionellen pitch-Werten zwischen 5-15se. Der Start

der Untersuchung muss für jeden Patienten an das Kontrastmittelprotokoll sowie an die Kontrastmittelinjektion angepasst werden. Dazu gibt es prinzipiell zwei Möglichkeiten: Es kann ein Bolustracking verwendet werden. Dazu setzen wir einen Tracker in die Aorta ascendens und legen einen Schwellenwert - z. B. 140 HU - fest. Zusätzlich wird eine gewisse Startverzögerung eingegeben. Die Startverzögerung kann nicht völlig frei gewählt werden, sie wird vom Gerät vorgegeben. Und ist von der Zeit der Tischverschiebung abhängig und auch von der Zeit, die benötigt wird, um vom sequenziellen Scan auf die Untersuchungsspirale umzuschalten. Typischerweise liegen die kürzesten Umschaltzeiten im Bereich von 1 bis 2 Sec. Bitte denken Sie daran: Ältere Menschen schaffen es meistens nicht, innerhalb dieser kurzen Zeit ein Atemkommando auszuführen, sodass Sie hierfür zusätzliche Zeit einplanen müssen. Der große Vorteil ist allerdings: Sie spritzen den kompletten Kontrastmittelbolus, und sobald ein gewisser Schwellenwert erreicht ist, startet das Gerät automatisch. Das heißt, es handelt sich hier um ein besonders sicheres und anwenderfreundliches Verfahren. Es hat allerdings zwei Nachteile: Zum einen wird Zeit für das Atemkommando benötigt. Zum anderen ist der inspiratorische Herzfrequenzanstieg eine Herausforderung bei der Herz-CT. Das heißt, hier sollten Sie dann das Bolustracking so planen, dass Sie sich nach dem Atemkommando noch 5 bis 6 Sec Zeit lassen, bevor die Untersuchung anfängt. Eine Alternative zu diesem Vorgehen ist das Testbolusverfahren. Dieses ist in der Anwendung etwas komplizierter, aber sehr sicher. Es wird eine geringfügig größere Kontrastmittelmenge benötigt. Sie spritzen zunächst 10 bis 20 ml Kontrastmittel und messen, wann das Kontrastmittel im Zielgefäß ankommt. Wenn zum Beispiel eine Herzuntersuchung durchgeführt wird, kann in der Aorta ascendens gemessen werden. Es dauert ca. 10 bis 12 Sec bis das Kontrastmittel in die Aorta ascendens gelangt. Das Zielgefäß kann auch retrospektiv gewählt werden; eine vorherige Festlegung ist nicht erforderlich. Ebenso kann in mehreren Gefäßen gemessen werden. Es muss allerdings beachtet werden, dass der Peak des Testbolus stets etwas früher stattfindet als der Peak des großen Bolus (■ Abb.2).

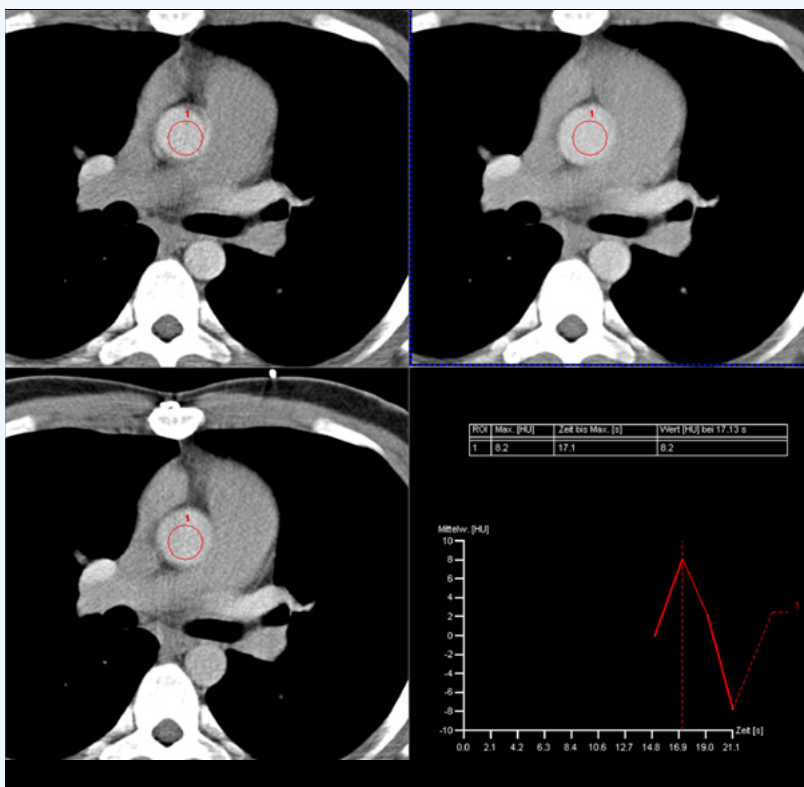


Abbildung 2
Beispiel für das Testbolusverfahren

KONTRASTMITTELDYNAMIK – THEORETISCHE GRUNDLAGEN

Ich möchte Ihnen jetzt einige theoretische Grundlagen zur Kontrastmitteldynamik vorstellen. In der folgenden Abbildung aus der Publikation von Bae wird das ideale Kontrastmittelverhalten dem realen gegenübergestellt (■ Abb.3).

Diese einfache Kontrastmittelkurve (obere Reihe in Abb. 3) kann allerdings nur für kurze Boli angenommen werden. Hier kann das maximale Enhancement durch eine einfache Addition von Injektionszeit und Bolusankunftszeit (Tarr, „contrast material arrival time“) berechnet werden. Bei längeren Injektionszeiten muss die Rezirkulation mitberücksichtigt werden. Durch den Rezirkulationseffekt ist das Peak-Enhancement nicht mehr rechteckig, sondern steigt weiter an. Zusätzlich sorgen hämodynamische Verwirbelungen dafür, dass die Phase des hohen Kontrastes insgesamt etwas kürzer ausfällt (■ Abb.3).

Kontrastmittelverhalten wird durch Rezirkulation und hämodynamische Verwirbelungen beeinflusst. Dies muss v. a. bei langer Injektionsdauer berücksichtigt werden.

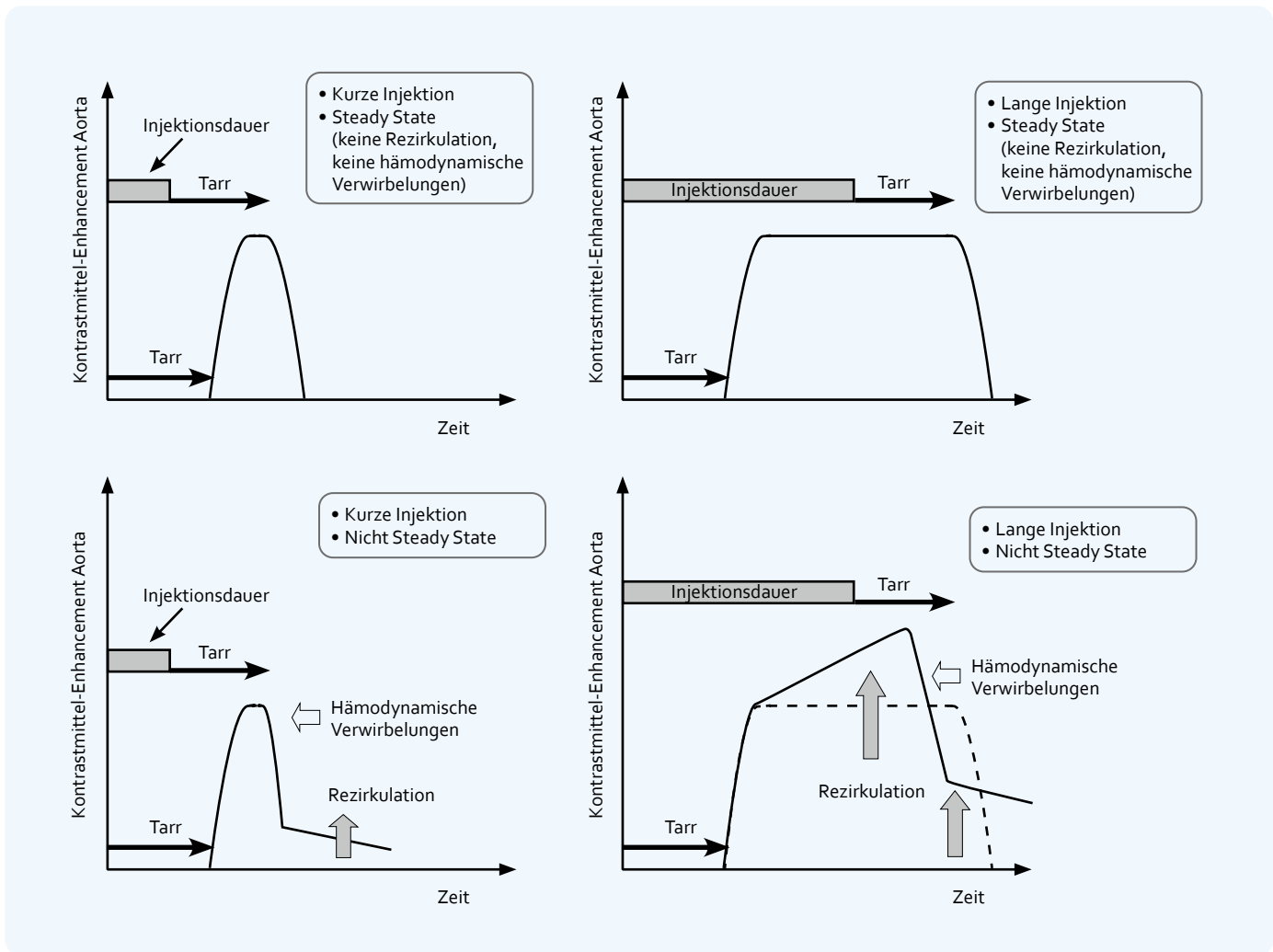


Abbildung 3
Ideales (oben) versus reales (unten) Kontrastmittelverhalten

Je höher das Patientengewicht, desto niedriger fällt das Kontrastmittel-Enhancement aus.

Auch das Gewicht des Patienten hat einen Einfluss auf das Enhancement: Je höher das Patientengewicht, desto niedriger fällt das Enhancement aus. Daher werden bei einem höheren Gewicht höhere Iodmengen benötigt, um die gleiche Kontrastierung zu erreichen. Allerdings ist die Ankunftszeit („time to peak“) identisch. Dies gilt für Gefäß wie für parenchymatöse Organe. Eine weitere wichtige Einflussgröße auf das Enhancement ist das Herzzeitvolumen. Je niedriger das Herzzeitvolumen ausfällt, desto größer ist das Enhancement. Jedoch verlängert sich bei einem geringeren Herzzeitvolumen die „time to peak“. Dieser Effekt ist für die Gefäßdarstellung stärker ausgeprägt als für die Parenchybildgebung. Das verzögerte Peak-Enhancement kommt v. a. bei der Darstellung der Pfortader zum Tragen. Bei einer

etwa 60 %igen Reduktion des Herzzeitvolumens wird der Peak statt nach den üblichen 60 bis 70 Sec erst nach ca. 120 Sec erreicht. Die verwendete Kontrastmittelmenge wirkt sich ebenfalls auf das Peak-Enhancement aus. Der Hauptbolus verhält sich hierbei im Prinzip wie viele kleine hintereinandergeschaltete Testboli. Ein größeres Kontrastmittelvolumen führt zu einer verlängerten Injektionszeit sowie einem höheren und verlängerten Kontrastanstieg (■ Abb.4).

Hinsichtlich des Einflusses der Injektionsrate unterscheiden sich Gefäße und parenchymatöse Organe. Während es bei Letzteren ab einer Injektionsrate von etwa 2,5 bis 3 ml/Sec praktisch zu keinem weiteren Anstieg des Peak-Enhancement kommt, kann das Enhancement der Gefäße bis zu einer Injektionsrate von etwa 7,5 ml/Sec deutlich verbessert werden; anschließend kommt es auch hier zum Abflachen der Kurve (■ Abb.5).

Ab einer Injektionsrate von etwa 8 bis 10 ml/Sec wird es unangenehm für die Patienten, sodass auch in Anbetracht des eher geringen Zugewinnes eine Steigerung der Rate im Bereich >8 ml/Sec zurückhaltend erfolgen sollte.

Je niedriger das Herzzeitvolumen ausfällt, desto größer ist das Enhancement.

Eine Steigerung der Injektionsrate kann vor allem das Enhancement bei der Gefäßdarstellung verbessern.

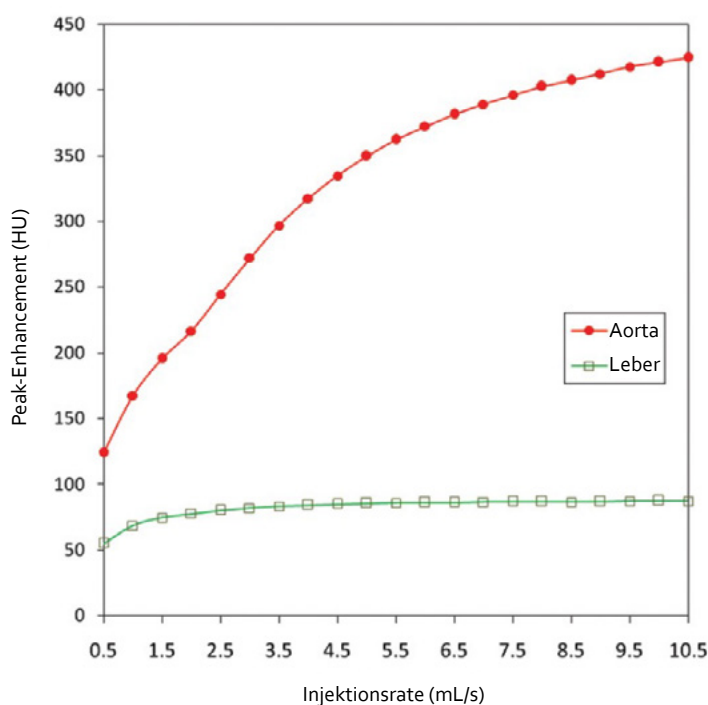
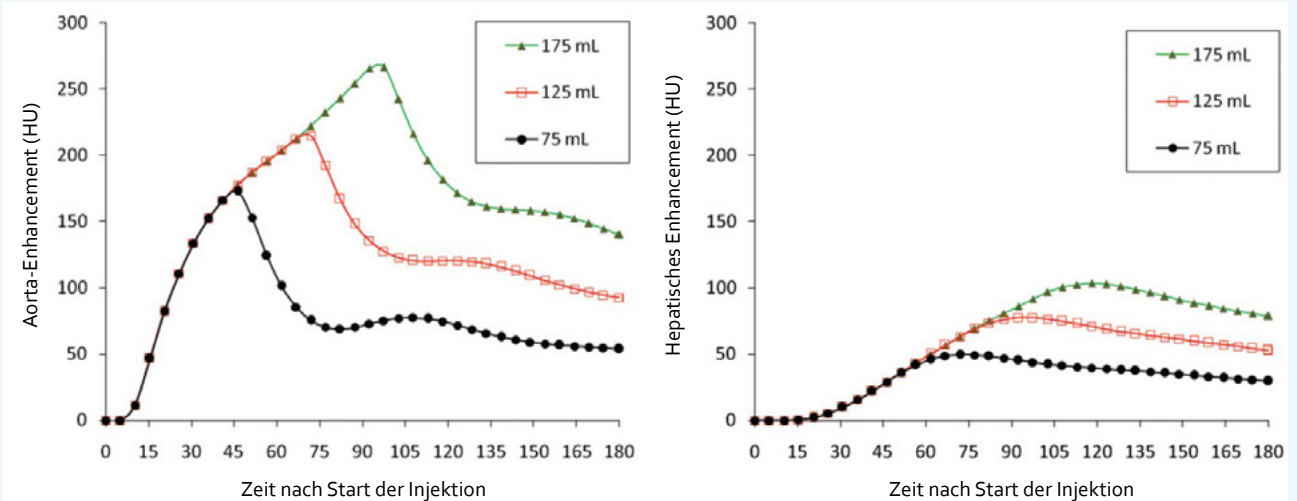


Abbildung 4

Einfluss des Kontrastmittelvolumens auf Höhe und Länge des Kontrastanstieges in Gefäßen (links) und in parenchymatösen Organen (rechts)

Abbildung 5

Einfluss der Injektionsrate auf das Peak-Enhancement

Eine Steigerung der Injektions-Rate >8 bis 10 ml/Sec ist meist nicht sinnvoll.

Höher konzentrierte Kontrastmittel sollten zur Senkung der Viskosität vor Injektion angewärmt werden.

Die IDR ist für die Angio-CT ein zentraler veränderbarer Parameter.

Für die Parenchymdarstellung ist die TID entscheidend.

Höhere Iodkonzentrationen führen zu einem höheren Kontrastanstieg. Gleichzeitig kommt es zu einer Verbreiterung des Scan-Fensters. Eine höhere Iodkonzentration des Kontrastmittels ist somit eine Alternative zu hohen Injektionsgeschwindigkeiten, wenn damit dieselbe „iod delivery rate“ (IDR) erreicht wird. Eine hohe IDR ist ideal für eine schnelle Angio-CT und zur Darstellung hypervaskularisierter Tumoren. Nachteilig ist aber, dass eine hohe Iodkonzentration zu einer hohen Viskosität führt. Eine hohe Viskosität beeinträchtigt den Kontrastmittelfluss und ist unangenehm für die Patienten. Allerdings ist die Viskosität temperaturabhängig und fällt bei höheren Temperaturen ab. Daher ist es wichtig, wenn mit höher konzentrierten Kontrastmitteln gearbeitet wird, diese vor Anwendung anzuwärmen. An dieser Stelle fasse ich wichtige, beeinflussbare Parameter für die Angio-CT nochmals zusammen:

- Iodkonzentration
- Injektionsgeschwindigkeit
- Kontrastmittelvolumen
- Injektionszeit
- Röhrenspannung
- Viskosität
- IDR (Iodmenge/Zeit), dies gilt allerdings nur begrenzt für das Parenchym, hier ist die Iodmenge der wichtigere Parameter.

Wenn Sie für einen „Standardpatienten“ bei einer Spannung von 120 kV die gewohnte Kontrastmittelmenge applizieren, reicht Ihnen, bei 70 kV 50 %. In anderen Worten, eine Reduktion der Röhrenspannung um 10 kV erlaubt eine etwa 10 %ige Kontrastmittelreduktion.

OPTIMALER KONTRAST

Es stellt sich die Frage, ob wirklich stets der höchstmögliche Kontrast benötigt wird. Im folgenden Beispiel ist bereits nativ zu sehen, dass ein hämorrhagischer Perikarderguss vorliegt (■ **Abb.6**).

Die Nativuntersuchung zeigt ganz klar eine Verbindung zwischen der Flüssigkeit im Perikard und linkem Ventrikel. Es liegt eine Myokardperforation infolge eines Myokardinfarktes vor. Dies wird in der Kontrastmittelverstärkten Bildgebung in der arteriellen Phase durch Kontrastmittelaustritt in das Perikard noch deutlicher. In der Spätphase („delayed phase“) ist das Kontrastmitteldepot ebenfalls zu erkennen. Dies soll veranschaulichen, dass die Diagnose letztlich in allen drei Kontrastmittelphasen gestellt werden kann, somit eine triphasische Untersuchung nicht unbedingt erforderlich gewesen wäre.

Wie können wir also das Kontrastmittelprotokoll anpassen? Ich möchte nochmals betonen, dass die IDR bei der Angio-CT die „zentrale Stellschraube“ ist. Wählen wir die IDR hoch, verkürzt sich die Injektionszeit, aber das Enhancement steigt. Beim Parenchym ist die „total iodine dose“ (TID) entscheidend. Je mehr Iod appliziert wird, desto höher fällt die Parenchymkontrastierung aus. Als bewährte „Faustregel“ gilt die sogenannte 10/10-Regel. Diese Regel besagt, wenn die Röhrenspannung um 10 kV reduziert wird, dann kann auch die IDR um 10 % reduziert werden. In der Parenchymbildgebung gilt analog, wenn Sie die Röhrenspannung um 10 kV reduzieren, dann können Sie die Kontrastmittelmenge um 10 % reduzieren.

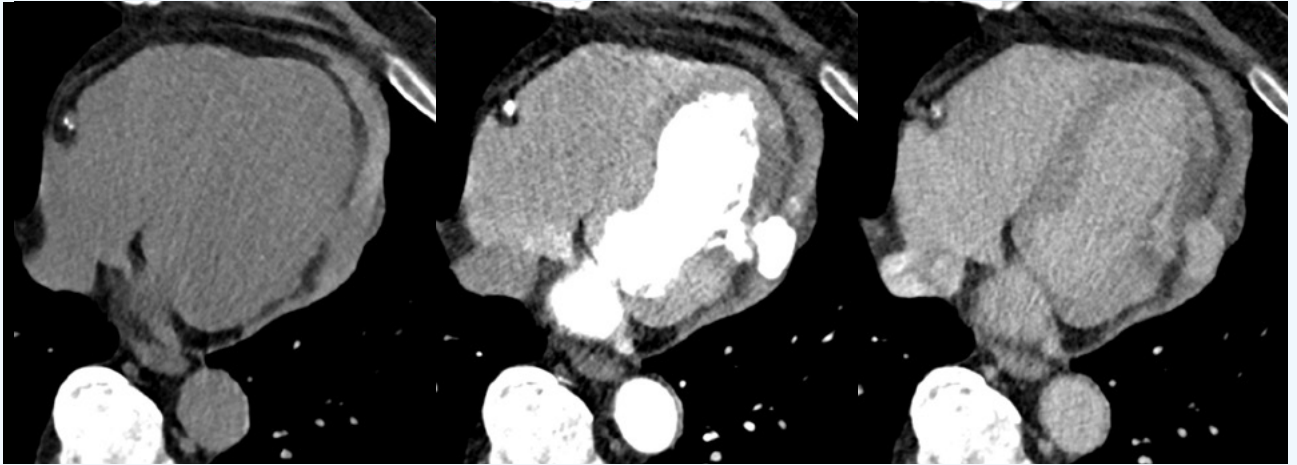


Abbildung 6

Mehrphasen-CT eines hämorrhagischen Perikardergusses, native (links), arterielle (Mitte) und Spätphase (rechts)

FIXES VERSUS KÖRPERGEWICHTSADAPTIERTES KONTRASTMITTEL-REGIME

Wie unterscheidet sich ein fixes Kontrastmittelregime von einem körperrgewichtsadaptierten? Abbildung 7 erklärt dies anschaulich: Wir wollen bei unserem 80kg schweren "Standardpatient" eine bestimmte Kontrastierung der Leber, die wir bei 90 kV Röhrenspannung mit ca 110 ml Kontrastmittel erwarten. Geben wir nun all unseren Patienten diese Menge, dann bekommen diejenigen Patienten die leichter sind zuviel, diejenigen die schwerer sind zu wenig Kontrastmittel und wir erreichen damit nicht die gewünschte (standardisierte) Leberkontrastierung, sondern bekommen eine breite Streuung. (■ Abb.7).

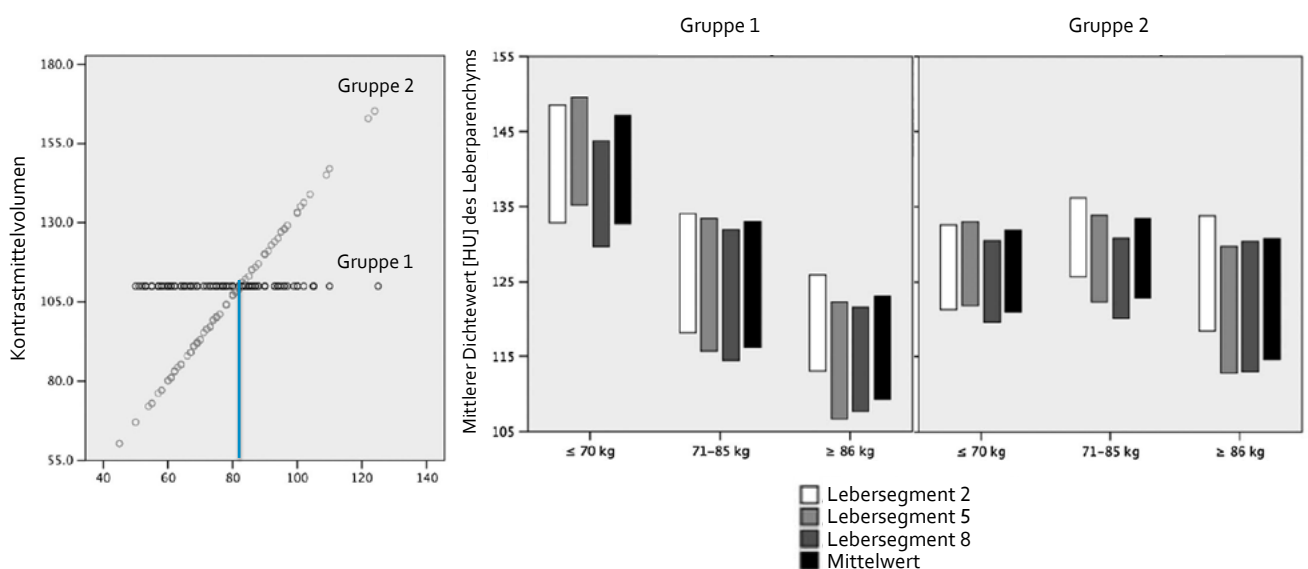


Abbildung 7

Fixes versus körperrgewichtadaptiertes Kontrastmittelregime

Ich darf zusammenfassen:

- Um homogene und vergleichbare Ergebnisse in der Parenchymbildgebung zu erreichen, sollten gewichtsadaptierte Kontrastmitteldosierungen verwendet werden.
- Die sog. 10/10-Regel hat sich in der Praxis zur Anpassung des Kontrastmittelprotokolls bewährt.
- Es sollte stets eine individuelle Kreislaufzeitbestimmung verwendet werden, dies gilt insbesondere für die Gefäßdarstellung.

Zum Abschluss sei noch die Verwendung oraler Kontrastmittel im Rahmen der Bildgebung des Magen-Darm-Traktes angesprochen. Wenn negatives Kontrastmittel verwendet wird, beispielsweise Wasser, ist die Situation unproblematisch, weil dieses natürlich stets 0 HU aufweist. Wenn allerdings bei sehr schlanken Patienten, die meist weniger Röhrenspannung als die standardmäßigen 100 kV benötigen, positives Kontrastmittel gegeben wird, dann sollte auch in diesem Szenario die 10/10-Regel zur Anwendung kommen. Alternativ kann „nach Bauchgefühl“ die Iodmenge leicht reduziert werden. Diese Maßnahmen sollen verhindern, dass hochkonzentrierte Kontrastmittel im Gastrointestinaltrakt andere Strukturen überstreuen und damit die Qualität der Bildgebung beeinträchtigen.

Zum Abschluss habe ich noch zwei Fälle mitgebracht.

FALLBEISPIEL 1

Wir haben hier eine Pulmonalis-CTA zum Ausschluss Lungenembolie, diese wurde mit 80kV Röhrenspannung durchgeführt. Es wurden 50 ml Kontrastmittel (300 mg Jod/ml) injiziert, die IDR lag bei 1,1 g Jod/Sec.

Der Kontrast im rechten Herzen und den Pulmonalarterien ist sehr hoch, um kleine Emboli nicht zu übersehen muss "weiter gefenstert" werden. Im Linken Ventrikel ist ist noch relativ wenig Kontrastmittel angekommen. Das timing ist also perfekt. Auch die Scanparameter mit 80 kV sind gut gewählt, das Signal-Rauschverhältnis passt.

Hätten wir also das Kontrastmittelprotokoll irgendwie verbessern bzw. individualisieren können?

Ja, wir hätten das Kontrastmittelvolumen und die IDR reduzieren können, dann wäre der Gefäßkontrast zwar etwas niedriger, die Aussagekraft wäre aber erhalten geblieben und wir hätten Kontrastmittel eingespart.

FALLBEISPIEL 2

Der nächste Fall ist etwas komplexer. Es geht um eine Verlaufskontrolle bei einem Patienten mit Non-Hodgkin-Lymphom. Ich habe die Voraufnahme und die aktuelle Aufnahme nebeneinandergelegt. Ein Messpunkt wurde in die Aorta und der andere in das Leberparenchym gesetzt. Im linken Bild beträgt die mittlere Dichte in der Aorta 212 HU, in der Leber 88 HU. Im rechten Bild entspricht die mittlere Dichte in der Aorta 220 HU (praktisch identisch) und 120 HU in der Leber. Die Iodmenge beträgt in der Untersuchung 1 (U1) 30 g Iod (100 ml), in U2 24 g Iod (80 ml). Der CT-Dose-Index (CTDI) beträgt allerdings 7,9 Milligray (mGy) für U1, aber nur 5,7 mGy für U2. Die IDR (0,75 gJ/s) war in beiden Untersuchungen identisch. Hinsichtlich der Röhrenspannung unterscheiden sich die beiden Untersuchungen: U1 wies 120 kV auf, U2 hingegen nur 90 kV. Das bedeutete, die Strahlenexposition war signifikant höher in U1 als in U2. Durch eine Optimierung des Untersuchungsprotokolls mit Reduktion der Röhrenspannung haben wir in U2 also sowohl Röntgenstrahlung als auch Kontrastmittel einsparen können.

Autor

Prof. Dr. med. Michael Lell
Klinikum Nürnberg
Prof.-Ernst-Nathan-Straße 1,
90419 Nürnberg

Fortbildungspartner

Bayer Vital GmbH

Transparenzinformation

Ausführliche Informationen zu Interessenkonflikten und Sponsoring sind online einsehbar unterhalb des jeweiligen Kursmoduls.

Bildnachweis

Titelbild: © sfam_photo – Shutterstock

CME-Test

Die Teilnahme am CME-Test ist nur online möglich. Scannen Sie den nebenstehenden QR-Code mit Ihrem Mobiltelefon/Tablet oder gehen Sie auf die Website: www.cme-kurs.de



CME-Fragebogen



Bitte beachten Sie:

- Die Teilnahme am nachfolgenden CME-Test ist nur online möglich unter: www.cme-kurs.de
- Diese Fortbildung ist mit 4 CME-Punkten zertifiziert.
- Es ist immer nur eine Antwortmöglichkeit richtig (keine Mehrfachnennungen).

? Welche Aussage ist richtig? Wenn die Röhrenspannung reduziert wird ...

- ... sinkt das Rauschen.
- ... sinkt die Absorption von iodhaltigem Kontrastmittel.
- ... sollte das Röhrenstromzeitprodukt angehoben werden.
- ... sinkt das Signal-zu-Rausch-Verhältnis bei identischer Iodmenge.
- ... sollte das Röhrenstromzeitprodukt gesenkt werden.

? Welche Aussage ist richtig? Moderne Bildrekonstruktionsverfahren (iterativ oder AI-basiert) ...

- ... verbessern das Signal-zu-Rausch-Verhältnis im Bild.
- ... benötigen weniger Rechenleistung als die gefilterte Rückprojektion (FBP).
- ... sind bei allen seit 2020 in Betrieb genommenen Geräten verpflichtend.
- ... führen zu höherer Strahlenexposition beim Patienten.
- ... sind für alle Hersteller standardisiert und funktionieren gleich.

? Welche Aussage widerspricht der aktuellen ESUR-Guideline?

- Risikofaktor für die PC-AKI sind eGFR <30 ml/min/1,73 m² bei i. v. und renaler „second pass“.
- Risikofaktor für die PC-AKI ist ein bekanntes oder vermutetes akutes Nierenversagen.
- „Contrast induced nephropathy“ (CIN) ist spezifischer als AKI und deshalb zu bevorzugen.
- Die Bestimmung der eGFR ist die empfohlene Methode zur Einschätzung der Nierenfunktion.
- Bei afroamerikanischen Patienten wird die eGFR-Formel um den Faktor 1,159 erweitert.

? Welche Aussage ist konform zur aktuellen ESUR-Guideline?

- Bei ambulanten Patienten wird eine eGFR-Bestimmung nicht mehr empfohlen.
- Die eGFR sollte bei stationären Patienten nicht älter als sieben Tage sein.
- Bei Risikopatienten sollte IOCA der Vorzug gegenüber LOCA gegeben werden.
- Bei Risikopatienten sollte HOCA der Vorzug gegenüber LOCA gegeben werden.
- Metformin sollte bei allen Patienten mindestens 24 h vor KM-Gabe abgesetzt werden.

? Welche Aussage zum Testbolus ist richtig?

- Ein festes „delay“ von 15 Sec für die CTA der supraaortalen Gefäße und 20 Sec für die CTA der Aorta ist einer Kreislaufzeitbestimmung mit Testbolus oder Bolustracking überlegen.
- Die Testbolusmethode definiert exakt den Peak des KM-Bolus bei der CTA.
- Die Testbolusmethode ist kompliziert und führt oft zu unbefriedigenden Ergebnissen.
- Die Testbolusmethode erhöht das Volumen der KM-Menge.
- Die Testbolusmethode zeigt neben der arteriellen auch die venöse KM-Ankunftszeit.

? Welche Aussage zum Bolustracking ist richtig?

- Bolustracking ist eine robuste Methode zur Erfassung der individuellen Kontrastmittelanflutung.
- Wenn 350 HU im Zielgefäß angestrebt sind, sollte beim Bolustracking die Triggerschwelle auf 330 HU eingestellt werden.
- Die Umschaltung vom „tracking mode“ auf den „spiral mode“ geschieht ohne Zeitverzug.
- Beim Bolustracking können keine Atemkommandos gegeben werden.
- Mit Bolustracking kann man eine venöse Überlagerung bei der intrakraniellen CTA nie vermeiden.

CME-Fragebogen (Fortsetzung)

? Welche Aussagen ist richtig?

- Je höher der „cardiac output“, desto höher das Peak-Enhancement in der Aorta.
- Je höher der „cardiac output“, desto früher das Peak-Enhancement in der Aorta.
- Injektionsgeschwindigkeit und Peak-Enhancement sind direkt proportional.
- Bei der CTA ist die Iodkonzentration der zentrale Parameter, die IDR ist zweitrangig.
- Isoosmolare Kontrastmittel (IOCA) haben eine besonders niedrige Viskosität.

? Welche Aussage ist die zutreffendste?

- Die „total iodine dose“ (TID) ist der zentrale Parameter bei der Parenchymbildgebung.
- Die Viskosität eines Kontrastmittels steigt mit Zunahme der Temperatur.
- Hoch konzentrierte Kontrastmittel sind KM mit geringerer Iodkonzentration in der Leberbildung (portal-venös) überlegen.
- IRD ist der zentrale Parameter bei der Parenchymbildgebung.
- Eine Flussrate ≥ 5 ml/s ist bei der Parenchymbildgebung anzustreben.

? Welche Aussage ist richtig? Je höher das Körpergewicht, ...

- ... desto höher der Kontrastanstieg.
- ... desto höher die „time to peak“.
- ... desto höher die erforderliche Iodmenge für eine gleiche Kontrastierung.
- ... desto niedriger die erforderliche Röhrenspannung für eine gleiche Kontrastierung.
- ... desto niedriger das erforderliche Röhrenstromzeitprodukt für eine gleiche Kontrastierung.

? Welche Aussage ist die zutreffendste? Die IDR ...

- ... ist definiert als Produkt aus Iodmenge und Injektionszeit.
- ... ist definiert als Quotient aus Viskosität und Injektionszeit.
- ... hat keinen Einfluss auf die Kontrastverstärkung.
- ... bestimmt maßgeblich die Kontrastverstärkung bei der Parenchymbildgebung.
- ... bestimmt maßgeblich die Kontrastverstärkung bei der CTA.