Aus der Klinik und Poliklinik für Radiologie der Ludwig-Maximilians-Universität München

Direktor: Prof. Dr. Jens Ricke

Abhängigkeit der Kontrastierung der distalen Harnleiter von Harnblasenfüllung und Zeitpunkt der Ausscheidungsaufnahme bei der CT-Urographie

Dissertation
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin
an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Rebecca Maria Ebner
aus
Sankt Veit an der Glan
2021

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. med. Ullrich G. Müller-Lisse

Mitberichterstatter: Prof. Dr. Thorsten Johnson

Prof. Dr. Andreas Helck

Mitbetreuung durch den

promovierten Mitarbeiter: Dr. med. Ulrike Müller-Lisse

Dekan: Prof. Dr. med. Thomas Gudermann

Tag der mündlichen Prüfung: 09.12.2021

Eidesstattliche Versicherung:

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Thema

Abhängigkeit der Kontrastierung der distalen Harnleiter von Harnblasenfüllung und Zeitpunkt der Ausscheidungsaufnahme bei der CT-Urographie

selbständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

München, 09.12.2021 Ort, Datum <u>Rebecca Ebner</u> Unterschrift Doktorandin

Für Frida und Felix

Inhalt

I.	Einle	eitung	1
	I.1	Definition der CT-Urographie	1
	I.2	Indikationen	
		I.2.1 Urothelkarzinom, makroskopische und mikroskopische Hämaturie	2
		I.2.2 Malformationen	
		I.2.3 Trauma, Infektionen und Interventionen	3
		I.2.4 Urolithiasis	
	I.3	Einschränkungen	4
		I.3.1 Strahlenbelastung	4
		I.3.1.1 Maßnahmen für die Senkung der Strahlenbelastung	4
		I.3.2 Unvollständige Kontrastierung der distalen Harnleiter	
	I.4	Vorbereitung der PatientInnen	
	I.5	Bisher untersuchte Maßnahmen zur optimalen Kontrastierung der ableitenden	
		Harnwege	
		I.5.1 NaCl Gabe	
		I.5.2 Bauchlage vs. Rückenlage	
		I.5.3 Bauchkompression	
		I.5.4 Verabreichung von Furosemid	
		I.5.5 Zeitunterschied zwischen venöser Phase und Ausscheidungsphase	
	I.6	Zufallsbefunde	
	I.7	Zielsetzung	10
II.	Mate	erial und Methoden	11
	II.1	Studiendesign	11
	II.1	PatientInnenkollektiv	
	11.2	II.2.1 Kategorie I PositivFehler! Textmarke nicht definie	
		II.2.2 Kategorie II NegativFehler! Textmarke nicht definie	
		II.2.3 Kategorie III UnbekanntFehler! Textmarke nicht definie	
	II.3	Datenquellen/Messmethoden	
	II.4	Ausschlusskriterien	
	II.5	Variablen	
	II.6	Bias	
		Quantitative Variablen und statistische Methoden	
TTT			
ш.		bnisse	
		Teilnehmer	
		Ergebnisdaten	
	III.3	Hauptergebnisse	
		III.3.1 Zeitintervall zwischen venöser Phase und Ausscheidungsphase	
		III.3.2 Kontingenztabellen und Chi-Quadrat-Test	
		III.3.3 Harnblasenfüllungsvolumen	
		III.3.3.1 Legende	
		III.3.4 Exakter Fisher Test	
	III.4	weitere Auswertungen	31
IV.	Disk	ussion	33
	IV.1	Hauptergebnisse	33
		IV.1.1 Zeitunterschied zwischen venöser Phase und Ausscheidungsphase	
		IV.1.2 Zeitunterschied zwischen venöser Phase und Ausscheidungsphase und	
		Harnblasenfüllungsvolumen	

	11/2		
		weitere Ergebnisse	
	1 V . 3	Einschränkungen	
		IV.3.1 Studiendesign und Studiengröße	
		IV.3.3 Ergebnisse nicht uneingeschränkt übertragbar	
		IV.3.4 Unterschiedliche CT-Geräte	
		IV.3.5 Beurteilung der Harnleiter	
	IV 4	Interpretation	
	1 V .T	IV.4.1 Zeitunterschied zwischen venöser Phase und Ausscheidungsphase	
		IV.4.2 Harnblasenfüllungsvolumen	
	IV 5	Übertragbarkeit	
V		ımmenfassung	
		ang	
		Computertomographie	
	V 1.1	VI.1.1 Allgemeines und Bestandteile	
		VI.1.2 Die Geschichte der Computertomographie	
		VI.1.3 Generationen der Computertomographie	
		VI.1.4 Die Bildrekonstruktion	
		VI.1.5 Spiral-CT	
		VI.1.6 Der Mulitdetektor-Computertomograph (MDCT)	
	VI.2	Niere und ableitende Harnwege	
		VI.2.1 Anatomie der Nieren und ableitenden Harnwege	٠ ،
		VI.2.1.1 Niere	
		VI.2.1.2 Harnleiter	4
		VI.2.1.3 Harnblase	
		VI.2.2 Erkrankungen der Harnleiter	
		VI.2.2.1 Fehlbildungen der Harnleiter	
		VI.2.2.2 Verletzungen der Harnleiter	
		VI.2.2.3 Urolithiasis	
		VI.2.2.4 Urothelkarzinom	
VII	[. L i	iteraturverzeichnis	••••
VII	I. D	anksagungen	••••
		o o	

Abbildungsverzeichnis

Zeitintervallen zwischen venöser Phase und Ausscheidungsphase (Zeitangaben i Minuten)	in
Abbildung 2: Kontrastierverhalten der distalen Harnleiter zu unterschiedliche Zeitpunkten in % zwischen venöser Phase und Ausscheidungsphase (Zeitangaben i Minuten)	n
Abbildung 3: Ergebnisse Harnblasenfüllungsvolumen, weniger als 8 min, 8-11 min un mehr als 11 min zwischen venöser Phase und Ausscheidungsphase	
Abbildung 4: Ergebnisse Harnblasenfüllungsvolumen Zeitunterschied größer als 1 min, zwischen venöser Phase und Ausscheidungsphase	
Abbildung 6: Geschichte der Computertomographie (Prokop 2013) 4	2
Abbildung 7: Scanner der dritten (3.) und vierten (4.) Generation (Prokop 2013) 4	3
Abbildung 8: Typische Dichtewerte in der CT in Hounsfield-Einheiten (Hünerbei 2017)	
Abbildung 9: Prinzip der Spiral-CT (Prokop 2013)4	4
Abbildung 10: Prinzip der Multidetektor-CT (Prokop 2013)	6
Abbildung 11: Niere: Architektur und Feinbau (Schünke et al. 2009)	7

Tabellenverzeichnis

Tabelle I: Zusammenhang zwischen der Abgrenzbarkeit der distalen Harnleiter in der Ausscheidungsphase bei der CTU und verschiedenen unabhängigen Variablen 21
Tabelle II: Kritische Werte und zugeordnete p-Werte für den Chi-Quadrat-Test mit zwei Freiheitsgraden (nach Glantz 1997)
Tabelle III: Kontingenztafel Kontrastierung beider distaler Harnleiter bei Zeitunterschied 8-11 min, bzw. weniger als 8 min (3-7 min) oder mehr als 11 min (11- 18 min), Chi-Quadrat-Test mit zwei Freiheitsgraden
Tabelle IV: Kontingenztafel Kontrastierung mindestens ein distaler Harnleiter bei Zeitunterschied 8-11 min, bzw. weniger als 8 min (3-7 min) oder mehr als 11 min (11- 18 min), Chi-Quadrat-Test mit zwei Freiheitsgraden
Tabelle V: Kontingenztafel Kontrastierung der distalen Harnleiter bei Zeitunterschied 4- 15 min bzw. weniger als 4 min (3 min) oder mehr als 15 min (16-18 min), Chi-Quadrat- Test mit zwei Freiheitsgraden
Tabelle VI: Kontingenztafel Kontrastierung der distalen Harnleiter bei Zeitunterschied 5-11 min, bzw. weniger als 5 min (3-4 min) oder mehr als 11 min (11-18 min), Chi-Quadrat-Test mit zwei Freiheitsgraden
Tabelle VII: Kontingenztafel Kontrastierung der distalen Harnleiter bei Zeitunterschied 9-11min, bzw. weniger als 9 min (3-8 min) oder mehr als 11 min (11-18 min), Chi-Quadrat-Test mit zwei Freiheitsgraden
Tabelle VIII: Kontingenztafel Kontrastierung der distalen Harnleiter bei Zeitunterschied 8-11min, bzw. weniger als 8 min (3-7 min) oder mehr als 11 min (11-18 min), Chi-Quadrat-Test mit zwei Freiheitsgraden
Tabelle IX: Exakter Fisher Test I
Tabelle X: Exakter Fisher Test II
Tabelle XI: Exakter Fisher Test III
Tabelle XII: Exakter Fisher Test IV
Tabelle XIII: Exakter Fisher V
Tabelle XIV: Exakter Fisher Test VI
Tabelle XV: Exakter Fisher Test VII
Tabelle XVI: Exakter Fisher Test VIII
Tabelle XVII Zusammenhang zwischen der Abgrenzbarkeit der distalen Harnleiter und potenziellen Confoundern und Effektmodifikatoren

Abkürzungsverzeichnis und Begriffsdefinition

AIDR: Adaptive Iterative Dosisreduktion

AUS: Ausscheidungsphase

COPD: Chronisch Obstruktive Lungenerkrankung

CTU: Computertomographie Urographie

CTDI: Computed Tomography Dose Index

DEGAM: Deutsche Gesellschaft für Allgemeinmedizin und Familienmedizin

DECT: Dual-Energy CT

DLP: Dosis-Längen-Produkt

ESWL: Extrakorporale Stoßwellenlithotripsie

HBV: Harnblasenfüllungsvolumen

HE: Hounsefield-Einheit

HL: Harnleiter

 $MDCT: Multidetektor\ Computertomographie/Mulitdetektor\ Computertomograph$

min.: Minuten

MR Urographie : Magnetresonanz Urographie

MSCT: Multislice-Computertomographie

NCT: Non-Contrast CT

VNCT: Virtual Non-Contrast CT

PACS –System: Picture-Archiving-and-Communication-System

PNL: Perkutane Nephrolithotomie

sec : Sekunden

TB-CTU: Triple Bolus- Computertomographie Urographie

Z.n.: Zustand nach

I. Einleitung

I.1 Definition der CT-Urographie

"Unter CT-Urographie wird die CT-Darstellung der Nieren, der Harnleiter und der Harnblase mit intravenösem Kontrastmittel verstanden, wobei die Darstellung der exkretorischen Phase und die Rekonstruktion dünner Schichten obligatorisch ist" (Van der Molen et al. 2008: 5). Bezüglich der genauen Definition einer Computertomographie Urographie (CTU) herrschte lange Zeit Unklarheit, da es gegenwärtig keine verbindlichen evidenzbasierten Leitlinien zu dieser Untersuchung gibt. Aus diesem Grund hat eine Gruppe von ExpertInnen der Europäischen Gesellschaft für Urogenitale Radiologie (ESUR) sämtliche Literatur, welche in den Jahren von 1995 bis 2007 erschien, gesichtet. Aus dieser Arbeit konnten zwar keine Leitlinien generiert werden, jedoch existiert nun eine ExpertInnen-Empfehlung zur praktikablen Vorgehensweise der CT-Urographie. Per Definition beinhaltet die CTU, auch wenn sich einzelne Protokolle voneinander unterscheiden, eine Ausscheidungsphase. Diese kann als frühe Ausscheidungsphase oder als verzögerte Ausscheidungsphase erfolgen. Generell umfasst eine CTU Untersuchung zwischen zwei und vier Phasen. Am häufigsten werden eine native Phase des Beckens und Abdomens, eine nephrographische Phase des Abdomens, sowie eine Ausscheidungsphase des Beckens und Abdomens angefertigt. Die sorgfältige Vorbereitung der PatientInnen ist für die Beurteilung der ableitenden Harnwege essentiell. Nicht alle Phasen einer CTU Untersuchung erfordern eine Kontrastmittelgabe, auch native Phasen tragen zur Detektion bestimmter Pathologien bei. CT Aufnahmen, welche z.B. für die Detektion von Harnsteinen bei akuten Flankenschmerzen oder für das Staging von Nierenzellkarzinomen verwendet werden, sollten nicht als CTU Untersuchung bezeichnet werden (Van der Molen et al. 2008). Derzeit werden in einigen Zentren verschiedene zusätzliche Sequenzen der Ausscheidungsphase zu unterschiedlichen Zeitpunkten angefertigt, falls unvollständig kontrastierte Harnleiter die Beurteilung erschweren bzw. diese unmöglich machen (Hack et al. 2012). Auch Karavaş et al. (2018) weisen darauf hin, dass je nach Klink unterschiedliche Untersuchungsprotokolle für die CTU verwendet werden. Durch die Einführung der Mehrzeilentechnik, einem System, das die Bildgebung maßgeblich verbessert hat und in vielen Zentren verfügbar ist, gelang es, qualitativ hochwertige Bilder in sehr kurzer Zeit zu erzeugen. Somit ist die CTU eine sehr aussagekräftige, schnelle und exakte Untersuchung für einige Fragestellungen, die im Folgenden ausführlicher erläutert werden (Van der Molen et al. 2008).

I.2 Indikationen

I.2.1 Urothelkarzinom, makroskopische und mikroskopische Hämaturie

Die CTU ist heutzutage eines der Standardverfahren zur Detektion potenzieller maligner Geschehen im Urogenitaltrakt, sowie zur Abklärung einer makroskopischen Hämaturie. Es hat andere Untersuchungsmethoden, wie beispielsweise die Ausscheidungsurographie (AU) mittlerweile nahezu vollständig ersetzt (Meindl et al. 2006, Van der Molen et al. 2008, Silverman et al. 2009, Chlapoutakis et al. 2010, Maheshwari et al. 2010, Sadow et al. 2010, Xu et al. 2010). Die CTU stellt ein Standarddiagnostikum für PatientInnen mit hohem Risiko, ein Urothelkarzinom zu entwickeln, dar (Van der Molen et al. 2008, Chlapoutakis et al. 2010). Hierzu zählen PatientInnen, welche älter als 40 Jahre sind und eine makroskopische Hämaturie aufweisen. Weitere Risikofaktoren stellen das Rauchen sowie die Exposition gegenüber aromatischen Aminen dar (Pashos et al. 2002, Freedman et al. 2011). Auch PatientInnen mit einer unklaren Hydronephrose sollten eine CTU erhalten (Nolte-Ernsting et Cowan 2006). Bezüglich der Abklärung einer mikroskopischen Hämaturie variieren die Leitlinien. Grundsätzlich spricht man von einer mikroskopischen Hämaturie, wenn im Urin mehr als drei Erythrozyten pro Gesichtsfeld nachgewiesen werden (Davis et al. 2012). Die deutsche Gesellschaft für Allgemeinmedizin und Familienmedizin (DEGAM) empfiehlt eine weitere Abklärung einer asymptomatischen mikroskopischen Hämaturie, wenn PatientInnen älter als 40 Jahre sind und/oder zusätzliche Risikofaktoren wie Schmerzmittelabusus, Z.n. Radiatio des Beckens, Rauchen, anamnestische urologische Erkrankung, Kontakt zu Färbemitteln/Chemikalien, Einnahme von Cyclophosphamid oder Blasenentleerungsstörungen vorliegen. Bei PatientInnen unter 40 Jahren sollte weitere Diagnostik erfolgen, wenn zusätzlich eine Niereninsuffizienz und/oder eine arterielle Hypertonie vorliegen. Die weitere Abklärung sollte initial durch eine CTU erfolgen. Auch die Zystoskopie spielt in der weiteren Diagnostik eine wichtige Rolle (Davis et al. 2012). Grundsätzlich ist die mikroskopische Hämaturie ein häufiger Befund, mit einer Prävalenz von rund 2,5-20% (Khadra et al. 2000, Jimbo 2010, Margulis et al. 2011). Die Ursachen sind entweder urologischen oder nephrologischen Ursprunges, wobei benigne Geschehen häufiger auftreten als maligne (Davis et al. 2012). Besonders junge PatientInnen sind selten von Karzinomen im Urogenitaltrakt betroffen. Es ist aus diesem Grund besonders wichtig, diesen PatientInnen im Hinblick auf die Diagnostik die geringst mögliche Strahlendosis zuzuführen. PatientInnen unter 50 Jahren mit mikroskopischer Hämaturie sollten anstatt

einer CTU ein native CT bekommen, da die Strahlenbelastung deutlich geringer ist und die Wahrscheinlichkeit Malignome zu übersehen unter einem Prozent liegt (Lisanti et al. 2013). Auch wenn eine mikroskopische Hämaturie sorgfältig abgeklärt wird und Risikofaktoren vorliegen, kann die Ursache häufig nicht abschließend geklärt werden (Khadra et al. 2000).

I.2.2 Malformationen

Auch für die Detektion von Malformationen stellt die CTU ein wichtiges Diagnostikum dar. So gelingt es beispielweise, Ureter-Duplikationen, Hufeisennieren oder Beckennieren anhand dieser Untersuchung zu erkennen (Caoili et al. 2002). Weitere Malformationen wie Doppelnieren können durch spezielle Protokolle (Fünf-Phasen Protokolle mit einer verzögerten Ausscheidungsphase) sehr gut erfasst werden (Gong et al. 2016).

I.2.3 Trauma, Infektionen und Interventionen

Eine weitere wichtige Indikation stellt das Trauma im urogenitalen Bereich dar. Dazu zählen sowohl iatrogene als auch durch Unfälle verursachte Traumata. Darüber hinaus erfordern gewisse Infektionen des Urogenitaltraktes (wie beispielsweise eine Tuberkuloseinfektion) und die 3D Planung für eine perkutane Nephrolithotomie eine CTU Untersuchung. Zu erwähnen sind noch Operationen des Urogenitaltraktes, welche präsowie postoperativ eine CTU Untersuchung nötig machen (Nolte-Ernsting et Cowan 2006).

I.2.4 Urolithiasis

Batura et al. (2018) widmen sich in ihrer Studie der Frage, ob es sinnvoll sein könnte, dass ältere PatientInnen (>65 Jahre), welche aufgrund von akuten Flankenschmerzen in die Notaufnahme kommen, anstatt einer nativen CT eine CTU mit Kontrastmittel bekommen sollten, um Neoplasien nicht zu übersehen. Diese können sich von der Symptomatik wie Harnleitersteine präsentieren. Es stellte sich jedoch heraus, dass eine native CT in diesem Fall das Mittel der Wahl ist. Es werden nicht signifikant mehr Tumoren durch die CTU entdeckt und die erhöhte Strahlenbelastung, welche durch die CTU verursacht wird, ist somit nicht gerechtfertigt. Eine CTU sollte erst bei diversen suspekten Befunden wie zum Beispiel einer Hydronephrose, Wandverdickungen, einer gestörten

renalen Architektur oder Unregelmäßigkeiten im Nierenbeckenkelchsystem zur weiteren Abklärung herangezogen werden (Browne et al. 2005). Für PatientInnen, welche mit akuten Flankenschmerzen und hochgradigem Verdacht auf eine Uorlithiasis in die Notaufnahme kommen, stellt eine native CT Untersuchung das Diagnostikum der Wahl dar (Krishnan et al. 2017). Die hohe Prävalenz der Urolithiasis von ca. 5% in der deutschen Bevölkerung lässt sich durch die verbesserte Diagnostik und veränderte Lebensgewohnheiten erklären (Herold 2015). Sie variiert abhängig von geographischen, klimatischen, ethnischen, ernährungsbezogenen und genetischen Faktoren (Hesse et al. 2000).

I.3 Einschränkungen

I.3.1 Strahlenbelastung

Den vielen Vorteilen der CTU steht mit der relevanten Strahlenbelastung ein nicht zu vernachlässigender Nachteil gegenüber. Es muss abgewogen werden, ob die erhöhte Sensitivität bzw. Spezifität gegenüber anderen Verfahren die Strahlenbelastung rechtfertigt (Nolte-Ernsting et Cowan 2006). Mehrphasen CTU Protokolle weisen eine effektive Dosis von 25-35 mSV auf. Diese variiert je nach Anzahl der angefertigten Protokolle (Caoili et al. 2002). Die Strahlendosis der CTU ist ungefähr 1,5 Mal so hoch wie jene der konventionellen Ausscheidungsurographie, sofern Drei-Phasen-Protokolle angefertigt werden (Silverman et al. 2009). Caoili et al. (2002) weisen sogar auf bis zu 4 Mal höhere Effektivdosen im Vergleich zu jener, welche beim Ausscheidungsurogramm entstehen, hin. Zusätzlich muss jedoch bedacht werden, dass die Senkung der Strahlendosis mit einer Erhöhung des Bildrauschens und der Anzahl von Artefakten einhergeht (Kalra et al. 2003).

I.3.1.1 Maßnahmen für die Senkung der Strahlenbelastung

Aufgrund der hohen Strahlenbelastung, welche durch eine CTU Untersuchung für PatientInnen entsteht, ist es wichtig, die Anzahl der je nach Indikation notwendigen CTU Phasen, so gering wie möglich zu halten (Van der Molen et al. 2008). Aus diesem Grund hat sich die sogenannte Split-Bolus KM Verabreichung bewährt. Ein Verfahren, bei dem zunächst eine native Phase von Becken und Abdomen erzeugt wird. Anschließend erhält man nach der Verabreichung des Split-Bolus eine kombinierte nephrographische Phase und eine Ausscheidungsphase (Chai et al. 2001, Chow et al. 2001, Turnery et al. 2006, Cowan et al. 2007). Eine Verringerung der Strahlendosis könnte laut

Park et al. (2016) außerdem erreicht werden, wenn man anstelle der Drei-Phasen-Untersuchung der CTU eine DECT (dual-energy CT) Untersuchung kombiniert mit einer VNCT (virtual non-contrast CT) anwendet. Die Strahlenbelastung könnte dadurch um 62-67% reduziert werden. Eine weitere Lösung wäre die Verwendung einer niedrig Dosis CTU mit der sog. AIDR 3D: (Adaptive Iterative Dosisreduktion 3D). Dieses Verfahren verwendet spezielle Algorithmen, um Bildrauschen und Artefakte zu reduzieren. Diese Art von Untersuchung ermöglicht eine Strahlendosisreduktion von 45% ohne die Bildqualität der Ausscheidungsphase zu verschlechtern (Juri et al. 2013a). In einer ein paar Monate später veröffentlichten Studie von Juri et al. (2013b), wird sogar eine Dosisreduktion von 70% mittels AIDR 3D angegeben, ohne dass die Bildqualität negativ beeinflusst wird. Eine weitere Option, welche eine geringere Strahlenbelastung als das konventionelle 3-Phasen-Protokoll aufweist, stellt die sogenannte Triple Bolus CTU (TB-CTU) dar (Kekelidze et al. 2010, Krishnan et al. 2017). Bei diesem Verfahren werden zunächst drei Kontrastmittel-Boli intravenös injiziert, im Anschluss folgt eine CT Untersuchung. Bei der konventionellen 3-Phasen-CTU Untersuchung erfolgt die Gabe von nur einem intravenösen Kontrastmittelbolus. Anschließend werden drei CT Untersuchungen vollzogen (Abedi et al. 2014). Eine Strahlendosisreduktion von bis zu 44% könnte erzielt werden, wenn anstatt der konventionellen Protokolle die TB-CTU angewendet werden würde (Kekelidze et al. 2010).

I.3.2 Unvollständige Kontrastierung der distalen Harnleiter

Eine Schwachstelle, welche hinsichtlich der CTU Untersuchung häufig erwähnt wird, ist die unvollständige Kontrastierung (Erkennbarkeit und – in Abhängigkeit von der Kantenschärfe – auch Abgrenzbarkeit) der distalen Harnleiter (McTavish et al. 2002, Kawamoto et al. 2005, Hack et al. 2012). Die vollständige Kontrastierung sowie eine ausreichende Dehnung der ableitenden Harnwege sind jedoch für die genaue Beurteilung essentiell (Kawamoto et al. 2005). Die verminderte Kontrastierung der Harnleiter ist entweder der unvollständigen Dehnung der ableitenden Harnwege oder der peristaltischen Aktivität der Harnleiter geschuldet (Sanyal et al. 2006). Eine unvollständige Kontrastierung bzw. Dehnung könnten das Erkennen von kleinen Tumoren, welche sich einzig als intraluminale oder murale Füllungsdefekte darstellen, erschweren. Somit steigt das Risiko, diese Tumore bei einer CTU Untersuchung zu übersehen (Sun et al. 2013). Derzeit besteht kein Konsens bezüglich des optimalen CTU Protokolls um eine

maximale Kontrastierung der Harnleiter zu gewährleisten (Sanyal et al. 2006, Van der Molen et al. 2008, Hack et al. 2012).

I.4 Vorbereitung der PatientInnen

Zur Durchführung einer CTU bedarf es keiner speziellen PatientInnenvorbereitung. Vor der Untersuchung sollte jedoch das Serum-Kreatinin bestimmt werden und Kontraindikationen, wie beispielsweise Kontrastmittel-Allergien oder eine Nephropathie (Niereninsuffizienz) ausgeschlossen werden (Nolte-Ernsting et Cowan 2006). In diesem Falle können PatientInnen von einer MR Urographie profitieren. Diese stellt eine strahlenfreie Alternative zur CT Urographie dar. Auch für Schwangere und junge PatientInnen ist diese Art der Untersuchung besser als eine CT Urographie geeignet (Zeikus et al. 2019). Allerdings kann die kontrastverstärkte MR Urographie nur bei hinreichender Nierenfunktion durchgeführt werden, um die Gefahr der nephrographischen systemischen Fibrose (NSF) zu verhindern (Segerer et Wanner, 2014). Eine sogenannte statische MR Urographie ohne intravenöses Kontrastmittel, welche auf stark T2-gewichteten MRT-Sequenzen beruht, ist jedoch auch bei eingeschränkter Nierenfunktion möglich (Nolte-Ernsting et Cowan 2006).

Eine ausreichende orale Hydrierung vor der CTU Untersuchung fördert die Diurese, fungiert als negatives Kontrastmittel für den Gastrointestinaltrakt und verhindert eine Dehydratation. Zudem werden keine zusätzlichen Kosten durch die orale Hydrierung verursacht. Jene PatientInnen, welche die orale Aufnahme größerer Mengen an Wasser nicht tolerieren, können bis zu 500ml einer 0,9% NaCl Tropfinfusion vor und während der CTU Untersuchung erhalten (Van der Molen et al., 2008).

I.5 Bisher untersuchte Maßnahmen zur optimalen Kontrastierung der ableitenden Harnwege

I.5.1 NaCl Gabe

Grundsätzlich ist die Gabe von Kochsalzlösung keine routinemäßige Maßnahme bei einer CTU Untersuchung und die Meinungen bezüglich des Nutzens dieses Manövers gehen auseinander (Van der Molen et al. 2008). Sudakoff et al. (2006) sehen keine Verbesserung in der Abgrenzbarkeit der ableitenden Harnwege bei zusätzlicher Gabe von Kochsalzlösung. Sie verabreichten ihren PatientInnen 250 ml einer Kochsalzlösung

unmittelbar nach der ersten Kontrastmittelinjektion. Weiter oben gelegene Abschnitte der ableitenden Harnwege konnten tendenziell besser abgegrenzt werden als jene, die weiter distal lokalisiert waren. McTavish et al. (2002) hingegen sehen eine Verbesserung der Kontrastierung insbesondere der distalen Harnleiter nach Gabe von 250ml Kochsalzlösung unmittelbar nach der Kontrastmittelinjektion. Kawamoto et al. (2005) verabreichten ihren Probanden 750 bis 1000ml Wasser 20-60 min vor der CTU. Die Beurteilung der unteren Harnleitersegmente (unterhalb des Beckenkammes) gelang in 58,5% der Fälle vollständig, in 13% teilweise und in 28% unzureichend. Weiter oben gelegene Teile des Harnsystems schnitten bei der Befundung besser ab. Die intravenöse Gabe von NaCl ist bei Herzinsuffizienz kontraindiziert (Karavas et al. 2017).

I.5.2 Bauchlage vs. Rückenlage

Die Rückenlage stellt die Standardlagerung einer CTU Untersuchung dar, da es für PatientInnen umständlicher ist, die Untersuchung in Bauchlage zu vollziehen (Van der Molen et al. 2008). Für PatientInnen mit diversen Begleiterkrankungen wie beispielsweise degenerativen Erkrankungen der Wirbelsäule, chronisch obstruktiver Lungenerkrankung (COPD), Stomata oder Adipositas, ist diese Art der Lagerung häufig nicht tolerierbar (Sudakoff et al. 2006). Es scheint hilfreich zu sein, wenn sich PatientInnen vor der Ausscheidungsphase mehrere Male drehen, um Überlagerungseffekte des Kontrastmittels zu verhindern. Diese Überlagerungseffekte scheinen vor allem aufzutreten, wenn die ableitenden Harnwege dilatiert sind. PatientInnen mit eingeschränkter Mobilität wird empfohlen sich kurz nach Kontrastmittelverabreichung aufzusetzen (Morcos 2007). Wang et al. (2009) fanden keinen Unterschied bezüglich der distalen, mittleren oder proximalen Harnleiterkontrastierung in Abhängigkeit davon, ob die CTU in Rücken- oder Bauchlage durchgeführt wird. Jedoch scheint die Rückenlage bessere Ergebnisse hinsichtlich der Kontrastierung des Nierenbeckenkelchsystems zu liefern. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen auch McTavish et al. (2002). Ausschlaggebend für eine optimale Kontrastierung scheint weniger die Lagerung der PatientInnen zu sein, sondern mehr die zusätzliche Gabe von isotonischer Kochsalzlösung vor der pyelographischen Phase.

I.5.3 Bauchkompression

Bereits einige Forscherteams haben sich mit dem Effekt der Bauchkompression auseinandergesetzt und diesen als positiv hinsichtlich der Abgrenzbarkeit der ableitenden Harnwege bewertet (McNicholas et al. 1998, Chow et al. 2001, Heneghan et al. 2001). Laut Sun et al. (2012) konnte jedoch ein 5 kg schwerer Sandsack, welcher während der Untersuchung auf das Abdomen der PatientInnen platziert wurde, keinen signifikanten Unterschied hinsichtlich der Abgrenzbarkeit der ableitenden Harnwege liefern. Kompressionsbänder wurden auch bereits bei der Ausscheidungsurographie angewendet. Diese Bänder könnten bei CTU Untersuchungen vorteilhaft sein, jedoch ist ein wirklicher Nutzen eher minimal und möglicherweise anderen Manövern geschuldet. Ein routinemäßiger Einsatz dieser Bänder kann somit nicht empfohlen werden (Van der Molen et al. 2008). Bei folgenden Befunden/Indikationen ist das Ausüben von Druck auf das Abdomen sogar kontraindiziert: Abdominelles Aortenaneurysma, Verdacht auf renales Trauma, starke Schmerzen im Bereich des Abdomens und vor kurzem erfolgter chirurgischer Eingriff im Abdomen (Dyer et al. 2001).

I.5.4 Verabreichung von Furosemid

Die Verabreichung des Diuretikums Furosemid zusätzlich zum Kontrastmittel scheint für eine bessere Dehnung des Harntraktes verantwortlich zu sein (Kemper et al. 2006, Silverman et al. 2006, Roy et al. 2008). Vor allem für die Detektion von Harnsteinen stellt sich die Furosemid-Gabe als sinnvoll heraus, da die meisten Harnsteine detektiert werden können (Van der Molen et al. 2008). Zu ähnlichen Ergebnissen gelangten auch Nolte-Ernsting et Cowan (2006), in ihrer Studie konnten sie nahezu alle Harnleiter und alle untersuchten Nierenbeckenkelchsysteme (30 von 32 bzw. 32 von 32) vollständig oder nahezu vollständig abgrenzen, nachdem sie ihren PatientInnen 3-5 min vor Kontrastmittelgabe Furosemid 10 mg intravenös verabreichten. Nichtsdestotrotz müssen bei Furosemid-Gabe Kontraindikationen und Nebenwirkungen beachtet werden.

I.5.5 Zeitunterschied zwischen venöser Phase und Ausscheidungsphase

Grundsätzlich gibt es keine Empfehlungen, zu welchem Zeitpunkt die Ausscheidungsphase nach der venösen Phase erfolgen sollte, um eine ausreichende Darstellung insbesondere auch der distalen Harnleiter zu gewährleisten (Van der Molen et al. 2008).

Caoili et al. (2005) beschäftigten sich mit dieser Problemstellung, indem sie Ausscheidungsaufnahmen zu zwei unterschiedlichen Zeitpunkten beurteilten. Es stellte sich heraus, dass das längere Zeitintervall (7,5 vs. 5 min) zur besseren Abgrenzbarkeit von Nierenbeckenkelchsystem und Harnleiter geeigneter ist. Auch Meindl et al. (2006) beurteilten die Abgrenzbarkeit der oberen Harnwege (= Nierenbeckenkelchsystem + Ureter) mittels MDCT (Multidetektor Computertomographie) hinsichtlich des Zeitintervalls zwischen venöser Phase und Ausscheidungsphase. Grundsätzlich gelang die Kontrastierung des Nierenbeckenkelchsystems in 94% der Untersuchungen, die Kontrastierung der proximalen und mittleren Harnleiter in 93% bzw. 77% und die Kontrastierung der distalen Harnleiter in 37% der Fälle. Für die distalen Harnleiter schien sich ein Zeitunterschied zwischen 10 und 16 min nach Beginn der intravenösen Kontrastmittel-Injektion positiv auf die Kontrastierung auszuwirken.

Ebenso deuten die Ergebnisse von Sun et al. (2013) in diese Richtung. Sie konnten in ihrer Studie zwar keine bessere Abgrenzbarkeit der proximalen Ureteren und des Nierenbeckenkelchsystems nachweisen, zumindest schien aber ein Zeitunterschied von 550 sec (vs. 400 sec) bessere Ergebnisse hinsichtlich der Distention der untersuchten Abschnitte zu liefern.

I.6 Zufallsbefunde

Zufallsbefunde, welche bei CTU Untersuchungen entdeckt werden und einer weiteren Abklärung bedürfen, sind wirtschaftlich gesehen nicht außer Acht zu lassen. Dadurch, dass die CTU mittlerweile in immer mehr Zentren zur Verfügung steht, erhöht sich auch die Anzahl an Zufallsbefunden. Diese bedürfen jedoch je nach PatientInnen-Alter-, - Wunsch und Allgemeinzustand nicht immer einer weiteren Abklärung (Bromage et al. 2012). Die Prävalenz klinisch relevanter Zufallsbefunde bei PatientInnen, welche aufgrund einer Hämaturie CTU Untersuchungen erhielten, betrug in einer von Song et al. (2012) angelegten Studie 6,8%. Die Kosten pro Patient, welche durch diese Zufallsbefunde verursacht werden, betragen ungefähr 60 £ (≈ 67 Euro) (Bromage et al. 2012).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die CTU einen essenziellen Bestandteil für die zügige Abklärung diverser Pathologien darstellt und sowohl in Sensitivität als auch Spezifität der Ausscheidungsurographie überlegen ist (Silverman et al. 2009). Auch Nachteile dieser Bildgebung, beispielsweise die verhältnismäßig hohe Strahlenbelastung, konnten durch die oben genannten Maßnahmen optimiert werden. Die verbesserte

Kontrastierung der distalen Harnleiter ist wichtig, um diese ausreichend zu beurteilen und somit beispielsweise maligne Geschehen besser erkennen zu können (Kawamoto et al. 2005, Sun et al. 2013). Dadurch kann eine raschere Einleitung therapeutischer Maßnahmen erfolgen. Wie oben bereits erwähnt, wurden einige Kriterien hinsichtlich der besseren Kontrastierung der distalen Harnleiter untersucht. Studien deuten darauf hin, dass der Zeitunterschied zwischen venöser Phase und Ausscheidungsphase eine Rolle spielen könnte (Caoili et al. 2005, Meindl et al. 2006, Sun et al. 2013).

Die hier vorliegende Studie versucht einerseits, die bisherigen Studienergebnisse zum bestgeeigneten Zeitunterschied zwischen venöser Phase und Ausscheidungsphase für die Abgrenzbarkeit und Kontrastfüllung der distalen Harnleiter zu bestätigen. Andererseits versucht sie festzustellen, ob darüber hinaus auch das Harnblasenfüllungsvolumen in einem Zusammenhang mit der Abgrenzbarkeit und Kontrastfüllung der distalen Harnleiter steht. Diese Studie ist neu insofern, denn obwohl es bereits Hinweise gibt, dass das Harnblasenfüllungsvolumen in der venösen Phase bzw. Ausscheidungsphase eine Rolle bei der Abgrenzbarkeit der distalen Harnleiter spielt, wurde dieser Zusammenhang bisher nicht untersucht.

I.7 Zielsetzung

Ziel der vorliegenden retrospektiven Studie war es, einen potenziellen Zusammenhang der Kontrastierung der distalen Harnleiter mit dem Harnblasenfüllungsvolumen in venöser Phase bzw. Ausscheidungsphase zu finden. Darüber hinaus wurde getestet, welcher Zeitunterschied (<8 min vs. 8-15 min, vs. >15 min) zwischen der venösen Phase und der Ausscheidungsphase mit einer besseren Kontrastierung der distalen Harnleiter einhergeht.

II. Material und Methoden

II.1 Studiendesign

Zunächst wurde die Zustimmung der Ethikkommission für die im Folgenden beschriebene monozentrische retrospektive Querschnitts-Studie eingeholt. Diese umfasste das Sammeln und Auswerten von Daten mittels des PACS (Picture-Archiving-and-Communication-System, "Syngo", Siemens Medical Solutions, Erlangen) von PatientInnen, welche zwischen 2007 und 2016 eine CTU Untersuchung erhalten hatten. Die PatientInnen wurden hinsichtlich Tumoren oder Traumata im Abdomen bzw. Becken untersucht und wiesen unauffällige ableitende Harnwege auf. Es wurden dabei neun unterschiedliche CT-Geräte an drei Standorten verwendet.

II.2 PatientInnenkollektiv

Mit der Datenerfassung wurde im Juni 2016 begonnen.

Hierzu wurden mithilfe des PACS PatientInnen gefunden, die im Zeitraum von Jänner 2006 bis Dezember 2016 eine CTU Untersuchung erhalten hatten.

Gesucht wurde im PACS anhand folgender fünf Such-Begriffe:

- CTU
- CT AND Ausscheidungsaufnahme
- CT AND Ausscheidungsphase
- CT AND Ablaufaufnahme
- CT AND Ablaufphase

2775 PatientInnen konnten durch die Suche erfasst werden. Nach Beseitigung von Mehrfachnennungen blieben noch 2365 PatientInnen übrig, die sich einer CTU Untersuchung im genannten Zeitraum unterzogen hatten. Anschließend erfolgte die elektronische Übertragung der Ergebnisse alphabetisch sortiert in Microsoft-Excel-Dateien (Microsoft Corporation). Im darauffolgenden Schritt wurden die PatientInnen, je nach vorhandenem Befund, in drei verschiedene Kategorien eingeteilt:

II.2.1 Einschlusskriterien

Im Befundbericht der CTU unauffällige Harnwege, sowie eine der folgenden klinischen Indikationen für die CTU Untersuchung: Mikrohämaturie, Makrohämaturie, Tumorsuche, Nierentumor/Rezidiv, V.a. Harnblasentumor, Endometrium-Karzinom + Rezidiv, Ovarial-Karzinom + Rezidiv, Zervix-Karzinom + Rezidiv und Vulva-Karzinom + Rezidiv (Einschluss-Kriterien).

II.2.2 Ausschlusskriterien

Diese PatientInnen konnten wegen der nachfolgenden Befunde nicht in die Studie eingeschlossen werden: Tumore, welche den Harntrakt betreffen, bzw. Tumore welche diesen komprimieren, retroperitoneale Entzündungen oder retroperitoneale Fibrose, Anomalien oder Dilatationen des Harntraktes, Z.n. teilweiser oder kompletter chirurgischer Resektion der oberen ableitenden Harnwege, mit und ohne chirurgischer Korrektur, Harnableitungssysteme (Ileum Conduit, Neoblase), Z.n. Nieren- oder Pankreastransplantation, Z.n. Strahlentherapie im Abdomen, Becken oder im retroperitonealen Bereich oder falls Katheter, Drainagen, Schienen, Stents oder andere Objekte in den ableitenden Harnwegen vorhanden waren (Ausschluss-Kriterien).

II.2.3 Erweiterte Ausschlusskriterien

Diese Liste umfasste PatientInnen, aus deren Befunden nicht klar hervorging, ob sie der Positiv-bzw. Negativliste zugeordnet werden konnten, da diese zu wenige Informationen umfassten. Sie wurden ebenfalls aus der Studie ausgeschlossen (Ausschluss-Kriterien).

II.3 Datenquellen/Messmethoden

Die PatientInnen wurden mit vollständigem Namen durch die Syngovolltextsuche aufgerufen. Mithilfe des Geburtsdatums wurde verifiziert, dass es sich um die entsprechenden PatientInnen handelt. Ebenso verhalf das Datum, an welchem die CTU Untersuchung durchgeführt wurde, zur Identifikation der PatientInnen. Anschließend wurden die Befunde durchgelesen und in die jeweiligen Kategorien eingeteilt. Die Positivliste umfasste 539 PatientInnen, welchen Zufallszahlen zugeteilt wurden. Dann wurden die Stammdaten der PatientInnen aus der Liste gelöscht. Die PatientInnendaten wurden

beginnend mit der kleinsten Zufallszahl aufsteigend in Exceltabellen sortiert. Diese Liste wurde anschließend im Median geteilt, sodass Gruppe 1 die Testgruppe mit 271 PatientInnen war. Gruppe 2 stellte die Validierungsgruppe dar, sie wurde durch PatientInnen ab Zufallszahl 272 bis 539 gebildet. Nun wurde mithilfe der Bildbetrachtungs-Funktionen und Mess-Funktionen des PACS die Positivliste daraufhin untersucht, ob die distalen Harnleiter zu 80% oder mehr bei den CTU Untersuchungen kontrastiert (=einsehbar bzw. abgrenzbar) waren, bzw. ob einer der beiden distalen Harnleiter zu weniger als 80% einsehbar war. Auch das Harnblasenfüllungsvolumen in venöser Phase und Ausscheidungsphase wurde errechnet. Diese Messgröße ergab sich aus den Durchmessern: anterior-posterior (ap), lateral (lr) und kranio-kaudal (kk). Anhand der Formel, welche für die Berechnung des Volumens einer Ellipse dient, wurde das Harnblasenfüllungsvolumen ermittelt:

UBV = Dap x Dlr x Dkk x
$$\prod /6$$
.

Außerdem wurde der Zeitunterschied zwischen venöser Phase und Ausscheidungsphase aus den im PACS hinterlegten Uhrzeiten der jeweiligen Aufnahme ermittelt. Waren diese Parameter erhebbar, wurde die Excel Tabelle noch mit folgenden Parametern ergänzt: Geschlecht, PatientInnenalter, Quittier-Datum, die Röhrenspannung in der venösen Phase bzw. Ausscheidungsphase, die Strahlenbelastung: CTDI (Computed Tomography Dose Index) in venöser Phase und Ausscheidungsphase, das Dosis-Längen-Produkt (DLP) in venöser Phase und Ausscheidungsphase, die koronare, axiale und sagittale Rekonstruktionsschichtdicke in venöser Phase und Ausscheidungsphase, sowie das Modell des Untersuchungsgerätes. CTU Untersuchungen wurden in aufsteigender Folge der Zufallszahlen von zwei Forschern gemeinsam gesichtet bzw. beurteilt, nämlich von einem Radiologen mit 14 Jahren Berufserfahrung nach Facharztprüfung, insbesondere auch auf dem Gebiet der abdominalen Bildgebung, und von der Verfasserin dieser Dissertation, einer Medizinstudentin im fünften Studienjahr. Die Beurteilung erfolgte an 5K/21-Zoll-Monitoren, welche für die radiologische Diagnostik medizinisch zertifiziert waren.

II.4 Weitere Ausschlusskriterien nach Durchsicht der CTU

War eine der beiden Kontrast-Phasen nicht vorhanden, schieden die PatientInnen aus der Studie aus (kamen nachträglich auf die Negativliste). Ebenso schieden PatientInnen

aus, welche bei Durchsicht der CTU Bilder einen Blasenkatheter liegen hatten, welcher im ursprünglichen radiologischen Befund nicht erwähnt war. Des Weiteren wurde bei der Durchsicht darauf geachtet, ob andere Fremdkörper (wie beispielsweise Double-J Katheter) vorhanden waren, auch diese PatientInnen wurden von der Studie ausgeschlossen. Weitere Ausschlusskriterien, welche man anhand der Sichtung der Bilder feststellen konnte, beinhalteten: Untersuchungen, die nicht den gesamten Urogenitaltrakt darstellten (sowohl in venöser Phase als auch Ausscheidungsphase) sowie Anomalien, die in den Befunden nicht erwähnt waren. Auch spielte es eine Rolle, wie viele Ansichten (koronare, sagittale und axiale Ansicht oder Bild-Rekonstruktion) im PACS-System erfasst waren. Im besten Fall waren eine axiale Ansicht, eine sagittale Ansicht und eine koronare Ansicht vorhanden. Falls keine sagittale Ansicht vorhanden war, konnte das Blasenfüllungsvolumen bzw. die Abgrenzbarkeit der distalen Harnleiter dennoch mithilfe der axialen bzw. koronaren Ansicht errechnet werden. Im Falle des Fehlens der axialen oder der koronaren Ansicht zusätzlich zum Fehlen der sagittalen Bildrekonstruktionen konnten diese beiden Parameter allerdings nicht mehr ermittelt werden, da die Ermittlung des Harnblasenfüllungsvolumens die Darstellung zweier Ebenen erfordert. Falls mehr als eine CTU Untersuchung des gleichen Patienten oder der gleichen Patientin im PACS vorhanden war, wurde jene, die früher erfolgt war, für die Studie ausgewählt.

II.5 Variablen

Die Abgrenzbarkeit der distalen Harnleiter stellte die abhängige Variable dar. Die Harnleiter mussten dafür zu mehr als 80% in ihrer Ausdehnung zwischen Beckenkamm und Harnblase sichtbar sein. Folgende drei Ergebnisse wurden definiert:

- 1) Beide Harnleiter sind vollständig kontrastiert
- 2) Ein Harnleiter ist vollständig kontrastiert
- 3) Keiner der beiden Harnleiter ist kontrastiert

Der Endpunkt der Studie war eine CTU Untersuchung, welche den gesamten Urogenitaltrakt sowohl in venöser Phase (70-90 sec nach Kontrastmittelgabe) als auch in Ausscheidungsphase abbildete. Potenzielle Prädiktoren für das Ergebnis und unabhängige Variablen waren der Zeitunterschied zwischen venöser Phase und Ausscheidungsphase sowie das jeweilige Harnblasenfüllungsvolumen in venöser Phase und Ausscheidungs-

phase. Potenzielle Confounder und Effektmodifikatoren waren PatientInnen bezogene Parameter wie Alter, Geschlecht, sowie das Serum-Kreatinin. Darüber hinaus gab es CTU-bezogene Parameter in der venösen Phase und Ausscheidungsphase wie die Röhrenspannung, den CT-Dosis Index (CTDI), das Dosis-Längen-Produkt (DLP) und die Rekonstruktionsschichtdicke.

II.6 Bias

Vor der Datenanalyse wurde die Reproduzierbarkeit der Abgrenzbarkeit der distalen Harnleiter sowie die Errechnung des Harnblasenfüllungsvolumens in venöser Phase und in Ausscheidungsphase überprüft. Die Testung erfolgte an jenen 20 CTU Untersuchungen mit den kleinsten Zufallszahlen. Es zeigte sich keine Veränderung bezüglich der Ergebnisse hinsichtlich der Abgrenzbarkeit der distalen Harnleiter. Die Überprüfung des Harnblasenfüllungsvolumens in venöser Phase und Ausscheidungsphase zeigte eine Abweichung der Ergebnisse von +/- 5% der Ausgangswerte. Nur die ursprünglich erhobenen Werte wurden für die nachfolgende Auswertung verwendet.

II.7 Quantitative Variablen und statistische Methoden

Die Intervalle der Zeitunterschiede der Ausscheidungsphase wurden auf volle Minuten aufgerundet. Anschließend wurde die Anzahl der CTU Untersuchungen pro Intervall-Minute erfasst. Den Untersuchungen wurden, je nach Befund, die folgende Kategorie: beide Harnleiter kontrastiert, ein Harnleiter kontrastiert und kein Harnleiter kontrastiert, für den zugehörigen Zeitpunkt der Ausscheidungsphase prozentual zugeordnet. Die Zeitunterschiede, zu denen bei zumindest 75% der PatientInnen beide distalen Harnleiter kontrastiert waren und bei weniger als 10% der PatientInnen die distalen Harnleiter nicht kontrastiert waren, galten als geeignet. Darüber hinaus war es wichtig, dass Untersuchungen von zumindest zwei PatientInnen pro Intervall-Minute vorhanden waren und dass ein angrenzender Zeitunterschied, welcher dieselben Kriterien erfüllte, vorlag. Andere Ergebnisse hinsichtlich der Zeitunterschiede der Ausscheidungsphase bzw. der Abgrenzbarkeit der distalen Harnleiter galten als weniger geeignet. Kontingenztafeln mit 3x2 Zellen, welche die Zeitpunkte der Ausscheidungsphase beinhalteten (kürzer als geeignet, gut geeignet, länger als geeignet) wurden den zugehörigen Anzahlen der CTU Untersuchungen (mit vollständiger bzw. unvollständiger Kontrastierung der distalen

Harnleiter) gegenübergestellt. Anschließend wurden die Daten mittels Chi-Quadrat-Test mit zwei Freiheitsgraden und einem Signifikanzniveau von p<0,05 (Glantz 1997) ausgewertet.

Die jeweiligen Zusammenhänge zwischen der vollständigen Kontrastierung der beiden distalen Harnleiter und dem Harnblasenfüllungsvolumen in venöser Phase und Ausscheidungsphase wurde im Folgenden analysiert. Dies bezog sich auf die vollständige Abgrenzbarkeit der beiden distalen Harnleiter versus vollständige Abgrenzbarkeit von einem distalen Harnleiter und vollständige Abgrenzbarkeit der beiden distalen Harnleiter versus unvollständige oder fehlende Kontrastierung beider Harnleiter. Die Analyse erfolgte mittels T-Test mit einem Signifikanzniveau von p<0,05 (Glanz 1997).

Darüber hinaus wurden Kontingenztafeln erstellt, welche auf potenzielle Zusammenhänge zwischen vorteilhaften und weniger geeigneten Zeitpunkten der Ausscheidungsphase sowie dem Harnblasenfüllungsvolumen in der venösen Phase und Ausscheidungsphase und der vollständigen Kontrastierung der beiden distalen Harnleiter schließen sollten. Dies wurde anhand des Chi-Quadrat-Testes oder des Exakten-Fisher-Tests mit einem Signifikanzniveau von p<0,05 analysiert (Glantz SA 1997).

Potenzielle Confounder und Effektmodifikatoren stellten die möglichen Einflussgrößen für die abhängige Variable dar. Im Anschluss wurde deren potenzieller Zusammenhang mit der bilateralen Abgrenzbarkeit der distalen Harnleiter versus der unilateralen Abgrenzbarkeit der distalen Harnleiter und bilaterale Abgrenzbarkeit versus unvollständige oder fehlende Kontrastierung beider Harnleiter analysiert. Dies geschah mittels T-Test auf einem Signifikanzniveau von p<0,05 (Glantz SA 1997).

III. Ergebnisse

III.1 Teilnehmer

Insgesamt wurden 147 erwachsene PatientInnen in die Studie eingeschlossen. Das durchschnittliche Alter betrug 63 Jahre mit einer Standardabweichung von +/- 14 Jahren. Von den 147 PatientInnen waren 66 weiblich und 81 männlich. 38 PatientInnen unterzogen sich einer CTU Untersuchung aufgrund von renalen Tumoren oder Zysten. Diese waren auf die Nieren beschränkt und breiteten sich nicht weiter auf die ableitenden Harnwege aus. 53 PatientInnen erhielten eine CTU Untersuchung entweder zur Abklärung von Beckentumoren oder nach einer chirurgischen Intervention. In beiden Fällen waren die ableitenden Harnwege unversehrt. Die folgenden Indikationen stellten für die verbleibenden 56 PatientInnen den Anlass für eine CTU Untersuchung dar: weitere Pathologien des Abdomens oder Beckens, welche sich nicht auf die ableitenden Harnwege ausbreiteten, Mikro- oder Makrohämaturie und unauffällige Befunde hinsichtlich der Abklärung eines Traumas im Becken oder Abdomen.

III.2 Ergebnisdaten

Bei 103 PatientInnen (70%) konnten beide distale Harnleiter abgegrenzt werden. Die Kontrastierung eines distalen Harnleiters wurde bei 27 PatientInnen (18%) registriert. Bei 17 PatientInnen (12%) waren die beiden distalen Harnleiter nicht kontrastiert. Die nachfolgenden Werte beziehen sich jeweils in folgender Reihenfolge auf Durchschnitt, Standardabweichung und Median und Streubreite: Der Zeitunterschied zwischen venöser Phase und Ausscheidungsphase betrug 9,8+/-5,4 min und 8 (3-34) min. Was das Harnblasenfüllungsvolumen in der venösen Phase angeht, betrug dieses 154+/-111 ml und 132 (10-624) ml. In der Ausscheidungsphase beliefen sich die Werte des Harnblasenfüllungsvolumens auf 175+/-118 ml und 147 (12-635) ml. Das Serum-Kreatinin lag bei 1,0+/-0,3 mg/dl bzw. 1,0 (0,5-2,0) mg/dl. Die durchschnittliche Röhrenspannung während der venösen Phase betrug 109+/-11 KVp und 100 (90-140) KVp. In der Ausscheidungsphase lauteten die Werte für die Röhrenspannung jeweils 111+/-14 KVp bzw. 100 (100-150) KVp. Die Strahlenbelastung in der venösen Phase betrug 10,0+/-5,0 mGy bzw. 9,7 (0,1-30,0) mGy.

In der Ausscheidungsphase betrugen diese 7,1+/-4,1 mGy bzw. 6,8 (1,2-25,7) mGy. Das Dosis-Längen-Produkt lag jeweils für venöse Phase bzw. Ausscheidungsphase bei

457,4+/-253,6 mGy*cm und 455 (2,3-1472) mGy*cm bzw. 288,1+/-196,4 mGy*cm und 251,2 (41,3-973,8) mGy*cm. Die axiale Schichtdicke der venösen Phase bzw. Ausscheidungsphase lag bei 4,4+/-0,9 mm und 5,0 (2,0-5,0) mm bzw. 3,9+/-3,2 mm und 3,0 (2,5-30,0) mm. Die koronare Schichtdicke der venösen Phase bzw. Ausscheidungsphase lag bei 4,5+/-2,4 mm und 5,0 (0,6-30,0) mm bzw. 6,4+/-8,1 mm and 3,0 (0,6-30,0) mm. Die sagittale Schichtdicke in der venösen-bzw. Ausscheidungsphase lag bei 3,3+/-1,4 mm und 3,0 (2,0-5,0) mm bzw. 3,9+/-1,1 mm und 3,0 (2,0-5,0) mm.

III.3 Hauptergebnisse

III.3.1 Zeitintervall zwischen venöser Phase und Ausscheidungsphase

- Die beiden distalen Harnleiter konnten in der Ausscheidungsphase grundsätzlich in jedem Zeitfenster zwischen venöser Phase und Ausscheidungsphase abgegrenzt werden.
- 2. Die Abgrenzung von zumindest einem distalen Harnleiter in der Ausscheidungsphase gelang in 80% der Fälle, wenn ein Zeitunterschied von 4 bis 15 min nach der venösen Phase vorlag.
- Betrug der Zeitunterschied zwischen venöser Phase und Ausscheidungsphase mehr als 15 min, konnten die distalen Harnleiter tendenziell schlechter abgegrenzt werden.
- 4. Das zuverlässigste Intervall für die Abgrenzbarkeit der distalen Harnleiter war ein Zeitunterschied zwischen 5 und 11 min zwischen venöser Phase und Ausscheidungsphase.
- 5. Bei einem Zeitunterschied von 8-11 min gelang die Kontrastierung von beiden distalen Harnleitern in 75% der Untersuchungen und in 90% von mindestens einem distalen Harnleiter.
- 6 Die Anzahl an Untersuchungen, deren Zeitunterschied zwischen venöser Phase und Ausscheidungsphase mehr als 18 min betrug, reichte nicht aus um eine Beurteilung bezüglich des Kontrastierungsverhaltens der distalen Harnleiter abgeben zu können.

Erläuterungen zu Abbildung 1 und 2: Kontrastierung der distalen Harnleiter mehr als 80%; beide distale Harnleiter: schwarzer Balken; ein distaler Harnleiter: gestreifter Balken; kein distaler Harnleiter: weißer Balken.

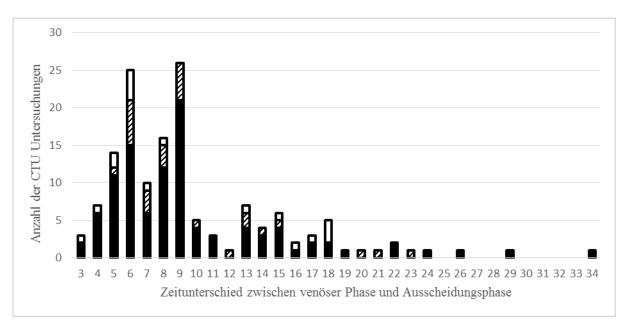


Abbildung 1: Kontrastierverhalten der distalen Harnleiter zu unterschiedlichen Zeitintervallen zwischen venöser Phase und Ausscheidungsphase (Zeitangaben in Minuten)

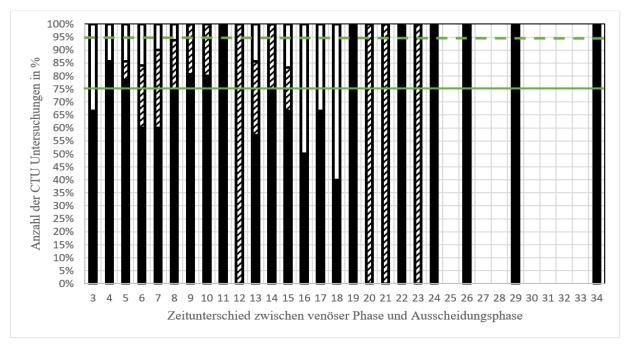


Abbildung 2: Kontrastierverhalten der distalen Harnleiter zu unterschiedlichen Zeitpunkten in % zwischen venöser Phase und Ausscheidungsphase (Zeitangaben in Minuten)

III.3.2 Kontingenztabellen und Chi-Quadrat-Test

Die nachfolgende Tabelle bildet den Zusammenhang zwischen der Abgrenzbarkeit der distalen Harnleiter in der Ausscheidungsphase bei der CTU und verschiedenen unabhängigen Variablen ab. Folgende Testverfahren, welche unter der Spalte angewendeter Test dargestellt sind, kamen zur Anwendung:

Der zweiseitige Student'sche t-Test für ungleiche Stichproben (T) verglich jeweils separat die Abgrenzbarkeit von beiden distalen Harnleitern mit der Abgrenzbarkeit eines Harnleiters bzw. der Abgrenzbarkeit keines Harnleiters.

Der Chi –Quadrat-Test mit zwei Freiheitsgraden (X²) verglich die Abgrenzbarkeit beider distaler, sowie eines distalen Harnleiters gemeinsam, versus kein Harnleiter kontrastiert für folgende Zeitpunkte der Ausscheidungsphase: 3-7 min, 8-11 min, und 12-18 min, und für 3-7 min, 8-11 min, und 12-34 min. Zeitpunkte der Ausscheidungsphase, welche länger als 18 min nach der venösen Phase registriert waren, wurden zunächst ausgeschlossen, aufgrund der geringen Anzahl an Patienten für die jeweiligen Zeitpunkte, sie wurden später den Zeitpunkten in der Ausscheidungsphase 12-34 min zugeteilt. Der exakte Test nach Fischer mit einem Freiheitsgrad (F) verglich die Abgrenzbarkeit von beiden distalen Harnleitern und von einem distalen Harnleiter gemeinsam mit der Abgrenzbarkeit keines Harnleiters bei einem Harnblasenfüllungsvolumen, welches geringer als 120 ml in der venösen Phase war, in Kombination mit einer Volumenzunahme zwischen venöser Phase und Ausscheidungsphase, welche geringer als 50 ml war.

	Abgrenzbar	keit der dist	alen Harnle	eiter (abhäng	gige Variable)	
Variable	beide HL	ein HL	kein HL	gesamt	angewendeter Test	p-Wert
Anzahl der PatientInnen	103 (70%)	27 (18%)	17 (12%)	147		
Zeitunterschied venöse Phase - Aus- scheidungsphase (min)	9.6±5.6	10.1±4.9	10.1±5.7	9.8±5.4	T-Test	0.679-0.772
3-7 min	40	10	9	59	X ² -Test	0.005 <p<0.010< td=""></p<0.010<>
8-11 min	40	9	1	50	X ² 9.51 (3-18 min)	
12-18 min	16	5	7	28		
19-34 min	7	3	0	10		
12-34 min	23	8	7	38	X ² -Test	0.025 <p<0.050< td=""></p<0.050<>
					X ² 7.00 (3-34 min)	
HBV in der venösen Phase in ml	145±105	180±100	169±159	154±111	T-Test	0.109-0.546
HBV in der Ausscheidungsphase in ml	174±117	191±101	153±153	175±118	T-Test	0.468-0.599
Volumenunterschied des HBV zwischen venöser Phase und Ausscheidungsphase	30±78	10±94	-16±96	21±84	T-Test	0.080-0.333
HBV in der venösen Phase <120 ml & Volumenunterschied des HBV zwischen venöser Phase und Ausscheidungsphase < 50 ml	30	5	8	43	Fisher-Exact- Test	0.0498

Tabelle I: Zusammenhang zwischen der Abgrenzbarkeit der distalen Harnleiter in der Ausscheidungsphase bei der CTU und verschiedenen unabhängigen Variablen

p-Wert	0,500	0,250	0,100	0,050	0,025	0,010	0,005	0,001
kritischer Wert (Chi- Quadrat-Test mit zwei Freiheitsgraden)		2,773	4,605	5,991	7,378	9,210	10,597	13,816

Tabelle II: Kritische Werte und zugeordnete p-Werte für den Chi-Quadrat-Test mit zwei Freiheitsgraden (nach Glantz 1997)

Grup pe	ge- samt	beide distale Harnlei- ter kon- trastiert (beo- bachtet)	anderes Ergeb- nis (be- ob- achtet)	beide distale Harnlei- ter kon- trastiert (erwar- tet)	anderes Ergeb- nis (er- wartet)	beide distale Harnlei- ter kon- trastiert (gewich- tet)	anderes Ergebnis (gewich- tet)	gesamt (Chi- Quad- rat)
1: 3-7 min	59	40	19	41,34	17,66	0,04	0,10	0,14
2: 8-11 min	50	40	10	35,04	14,96	0,70	1,65	2,35
3: 11-18 min	28	16	12	19,62	8,38	0,67	1,56	2,23
ge- samt	137	96	41	96,00	41,00	1,41	3,31	4,72
An- teil (%)		70%	30%	70%	30%			0,050 <p <0,100</p

Tabelle III: Kontingenztafel Kontrastierung beider distaler Harnleiter bei Zeitunterschied 8-11 min, bzw. weniger als 8 min (3-7 min) oder mehr als 11 min (11-18 min), Chi-Quadrat-Test mit zwei Freiheitsgraden

Grup pe	ge- samt	mindes- tens ein distaler Harnleiter kontras- tiert (beo- bachtet)	anderes Ergebnis (beobachtet)	mindes- tens ein distaler Harnlei- ter kon- trastiert (erwar- tet)	anderes Ergeb- nis (er- war-tet)	mindes- tens ein distaler Harnlei- ter kon- trastiert (gewich- tet)	anderes Ergebnis (gewichtet)	gesamt (Chi- Quadrat)
1: 3-7 min	59	50	9	51,68	7,32	0,05	0,38	0,43
2: 8-11 min	50	49	1	43,80	6,20	0,62	4,37	4,99
3: 11-18 min	28	21	7	24,53	3,47	0,51	3,58	4,09
ge- samt	137	120	17	120,00	17,00	1,18	8,33	9,51
Anteil (%)		88%	12%	88%	12%			0,005 <p <0,001</p

Tabelle IV: Kontingenztafel Kontrastierung mindestens ein distaler Harnleiter bei Zeitunterschied 8-11 min, bzw. weniger als 8 min (3-7 min) oder mehr als 11 min (11-18 min), Chi-Quadrat-Test mit zwei Freiheitsgraden

Gruppe	gesamt	4-15 min (beo- bachtet)	<4 oder >15-18 min (beob- achtet)	4-15 min (erwar- tet)	<4 oder >15-18 min (erwar- tet)	min	<4 oder >15-18 min (ge- wichtet)	gesamt
1: beide distale Harnlei- ter kon- trastiert	96	89	7	86,89	9,11	0,05	0,49	0,54
2: ein distaler Harnlei- ter kon- trastiert	24	24	0	21,72	2,28	0,24	2,28	2,52
3: kein distaler Harnlei- ter kon- trastiert	17	11	6	15,39	1,61	1,25	11,93	13,18
gesamt	137	124	13	124,00	13,00	1,54	14,70	16,24
Anteil (%)		91%	9%	91%	9%			p<0,00 1

Tabelle V: Kontingenztafel Kontrastierung der distalen Harnleiter bei Zeitunterschied 4-15 min bzw. weniger als 4 min (3 min) oder mehr als 15 min (16-18 min), Chi-Quadrat-Test mit zwei Freiheitsgraden

Gruppe	ge- samt	5-11 min (beo- bachtet)	<5 oder >11-18 min (beo- bachtet)	5-11 min (erwar- tet)	<5 oder >11-18 min (erwar- tet)	5-11 min (ge- wichtet)	<5 oder >11-18 min (ge- wichtet)	gesamt
1: beide distale Harnleiter kontrastiert	96	72	24	69,37	26,63	0,10	0,26	0,36
2: ein distaler Harn-leiter kon-tras-tiert	24	19	5	17,34	6,66	0,16	0,41	0,57
3: kein distaler Harn- leiter kon- tras- tiert	17	8	9	12,28	4,72	1,49	3,89	5,39
gesamt	137	99	38	99	38	1,75	4,57	6,32
Anteil (%)		72%	28%	72%	28%			0,025< p<0,05 0

Tabelle VI: Kontingenztafel Kontrastierung der distalen Harnleiter bei Zeitunterschied 5-11 min, bzw. weniger als 5 min (3-4 min) oder mehr als 11 min (11-18 min), Chi-Quadrat-Test mit zwei Freiheitsgraden

Grup pe	gesamt	9-11 min (beo- bachtet)	<9 oder >11-18 min (beo-bachtet)	9-11 min (erwar- tet)	<9 oder >11-18 min (erwar- tet)	9-11 min (ge- wichtet)	<9 oder >11-18 min (ge- wichtet)	gesamt
1: beide dista- le Harn- leiter kon- tras- tiert	96	28	68	23,82	72,18	0,73	0,24	0,97
2: ein dista- ler Harn- leiter kon- tras- tiert	24	6	18	5,96	18,04	0,00	0,00	0,00
3: kein dista- ler Harn- leiter kon- tras- tiert	17	0	17	4,22	12,78	4,22	1,39	5,61
ge- samt	137	34	103	34,00	38,00	4,95	1,63	6,59
An- teil (%)		25%	75%	25%	75%			0,025 <p <0,050</p

Tabelle VII: Kontingenztafel Kontrastierung der distalen Harnleiter bei Zeitunterschied 9-11min, bzw. weniger als 9 min (3-8 min) oder mehr als 11 min (11-18 min), Chi-Quadrat-Test mit zwei Freiheitsgraden

Grup pe	gesamt	8-11 min (beo- bachtet)	<8 oder >11-18 min (beo- bachtet)	8-11 min (erwar- tet)	<8 oder >11-18 min (er- wartet)	8-11 min (ge- wichtet)	<8 oder >11-18 min (gewichtet)	gesamt
1: beide dista- le Harn- leiter kon- tras- tiert	96	40	56	35,04	60,96	0,70	0,40	1,11
2: ein dista- ler Harn- leiter kon- tras- tiert	24	9	15	8,76	15,24	0,01	0,00	0,01
3: kein dista- ler Harn- leiter kon- tras- tiert	17	1	16	6,20	10,80	4,37	2,51	6,87
ge- samt	137	50	87	50,00	87,00	5,08	2,92	7,99
An- teil (%)		36%	64%	36%	64%			0,010 <p <0,025</p

Tabelle VIII: Kontingenztafel Kontrastierung der distalen Harnleiter bei Zeitunterschied 8-11min, bzw. weniger als 8 min (3-7 min) oder mehr als 11 min (11-18 min), Chi-Quadrat-Test mit zwei Freiheitsgraden

III.3.3 Harnblasenfüllungsvolumen

Ein Harnblasenfüllungsvolumen, welches weniger als 120 cm³ in der venösen Phase umfasste und dessen Volumen um weniger als 50 cm³ bis zur Ausscheidungsphase anstieg, ging mit einem schlechteren Ergebnis hinsichtlich der Kontrastierung der distalen

Harnleiter in der Ausscheidungsphase einher, sofern die Ausscheidungsphase mindestens 11 min nach der venösen Phase erfolgte.

III.3.3.1 Erläuterungen zu den nachfolgenden Abbildungen 3 und 4

Die Abbildungen sollen den Zusammenhang zwischen dem Harnblasenfüllungsvolumen in der venösen Phase (x-Achse) und der Änderung des Harnblasenfüllungsvolumens in der Ausscheidungsphase (y-Achse) in cm³, verdeutlichen. Abbildung 3 beinhaltet die Zeitunterschiede weniger als 8 min, 8-11 min und mehr als 11 min zwischen venöser Phase und Ausscheidungsphase. Abbildung 4 bildet den Zeitunterschied mehr als 11 min ab, wobei die Abbildung 4 letztlich einen Datenausschnitt aus Grafik 3 darstellt.

III.3.3.2 Legende

- ▲ Zeitunterschied zwischen venöser Phase und Ausscheidungsphase unter 8 min, beide distale Harnleiter vollständig kontrastiert
- A Zeitunterschied zwischen venöser Phase und Ausscheidungsphase unter 8 min, ein distaler Harnleiter vollständig kontrastiert
- △ Zeitunterschied zwischen venöser Phase und Ausscheidungsphase unter 8 min, kein distaler Harnleiter vollständig kontrastiert
- Zeitunterschied zwischen venöser Phase und Ausscheidungsphase bei 8-11 min, beide distale Harnleiter vollständig kontrastiert
- O Zeitunterschied zwischen venöser Phase und Ausscheidungsphase bei 8-11 min, kein distaler Harnleiter kontrastiert
- ◆ Zeitunterschied zwischen venöser Phase und Ausscheidungsphase mehr als 11 min, beide distale Harnleiter vollständig kontrastiert
- ♦ Zeitunterschied zwischen venöser Phase und Ausscheidungsphase mehr als 11 min, ein distaler Harnleiter vollständig kontrastiert
- ♦ Zeitunterschied zwischen venöser Phase und Ausscheidungsphase mehr als 11 min, kein distaler Harnleiter vollständig kontrastiert

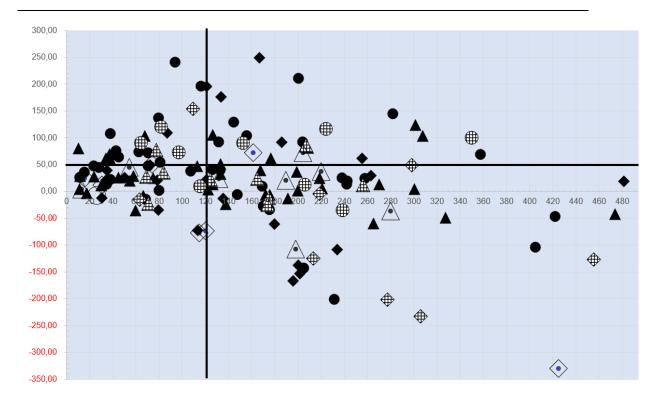


Abbildung 3: Ergebnisse Harnblasenfüllungsvolumen, weniger als 8 min, 8-11 min und mehr als 11 min zwischen venöser Phase und Ausscheidungsphase

x-Achse: Harnblasenfüllungsvolumen in der venösen Phase in ml

y-Achse: Änderung des Harnblasenfüllungsvolumens in der Ausscheidungsphase in ml

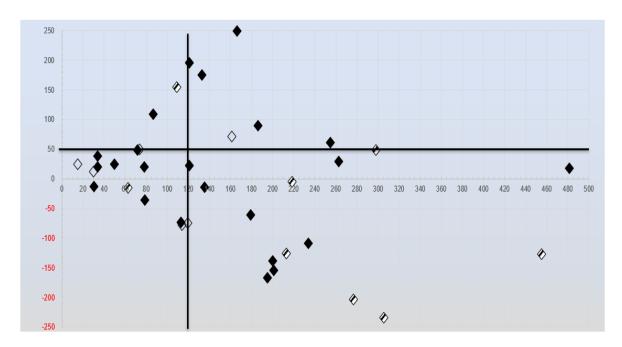


Abbildung 4: Ergebnisse Harnblasenfüllungsvolumen Zeitunterschied größer als 11 min, zwischen venöser Phase und Ausscheidungsphase

x-Achse: Harnblasenfüllungsvolumen in der venösen Phase in ml

y-Achse: Änderung des Harnblasenfüllungsvolumens in der Ausscheidungsphase in ml

III.3.4 Exakter Fisher Test

In den folgenden Tabellen wurde der Zusammenhang zwischen dem Harnblasenfüllungsvolumen in venöser Phase (mehr als 120 cm³), bzw. die Volumenzunahme in der Ausscheidungsphase (mehr als 50 cm³) berechnet. Der Zeitunterschied zwischen venöser Phase und Ausscheidungsphase war größer als 11 min. Lag das Harnblasenfüllungsvolumen in der venösen Phase bei weniger als 120 cm³ und umfasste die Volumenzunahme weniger als 50 cm³, wurde das Ergebnis unter "+" eingetragen, ansonsten wurde es der Spalte "–" zugeteilt. Tabellen IX bis XI stellen die beobachtete Werteverteilung (Tabelle IX) sowie die berechneten extremeren Werteverteilungen dar (Tabellen X und XI), wobei der Gesamtwert in Tabelle XI die exakte Wahrscheinlichkeit des Auftretens der beobachteten oder der berechneten extremeren Werteverteilungen darstellt. Tabellen XII bis XVI stellen die berechneten weniger extremen Werteverteilungen und deren Gesamtwahrscheinlichkeit als Gegenprobe dar.

	beobachtet	beobachtet	gesamt
	Test +	Test -	
1 oder 2 HL kon-	9	23	32
trastiert			
0 HL kontrastiert	5	2	7
gesamt	14	25	39
p=	0,039048336		

Tabelle IX: Exakter Fisher Test I

	berechnet	berechnet	gesamt
	Test +	Test -	
1 oder 2 HL kon-	8	24	32
trastiert			
0 HL kontrastiert	6	1	7
gesamt	14	25	39
p=	0,004881042		

Tabelle X: Exakter Fisher Test II

	berechnet	berechnet	gesamt
	Test +	Test -	
1 o 2 HL kontras-	7	25	32
tiert			
0 HL kontrastiert	7	0	7
gesamt	14	25	39
p=	0,004881042		
gesamt p=	0,044152512	signifikant	

Tabelle XI: Exakter Fisher Test III

	berechnet	berechnet	gesamt
	Test +	Test -	
1 o 2 HL kontrastiert	10	22	32
0 HL kontrastiert	4	3	7
gesamt	14	25	39
p=	0,149685289		

Tabelle XII: Exakter Fisher Test IV

	berechnet	berechnet	gesamt
	Test +	Test -	
1 o 2 HL kontrastiert	11	21	32
0 HL kontrastiert	3	4	7
gesamt	14	25	39
p=	0,299370578		

Tabelle XIII: Exakter Fisher V

	berechnet	berechnet	gesamt
	Test +	Test -	
1 o 2 HL kontrastiert	12	20	32
0 HL kontrastiert	2	5	7
gesamt	14	25	39
p=	0,314339106		

Tabelle XIV: Exakter Fisher Test VI

	berechnet	berechnet	gesamt
	Test +	Test -	
1 o 2 HL kontrastiert	13	19	32
0 HL kontrastiert	1	6	7
gesamt	14	25	39
p=	0,161199542		

Tabelle XV: Exakter Fisher Test VII

	berechnet	berechnet	gesamt
	Test +	Test -	
1 o 2 HL kontrastiert	14	18	32
0 HL kontrastiert	0	7	7
gesamt	14	25	39
p=	0,031252972		
gesamt p=	0,955847487		

Tabelle XVI: Exakter Fisher Test VIII

III.4 Weitere Auswertungen

Die nachfolgende Tabelle bildet den Zusammenhang zwischen der Abgrenzbarkeit der distalen Harnleiter in der Ausscheidungsphase bei der CTU und verschiedenen potenzi-

ellen Confoundern und Effektmodifikatoren ab. Der zweistichproben T-Test für unabhängige Stichproben verglich separat jeweils die Abgrenzbarkeit von beiden distalen Harnleitern mit der Abgrenzbarkeit von einem distalen Harnleiter und der Abgrenzbarkeit von keinem distalen Harnleiter, bei stetigen Variablen. Der Chi-Quadrat Test mit zwei Freiheitsgraden verglich die Abgrenzbarkeit von beiden distalen Harnleitern mit der Abgrenzbarkeit eines distalen Harnleiters und der Abgrenzbarkeit keines Harnleiters in Kontingenztabellen.

Abgren	zbarkeit der d	istalen Harnl	eiter (abhängi	ge Variable)	
Variable	beide HL	ein HL	kein HL	gesamt	p-Wert*
Anzahl der PatientInnen	103 (70%)	27 (18%)	17 (12%)	147	
weibliche Patientinnen	44 (67%)	13 (20%)	9 (13%)	66 (45%)	>0.500
männliche Patienten	59 (73%)	14 (17%)	8 (10%)	81 (55%)	
Patientinnenalter	63.1±13.6	60.6±12.9	62.1±16.0	62.5±13.7	0.375-0.821
Serum-Kreatinin in mg/dl	1.1±0.3	0.9 ± 0.2	0.8±0.4	1.0±0.3	0.003-0.157
Röhrenspannung in der venösen Phase in KVp	109±11	109±12	111±11	109±11	0.427-0.905
Röhrenspannung in der Ausscheidungsphase in KVp	111±15	111±13	114±14	111±14	0.470-0.942
CTDI in der venösen Phase in mGy	10.1±5.3	10.0±3.7	9.7±4.8	10.0±5.0	0.780-0.930
CTDI in der Ausscheidungs- phase in mGy	7.3±4.3	6.7±3.6	6.9±3.9	7.2±4.1	0.473-0.670
DLP in der venösen Phase in mGy*cm	458±261	429±228	497±254	457±254	0.565-0.569
DLP in der Ausscheidungsphase in mGy*cm	290±189	284±238	291±176	289±196	0.910-0.984
axiale Rekonstruktionsschicht- dicke venöse Phase in mm	4.4±0.9	4.4±0.9	4.5±0.9	4.4±0.9	0.771-0.890
koronare Rekonstruktions- schichtdicke in der venösen Phase in mm	4.4±1.0	5.1±5.2	4.6±0.8	4.5±2.4	0.215-0.479
sagittale Rekonstruktions- schichtdicke in der venösen Phase in mm	3.3±1.4	3.2±1.4	3.8±1.5	3.3±1.4	0.328-0.788
axiale Rekonstruktionsschicht- dicke in der Ausscheidungs- phase in mm	4.0±3.8	3.5±0.9	3.9±1.0	3.9±3.2	0.176-0.820
koronare Rekonstruktions- schichtdicke in der Ausschei- dungsphase in mm	6.1±7.5	5.6±7.1	9.8±11.6	6.4±8.0	0.216-0.745
sagittale Rekonstruktions- schichtdicke in der Ausschei- dungsphase in mm	3.9±1.0	3.4±1.1	4.5±1.0	3.9±1.1	0.314-0.369

Tabelle XVII Zusammenhang zwischen der Abgrenzbarkeit der distalen Harnleiter und potenziellen Confoundern und Effektmodifikatoren

IV. Diskussion

Die intravenöse Urographie stellte lange Zeit das Mittel der Wahl für die Beurteilung der Nieren und ableitenden Harnwege dar. Der technische Fortschritt im Bereich des MDCT führte jedoch dazu, dass diese Untersuchung mittlerweile nahezu vollständig durch die CTU verdrängt wurde (Meindl et al. 2006, Van der Molen et al 2008, Silverman et al. 2009, Chlapoutakis et al. 2010, Maheshwari et al. 2010, Sadow et al. 2010, Xu et al. 2010). Die CTU Untersuchung stellt ein kostengünstiges und vielerorts verfügbares Instrument zur Beurteilung verschiedenster Pathologien des Harntraktes dar. Außerdem bedarf es keiner speziellen PatientenInnen-Vorbereitung und die Untersuchung kann in kurzer Zeit durchgeführt werden (Van der Molen et al. 2008). Ein wesentlicher Nachteil der CTU ergibt sich aus der relevanten Strahlenbelastung. Eine Verringerung der Strahlendosis geht jedoch häufig zulasten der Bildqualität. Deshalb gibt es bereits verschiedenste Möglichkeiten und Methoden, diese so gering wie möglich zu halten und trotzdem eine gute Beurteilbarkeit der ableitenden Harnwege zu gewährleisten (Juri et al. 2013a). Eine weitere Herausforderung der CTU stellt die Abgrenzbarkeit insbesondere der distalen Harnleiter dar (Caoili et al. 2005, Meindl et al. 2006, Van der Molen et al. 2008). Einige Studien beschäftigten sich bereits intensiv mit der Fragestellung, welcher Zeitunterschied zwischen venöser Phase und Ausscheidungsphase sich optimal auf die Kontrastierbarkeit der distalen Harnleiter auswirkt. Zum jetzigen Zeitpunkt gibt es diesbezüglich nur verschiedene Empfehlungen, allerdings keine allgemein anerkannten Leitlinien. Des Weiteren beschäftigte sich unsere Studie mit dem Harnblasenfüllungsvolumen im Zusammenhang mit der Kontrastierbarkeit der distalen Harnleiter. Zu diesem Thema gibt es bisher keine wissenschaftlichen Erkenntnisse.

IV.1 Hauptergebnisse

IV.1.1 Zeitunterschied zwischen venöser Phase und Ausscheidungsphase

Anhand unserer Studie wiesen wir nach, dass ein Zeitunterschied zwischen venöser Phase und Ausscheidungsphase zwischen 8 und 15 min für die Kontrastierung der distalen Harnleiter am besten geeignet war. Bei einem Zeitunterschied von 8 bis 11 min ge-

lang die beidseitige Kontrastierung der distalen Harnleiter in über 75% und die wenigstens einseitige Kontrastierung scheiterte bei weniger als 10% der Untersuchungen.

IV.1.2 Zeitunterschied zwischen venöser Phase und Ausscheidungsphase und Harnblasenfüllungsvolumen

Darüber hinaus stellten wir fest, dass ein Intervall zwischen venöser Phase und Ausscheidungsphase zwischen 12 und 18 min in Kombination mit einem Harnblasenfüllungsvolumen, welches in der venösen Phase weniger als 120 ml betrug und in der Ausscheidungsphase um weniger als 50 ml zunahm, mit einer schlechteren Kontrastierung der distalen Harnleiter einherging.

Betrug das Harnblasenfüllungsvolumen weniger als 120 cm³ in der venösen Phase, nahm um weniger als 50 cm³ in der Ausscheidungsphase zu und lag der Zeitunterschied zwischen venöser Phase und Ausscheidungsphase bei mehr als 11 min, deutete dies möglicherweise auf eine beeinträchtigte renale Ausscheidung hin. Mögliche Gründe könnten eine Dehydratation oder eine Niereninsuffizienz sein.

Es wäre auch möglich gewesen, dass ein Harnblasenfüllungsvolumen welches geringer als 120 cm³ in der venösen Phase war und dessen Volumenzunahme weniger als 50 cm³ in der Ausscheidungsphase betrug, auf eine erhöhte Miktionsfrequenz kleiner Urinmengen hindeutete (bei einem Zeitunterschied von mehr als 11 min zwischen venöser Phase und Ausscheidungsphase). Dies wiederrum könnte ein Hinweis auf eine Miktionsstörung sein.

IV.2 Weitere Ergebnisse

Weiters konnten wir erheben, dass technische Parameter, wie die Röhrenspannung, das Dosislängenprodukt und die Schichtdicke keinen möglicherweise störenden Einfluss auf die ermittelten Einflussgrößen bei der Abgrenzbarkeit der distalen Harnleiter in unserer Studie nahmen.

IV.3 Einschränkungen

IV.3.1 Studiendesign und Studiengröße

Zunächst könnten sich in unserer Studie Einschränkungen hinsichtlich der Auswahl des Studiendesigns und der Studiengröße ergeben. In unserem Fall erschien eine explorativretrospektive Studie erfolgsversprechend, da zum Zeitpunkt der Studienplanung bereits viele CTU Untersuchungen stattgefunden hatten und diese durch ausgewählte Suchkriterien einfach zu finden waren. Darüber hinaus gab es bereits Hinweise, welche Faktoren die distale Harnleiterkontrastierung beeinflussen könnten.

IV.3.2 Patientenzahl

Als weitere Einschränkung wäre zunächst die Studiengröße in Betracht zu ziehen. Waren 147 PatientInnen repräsentativ? Diese Anzahl wurde aus 2375 PatientInnen gefültert, sie entsprachen unseren Einschluss-Kriterien.

2228 PatientInnen wurden aufgrund unterschiedlicher Einschränkungen aus der Studie ausgeschlossen. Diese PatientInnen hatten unter anderem Tumore der ableitenden Harnwege, diverse Entzündungen oder wiesen bestimmte Pathologien auf, wodurch die Beurteilbarkeit eingeschränkt war. Des Weiteren wurden PatientInnen ausgeschlossen, welche sich zum Beispiel einer chirurgischen Korrektur der Harnwege unterzogen hatten. Auch Nieren und Pankreastransplantationen, sowie PatientInnen mit Z.n. Strahlentherapien schieden aus der Studie aus. Darüber hinaus konnten PatientInnen mit Fremdkörpern in den ableitenden Harnleitern nicht in unsere Auswertung einbezogen werden. Zuletzt wurden PatientInnen mit fehlenden Informationen oder unklaren Befunden ausgeschlossen.

IV.3.3 Ergebnisse nicht uneingeschränkt übertragbar

Eine weitere Schwäche unserer Studie stellte der Fakt dar, dass unsere Ergebnisse lediglich bei Erwachsenen erhoben wurden. Was die Vorgehensweisen für Kinder und Jugendliche angeht, die sich einer CTU unterziehen, kann anhand unserer Studie keine Empfehlung abgegeben werden. Allerdings sind die typischen Indikationen für eine CTU im Kindes- und Jugendalter sicherlich deutlich seltener anzutreffen als im Erwachsenenalter. PatientInnen, die ein Transplantat (Nieren- bzw. Pankreastransplantat)

erhalten hatten wurden nicht in unsere Studie aufgenommen, da es ein Ausschlusskriterium darstellte. Somit ergaben sich hierzu keine generellen Empfehlungen bezüglich einer CTU Untersuchung. Ebenso konnten wir für PatientInnen mit eingeschränkter Nierenfunktion bzw. Dialyse-PatientInnen keine Empfehlung zur Vorgehensweise bei CTU Untersuchungen abgeben, da die Kontrastmittelverabreichung in diesem Fall kontraindiziert sein kann und eine CTU möglicherweise kein geeignetes Diagnostikum darstellt (Nolte-Ernsting et Cowan 2006, Zeikus et al. 2019).

IV.3.4 Unterschiedliche CT-Geräte

Darüber hinaus wurden unsere Untersuchungen mithilfe von neun verschiedenen CT-Geräten an drei Standorten durchgeführt. Eine Verzerrung hinsichtlich unserer Ergebnisse hätte sich somit ergeben können. In unserer Auswertung zeigte sich diesbezüglich jedoch kein signifikanter Unterschied.

IV.3.5 Beurteilung der Harnleiter

Die Beurteilung der distalen Harnleiter erfolgte im Konsens zwischen zwei Beobachtern, nämlich einem Radiologen mit mehr als zwanzigjähriger Berufserfahrung und einer Medizinstudentin im fünften Studienjahr. Durch Diskussion der Beurteilungen konnte jeweils ein gemeinsames Ergebnis erzielt werden. Eine zweite, unabhängige Beurteilung erfolgte nicht, so dass die Reproduzierbarkeit der Beurteilungs-Ergebnisse der distalen Harnleiter-Kontrastierung im Rahmen dieser Studie nicht überprüft werden konnte. Diese Einschränkung erstreckte sich jedoch gleichermaßen auf alle Untergruppen der Analyse, nämlich Gruppen mit unterschiedlichen Zeitintervallen zwischen den CT-Aufnahmen in der venösen Phase und in der Ausscheidungsphase und Gruppen mit unterschiedlichen Harnblasenfüllungsvolumina.

IV.4 Interpretation

IV.4.1 Zeitunterschied zwischen venöser Phase und Ausscheidungsphase

Der optimale Zeitunterschied zwischen venöser Phase und Ausscheidungsphase liegt je nach Literatur-Quelle zwischen 3 und 15 min (Nolte-Ernsting et Cowan, 2006). Es scheint jedoch, als würden längere Intervalle mit einer besseren Kontrastierung einher-

gehen (Meindl et al. 2006). Grundsätzlich kann der Zeitunterschied je nach PatientIn individuell variieren, auch wenn die renale Ausscheidung nicht beeinträchtigt ist. Sowohl für PatientInnen mit intakter renaler Ausscheidung, als auch für PatientInnen mit beeinträchtigter renaler Ausscheidung gibt es keine allgemeinen Empfehlungen, zu welchem Zeitpunkt die Ausscheidungsaufnahme erfolgen sollte (Nolte-Ernsting et Cowan, 2006). Meindl et al. (2006) stellten fest, dass ein Zeitunterschied von 10-16 min nach Beginn der intravenösen Kontrastmittelgabe sich positiv auf die Kontrastierung der distalen Harnleiter auswirkt. Zu kürzeren Zeitintervallen zwischen Beginn der intravenösen Kontrastmittelgabe und Aufzeichnung der Ausscheidungsphase kamen Nolte-Ernsting et Cowan (2006). Sie gaben an, dass ein Zeitunterschied von 7-10 min nach Kontrastmittelverabreichung optimal für die Darstellung der ableiten Harnwege ist, hatten allerdings bei ihren PatientInnen vorab ein Diuretikum (Furosemid) verabreicht. Die Ergebnisse unserer Studie, bei der wir einen optimalen Zeitunterschied von 8-11 min für die Kontrastierung der distalen Harnleiter erhoben hatten, liegen im Bereich der von Meindl et al (2006) angegebenen Werte, da wir den Zeitunterschied zwischen venöser Phase und Ausscheidungsphase maßen und nicht den Zeitunterschied zwischen Beginn der Kontrastmittelinjektion und Ausscheidungsphase. Der Zeitunterschied zwischen Beginn der intravenösen Kontrastmittelinjektion und Aufzeichnung von CT-Aufnahmen in der venösen Phase liegt nach allgemeiner Übereinkunft bei 75-90 s. Wie in der Arbeit von Meindl und Mitarbeitern (2006) wurden auch bei unseren PatientInnen keine Diuretika eingesetzt.

IV.4.2 Harnblasenfüllungsvolumen

Was das Harnblasenfüllungsvolumen angeht, wies unsere Studie darauf hin, dass Patientinnen mit vollerer Harnblase, besser hinsichtlich der Beurteilbarkeit der distalen Harnleiter abschnitten. Es ist fraglich, was dieser Gegebenheit geschuldet ist. Wie kann das Harnblasenfüllungsvolumen überhaupt Einfluss auf die Kontrastierbarkeit der distalen Harnleiter nehmen, wenn man davon ausgeht, dass die Harnblasenostien sich ab einem gewissen Harnvolumen verschließen, um den Reflux in die Harnleiter zu verhindern? - Möglicherweise spricht in diesem Zusammenhang ein gewisses Harnblasenfüllungsvolumen bzw. dessen Veränderung für einen besseren Nierenfunktionszustand. Wie das Harnblasenfüllungsvolumen die Abgrenzbarkeit der distalen Harnleiter positiv beeinflusst, konnte in unserer Studie nicht geklärt werden. Wir würden unseren Patientlnnen aufgrund unserer Ergebnisse jedoch grundsätzlich empfehlen, vor der CTU Un-

tersuchung für eine hinreichende orale Hydrierung zu sorgen (d.h., eine hohe Trinkmenge schon vor der CTU Untersuchung anzustreben) und zwischen den verschiedenen CT-Aufnahmen nicht zur Toilette zu gehen, bzw. sollte eine CTU Untersuchung nicht mit leerer Blase vollzogen werden.

IV.5 Übertragbarkeit

Da unsere Ergebnisse, was den Zeitpunkt der Ausscheidungsaufnahme angeht, mit Werten aus früher durchgeführten Studien in eine gemeinsame Richtung deuten, scheint es, als wäre das Ergebnis auf die Allgemeinbevölkerung erwachsener PatientInnen (mit Ausnahme der genannten Einschränkungen) übertragbar. Was das Harnblasenfüllungsvolumen angeht, können wir lediglich die Empfehlungen aussprechen, dass PatientInnen vor der CTU Untersuchung eine möglichst große Trinkmenge anstreben und sich nicht mit leerer Blase einer CTU Untersuchung unterziehen sollten, bzw. zwischen den verschiedenen intravenös kontrastverstärkten CT-Aufnahmen nicht zur Toilette gehen sollten. Wir können den letztgenannten Punkt jedoch nicht abschließend ursächlich wissenschaftlich begründen.

V. Zusammenfassung

Die Kontrastierung und damit die morphologische Abgrenzbarkeit der distalen Harnleiter in der Ausscheidungsphase stellt eine besondere Herausforderung der CTU Untersuchung dar. Deshalb untersuchten wir, wie sich bestimmte Zeitunterschiede zwischen venöser Phase und Ausscheidungsphase auf die Abgrenzbarkeit der distalen Harnleiter auswirken. Darüber hinaus befassten wir uns mit der Fragestellung, ob ein bestimmtes Harnblasenfüllungsvolumen in der venösen Phase oder Ausscheidungsphase Einfluss auf die Kontrastierung der distalen Harnleiter nimmt. Mit Zustimmung der Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Universität München wurde das PACS (picture archiving and communication system) der Klinik und Poliklinik für Radiologie auf CTU Untersuchungen durchsucht, welche im Zeitraum von 2007 bis 2016 stattgefunden hatten. Die Untersuchungen erfolgten in diesem Zeitraum an drei Standorten mit neun verschiedenen CT-Geräten. PatientInnen mit bekannten oder vermuteten Tumoren oder Traumata des Beckens oder Abdomens und unauffälligen ableitenden Harnwegen wurden in die Studie eingeschlossen. Ebenso nahmen PatientInnen teil, welche zur Tumorsuche kamen und deren ableitende Harnwege keine Auffälligkeiten aufwiesen. Unsere Studie umfasste 147 PatientInnen (66 weiblich und 81 männlich). Das durchschnittliche Alter der PatientInnen betrug 63+/-14 Jahre. Die CTU Untersuchungen der PatientInnen wurden jeweils von zwei ForscherInnen gemeinsam dahingehend beurteilt, ob die distalen Harnleiter zu mehr als 80% kontrastiert waren. Die Intervalle der Ausscheidungsphase reichten von 3-34 min und wurden aus den im PACS hinterlegten Aufnahmedaten ermittelt. Darüber hinaus wurde das Harnblasenfüllungsvolumen in venöser Phase und in Ausscheidungsphase mit Hilfe entsprechender Auswertungswerkzeuge in den multiplanaren Rekonstruktionen im PACS ausgemessen und mithilfe der Formel für die Berechnung des Volumens eines Ellipsoids berechnet. Zweiseitige statistische Tests waren bei einem p-Wert von <0,05 signifikant. Die morphologische Abgrenzung der distalen Harnleiter gelang in 75% beidseitig und misslang in weniger als 10% der Fälle vollständig, wenn der Zeitunterschied zwischen venöser Phase und Ausscheidungsphase 8-11 min betrug (1/50 scheiterte). Bei einem Zeitunterschied von weniger als 8 min hingegen scheiterte die Abgrenzung bei 19/59 und bei 12-18 min 12/28 PatientInnen. Für den Chi-Quadrat-Test mit zwei Freiheitgraden wurde jeweils der kritische Wert von 9,51 ermittelt, entsprechend einem Signifikanzniveau von 0,005<p<0,010. Die Kontrastierung der distalen Harnleiter scheiterte häufig (5/7), wenn das Harnblasenfüllungsvolumen in der venösen Phase geringer als 120 ml war, zwischen venöser Phase und Ausscheidungsphase um weniger als 50 ml zunahm und der Zeitunterschied zwischen beiden Phasen zwischen 12 und 18 min betrug (versus 9/32). Die Analyse anhand des Exakten Tests nach Fischer ergab einen p-Wert von 0,0442. Technische Parameter wie Röhrenspannung, Strahlenbelastung, Dosis-Längen-Produkt oder Schichtdicke hatten keinen signifikanten Einfluss auf die Abgrenzbarkeit, alle entsprechenden T-Tests ergaben keine signifikanten Unterschiede. Die Abgrenzbarkeit der distalen Harnleiter gelang am häufigsten bei einem Zeitunterschied von 8-11 min zwischen venöser Phase und Ausscheidungsphase. Tendenziell war eine schlechtere Kontrastierung der distalen Harnleiter zu erwarten, wenn sich der Zeitunterschied zwischen venöser Phase und Ausscheidungsphase auf 12-18 min belief und das Harnblasenfüllungsvolumen in der venösen Phase geringer als 120 ml war oder das Harnblasenfüllungsvolumen in der Ausscheidungsphase um weniger als 50 ml zunahm.

VI. Anhang

VI.1 Computertomographie

VI.1.1 Allgemeines und Bestandteile

Die Computertomographie ist ein Verfahren, welches mithilfe von Röntgenstrahlen Gewebe und Organe überlagerungsfrei darstellt. Es gehört zu den sog. Schnittbildverfahren und generiert transversale Schichten, mit denen dreidimensionale Bilder erzeugt werden können (Hünerbein 2017). Computertomographen sind heutzutage in vielen Kliniken und Praxen verfügbar. Die kurze Untersuchungsdauer macht sie zu einem wichtigen Element in der Notfalldiagnostik (Wenker 2017). Der Computertomograph umfasst neben Computer, Bedienpult und Patientenlagerungstisch die sog. Gantry. Diese Gantry, auch Abtasteinheit genannt, beinhaltet einen Hochspannungsgenerator, eine Röntgenröhre, ein Blendensystem und eine Kühlung (Hünerbein 2017). Sie stellt sozusagen das Herz des Computertomographen dar (Wenker 2017).

VI.1.2 Die Geschichte der Computertomographie

Erste grundlegende mathematische Prinzipien hinsichtlich der Computertomographie entwickelte bereits Johann Radon 1929. Seitdem wurden vor allem durch Godfrey Newbold Hounsfield und Allan M. Cormack große technische Fortschritte erzielt. Die beiden erhielten dafür 1979 den Nobelpreis. Der erste Einsatz erfolgte im Jahre 1971 im Atkinson-Morley Hospital in Wimbledon, zunächst noch als Schädeltomograph und schon drei Jahre später als Ganzkörpertomograph. 20 Jahre später (Anfang der 90er Jahre) kam es zur Einführung der Spiral-CT. Diese Technik ermöglichte neben der Gewinnung von dreidimensionalen Bilddatensätzen durch die spiralförmige Abtastung des Patienten oder des Untersuchungsobjekts auch die CT-Angiographie durch die erhöhte Abtast-Geschwindigkeit. 1998 kam es zur Einführung der Multidetektor-CT (zunächst als 4-Zeilen-CT). Dieses Verfahren erlaubt die Untersuchung des Körpers mit sehr enger Abtastung entlang der Körperlängsachse (Z-Achse) und dadurch die Bildrekonstruktion in beliebigen Schnittrichtungen. Seit Einführung der inzwischen weit verfügbaren 64-Zeilen-Multidetektor-CT-Untersuchungsgeräte weisen die einzelnen Bild-Volumenelemente (Voxel) isotrope räumliche Auflösungen auf (Prokop 2013, vgl. auch Abb. 6).

1929	Radon: grundlegende mathematische Prinzipien
1963	Cormack: Bildrekonstruktion
1971	Hounsfield (EMI-Laboratorien): Technologie
1971	Kopfscanner (EMI Mark I)
1974	Ganzkörperscanner (ACTA)
1974	Scanner der 3. Generation (Artronix)
1977	Scanner der 4. Generation (AS & E Scanner)
1979	Nobelpreis für Houndsfield und Cormack
1983	Dynamic Spatial Reconstructor
1983	Elektronenstrahl-CT (Imatron)
1987	Scanner mit kontinuierlich rotierender Röhre
1989	Spiral-CT
1991	2-Zeilen-CT (Elscint)
1991	CT-Angiographie
1995	Echtzeitrekonstruktion (CT-Fluoroskopie)
1998	Multidetektor-CT (4-Zeilen-CT)
1999	Herzdiagnostik mit Multidetektor-CT
2002	16-Zeilen-CT
2004	64-Zeilen-CT, z-Springfokus-Technologie
2006	Dual-Source-Scanner
2007	256-Zeilen-CT

Abbildung 5: Geschichte der Computertomographie (Prokop 2013)

VI.1.3 Generationen der Computertomographie

Insgesamt gibt es vier verschiedene Generationen von Computertomographen, wobei Generationen eins (1) und zwei (2) von den Geräten der dritten (3.) und vierten (4.) Generation bereits in den 1970er Jahren abgelöst wurden. Der Unterschied zwischen den Generationen besteht im Untersuchungsprinzip, den Detektoren, den Detektorelementen, den aktiven Detektorreihen und der Abtastzeit. Sowohl bei Generation eins (1) als auch zwei (2) führt die Röntgenröhre noch zwei getrennte Einzelbewegungen um das Objekt aus. Diese basieren auf einer Translations- und einer Rotationsbewegung. Anders ist dies bei den Geräten der dritten (3.) und vierten (4.) Generation, hier rotieren die Röntgenröhre und der Kollimator, welcher zur Erzeugung eines parallelen Strahlenverlaufs dient, um den Patienten oder das Untersuchungsobjekt (Hünerbein 2017). Bei der dritten (3.) Generation rotieren die zu einem Teilkreis gegenüber der Röntgenröhre angeordneten Detektoren mit um den Patienten oder das Untersuchungsobjekt. Bei der vierten (4.) Generation hingegen bilden die Detektoren einen vollen Kreis um den Patienten oder das Untersuchungsobjekt, der allerdings feststeht und sich bei der CT-Untersuchung nicht mit um den Patienten oder das Untersuchungsobjekt bewegt. Die Scanner der dritten (3.) Generation haben die Scanner-Geometrien der vierten (4.) Generation inzwischen vollständig verdrängt, da sie über eine bessere Streustrahlenunterdrückung verfügen und weniger Detektorelemente brauchen (Prokop 2013).

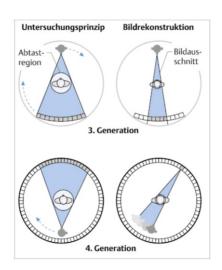


Abbildung 6: Scanner der dritten (3.) und vierten (4.) Generation (Prokop 2013)

VI.1.4 Die Bildrekonstruktion

Dringen Röntgenstrahlen bei einer CT Untersuchung in das menschliche Gewebe ein, werden diese je nach Beschaffenheit des Gewebes abgeschwächt. Diese Abschwächung wird durch Auswertung der an den Detektoren entstehenden Messsignale in jeder Winkelstellung der Röntgenröhre bestimmt und vom Computer logarithmiert. Anschließend werden die Schwächungswerte nach einer Hoch- und Tiefpassfilterung rückprojiziert. Diese Art der Bildrekonstruktion wird als gefilterte Rückprojektion bezeichnet. Dem gegenüber steht die iterative Bild-Rekonstruktion, eine andere Art der Bildberechnung. Anhand von Rohdaten einzelner Winkelprojektionen wird ein Rohbild berechnet, aus welchem anschließend ein Korrekturbild entsteht. Das Signal-zu-Rausch-Verhältnis ist beim Rohbild noch sehr schlecht und muss deshalb mehrmals mit den Rohdaten verglichen werden. Dabei werden geometrische Zusammenhänge zwischen einzelnen Bildelementen (Pixel, Voxel) genutzt, um für jedes Bildelement den wahrscheinlichsten Schwächungswert zu ermitteln. Dieser Vorgang wird Iteration genannt.

Als Dichtemaß wurde für die Computertomographie die Hounsfield-Einheit (HE) gewählt. Die numerisch ermittelten Dichten im Gewebe stellen sich im rekonstruierten Computertomographie-Bild als unterschiedliche Grauwerte dar. Die CT-Dichte von Wasser dient als Haupt-Bezugsgröße der Hounsfield-Skala, mit einer zugeordneten Dichte von 0 Hounsfield Einheiten. Die folgende Abbildung zeigt typische Dichtewerte in Hounsfield-Einheiten (Hünerbein 2017).

Gewebe bzw. Befund	Hounsfield-Einheit (HE)
Lunge	-500 HE
Fett	-100-0 HE
Wasser	0 HE
Leber (nativ)	40–60 HE
frische Blutung	70–90 HE
Leber (nach Kontrastmittelgabe)	ca. 150 HE
Spongiosa	300 HE
Kompakta	> 1000 HE

Abbildung 7: Typische Dichtewerte in der CT in Hounsfield-Einheiten (Hünerbein 2017)

VI.1.5 Spiral-CT

Das Spiral CT wird zu den Geräten der dritten (3.) Generation gezählt. Es wurde in den frühen 1990er Jahren eingeführt und ist mittlerweile als Standardtechnologie für die CT-Diagnostik etabliert. Während Bilder bei der Standard CT schichtweise entstehen, entstehen Spiral-CT Bilder durch eine helikale bzw. spirale Abtastbewegung, da die Röhre durchgehend rotieren kann.

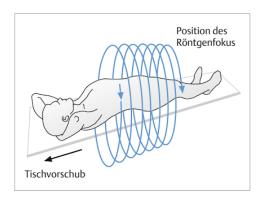


Abbildung 8: Prinzip der Spiral-CT (Prokop 2013)

Die Datenerfassung beim Spiral-CT erfolgt also spiralförmig und nicht mehr sequenziell. Es entstehen keine Datenlücken, da PatientInnen im gesamten Volumen erfasst werden. Dies wird mithilfe eines kontinuierlichen Tischvorschubes, sowie einer kontinuierlichen Röhrenrotation ermöglicht. Durch die kurze Scanzeit kann ein Großteil der Untersuchungen innerhalb von einer Atemanhaltephase durchgeführt werden. Die dünne Schichtführung ermöglicht zudem 2D-Reformationen in verschiedenen Schnittebenen oder 3D-Rekonstruktionen mit guter Bildqualität (Prokop 2013). Die kurzen Untersuchungszeiten sowie die Reduktion von Partialvolumeneffekten durch die Rekonstruktion überlappender Schichten stellen weitere Vorteile der Spiral-CT dar. Außerdem kann der Kontrastmittelbolus für Mehrphasenuntersuchungen und CT-Angiographie-Untersuchungen besser genutzt werden (Hünerbein 2017). Bei modernen Spiral-CT Geräten ergeben sich kaum Nachteile. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass die kurzen Scanzeiten zu inhomogenen Kontrastierungen von Gefäßen und Organen bei intravenöser Kontrastmittelgabe führen können. Außerdem kommt es durch eine falsche Kontrastmitteltechnik zu Fehlbefunden oder suboptimalen Untersuchungen (Prokop 2013).

VI.1.6 Der Mulitdetektor-Computertomograph (MDCT)

Im Jahre 1998 wurde die Multidetektortechnologie eingeführt, diese Untersuchungsmethode stellt einen Meilenstein in der CT-Technologie dar. Ein MDCT, welcher eine Scannergeometrie der dritten (3.) Generation nutzt, besteht aus einer simultan rotierenden Röhre mit gegenüberliegender Detektoreinheit. Mehrere dieser parallel und nebeneinander angeordneten Detektorzeilen können gleichzeitig ausgelesen werden, wodurch sich die Schichtdicke verringern lässt (Prokop 2013). Durch die isotrope Auflösung dünnerer Schichten können Untersuchungen wie beispielsweise die virtuelle Koloskopie oder Bronchoskopie durchgeführt werden. Große Untersuchungsvolumina ermöglichen Ganzkörperuntersuchungen, welche z.B. in der Diagnostik von polytraumatisierten PatientInnen, aber auch bei Staging-Untersuchungen von PatientInnen mit malignen Erkrankungen eine entscheidende Rolle spielen. Die verkürzte Scan-Zeit des MDCT führt zur Einsparung von Kontrastmittel. Außerdem kommt es zur Reduktion von Bewegungsartefakten (Hünerbein 2017). Nachteile ergeben sich aus der großen Datenflut, so entstehen beispielsweise bei der Untersuchung des Abdomens 400-600 Schichten. Gerade für ältere Multidetektorscanner und Workstations stellt dies ein Problem dar, insbesondere, wenn nahezu isotrope Schichten gefordert werden (Prokop 2013).

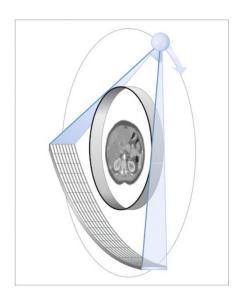


Abbildung 9: Prinzip der Multidetektor-CT (Prokop 2013)

VI.2 Niere und ableitende Harnwege

VI.2.1 Anatomie der Nieren und ableitenden Harnwege

VI.2.1.1 Niere

Die Nieren und Nebennieren sind im Retroperitonealraum, ventral des Musculus Psoas Major und des Musculus Quadratus eingebettet. Die linke Niere projiziert sich vom 12. Brustwirbel bis zum Oberrand des 3. Lendenwirbels, die rechte Niere ist aufgrund der Leberlage etwas tiefer lokalisiert. Die Lage ist variabel, bei Einatmung verschieben die Nieren sich um bis zu 2-3 cm kaudal (Beninghoff et Drenckhahn 2007). Die Niere erfüllt als Ausscheidungsorgan und endokrines Organ lebenswichtige Funktionen. Sie ist unter anderem für den Volumen- und Salzhaushalt verantwortlich, dient der Elimination von Stoffwechselendprodukten und erzeugt die Hormone Renin, Erythropoetin und Calcitriol. Die Gestalt der Nieren ist bohnenförmig. Sie sind in etwa 12x6x4 cm groß und wiegen ungefähr 120 – 300 g. Sie gliedern sich von innen nach außen in das Nierenbecken (Pelvis), das Nierenmark (Medulla) und in die Nierenrinde (Cortex). Der Nierenhilus geht von der konkaven Seite (welche der Wirbelsäule zugewandt ist) ab. Hier treten Blut-und Lymphgefäße, sowie Nerven und die Harnleiter ein bzw. aus. Von außen werden Nieren und Nebennieren von einer Fettkapsel (Capsula adiposa) umgeben. Die Capsula adiposa wird von einem Fasziensack (Fascia renalis) umgeben, welcher sich in ein vorderes und ein hinteres Blatt gliedert. Letzteres wird als Gerota-Faszie bezeichnet. Direkt auf der Oberfläche der Niere befindet sich eine Organkapsel aus

straffem Bindegewebe (Capsula fibrosa). Die Nieren gliedern sich in Nierenmark- und rinde. Im Nierenmark befinden sich 10-12 Pyramiden. Diese verlaufen nach innen konisch, ihre Spitzen werden Papillen genannt und müden in die Sammelrohre. Die Papillen drainieren den konzentrierten Harn in die Kelche des Nierenbeckens. Die kleinste Einheit der Niere bezeichnet man als Nephron. Jede Niere besitzt jeweils 1-1,5 Mio Nephrone, welche sich in Nierenkörperchen (Corpusculum renale) und Tubulusapparat gliedern. Die Nierenkörperchen sind für das Abfiltrieren des Primärharns aus dem durchfließenden Blut verantwortlich, der Tubulusapparat produziert durch Resorptions - und Sekretionsprozesse den Endharn (Schweda et al. 2014).

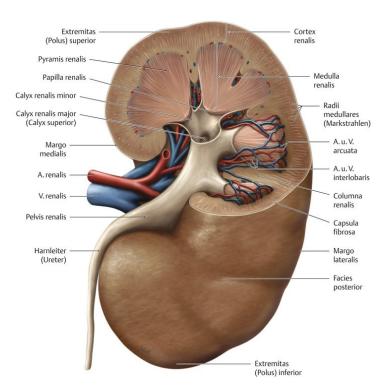


Abbildung 10: Niere: Architektur und Feinbau (Schünke et al. 2009)

VI.2.1.2 Harnleiter

Die Harnleiter verbinden die Nierenbecken mit der Harnblase. Sie sind etwa 30 cm lang und transportieren den Harn zur Harnblase (Schweda et al. 2014). Sie weisen einen Durchmesser von etwa 4-7 mm auf. Die Harnleiter verlaufen primär retroperitoneal an der hinteren Bauchwand und gliedern sich in eine Pars abdominalis und eine Pars pelvica. Im Verlauf weist der Harnleiter drei physiologische Engstellen auf. Die erste Engstelle entsteht am Übergang des Nierenbeckens zum Ureter. Die zweite Eng-

stelle entsteht durch die Überkreuzung an der Arteria iliaca externa bzw. communis. Beim Durchtritt des Harnleiters durch die Wand der Harnblase entsteht die dritte Engstelle (Kirsch 2017). Um den Harn kontinuierlich in die Harnblase weiterzuleiten, spielt die Harnleiterperistaltik eine entscheidende Rolle. Schrittmacherzellen, welche im Nierenbecken lokalisiert sind, führen zu einer koordinierten Kontraktion der Harnleitermuskulatur und sorgen für einen gerichteten Transport (Osman et al. 2009). An den Harnleitermündungen (Ostium ureteris) treten die beiden Harnleiter von dorsokaudal über einen submukösen Tunnel schräg in die Harnblase ein (Fisang 2014).

VI.2.1.3 Harnblase

Auch die Harnblase ist retroperitoneal gelegen, sie ist im kleinen Becken direkt hinter der Symphyse eingebettet. Das Harnblasenfüllungsvolumen beträgt bei Erwachsenen ca. 500 ml. Ab einer Harnmenge von ungefähr 150-300 ml tritt Harndrang auf. Die Volumina sind jedoch individuell sehr unterschiedlich. Als muskuläres Hohlorgan sammelt die Harnblase den Harn, bevor sie sich reflektorisch durch das Zusammenwirken verschiedener Muskelgruppen entleert (=Miktion). Die koordinierte Zusammenarbeit der Entleerungs- und Verschlussmechanismen sorgt für die Fähigkeit, den Harn außerhalb der Miktion zu halten, was als Kontinenz bezeichnet wird. Zur Kontinenz tragen neben den Muskelgruppen auch die Schleimhaut, die Lage der Harnröhre und des Blasenhalses sowie die Innervation und Durchblutung der beteiligten Gewebe bei. Die Harnblasenwand wird durch den meist dreischichtigen Musculus detrusor vesicae gebildet. Davon abzugrenzen ist das Trigonum vesicae, welches sich aus der äußeren und inneren Längsmuskelschicht des Ureters fortsetzt. Je nach Füllungszustand der Blase werden die Harnleiteröffnungen bei Kontraktion verschlossen. Bei steigendem Blaseninnendruck durch hohe Volumina werden sie passiv komprimiert, um den Rückfluss (Reflux) von Harn in die Harnleiter zu verhindern (Winkelmann 2017).

VI.2.2 Erkrankungen der Harnleiter

VI.2.2.1 Fehlbildungen und Anomalien der Harnleiter

Fehlbildungen stellen eine häufige Pathologie der ableitenden Harnwege dar. Dazu gehören unter anderem die Harnleiterabgangsenge und das doppelte Hohlsystem (Ureter fissus, Ureter duplex). Darüber hinaus gibt es weitere seltene Fehlbildungen

wie den Megaureter, die ektopische Uretermündung, Ureterdivertikel, Ureterstenosen etc. Eine weitere Anomalie der Harnleiter stellt die retroperitoneale Fibrose (Morbus Ormond) dar. Dabei handelt es sich um eine seltene entzündlichsklerosierende Erkrankung, bei der es zu einem bindegewebigen Umbau des retroperitonealen Raumes kommt. Die Pathogenese ist bisher nicht abschließend geklärt. Durch die Fibrose kann es zu einer Abflussbehinderung im Bereich der Harnleiter kommen (Gasser 2011). Steroide stellen mitunter eine Therapieoption dar (Gasser 2011, Swartz et Scheel 2011).

VI.2.2.2 Verletzungen der Harnleiter

Verletzungen der Harnleiter stellen eine Rarität dar. Sie sind durch die lumbale Rückenmuskulatur, abdominelle Muskulatur, sowie die Wirbelsäule bestens geschützt. Harnleiterverletzungen treten sowohl iatrogen, als auch durch penetrierende Bauchverletzungen auf. Sie werden je nach Art der Verletzung in fünf Schweregrade nach Moore eingeteilt. Für ein gutes postoperatives Ergebnis ist eine rasche Abklärung mittels CT wichtig. Die Therapie richtet sich nach der Schwere der Verletzung und reicht von perkutanen Nephrostomiekathetern bis zu Autotransplantationen oder Harnleiterersatzverfahren (Radtke et al. 2014).

VI.2.2.3 Urolithiasis

Harnsteine sind in der Bevölkerung weit verbreitet. Je nach Zusammensetzung unterscheidet man verschiedene Steinarten, wobei Kalziumoxalatsteine am häufigsten vorkommen. Die Pathogenese ist multifaktoriell. Zur Steinbildung kommt es unter anderem infolge einer Übersättigung des Urins mit harnsteinbildenden Substanzen. Außerdem begünstigen das Ungleichgewicht zwischen vermehrter Ausscheidung von lithogenen Substanzen und die verminderte Ausscheidung antilithogener Substanzen in Kombination mit Harnwegsinfektionen oder einer Harnstauung die Entstehung von Harnsteinen (Herold 2015). Für die Diagnostik spielt die Low-Dose CT eine entscheidende Rolle. Wobei auch hier die Kontraindikationen, wie beispielsweise die hohe Strahlenbelastung nicht außer Acht zu lassen sind (Türk et al. 2016). Die Therapie richtet sich unter anderem nach Stein bezogenen Faktoren (Größe, Zusammensetzung und Lokalisierung) sowie PatientInnen bezogenen Merkmalen (Habitus, Vorliegen von renalen Anomalien). An therapeutischen Möglichkeiten stehen die extrakorporale Stoßwellenlithotripsie (ESWL), die flexible Ureterorenoskopie

sowie die Perkutane Nepholithotomie (PNL) zur Verfügung. Darüber hinaus kommt es immer wieder auch zu Spontanabgängen der Steine, was medikamentös unterstützt werden kann (Desai et al. 2017).

VI.2.2.4 Urothelkarzinom

Mit 90-95% stellen Urothelkarzinome die häufigste maligne Erkrankung der Harnwege dar. Meist sind diese in der Harnblase lokalisiert. Etwa 5-10% der Urothelkarzinome betreffen das Nierenbeckenkelchsystem und die Harnleiter. An Diagnostik stehen neben der CTU, auch die Magnetresonanz- (MR-) Urographie, die Zystoskopie und die Ureteroskopie zur Verfügung (Rouprêt et al. 2018). Die Therapieoptionen haben sich in letzter Zeit deutlich verbessert. Urothelkarzinome, welche den oberen Harntrakt betreffen, können in frühen Stadien mittels endoskopischer Verfahren therapiert werden. Weiter fortgeschrittene Karzinome profitieren von einer Neoadjuvanten Chemotherapie mit Entfernung der Lymphkonten. Es ist wichtig, dass die Karzinome in frühen Stadien erkannt werden, um die Prognose der PatientInnen zu verbessern. Darüber hinaus sind PatientInnen mit Urothelkarzinomen des oberen Harntraktes in 8,5–13% gleichzeitig auch von Harnblasenkarzinomen betroffen. 15-50% der PatientInnen entwickeln im Verlauf Harnblasenkarzinome. Die gezielte Kontrolle bzw. Überwachung der Harnblase bei vorliegendem Urothelkarzinom der oberen Harnwege ist somit essentiell (Jinzaki et al. 2016).

VI.3 Exakter Test nach Fischer

Laut Eid et al. (2017) gilt folgende Beschreibung für diesen Test: "anhand dieses Tests wird getestet, ob zwei unabhängige Stichproben aus Populationen stammen, die hinsichtlich der Wahrscheinlichkeit, mit der ein dichotomes Merkmal X den Wert x annimmt, gleich sind oder sich voneinander unterscheiden".

Dieses Testverfahren ermöglicht es auch bei kleineren Stichproben zuverlässige Ergebnisse anhand einer Vierfeldertafel zu liefern. Man bezeichnet dieses Testverfahren auch Fisher-Yates Test oder Fishers exakter Test. Der Exakte Fest nach Fischer liefert neben der exakten Wahrscheinlichkeit auch die beobachtete bivariate Häufigkeitsverteilung.

Darüber hinaus liefert der Test eine noch stärker von der Nullhypothese abweichende Verteilung, sofern diese zum Tragen kommt (Eid et al. 2017).

VII. Literaturverzeichnis

- Abedi, G., Okhunov, Z., Lall, C., Babaian, K., Del Junco, M., Helmy, M., Landman, J. (2014) Comparison of Radiation Dose from Conventional and Triple-bolus Computed Tomography Urography Protocols in the Diagnosis and Management of Patients with Renal Cortical Neoplasms. Urology. 84: 875-880
- Batura, D., Hashemzehi, T., Gayed, W. (2018) Should contrast CT urography replace non-contrast CT as an investigation for ureteric colic in the emergency department in those aged 65 and over? Emergency Radiology. 25: 621-626
- Benninghoff, A., Drenckhahn, D. (2007) Harn- und Genitalsystem. In: Dreckhahn, C., Waschke, J. (Hrsg.) Taschenbuch Anatomie. 1. Aufl. München: Elsevier, 302-309
- Bromage, S.J., Liew, M.P., Moore, K.C., Raju, B., Shackley, D.C. (2012) *The economic implications of unsuspected findings from CT urography performed for haematuria*. The British Journal of Radiology. 85: 1303-1306
- Browne, R.F., Meehan, C.P., Colville, J., Power, R., Torreggiani, W.C. (2005) *Transitional cell carcinoma of the upper urinary tract: spectrum of imaging findings*. Radiographics. 25: 1609-1627
- Caoili, E.M., Cohan, R.H., Korobkin, M., Platt, J.F., Francis, I.R., Faerber, G.J., Monthie, J.E., Ellis, J.H. (2002) *Urinary tract abnormalities: Initial Experience with Multi-Detector Row CT Urography*. Radiology. 222: 353-360
- Caoili, E.M., Inampudi, P., Cohan, R.H., Ellis, J.H. (2005) *Optimization of Multi-Detector Row CT Urography: Effect of Compression, Saline Administration and Prolongation of Acquisition Delay.* Radiology. 235: 116-123
- Chai, R.Y., Jhaveri, K., Saini, S., Hahn, P.F., Nichols, S., Mueller, P. (2001) Comprehensive evaluation of patients with haematuria on a multi-slice computed tomography scanner: protocol design and preliminary observations. Australasian Radiology. 45: 536-538
- Chlapoutakis, K., Theocharopoulos, N., Yarmenitis, S., Damilakis, J. (2010) Performance of computed tomographic urography in diagnosis of upper urinary tract urothelial carcinoma, in patients presenting with haematuria: Systematic review and meta-analysis. European Radiology. 73: 334-338
- Chow, L.C., Sommer, F.G. (2001) Multidetector CT urography with abdominal compression and three-dimensional reconstruction. American Journal of Roentgenology. 177: 849-855
- Cowan, N.C., Turney, B.W., Taylor, N.J., McCarthy, C.L., Crew, J.P. (2007) *Multidetector CT urography for diagnosing upper urinary tract urothelial tumour*. British Journal of Urology International. 99: 1363-1370
- Davis, R., Jones, J.S., Barocas, D.A., Castle, E.P., Lang, E.K., Leveillee, R.J., Messing, E.M., Miller, S.D., Peterson, A.C., Turk, T.M., Weitzel, W. (2012) *Diagnosis, Evalua-*

tion and Follow-Up of Asymptomatic Microhaematuria (AMH) in Adults: AUA Guideline. The Journal of Urology. 188: 2473-2481

Desai, M., Sun, Y., Buchholz, N., Fuller, A., Matsuda, T., Matlaga, B., Miller, N., Bolton, D., Alomar, M., Ganpule, A. (2017) *Treatment selection for urolithiasis: percutaneous nephrolithotomy, ureteroscopy, shock wave lithotripsy, and active monitoring.* World Journal of Urology. 35: 1395-1399

Dyer, R.B., Chen, M.Y., Zagoria, R.J. (2001) *Intravenous Urography: Technique and Interpretation*. Radio-Graphics. 21: 799-821

Eid, M., Gollwitzer, M., Schmitt, M. (2017) Vergleich von Häufigkeitsverteilungen zwischen zwei unabhängigen Stichproben. In: Eid, M., Gollwitzer, M., Schmitt, M. (Hrsg.) Statistik und Forschungsmethoden. 5. Aufl. Berlin, München: Beltz, 359

Fisang, C., Müller, S.C. (2014) Anatomie des unteren Harntraktes. In: Hautmann, R., Gschwend, J.E. (Hrsg.) Urologie. 5. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer, 13-21

Freedman, N.D., Silverman D.T., Hollenbeck, A.R., Schatzkin A., Abnet C.C. (2011) *Association between smoking and risk of bladder cancer among men and women.* JA-MA. 306: 737-745

Gasser, T. (2011) Wichtige Anomalien der Urogenitalorgane. In: Gasser, T. (Hrsg.) Basiswissen Urologie. 5. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer, 40-44

Glantz, S.A. (1997) How to analyse rates and proportions. In: Glantz, S.A. (Edt.) Primer of Biostatistics. 4th Ed. New York: McGraw-Hill Education, 108-150

Gong, H., Gao, L., Dai, X.J., Zhou, F., Zhang, N., Zeng, X., Jiang, J., He, L. (2016) *Prolonged CT urography in duplex kidney*. BMC Urology. 13: 16-21

Hack, K., Pinto, P.A., Gollub, M.J. (2012) Targeted Delayed Scanning at CT Urography: A worthwhile Use of Radiation? Radiology. 265: 143-150

Heidenreich, A., Desgrandschamps, F., Terrier, F. (2002) Modern Approach of Diagnosis and Management of Acute Flank Pain: Review of All Imaging Modalities. European Urology. 41: 351-362

Herold, G. (2015) Urolithiasis. In Herold, G. (Hrsg.) Innere Medizin. 34. Aufl. Köln: Herold, 654-657

Hesse, A., Brändle, E., Wilbert, D., Köhrmann, K.U., Alken, P. (2003) Study on the prevalence and incidence of urolithiasis in Germany comparing the years 1979 vs. 2000. European Urology. 44: 709-713

Hünerbein, R. (2017) Computertomografie (CT). In: Reiser, M., Kuhn, F., Debus, J. (Hrsg.) Duale Reihe Radiologie. 4. Aufl. Stuttgart: Thieme, 79-81

Jimbo, M. (2010) Evaluation and management of haematuria. Primary Care: Clinics in Office Practice. 37: 461-472

- Jinzaki, M., Kikuchi, E., Akita, H. Sugiura, H., Shinmoto, H., Oya, M. (2016) Role of computed tomography urography in the clinical evaluation of upper tract urothelial carcinoma. International Journal of Urology. 23: 284-298
- Juri, H., Matsuki, M., Itou, Y., Inada, Y., Nakai, G., Azuma, H., Narumi, Y. (2013a) *Initial Experience with Adaptive Iterative Dose Reduction 3D to Reduce Radiation Dose in Computed Tomography. Urography.* Journal of Computed Assisted Tomography. 37: 52-57
- Juri, H., Matsuki, M., Itou, Y., Inada, Y., Tsuboyama, T., Kumano, S., Azuma, H., Narumi, Y. (2013b) Low-Dose Computed Tomographic Urography Using Adaptive Iterative Dose Reduction 3-Dimensional: Comparison with Routine-Dose computed Tomography with Filtered Back Projection. Journal of Computed Assisted Tomography. 37: 426-431
- Kalra, M.K., Maher, M.M., Sahani, D.V., Blake, M.A., Hahn, P.F., Avinash, G.B., Toth, T.L., Halpern, E., Saini, S. (2003) Low-dose CT of the abdomen: evaluation of image improvement with use of noise reduction filters pilot study. Radiology. 228: 251-256
- Karavaş, E., Gürel, S., Kiyan, A., Halicioğlu, S., Dağistan, E. (2018) *Effect of Prone* and Supine Positioning on Computed Tomography Urography Examination. Urologia Internationalis. 101: 167-174
- Kawamoto, S., Horton, K.M., Fishman, E.K. (2005) *Opacification of the Collecting System and Ureters on Excretory-Phase CT Using Oral Water as Contrast Medium.* American Journal of Roentgenology. 186: 136-140
- Kekelidze, M., Dwarkasing, R.S., Dijkshoorn, M.L., Sikorska, K., Verhagen, P.C., Krestin, G.P. (2010) Kidney and Urinary Tract Imaging: Triple-Bolus Multidetector CT Urography as a One-Stop Shop-Protocol Design, Opacification, and Image Quality Analysis. Radiology. 225: 508-516
- Kemper, J., Regier, M., Stork, A., Adam, G., Nolte-Ernsting, C. (2006) *Improved Visualization of the Urinary Tract in Multidetector CT Urography (MDCTU): Analysis of Individual Acquisition Delay and Opacification Using Furosemide and Low-Dose Test Images.* Journal of Computed Assisted Tomography. 30: 751-757
- Khadra, M.H., Pickard, R.S., Charlton, M., Powell, P.H., Neal, D.E. (2000) *A prospective analysis of 1930 patients with haematuria to evaluate current diagnostic practice.* Journal of Urology. 163: 524-527
- Kirsch, J. (2017) Ableitende Harnwege. In: Kirsch, J., May, C.A., Lorke, D., Winkelmann, A., Schwab, W., Herrmann, G., Funk, R. (Hrsg.) Taschenlehrbuch Anatomie. 2. Aufl. Stuttgart: Thieme, 307
- Krishnan, V., Chawla, A., Sharbidre, K.G., Peh, W.C.G. (2017) *Current Techniques and Clinical Applications of Computed Tomography Urography*. Current Problems in Diagnostic Radiology. 47: 245-256
- Lisanti, C.J., Toffoli, T.J., Stringer, M.T., DeWitt, R.M., Schwope, R.B. (2014) CT Evaluation of the Upper Urinary Tract in Adults Younger Than 50 Years with Asymp-

tomatic Microscopic Haematuria: Is IV Contrast Enhancement Needed? American Journal of Radiology. 203: 615-619

Maheshwari, E., O'Malley, M.E., Ghai, S., Staunton, M., Massey, C. (2010) *Split-bolus MDCT urography: Upper tract opacification and performance for upper tract tumours in patients with haematuria.* American Journal of Roentgenology. 194: 453-458

Mainz, A. (2013). Leitlinie Nicht-sichtbare Hämaturie Langfassung. Deutsche Gesellschaft für Allgemeinmedizin und Familienmedizin (Hrsg.) zuletzt abgerufen am 18.12.2018

Margulis, V., Sagalowsky, A.I., (2011) Assessment of haematuria. Medical Clinics of North America. 95: 153-159

McTavish, J.D., Jinzaki, M., Zou, K.H., Nawfel, R.D., Silverman, S.G. (2002) *Multi-Detector Row CT Urography: Comparison of Strategies for Depicting the Normal Urinary Collecting System.* Radiology. 225: 783-790

Meindl, T., Coppenrath, E., Kahlil, R., Müller-Lisse, U.L., Reiser, M.F., Müller-Lisse, U.G. (2006) *MDCT urography: retrospective determination of optimal delay time after intravenous contrast administration*. European Radiology. 16: 1668-1674

Morcos, S.K. (2007) Computed tomography urography technique, indications and limitations. Current Opinion in Urology. 17: 56-64

Nolte-Ernsting, C., Cowan, N. (2006) *Understanding multislice CT urography techniques: many roads lead to Rome*. European Radiology. 16: 2670-2686.

Osman, F., Romics, I., Nyírády, P., Monos, E., Nádasy, G. (2009) *Ureteral motility*. Acta Physiologica Hungarica. 96: 407-426

Park, J.J., Park, B.K., Kim, C.K. (2016) Single-phase DECT with VNCT compared with three-phase CTU in patients with haematuria. European Radiology. 26: 3550-3557

Pashos, C.L., Botterman, M.F., Laskin, B.L., Redaelli, A. (2002) *Bladder cancer: epidemiology, diagnosis, and management.* Cancer Practice. 10: 311-322.

Prokop, M. (2013) Computertomographie (CT). In: Mödder, U. (Hrsg.) Ganzkörper-Computertomographie Spiral und Multislice-CT. 2. Aufl. Düsseldorf: Thieme, 2-7

Radtke, J.P., Schönberg, G., Hohenfellner, M. Urologische Verletzungen. In Hautmann, R., Gschend, J.E. (Hrsg.) Urologie. 5. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer, 292-294

Rouprêt, M., Babjuk, M., Compérat, E., Zigeuner, R., Sylvester, R.J., Burger, M., Cowan, N.C., Gontero, P., Van Rhijn, B.W.G., Mostafid, A.H., Palou, J., Shariat, S.F. (2018) *European Association of Urology Guidelines on Upper Urinary Tract Urothelial Carcinoma:* 2017 *Update*. European Urology. 73: 111-122

Roy, C., Jeantroux, J., Irani, F.G., Sauer, B., Lang, H., Saussine, C. (2008) *Accuracy of Intermediate Dose of Furosemide Injection to Improve Multidetector Row CT Urography*. European Radiology. 66: 253-261

- Sadow, C.A., Wheeler, S.C., Kim, J., Ohno-Machado, L., Silverman, S.G. (2010) *Positive predictive value of CT urography in the evaluation of upper tract urothelial cancer.* American Journal of Roentgenology. 195: 337-343
- Sanyal, R., Deshmukh, A., Sheorain Singh, V., Taori, K. (2006) *CT urography: a comparison of strategies for upper urinary tract opacification*. European Radiology. 17: 1262-1266
- Schünke, M., Schulte, E., Schumacher, U. (2009) Organe des Harnsystems und ihre Leitungsbahnen. In: Schünke, M., Schulte, E., Schumacher, U. (Hrsg.) Prometheus Lernatlas der Anatomie Innere Organe. 2. Aufl. Stuttgart: Thieme, 284
- Schweda, F., Segerer, K., Wanner, C. (2014) Anatomie und Physiologie der Niere. In: Steffel, J., Lüscher, T. (Hrsg.) Niere und ableitende Harnwege. 1. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer, 3-14.
- Segerer, K., Wanner, C. (2014) Folgen diagnostischer Interventionen bei Niereninsuffizienz. In: Steffel, J., Lüscher, T. (Hrsg.) Niere und ableitende Harnwege. 1. Aufl. Berin, Heidelberg: Springer, 191-192
- Silverman, S.G., Akbar, S.A., Mortele, K.J., Tuncali, K., Bhagwat, J.G., Seifter, J.L. (2006) *Multi-Detector Row CT Urography of Normal Urinary Collecting System: Furo-semide versus Saline as Adjunct to Contrast Medium.* Radiology. 240: 749-755
- Silverman, S.G., Leyendecker, J.R., Amis, E.S., Jr. (2009) What is the current role of CT urography and MR urography in the evaluation of the urinary tract? Radiology. 250: 309-323
- Song, J.H., Beland, M.D., Mayo-Smith, W.W. (2012) *Incidental Clinically Important Extraurinary Findings at MDCT Urography for Haematuria Evaluation: Prevalence in 1209 Consecutive Examinations*. American Journal of Roentgenology. 199: 616-622
- Sudakoff, G.S., Dunn, D.P., Hellman, R.S., Laguna, M.A., Wilson, C.R., Prost, R.W., Eastwood, D.C., Lim, H.J. (2006) *Opacification of the Genitourinary Collecting System During MDCT Urography with Enhanced CT Digital Radiography: Nonsaline Versus Saline Bolus.* American Journal of Roentgenology. 186: 122-129
- Sun, H., Xue, H.D., Liu, W., Wang, X., Chen, Y., Jin, Z.Y. (2013) Effects of Saline Administration, Abdominal Compression, and Prolongation of Acquisition Delay on Image Quality Improvement of CT Urography. Chinese Medical Science Journal. 27: 201-206
- Swartz, R., Scheel, P. (2011) *Retroperitoneal fibrosis: gaining traction on an enigma*. The Lancet. 378: 294-296
- Türk, C., Petřík, A., Sarica, K., Seitz, C., Skolarikos, A., Straub, M., Knoll, T. (2016) *EAU Guidelines on Diagnosis and Conservative Management of Urolithiasis*. European Urology. 69: 468-474
- Turney, B.W., Willatt, J.M., Nixon, D., Crew, J.P., Cowan, N.C. (2006) *Computed to-mography for diagnosing bladder cancer*. British Journal of Urology International. 98: 345-348

Van der Molen, A.J., Cowan, N.C., Mueller-Lisse, U.G., Nolte-Ernsting C.C., Takahashi, S., Cohan, R.H. (2008) *CT urography: definition, indications and techniques. A guideline for clinical practice.* European Radiology. 18: 4-17.

Wang, Z.J., Coakley, F.V., Joe, B.N., Qayyum, A., Meng, M.V., Yeh, B.M. (2009) *Multidetector row CT urography: does supine or prone positioning produce better pelvicalyceal and ureteral opacification?* Clinical Imaging. 33: 369-373

Wenker, M. (2017) Computertomographie (CT). In: Kahl-Scholz, M., Vockelmann, C. (Hrsg.) Basiswissen Radiologie. 1. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer, 43

Winkelmann, A. (2017) Harnblase und Harnröhre. In: Kirsch, J., May, C.A., Lorke, D., Winkelmann, A., Schwab, W., Herrmann, G., Funk, R. (Hrsg.) Taschenlehrbuch Anatomie. 2. Aufl. Stuttgart: Thieme, 319-322

Xu, A.D., Ng, C.S., Kamat, A., Grossmann, H.B., Dinney, C., Sandler, C.M. (2010) Significance of upper urinary tract urothelial thickening and filling defect seen on MDCT urography in patients with a history of urothelial neoplasms. American Journal of Roentgenology. 195: 959-965

Zeikus, E., Sura, G., Hindman, N., Fielding, J.R. (2019) *Tumours of Renal Collecting Systems, Renal Pelvis, and Ureters: Role of MR Imaging and MR Urography Versus Computed Tomography Urography*. Magnetic Resonance Imaging Clinics of North America. 27: 15-32

VIII. Danksagungen

Ich möchte mich bei all jenen bedanken, die mich beim Entstehen dieser Arbeit unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. Ullrich Müller-Lisse. Sein großartiges Engagement, seine fachlich herausragende Kompetenz und seine wertschätzende Haltung haben das Verfassen dieser Arbeit maßgeblich geprägt.

Herzlichen Dank an Herrn Prof. Dr. Jens Ricke, Direktor der Klinik und Poliklinik für Radiologie am Klinikum der Universität München, und Herrn Prof. Dr. Dr. h.c. Maximilian F. Reiser, Prof. emeritus des Instituts für Klinische Radiologie am Klinikum der Universität München, für die Möglichkeit des wissenschaftlichen Arbeitens.

Darüber hinaus möchte ich mich bei den fleißigen und bemühten technischen AssistentInnen, sowie allen weiteren MitarbeiterInnen des Institutes bedanken.

Ein großes Dankeschön möchte ich meiner Schwester und meiner Mutter aussprechen. Sie waren durch ihre konstruktiven Anmerkungen und wertvollen Aspekte beim Verfassen der Arbeit fundamental beteiligt.

Meinem Vater, für die monetäre Unterstützung und zuversichtliche Haltung, was sowohl das Studium, als auch das Verfassen dieser Arbeit angeht.

Meinem Freund, der mich insbesondere in technischen Angelegenheiten unterstützt hat und mir mit Rat und Tat zur Seite stand, was das Layout dieser Arbeit betrifft.

Danken möchte ich außerdem meinen Kommilitoninnen und Freundinnen, die mich im Rahmen des Studiums begleitet haben und mir bei dieser Arbeit stets zur Seite gestanden sind.