

Diplomarbeit

**Nierenlebendspende – MR/MRAngiographie –
retrospektive Analyse der Bildgebung vor
Transplantationen**

eingereicht von

Anja Katharina Greiner

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktorin der gesamten Heilkunde

(Dr. med. univ.)

an der

Medizinischen Universität Graz

ausgeführt an der

**klinischen Abteilung für Neuroradiologie, vaskuläre und
interventionelle Radiologie**

unter der Anleitung von

Ass.-Prof.ⁱⁿ Dr.ⁱⁿ med. univ. Manuela Aschauer

Ao.Univ.-Prof.ⁱⁿ Dr.ⁱⁿ med. univ. Sabine Zitta

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am 08.10.2019

Anja Katharina Greiner eh

Danksagungen

Mein Dank gilt allen Personen, die mir bei der Umsetzung meiner Diplomarbeit geholfen haben.

Zuallererst möchte ich Frau Ass.-Prof.ⁱⁿ Dr.ⁱⁿ med. univ. Manuela Aschauer für ihre Unterstützung bei meiner Arbeit danken. Sie hat mich stets motiviert und mir durch ihre fachliche Expertise geholfen über mich hinauszuwachsen und das Beste aus meiner Arbeit herauszuholen. Ohne sie wäre die Arbeit in dieser Form nicht möglich gewesen.

Mein Dank gilt außerdem Frau Ao.Univ.-Prof.ⁱⁿ Dr.ⁱⁿ med. univ. Sabine Zitta, die immer bereit war mich fachlich und menschlich in jeder Phase der Erstellung meiner Arbeit zu unterstützen.

Ebenso danke ich Dr.ⁱⁿ med. univ. Judith Kahn, die stets ein offenes Ohr für transplantationschirurgische Fragen hatte.

Genauso wichtig für die Durchführung meiner Arbeit waren die Hilfe und Unterstützung des radiologisch technologischen Teams um Amtsrätin Sabine Pfandl, das mir bei technischen Schwierigkeiten zur Seite stand.

Meinen Freunden möchte ich nicht nur für die vielen gemeinsamen Stunden beim Verfassen der Diplomarbeit danken, sondern auch für die vielen gemeinsamen Erlebnisse und durchgestandenen Prüfungen der letzten Jahre!

Zum Schluss möchte ich mich noch bei meiner Familie bedanken, die mir nicht nur mein Studium ermöglicht hat, sondern mir auch während der ganzen Zeit den familiären Rückhalt gegeben hat, den ich für die Absolvierung und meine persönliche Weiterentwicklung gebraucht habe.

Zusammenfassung

Ziel

Das Ziel dieser retrospektiven Studie ist die Quantifizierung und Beschreibung der Anomalien der Nierengefäße von mittels MR/MRAngiographie untersuchten potentiellen Nierenlebenspenderinnen und -spendern. Ebenso wird ein Augenmerk auf andere, für die mögliche Lebendspende relevante, MR-Befunde gelegt. Es wird versucht herauszufinden, ob MR/MRA eine geeignete Methode zur präoperativen Evaluation darstellt.

Personen und Methoden

MR-Untersuchungen wurden an 104 Personen (76 Frauen) durchgeführt. Die Aufnahmen ebenso wie die radiologischen Befunde und wenn vorhanden OP-Berichte wurden ausgewertet.

Es wurden 3T und 1,5T SIEMENS®-Geräte und ceMRA (mindestens vier dynamische Phasen) verwendet. Außerdem wurden Urographie, T1 und T2 gewichtete Aufnahmen angefertigt.

Ergebnisse

Die Nieren zeigen eine mehrfache arterielle Versorgung in 20% und frühe arterielle Gabelungen in 7,5%. Der größte Anteil der Arterien entspringt auf der Höhe von LWK1. In 96% verlaufen die Arterien dorsal der VCI. Nierenvenen kommen in 5% mehrfach vor und verlaufen in 93% vor der Aorta. Späte Zusammenflüsse der Nierenvenen treten in 13% der Personen auf. Nierenzysten kommen in 31% aller Nieren vor.

Außerdem werden unter anderem Insuffizienzen der linken V. ovarica / testicularis, paraverebrale Verbindungen, ein Niereninfarkt, drei inkomplette Doppelnieren, ein klarzelliges Nierenzellkarzinom und Anomalien der ableitenden Harnwege beobachtet.

Die Körpergröße kann mit dem Aortendurchmesser der Personen sowie der kraniokaudalen Nierenlänge korreliert werden.

Nach retrospektiver Auswertung konnten zwei von drei Arterien operierter Personen gefunden werden, die im radiologischen Bericht nicht beschrieben wurden. Ebenso wurde eine Arterie gefunden, die weder im OP- noch radiologischen Bericht erwähnt wurde. Eine Arterie blieb auch retrospektiv unentdeckt. Eine ursprünglich nicht beschriebene Vene wurde retrospektiv gefunden. Die Anzahl paravertebraler Verbindungen war retrospektiv höher.

Zusammenfassung

Die radiologischen Aufnahmen sollten vor jeder Transplantation erneut durch eine erfahrene Radiologin / einen erfahrenen Radiologen zusammen mit der Chirurgie re-evaluiert werden, um etwaige übersehene Anomalien oder Gefäße zu erkennen. Für die finale Diagnose sollten neben der MIP und MPR notwendigerweise auch die Quellbilder ausgewertet werden.

MR/ceMRA/ceMRV sind zuverlässige Methoden zur Evaluierung potenzieller Nierenspenderinnen und -spender. Die anatomischen Erkenntnisse dieser Arbeit können diesbezüglich in Zukunft behilflich sein.

Abstract

Aim

The goal of this retrospective study is to quantify and describe the anomalies of potential living kidney donors who have had an MR/MR Angiography evaluation. We are also describing other findings that are relevant for potential living donation and try to find out if MR/MRA is precise enough to be used for preoperative evaluation.

People and methods

MR was performed in 104 cases (76 women). The pictures, radiological reports and if available surgical reports were analyzed.

We used 3T and 1.5T SIEMENS® and ceMRA (at least four dynamic phases). Additionally, urography, T1 and T2 weighted images were acquired.

Results

Kidneys show supernumerary renal arteries in 20% and early branching in 7,5%. Most arteries originate at the level of L1. In 96% the arteries run posterior to the VCI. Renal veins are supernumerary in 5% and run anterior to the Aorta in 93%. Late confluences of renal veins occur in 13% of people. Renal cysts occur in 31% of kidneys.

In addition, insufficiencies of the left V. ovarica / testicularis, connections to paravertebral veins, one renal infarction, three incomplete double kidneys, one clear cell renal cell carcinoma and anomalies of the urinary tract are observed.

The body height can be correlated with the aortic diameter of people, as well as the craniocaudal kidney length.

After retrospective evaluation, two of three arteries that were not described in the radiological report could be found in the people who have had surgery. Additionally, an artery was found that was not mentioned in either the surgical or radiological report. One artery remained undetected retrospectively. One vein was found retrospectively, that was not described originally. The number of connections to paravertebral veins was higher retrospectively.

Discussion

The radiographic images should be re re-evaluated by an experienced radiologist together with the surgeon before transplantation to detect any missed anomalies or vessels. In addition to MIP and MPR it is necessary to evaluate source images for final diagnosis.

MR/ceMRA/ceMRV are sufficient methods for preoperative evaluation of potential kidney donors and in this regard the anatomical findings of this thesis can be helpful in the future.

Inhaltsverzeichnis

Danksagungen	ii
Zusammenfassung	iii
Abstract	v
Inhaltsverzeichnis	vii
Glossar und Abkürzungen	ix
Abbildungsverzeichnis	xi
Tabellenverzeichnis	xiv
Formelverzeichnis	xiv
1 Einleitung	1
2 Hintergrund	2
2.1 Anatomie der Nieren und Nierengefäße	2
2.1.1 Nieren makroskopisch	2
2.1.2 Nieren mikroskopisch	3
2.1.3 Zuführende Gefäße	3
2.1.4 Abführende Gefäße	4
2.1.5 Nerven	4
2.1.6 Anatomische Lage der Nieren	4
2.1.7 Ableitende Harnwege	5
2.2 Anomalien und Normvarianten der Nieren und Nierengefäße	5
2.2.1 Nierenarterien	5
2.2.2 Nierenvenen	6
2.2.3 Anlagevarianten	6
2.2.4 Parenchymläsionen	7
2.2.4.1 Infarkte	7
2.2.4.2 Zysten	7
2.2.4.3 Nierentumoren	8
2.3 Magnetresonanztomographie	9
2.3.1 Technische und physikalische Grundlagen	9
2.3.2 Magnetresonanztomographie	10
2.3.2.1 Time-of-Flight-MRA	11
2.3.2.2 Phasenkontrastangiographie	11
2.3.2.3 Kontrastmittelgestützte MRA	11
2.3.2.4 Native EKG-getriggerte Angiographie	12
2.3.2.5 Sonstige Techniken	12
2.3.3 Bildqualität und Artefakte	12
2.3.4 Kontrastmittel	14
2.3.5 MRA vor Nierenlebenspende	15
3 Material und Methoden	16
3.1 Ethische Aspekte	16
3.2 Personenkollektiv	16
3.3 Technische Aspekte	18
3.4 Analyseverfahren	21
3.4.1 Nierenarterien	22
3.4.1.1 Beschreibung der Messungen	22
3.4.2 Nierenvenen	24
3.4.2.1 Beschreibung der Messungen	25
3.4.3 Parenchym	26
3.4.3.1 Beschreibung der Messungen	26
3.4.4 Aorta, VCI, Beckenarterien	27
3.4.4.1 Beschreibung der Messungen	27

3.4.5	Berechnung der Körperoberfläche.....	29
3.4.6	OP- und radiologische Berichte.....	29
3.4.6.1	Beschreibung der Erhebung	29
3.4.7	Intraobservervariabilität	30
3.5	Statistische Auswertung.....	31
4	Ergebnisse – Resultate.....	31
4.1	Anatomie und Anomalien der Nierenarterien	31
4.1.1	Anzahl und Verlauf.....	31
4.1.2	Länge, frühe Gabelung und Durchmesser	33
4.1.3	Ursprung aus der Aorta	36
4.1.4	Nebenbefunde	38
4.2	Anatomie und Anomalien der Nierenvenen.....	39
4.2.1	Anzahl und Verlauf.....	40
4.2.2	Länge und später Zusammenfluss	42
4.2.3	Besonderheiten und Nebenbefunde	44
4.3	Anatomie und Anomalien des Parenchyms und der ableitenden Harnwege	45
4.3.1	Nebenbefunde	48
4.3.2	Ableitende Harnwege.....	49
4.4	Einfluss der Körpergröße/-oberfläche auf die Anatomie.....	51
4.4.1	Aortendurchmesser	51
4.4.2	Länge der Aa. iliacae communes	53
4.4.3	VCI-Durchmesser	55
4.4.4	Kraniokaudale Nierenlänge	57
4.5	Präoperative MR-Angiographie und Operationsergebnisse	59
4.5.1	Nierenarterien	59
4.5.2	Nierenvenen.....	61
4.6	Beispiele für mögliche Verwechslungen auf MR-Bildern	63
5	Diskussion.....	64
5.1	Limitationen	74
5.2	Conclusio	74
6	Literaturverzeichnis.....	76

Glossar und Abkürzungen

A.	Arteria
Aa.	Arteriae
Abb.	Abbildung
AMS	Arteria mesenterica superior
AO	Aorta
bh	breath hold – MR-Aufnahme erfolgt während einer Atemanhaltung
BSA	body surface area = Körperoberfläche
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
ceMRA	contrast enhanced magnetic resonance angiography = kontrastmittelgestützte Magnetresonanztangiographie
cor	koronal
CTA	Computertomographische Angiographie
CT	Computertomographie
Chron.	Chronisch
DM	Durchmesser
DSA	Digitale Subtraktionsangiographie
EKG	Elektrokardiogramm
EPI	Echo planar imaging
etc.	et cetera
FS	Fettsättigung
KA	keine Angabe
KAGES	Steiermärkische Krankenanstaltengesellschaft
KG	Körpergewicht
KI	Konfidenzintervall
KM	Kontrastmittel
kor	koronal
L1/2	1. Lendenwirbelkörper / 2. Lendenwirbelkörper
li	links
LWK	Lendenwirbelkörper
Max.	Maximaler Wert

mbh	multi breath hold – MR-Aufnahme erfolgt während mehrerer Atemanhaltungen in Abhängigkeit von der Anatomie der Person
Medocs	Datenverwaltungsprogramm der KAGES
Min.	Minimaler Wert
MIP	Maximumintensitätsprojektion - 3D-Darstellung der maximalen HE - Werte in Projektionsrichtung
MPR	multiplanare Reformation - Darstellung der 3D-Daten in mehreren Ebenen
MR	Magnetresonanz
MRA	Magnetresonanz-Angiographie
MRT	Magnetresonanztomographie
MRV	Magnetresonanz-Venographie
NCC	Nierenzellkarzinom
OE	Organisationseinheit
OP	Operation
re	rechts
sag	sagittal
Syngo.plaza	radiologisches Bildanalyseprogramm der Firma Siemens®
Syngo.via	radiologisches Bildanalyseprogramm der Firma Siemens®
T	Tesla (Feldstärke des MR-Gerätes)
TE	Echo time - Echozeit
Tr.	Truncus
TR	Repetition time - Repetitionszeit
tra	Transversal
URO	Urographie
V.	Vena
VCI	Vena cava inferior
Vv.	Venae
z.B.	zum Beispiel

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Rechte Niere. Modifiziert nach Anderhuber F, Pera F, Streicher J, editors. Waldeyer - Anatomie des Menschen: Lehrbuch und Atlas in einem Band. 19th ed. Berlin/Boston: Walter de Gruyter GmbH & Co.KG; 2012. p.582	2
Abbildung 2: Corpusculum renale. Entnommen aus Anderhuber F, Pera F, Streicher J, editors. Waldeyer - Anatomie des Menschen: Lehrbuch und Atlas in einem Band. 19th ed. Berlin/Boston: Walter de Gruyter GmbH & Co.KG; 2012. p.586	3
Abbildung 3: Altersverteilung zum Zeitpunkt der MR-Untersuchung	17
Abbildung 4: Native, arterielle, venöse, Equilibrium-Phase und MR-Urographie	19
Abbildung 5: Schema zur Analyse der radiologischen Bilder, Berichte und OP-Berichte .	21
Abbildung 6: Längenmessung der Arterien	22
Abbildung 7: Erhebung des Durchmessers einer Arterie.....	23
Abbildung 8: Vermessung des Abstandes zwischen Oberrand der AMS und dem Unterrand einer Nierenarterie	23
Abbildung 9: Unterteilung des Querschnittes der Aorta in 4 Bereiche	24
Abbildung 10: Unterteilung eines Wirbelkörpers zur Einteilung des Arterienursprunges. Modifiziert nach Anderhuber F, Pera F, Streicher J, editors. Waldeyer - Anatomie des Menschen: Lehrbuch und Atlas in einem Band. 19th ed. Berlin/Boston: Walter de Gruyter GmbH & Co.KG; 2012. p.120.....	24
Abbildung 11: Längenmessung der Venen	25
Abbildung 12: Messung zwischen später Konfluenz einer Nierenvene und Nierenhilus....	25
Abbildung 13: Größenmessung einer rechten Niere.....	26
Abbildung 14: Simple kortikale Zyste mit exophytischem Anteil	26
Abbildung 15: Vermessung des Aortendurchmessers	27
Abbildung 16: Vermessung des VCI-Durchmessers	28
Abbildung 17: Längenmessung einer rechten Beckenarterie.....	28
Abbildung 18: Anzahl an Nierenarterien bezogen auf die gesamten, analysierten Nieren.	31
Abbildung 19: Akzessorisches Gefäß	32
Abbildung 20: Akzessorisches Gefäß zum unteren Hilus.....	32
Abbildung 21: Untere Polararterie.....	32
Abbildung 22: Inkomplette Doppelnieren.....	32
Abbildung 23: Ventral der VCI verlaufende Nierenarterie.....	32
Abbildung 24: Frühe Gabelung einer linken Nierenarterie.....	33
Abbildung 25: Länge aller Nierenarterien der potentiellen Spenderinnen und Spender	33
Abbildung 26: Durchmesser aller 127 Nierenarterien pro Seite	34
Abbildung 27: Die dünnste Nierenarterie	35
Abbildung 28: Die dickste Nierenarterie	35

Abbildung 29: Projektion aller Nierenarterien beider Seiten auf die Wirbelsäule	36
Abbildung 30: Durchschnittliche Abstände der Ursprünge aller Nierenarterien vom Ursprung der AMS und der Aortenbifurkation	37
Abbildung 31: Dunbarkonfiguration des Truncus coeliacus.....	38
Abbildung 32: Stenose der linken Beckenarterie	38
Abbildung 33: Anzahl der Fälle, in denen die jeweiligen Kontrastmittelphasen zur Auswertung der Nierenvenen herangezogen wurden.	39
Abbildung 34: Anzahl an Nierenvenen bezogen auf die gesamten, analysierten Nieren. ...	40
Abbildung 35: Niere mit zwei Vv. renales.....	40
Abbildung 36: Kurzer gemeinsamer Nierenvenenstamm.....	41
Abbildung 37: Ringbildende linke Nierenvene um die Aorta.....	41
Abbildung 38: Retroaortaler Verlauf einer linken Nierenvene	42
Abbildung 39: Ausreißer der Länge des gemeinsamen Venenstamms	43
Abbildung 40: Länge der gemeinsamen Stämme aller Nierenvenen	43
Abbildung 41: Insuffiziente V. ovarica sinistra.....	44
Abbildung 42: Breite paravertebrale Verbindung der linken Nierenvene	44
Abbildung 43: V. iliaca interna mit hohem Einfluss in die VCI	45
Abbildung 44: Persistierende Renkulzeichnung der Nieren	46
Abbildung 45: Keilförmiger Infarkt.....	46
Abbildung 46: Parapelvine Zysten einer linken Niere.....	46
Abbildung 47: Klarzelliges Nierenzellkarzinom der linken Niere.	49
Abbildung 48: Adenom der linken Nebenniere.....	49
Abbildung 49: Ureter Duplex.....	50
Abbildung 50: Mutmaßlicher Ureter fissus.....	50
Abbildung 51: Kurzstreckig transversaler Verlauf des rechten Ureters	50
Abbildung 52: Durchschnittliche Aortendurchmesser per Körpergröße in Verbindung mit der Körpergröße.....	51
Abbildung 53: Vergleich der Körpergrößen mit der durchschnittlichen Länge der Beckenarterien	54
Abbildung 54: Der kleinste Durchmesser einer VCI.....	55
Abbildung 55: Darstellung der Verhältnisse des kurzen zum langen VCI-Durchmessers ..	55
Abbildung 56: Darstellung der langen und kurzen VCI-Durchmesser	56
Abbildung 57: Vergleich der Körpergrößen mit dem durchschnittlichen Verhältnis des kurzen zum langen VCI-Durchmessers	57
Abbildung 58: Vergleich der Körpergrößen mit der durchschnittlichen kraniokaudalen Nierengröße	58
Abbildung 59: Rechte Niere mit drei bei der OP beschriebenen Arterien.	60
Abbildung 60: Lumbalarterie.	60

Abbildung 61: Akzessorisches Gefäß, das weder im radiologischen noch im OP-Bericht beschrieben wurde	60
Abbildung 62: Später Zusammenfluss der linken Nierenvenen.....	61
Abbildung 63: Zweite Nierenvene wurde im radiologischen Bericht nicht beschrieben. ...	61
Abbildung 64: Aus der AMS entspringende A. hepatica imitiert eine Nierenarterie.....	63
Abbildung 65: V. mesenterica inferior imitiert eine V. testicularis sinistra.	63

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Aktualisierte Bosniak-Klassifikation übersetzt nach Israel, G.M. und Bosniak, M.A. von 2005 (19)	8
Tabelle 2: Technische Parameter der MR-Angiographie.....	19
Tabelle 3: Verwendete Sequenzen, ausgenommen der Angiographie.....	20
Tabelle 4: Intraobservervariabilität.....	30
Tabelle 5: Durchmesser der Nierenarterien am Ursprung aus der Aorta.....	34
Tabelle 6: Nebenbefunde der auf den MRA-Aufnahmen abgebildeten Arterien.....	38
Tabelle 7: Wichtigste Nebenbefunde der auf den Aufnahmen sichtbaren Venen.....	45
Tabelle 8: Durchschnittliche Größen der Nieren.	45
Tabelle 9: Anzahl an Nieren, die einen bestimmten Typ an Zysten aufweisen.	47
Tabelle 10: Bedeutendste Nebenbefunde	48
Tabelle 11: Durchschnittliche Aortendurchmesser pro Messstelle und Körpergröße	52
Tabelle 12: Aortendurchmesser im Verhältnis zur BSA.....	53
Tabelle 13: Verhältnis der Beckenarterienlänge zur BSA	54
Tabelle 14: Die Verhältnisse des kurzen zum langen Durchmesser der VCI im Verhältnis zur BSA.	56
Tabelle 15: Das Verhältnis der kraniokaudalen Nierenlänge zur BSA	58
Tabelle 16: Unterschiede zwischen radiologischen Berichten und OP-Berichten sowie retrospektiven Ergebnissen betreffend Arterienanzahl gespendeter Nieren	59
Tabelle 17: Unterschiede zwischen radiologischen und OP-Berichten sowie retrospektiven Ergebnissen betreffend Venenanzahl gespendeter Nieren	61
Tabelle 18: Fälle mit Unterschieden in der Beschreibung paravertebraler Verbindungen der Nierenvenen.....	62

Formelverzeichnis

Formel 1: Berechnung der Körperoberfläche nach Mosteller RD von 1987 (31).....	29
--	----

1 Einleitung

Nach wie vor ist die Niere das in Österreich am häufigsten transplantierte Organ. Im Jahr 2017 wurden alleine in Graz 73 Nierenspenden realisiert, wovon rund 16% durch Lebendspenden ermöglicht wurden. (1)

Für die Chirurgie ist es im Fall einer Lebendspende besonders bedeutend zu wissen, welche anatomischen Verhältnisse im Abdomen des Spenders oder der Spenderin vorliegen und ob die Niere aufgrund ihrer Gefäßversorgung zur Transplantation geeignet ist. Deshalb ist es wichtig eine geeignete Methode zur präoperativen Evaluation zu finden, die die anatomischen Gegebenheiten möglichst detailgetreu abbildet.

Die Kernfrage dieser Diplomarbeit befasst sich deshalb unter anderem mit der Frage, ob die MR-Angiographie eine eben solche Methode darstellen kann, wie schon in vorhergehenden Studien suggeriert (2–10). Außerdem interessieren uns die Arten und Häufigkeiten möglicher Anomalien der Nieren, deren Gefäßversorgung und Parenchym in einem Kollektiv scheinbar vollkommen gesunder Menschen der Durchschnittsbevölkerung. Das Wissen um die Quantität solcher Anomalien und Normvarianten kann die Planung potentieller Lebendspenden erleichtern.

2 Hintergrund

2.1 Anatomie der Nieren und Nierengefäße

2.1.1 Nieren makroskopisch

Die Nieren eines Menschen zeigen im makroskopischen Aufbau eine Vorder- (Facies anterior) und eine Hinterfläche (Facies posterior) sowie einen oberen und unteren Pol (Extremitas superior und inferior). An der Oberfläche sind sie von einer Capsula fibrosa aus Kollagenfasern umgeben. Darüber liegen die Fascia renalis und die Capsula adiposa. (11,12) Die Nierenpforte (Hilum renale) liegt am medialen Rand der Nieren (Margo medialis), bildet den Ein- und Austrittspunkt für Gefäße und Nierenbecken und führt zum Sinus renalis, aus welchem pyramidenförmige Papillae renales entspringen. Lateral befindet sich der Margo lateralis. (11,12)

Beim Erwachsenen misst jede Niere 10-12cm x 5-6cm x 4cm und wiegt etwa 120-300g. Die ursprüngliche Anlage aus mehreren Einzelnieren lässt sich beim Neugeborenen noch am gelappten Aufbau erkennen (Ren lobulatus). (11)

Das Innere der Nieren teilt sich makroskopisch in das Mark (Medulla renalis) und die Rinde (Cortex renalis). (11,12) Im Mark befinden sich die kegelförmigen Pyramides renales mit ihren Basen und Papillen, in die das Harnkanälchensystem mündet (Foramina papillaria) und die mitsamt der umgebenden Rinde die Lobi renales bilden. (11)

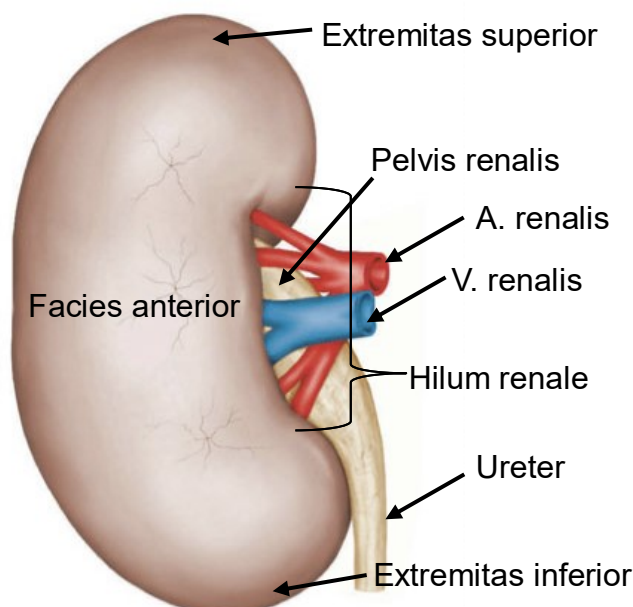


Abbildung 1: Rechte Niere. Modifiziert nach Anderhuber F, Pera F, Streicher J, editors. *Waldeyer - Anatomie des Menschen: Lehrbuch und Atlas in einem Band. 19th ed. Berlin/Boston: Walter de Gruyter GmbH & Co.KG; 2012. p.582*

2.1.2 Nieren mikroskopisch

Mikroskopisch lassen sich in der Niere Harnkanälchen, Blutgefäße, Lymphgefäße, Bindegewebe und Nerven erkennen. (11)

Die Harnkanälchen bestehen aus einem Sammelrohr und dem zugehörigen Nephron, aufgebaut aus Corpusculum renale und Tubulus renalis. Zwischen Vasa afferentia und efferentia befindet sich das Kapillarknäuel des Corpusculum, welches von der Bowman-Kapsel (Capsula glomerularis) umgeben wird, zwischen deren beiden Blättern der Primärharn aufgenommen und am Harnpol in die Tubuli geleitet wird. In den Tubuli wird ein Teil des Harns wieder rückresorbiert und der Sekundärharn gebildet

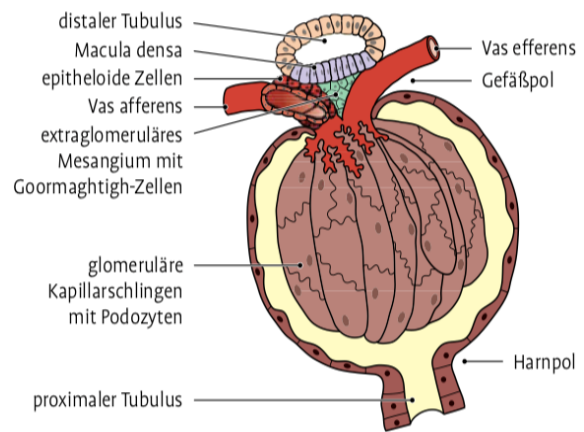


Abbildung 2: Corpusculum renale. Entnommen aus Anderhuber F, Pera F, Streicher J, editors. *Waldeyer - Anatomie des Menschen: Lehrbuch und Atlas in einem Band. 19th ed.* Berlin/Boston: Walter de Gruyter GmbH & Co.KG; 2012. p.586

(1,5-2l pro Tag). Ausgeschieden wird dieser über die ableitenden Harnwege. Der juxtaglomeruläre Apparat, bestehend aus Mesangiumzellen, Polkissen und Macula densa, steuert durch das Renin-Angiotensin-System den Blutdruck und die Filtratbildung. (11)

Die Nieren besitzen keine getrennten Vasa privata und publica, sondern werden alleine von der A. renalis mit Blut versorgt. Deren Äste zweigen sich in Aa. Interlobares auf, die im Parenchym in Richtung Rinde ziehen. Diese bilden an der Rinden-Mark-Grenze die Aa. interlobulares und geben dann als jene die Vasa afferentia ab, welche die Glomeruli des Corpusculum renale versorgen. Das Blut gelangt danach in die Vasa efferentia, welche auch die Vasa recta abgeben, die ins Mark ziehen. Dann fließt das Blut durch die Vv. interlobulares, Vv. arcuatae, Vv. interlobares und V. renalis in dieser Reihenfolge aus der Niere ab. Parallel zu den Vasa recta verlaufen die Venulae rectae. (11)

2.1.3 Zuführende Gefäße

Die Nieren bekommen Blut und harnpflichtige Substanzen über die A. renalis dextra/sinistra. Beide entspringen aus der Aorta abdominalis, die linke Arterie meistens entweder höher als die rechte oder auf gleicher Höhe mit der selbigen, deren Ursprung ca. auf Höhe des ersten/zweiten Lendenwirbels, unterhalb des Abgangs der A. mesenterica superior, liegt.

(11–13) Der Durchmesser der Nierenarterien beträgt maximal 6-7mm. Die A. renalis sinistra ist aufgrund der anatomischen Lage der Nieren in den meisten Fällen kürzer. Die A. renalis dextra nimmt in der Regel den Verlauf dorsal der V. cava inferior. (11,13) Nach ca. 3-5cm teilen sich die Arterien in Lobar-, danach segmentale Äste. Die intrarenalen Äste beider Nierenarterien versorgen die verschiedenen Segmente der Nieren (Segmenta superius, anterius superius, anterius inferius, inferius und posterius). (11–13)

2.1.4 Abführende Gefäße

Die V. renalis dextra verläuft gerader und kürzer als die V. renalis sinistra, bevor sie beide in die V. cava inferior münden. Die linke Vene nimmt in ihrem Verlauf weitere Gefäße auf (V. suprarenalis sinistra, V. testicularis/V. ovarica sinistra, V. phrenica inferior sinistra) und liegt präaortal. (11–15) Auch Einmündungen der zweiten Lumbalvene können links gefunden werden. (15)

2.1.5 Nerven

Sympathisch werden die Nieren durch den Plexus renalis innerviert, gebildet vom Plexus coeliacus. Die Fasern begleiten die Vasa renalia bis zum Glomerulus. (11)

2.1.6 Anatomische Lage der Nieren

Die Nieren erstrecken sich von der Höhe des 12. Brustwirbels bis zur Höhe des 3. Lendenwirbels in den Fossae lumbales auf beiden Seiten der Wirbelsäule. Die Nierenpforte liegt dabei meist auf der Höhe des 1.-2. Lendenwirbels. Die rechte Niere befindet sich in den meisten Fällen etwas tiefer als die linke. Beide sind in ihrer Längsachse nach hinten und oben ausgerichtet und divergieren nach unten. Die Nieren kommen nicht mit dem 12. Rippenpaar in Berührung, da sich zwischen ihnen das Zwerchfell und der Recessus costodiaphragmaticus befinden. (11,12)

An die Nieren angrenzend liegen die Nebennieren (ventral der Extremitas superior), Leber und rechte Kolonflexur (Facies anterior rechts), V. cava inferior und Duodenum (Hilum rechts), Magen, Pankreas und linke Kolonflexur (Facies anterior links), Aorta (Hilum links). (11)

2.1.7 Ableitende Harnwege

Pro Niere vereinigen sich 8-10 Nierenkelche zu einem gemeinsamen Nierenbecken, das den Sekundärharn sammelt. Dieses kann je nach Anatomie verschiedene Formen aufweisen, von ampullär bis ramifiziert oder dendritisch. (11)

Der Harnleiter (Ureter) verbindet das Nierenbecken mit der Harnblase und wird makroskopisch nach seinem Verlauf in drei Teile gegliedert: Pars abdominalis, pelvica und intramuralis. (11)

2.2 Anomalien und Normvarianten der Nieren und Nierengefäße

2.2.1 Nierenarterien

Die Nierenarterien sind aufgrund der embryonalen Entwicklung der Nieren oft von Anomalien betroffen. So können sie zum Beispiel erst im Bereich der A. iliaca communis oder externa entspringen, wobei nach kranial hin das Zwerchfell die Grenze für den ehesten Abgang darstellt. (13)

Häufig tritt auch eine Mehr-Gefäß-Versorgung der Nieren auf. Meistens kommen akzessorische sowie aberrante Gefäße vor, ebenso wie frühe Gabelungen der Arterien. Seltener (in 5%) nimmt eine Nierenarterie einen ungewöhnlichen Verlauf vor der V. cava inferior. (13)

Akzessorische Arterien: Bei akzessorischen Arterien handelt es sich um eine zusätzliche arterielle Versorgung der Nieren, wobei diese selbstständig aus der Aorta entspringen. (14)

Aberrante Arterien: Eine Nierenarterie ist aberrant, wenn sie nicht aus der Aorta entspringt. (16)

Polararterien: Polararterien sind Varietäten der arteriellen Versorgung, wobei die Niere nicht über das Hilum erreicht wird, sondern die Polararterie über das Parenchym eintritt. (14)

Frühe Gabelung: Die frühe Gabelung der Nierenarterien ist eine Normvariante, bei der sich die Arterien maximal 1,5cm nach dem Abgang aus der Aorta in ihre Lobararterien teilen, oder ein schmales Polgefäß in diesem Abstand frühzeitig abgeht. (13,17)

2.2.2 Nierenvenen

Als häufige Normvariante tritt eine retroaortal gelegene Nierenvene auf. Auch bei den Venen ist es möglich, dass mehr als nur eine pro Niere auftreten. Hier gibt es außerdem die Möglichkeit einer sogenannten gegabelten Nierenvene links, bei der die Vene mit zwei Schenkeln sowohl prä- als auch retroaortal verläuft, um sich danach wieder zu einer einzelnen zu vereinen. (13)

Als späten Zusammenfluss der Nierenvenen bezeichnet man einen gemeinsamen Venenstamm, der entweder auf der rechten Seite vor Eintritt in die VCI nicht mehr als 1,5cm Länge umfasst oder dessen Konfluenz auf der linken Körperseite 1,5cm oder weniger weit entfernt vom linken Rand der Aorta liegt. (18)

2.2.3 Anlagevarianten

Als eine der häufigsten Fehlbildungen der Embryonalentwicklung des Urogenitalsystems zeigen die Nierenfehlbildungen verschiedene Varianten. (13) Die Nieren können aufgrund mangelndem Ascensus während ihrer Entwicklung zu weit kaudal gelegen sein und deshalb als Becken- oder Kreuznieren bezeichnet werden. Im Falle einer Fusion der beiden Nierenanlagen bildet sich die sogenannte Hufeisenniere mit fusionierten Unterpolen auf Höhe der Aorten-Bifurkation und einer meist komplexen Blutversorgung. (12,13) Während dem Ascensus der Nieren können sich die Nieren malrotieren, wobei das Hilum sich zu weit nach dorsal oder lateral dreht. Auch eine inverse Rotation in die umgekehrte Richtung kann auftreten. (12)

Zystennieren entstehen durch den fehlenden Anschluss des harnbereitenden Abschnittes der Nierenkanälchen an den Abschnitt der Nieren, der den Harn ableitet. Die oft doppelseitige Fehlbildung lässt sich nach Potter einteilen. (12)

Bei der Teilung der Ureterknospe kann es zu Verdoppelungen (Ureter duplex) oder Spaltungen (Ureter fissus) der Harnleiter sowie zu unterschiedlichen Formen des Nierenbeckenkelchsystems kommen. (12)

Die Nieren des Embryos bestehen bekanntermaßen noch aus einzelnen Lappen, den Renculi. Bleiben diese auch noch während der Erwachsenenzeit erhalten, spricht man von einer Renkulusniere. Das komplette Fehlen oder das Auftreten von mehr als einer Niere pro Seite kommen selten vor. (12)

2.2.4 Parenchymläsionen

2.2.4.1 Infarkte

In der MRT imponieren akute Niereninfarkte häufig als keilförmige Kontrastmittelaussparungen. Wird von den Kapselkollateralen eine vorübergehende Versorgung des äußeren Kortex aufrechterhalten, wird dies als „capsular rim sign“ sichtbar. Später atrophiert der Kortex durch die mangelnde Durchblutung, was zu einer Ausdünnung der Nierenoberfläche führt, die eingezogen wird. Der ausgedünnte Kortex und eine entrundete Niere weisen auf ältere Infarkte hin. Ist die Ursache kein arterieller Embolus, sondern eine Nierenvenenthrombose oder ein hypodynamischer Kreislaufzustand, können hämorrhagische Niereninfarkte beobachtet werden. (13)

2.2.4.2 Zysten

Nierenzysten können in der Radiologie mittels der aktualisierten Bosniak-Klassifikation in fünf Gruppen (I, II, IIF, III und IV) eingeteilt werden (siehe Tabelle 1). Aufgrund der guten Kontrastdarstellung der MRT können auch Läsionen dargestellt werden, die im CT eventuell nicht sichtbar wären. (19)

Außerdem können Nierenzysten nach ihrer Lokalisation in Parenchymzysten, kortikale Zysten und parapelvine Zysten eingeteilt werden. Letztere können ein erweitertes Nierenbeckenkelchsystem imitieren. (20)

Die autosomal dominante polyzystische Nierenerkrankung (ADPKD) präsentiert sich renal unter anderem durch komplizierte Zysten, Nephrolithiasis, perinephritische Blutung und Ruptur einer Zyste. Auch Nierenzellkarzinome sind in seltenen Fällen möglich. (21)

Kategorie	Beschreibung
I	Benigne, simple Zyste mit einer haardünnen Wand ohne Septen, Kalzifikationen oder soliden Anteilen. Dichte von Wasser und kein Enhancement
II	Benigne Zyste, eventuell haardünne Septen mit scheinbarem Enhancement, eventuell feine Kalzifikationen oder kurzer Abschnitt mit leicht verdickter Kalzifikation, im CT einheitliche hyperdense Zysten < 3cm mit Begrenzung und keinem Enhancement, keine weitere Abklärung notwendig
IIF (follow-up)	Eventuell mehrere haardünne Septen oder minimale glatte Verdickung der Wand / des Septums, eventuell scheinbares Enhancement ebendieser, eventuell dicke / noduläre Kalzifikationen ebendieser, gut umschriebene Begrenzung, vollkommen intrarenale, im CT hyperdense Zysten > 3cm, Follow-up notwendig
III	Unbestimmte zystische Läsionen mit verdickten irregulären oder glatten Wänden / Septen mit messbarem Enhancement, chirurgische Läsionen, manche benigne (z.B. hämorrhagische Zysten), manche maligne (z.B. zystische Nierenzellkarzinome)
IV	Eindeutig maligne, alle Kriterien der Gruppe III plus Enhancement der benachbarten Weichteile der Wände/Septen, müssen chirurgisch entfernt werden, z.B. zystische Karzinome

Tabelle 1: Aktualisierte Bosniak-Klassifikation übersetzt nach Israel, G.M. und Bosniak, M.A. von 2005 (19)

2.2.4.3 Nierentumoren

Auch in der Niere können benigne (z.B. Onkozytom, Angiomyolipome, Hämangiome) sowie maligne (z.B. Nierenzellkarzinom, Nierenbeckenkarzinom, Nephroblastom) Tumoren auftreten. Mit einem Anteil von 2% aller Tumoren des Erwachsenenalters ist das Nierenzellkarzinom zwar selten, stellt aber dennoch die größte Gruppe der malignen Tumore der Niere dar. Im T1 des MR ist das NCC aufgrund seiner Isointensität zum umgebenden Gewebe nur zu erkennen, wenn es zu einer Veränderung der Nierenform führt. Nach Kontrastmittelgabe ist das NCC in den T1-Aufnahmen leichter abzugrenzen, da dessen solide Anteile verstärkt Kontrastmittel aufnehmen. Im T2 kann die Signalintensität aufgrund

von Tumornekrose und Einblutung in diesen Anteilen um 15% verstärkt sein. Zum Zeitpunkt der Diagnosestellung sind bei einem Fünftel der Patientinnen und Patienten bereits die Venen infiltriert. Auch Metastasen eines anderen Primums können in der Niere auftreten. (20)

2.3 Magnetresonanz-Tomographie

Die Magnetresonanz ist eine Technik der radiologischen Bildgebung, die nicht invasiv ist und mithilfe eines starken Magnetfeldes sowie Hochfrequenzimpulsen eine Serie von Schichtbildern erzeugt, wobei die Angulation derer beliebig sein kann. (22,23)

2.3.1 Technische und physikalische Grundlagen

Im Körper eines jeden Menschen finden sich sogenannte „Elementarmagneten“, welche von den Wasserstoffprotonen im Fett und Wasser repräsentiert werden. Die starke magnetische Eigenschaft dieser wird in der Magnetresonanz-Tomographie genutzt, um Bilder zu erzeugen. (22,23)

Jedes der Protonen besitzt ein Magnetfeld sowie einen Nord- und Südpol, wobei das magnetische Moment zum ersteren zeigt. (22) Werden diese Protonen nun einem starken magnetischen Feld wie dem eines MR-Scanners ausgesetzt, fangen die magnetischen Momente an sich aufgrund ihres Spins beim Ausrichten im Feld wie ein taumelnder Kreisel zu verhalten – die Momente präzidieren. Die Präzessionsfrequenz heißt dabei Larmor-Frequenz und ist proportional zur Stärke des Magnetfeldes. (22,23)

Ein Ensemble bezeichnet die gesamte Zahl aller Protonenspins in einem Voxel, welches wiederum das Volumenelement eines Pixels in der gemessenen Schicht darstellt. Die magnetischen Momente dieses Ensembles präzidieren im Magnetfeld mit einer fast einheitlichen Verteilung in alle Richtungen, während manche der Momente jedoch versuchen sich an der Ausrichtung des äußeren Magnetfeldes zu orientieren. (22)

Durch diesen Vorgang und durch die Interaktion zwischen Protonen und Umgebung entsteht eine Längsmagnetisierung, die in ihrer Stärke von der Protonenanzahl des Voxels abhängig ist. Durch die spezifischen Protonendichten in unterschiedlichen Geweben lassen sich diese in der MR verschieden darstellen. (22)

Sind die Spins ausgerichtet, werden Hochfrequenzimpulse ausgesandt, die eine Resonanz in den Protonen auslösen, wenn die Frequenz der Impulse der Larmor-Frequenz der Protonen gleicht. Diese Resonanz bewirkt eine Synchronisation der Protonen in eine gemeinsame Phase. Gleichzeitig werden einige zuvor im parallelen Zustand befindlichen Protonen dem antiparallelen Zustand zugeführt. Der so in seiner Richtung veränderte Gesamtmagnetisierungsvektor bewegt sich wieder in seine Ausgangsposition zurück, sobald die Impulse enden. (23)

Das Ende der Hochfrequenzimpulse bedeutet somit wiederum einen Übergang der Protonen in den energieärmeren parallelen Zustand, wobei sie selbst ein Hochfrequenzsignal aussenden, aus welchem die MR-Bilder berechnet werden können. Während die Längsmagnetisierung bei diesem Prozess entlang der Hauptmagnetfeldachse wieder größer wird (T1-Relaxation), verkleinert sich die Quermagnetisierung des ausgelenkten Gesamtvektors (TR-Relaxation). (23)

Die T1- und T2-Zeit bilden eine wichtige Grundlage zur Unterscheidung der Gewebsarten in der MRT, da sie je nach Gewebe verschieden ausgeprägt sind. T1 stellt dabei den Zeitpunkt dar, zu dem sich 63% der Protonen wieder in ihrer Ausgangsposition befinden. T2 ist eine Zeitkonstante und beschreibt die Abnahme der Quermagnetisierung zum Hauptmagnetfeld, wobei diese Zeit z.B. bei Wasser länger ausgeprägt ist als in Geweben, in denen sich die Spins weniger frei bewegen können. (23)

Die Magnetfeldstärke in der MR wird in Tesla (T) angegeben. (22,23) Die meisten heute gebräuchlichen MR-Geräte verwenden supraleitende Magneten mit einer Feldstärke von 1,5 bis 3T. (23)

2.3.2 Magnetresonanz-Angiographie

Die MRA dient der Darstellung von Gefäßen in der MR und kann sowohl mit als auch ohne Kontrastmittel erfolgen, wobei sich letztere die unterschiedlichen Eigenschaften von stationärem Gewebe und fließendem Blut zunutze machen. Die Bewegung und Relaxation des Blutes werden zum Erzielen eines Kontrastes genutzt. (23)

2.3.2.1 Time-of-Flight-MRA

Wenn Spins frisch in ein angeregtes Volumen einströmen, haben sie eine deutlich höhere Gleichgewichtsmagnetisierung als Spins, die bereits stationär sind. Das einströmende Blut erscheint hierbei hyperintens, da es seine hohe Magnetisierung beibehält, während die Gleichgewichtsmagnetisierung im ausgewählten Volumen durch eine schnelle 3D-Gradientenecho-Sequenz reduziert wird, da den stationären Spins zwischen den Anregungen keine Zeit zum Relaxieren bleibt. (13,23) Jedoch wird auch dieses Signal geringer, wenn das Blut länger durch das Anregungsvolumen fließt. Dies kann zur Folge haben, dass Gefäße, welche über eine längere Strecke innerhalb des Volumens verlaufen, artefaktbehaftet abgebildet werden. (13)

Um die Abnahme des Signales zu reduzieren, wird die MOTSA-Technik angewandt, bei der mehrere Volumina zu einem 3D-Datensatz zusammengefasst werden, wobei sich die einzelnen dünnen Volumina überlappen. (13)

2.3.2.2 Phasenkontrastangiographie

Damit bewegte Spins Phaseninformationen erhalten, die abhängig von Geschwindigkeit und Richtung sind, kann man sich Gradientenfelder zunutze machen, die der Messung zugeschaltet werden. Signale werden dargestellt, wenn der Fluss im Gefäß dem des Gradienten entspricht, wobei die Messungen in alle drei Raumrichtungen erfolgen. Zusätzlich kann die Flussgeschwindigkeit bestimmt werden. (13)

2.3.2.3 Kontrastmittelgestützte MRA

Da die in der MRA verwendeten Kontrastmittel die T1-Zeit verkürzen, verwendet man zur Durchführung der Untersuchung T1-wichtende Gradientenecho-Sequenzen, wobei man auf ein kurzes TR sowie einen passenden Anregungswinkel achtet. Die Gefäße erscheinen dabei hyperintens. (13)

Bei der Verwendung von Kontrastmitteln ist darauf zu achten, dass möglichst schnelle Aufnahmetechniken verwendet werden, um venöse Überlagerungen zu vermeiden und gleichzeitig den Zeitpunkt des maximalen arteriellen Signals abzubilden. (13) Bewegungsartefakte werden dadurch ebenfalls minimiert. (24)

2.3.2.4 Native EKG-getriggerte Angiographie

Hierbei werden zwei T2-gewichtete und EKG-getriggerte Turbo-Spinecho-Aquisitionen aufgenommen. Eine Aufnahme erfolgt während der Systole und eine während der Diastole. Da die arterielle Flussgeschwindigkeit während der Systole höher ist und Turbo-Spinecho-Sequenzen bewegte Spins signalärmer darstellen, lässt sich das bewegte arterielle Blut deutlich vom umliegenden Gewebe und venösen Blut unterscheiden, die sowohl während der Systole als auch der Diastole annähernd gleiche Signale aussenden. (13) Dennoch können Faktoren wie Turbulenzen nach multiplen Stenosen und Fehler im EKG-Triggern sowie Bewegungsartefakte die Bildqualität erheblich beeinträchtigen. (25)

2.3.2.5 Sonstige Techniken

Neben den bereits erwähnten gibt es noch etliche weitere Techniken zur MRA. Grob werden diese in signalreiche und signalfreie Gefäßdarstellungen unterteilt (bright/black blood) und umfassen unter anderem SSFP-Sequenzen oder ASL-Anwendungen. (13)

2.3.3 Bildqualität und Artefakte

Neben den patientenabhängigen Artefakten, die unter anderem durch Bewegungen ausgelöst werden und in jeder radiologischen Untersuchungsmodalität auftreten können, gibt es noch eine Gruppe von MR-spezifischen Artefakten, die manchmal beobachtet werden können. (23)

Pulsationsartefakte: Hierbei handelt es sich um Bewegungsartefakte, die periodisch in Phasenkodierrichtung auftreten und durch Atmung, Herzbewegungen, Blutfluss und Ähnliches ausgelöst werden. (23,24) So kann sich zum Beispiel die Aorta auf axialen Abdomenschnitten in regelmäßigen Abständen zu wiederholen scheinen. (23) Diese Artefakte lassen sich vermindern, indem man den Patienten immobilisiert. Die Artefakte der Darmperistaltik lassen sich durch Medikamente beeinflussen, die die Peristaltik verlangsamen. Zusätzlich kann man sich den Effekt schneller EPI-Sequenzen und einer optimierten Bild-Sättigung zunutze machen. (24) Die Aorta lässt sich durch EKG-Triggern besonders thorakal mit optimaler Bildqualität abbilden. (13)

Chemische Verschiebungsartefakte: Abhängig von der Magnetfeldstärke weisen die Protonen im Wasser und in den Fettsäuren voneinander unterschiedliche Präzessionsfrequenzen auf, weshalb deren Signal in der Frequenzkodierung zueinander verschoben abgebildet wird. Dies gilt jedoch nicht für EPI-Sequenzen. An Orten wie dem Übergang zwischen Nieren und dem perirenenalen Fett, an denen Gewebe mit verschiedenen Präzessionsfrequenzen direkt aneinandergrenzen, kann man eine signalreiche Begrenzung auf der durch die geringere Frequenz ortskodierten Seite und eine signalarme Begrenzung auf der anderen Seite beobachten. Dieses Phänomen wird auch zur MR-Spektroskopie genutzt. (23) Generell scheinen chemische Verschiebungsartefakte in T2-gewichteten Aufnahmen deutlich prominenter zu erscheinen als in T1-gewichteten. (24)

Magnetische Suszeptibilitätsartefakte: Die Klassifikation der verschiedenen Gewebe nach dem Grad ihrer Magnetisierbarkeit, wenn diese einem starken Magnetfeld zugeführt werden, nennt man Magnetische Suszeptibilität. Das Angrenzen zweier Gewebe mit unterschiedlichen Eigenschaften führt zur Störung des lokalen Magnetfeldes, wodurch das Signal nicht mehr korrekt lokalisiert werden kann. Ferromagnetische, metallische Fremdkörper sind von diesem Effekt besonders stark betroffen und können deutliche Auslöschungen verursachen. Diese Artefakte treten vor allem in Gradienten-Echo-Sequenzen auf. (23)

Kantenartefakte: An Grenzen zwischen zwei Geweben mit stark unterschiedlicher Magnetisierbarkeit erscheinen multiple, alternierende helle und dunkle Linien („ringing“), die z.B. im Rückenmark als Syringomyelie missinterpretiert werden können. (24)

Einfaltungsartefakte: Anatomische Strukturen, die eigentlich außerhalb der Aufnahme liegen, werden auf die gegenüberliegende Seite projiziert. Ein vergrößertes field of view (FOV) verhindert dieses Phänomen. (24)

Hochfrequenzartefakte: MRT-Einheiten werden mittels Faraday'schem-Käfigs von externen Hochfrequenzsignalen abgeschirmt, da diese unter Umständen die korrekte Bildaufnahme stören können. Dies betrifft unter anderem Radio- oder Fernsehsignale. (23)

2.3.4 Kontrastmittel

Für manche Fragestellungen im MR ist es sinnvoll Kontrastmittel zu benutzen, um so unter anderem Metastasen oder unklare Läsionen besser abklären zu können. Auch die MR-Arthro- oder die bereits erwähnte MR-Angiographie lassen sich kontrastmittelgestützt durchführen. (23)

Das nach wie vor hauptsächlich verwendete paramagnetische Kontrastmittel auf Gadolinium-Basis lässt kontrastmittelaufnehmende Strukturen in T1-gewichteten Aufnahmen hell erscheinen, indem es die T1-Zeit der umliegenden Protonen abhängig von der Konzentration und Relaxation verkürzt. Um eine Verwechslung mit dem ebenfalls hell erscheinenden Fett zu vermeiden, achtet man auf die Verwendung von T1-Sequenzen, in denen das Fett und Hintergrundgewebe mit langer T1-Zeit abgesättigt werden. Im Komplex des Kontrastmittels wird das Gadolinium-Ion von einem Chelatbildner fixiert, weshalb die Mittel auch Gd-Chelate genannt werden. (13,23) Durch diese Verbindung wird das eigentlich toxische Gadolinium-Ion gut verträglich. Das Mittel kann nicht über die Blut-Hirn-Schranke diffundieren, weshalb es besonders gerne zur Detektion möglicher Hirnläsionen mit gestörter Blut-Hirn-Schranke eingesetzt wird. Die Ausscheidung erfolgt beinahe unverändert über renale glomeruläre Filtration bei einer Plasmahalbwertszeit von 90 Minuten beim Nierengesunden. (23)

Makrozyklische Gadolinium-Komplexe sind kinetisch stabiler als offenkettige, wodurch bei ihnen im Gegensatz zu den letzteren unter physiologischen Bedingungen eine Freisetzung von Gadolinium kaum nachgewiesen werden kann. (26) Da es nach Anwendung Gadolinium-haltiger Kontrastmittel dennoch zur Ablagerung geringer Mengen an Gadolinium im Gehirn kommen kann, empfiehlt die Europäische Arzneimittelagentur das Ruhen der Zulassung für intravenöse lineare, also offenkettige, Kontrastmittel in der EU bis auf zwei Ausnahmen, die weiterhin zur Leberbildgebung erhalten bleiben. Makrozyklische Kontrastmittel werden laut der Agentur jedoch weiterhin verfügbar sein. (27)

Die einzelnen Kontrastmittel unterscheiden sich auch in ihrer Gadolinium-Konzentration und demnach der für die Untersuchung pro kg KG applizierten Milliliter. Im Fall dieser Arbeit handelt es sich um die Kontrastmittel Dotarem® mit einer Konzentration von 0,5mmol/ml (28) und Gadovist® mit einer Konzentration von 1,0mmol/ml. (29)

2.3.5 MRA vor Nierenlebendspende

Das Wissen um etwaige Anomalien oder Normvarianten der Nierengefäße ist wichtig, um den Erfolg einer Transplantation zu gewährleisten. So können akzessorische Arterien etwa neuralgische Bereiche der Niere versorgen oder frühe Gabelungen eine operative Anastomose erschweren. Generell gilt, dass akzessorische Arterien, die mehr als 5% des Nierenparenchyms versorgen, erhalten werden sollen. (13,30)

Um zu evaluieren, ob die Nieren eines potentiellen Spenders oder einer potentiellen Spenderin geeignet sind, sollte man eine mehrphasische Akquisition in der MRA anfertigen. Dabei ist auf eine ausreichende Abdeckung zu achten, da die Nierenarterien überall vom Durchtritt der Aorta durch das Zwerchfell bis hin zu den Iliakalgefäßen entspringen können. (13)

Neben dem Ursprung der Arterien gelten eine mögliche frühe Gabelung sowie Anzahl, Länge und Verlauf der Nierenarterien als die wichtigsten Parameter während der arteriellen Phase. Ebenso sollte man bei allen Gefäßen auf etwaige anatomische Variationen achten. (13,30) Für die venöse Phase gilt es, sein Augenmerk auf die Anzahl und den Verlauf der Venen zu richten. (13) Die linke Nierenvene kann in der Regel mehrere Gefäße in ihrem Verlauf aufnehmen, unter anderem lumbale Venen oder die linke V. ovarica/testicularis. (15) Damit die Nierenbecken und Ureteren quantifiziert werden können, sollte eine verzögerte Aufnahme nach 5-10min angefertigt werden. Hier lässt sich auch deren Verlauf darstellen. Zum Ausschluss einer Raumforderung sollten zusätzlich T1- sowie native T2-gewichtete Aufnahmen ausgewertet werden. (13) Auch Zysten werden in diesen Sequenzen charakterisiert. Unter anderem ist so eine Einblutung erkennbar. (20)

3 Material und Methoden

3.1 Ethische Aspekte

Die Datenanalyse erfolgte retrospektiv auf Basis bereits vorhandener MR/MR-Angiographie Untersuchungen und OP-Berichten, wodurch keine weiteren Belastungen oder Schäden für die analysierten Personen entstand. Die Daten wurden pseudonymisiert ausgewertet, um den Datenschutz bestmöglich zu wahren und das Risiko einer Datenschutzverletzung zu minimieren.

Die Studie wurde bei der Ethikkommission der Medizinischen Universität Graz eingereicht und erhielt im Dezember 2018 ein positives Votum mit der Nummer 31-107 ex 18/19.

3.2 Personenkollektiv

Die Anzahl der potenziellen Nierenlebendspenderinnen und -spender ergibt sich aus einer Datenabfrage, die Ende 2018 beim Institut für Medizinische Informatik, Statistik und Dokumentation in Auftrag gegeben wurde.

Die Einschlusskriterien umfassten alle Personen, die im Zeitraum vom 01.01.2009 bis zum 12.11.2018 eine MR-Untersuchung mit dem Kürzel „RMARAN MR-Angiografie der Nierenarterien“ bekommen hatten und eine Zuweisungsdiagnose wie „*spende*“ aufwiesen. Daraufhin wurde mit den Einschlusskriterien: „Diagnose ICD-10-Code: Z52.4 (Lebendorganspender Niere)“ und „OP-Daten: OE-Fall fachlich: CKTX und OE-Fall zugewiesen: OP“ abgefragt, wie viele dieser Personen tatsächlich eine Niere gespendet haben.

Die Abfrage ergab eine Liste mit 106 potenziellen Nierenlebendspenderinnen und -spendern, wovon 62 eine Niere gespendet haben. Zwei der Personen waren jedoch nicht für die Studie geeignet, da die MR-Angiographie zwar als Leistung eingetragen war, diese jedoch aufgrund von Klaustrophobie bzw. einer nicht MR-tauglichen Zahnprothese nicht durchgeführt werden konnte. Bei Bearbeitung der Datensätze ergab sich außerdem, dass fünf weitere der untersuchten Personen operiert worden waren, ohne von unserer Datenabfrage erfasst zu werden.

Am Ende umfasste unser Personenkollektiv 104 Personen, wovon 67 tatsächlich gespendet hatten (18 rechte Nieren / 49 linke Nieren). 76 der 104 Personen waren weiblich und 28

männlich. Zum Zeitpunkt der MR-Untersuchung betrug das Durchschnittsalter 51 Jahre. Die Altersverteilung ist in Abb. 3 dargestellt.

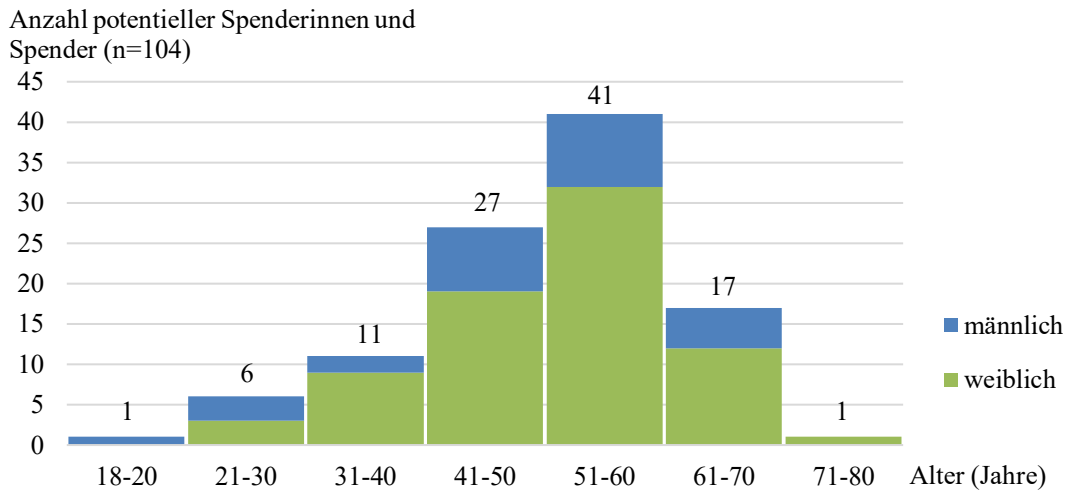


Abbildung 3: Altersverteilung aller potentiellen Spenderinnen und Spender zum Zeitpunkt der MR-Untersuchung

Die 104 verbleibenden Personen wurden in Medocs, dem Patientenverwaltungssystem der KAGES, aufgerufen und ausgewertet. Analysiert wurden sämtliche MR- und OP-Berichte bezüglich der Anzahl und des Verlaufes der Nierenarterien sowie potenzielle frühe Aufzweigungen, Anzahl und Verlauf der Nierenvenen, mögliche Parenchymschäden, Besonderheiten in Bezug auf die ableitenden Harnwege und sonstige wichtige Anmerkungen. Bezüglich der OP-Berichte konnte nur die Niere der Seite berücksichtigt werden, die tatsächlich operiert wurde. Die betroffene Seite wurde niedergeschrieben, wohingegen nicht operierte Personen den Vermerk „Keine OP“ bekamen. Zusätzlich wurden weitere und für die Auswertung relevante Daten bezüglich der technischen Aspekte der MR-Aufnahmen, Geschlecht und Körpergröße sowie -gewicht erhoben.

Die Körpergröße einer Person konnte bis zum Ende der Studie nicht erhoben werden. Dementsprechend orientieren sich alle Messwerte und statistischen Auswertungen, die die Körpergrößen der Personen einbeziehen, an 103, statt den in den anderen Berechnungen verwendeten 104, Datensätzen.

Wenn nicht anders angegeben, stammen die abgebildeten MR-Aufnahmen dieser Arbeit aus dem PACS-Bildarchiv der Universitätsklinik für Radiologie LKH Graz / KAGES oder wurden von mir aus den analysierten MR-Aufnahmen mittels Syngo.via oder Syngo.plaza und einem eigenen 3D-Programm angefertigt.

3.3 Technische Aspekte

Die MR-Aufnahmen von 103 der 104 potenziellen Spenderinnen und Spender wurden mittels Siemens® MAGNETOM Verio 3,0T angefertigt. Die Aufnahmen einer Person mittels Siemens® MAGNETOM Symphony 1,5T.

Bei den verwendeten Kontrastmitteln handelte es sich um Dotarem® (n=31; 0,2ml/kg KG) (28) und Gadovist® (n=73; 0,1ml – max. 0,3ml/kg KG beim Erwachsenen) (29). Es wurde ein Bolustiming mit 1ml, 1,5ml oder 2ml Kontrastmittel durchgeführt.

Die kontrastmittelverstärkte MR-Angiographie und -Venographie mit flash3D und 3D-Rekonstruktionen besteht aus zumindest vier dynamischen Phasen (nativ, arteriell, venös, Equilibrium, siehe Abb. 4). Eine Phase wird während einer Atemanhaltung aufgenommen und dauert meistens ungefähr 19 Sekunden, hängt aber von der Anatomie der Person ab. Die Flussgeschwindigkeit beträgt 1ml/s, 1,5ml/s oder 2ml/s.

Zusätzlich werden T1- und T2-gewichtete Aufnahmen vor und nach der Applikation des Kontrastmittels und meistens eine MR-Urographie aufgenommen.

Entweder wird eine T2- und/oder eine T2-Sequenz mit Fettsättigung eingesetzt. Die T1-Sequenzen können in der Form von T1 vibe und/oder T1 vibe mit Fettsättigung erfolgen. Derzeit werden T1 dixon Sequenzen mit „in and out of phase“ verwendet, um fetthaltige Läsionen eindeutig zu charakterisieren.

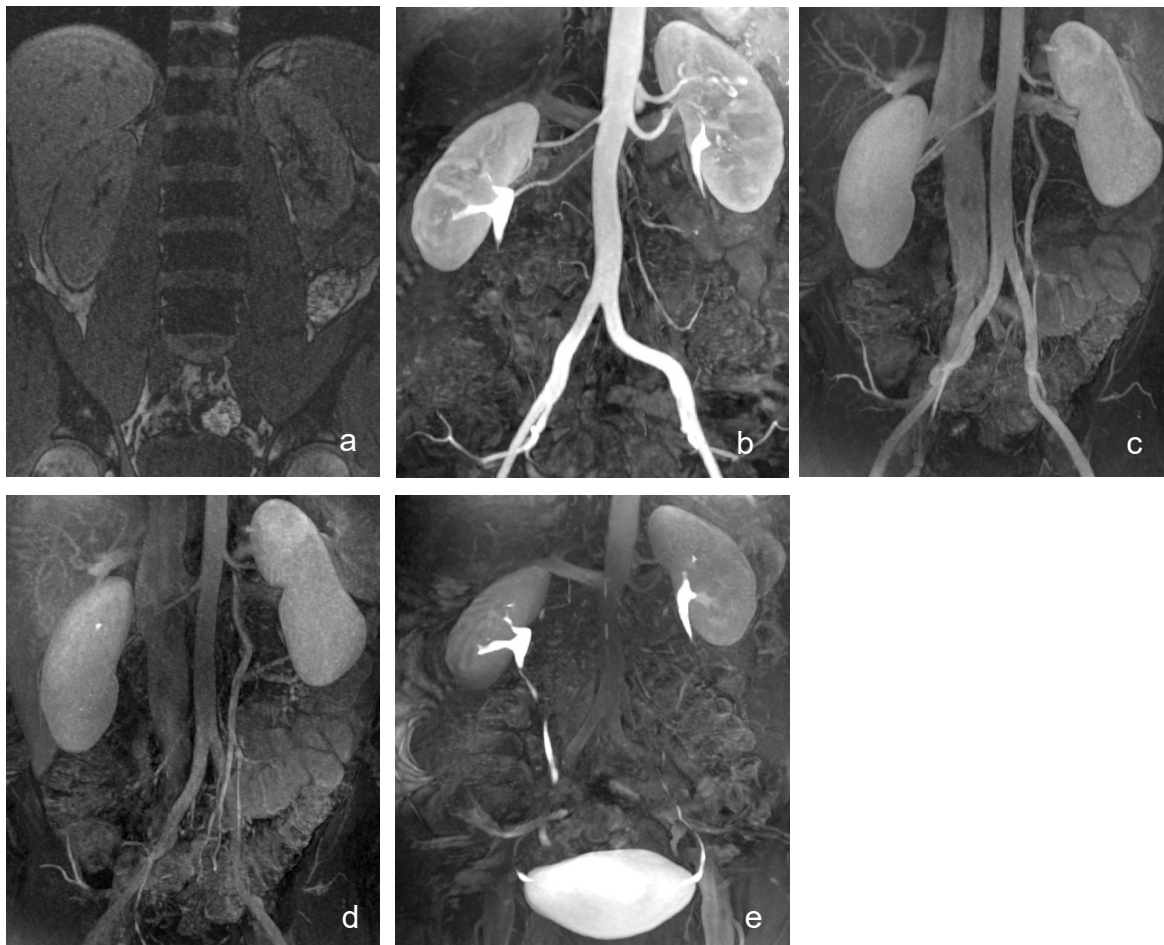


Abbildung 4: a) native, b) arterielle, c) venöse, d) Equilibrium-Phase und e) MR-Urographie; teilweise von unterschiedlichen Personen

Die technischen Parameter der MRA-Aufnahmen unterscheiden sich ebenfalls je nach Anatomie der Person. In Tabelle 2 sind die für dieses Personenkollektiv am häufigsten verwendeten Parameter für die Angiographie angegeben.

Sequenz	Flash 3D
Scanzeit/Serie (s)	19,47
Anzahl der Serien	Mindestens 4 (nativ, arteriell, venös, Equilibrium)
TR/TE (ms)	3.12/1.13
Schichtdicke (mm)	1
Schichten/Serie	104
Matrix	512x312
Flip-Winkel (Grad)	16

Tabelle 2: Die bei den 104 Personen am häufigsten gewählten technischen Parameter der MR-Angiographie. Die Werte können je nach Anatomie leicht variieren.

Die in Tabelle 3 und der weiteren Arbeit folgenden Sequenzbezeichnungen beziehen sich ausschließlich auf Siemens® MAGNETOM MRI Systeme, da nur diese im Rahmen dieser Arbeit verwendet wurden.

Sequenz	Scanzeit/ Serie (s)	TR/TE (ms)	Schicht- dicke (mm)	Schichten / Serie	Matrix	Flip- Winkel (Grad)
t2_trufi kor_p2_bh	33	3.83/ 1.62	5	36	256x91	49
t2_trufi tra_p2_bh	28	4.02/ 1.69	5	50	256x96	49
t2_trufi sag_p2_bh	28	3.91/ 1.65	5	46	256x91	49
t2_haste_tra_ p2_mbh	33	1600/94	5	56	320x 134	160
t2_haste_tra_ fs_p2_mbh	33	1600/94	5	56	320x 134	160
t1_vibe_fs_tra_p 2_bh_COMPOS ED_-19	18,68	3.92/ 1.39	2.5	160	320x 156	12.5
t2_spc_rst_cor_ p3_trig_URO	180	2861.47/ 709	1.4	80	320x 270	120
t2_spc_rst_cor_ p3_trig_320	193	3062.26/ 705	1.3	60	320x 270	120
t1_vibe_fs_tra_ p2_bh_KM_ COMPOSED_- 27	18,68	3.92/ 1.39	2.5	160	320x 156	12,5
t1_vibe_fs_sag_ p3_bh_KM	16,88	3.16/ 1.12	1.8	128	288x 122	9

Tabelle 3: Übersicht über die verwendeten Sequenzen, ausgenommen der Angiographie, am Beispiel einer 174cm großen Person. Da kein einheitliches Protokoll vorlag, unterscheiden sich die einzelnen Sequenzen in ihrer Häufigkeit und technischen Parameter je nach Anatomie der Person.

3.4 Analyseverfahren

Die auszuwertenden Personen wurden in Syngo.via, einer Software der Firma Siemens®, aufgerufen und die Nierengefäße, Aorta, VCI, Beckenarterien sowie -venen und das Nierenparenchym analysiert.

Bei Unklarheiten wurde die Entscheidung im Konsensus mit der erfahrenen Radiologin Frau Ass. Prof.ⁱⁿ Dr.ⁱⁿ med. univ. Manuela Aschauer nach untenstehendem Schema getroffen (siehe Abb. 5).

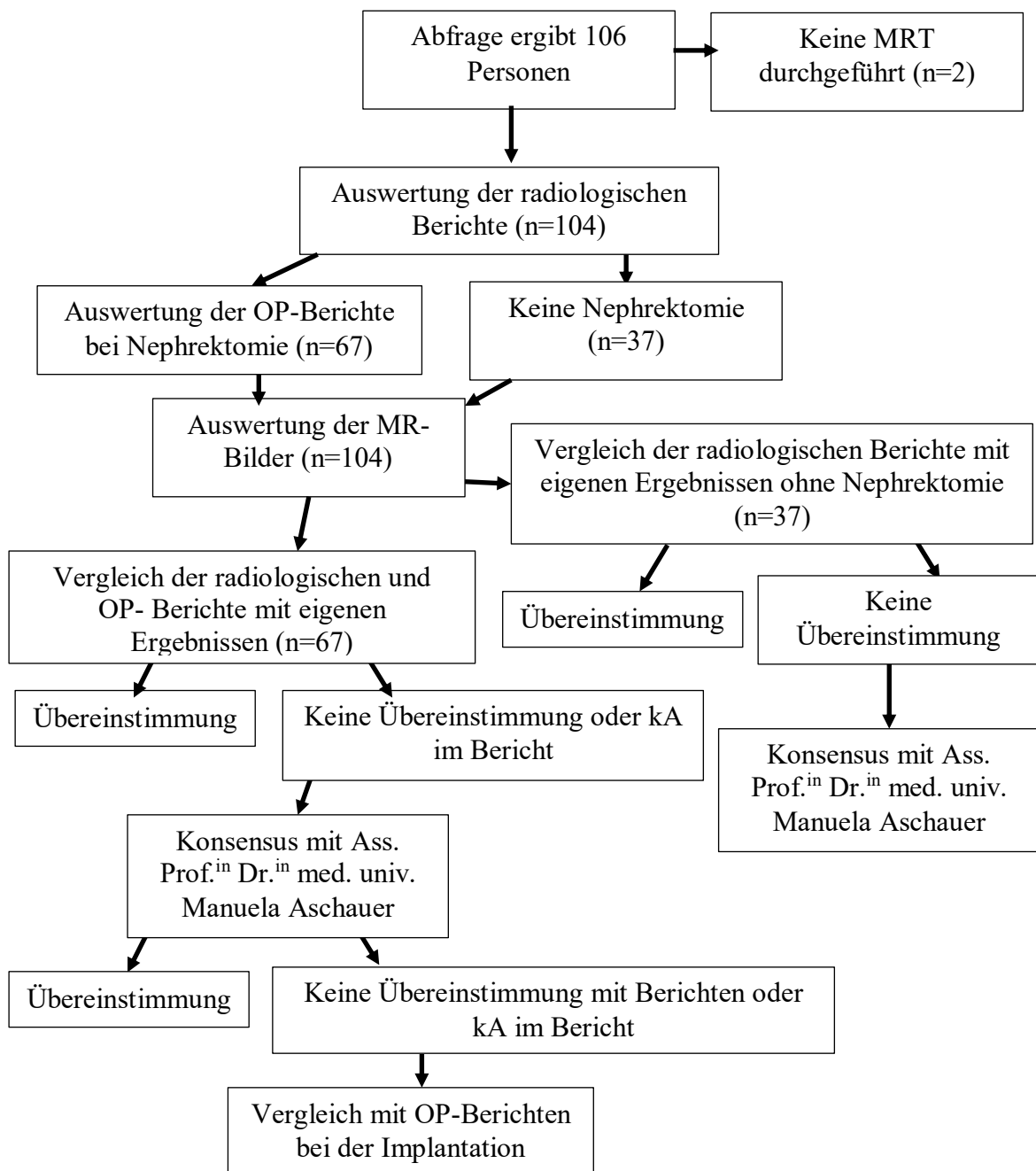


Abbildung 5: Schema zur Analyse der radiologischen Bilder und Berichte sowie OP-Berichte

Folgende Parameter wurden erhoben:

3.4.1 Nierenarterien

- Anzahl
- Verlauf der rechten Arterie in Bezug auf die VCI (dorsal/ventral)
- frühe Gabelung nach 1,5cm oder weniger (j/n) (13,17)
- Länge bis zur ersten Gabelung
- Durchmesser am Ursprung aus der Aorta
- Ursprung aus der Aorta in der Transversalebene (1/2/3)
- Entfernung des Ursprunges vom oberen Rand der AMS und Aorten-Bifurkation (bezogen auf den unteren Rand der Nierenarterien) in cm
- Ursprung in Bezug auf die Wirbelsäule
- Sonstige Besonderheiten

3.4.1.1 Beschreibung der Messungen

Betreffend die *Anzahl* der Nierenarterien wurden alle Gefäße gezählt, die einen separaten Ursprung (aus der Aorta) aufwiesen und die Niere versorgten.

Die *Längenmessung* der Gefäße erfolgte durch das Durchlegen einer Mittellinie in Syngo.via und die Anpassung dieser auf den Abstand zwischen Ursprung des Gefäßes und erstem Abgang eines Astes (siehe Abb. 6).

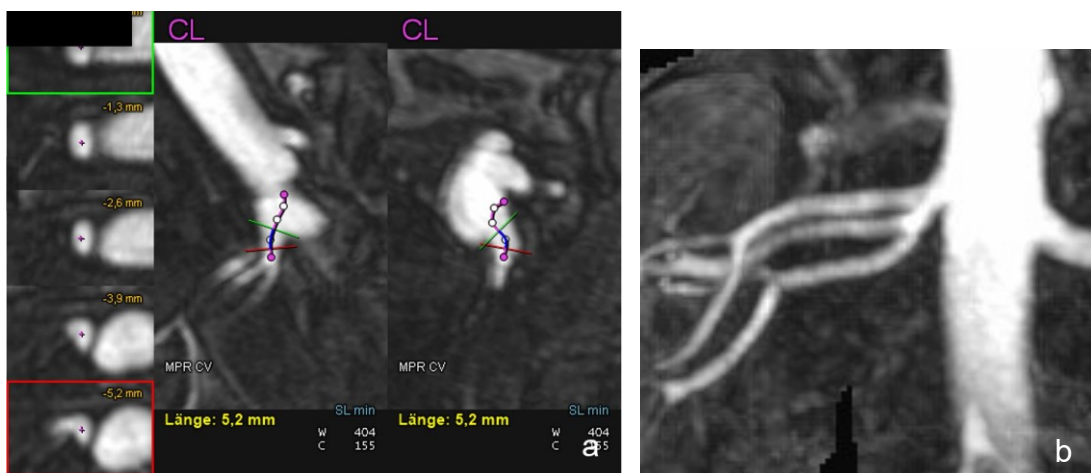


Abbildung 6: a) Längenmessung der Arterien am Beispiel einer frühen Gabelung nach 5,2mm. Die Mittellinie ist pink dargestellt, die tatsächlich vermessene Strecke blau. Aufgrund der bereits ersichtlichen frühen Gabelung wurde die Mittellinie nicht bis zur Niere hin durchgezogen. Während die grüne Markierung den Ursprung des Gefäßes aus der Aorta kennzeichnet, liegt die rote Markierung am Abgang des ersten Astes. b) 3D-Rekonstruktion desselben Gefäßes.

Die *frühe Gabelung* wurde nach einer Rücksprache mit Frau Dr.ⁱⁿ med. univ. Judith Kahn von der Transplantationschirurgie der Medizinischen Universität Graz/LKH definiert. Die Definition deckt sich mit der bereits im Kapitel „2.2 Anomalien der Nieren und Nierengefäße“ angegebenen. (13,17) Ein Beispiel einer vermessenen frühen Gabelung findet sich in Abb. 6.

Die Erhebung des *Durchmessers* erfolgte ebenso mithilfe der Mittellinie und vom Programm ausgerechneten Kontur des Umfanges (D eff Fläche) möglichst nahe am Ursprung der Arterien aus der Aorta (siehe Abb. 7).

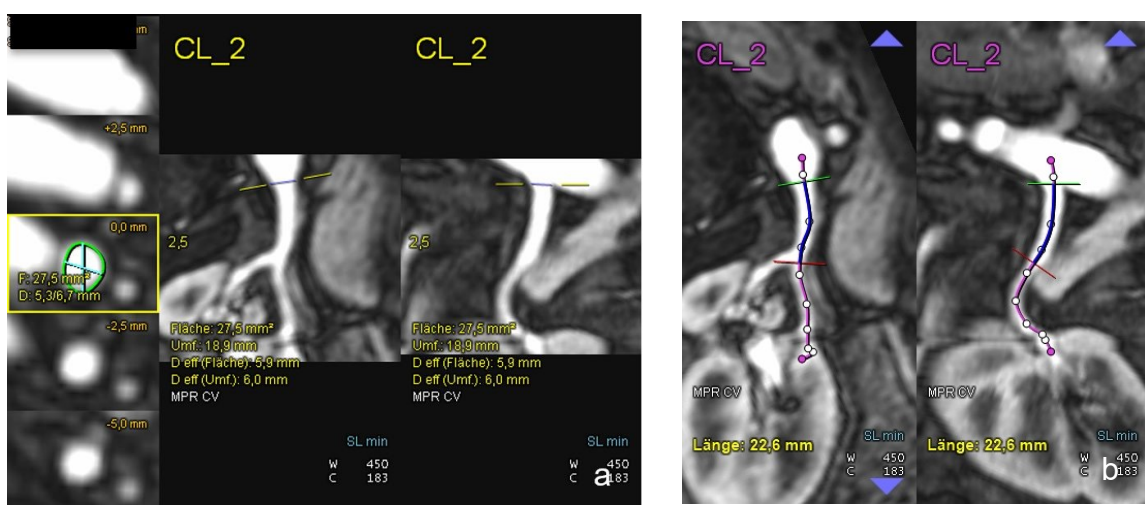


Abbildung 7: a) Erhebung des Durchmessers einer Arterie. Die Mittellinie ist ausgeblendet und entspricht der pinken Linie der Längenmessung in b). Die gelb-blau-gelbe Linie kennzeichnet den Messpunkt, das grüne Oval zeigt den Umfang der Arterie an.

Die *Entfernung des unteren Randes des Arterienursprunges* aus der Aorta vom oberen Rand der AMS und der Aorten-Bifurkation wurde mit einer Mittellinie durch die Aorta erhoben (siehe Abb. 8). Der Abstand aller Nierenarterien wurde einzeln vermessen.

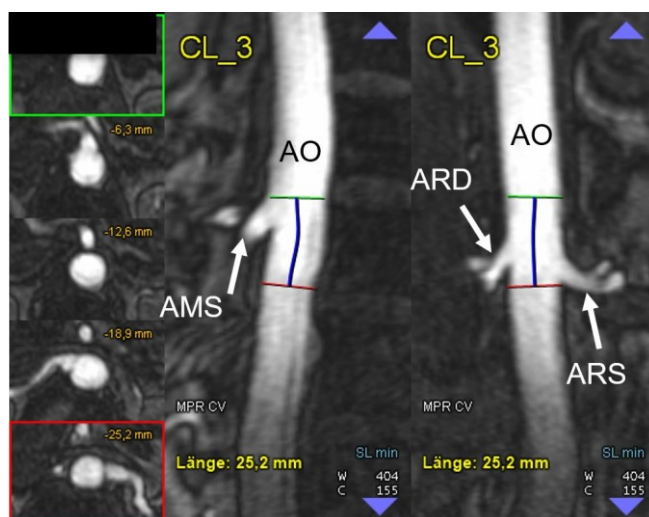


Abbildung 8: Vermessung des Abstandes zwischen Oberrand der AMS (grüne Markierung) und dem Unterrand einer linken Nierenarterie (ARS, rote Markierung). Die blaue Linie kennzeichnet den vermessenen Abstand der Mittellinie durch die Aorta. Rechte Nierenarterie (ARD)

Der *Ursprung der Arterien* aus der Aorta in der *Transversalebene* wurde dadurch dargestellt, dass der Querschnitt der Aorta in 4 gleich große Bereiche unterteilt und diese mit den Zahlen 1-3 (Abschnitt 2 rechts und links) bezeichnet wurden (siehe Abb. 9).

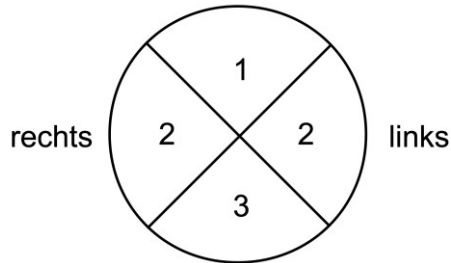


Abbildung 9: Skizze zur Unterteilung des Querschnittes der Aorta in 4 Bereiche zur Einteilung des Arterienursprunges.

Die *Wirbelkörper* wurden in Oberrand, Mitte, Unterrand sowie Bandscheiben unterteilt, um den Bezug der Arterien zu diesen darzustellen (siehe Abb. 10).

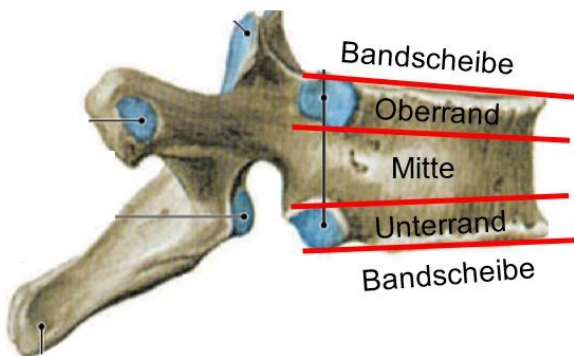


Abbildung 10: Schematische Darstellung der Unterteilung eines Wirbelkörpers zur Einteilung des Arterienursprunges. Modifiziert nach Anderhuber F, Pera F, Streicher J, editors. *Waldeyer - Anatomie des Menschen: Lehrbuch und Atlas in einem Band. 19th ed.* Berlin/Boston: Walter de Gruyter GmbH & Co.KG; 2012. p.120

3.4.2 Nierenvenen

- Phase der MRA / MRV, die zur Auswertung der Venen herangezogen wurde (1/2/3/4)
- Anzahl
- Verlauf der linken Vene in Bezug zur Aorta (prä-, retroaortal, Ringbildung)
- Länge des gemeinsamen Venenstammes
- späte Konfluenz der Nierenvenen 1,5cm vor der VCI rechts oder 1,5cm vor dem linken Rand der Aorta links (j/n) (18)
- falls zutreffend, Entfernung der Konfluenz vom Nierenhilus
- Insuffizienz der V.ovarica / testicularis sinistra (j/n)
- Sonstige Besonderheiten

3.4.2.1 Beschreibung der Messungen

Die *Anzahl* der Nierenvenen ergibt sich aus der Anzahl der Venen, die in die VCI oder Beckenvenen einmünden, nachdem sie sich als Stamm aus den aus der Niere austretenden venösen Gefäßen zusammengesetzt haben.

Die *Längenmessung* des Venenstammes erfolgte auch hier mithilfe der Mittellinie, wobei der Abstand zwischen Konfluenz der Äste und Eintritt in die VCI bzw. erneuter Trennung in zwei Äste herangenommen wurde (siehe Abb. 11).

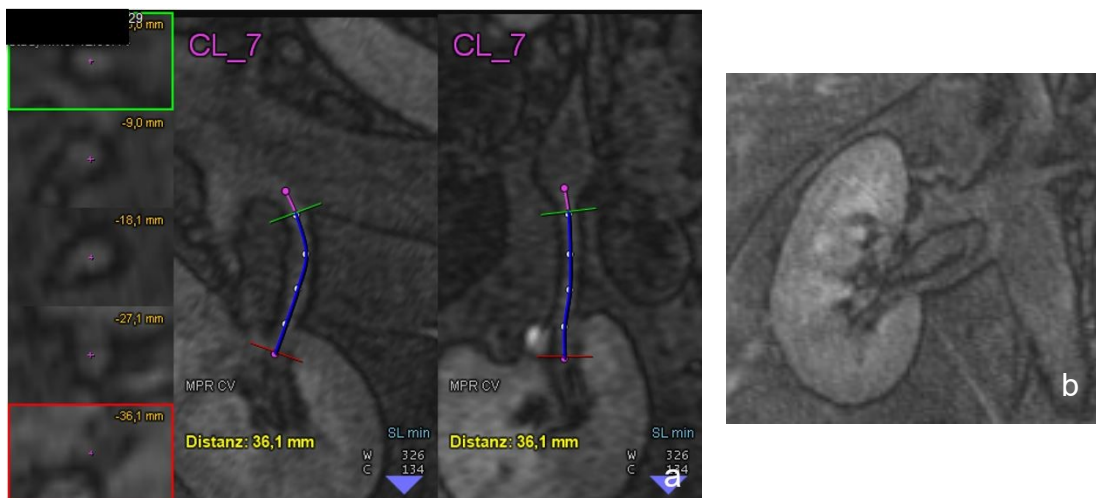


Abbildung 11: a) Längenmessung der Venen am Beispiel einer rechten Nierenvene. Die Mittellinie ist pink dargestellt, die tatsächlich vermessene Strecke blau. Während die grüne Markierung den Eintritt in die VCI kennzeichnet, liegt die rote Markierung am Zusammenfluss der Vene zu einem gemeinsamen Stamm. b) die rechte Niere präsentiert sich in der Angiographie mit zwei Venen (VR)

Die *späte Konfluenz* der Nierenvenen wurde nach einer Rücksprache mit Frau Dr.ⁱⁿ med. univ. Judith Kahn von der Transplantationschirurgie der Medizinischen Universität Graz/LKH definiert. Die Definition deckt sich mit der bereits im Kapitel „2.2 Anomalien der Nieren und Nierengefäße“ angegebenen. (18)



Die *Entfernung zwischen Konfluenz und Nierenhilus* im Falle eines späten Zusammenflusses erfolgte ausschließlich mit einer manuellen Distanzmessung (siehe Abb. 12). Ebenso die *Entfernung der Konfluenz der linken Nierenvene vom linken Rand der Aorta*.

Abbildung 12: Manuelle Messung zwischen später Konfluenz einer Nierenvene und Nierenhilus am Quellbild.

3.4.3 Parenchym

- Nierenzysten (Seite, Größe, parenchymal / parahilär / kortikal mit exophytischer Komponente, Bosniak-Klassifikation)
- Vorliegen von Infarkten, Narben, Nekrosen (j/n)
- Renkulzeichnung der Nieren (j/n)
- Größe (kraniokaudal, sagittal, transversal)
- Sonstige Besonderheiten

3.4.3.1 Beschreibung der Messungen

Die *Größenmessung der Nieren* (siehe Abb. 13) sowie des maximalen Durchmessers potenzieller *Zysten* (siehe Abb. 14) erfolgte ausschließlich mittels manueller Distanzmessung. Die Zysten wurden nach Bosniak klassifiziert und ihrer jeweiligen Lokalisation zugeteilt.

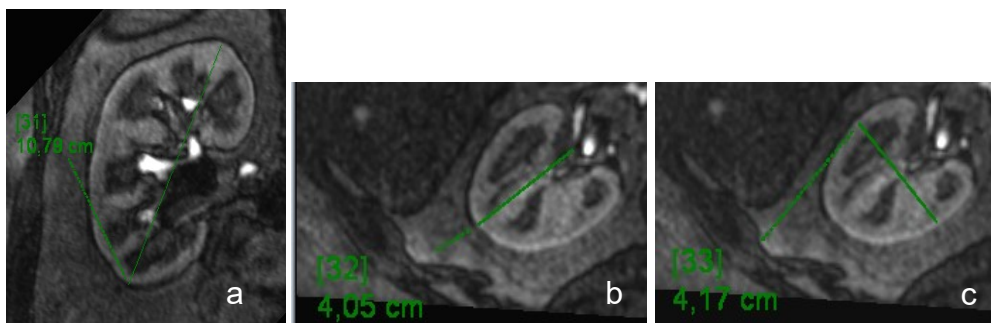


Abbildung 13: Größenmessung einer rechten Niere. a) kraniokaudal b) transversal c) sagittal in der Flash 3D

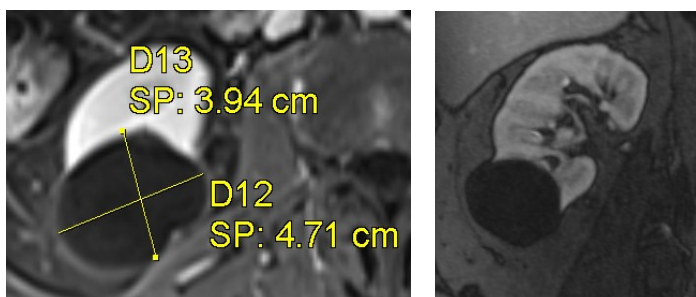


Abbildung 14: Simple kortikale Zyste mit exophytischem Anteil der rechten Niere. Die Wand nimmt kein Kontrastmittel auf.

3.4.4 Aorta, VCI, Beckenarterien

- Durchmesser der Aorta auf Höhe der Bifurkation, Nierenarterien und Truncus coeliacus
- Durchmesser der VCI auf Höhe der Konfluenz, Nierenvenen und Pfortader
- Länge der beiden Beckenarterien

3.4.4.1 Beschreibung der Messungen

Der *Durchmesser der Aorta* auf dem Niveau der Nierenarterien erfolgte mithilfe der Mittellinie und berechneter Kontur (D eff Fläche) am Oberrand des Ursprunges der kranialsten Nierenarterie bzw. am Oberrand der kranialsten und kaudalsten Arterie, sollte der Abstand zwischen diesen 1,5cm oder mehr betragen (siehe Abb. 15). Die Messung auf Höhe des Truncus coeliacus erfolgte ebenso an dessen Oberrand. Außerdem wurde die Aorta auf der Höhe der Aorten-Bifurkation vermessen.

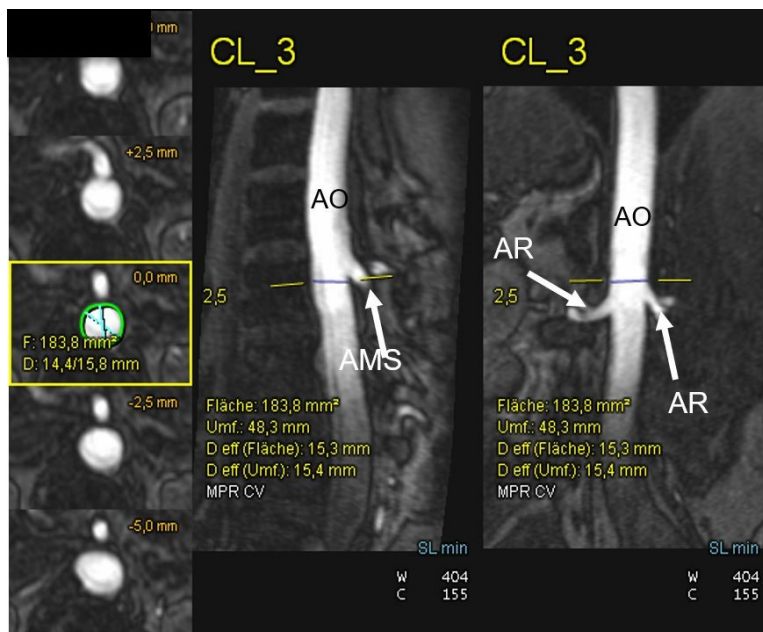


Abbildung 15: Vermessung des Aortendurchmessers am Oberrand der kranialsten Nierenarterie. Die gelbblaue Linie kennzeichnet den Messpunkt, das grüne Oval zeigt den Umfang der Aorta an. Die Mittellinie ist ausgeblendet. Nierenarterien (AR)

Die Konfluenz der *VCI* wurde an der Stelle angenommen, an der die Beckenvenen erstmalig ein gemeinsames Gefäß bilden. Für die Höhe der Nierenvenen wurde genauso das Niveau am Eintritt des Oberrandes der kranialsten Vene angenommen, es sei denn, diese liegen 1,5cm oder mehr voneinander entfernt. In diesem Fall erfolgten zwei Messungen. Die letzte Messung erfolgte auf der Höhe, auf der die Pfortader die VCI in der transversalen Ansicht zu kreuzen scheint.

Da die VCI in manchen Aufnahmen vom automatischen Programm im Kontrast zum umgebenen Gewebe nicht erkannt wurde, sehr wohl aber mit freiem Auge, musste auf die Benutzung der Mittellinie verzichtet werden. Die Messung erfolgte stattdessen mithilfe von Distanzlinien manuell in zwei Richtungen (breitester/dünnster Durchmesser) wie in Abb. 16.

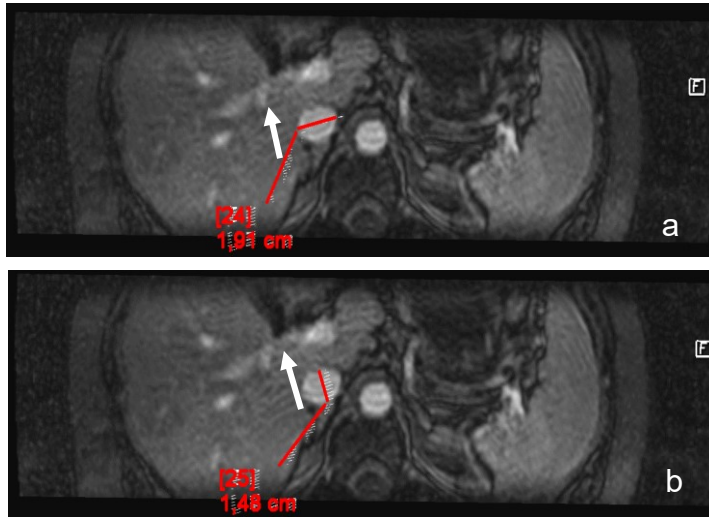


Abbildung 16: Manuelle Vermessung des VCI-Durchmessers auf der Höhe der Pfortader (Pfeil) in zwei Richtungen.

Die Länge der Beckenarterien hingegen konnte unter Zuhilfenahme der Mittellinie vermessen werden (siehe Abb. 17). Hier diente der Abstand zwischen der Aorten-Bifurkation und der Aufzweigung der jeweiligen A. iliaca communis als Grundlage.

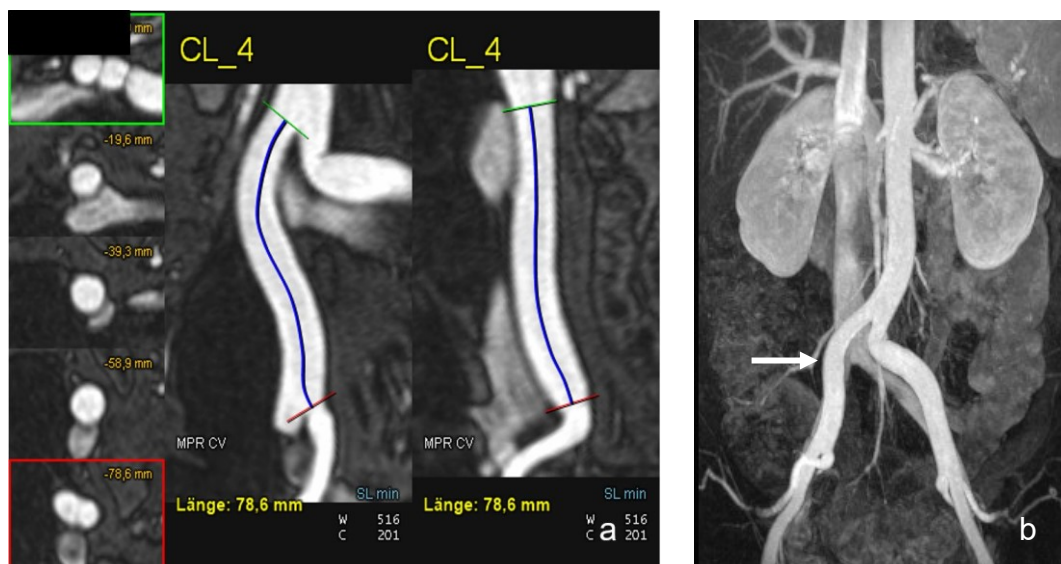


Abbildung 17: a) Längenmessung einer rechten Beckenarterie. Die blaue Linie kennzeichnet den tatsächlich vermessenen Abschnitt der Mittellinie. Die grüne Markierung liegt an der Aorten-Bifurkation, die rote an der Aufzweigung der Beckenarterie. b) 3D-Rekonstruktion

3.4.5 Berechnung der Körperoberfläche

Die Körperoberfläche (BSA) wurde nach der Formel von Mosteller RD (31) berechnet und ist in Formel 1 abgebildet.

$$BSA (m^2) = \sqrt{\frac{Ht (cm) \times Wt (kg)}{3600}}$$

Formel 1: Berechnung der Körperoberfläche nach Mosteller RD von 1987 (31);

BSA = Körperoberfläche

Ht = Körpergröße

Wt = Körpergewicht

3.4.6 OP- und radiologische Berichte

- Körperseite der entnommenen Niere (li/re) bzw. „Keine OP“
- Anzahl der Nierenarterien und -venen
- Falls beschrieben: frühe Gabelung der Arterien, später Zusammenfluss der Venen, Verlauf der Gefäße, Parenchymläsionen, paravertebrale Verbindungen
- Beschriebene Besonderheiten

3.4.6.1 Beschreibung der Erhebung

Die *Anzahl* der Gefäße wurde den Berichten entnommen. Sollte nicht explizit von einer singulären Arterie oder Vene gesprochen worden sein, der Text sich aber immer wieder auf „die Arterie“ und „die Vene“ in der Einzahl beziehen, wird eine singuläre Versorgung der jeweiligen Niere angenommen.

Da die Nierenvenen in manchen radiologischen Berichten nicht erwähnt wurden, wurde in solch einem Fall davon ausgegangen, dass eine Vene vorliegen muss. Wurden im OP-Bericht oder retrospektiv zusätzliche Venen gefunden, handelt es sich um eine Uneinigkeit mit dem radiologischen Ausgangsbefund und es wurde nach dem Schema in Abb. 5 weiter vorgegangen.

3.4.7 Intraobservervariabilität

Nach mehreren Wochen wurden fünf Personen mit einer zufälligen Anzahl an Nierenarterien, -venen, Anomalien etc. stichprobenartig ausgewählt und erneut vermessen, um etwaige Intraobservervariabilität nachzuweisen. Die Ergebnisse wurden in der Tabelle 4 zusammengefasst.

Bezeichnung	Verglichene Wertepaare	Mittelwert der Abweichung (mm)	95% KI (mm)	Min. (mm)	Max. (mm)
<i>Nierenarterien</i>					
Länge	11	-0,12	[-0,35; 0,12]	-0,7	0,5
Durchmesser	11	0,05	[-0,02; 0,13]	-0,1	0,3
Abstand zur AMS	11	-0,22	[-0,49; 0,05]	-0,8	0,8
Abstand zur Bifurkation	11	0,02	[-0,30; 0,33]	-0,8	0,8
<i>Nierenvenen</i>					
Länge	11	0,15	[-0,08; 0,38]	-0,5	0,7
Abstand Konfluenz/Hilus	2	0	nicht sinnvoll	-0,3	0,3
<i>Aorta, Beckenarterien, VCI</i>					
Aortendurchmesser	16	-0,4	[-0,19; 0,11]	-0,7	2,5
Länge Beckenarterien	10	0,86	[0,09; 1,63]	-1,7	2,5
Durchmesser VCI	38	0,22	[0,04; 0,40]	-1,6	1,5
<i>Parenchym</i>					
Zysten	2	0	nicht sinnvoll	0	0
Niere kraniokaudal	10	-0,05	[-0,08; 0,07]	-2,1	1,8
Niere sagittal	10	0,06	[-0,06; 0,07]	-1,3	2,3
Niere transversal	10	0,48	[-0,01; 0,10]	-0,6	1,7

Tabelle 4: Erhebung der Intraobservervariabilität an fünf zufällig ausgewählten Personen. Mittelwert und KI auf zwei Dezimalstellen gerundet

3.5 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung der Ergebnisse erfolgte mittels Excel 2019. Es wurden absolute und relative Häufigkeiten, Durchschnitte, Standardabweichungen, Quartilen, Minimal- und Maximalwerte sowie Konfidenzintervalle berechnet.

4 Ergebnisse – Resultate

4.1 Anatomie und Anomalien der Nierenarterien

4.1.1 Anzahl und Verlauf

Die 104 potenziellen Spenderinnen und Spender zeigten retrospektiv in 82 (79%) Fällen singuläre, 21 (20%) Fällen doppelte und 1 (1%) Fall dreifache arterielle Versorgungen der rechten Niere. Links lagen singuläre Nierenarterien bei 84 (81%) Personen vor sowie doppelte bei 18 (17%), dreifache bei 1 (1%) und seltene vierfache bei 1 (1%) Person.

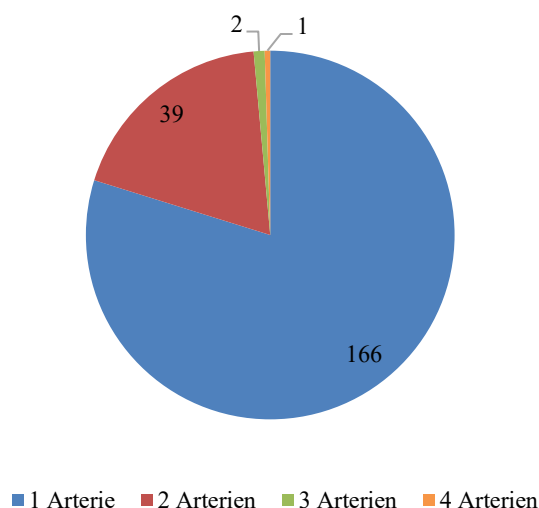


Abbildung 18: Anzahl an Nierenarterien bezogen auf die gesamten, analysierten Nieren. Insgesamt machten die Fälle multipler Gefäßversorgung 20% aller 208 analysierten Nieren aus.

Bei den zusätzlichen Arterien beider Seiten handelte es sich öfter um akzessorische Hilusgefäße (37; 80%) als Polararterien, die direkt in das Parenchym mündeten (9; 20%). Eine Person wies beidseits eine inkomplette Doppelnieren auf, deren doppelte arterielle

Versorgung beider Nieren jeweils separat in einen zweiten Hilus mündeten und als akzessorische Gefäße klassifiziert wurden. (siehe Abb. 22).

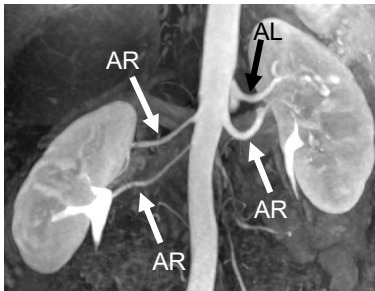


Abbildung 19: Rechte Niere mit doppelter arterieller Versorgung durch ein zusätzliches akzessorisches Gefäß - die Arterien entspringen separat voneinander aus der Aorta und treten durch den Hilus ein; A. renalis (AR), A. lienalis (AL), 3D-Rekonstruktion

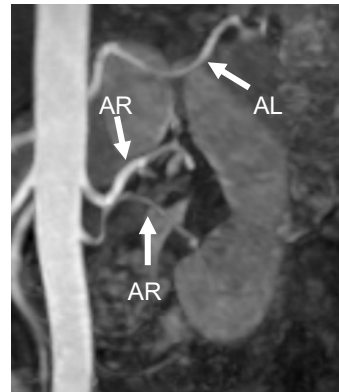


Abbildung 20: Linke Niere mit doppelter arterieller Versorgung durch ein akzessorisches Gefäß zum unteren Hilus. A. renalis (AR), A. lienalis (AL). MIP



Abbildung 21: MPR Aufnahme einer unteren Polararterie der rechten Niere.

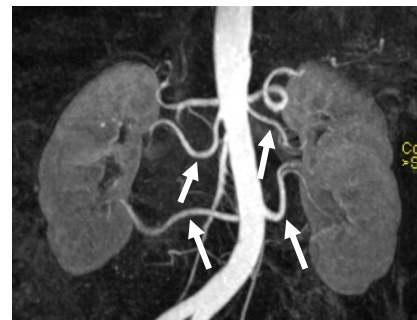


Abbildung 22: Die inkompletten Doppelnieren einer potentiellen Spenderin weisen zwei separate Hili und zwei separate arterielle Gefäßversorgungen pro Seite auf (Pfeile).

Trotz der großen Anzahl an zusätzlichen Gefäßen verliefen lediglich 5 Nierenarterien der rechten Körperseite unserer potenziellen Spenderinnen und Spender ventral der VCI (siehe Abb. 23). Die übrigen nahmen den regulären Verlauf dorsal der VCI.

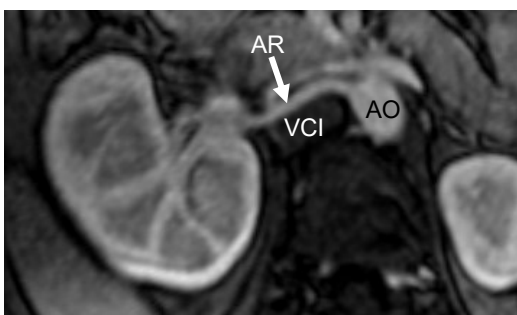


Abbildung 23: Beispiel einer ventral der VCI verlaufenden Nierenarterie (AR). Die Person weist noch eine weitere Arterie zur rechten Niere auf, die jedoch weiter kranial und dorsal der VCI verläuft. Transversale Ansicht, MPR

4.1.2 Länge, frühe Gabelung und Durchmesser

Eine frühe Gabelung wie in der Abbildung 24 wurde in 9 (7%) der 127 rechten Nierenarterien sowie in 10 (8%) der 127 linken Nierenarterien gefunden. Durchschnittlich geschah diese nach 0,96cm.

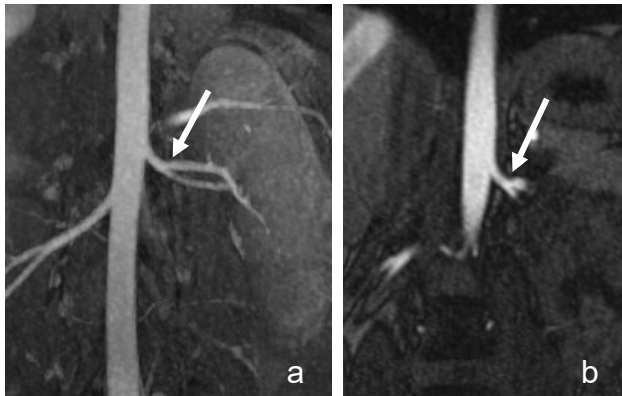


Abbildung 24: Frühe Gabelung einer linken Nierenarterie nach nur 1,2cm. Das Gefäß entspringt zunächst als singuläre Arterie aus der Aorta, um sich danach frühzeitig in zwei Äste aufzuteilen. a) 3D-Rekonstruktion, b) Quellbild

Während sich die 127 Arterien der rechten Seite im Durchschnitt nach 4,19cm in ihre Lobaräste teilen oder den ersten Ast abgeben, erfolgt dies auf der linken Seite im Durchschnitt nach 3,55cm. Aufgrund der näheren anatomischen Lage der linken Niere an der Aorta sind auch die Arterien dieser Seite im Durchschnitt etwas kürzer als die der rechten Seite. Die rechte Niere zeigte in einem Fall jedoch einen Ausreißer mit einer extrem frühen Gabelung nach nur 0,27cm, wie in Abb. 25 sichtbar ist.

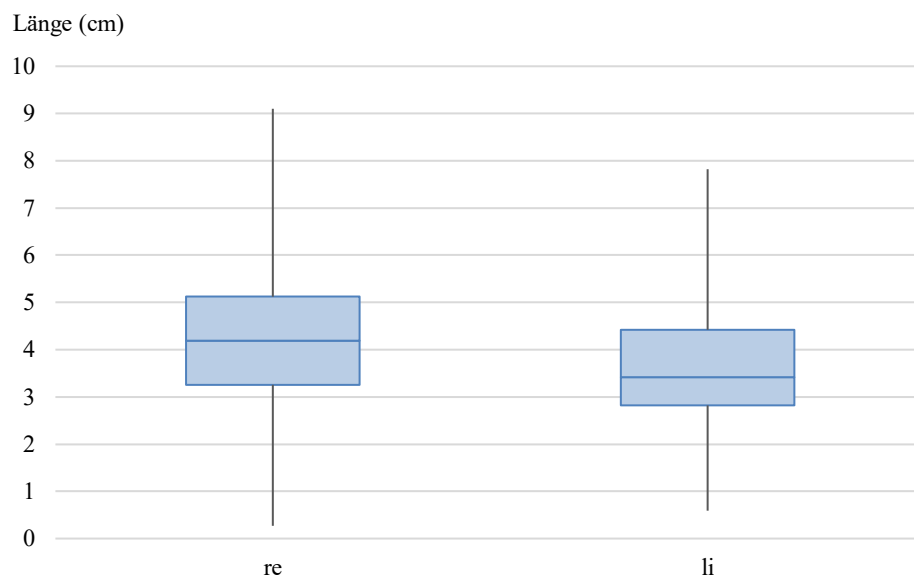


Abbildung 25: Boxplot der Länge aller Nierenarterien bis zur ersten Aufzweigung je nach Körperseite. Frühe Gabelungen sind miteingeschlossen. Beide Seiten weisen deutliche Ausreißer nach oben und unten auf.

Am Ursprung der Nierenarterien aus der Aorta beträgt deren Gefäßdurchmesser auf der rechten Seite im Mittel 5,5mm und auf der linken 6mm (siehe Abb. 26).

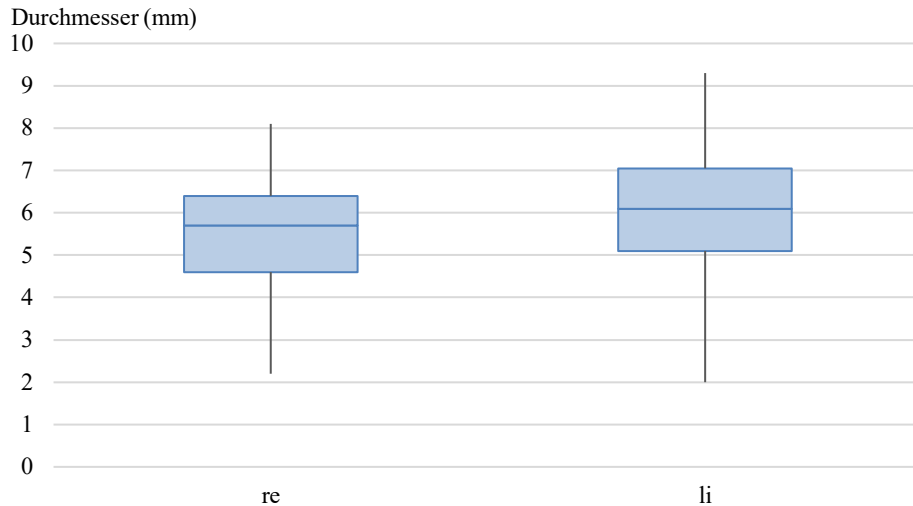


Abbildung 26: Durchmesser aller 127 Nierenarterien pro Seite rechts und links unabhängig von singulärer oder multipler arterieller Versorgung. Beide Seiten weisen deutliche Ausreißer nach oben und unten auf.

Jene Nieren, die eine multiple Gefäßversorgung einer Seite aufweisen, besitzen im Durchschnitt schmalkalibrigere Arterien auf derselben Seite (4,4mm re.; 4,6mm li.) als Nieren mit einer singulären Arterie (5,9mm re.; 6,6mm li., siehe Tabelle 5).

Art der Gefäßversorgung (Anzahl der Arterien)	Rechte Seite			Linke Seite		
	Singulär + multipel (127)	Singulär (82)	Multipl (45)	Singulär + multipel (127)	Singulär (84)	Multipl (43)
Durchschnitt Durchmesser (mm)	5,5	5,9	4,4	6	6,6	4,6
95% KI	[5,2; 10,7]	[5,7; 6,2]	[4,0; 4,9]	[5,6; 6,5]	[6,4; 6,9]	[4,1; 5,0]
Min. (mm)	2,2	4,2	2,2	2	4,7	2
Max. (mm)	8,1	8,1	7,8	9,3	9,3	7,9

Tabelle 5: Durchmesser der Nierenarterien am Ursprung aus der Aorta der linken und rechten Nieren nach Art der Gefäßversorgung. Mittelwerte und KI auf eine Dezimalstelle gerundet.

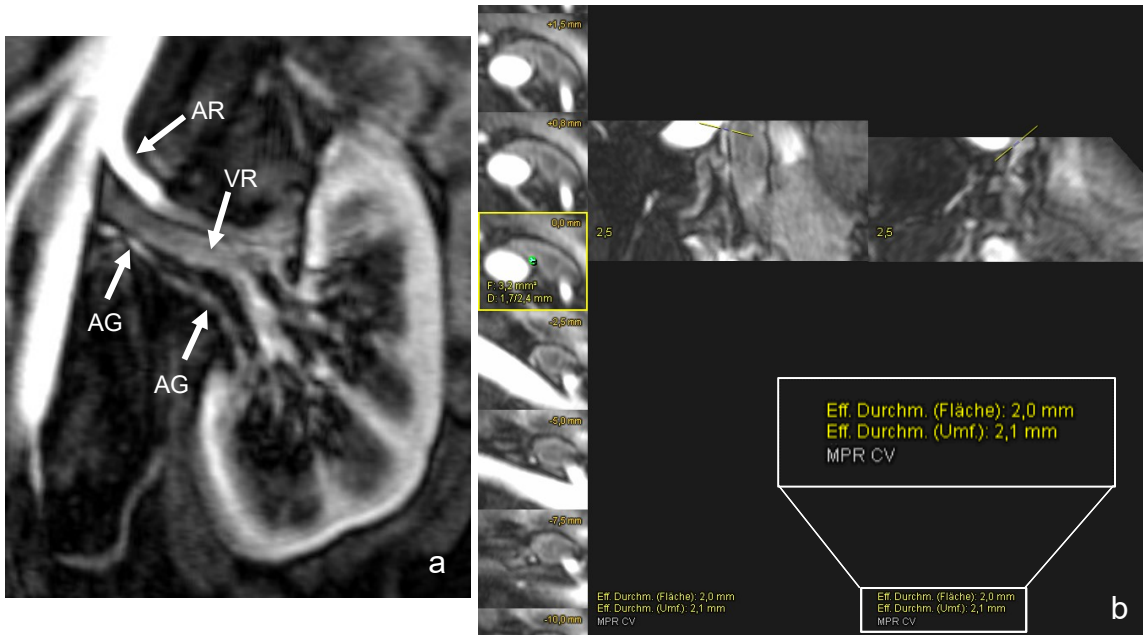


Abbildung 27: a) Die dünnste Nierenarterie mit 2mm in der MPR der Angiographie. Es handelt sich um ein akzessorisches Gefäß (AG). Nierenarterie (AR), Nierenvene (VR) b) Messung; Darstellung der Werte zur besseren Lesbarkeit nachträglich vergrößert

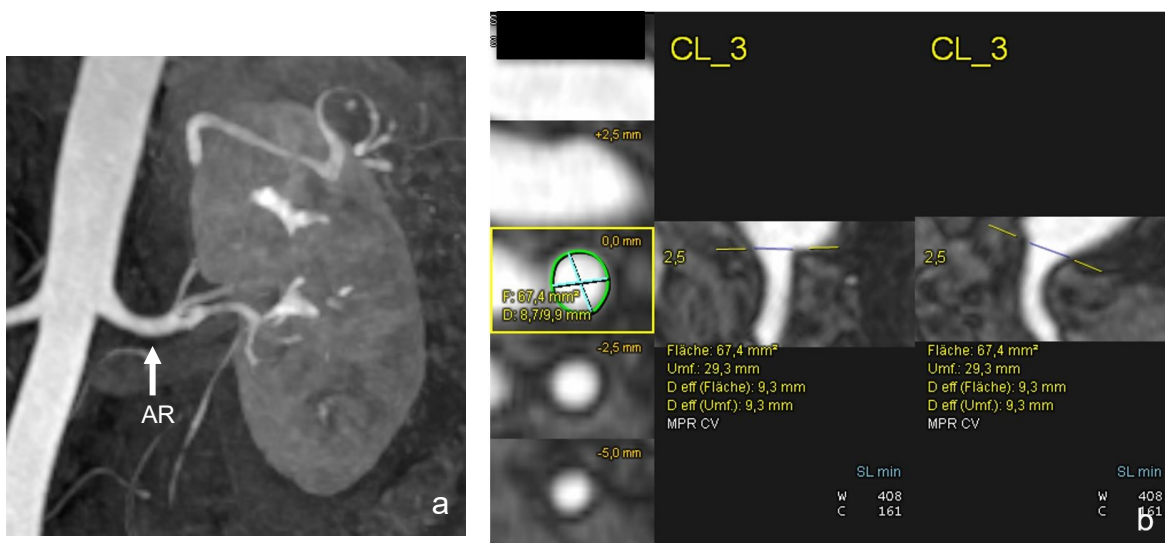


Abbildung 28: a) Die dickste Nierenarterie (AR) mit 9,3mm in der MIP der Angiographie. b) Messung der singulären arteriellen Versorgung links.

4.1.3 Ursprung aus der Aorta

Der Ursprung der 127 Arterien pro Seite projiziert auf die Wirbelsäule ist aus der Abb. 29 abzulesen. Während auf der linken Seite beinahe 50% aller Arterien auf der Höhe der Bandscheibe L1/2 oder dem Unterrand L1 entspringen, bilden auf der rechten Seite die von der Höhe der Mitte L1 und Unterrand L1 entspringenden Arterien die größte Gruppe.

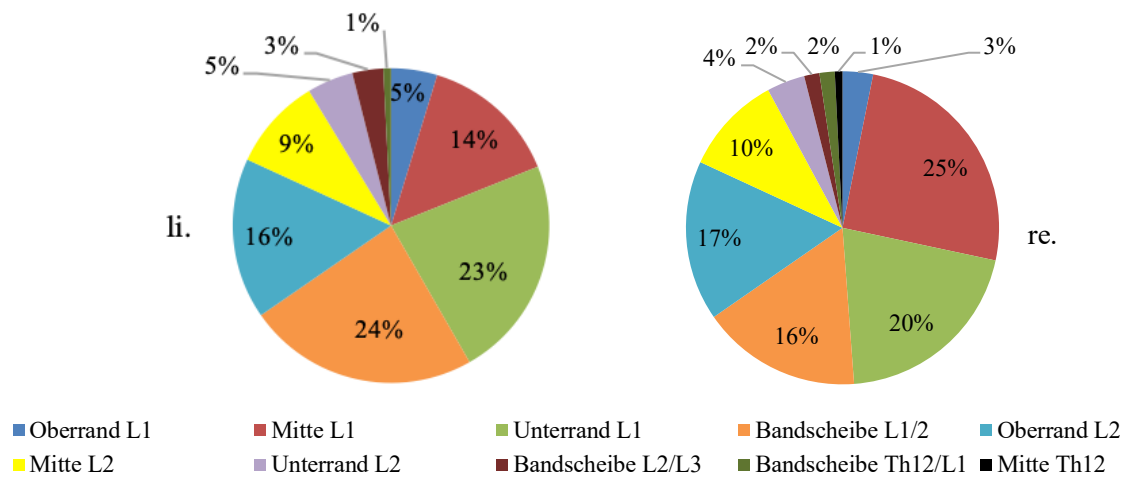


Abbildung 29: Projektion aller Nierenarterien beider Seiten auf die Wirbelsäule. Der größte Teil der Arterien entspringt orthotop auf der Höhe des ersten und zweiten LWKs (96% li.; 95% re.).

Teilt man die Aorta in der Transversalebene in vier gleich große Teile und nummeriert diese von 1-3 wie in Abb. 9, so entspringen unabhängig von der Körperseite 230 (91%) der insgesamt 254 ausgewerteten Nierenarterien aus den beiden Segmenten mit der Nummer 2. Nur 24 (9%) der Arterien entspringen weiter ventral im Segment 1 aus der Aorta. Keiner der Ursprünge liegt im Segment 3.

22 (92%) der ventral entspringenden Arterien ziehen zur rechten Niere, nur 2 (8%) zur linken. Am häufigsten treten ventral gelegene Ursprünge bei multipler arterieller Versorgung einer Niere auf. Nur 6 (25%) der Arterien im Segment 1 sind singular.

Der Abstand des unteren Randes der Nierenarterien am Ursprung aus der Aorta zum oberen Rand der AMS beträgt im Durchschnitt 24,8mm auf der rechten (n=127) und 26,9mm auf der linken (n=127) Seite. Die Arterien der rechten Niere entspringen somit meistens etwas kranialer aus der Aorta als die der linken, wobei der minimale Abstand auf der rechten Seite 3,8mm, der maximale 83,8mm sowie die Standardabweichung 11,3mm messen. Auf der linken Seite betragen diese Werte minimal 5,7mm, maximal 82,4mm sowie in der Standardabweichung 11,4mm.

Dabei gibt es einen Unterschied zwischen den Hauptarterien beider Seiten und deren akzessorischen und Polgefäßen. Die Hauptarterien auf der rechten Seite (n=104) entspringen durchschnittlich 22,9mm kaudal der AMS, die zusätzlichen Arterien (n=23) sogar 33,2mm. Links beträgt der Abstand zu den Hauptarterien (n=104) 25,8mm, zu den zusätzlichen Arterien (n=23) im Durchschnitt 32,3mm. Die akzessorischen und Polgefäße entspringen im Mittel also besonders auf der rechten Seite bedeutend kaudaler aus der Aorta als die Hauptarterien.

Der Abstand des unteren Randes der Nierenarterien am Ursprung aus der Aorta zum periphersten Punkt der Aortenbifurkation beträgt im Durchschnitt 96,2mm auf der rechten Seite (n=127) und 94,0mm auf der linken (n=127), wobei der minimale Abstand auf der rechten Seite 58,2mm, der maximale 126mm sowie die Standardabweichung 15,8mm messen. Auf der linken Seite betragen diese Werte minimal 43,8mm, maximal 122,6mm sowie in der Standardabweichung 16,1mm.

Dabei gibt es analog zum Abstand von der AMS einen Unterschied zwischen den Hauptarterien beider Seiten und deren akzessorischen und Polgefäßen. Die Hauptarterien auf der rechten Seite (n=104) entspringen durchschnittlich 97,5mm kranial der Bifurkation, die zusätzlichen Arterien (n=23) nur 90,4mm. Links beträgt der Abstand zu den Hauptarterien (n=104) 95mm, zu den zusätzlichen Arterien (n=23) im Durchschnitt 89,3mm.

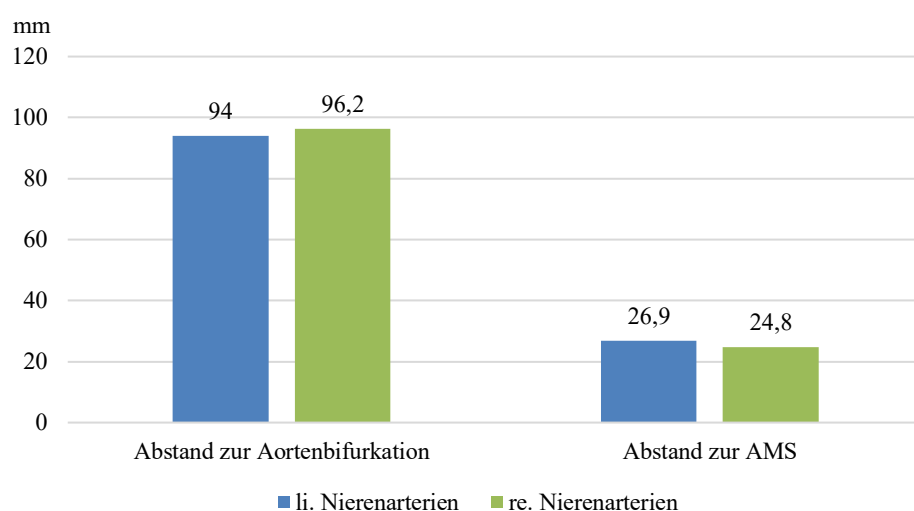


Abbildung 30: Grafische Darstellung zur Verdeutlichung der durchschnittlichen Abstände der Ursprünge aller Nierenarterien beider Körperseiten vom Ursprung der AMS und der Aortenbifurkation. Es wird erneut ersichtlich, dass die Arterien der rechten Seite im Mittel kranialer aus der Aorta entspringen. Die durchschnittliche Länge der Aorta zwischen dem oberen Rand der AMS und ihrer Bifurkation beträgt ungeachtet der Körpergröße der Personen im Durchschnitt 121mm.

4.1.4 Nebenbefunde

Tabelle 6 gibt eine Übersicht über die wichtigsten Nebenbefunde und Besonderheiten der Arterien aus den radiologischen Berichten und/oder der retrospektiven Auswertung.

Beschreibung	Anzahl (n=104)	Prozentueller Anteil
<i>Elongationen</i>		
Elongation der Beckenarterien	24	23%
Elongation der Aorta	22	21%
Elongation der Nierenarterien	2	2%
<i>Artherosklerosen, Kaliberunregelmäßigkeiten, Aneurysmen und Stenosen</i>		
Dunbarkonfiguration des Tr. Coeliacus (siehe Abb. 31)	18	17%
Kaliberunregelmäßigkeiten der Aorta	5	5%
Artherosklerose der Beckenarterien	5	5%
Stenose linke Nierenarterie	5	5%
Artherosklerose der Aorta	4	4%
Stenose der rechten Nierenarterie	2	2%
Kaliberunregelmäßigkeiten der linken Nierenarterie	2	2%
Kaliberunregelmäßigkeiten der rechten Nierenarterie	2	2%
Artherosklerose allgemein	2	2%
Stenose der linken Beckenarterie (siehe Abb. 32)	1	1%
Plaque der linken Beckenarterie	1	1%
Aneurysma der A. lienalis	1	1%
<i>Außergewöhnlicher Gefäßursprung</i>		
A. hepatica entspringt aus AMS	5	5%
A. gastroduodenalis entspringt aus Tr. coeliacus	1	1%
Akz. Leberarterie aus der AMS	1	1%
A. lienalis entspringt direkt aus Aorta	1	1%
<i>Andere</i>		
Tiefes rechts-ventrales penetrierendes Aortenulcus	1	1%

Tabelle 6: Nebenbefunde der auf den MRA-Aufnahmen abgebildeten Arterien aller 104 potenziellen Spenderinnen und Spender

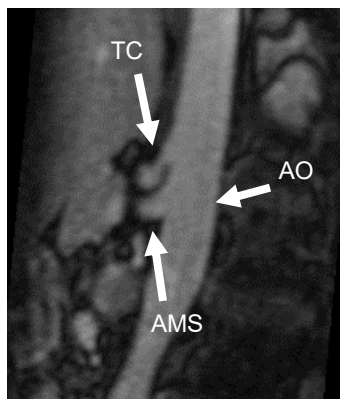


Abbildung 31: Dunbarkonfiguration des Truncus coeliacus (TC) in der MPR. Der durch das Zwerchfell verursachte Knick im Truncus wird sichtbar.



Abbildung 32: Stenose der linken Beckenarterie a) Messung. Die gelbe Markierung liegt an der Stenose, die rote am Vergleichswert. Bezogen auf die Fläche ergibt sich eine Stenose von 38% und bezogen auf den Durchmesser 21%. b) MIP

4.2 Anatomie und Anomalien der Nierenvenen

Die Nierenvenen waren in 60 von 104 Fällen (58%) in der 2. Kontrastmittelfase (venöse Phase) am besten kontrastiert und wurden deshalb in dieser ausgewertet. In 38 Fällen (37%) erfolgte die Auswertung in der 3. Phase, in 1 Fall (1%) in der 1. Phase und in 5 Fällen in der 4. (5%).

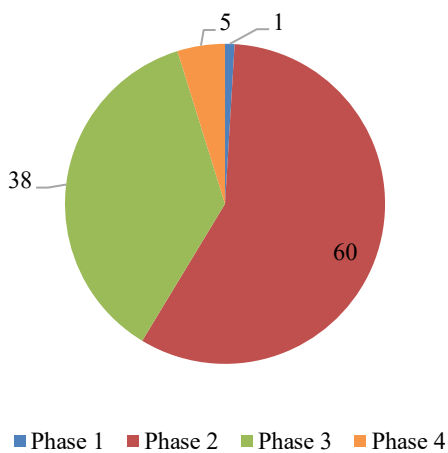


Abbildung 33: Anzahl der Fälle, in denen die jeweiligen Kontrastmittelfasen 1-4 aufgrund ihrer guten Kontrastierung zur Auswertung der Nierenvenen herangezogen wurden.

4.2.1 Anzahl und Verlauf

Die Venen der potenziellen Spenderinnen und Spender zeigten deutlich seltener ein multiples Vorkommen als deren Nierenarterien. Die 104 rechten Nieren wiesen in 93 (89%) Fällen eine singuläre Nierenvene auf. Lediglich bei 10 (10%) Personen konnte eine zweite Vene gefunden werden (siehe Abb. 35), in 1 (1%) Person sogar drei. Die linken Nieren wurden in allen 104 (100%) Fällen durch eine Vene drainiert.

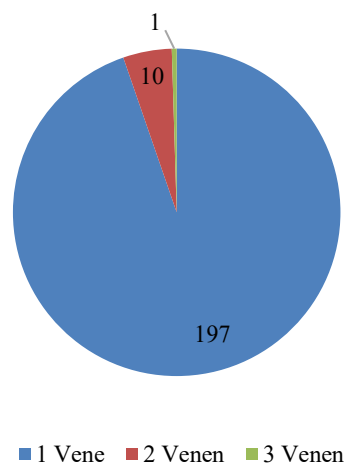


Abbildung 34: Anzahl an Nierenvenen bezogen auf die gesamten analysierten Nieren. Insgesamt machen alle Fälle multiplen Venenvorkommens 5% der 208 analysierten Nieren aus.

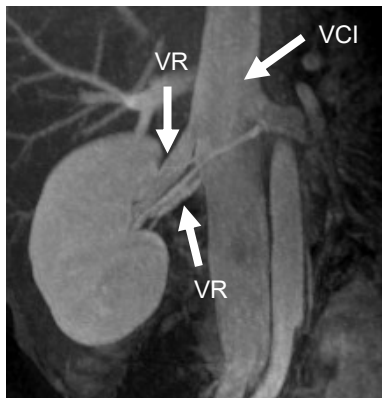


Abbildung 35: Rechte Niere mit zwei Vv. renales, die beide in die VCI münden

Als Sonderfall zeigten sich die linken Nierenvenen von zwei Personen, die sich nach einem kurzen gemeinsamen Stamm wieder in zwei separate Venen zu teilen schienen, ohne eine Ringbildung um die Aorta aufzuweisen. Diese wurden dennoch genauso wie ringbildende Venen mit einem kurzen Stamm zur Gruppe der singulären Venen gezählt, da der gemeinsame Stamm eindeutig vorhanden war (siehe Abb. 36).

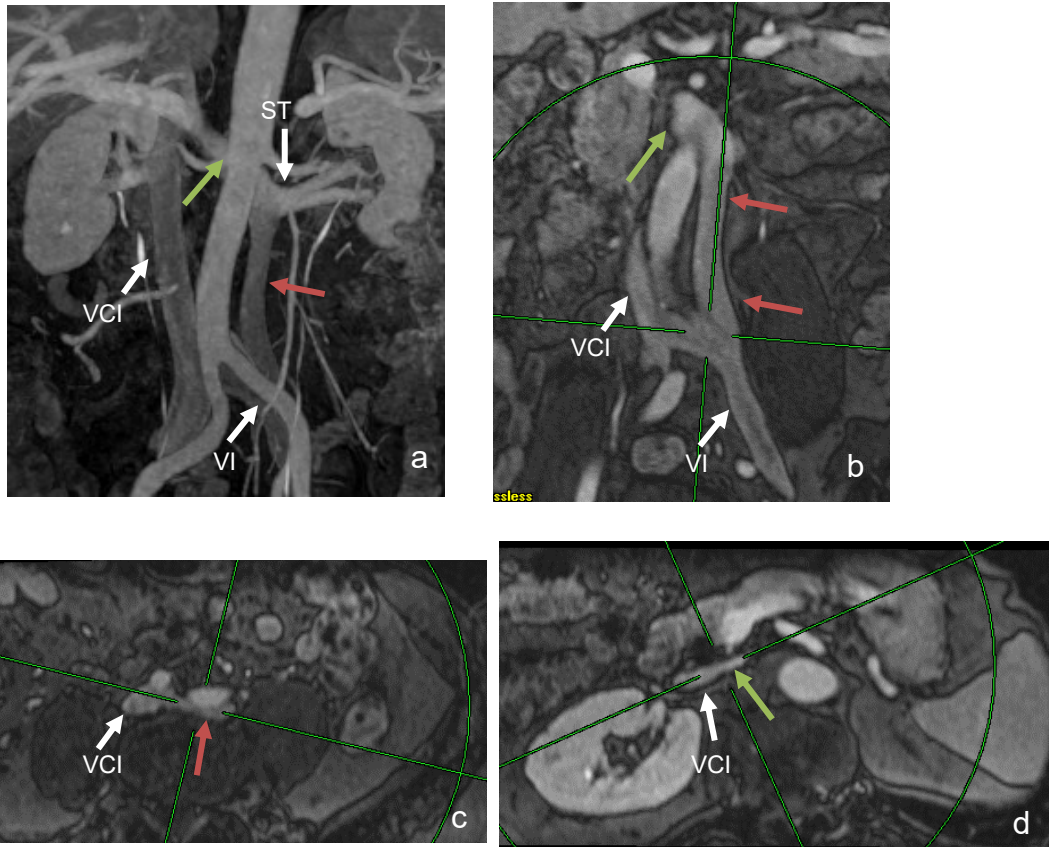


Abbildung 36: Nach einem gemeinsamen Stamm von nur 16,3mm (ST) kommt es an der linken Nierenvene zur erneuten Aufzweigung. Ein Ast verläuft regulär präaortal (grüner Pfeil) bis zur VCI, der andere (roter Pfeil) mündet in die V. iliaca communis sinistra (VI). Eventuell liegt eine inkomplett gedoppelte VCI vor. a) MIP. Die MPR zeigt die Einmündung des kaudalen Astes in b) und c) und die Einmündung des kranialen in d)

Die 104 Venen der linken Nieren verliefen 97mal (93%) auf dem regulären Weg vor der Aorta. Lediglich in 4 (4%) Fällen nahm die Nierenvene einen retroaortalen Verlauf und in 3 (3%) Fällen kam es zu einer kompletten Ringbildung (siehe Abb. 37). Wie bereits erwähnt, teilte sich die linke Vene zweier Personen ohne Ringbildung nach einem kurzen Stamm wiederum in zwei separate Äste auf. Während die Äste der einen Person beide retroaortal verliefen (als eine Vene gezählt), teilte sich die Nierenvene der zweiten Person bereits vor der Kreuzung der Aorta – während ein Ast regulär präaortal verlief (als eine Vene gezählt), mündete der zweite dorsal der A. iliaca communis sinistra in die linke Beckenvene ohne die Aorta zu kreuzen (siehe Abb. 36).

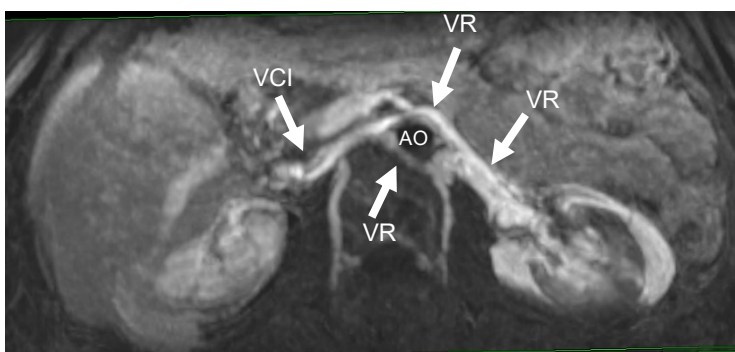


Abbildung 37: 3D MIP-Darstellung einer ringbildenden linken Nierenvene (VR) um die Aorta (AO) mit Mündung in die VCI. Durch die Subtraktion der Arterien erscheint die Aorta schwarz. Die Bilder wurden mittels des 3D-Programms von Syngo.plaza dargestellt.

Als weitere Beobachtung fällt auf, dass sämtliche retroaortal verlaufende Venen bedeutend tiefer in die VCI (siehe Abb. 38) oder sogar in die Beckenvenen münden. Die linke Nierenvene zweier Personen mündete so weit kaudal, dass nicht eindeutig zwischen einer tiefen Mündung in die Beckenvenen oder einer Mündung in eine inkomplett gedoppelte VCI unterschieden werden konnte (siehe Abb. 36).

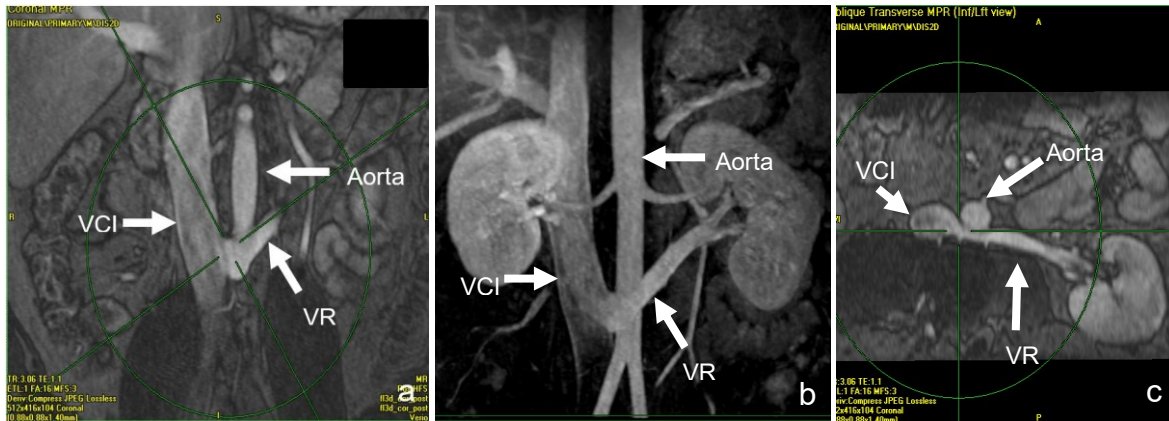


Abbildung 38: Retroaortaler Verlauf einer linken Nierenvene (VR) mit tiefer Mündung in die VCI. a) und c) sind Ansichten der MPR, Abb. b) ein Subvolumen

4.2.2 Länge und später Zusammenfluss

Im Durchschnitt weisen die Nierenvenen der rechten Körperseite eine Länge des gemeinsamen Stammes von 2,62cm auf, während der Stamm der Venen auf der linken Seite mit einer durchschnittlichen Länge von 6,67cm mehr als doppelt so lang vermessen wurde. Die Daten werden durch eine Gruppe aus fünf deutlichen Ausreißern im unteren Wertebereich beeinflusst – drei Ringbildungen und zwei Venen mit sehr kurzem Stamm vor erneuter Aufzweigung. Die fünf Venen zeigen einen Stamm in der Länge von minimal 0,54cm und maximal 2,16cm. Es existieren außerdem einige Ausreißer in den oberen Wertebereich (siehe Abb. 39 und 40).



Abbildung 39: Ausreißer in den oberen Wertebereich der Länge des gemeinsamen Venenstamms links. a) Messung. b) MPR derselben präaortalen Vene bis zur Mündung in die VCI

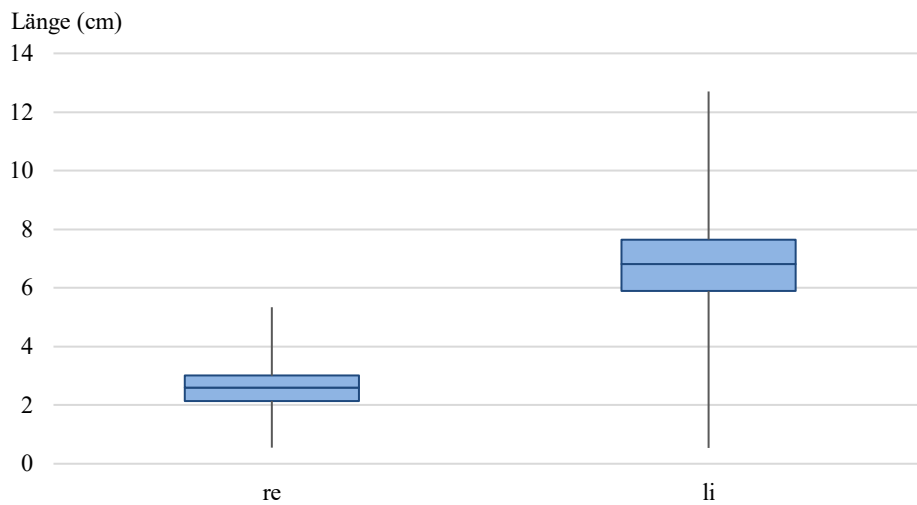


Abbildung 40: Länge der gemeinsamen Stämme aller Nierenvenen. Es ist deutlich zu erkennen, dass die linken Nierenvenen aufgrund ihrer weiteren Entfernung von der VCI und dem Kreuzen der Aorta länger sind. Trotzdem wurden vor allem die Längen der linken Seite durch mehrere Ausreißer beeinflusst.

Von 104 Personen zeigen 91 (88%) keinen späten Zusammenfluss der Nierenvenen einer Seite zu einem gemeinsamen Stamm. 6 (6%) Personen weisen einen späten Zusammenfluss auf der rechten und 7 (7%) auf der linken Seite auf.

Im Falle einer späten Konfluenz geschieht diese auf der rechten Seite im Durchschnitt 21mm vom Hilus entfernt und auf der linken Seite 37mm vom Hilus entfernt.

4.2.3 Besonderheiten und Nebenbefunde

21 (20%) der Personen zeigen eine Insuffizienz der V. ovarica/testicularis sinistra (siehe Abb. 41).

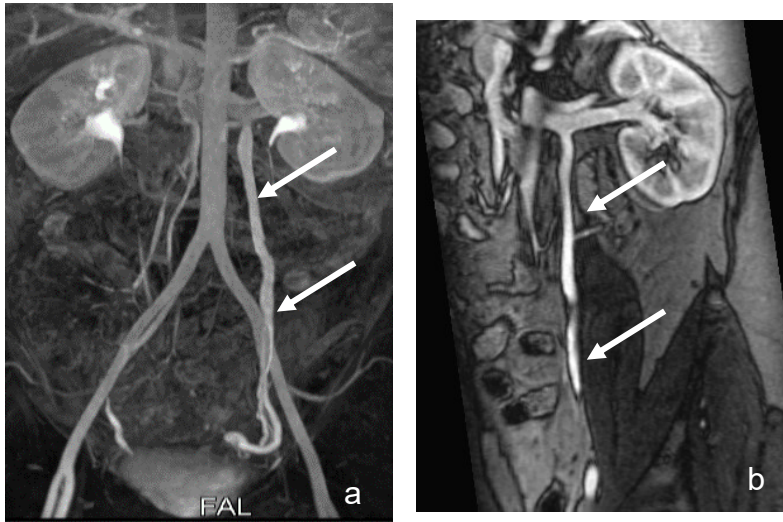


Abbildung 41: Insuffiziente V. ovarica sinistra. Das Gefäß ist deutlich verbreitert. a) MIP b) MPR der venösen Phase

Bei 35 (34%) der 104 Personen konnten auffällige paravertebrale Verbindungen zwischen Nierenvenen und lumbalen Venen gefunden werden (siehe Abb. 42). Keine der Personen weist ausschließlich Verbindungen auf der rechten Seite auf, jedoch 32 ausschließlich auf der linken und drei Personen auf beiden Seiten.

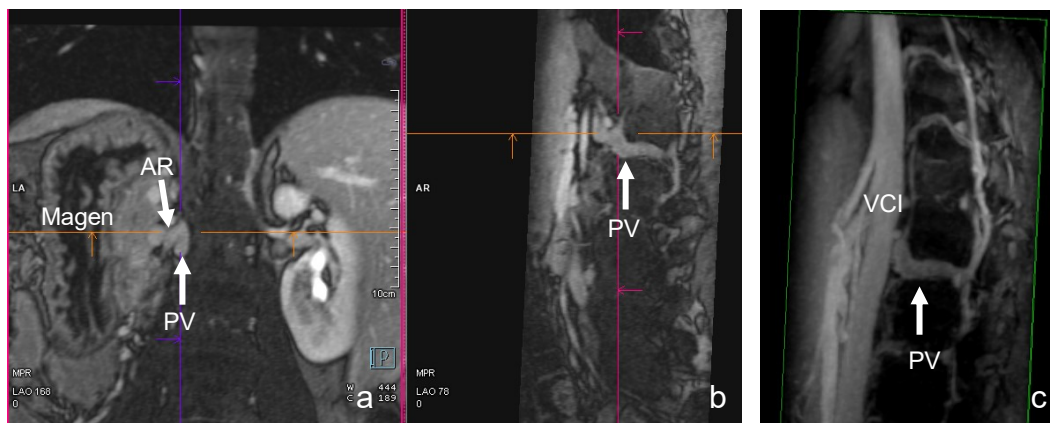


Abbildung 42: Breite paravertebrale Verbindung (PV) der linken Nierenvene (AR). a) und b) Aufnahmen der MPR, koronare Ansicht gespiegelt c) MIP Subvolumen

Tabelle 7 gibt eine Übersicht über die wichtigsten Nebenbefunde und Besonderheiten der Venen in den radiologischen Berichten und/oder bei der retrospektiven Auswertung.

Beschreibung	Anzahl (n=104)	Prozentueller Anteil
Varizen um Ovar / Uterus	7	7%
V. iliaca interna mit hohem Einfluss in die VCI (Abb. 43)	1	1%
Außergewöhnlich breite V. azygos	1	1%
Tiefe rechte Lebervene	1	1%

Tabelle 7: Wichtigste Nebenbefunde der auf den Aufnahmen sichtbaren Venen aller 104 Personen

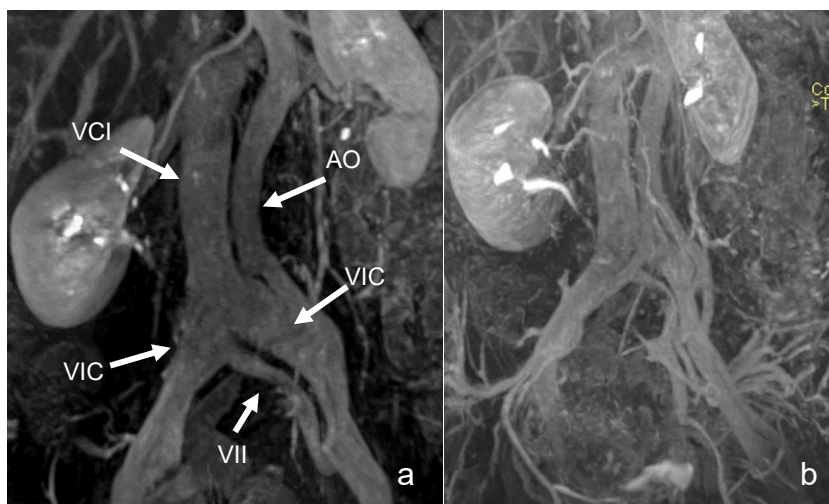


Abbildung 43: V. iliaca interna (VII) mit hohem Einfluss in die VCI; V. iliaca communis (VIC), Gluteale Zuflüsse (Z)
a) Subvolumen MIP b) MIP

4.3 Anatomie und Anomalien des Parenchyms und der ableitenden Harnwege

Tabelle 8 fasst die Größen der 208 Nieren unserer potenziellen Spenderinnen und Spender zusammen.

Körperseite	Durchschnittslänge der Niere (cm)		
	kraniokaudal	sagittal	transversal
re	10,53	4,26	4,77
li	10,87	4,53	4,37

Tabelle 8: Durchschnittliche Größen der Nieren der 104 ausgewerteten Personen. Die Werte liegen in dem im Lehrbuch von Fritsch H et al. (11) angegebenen Wertebereich. Die transversale Länge liegt darunter.

In 35 (34%) von 104 Fällen präsentieren sich die Personen mit persistierender Renkulzeichnung der Nieren (siehe Abb. 44).

Nur eine ausgewertete Person weist einen mutmaßlichen Infarkt der linken Niere auf (siehe Abb. 45).

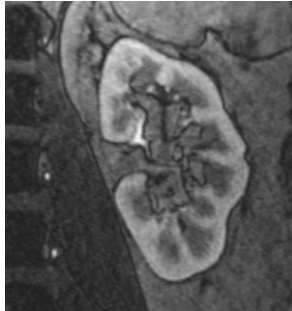


Abbildung 44:
Persistierende
Renkulzeichnung der
Nieren. Obwohl es sich
um eine ausgewachsene
Person handelt, ist die
Form der Lappen der
Niere noch erkennbar.
Quellbild

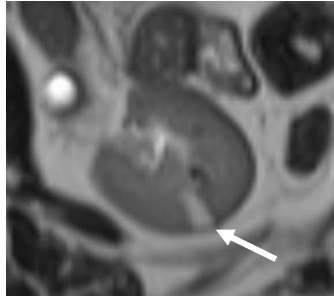


Abbildung 45: Die linke
Niere einer Person
präsentiert sich in der
transversalen T2-
Aufnahme mit einem
keilförmigen Infarkt.

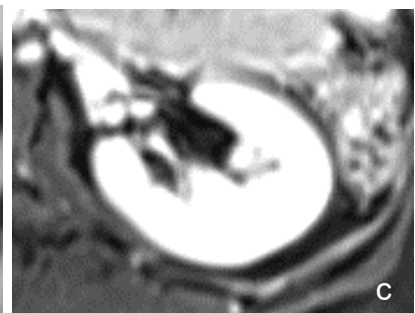
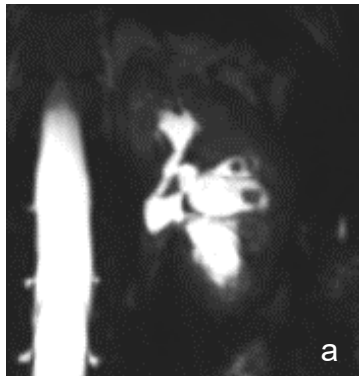


Abbildung 46: Parapelvine Zysten einer linken Niere. a) Urographie, koronal b) T2-Aufnahme mit FS und bh, transversal c) T1-Aufnahme mit fs und bh nach KM, transversal

Retrospektiv wurden Zysten in 28 (27%) der rechten und 37 (36%) der linken Nieren gefunden. Die Anzahl der Nieren mit bestimmten Größen sowie Ort und Klassifikation der Zysten sind Tabelle 9 zu entnehmen.

Klassifikation / Größe	Lokalisation		
	Kortikal mit exophytischer Komponente	parenchymal	parapelvin
Hypointense Läsion (T1-gewichtet) / bis 6mm	1	29	0
Bosniak I / bis 5mm	9	2	2
Bosniak I / 6mm bis 1cm	11	12	1
Bosniak II / 6mm bis 1cm	0	1	0
Bosniak I / 1,1cm bis 2cm	1	3	4
Bosniak II / 1,1cm bis 2cm	1	1	0
Bosniak I / größer als 2cm	4	0	2

Tabelle 9: Anzahl an Nieren, die einen bestimmten Typ an Zysten aufweisen. Einzelne Nieren können verschiedene Arten gleichzeitig aufweisen. Beim selben Typ wurde der maximale Durchmesser angenommen.

4.3.1 Nebenbefunde

Da das Parenchym unserer potenziellen Spenderinnen und Spender eine Vielzahl an Nebenbefunden und Besonderheiten aufgewiesen hat, die meist nicht öfter als bei einer Person aufgetreten sind, werden in der Tabelle 10 nur die wichtigsten und häufigsten Befunde der radiologischen Berichte und/oder retrospektiven Auswertung aufgezählt.

Beschreibung	Anzahl (n=104)	Prozentueller Anteil
<i>Zysten</i>		
Leber	25	24%
Ovar	8	8%
Cervix	4	4%
Pankreas	3	3%
Mamma	1	1%
Milz	1	1%
Arachnoidea	1	1%
<i>Hämangiome</i>		
Leber	7	7%
Milz	1	1%
Os sacrum	1	1%
LWK	1	1%
<i>Wirbelsäule / Knochen</i>		
Degenerative Veränderungen	16	15%
Skoliose	2	2%
Osteom rechtes Os ileum	1	1%
Deckplattenimpressionen (Sturz)	1	1%
<i>Andere häufige</i>		
Kolondivertikel	8	8%
Uterusmyome	6	6%
Nebennilzen	4	4%
Vergößerte Lymphknoten	4	4%
Beginnende Prostatahyperplasie oder Inhomogenität	4	4%
Adenome der Nebenniere (siehe Abb 48)	3	3%
<i>Besonderheiten</i>		
Z.n. untere Nierenpolresektion links (laut Angaben der Person wegen Zyste)	1	1%
Inkomplette Doppelnieren mindestens einer Seite	2	2%
Z.n. Hysterektomie	4	4%
Neoplastische Expansion der linken Niere / Klarzelliges Nierenzellkarzinom (siehe Abb. 47)	1	1%

Tabelle 10: Bedeutendste Nebenbefunde aller 104 potenziellen Spenderinnen und Spender

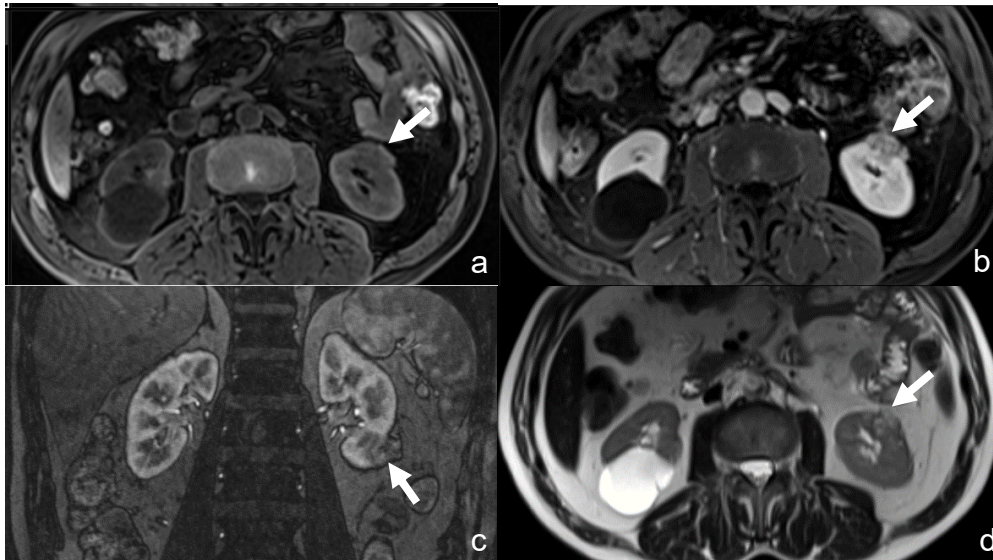


Abbildung 47: Klarzelliges Nierenzellkarzinom der linken Niere. Es sind eindeutig kontrastmittelaufnehmende, nodulär verdickte Septen in der Läsion erkennbar a) t1_vibe mit FS und bh vor KM, transversal b) t1_vibe mit FS und bh nach KM, transversal c) Angiographie, koronal d) t2_haste mit mbh, transversal

Bei Nebennierenadenomen senkt sich das Signal der Läsion im T1 mit Fettsättigung ab. In der Abbildung 48 handelt es sich um eine Senkung des durchschnittlichen Pixel Wertes von 285 auf 265. Da die gewählten Sequenzen unter Umständen das intraabdominelle Fett nicht eindeutig sättigen und darstellen können, wie es auch hier der Fall ist, werden heutzutage t1_dixon Sequenzen verwendet. Außerdem verkürzt sich dadurch die gesamte Untersuchungszeit.

In den Gradientenechosequenzen werden die Voxel, die Fett / Wasser enthalten, dunkel abgebildet (siehe Abb. 48).

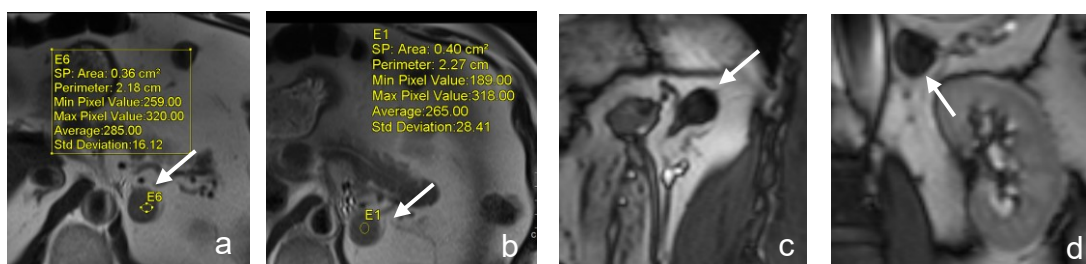


Abbildung 48: Adenom der linken Nebenniere. a) t2_haste mit mbh ohne FS, transversal b) t2_haste mit mbh und FS, transversal. c) t2_trufi mit bh, sagittal d) t2_trufi mit bh, koronal.

4.3.2 Ableitende Harnwege

Die ableitenden Harnwege präsentieren sich in 2 (2%) Fällen als Ureter duplex (siehe Abb. 49) und in drei (3%) Fällen als proximal gedoppelter Ureter / Ureter fissus (siehe Abb. 50), wozu auch die beiden Personen mit den inkompletten Doppelnieren zählen. Eine Person

(1%) weist ein dilatiertes Nierenbeckenkelchsystem auf (DD: kongenitale kompensierte Ureterabgangsstenose). In einem Fall (1%) wurde ein kurzstreckig transversal verlaufender Ureter ohne Abflusshindernis beschrieben (siehe Abb 51).

Die Ureteren der 104 Personen waren in der Angiographie in der letzten Phase am besten sichtbar.



Abbildung 49: Ureter Duplex der rechten Niere. Subvolumen MIP



Abbildung 50: Mutmaßlicher Ureter fissus einer inkompletten linken Doppelnieren. Aufgrund inkompletter Kontrastierung ist der Ureter nicht ununterbrochen bis zur Blase nachverfolgbar. MIP



Abbildung 51: Kurzstreckig transversaler Verlauf des rechten Ureters ohne signifikantes Abflusshindernis. Die betroffene Person spendete die linke Niere.

4.4 Einfluss der Körpergröße/-oberfläche auf die Anatomie

4.4.1 Aortendurchmesser

Der Durchmesser der Aorta auf Höhe der Nierenarterien wurde doppelt gemessen, wenn der kraniokaudale Abstand zwischen den Arterien mindestens 1,5cm war. Die Messwerte beziehen sich auf 103 Personen, da die Körpergröße einer Person bis zum Ende nicht erhoben werden konnte. Im Fall einer zweimaligen Messung diente der Mittelwert der beiden Messwerte als Referenz.

Setzt man die Körpergröße aller Personen mit den Mittelwerten der jeweiligen Aortendurchmesser an den zu bestimmenden Stellen aller Personen mit derselben Körpergröße in Verbindung, so ergibt sich ein Bild wie in Abb. 52. Es lässt sich eine leichte Tendenz zum größeren Durchmesser bei größeren Patienten feststellen. Bei der Berechnung sind alle Werte gleichermaßen ausgewertet worden, ohne explizit auf etwaige Gefäßerkrankungen, Bluthochdruck oder Geschlecht zu achten. In manchen Gruppen war nur jeweils eine Person mit der bestimmten Körpergröße zur Auswertung verfügbar. Die Verteilung der Personen mit den unterschiedlichen Körpergrößen und deren durchschnittliche Aortendurchmesser sind in Tabelle 11 ersichtlich.

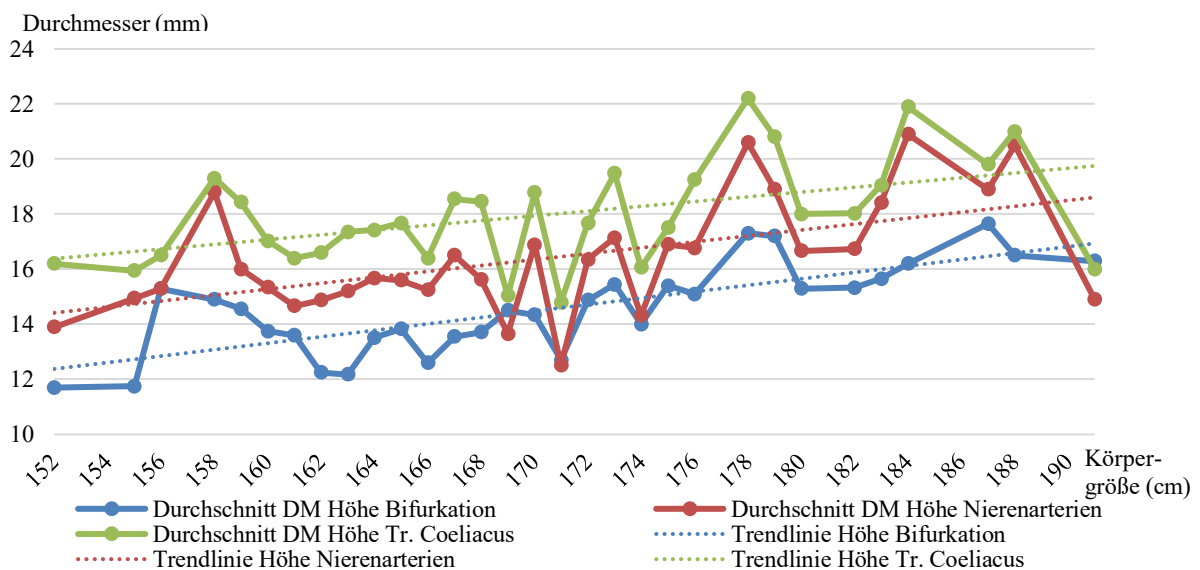


Abbildung 52: Die durchschnittlichen Aortendurchmesser per Körpergröße an allen drei Messstellen in Verbindung mit der Körpergröße lässt einen Trend zum breiteren Durchmesser bei größeren Personen erkennen.

Körpergröße (cm)	Personenanzahl	Durchschnittsdurchmesser Aorta (mm)		
		Aortenbifurkation	Höhe Nierenarterien	Höhe Truncus coeliacus
152	1	11,7	13,9	16,2
155	2	11,8	15,0	16,0
156	1	15,3	15,3	16,5
158	1	14,9	18,8	19,3
159	3	14,6	16,0	18,4
160	13	13,7	15,3	17,0
161	3	13,6	14,7	16,4
162	2	12,3	14,9	16,6
163	4	12,2	15,2	17,4
164	6	13,5	15,7	17,4
165	12	13,8	15,6	17,7
166	1	12,6	15,3	16,4
167	2	13,6	16,5	18,6
168	7	13,7	15,6	18,5
169	3	14,5	13,7	15,0
170	7	14,3	16,9	18,8
171	1	12,7	12,5	14,8
172	4	14,9	16,4	17,7
173	6	15,5	17,1	19,5
174	3	14,0	14,3	16,1
175	2	15,4	16,9	17,5
176	2	15,1	16,8	19,3
178	2	17,3	20,6	22,2
179	1	17,2	18,9	20,8
180	3	15,3	16,7	18,0
182	4	15,3	16,7	18,0
183	2	15,7	18,4	19,1
184	1	16,2	20,9	21,9
187	2	17,7	18,9	19,8
188	1	16,5	20,5	21,0
191	1	16,3	14,9	16,0

Tabelle 11: Durchschnittliche Aortendurchmesser pro Messstelle und Körpergröße. Die Ergebnisse wurden auf eine Dezimalstelle gerundet.

Das Verhältnis des durchschnittlichen Aortendurchmessers pro Körpergröße zur Körpergröße (beide in cm umgerechnet) beträgt für den Durchmesser an der Aortenbifurkation im Mittel 0,0085; 95% KI [0,0083; 0,0087], auf Höhe der Nierenarterien 0,0096; 95% KI [0,0092; 0,0100] und auf Höhe des Truncus coeliacus 0,011; 95% KI [0,010; 0,011].

Auffallend ist der Trend zur distalen Verschmälerung der Aorta, die bei beinahe allen Personen beobachtet werden konnte.

Bezogen auf die Körperoberfläche (BSA) getrennt nach Männern und Frauen ergibt sich folgendes Bild (siehe Tab. 12). Wurde der Aortendurchmesser einer Person aufgrund der Entfernung der beiden Nierenarterien von mindestens 1,5cm auf dieser Höhe zwei Mal gemessen, diente auch hier der Mittelwert der beiden Messwerte als Referenz.

Das Verhältnis des Aortendurchmessers zur BSA (mm/m^2) ist für alle drei Messstellen nach Geschlechtern getrennt in Tabelle 12 ersichtlich.

Geschlecht	m (n=28)			w (n=75)		
	Aortenbifurkation	Nierenarterien	Truncus coeliacus	Aortenbifurkation	Nierenarterien	Truncus coeliacus
Durchschnitt des Durchmessers/BSA (mm/m^2)	7,80	8,69	9,45	7,82	8,85	9,93
95% KI	[7,46; 8,13]	[8,29; 9,09]	[9,01; 9,89]	[7,62; 8,03]	[8,63; 9,07]	[9,68; 10,17]

Tabelle 12: Aortendurchmesser an allen drei Messstellen im Verhältnis zur BSA geschlechtergetrennt. Ergebnisse auf zwei Dezimalstellen gerundet

4.4.2 Länge der Aa. iliacae communes

Werden nun die Körpergrößen mit den durchschnittlichen Längen der rechten und linken A. iliaca communis bei ebendiesen Körpergrößen verglichen, ergibt sich ein Bild wie in der Abb. 53. Es lässt sich zwar ein leichter Trend zu längeren Beckenarterien bei größerer Körpergröße erkennen, jedoch muss die große Bandbreite an Gefäßlängen unabhängig von der Körpergröße beachtet werden. Auch hier wurde nicht explizit auf etwaige

Gefäßerkrankungen, Bluthochdruck oder Geschlecht geachtet. Die Anzahl der Personen in den jeweiligen Körpergrößen-Gruppen unterscheidet sich nicht von jenen aus der Tabelle 11.

Das Verhältnis der durchschnittlichen Länge der A. iliaca communis dextra pro Körpergröße zur Körpergröße (beide in cm angegeben) beträgt im Mittel 0,039; 95% KI [0,037; 0,041] und für die Länge der A. iliaca communis sinistra 0,039; 95% KI [0,037; 0,042].

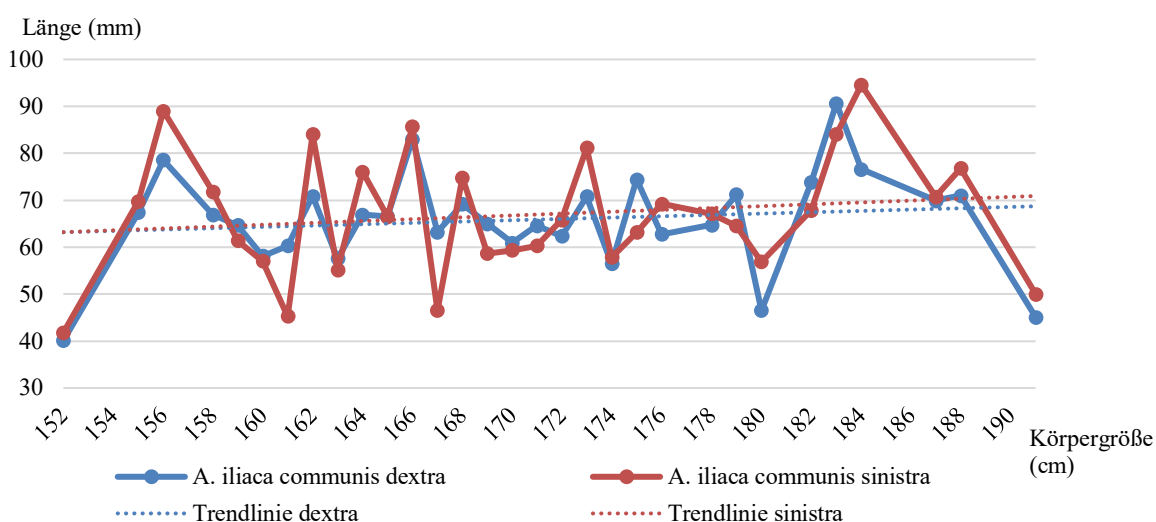


Abbildung 53: Der Vergleich der Körpergrößen von 103 potenziellen Spenderinnen und Spendern mit der durchschnittlichen Länge der rechten und linken Beckenarterien zeigt keinen aussagekräftigen Anstieg für größere Personen.

Das Verhältnis der Länge zur BSA (mm/m^2) ist für beide Beckenarterien nach Geschlechtern getrennt in Tabelle 13 ersichtlich.

Geschlecht	m (n=28)		w (n=75)	
	dextra	sinistra	dextra	sinistra
Arteria iliaca communis				
Durchschnittliches Verhältnis von Länge/BSA (mm/m^2)	35,36	35,34	35,70	36,33
95% KI	[31,39; 39,32]	[32,22; 38,46]	[33,58; 37,82]	[34,09; 38,58]

Tabelle 13: Verhältnis der Beckenarterienlänge zur BSA beider Seiten und getrennt nach Geschlecht. Die Ergebnisse wurden auf zwei Dezimalstellen gerundet.

4.4.3 VCI-Durchmesser

Bei der Vermessung der VCI-Durchmesser in zwei Richtungen fiel auf, dass diese oftmals sehr schmal erschienen. Für die VCI unserer 103 potenziellen Spenderinnen und Spender, bei denen wir Körpergröße und -gewicht erheben konnten, ergab sich dadurch für das Verhältnis des kürzeren zum längeren Durchmesser an allen drei Messstellen ein Bild wie in der Abb. 55 mit Mittelwerten von 0,43 auf Höhe der Pfortader, 0,43 auf Höhe der Nierenvenen und 0,59 auf Höhe des Zusammenflusses der Beckenvenen. Die einzelnen Durchmesser sind als Boxplot in der Abb. 56 dargestellt. Der dünnste gemessene Durchmesser konnte bei einer Person auf der Höhe der Nierenvenen gefunden werden und betrug nur 2,7mm (siehe Abb. 54). Der dazugehörige längere Durchmesser auf derselben Höhe betrug 19,5mm.

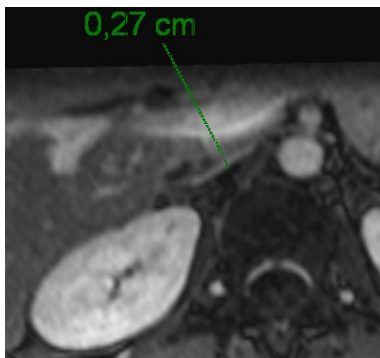


Abbildung 54: Der kleinste Durchmesser einer VCI befand sich auf der Höhe der Nierenarterien und betrug 2,7mm.

Da der Durchmesser auf Höhe der Nierenvenen doppelt gemessen wurde, sollten deren Einmündungen 1,5cm oder weiter auseinander liegen, ergaben sich für diese Höhe 139 statt 103 Messstellen, die jeweils entlang des längsten und kürzesten Durchmessers ausgewertet wurden.

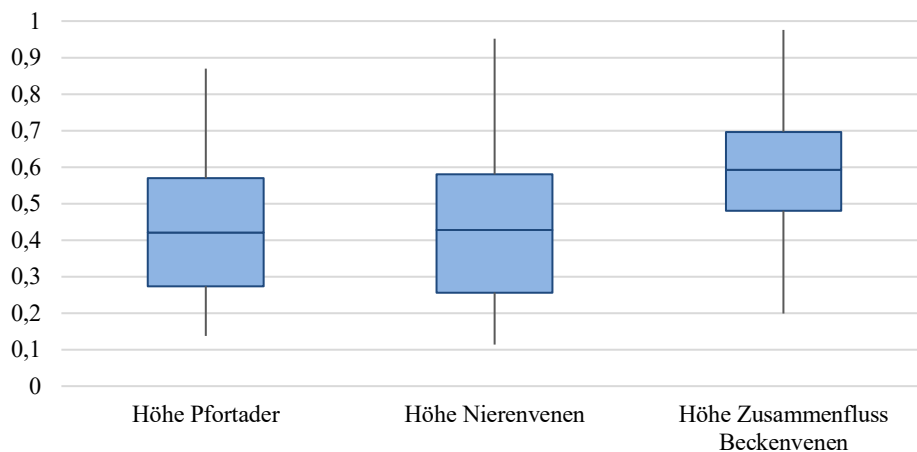


Abbildung 55: Die Darstellung der Verhältnisse des kurzen zum langen VCI-Durchmesser zeigt, dass das Gefäß mancher Personen sich so weit verschmälert, bis der kürzere Durchmesser nur mehr knapp über 10% des längeren auf derselben Ebene beträgt.

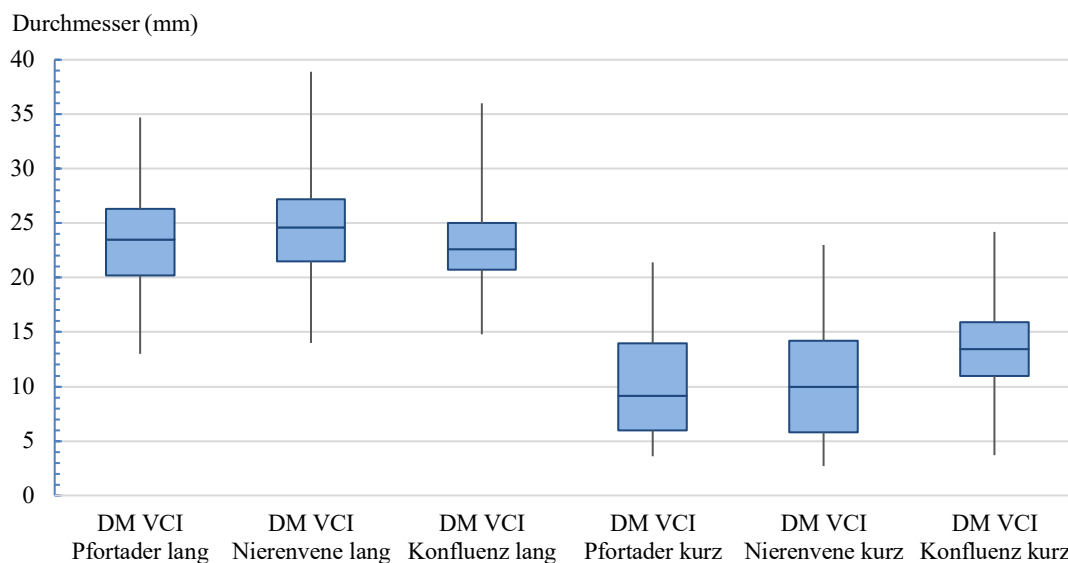


Abbildung 56: Darstellung der langen und kurzen VCI-Durchmesser aller 103 Personen an den drei Messstellen.

Bringt man die Verhältnisse der Durchmesser nun mit der BSA in Verbindung, lässt sich dies geschlechtergetrennt wie folgt darstellen (siehe Tabelle 14). Hierbei wurden allerdings die Verhältnisse der Durchmesser auf Höhe der Nierenvenen, die aufgrund der Entfernung der Gefäße doppelt vorlagen, zusammengefasst und deren Mittelwert zur Auswertung herangezogen.

Geschlecht	m (n=28)			w (n=75)			
	Messstelle	Pfortader	Nieren- venen	Zusammen- fluss Beckenvenen	Pfortader	Nieren- venen	Zusammen- fluss Beckenvenen
Durchschnitt vom Verhältnis kurz zu lang/BSA		0,22	0,21	0,33	0,24	0,24	0,32
95% KI		[0,18; 0,25]	[0,18; 0,25]	[0,30; 0,36]	[0,22; 0,27]	[0,21; 0,26]	[0,30; 0,34]

Tabelle 14: Die Verhältnisse des kurzen zum langen Durchmesser der VCI der jeweiligen Messstellen im Verhältnis zur BSA und geschlechtergetrennt. Die Ergebnisse wurden auf zwei Dezimalstellen gerundet.

Der Vergleich des durchschnittlichen Verhältnisses des kurzen zum langen VCI-Durchmesser pro Körpergröße mit der Körpergröße an den drei Messstellen lässt keine Vermutung auf einen aussagekräftigen Anstieg oder Abfall bei größeren Patienten zu. Am ehesten liegt ein Abfall auf der Höhe der Nierenarterie vor, der durch die hohen Werte bei den Körpergrößen 156cm und 158cm bedingt ist. (siehe Abb. 57). Auch hier wurde nicht explizit auf etwaige Gefäßerkrankungen, Bluthochdruck oder Geschlecht geachtet. Die Anzahl der Personen in den jeweiligen Körpergrößen-Gruppen unterscheidet sich nicht von jenen aus der Tabelle 11.

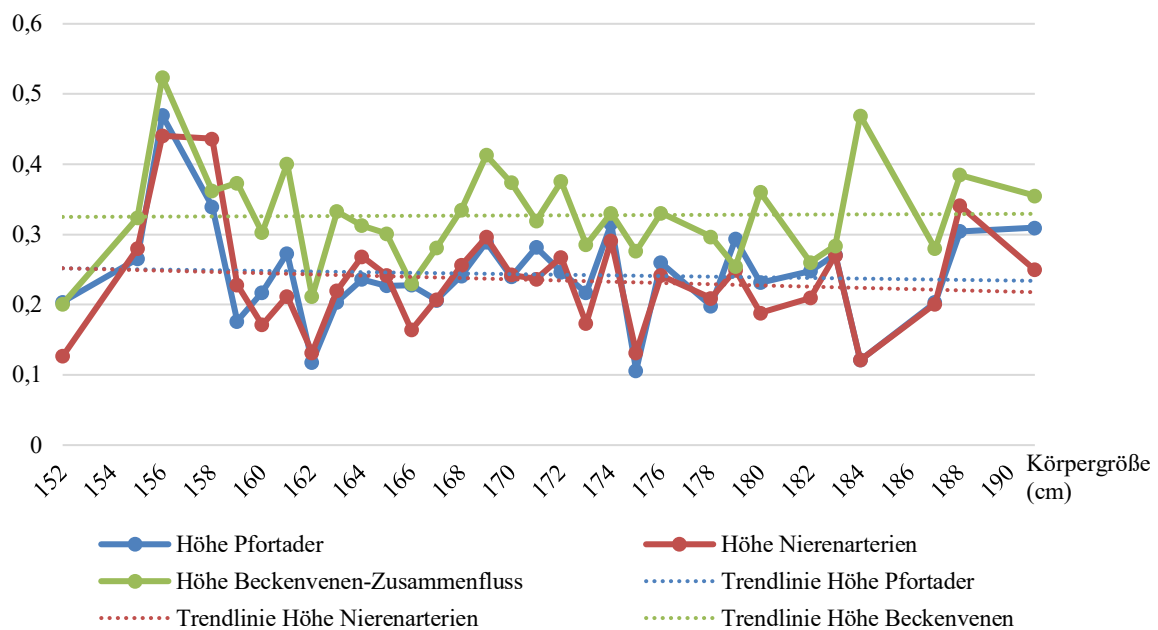


Abbildung 57: Der Vergleich der Körpergrößen von 103 potenziellen Spenderinnen und Spendern mit ihrem durchschnittlichen Verhältnis des kurzen zum langen VCI-Durchmessers an allen drei Messstellen.

4.4.4 Kraniokaudale Nierenlänge

Die kraniokaudale Länge der rechten und linken Nieren ergeben, wenn deren durchschnittliche Länge pro erhobener Körpergröße je Seite ausgerechnet wird und die Werte mit der Körpergröße verglichen werden, ein Bild wie in Abb. 58. Es zeigt sich mit ein paar Ausnahmen ein Trend zur größeren Niere bei größeren Personen. Außerdem sind die Nieren beider Seiten meist ähnlich groß. Die Anzahl der Personen in den jeweiligen Körpergrößen-Gruppen unterscheidet sich wiederum nicht von jenen aus der Tabelle 11.

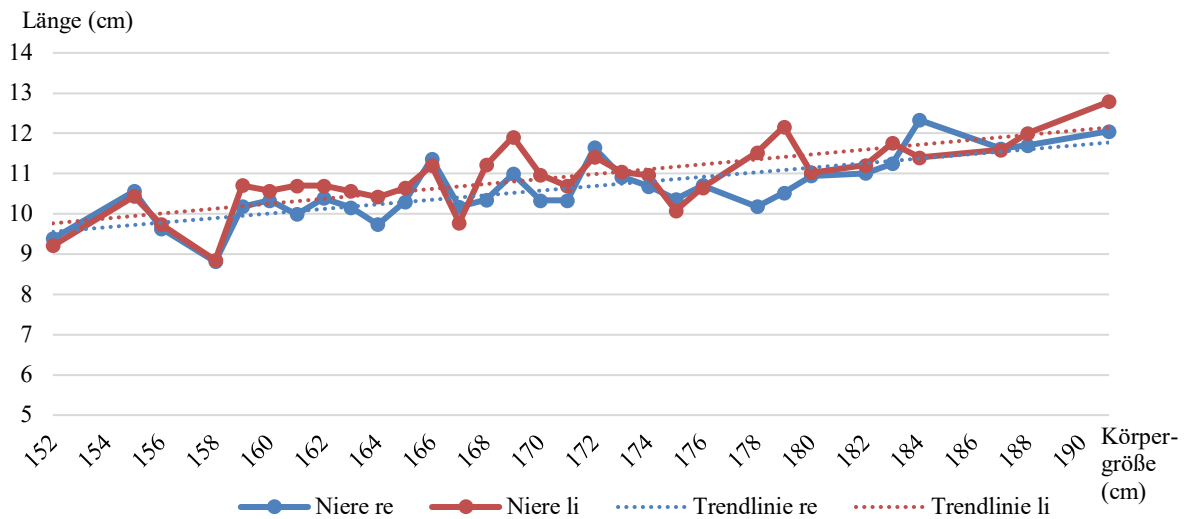


Abbildung 58: Der Vergleich der Körpergrößen aller 103 Personen mit der jeweiligen durchschnittlichen kraniokaudalen Nierengröße pro Körpergröße und Seite ergibt einen Trend zur längeren Niere bei größeren Personen.

Das Verhältnis der durchschnittlichen kraniokaudalen Länge der rechten Niere pro Körpergröße zur Körpergröße beträgt Durchschnitt 0,062; 95% KI [0,061; 0,063] und für die linke Niere 0,064; 95% KI [0,063; 0,065].

Das Verhältnis der Länge zur BSA (cm/m^2) ist für beide Nieren nach Geschlechtern getrennt in Tabelle 15 ersichtlich.

Geschlecht	m (n=28)		w (n=75)	
	rechts	links	rechts	links
Kraniokaudale Nierenlänge				
Durchschnittliches Verhältnis von Länge/BSA (cm/m^2)	5,44	5,62	5,89	6,09
95% KI	[0,31; 0,66]	[0,25; 0,54]	[0,46; 0,73]	[0,48; 0,77]

Tabelle 15: Das Verhältnis der kraniokaudalen Nierenlänge beider Seiten zur BSA geschlechtergetrennt. Die Ergebnisse wurden auf zwei Dezimalstellen gerundet.

4.5 Präoperative MR-Angiographie und Operationsergebnisse

4.5.1 Nierenarterien

Bezogen auf die 67 tatsächlich gespendeten und entnommenen Nieren unterschieden sich die präoperativen radiologischen Befunde in 4 (6%) Fällen von den OP-Berichten bei der Transplantation (Entnahmeberichte bzw. bei Unklarheiten Implantationsberichte der Nieren) bezüglich der *Anzahl der Nierenarterien* auf dieser Seite. Betroffen waren 5 Arterien (siehe Tabelle 16).

Retrospektiv konnten 2 der 5 Arterien problemlos identifiziert werden. Diese wurden im originalen radiologischen Bericht nicht beschrieben.

Bei 2 der 5 Arterien wurde die frühe Gabelung einer Nierenarterie vermutlich während der Operation als doppelte arterielle Versorgung missinterpretiert. Dies kann passieren, wenn die Arterie distal der Gabelung abgeschnitten wird.

1 der 5 Arterien konnte aufgrund potenzieller technischer Limitationen auch retrospektiv nicht gefunden werden (Abb. 59).

Fall- nummer	Anzahl der Beschriebenen Arterien			Begründung für Unterschied
	Präoperativ (MRA)	OP-Bericht	retrospektiv	
PM21	2	3	3	Gefäß übersehen
PM75	2	3	2	Frühe Gabelung
PM84	1	2	1	Frühe Gabelung
PM88	1	3	2	Gefäß übersehen, Technische Limitation
PM59	1	1	2	Gefäß sowohl im radiologischen Bericht als auch im OP-Bericht nicht erwähnt aber retrospektiv eindeutig erkennbar

Tabelle 16: Unterschiede zwischen radiologischen Berichten und OP-Berichten sowie retrospektiven Ergebnissen betreffend der Arterienanzahl gespendeter Nieren

Bei der retrospektiven Auswertung der Bilder fiel auf, dass die doppelte arterielle Versorgung einer gespendeten Niere sowohl bei der präoperativen Evaluierung als auch bei der Operation nicht beschrieben wurde (siehe Abb. 61).



Abbildung 59: Rechte Niere mit drei bei der OP beschriebenen Arterien. a) 3D-Rekonstruktion der Hauptarterie b) Quellbild mit Subvolumen 3D-Darstellung der retrospektiv erkannten Polararterie. Die dritte Arterie blieb auf den MRA-Aufnahmen unentdeckt.

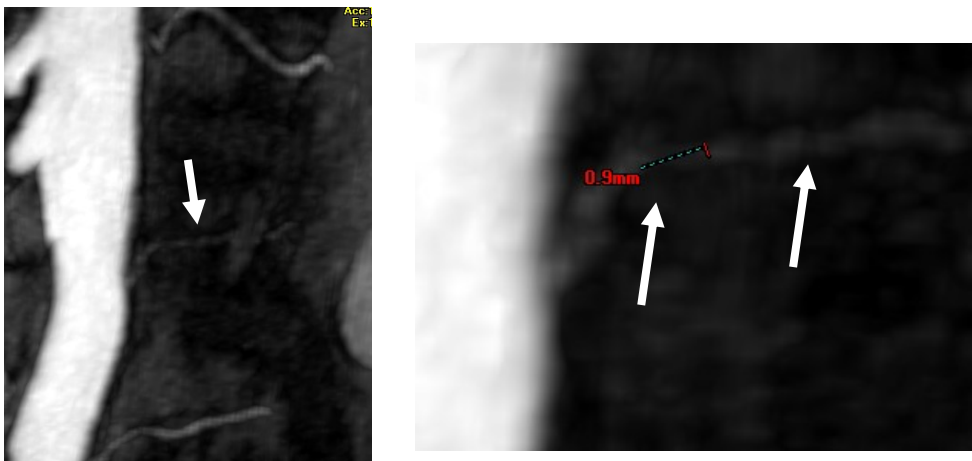


Abbildung 60: Trotz der vermeintlich in Abb. 59 aufgrund technischer Limitationen übersehenen Arterie wurden auf den MR-Aufnahmen der potenziellen Spenderinnen und Spendern Gefäße (in diesem Fall eine Lumbalarterie) mit bis zu knapp 1mm manuell gemessenem Durchmesser erkannt.

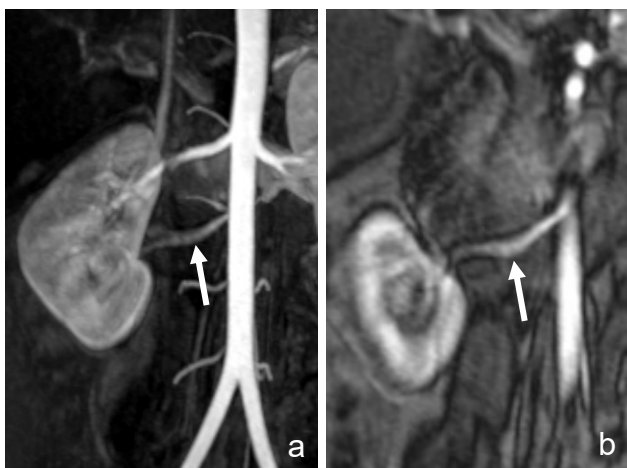


Abbildung 61: Während der retrospektiven Auswertung konnte bei einer Person ein akzessorisches Gefäß gefunden werden, das weder im radiologischen noch im OP-Bericht beschrieben wurde. Die betroffene rechte Niere wurde ohne bedeutende Komplikationen transplantiert. a) 3D-Rekonstruktion b) Subvolumen

4.5.2 Nierenvenen

Betreffend die *Anzahl der Nierenvenen* in allen 67 gespendeten Organen kam es nur in zwei Fällen zu Uneinigigkeiten zwischen dem radiologischen Befund und dem OP-Bericht. Eine der fehlenden Venen konnte retrospektiv gefunden werden. Im zweiten Fall wurde mutmaßlich ein später Zusammenfluss der Nierenvenen von der Chirurgie als zwei separate Venen gedeutet (siehe Tabelle 17).

Fall- nummer	Anzahl der Beschriebenen Venen			Begründung für Unterschied
	Präoperativ (MRA)	OP-Bericht	retrospektiv	
PM2	1	2	1	Später Zusammenfluss
PM88	1	2	2	Gefäß übersehen

Tabelle 17: Unterschiede zwischen radiologischen und OP-Berichten sowie retrospektiven Ergebnissen betreffend der Venenanzahl gespendeter Nieren

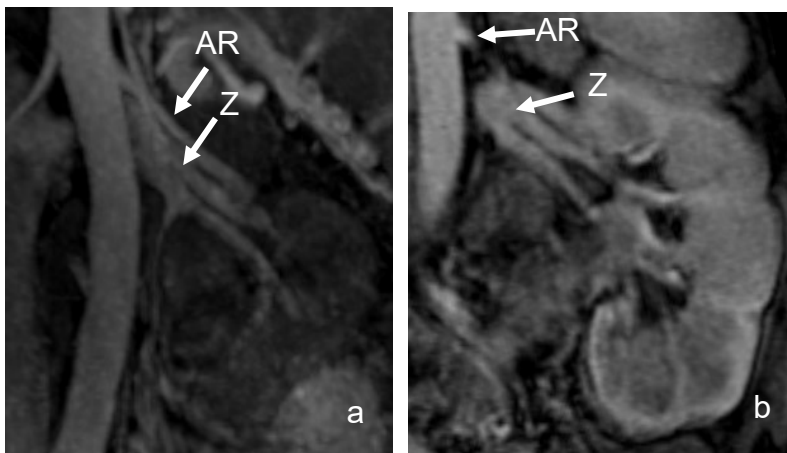


Abbildung 62: Der späte Zusammenfluss (Z) der linken Nierenvenen wurde während der OP mutmaßlich als zwei separate Venen interpretiert. a) MIP b) MPR. Nierenarterie (AR)

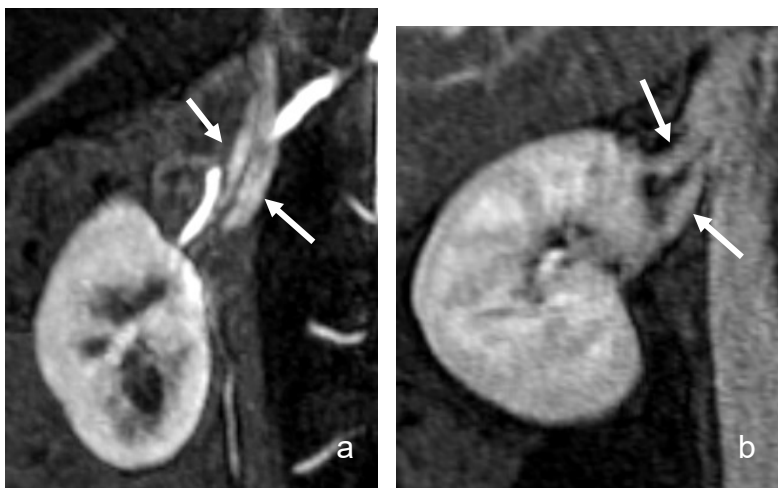


Abbildung 63: Das Vorliegen einer zweiten direkt in die VCI mündenden rechten Nierenvene wurde im radiologischen Bericht nicht beschrieben. a) MIP b) MPR

In 12 (18%) von 67 Fällen wurden in den OP-Berichten *Verbindungen zwischen den Nieren- und Lumbalvenen* beschrieben. In den präoperativen radiologischen Berichten der betroffenen Seite erfolgte deren Beschreibung nur 4 (6%) Mal, wobei sich die Fälle nicht alle mit denen der Chirurgie decken, wie in Tabelle 18 ersichtlich. Retrospektiv wurden auffällige paravertebrale Verbindungen bei 18 (27%) gespendeten Nieren an der betroffenen Körperseite beschrieben. Eine der in den OP-Berichten beschriebenen Verbindungen wurde retrospektiv nicht gesehen.

Fallnummer	Paravertebrale Verbindung der Nierenvenen		
	<i>Präoperativ (MRA)</i>	<i>OP-Bericht</i>	<i>retrospektiv</i>
PM2	n	j	j
PM9	n	j	j
PM13	n	j	n
PM19	n	j	j
PM34	n	j	j
PM36	n	n	j
PM40	n	n	j
PM43	j	n	j
PM44	n	n	j
PM55	n	j	j
PM56	n	n	j
PM67	n	j	j
PM72	n	j	j
PM73	n	j	j
PM79	n	j	j
PM85	j	n	j
PM100	n	j	j

Tabelle 18: Fälle mit Unterschieden in der Beschreibung paravertebraler Verbindungen der Nierenvenen in Spenderinnen und Spendern (j = beschrieben / n = nicht erwähnt). Wenn das n rot angefärbt ist, wurden die Venen als Ganzes nicht im radiologischen Bericht angeführt. Insgesamt umfasst die Tabelle 17 Fälle.

4.6 Beispiele für mögliche Verwechslungen auf MR-Bildern

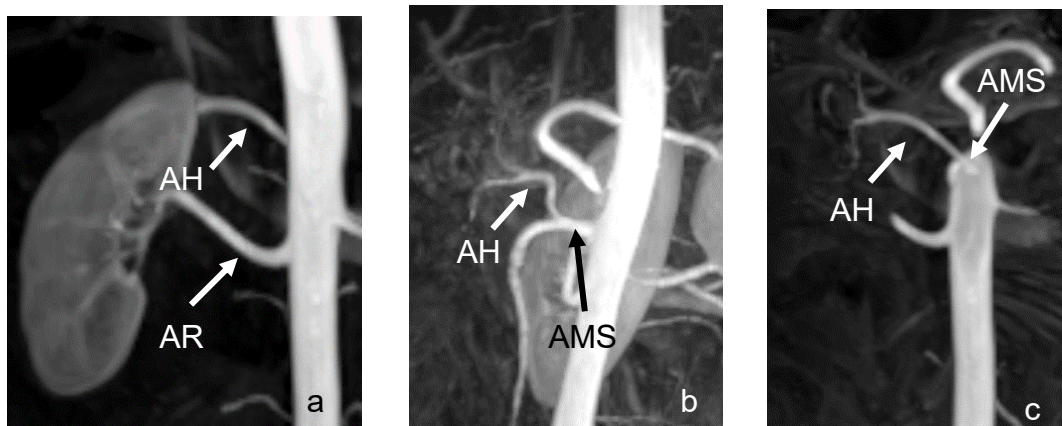


Abbildung 64: Mögliche Verwechslung in der 3D-Rekonstruktion: Die aus der AMS entspringende A. hepatica (AH) imitiert eine Nierenarterie (AR). a) b) 3D-Rekonstruktionen c) Subvolumen MIP

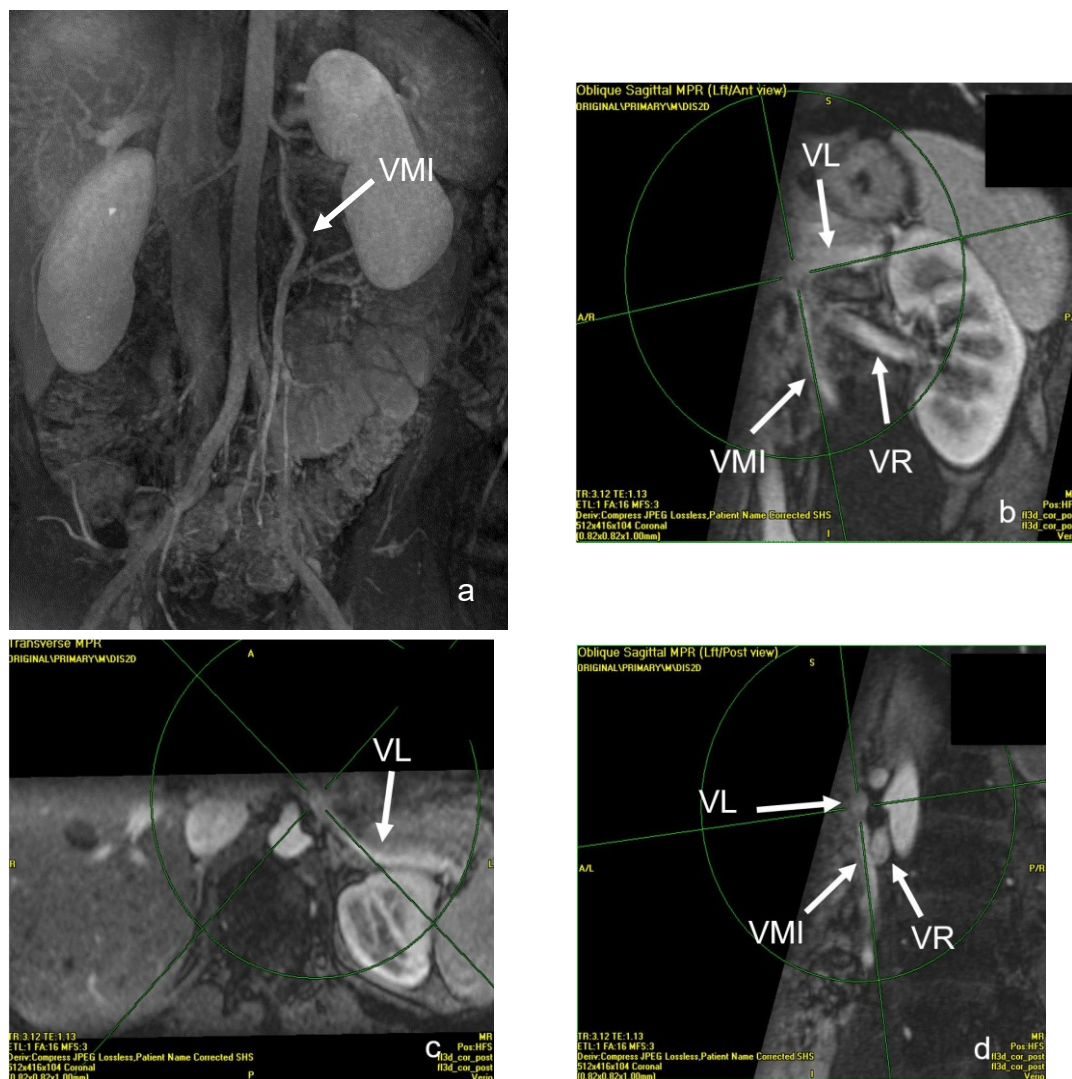


Abbildung 65: a) Mögliche Verwechslung: die V. mesenterica inferior (VMI) imitiert eine V. testicularis sinistra. b) c) d) MPR zeigt, dass die VMI die V. renalis sinistra (VR) an ihrer Vorderseite kreuzt und in die V. lienalis (VL) drainiert.

5 Diskussion

Die Darstellung der Nierengefäße ist neben präzisen medizinisch diagnostischen Untersuchungen für die Evaluation potentieller Nierenlebendspenderinnen und -spender unabdingbar. Die Ergebnisse und anatomisch technischen Überlegungen tragen zur Entscheidung bei, ob die Person geeignet ist, und auf welcher Körperseite die Nephrektomie erfolgt. (32) Ebenso bedeutend sind die parenchymalen Befunde und andere Anomalien.

Generell wird jene Niere gespendet, die weniger der Norm entspricht. Ohne dem Vorliegen von Anomalien wird vorzugsweise die linke Niere entnommen, da sie einen längeren Nierenstiel besitzt. Dennoch kann die rechte Niere bei komplizierten vaskulären Verhältnissen auf der linken Seite oder bestimmten Anomalien oder Pathologien wie Narben oder Infarkten zur Transplantation genutzt werden. (18)

Die Ergebnisse dieser Arbeit sind vor allem deshalb relevant, da sie ein für den größten Teil scheinbar gesundes Normkollektiv von 104 Personen repräsentieren und deshalb eventuell bei der Evaluation zukünftiger Spenderinnen und Spender zur Orientierung nützlich werden können.

Während ein früher Zusammenfluss der Venen sowie eine frühe Gabelung der Nierenarterien auf beiden Körperseiten in etwa gleich oft auftreten (links jeweils einmal mehr), und auch eine multiple arterielle Gefäßversorgung sich rechts nur minimal öfter zeigt (21% gegen 19%), zeigen die rechten Nieren deutlich öfter ein multiples Vorkommen der venösen Blutversorgung (11% gegen 0%). Zugleich treten Zysten (36% gegen 27%) sowie auffällige paravertebrale Verbindungen (32 Fälle ausschließlich links gegen 0 Fälle ausschließlich rechts) häufiger bei der linken Niere auf.

Wie bereits angedeutet, weisen auch diese 104 Personen eine deutlich längere Nierenvene auf der linken Seite als auf der rechten auf, wobei die Länge im Durchschnitt mehr als das Doppelte beträgt (6,67cm gegen 2,62cm).

Die häufiger singular vorkommenden Nierengefäße der linken Niere könnten zu einer geringeren Anzahl an Anastomosen und dadurch geringeren Ischämiezeit führen. (18)

Meine Arbeit beschreibt bei 208 Nieren in 19% doppelte, 1% dreifache und 0,5% vierfache arterielle Versorgungen. Der geringere Anteil an Nieren mit multipler arterieller Versorgung in dieser Studie liegt unter dem der Studien von Gluecker et al. (9) und Pollak et al. (33),

wobei es sich bei letzterer um eine Kadaverstudie handelt. Während Gluecker et al. (9) bei 84 Nieren im MR 24% doppelte, 2% dreifache und 1% vierfache arterielle Versorgungen fanden, beschrieben Pollak et al. (33) bei 800 Nieren 23% doppelte, 4% dreifache und 1% vierfache arterielle Versorgungen.

Weitere Studien zeigen ähnliche Ergebnisse zu dem Personenkollektiv dieser Arbeit: Kramer et al. (6) zeigen in ihrer MRA-Studie mit 36 Nieren 14% doppelte arterielle Versorgungen sowie 6% dreifache. Raman et al. (18) beschreiben mittels an 126 Nieren durchgeführtem CTA in 14% doppelte arterielle Versorgungen auf der linken sowie in 17% auf der rechten Körperseite. Außerdem beschreiben sie eine dreifache Versorgung der linken Nieren in 2% und der rechten in 4%. Eine vierfache Versorgung kommt rechts in 1% vor. Die Unterschiede zwischen den Studien könnten sich auf die verschiedenen Untersuchungsmodalitäten oder Kohortengrößen zurückführen lassen.

In der Literatur machen Polgefäße aus der Aorta tatsächlich einen um wenige Prozent größeren Anteil an zusätzlichen Nierenarterien aus als akzessorische Gefäße. (34) Dies trifft auf dieses Kollektiv nicht zu, da in diesem viermal so viele Hilusgefäße wie Polararterien beschrieben werden.

In 5% der potenziellen Spenderinnen und Spender verläuft eine Nierenarterie ventral der VCI. Dieser Wert stimmt mit der Literatur überein. (13)

Eine frühe Gabelung wurde in 9% der rechten Nieren und 10% der linken Nieren, oder 7% der rechten Arterien und 8% der linken Arterien gefunden. In dieser Studie wurde die frühe Gabelung nur bis zu einer Länge von 1,5cm angenommen. Andere Studien, die eine frühe Gabelung noch bis zu einer Länge von 2cm definieren, beschreiben demnach einen höheren Anteil der Anomalie. So beschreiben Raman et al. (18) diese in etwa in 15% der rechten und 21% der linken Nieren. Kramer et al. (6) beschreiben aufgrund der abweichenden Definition ein Auftreten früher Gabelungen in 11% der Nierenarterien.

In der Literatur wird die Länge der Nierenarterien bis zu ihren Aufzweigungen mit 3-5cm beschrieben. (11–13) Dies deckt sich mit den Ergebnissen einer durchschnittlichen Arterienlänge von 4,19cm auf der rechten und 3,55cm auf der linken Seite. Durch die frühen Gabelungen kommt es zu Ausreißern. Eine Nierenarterie mit einer Länge von 9,1 cm konnte bei einer inkompletten Doppelnieren beobachtet werden.

Der Gefäßdurchmesser der Nierenarterien am Ursprung aus der Aorta rankte zwischen 2mm und 9,3mm, während sich die Literatur auf einen maximalen Durchmesser von 6-7mm bezieht. (13) Dies lässt sich eventuell dadurch erklären, dass der Durchmesser in dieser Arbeit ausschließlich am Ursprung ermittelt wurde, wo die Arterie meist am dicksten ist (siehe Abb. 7). Selbst Nieren mit einer multiplen Gefäßversorgung kommen noch auf einen maximalen Durchmesser von 7,8-7,9mm, wobei solche Gefäße in meiner Arbeit im Durchschnitt schmalkalibriger sind. Die Intraobservervariabilität für diesen Messwert befindet sich zwischen -0,1mm und +0,3mm.

Da die Nierenarterien der 104 potenziellen Spenderinnen und Spender in 96% auf der linken und 95% auf der rechten Seite auf der Höhe L1 bis L2 entspringen, deckt sich auch dieser Wert mit der Literatur. (11–13,35) Meistens findet man den Ursprung der Nierenarterien jedoch beim LWK 1 (42% links, 46% rechts), anstatt beim LWK 2 (30% links, 31% rechts) oder der Bandscheibe L1/L2 (24% links, 16% rechts).

In den hier evaluierten Fällen entspringen die linken Nierenarterien meist kaudaler aus der Aorta als die rechten. Dies wird in der Literatur und Studien manchmal genauso beschrieben (35), manchmal auch umgekehrt (11) und ist vermutlich vom Personenkollektiv abhängig. Es sind vor allem die zusätzlichen Arterien, die besonders weit kaudal aus der Aorta entspringen, da sie unter anderem auch zum unteren Pol der Niere ziehen können. Beim Vorliegen akzessorischer Gefäße entspringen diese auch weiter ventral aus der Aorta als normal (9% der Arterien entspringen aus dem Segment 1 und 75% davon sind multipel). Diese ventralen Gefäße führen in 92% zur rechten Niere.

Die Literatur beschreibt einen Abgang der Nierenarterien unmittelbar unterhalb der AMS mit variablem Abstand. (11–13,36) In meiner Arbeit beträgt dieser Abstand im Durchschnitt 24,8mm auf der rechten und 26,9mm auf der linken Seite. Zusätzlich liegt der Ursprung der Nierenarterien rechts im Durchschnitt 96,2mm und links 94,0mm vom periphersten Punkt der Aortenbifurkation entfernt, was eine Länge von insgesamt 121mm zwischen der AMS und Bifurkation ergibt.

Die Venen werden am besten in der zweiten oder dritten Kontrastmittelphase ausgewertet, da sie dort am besten kontrastiert sind.

Retrospektiv konnten in den 208 Nieren in 5% doppelte Venen und in 0,5% dreifache Venen gefunden werden. 95% waren singular. Bis auf den Anteil dreifacher Venen gleichen diese Werte den von Gluecker et al. (9) erhobenen (92,8% singular, 3,6% doppelt, 3,6% dreifach). Trotzdem liegen die Werte für multiples Venenaufkommen beider Arbeiten deutlich unter den Anteilen, die in der Literatur beschrieben werden. Kadir (37) beschreibt ein Vorkommen akzessorischer Nierenvenen von 15-30%. Der Grund für die fehlende Übereinstimmung ist unklar, vor allem da es bezüglich der Venen sehr wenige Unstimmigkeiten zwischen den radiologischen und OP-Berichten gab. Vielleicht ist es aber auf die vorliegende Kohortengröße oder meine fehlende Erfahrung zurückzuführen.

Die Aufteilung einer Vene nach einem kurzen gemeinsamen Stamm, die in dieser Arbeit zweimal mit und zweimal ohne darauffolgende Ringbildung um die Aorta beschrieben wurde, ist bereits aus der Literatur bekannt. Das Phänomen tritt in bis zu 6,7% auf und gelegentlich tritt die Arteria testicularis durch die so entstandene Öffnung. Die Literatur erwähnt jedoch auch, dass solche Teilungen niemals weiter medial als am Zusammenfluss mit der linken Vena suprarenalis auftreten (38), was bei diesem Personenkollektiv sehr wohl der Fall ist, da die separaten Venenäste eigenständig in die VCI oder Beckenvene einmünden (siehe Abb. 36). Das Vorkommen der Aufteilung sowie der Ringbildung sind vermutlich Überbleibsel der embryonalen Entwicklung, bei der die Anastomosen zwischen den subkardinalen und suprakardinalen Venen einen venösen Ring um die Aorta bilden. (39)

Meine Arbeit beschreibt außerdem einige tief mündende retroaortale Venen und zwei so weit kaudal in die Beckenvenen einmündende, dass sie nicht eindeutig von einer zweiten VCI unterschieden werden konnten. Ein ähnlicher Fall wurde von Field et al. (39) beschrieben und mit einer persistierenden linken suprakardinalen Vene begründet, die weit kaudal in die VCI einmündet.

Das Vorkommen retroaortal verlaufender linker Nierenvenen in meiner Arbeit (4%) deckt sich mit den Zahlen anderer Studien von 1-11% (6,40), der Anteil an kompletten Ringbildungen (3%) liegt unter den Ergebnissen anderer Studien und der Literatur von 7-11% (38,40).

Die durchschnittliche Länge des gemeinsamen Stammes der Nierenvenen von 2,62cm rechts und 6,67cm links deckt sich fast exakt mit den Längen der Venen in der Studie von

Beckmann et al. (40), die rechts eine durchschnittliche Länge von 26mm und links 68mm angeben. Urban et al. (35) beschreiben in ihrer CT-Studie links (6-10cm) ein Vorkommen von bis zu dreimal längeren Venen als rechts (2-4cm). Die Werte meiner Arbeit werden durch einige längere Ausreißer sowie durch kurze gemeinsame Stämme von vier Personen beeinflusst, die sich danach wiederum aufteilen.

Diese Arbeit beschreibt 6% späte Zusammenflüsse der Äste der Nierenvenen rechts und 7% links, wobei die Konfluenz rechts im Durchschnitt 21mm und links 37mm vom Hilus entfernt geschieht. Raman et al. (18) beschreiben mit der gleichen Definition aber einer größeren Kohorte 10% rechts und 17% links.

Die Beschreibung einer insuffizienten V. ovarica/testicularis sinistra (20%) ist sowohl für die bevorstehende Operation ein wichtiger Nebenbefund, als auch für die betroffenen Personen. Bei Frauen können insuffiziente gonadale Venen zum chronisch schmerzhaften Beckenvenensyndrom führen und eine Sklerosierung notwendig machen. Bis zu 15% aller Frauen haben Krampfadern im Becken, weshalb die Venen während der präoperativen Evaluation zur Nierenlebenspende ausgewertet werden sollten, obwohl das MR sowie die CT nicht zu den gängigen Diagnostiktools des Beckenvenensyndroms zählen. (41) Da die V. testicularis sinistra bei ihrer Insuffizienz zu einer Varikozele führen kann und durch ihre rechtwinkelige Einmündung in die V. renalis für eine solche anfällig ist, sollte auch sie bei jedem Befund der Nierenvenen beschrieben werden. Die unbehandelte Varikozele kann unter Umständen zur Infertilität führen. (42)

Während ich in meiner Arbeit in 34% der 104 Personen auffällige paravertebrale Verbindungen beschreibe, erwähnen Beckmann et al. (40) in 39% Verbindungen mit lumbalen oder retroperitonealen Venen oder der linken V. hemiazygos.

Retrospektiv wurden Zysten aller Art in 31% der Nieren gefunden. Dieser Wert ist etwas geringer als der von Kramer et al. (6), die in 17% der Fälle Zysten über 15mm beschrieben haben sowie simple Zysten in 31% der übrigen Personen, wobei ihre Kohortengröße nur ein Drittel meiner umfasst.

Wie bereits erwähnt, können durch den besseren Weichteilkontrast des MRT in manchen Fällen Befunde gestellt werden, die in der CT nicht sichtbar sind. (19) Gleichzeitig erspart man der Person eine Strahlenexposition. Das MRT verwendet im Gegensatz zur CT auch

kein jodhaltiges Kontrastmittel. (10) Obwohl auch nach der Gabe gadoliniumhaltiger Kontrastmittel schwere unerwünschte Wirkungen auftreten können, ist das Risiko akuter Reaktionen geringer als bei jodhaltigen Kontrastmitteln. (43) Heutzutage sind die zeitaufgelösten MR-Untersuchungen in der Lage ihre Schnittbilder in 1s oder weniger anzufertigen. Die Ortsauflösung kann bei Teilkörperuntersuchungen unter 1mm betragen. (44)

Wie bereits im Kapitel 4.3 erwähnt, liegt die durchschnittliche Größe der Nieren der 104 Personen (rechts 10,53 x 4,77 x 4,26cm, links 10,87 x 4,37 x 4,53cm) im in der Literatur beschriebenen Wertebereich von 10-12cm x 5-6cm x 4cm oder leicht darunter. (11)

Meine Arbeit beschreibt in 2% einen Ureter duplex und 4% einen proximal gedoppelten Ureter oder Ureter fissus. Kramer et al. (6) beschreiben ein singuläres Vorkommen von 95%, während sich 1/18 Patienten mit doppeltem Sammelsystem und Ureter präsentierte. Die Anteile singulären Vorkommens decken sich beinahe, wobei meine Arbeit eine größere Kohorte sowie drei inkomplette Doppelnieren umfasst, die dem doppelten Sammelsystem des in der anderen Studie beschriebenen Patienten gleichen könnten.

Die distale Verschmälerung der Aorta wurde auch schon von Lu et al. (45) mittels CT an 281 gesunden Individuen beschrieben. Hernesiemi et al. (46) setzten in ihrer Studie den Durchmesser der Aorta am Sinus mit der BSA in Verbindung und fanden heraus, dass die Assoziation zwischen den beiden Werten stärker ist, wenn man die BSA während dem jungen Erwachsenenendasein (höchste Assoziation bei 23 Jahren) zur Berechnung benutzt, anstatt der BSA im mittleren Alter (34 – 49 Jahre). Meine Arbeit hat keinen Altersvergleich angestrebt und alle Personen unabhängig vom Alter bezüglich BSA, Körpergröße und Aortendurchmesser ausgewertet. Während sich bezüglich der Körpergröße und des Aortendurchmessers ein aussagekräftiger Trend ergab, konnte dieser bezüglich der Längen der Aa. iliacae communes nicht eindeutig dargestellt werden. Die Längen dieser unterscheiden sich oft stark zwischen den einzelnen Personen. Dennoch ergibt sich ein nahezu einheitliches Bild beim Vergleich des durchschnittlichen Verhältnisses von Länge/BSA, das für die Arterien bei Männern und Frauen im Mittel ähnliche Ergebnisse liefert (männliche A. iliaca communis sinistra durchschnittlich 35,34mm/m² bis weibliche A. iliaca communis sinistra durchschnittlich 36,33mm/m²).

Dass das Verhältnis zwischen dickstem und dünnstem VCI-Durchmesser in manchen Fällen nur mehr 10% beträgt und der dünnste gemessene Durchmesser nur 2,7mm umfasst, kann verschiedene Gründe haben. Zum einen sind die Werte von der Atmung der Person abhängig, zum anderen vom Hydrationszustand, weshalb der VCI-Durchmesser im Ultraschall auch zur notfallmedizinischen Entscheidung über die Volumengabe eingesetzt wird. (47) Auf die Personen dieser Arbeit können beide Gründe Einfluss genommen haben. Laut der Literatur beträgt der Durchmesser der VCI maximal 3cm. (12) Dieser Wert wurde von 17 Personen an zumindest einer Messstelle überschritten, wobei der größte gemessene Durchmesser 38,9mm betrug (siehe Abb. 56).

Mohtasib et al. (48) setzten die sonographischen Längen der Nieren von Kindern unter 14 Jahren mit anderen Körperparametern in Verbindung. Wie auch in meiner Arbeit mit erwachsenen Personen hatte die Körpergröße eine eindeutige Korrelation zur Nierenlänge. Außerdem waren die linken Nieren sowie die Nieren der männlichen Patienten in ihrer Studie länger, während die BSA nur einen geringen Einfluss zeigte. (48)

Als Besonderheit zeigte sich ein Fall mit Niereninfarkt, zwei Fälle mit insgesamt drei inkompletten Doppelnieren sowie ein Fall mit durch das MR erkannter maligner Expansion der Niere. Außerdem präsentierten sich 34% aller Personen meiner Arbeit mit einer persistierenden Renkulizeichnung, die manchmal mit Infarkten verwechselt werden können.

Obwohl die 3D-rekonstruierten Bilder einen guten Überblick liefern, sind dennoch die Quellbilder aller dynamischen Phasen sowie Subvolumen MIPs und MPRs notwendig, um die finale Diagnose zu stellen und müssen daher immer evaluiert werden. Ein gutes Beispiel bieten Abb. 64 und 65, die aufgrund ihrer 3D-Rekonstruktionen ein akzessorisches Nierengefäß sowie eine insuffiziente V. testicularis vortäuschen, die beide nicht vorhanden sind. Außerdem wurden im Fall der operierten Personen zusätzliche Arterien auf den Bildern von drei Personen übersehen, die retrospektiv beschrieben wurden. Man sollte sich deshalb bei der Interpretation jeder MR-Angiographie vor allem auf die Quellbilder konzentrieren, um eindeutige Diagnosen stellen zu können.

Zur noch besseren Darstellung der ableitenden Harnwege kann Furosemid diskutiert werden, wie bereits in einer CT-Studie von Silverman et al. (49) beschrieben. Auch die Literatur schlägt dahingehend eine Applikation von mindestens 10mg Lasix® nach KM-Applikation

in der MR-Angiographie vor. (30) Die Erkennbarkeit des Eintritts der Ureteren in die Harnblase lässt sich außerdem vielleicht durch zweimalige Aufnahme der Urographie verbessern – einmal mit gefüllter und einmal mit entleerter Harnblase. Eine solche Untersuchung würde jedoch einen höheren zeitlichen Aufwand bedeuten, der gegen die dadurch eventuell verbesserte Unterscheidbarkeit zwischen Ureter duplex und fissus abgewogen werden muss.

Eventuell kann dieselbe kontrastmittelgestützte MRA zur Evaluation der renalen Perfusion verwendet werden und dadurch die Scintigraphie in Zukunft ersetzen, wodurch den Patientinnen und Patienten die zusätzliche Strahlung erspart bleibt. Bei manchen Personen dieser Arbeit ist der Testbolus bereits als Perfusion gelaufen, konnte aber mangels Personals noch nicht ausgewertet werden. Attenberger et al. (50) haben bereits 2011 eine baldige weite Verbreitung der MR-Perfusionsmessung in der Klinik vorausgesagt. So haben Attenberger et al. (51) in einer anderen Studie bereits beschrieben, dass quantifizierte MR-Perfusionsmessungen ein Erkennen renaler parenchymaler Funktionsstörungen und in der Kombination mit MRA eventuell ein Unterscheiden parenchymaler und vaskulärer Krankheiten möglich macht. (51)

Um die radiologischen Berichte der präoperativen Aufnahmen zu vereinheitlichen und alle für die Operation relevanten Einzelheiten zu erfassen, könnte ein Protokoll mit einer Liste eingeführt werden, auf der etwaige Anomalien abgehakt oder beschrieben werden können. Selbstverständlich würde die Entwicklung eines solchen Protokolls Ressourcen sowie Zeit in Anspruch nehmen, die sich jedoch vor allem im Hinblick auf die in manchen Fällen nicht im Bericht erwähnten Venen und deren Bedeutung für die Spende auszahlen würden. Außerdem würde das Protokoll einen wichtigen Anhaltspunkt bieten, da die potenzielle Nierenlebenspende bei lediglich 104 mittels MRA evaluierten Personen in den letzten zehn Jahren nicht alltäglich vorkommt. Vernuccio, F. et al. (52) beschreiben in ihrer Studie bereits ein solches Vorgehen für die Evaluationen mittels CT an ihrer Klinik. Die erhobenen Daten zu Gefäßanzahl und Ursprung sowie Längenmessungen der Nieren und deren Gefäßen werden der Chirurgie mitsamt der MIPs und weiterer Nachverarbeitungsmodi, die die Messungen beinhalten, überreicht. Außerdem sind Befunde angeführt, die über die Auswertung der Gefäße hinausgehen und beachtet werden sollen. (52) Zusätzlich sollte auf eine ausreichende Darstellung des Abdomens und Beckens geachtet werden, um etwaige Nebenbefunde nicht zu übersehen.

In meiner Arbeit stimmten die Anzahl der Nierengefäße nach der retrospektiven Auswertung der Aufnahmen in 94% (präoperativ 94%) der operierten Fälle bezüglich der Arterien und in 99% (präoperativ 99%) der Fälle bezüglich der Venen mit den OP-Berichten überein. Nimmt man nun die chirurgisch mutmaßlich als zusätzliche Gefäße gedeuteten frühen Gabelungen und späten Zusammenflüsse aus, steigt die retrospektive Übereinstimmung auf 97% bei den Arterien und 100% bei den Venen. Bezüglich des Vorliegens prominenter paravertebraler Verbindungen gab es retrospektiv eine Übereinstimmung von 90% (präoperativ 81%). Da auf den MRA-Aufnahmen Gefäße von bis zu knapp 1mm Dicke problemlos erkannt werden konnten (siehe Abb. 59), ist das suspektierte Übersehen einer Arterie durch technische Limitationen nicht lückenlos erklärbar. Eine Niere wurde problemlos transplantiert, obwohl die retrospektiv gefundene doppelte arterielle Versorgung sowohl bei der präoperativen Evaluation als auch bei der Operation nicht beschrieben wurde.

Einige Studien haben die Performance der MRA bereits dokumentiert. Neun davon werden nachfolgend diskutiert. Die Studie von Gluecker et al. (9) beschreibt die korrekte arterielle Anatomie in 92% der Fälle mit 8% falsch positiven Befunden mit einem 1,5T Gerät. Ebenfalls an 1,5T Geräten durchgeführte Studien umfassen:

Emam et al. (4) mit einer Sensitivität für arterielle Anomalien von 89,3% und einer Spezifität von 94% sowie einer Richtigkeit in 90,8%. Für die venösen Anomalien ergab sich eine Sensitivität von 98,5%, eine Spezifität von 100% und eine Richtigkeit in 98,6%. Kuhlemann et al. (5) verglichen ihre Ergebnisse mit der Chirurgie und der CTA und kamen auf 100% richtige Ergebnisse zur Anzahl und dem Verlauf der Venen sowie 93% zu den Arterien. Monroy-Cuadros et al. (7) beschrieben einen negativen prädiktiven Wert von 0,97 sowie falsch negative Ergebnisse von 0,25 und eine Sensitivität von 0,75. Alle übersehenen Gefäße konnten retrospektiv gefunden werden. Kim et al. (10) verglichen ihre Daten sowohl mit der Chirurgie als auch mit der DSA. Die Sensitivität für akzessorische Arterien lag bei 50% (1 von 2), für frühe Gabelungen bei 0% (0 von 1), die Spezifität bei 100% und die allgemeine Richtigkeit der Ergebnisse bei 92,5%. In der retrospektiven Studie von Rajab et al. (8), die 189 Nieren umfasste, konnten 91,5% Befunde korrekt gestellt werden. Die 8,5% inkorrekten Ergebnisse umfassten 10 übersehene und 6 fälschlich beschriebene Gefäße. Alle bis hierhin erwähnten Studien beschrieben die MRA als eine geeignete Methode zur präoperativen Evaluierung vor potenzieller Nierenlebenspende.

Hodgson et al. (2) kamen bei 18 Nieren mit doppelter arterieller Versorgung (111 analysierte Nieren) auf 9 übersehene Fälle. Drei konnten retrospektiv identifiziert werden, sechs waren

zuschulden technischer Limitationen. Von 13 multiplen venösen Versorgungen wurden 9 übersehen, 3 aufgrund von menschlichen Fehlern. Obwohl sie dem MRA einige Vorteile zugestehen, möchten sie CTA als Alternative testen.

Kramer et al. (6) benutzten ein 3,0T Gerät. Die Sensitivität betrug 85% und der positiv prädiktive Wert 93%. Es wurde ein falsch negatives und ein falsch positives Ergebnis dokumentiert. Auch diese Studie empfiehlt die MRA aufgrund der guten Ergebnisse als eine mögliche Modalität der Wahl vor potenzieller Nierenlebenspende.

Die Übereinstimmung bezüglich paravertebraler Verbindungen war in der Studie von Bhatti et al. (53) bedeutend kleiner und betrug nur 41%. Das mag auf die kleinere Kohortengröße zurückzuführen sein sowie auf die Tatsache, dass die OP-Ergebnisse als Standard hergenommen wurden und nur verglichen wurde, wie oft eine beschriebene lumbale Verbindung auch mittels MRA gefunden wurde. Wendet man die gleiche Auswertmethode an meiner Arbeit an, kommt man auf Ergebnisse von 8% präoperativ und 92% retrospektiv.

Um die Übereinstimmungsrate zwischen radiologischen und OP-Berichten bei der MR-Angiographie vor Nierenlebenspende zu erhöhen, ist es ratsam, dass die Bilder vor der Operation erneut von einer erfahrenen Radiologin / einem erfahrenen Radiologen zusammen mit der Chirurgin / dem Chirurgen re-evaluiert werden. Dies ist vor allem deshalb relevant, da akzessorische Arterien erhalten werden sollen, wenn diese mehr als 5% des Nierenparenchyms versorgen. (30) Durch die retrospektive Auswertung der 67 operierten Fälle dieser Arbeit konnten zwei von drei radiologisch nicht erwähnten sowie eine radiologisch und während der Operation übersehene Arterie nachträglich gefunden werden, ebenso wie eine im radiologischen Bericht nicht beschriebene Vene.

Die vorgeschlagene Re-evaluierung kann nach dem Vorbild des 2010 in Österreich eingeführten interdisziplinären Tumorboards für Krebspatienten erfolgen, in dem sich die Verantwortlichen der verschiedenen Fachrichtungen zusammensetzen und ein weiteres Vorgehen beschließen um so die Qualität der Versorgung zu optimieren. (54)

Wie bereits angedeutet bietet die MRA gegenüber der CT den Vorteil der fehlenden Strahlenexposition. Laut einer Auskunft von Frau Ass. Prof.ⁱⁿ Dr.ⁱⁿ med. univ. Manuela Aschauer können vergleichbare CT-Untersuchungen an der Klinik heutzutage noch bei ca. 3 - 58mSv liegen. Die durchschnittliche jährliche Strahlendosis eines Menschen aus Österreich, bestehend aus natürlicher (2,8mSv) und zivilisatorischer Strahlenbelastung z.B.

durch Röntgendiagnostik (1,4mSv), beträgt hingegen nur rund 4,2mSv. (55) Dennoch gibt es verschiedene Meinungen zur Vergleichbarkeit der beiden Methoden bezüglich der Leistung bei der Evaluation vor potenzieller Nierenlebenspende. (2,3,9,53)

Die zwei Personen aus der ursprünglichen Datenabfrage, bei denen keine MRT durchgeführt wurde, bekamen stattdessen eine CT. Während dies bei einer MR-untauglichen Zahnprothese nicht anders möglich ist, könnte bei Klaustrophobie das Einsetzen einer beruhigenden Medikation diskutiert werden.

5.1 Limitationen

Die Limitationen dieser Arbeit sind unter anderem auf die fehlende Beweisbarkeit der operativen Ergebnisse zurückzuführen. Es liegen keine intraoperativen Fotos vor und da die Daten retrospektiv ausgewertet wurden, konnten die Chirurgen und Chirurgen nicht wissen, welche Informationen über die Personen in dieser Arbeit relevant sein würden. Ebenso konnten die radiologischen Berichte nur durch die operativen Ergebnisse und die retrospektive Auswertung verifiziert werden. So wurden lediglich 67 der 208 beschriebenen Nieren operativ überprüft. Die restlichen Nieren, die nicht gespendet wurden, konnten ohne die OP-Berichte nur durch zweimaliges (präoperative Evaluation und retrospektiv durch mich als Studentin und im Zweifelsfall im Konsens) Auswerten bearbeitet werden. Außerdem ließ sich die Körpergröße einer potenziellen Spenderin bis zum Schluss nicht erheben, was die Fallzahl mancher Berechnungen auf 103 Personen senkt.

Trotz mehrmaligem Überprüfen nach dem Schema in Abb. 5 kann es dennoch passieren, dass bei einer erneuten Auswertung aller Bilder noch weitere Gefäße gefunden werden, die bis zum Ende übersehen wurden, da die retrospektive Auswertung als richtig angenommen wurde, wenn sie mit dem ursprünglichen OP- und radiologischen Bericht übereinstimmte.

5.2 Conclusio

MR/MRA/MRV ist eine sehr gute Wahl zur Evaluation potenzieller Nierenlebenspenderinnen und -spender, da sie nur minimal invasiv ist, die Möglichkeit zur multiplanaren Darstellung bietet und die Personen keiner zusätzlichen Strahlung aussetzt. (10) Die Ergebnisse meiner Arbeit haben eine hohe Übereinstimmungsrate nach

zweimaligem Auswerten ergeben. Durch erneutes Auswerten einer erfahrenen Radiologin oder eines erfahrenen Radiologen zusammen mit der Chirurgie und Re-Evaluation der Ergebnisse vor jeder Nierenlebendspende kann die Übereinstimmung sicherlich noch weiter verbessert werden.

Die anatomischen Erkenntnisse dieser Arbeit könnten bei zukünftigen präoperativen Evaluationen behilflich sein. Die MR/MRA/MRV konnte die relevanten Anomalien und Pathologien der potenziellen Spenderinnen und Spender zufriedenstellend aufzeigen, wodurch sie für ein Normalkollektiv quantifiziert werden konnten.

6 Literaturverzeichnis

1. Priebe B, Seethaler J, Fischer U, Kozyga K, Ivansits S, Schleicher B, et al. Transplant-Jahresbericht 2017 [Internet]. Wien; 2018 [cited 2019 Jun 7]. Available from: [https://jasmin.goeg.at/411/1/Transplant-Jahresbericht 2017.pdf](https://jasmin.goeg.at/411/1/Transplant-Jahresbericht%202017.pdf)
2. Hodgson DJ, Jan W, Rankin S, Koffman G, Khan MS. Magnetic resonance renal angiography and venography: an analysis of 111 consecutive scans before donor nephrectomy. *BJU Int.* 2006 Mar;97(3):584–6.
3. Gulati M, Dermendjian H, Gomez AM, Tan N, Margolis DJ, Lu DS, et al. 3.0Tesla magnetic resonance angiography (MRA) for comprehensive renal evaluation of living renal donors: pilot study with computerized tomography angiography (CTA) comparison. *Clin Imaging.* 2016;40(3):370–7.
4. Emam AT, Aloraifi IA, Egail SA. Can contrast-enhanced renal MR angiography replace conventional angiography in preoperative evaluation of living renal donors? *Saudi J Kidney Dis Transpl.* 2011 Mar;22(2):225–31.
5. Kuhlemann J, Blondin D, Grottemeyer D, Zgoura P, Reichelt D, Heinen W, et al. Gadofosveset-enhanced MR imaging for the preoperative evaluation of potential living kidney donors: correlation with intraoperative findings. *Rofo.* 2010 Nov;182(11):1001–9.
6. Kramer U, Thiel C, Seeger A, Fenchel M, Laub G, Finn PJ, et al. Preoperative evaluation of potential living related kidney donors with high-spatial-resolution magnetic resonance (MR) angiography at 3 Tesla: comparison with intraoperative findings. *Invest Radiol.* 2007 Nov;42(11):747–55.
7. Monroy-Cuadros M, McLaughlin K, Salazar A, Yilmaz S. Assessment of live kidney donors by magnetic resonance angiography: reliability and impact on outcomes. *Clin Transplant.* 2008;22(1):29–34.
8. Rajab A, Khabiri H, Pelletier RP, Henry ML, Akin B, Elkhammas E, et al. Magnetic resonance angiography for preoperative evaluation of potential kidney donors. *J Surg Res.* 2004 Aug;120(2):195–200.
9. Gluecker TM, Mayr M, Schwarz J, Bilecen D, Voegelé T, Steiger J, et al. Comparison of CT angiography with MR angiography in the preoperative assessment of living kidney donors. *Transplantation.* 2008 Nov;86(9):1249–56.
10. Kim J-C, Kim C-D, Jang M-H, Park S-H, Lee J-M, Kwon T-G, et al. Can magnetic resonance angiogram be a reliable alternative for donor evaluation for laparoscopic

- nephrectomy? *Clin Transplant*. 2007;21(1):126–35.
11. Fritsch H, Kühnel W, editors. *Taschenatlas Anatomie, Band 2: Innere Organe*. 12th ed. Stuttgart: Thieme; 2018.
 12. Anderhuber F, Pera F, Streicher J, editors. *Waldeyer - Anatomie des Menschen: Lehrbuch und Atlas in einem Band*. 19th ed. Berlin/Boston: Walter de Gruyter GmbH & Co.KG; 2012.
 13. Michaely HJ, Reimer P, Schönberg SO, editors. *Atlas der MR-Angiographie: Techniken und klinische Anwendung*. 1st ed. Berlin Heidelberg: Springer; 2014.
 14. Paulsen F, Waschke J, editors. *Sobotta - Atlas der Anatomie des Menschen - Innere Organe*. 23rd ed. München: Urban & Fischer; 2010.
 15. Uflacker R. *Atlas of Vascular Anatomy: An Angiographic Approach*. 1st ed. Mitchell CW, editor. Baltimore: Williams & Wilkins; 1997. 16–21 p.
 16. Manski D. *Urologielehrbuch.de* [Internet]. 2019 [cited 2019 Feb 10]. Available from: https://www.urologielehrbuch.de/fehlbildungen_nierengefaesse.html
 17. Pozniak MA, Balison DJ, Lee FTJ, Tambeaux RH, Uehling DT, Moon TD. CT angiography of potential renal transplant donors. *Radiographics*. 1998;18(3):565–87.
 18. Raman SS, Pojchamarnwiputh S, Muangsomboon K, Schulam PG, Gritsch HA, Lu DSK. Surgically relevant normal and variant renal parenchymal and vascular anatomy in preoperative 16-MDCT evaluation of potential laparoscopic renal donors. *AJR Am J Roentgenol*. 2007 Jan;188(1):105–14.
 19. Israel GM, Bosniak MA. An update of the Bosniak renal cyst classification system. *Urology*. 2005 Sep;66(3):484–8.
 20. © radiologie24. Handouts Fortbildung für MTRA/RT Abdomen II - Urogenitaltrakt: Nieren und ableitende Harnwege [Internet]. Zürich; 2018 [cited 2019 Jun 6]. Available from: <https://www.radiologie24.ch>
 21. Gaur P, Gedroyc W, Hill P. ADPKD-what the radiologist should know. *Br J Radiol*. 2019 Jun;92(1098):20190078.
 22. © Siemens Healthcare GmbH. *Magnete, Spins und Resonanzen - Eine Einführung in die Grundlagen der Magnetresonanz* [Internet]. 2015 [cited 2019 Feb 3]. Available from: https://static.healthcare.siemens.com/siemens_hwem-hwem_sxxa_websites-context-root/wcm/idc/groups/public/@global/@imaging/@mri/documents/download/mda1/odcz/~edisp/siemens_mri_magnete-spins-resonanzen_de-02841188.pdf
 23. Kaufmann GW, Moser E, Sauer R, editors. *Radiologie*. 3rd ed. München: Urban &

- Fischer; 2006.
24. Krupa K, Bekiesinska-Figatowska M. Artifacts in magnetic resonance imaging. *Polish J Radiol.* 2015;80:93–106.
 25. Partovi S, Rasmus M, Schulte A-C, Rengier F, Jacob AL, Aschwanden M, et al. ECG-triggered non-enhanced MR angiography of peripheral arteries in comparison to DSA in patients with peripheral artery occlusive disease. *MAGMA.* 2013 Jun;26(3):271–80.
 26. Vogler H. Kontrastmittel in der MRT. In: Adamek HE, Lauenstein TC, Riemann JF, editors. *MRT in der Gastroenterologie.* 1st ed. Stuttgart, New York, Delhi, Rio: Thieme Verlagsgruppe; 2009. p. 16–21.
 27. Schranz R. Gadolinium-haltige Kontrastmittel - Wichtige Information des Bundesamtes für Sicherheit im Gesundheitswesen über aktualisierte Empfehlungen nach Überprüfung von Gadolinium Ablagerung im Gehirn und anderen Geweben bei der Anwendung von Gadolinium-haltigen Kontrastmittel [Internet]. Wien; 2017 [cited 2019 Jul 29]. Available from: https://www.basg.gv.at/index.php?eID=tx_nawsecured1&u=0&g=0&t=0&hash=188fb54d285df80808701ffc9010d58d26895623&file=fileadmin/user_upload/171220_Gadolinium_haltige_KM.pdf
 28. © Guerbet. Gebrauchsinformation: Information für Patienten - Dotarem - Injektionslösung [Internet]. 2017 [cited 2019 Jul 29]. Available from: https://aspregister.basg.gv.at/document/servlet?action=show&zulnr=1-21996&type=DOTC_GEBR_INFO
 29. © Bayer Vital GmbH. Gebrauchsinformation: Information für Patienten - Gadovist 1,0mmol/ml Injektionslösung [Internet]. 2017 [cited 2019 Jul 29]. Available from: <https://www.bayer.at/static/documents/produkte/gi/Gadovist-Injektionsloesung.pdf>
 30. Schneider G, Prince MR, Meaney JFM, Ho VB, editors. *Magnetic Resonance Angiography: Techniques, Indications and Practical Applications.* 1st ed. Milan Heidelberg New York: Springer; 2005.
 31. Mosteller RD. Simplified calculation of body-surface area. Vol. 317, *The New England journal of medicine.* United States; 1987. p. 1098.
 32. Hanninen EL, Denecke T, Stelter L, Pech M, Podrabsky P, Pratschke J, et al. Preoperative evaluation of living kidney donors using multirow detector computed tomography: comparison with digital subtraction angiography and intraoperative findings. *Transpl Int.* 2005 Oct;18(10):1134–41.

33. Pollak R, Prusak BF, Mozes MF. Anatomic abnormalities of cadaver kidneys procured for purposes of transplantation. *Am Surg*. 1986 May;52(5):233–5.
34. Ringe KI. Nierenarterie (A. renalis). In: Wacker F, Lippert H, Pabst R, editors. *Atlas der arteriellen Variationen: Klassifikation und Häufigkeit*. 1st ed. Stuttgart; New York: Georg Thieme Verlag; 2018. p. 62–7.
35. Urban BA, Ratner LE, Fishman EK. Three-dimensional volume-rendered CT angiography of the renal arteries and veins: normal anatomy, variants, and clinical applications. *Radiographics*. 2001;21(2):355–73.
36. Block B. *Der Sono-Trainer: Schritt-für-Schritt-Anleitungen für die Oberbauchsonografie*. 5th ed. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2014.
37. Kadir S. *Diagnostic angiography*. 1st ed. Kadir S, editor. Philadelphia: Saunders; 1986.
38. Pick JW, Anson BJ. The Renal Vascular Pedicle: An Anatomical Study of 430 Body-Halves. *J Urol*. 1940;44(4):411–34.
39. Field S, Saxton H. Venous anomalies complicating left adrenal catheterization. *Br J Radiol*. 1974 Apr;47(556):219–25.
40. Beckmann CF, Abrams HL. Renal venography: anatomy, technique, applications, analysis of 132 venograms, and a review of the literature. *Cardiovasc Intervent Radiol*. 1980;3(1):45–70.
41. Ev. Diakonissenanstalt Karlsruhe-Rüppurr. Beckenvenensyndrom (Pelvic Congestion Syndrome, PCS) – chronische Unterleibsschmerzen bei Frauen; Sklerosierung (Verödung) [Internet]. [cited 2019 Jul 16]. Available from: https://www.diak-ka.de/downloads/medizin_pflegeradiologie/behandlung_des_beckenvenensyndroms_der_frau.pdf
42. Luzar O, Müller SC. Varikozele. In: Stein R, Beetz R, Thüroff JW, editors. *Kinderurologie in Klinik und Praxis*. 3rd ed. Stuttgart; New York: Georg Thieme Verlag; 2012. p. 558–61.
43. European Society of Urogenital Radiology. *ESUR Guidelines on Contrast Media* [Internet]. 2012 [cited 2019 Aug 27]. Available from: <http://www.esur.org/guidelines/de/>
44. Hentschel M, Paul D, Moser E, Brink I. Möglichkeiten und Grenzen der modernen Schnittbildverfahren (CT, MRT, PET) in der molekularen Bildgebung. *Der Nukl*. 2007;30:31–41.

45. Lu W, Guo W, Liu J, Ge Y, Rong D, He B, et al. Consistency of Proximal-to-Distal Tapering of Descending Thoracic Aortic Diameter: Quantification Using a Novel Computer Tomography-based Assessment. *Ann Vasc Surg.* 2019 Jul;58:205–10.
46. Hernesniemi JA, Heiskanen J, Ruohonen S, Kartiosuo N, Hutri-Kahonen N, Kahonen M, et al. Aortic sinus diameter in middle age is associated with body size in young adulthood. *Heart.* 2018 May;104(9):773–8.
47. Osterwalder JJ. Volumen - ja oder nein?: Eine schnelle Entscheidungshilfe mit einfachen Parametern [Internet]. 2014 [cited 2019 Jul 16]. Available from: <https://healthcare-in-europe.com/de/news/eine-schnelle-entscheidungshilfe-mit-einfachen-parametern.html#>
48. Mohtasib RS, Alshamiri KM, Jobeir AA, Saidi FMA, Masawi AM, Alabdulaziz LS, et al. Sonographic measurements for kidney length in normal Saudi children: correlation with other body parameters. *Ann Saudi Med.* 2019;39(3):143–54.
49. Silverman SG, Akbar SA, Morteles KJ, Tuncali K, Bhagwat JG, Seifter JL. Multi-detector row CT urography of normal urinary collecting system: furosemide versus saline as adjunct to contrast medium. *Radiology.* 2006 Sep;240(3):749–55.
50. Attenberger UI, Morelli JN, Schoenberg SO, Michaely HJ. Assessment of the kidneys: magnetic resonance angiography, perfusion and diffusion. *J Cardiovasc Magn Reson.* 2011 Nov;13:70.
51. Attenberger UI, Sourbron SP, Schoenberg SO, Morelli J, Leiner T, Schoeppler GM, et al. Comprehensive MR evaluation of renal disease: added clinical value of quantified renal perfusion values over single MR angiography. *J Magn Reson Imaging.* 2010 Jan;31(1):125–33.
52. Vernuccio F, Gondalia R, Churchill S, Bashir MR, Marin D. CT evaluation of the renal donor and recipient. *Abdom Radiol (New York).* 2018 Oct;43(10):2574–88.
53. Bhatti AA, Chugtai A, Haslam P, Talbot D, Rix DA, Soomro NA. Prospective study comparing three-dimensional computed tomography and magnetic resonance imaging for evaluating the renal vascular anatomy in potential living renal donors. *BJU Int.* 2005 Nov;96(7):1105–8.
54. Gastl G. Interdisziplinäre Tumorboards: Organisation, Rechtsaspekte, Chancen und Herausforderungen [Internet]. Vol. 03, *Universum Innere Medizin.* 2014 [cited 2019 Jul 9]. Available from: <https://www.medmedia.at/univ-innere-medizin/interdisziplinare-tumorboards-organisation-rechtsaspekte-chancen-und-herausforderungen/>

55. Bundesministerium für Arbeit Soziales Gesundheit und Konsumentenschutz. Strahlenbelastung in Österreich [Internet]. 2017 [cited 2019 Aug 9]. Available from: <https://www.gesundheit.gv.at/leben/umwelt/radiokativitaet/strahlenbelastung>