

UNIVERSITÄTSKLINIKUM HAMBURG-EPPENDORF

Institut für Diagnostische und Interventionelle Radiologie
am Katholischen Marienkrankenhaus Hamburg

Direktor der Einrichtung:
Prof. Dr. med. Christian R. Habermann

Anatomische Varianten der arteriellen Versorgung der Prostata und deren Einfluss auf die Prostataarterienembolisation (PAE) - eine retrospektive, monozentrische Studie

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
an der Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg.

vorgelegt von:

Maximilian Gerau
geb. in Landau i.d. Pfalz

Hamburg 2022

Annahmevermerk

Angenommen von der Medizinischen Fakultät am: 15.11.2022

Veröffentlicht mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg.

Prüfungsausschuss, der/die Vorsitzende: **PD Dr. Malte Vetterlein**

Prüfungsausschuss, 2. Gutachter/in: **Prof. Dr. Christian Habermann**

Inhaltsverzeichnis

1	Fragestellung	3
2	Einleitung	4
2.1	Definition benigne Prostatahyperplasie und lower urinary tract symptoms	4
2.2	Prävalenz von LUTS/BPH	4
2.3	Klinische Beschwerdesymptomatik.....	4
2.4	Diagnostik	6
2.4.1	Anamnese	6
2.4.2	Körperliche Untersuchung.....	6
2.4.3	Symptom Scores	6
2.4.4	Urinanalyse.....	8
2.4.5	Miktionsprotokoll und Restharnbestimmung	8
2.4.6	Weiterführende Diagnostik.....	8
2.5	Therapieoptionen	9
2.5.1	Konservative Behandlung	9
2.5.2	Medikamentöse Therapie	10
2.5.3	Operative Therapie	12
2.6	Anatomie relevanter Arterien für die PAE	16
2.7	Outcomeparameter	22
2.8	Fragestellung	23
3	Material und Methoden	25
3.1	Studiendesign und Datenerhebung	25
3.2	Technisches Vorgehen bei der PAE	30
3.3	Statistische Auswertung	35
3.3.1	Deskriptive Statistik	35
3.3.2	Interraterreliabilität.....	35
3.3.3	Binär logistische Regressionsanalyse.....	35
3.3.4	Generalisiert linear gemischtes Modell (GLMM).....	36
4	Ergebnisse	38
4.1	Patientenkollektiv	38
4.2	Anatomische Klassifikationen.....	41
4.2.1	Klassifikation der Prostataarterie.....	41
4.2.2	Klassische Anatomie und Ursprung Arteria obturatoria	41
4.2.3	Anatomische Symmetrie	42
4.2.4	Interraterreliabilität.....	43
4.3	Technisches Outcome	46

4.3.1	PA-Verschluss	46
4.3.2	PA-Partikelembolisation und Versagensursachen.....	47
4.3.3	Spiralembolisation	49
4.3.4	Such-Cone Beam CT	51
4.4	Multifaktoriell generalisiert linear gemischtes Vorhersagemodell.....	53
4.4.1	Variable: Klassifikation PA-Ursprung	54
4.4.2	Variable: Interventionalist.....	56
4.4.3	Variable: Klassische Anatomie	58
4.4.4	Metrische Variablen: Lebensalter und BMI	58
5	Diskussion.....	60
5.1	Zusammenfassung der Ergebnisse	60
5.2	Diskussion von Material und Methoden	61
5.3	Diskussion von Ziel und Fragestellung der Arbeit und der Ergebnisse	64
5.3.1	Deskriptive Daten des Stichprobenkollektivs	64
5.3.2	Studienlage der anatomischen PA-Klassifikation	65
5.3.3	Anatomie der Arteria obturatoria und pelviner arterieller Leitstrukturen	74
5.3.4	Interraterreliabilität.....	75
5.3.5	Technischer Outcome und deren Prädiktoren	76
5.3.6	Einfluss der untersuchten Faktoren auf das Outcome anhand des GLMM.....	83
5.4	Fazit und Perspektiven	86
6	Zusammenfassung	88
7	Summary	89
8	Abkürzungsverzeichnis	90
9	Literaturverzeichnis	92
10	Abbildung- und Tabellenverzeichnis.....	102
11	Danksagung.....	105
12	Lebenslauf	106
13	Eidesstattliche Versicherung	108

1 Fragestellung

Im Vergleich zum Goldstandard – der transurethralen Resektion der Prostata – etabliert sich die Prostataarterienembolisation (PAE) als eine Therapiealternative zur Behandlung der sogenannten lower urinary tracts symptoms (LUTS) bei der benignen Prostatahyperplasie (BPH).

Um mittels der PAE wirksame und komplikationsarme Embolisationsergebnisse zu erreichen, ist die präzise Kenntnis und Darstellung der Anatomie eine unverzichtbare Voraussetzung.

In zahlreichen Studien zeigte sich eine enorm variable Anatomie von Prostataarterie (PA) und anderer pelviner arterieller Leitstrukturen. Um eine Vereinfachung und systematische Klassifikation vornehmen zu können, schlugen de Assis et al., 2015 erstmalig eine Klassifikation der verschiedenen Ursprünge der PA vor. Im weiteren Verlauf wurden weitere Studien publiziert, die gemäß der neu etablierten Systematik nach de Assis et al. klassifizierten. Die dort veröffentlichten Daten unterscheiden sich jedoch zum Teil erheblich von der ursprünglichen Arbeit und auch untereinander.

Aufgrund unterschiedlicher Methodik der Datenerhebung, kleinen bis mittelgroßen Patientenkollektiven in der Originalarbeit und den anatomischen Folgestudien ist die zur Verfügung stehende Datenlage jedoch noch relativ schwach und heterogen.

In dieser retrospektiven Studie sollen deshalb, anhand des nach unserer Kenntnis bisher größten weltweit untersuchten Kollektivs zur Evaluation der Anatomie der Prostataarterie, folgende Hauptfragen evaluiert werden:

1. Unterscheidet sich die Verteilung der Varianten der Arteria (A.) prostatica in unserem Kollektiv von der Verteilung in anderen publizierten Studien?
2. Ist die Verteilung der Varianten der A. prostatica bei verschiedenen Befundern konsistent?
3. Welche Ursachen führen am häufigsten zum technischen Versagen der PAE?
4. Haben verschiedene anatomische Varianten der A. prostatica Einfluss auf technische Aspekte der PAE?
5. Wird der technische Erfolg der PAE beeinflusst durch die Abgangsvarianten der A. prostatica, das Vorliegen der typischen Anatomie der A. iliaca interna, das Alter des Patienten, den BMI, den Interventionalisten?

2 Einleitung

2.1 Definition benigne Prostatahyperplasie und lower urinary tract symptoms

Die BPH ist eine Erkrankung, welche sich histologisch als eine Hyperplasie von Stroma-, Drüsen- und epitheliale Gewebe im Bereich der Transitzone der Prostata manifestiert (Shapiro et al., 1992). Besagte Hyperplasie kann konsekutiv zur Vergrößerung des Organs und somit zu einer benignen Prostataobstruktion und einer Blasenauflassobstruktion führen.

Diese pathophysiologischen Prozesse können in Verbindung einen Symptomkomplex, die LUTS, auslösen und werden dann als BPH assoziierte LUTS beschrieben. Hierbei spielt die Prostata eine große, wenn auch nicht die alleinige pathophysiologische Rolle (de la Rosette et al., 1998).

Wichtig hierbei ist die korrekte Wahl der Terminologie, da unter LUTS ein multifaktorieller Symptomkomplex zusammengefasst wird, welcher aus Halte- und/oder Entleerungsstörungen der Harnblase besteht (Foster et al., 2018, Parsons et al., 2020). Im Folgenden werden sich die Begriffe LUTS/BPH auf durch BPH verursachte LUTS bei Männern beziehen.

2.2 Prävalenz von LUTS/BPH

Studien zeigen, dass zwischen dem 45. bis 80. Lebensjahr bis zu 90 % aller Männer an einer Form von LUTS leiden (McVary, 2006). Die Prävalenz sowie der Schweregrad von LUTS nehmen mit dem Alter kontinuierlich zu (Wei et al., 2005). Berry et al. konnten zeigen, dass die Prävalenz von BPH von 8 % in der vierten Lebensdekade auf 40 % bis 50 % in der sechsten Lebensdekade und auf über 80 % bei Männern im Alter von über 80 Jahren steigt (Berry et al., 1984).

Auch wenn es sich bei LUTS/BPH häufig nicht um lebensbedrohliche Zustände handelt, so kann die Lebensqualität (QoL) erheblich eingeschränkt sein und es ergeben sich ausgeprägte ökonomische Schäden aus den Beschwerden (Wei et al., 2005, Hafner et al., 2019).

2.3 Klinische Beschwerdesymptomatik

Eine BPH kann asymptomatisch sein. Sobald jedoch Beschwerden in Form von LUTS auftreten (siehe Abbildung 1), kann man diese in Halte- und Entleerungsstörungen sowie in Postmiktionsbeschwerden einteilen (Abrams et al., 2002).

Haltestörungen werden auch als irritative Beschwerden = overactive bladder (OAB) beschrieben und treten beim Speichern des Urins in der Harnblase auf.

Entleerungsstörungen oder Miktionsbeschwerden werden auch als obstruktive Symptome bezeichnet, welche während der Miktion auftreten. Post-Miktionsbeschwerden treten nach der Miktion auf.

Beschwerdeart	Irritative Beschwerden (Speicherbeschwerden)	Obstruktive Beschwerden (Miktionsbeschwerden)	Postmiktions- beschwerden
Symptome	Polliakisurie	Reduzierter Harnfluss	Gefühl unvollständiger Miktion
	Nykturie	Splitting/Spraying	Harnverlust nach der Miktion
	Stressinkontinenz	Intermittierende Miktion	
	Dranginkontinenz	Straining	
	Andere Formen der Inkontinenz	Verzögerte Miktion	
		Tröpfeln am Ende der Miktion	
		Dysurie	

Abbildung 1: Beschwerden bei LUTS in Anlehnung an Abrams et al., 2002

Als Komplikationen der unzureichenden Behandlung einer BPH können Harnverhalte und Restharnbildung entstehen, welche wiederum zu erhöhter Anzahl von Harnwegsinfektionen, Blasensteinen oder sogar Nierenschädigungen führen können.

2.4 Diagnostik

LUTS sind ein multifaktorieller Symptomkomplex, welche durch zahlreiche urologische oder systemische Krankheitsbilder ausgelöst werden können. Deshalb sollte zu Beginn der Diagnostik eine ausführliche Anamnese, körperliche Untersuchung inklusive einer digital rektalen Untersuchung (DRU) und die Erhebung von urologischen und laborchemischen Basisparametern im Vordergrund stehen.

Ziel der Diagnostik ist, mögliche Differentialdiagnosen auszuschließen und eine korrekte Klassifizierung der Beschwerden vornehmen zu können, um eine geeignete Therapie zu initiieren (Gravas et al., 2020).

2.4.1 Anamnese

Die Anamnese sollte umfassend durchgeführt werden. Insbesondere sollte bei Patienten mit LUTS ein besonderes Augenmerk auf Medikation, neurologische Grunderkrankungen, Stoffwechselerkrankungen, psychologische Aspekte, Sexualfunktion und Lebensgewohnheiten gelegt werden.

2.4.2 Körperliche Untersuchung

Eine körperliche Untersuchung sollte vollständig durchgeführt werden, wobei ein besonderer Fokus auf dem Urogenitaltrakt liegen sollte. Als einfachste, wenn auch nicht sehr genaue Methode die Größe der Prostata festzustellen, ist eine DRU durchzuführen.

2.4.3 Symptom Scores

Um den Schweregrad der LUTS zu Beginn und im Verlauf der Behandlung beurteilen zu können, sollen bei jeder Wiedervorstellung validierte Symptom Score Fragebögen erhoben werden. Hier wurden weltweit mehrere Fragebögen entwickelt und validiert, worunter sich in der klinischen Praxis und in Studien vor allem der International Prostate Symptom Score (IPSS) etabliert hat (siehe Abbildung 2 / Abbildung 3). Er umfasst acht Fragen, wobei sieben symptombezogen sind und eine Frage die Lebensqualität (QoL) erfasst. Der IPSS-Score klassifiziert die Beschwerden in asymptomatisch (IPSS=0), milde Symptomlast (IPSS<8), mittlere Symptomlast (IPSS=8-19) und hohe Symptomlast (IPSS=20-35).

Fragen: Die Angaben beziehen sich auf die letzten 4 Wochen	nie	Seltener als in 1 von 5 Fällen	Seltener als in der Hälfte der Fälle	Ungefähr in der Hälfte der Fälle	In mehr als der Hälfte der Fälle	Fast immer
1. Wie oft während des letzten Monats hatten Sie das Gefühl, dass Ihre Blase nach dem Wasserlassen nicht ganz geleert war?	0	1	2	3	4	5
2. Wie oft während des letzten Monats mussten Sie in weniger als zwei Stunden ein zweites Mal Wasser lassen?	0	1	2	3	4	5
3. Wie oft während des letzten Monats mussten Sie beim Wasserlassen mehrmals aufhören und neu beginnen?	0	1	2	3	4	5
4. Wie oft während des letzten Monats hatten Sie Schwierigkeiten, das Wasserlassen hinauszuzögern?	0	1	2	3	4	5
5. Wie oft während des letzten Monats hatten Sie einen schwachen Strahl beim Wasserlassen?	0	1	2	3	4	5
6. Wie oft während des letzten Monats mussten Sie pressen oder sich anstrengen, um mit dem Wasserlassen zu beginnen?	0	1	2	3	4	5
7. Wie oft sind Sie während des letzten Monats im Durchschnitt nachts aufgestanden, um Wasser zu lassen? Maßgebend ist der Zeitraum vom Zubettgehen bis zum Aufstehen am Morgen	0	1	2	3	4	5
Gesamt-Score IPSS =						
0-7 Punkte			Keine/Milde Symptome			
8-19 Punkte			Mittlere Symptome			
20-35 Punkte			Schwere Symptome			

Abbildung 2: IPSS-Fragebogen in Anlehnung an Barry et al., 1992

IPSS-Lebensqualitätsindex (QoL)							
Wie würden Sie sich				Gemischt,			
fühlen, wenn sich				teils			
ihre jetzigen	Aus-	Zu-	Überwiegend	zufrieden,	Überwiegend	Un-	Sehr
Symptome beim	gezeichnet	frieden	zufrieden	teils	unzufrieden	glücklich	schlecht
Wasserlassen				unzufrieden			
künftig nicht mehr							
ändern würden?	0	1	2	3	4	5	6

Abbildung 3: IPSS-QoL-Fragebogen in Anlehnung an Barry et al., 1992

2.4.4 Urinanalyse

Zum Ausschluss signifikanter urologischer Differentialdiagnosen sollte eine Urinanalyse mittels Sediment und/oder Stix durchgeführt werden. Hiermit können kostengünstig wichtige Differentialdiagnosen wie Harnwegsinfekte, Hämaturie, Proteinurie oder eine Glukosurie ausgeschlossen werden.

2.4.5 Miktionsprotokoll und Restharnbestimmung

Ein Miktionsprotokoll liefert wertvolle Informationen über Miktionsfrequenz und deren Abhängigkeit von Tag-/Nachtrhythmus, Miktionsmenge, Flüssigkeitsaufnahme und anderen Verhaltensweisen oder Aktivitäten. Diese Informationen können mögliche Interventionsziele im Rahmen einer Lifestyleanpassung offenbaren.

Die Restharnbestimmung zu Beginn der Behandlung und als Verlaufsparemeter dient der Identifikation von Patienten, welche ein erhöhtes Risiko haben, im Verlauf einen Krankheitsprogress zu erleiden (McConnell et al., 2003, Roehrborn, 2006).

2.4.6 Weiterführende Diagnostik

Je nach bereits erhobenen Befunden kann weitere Diagnostik angeschlossen werden, um spezifische Fragestellungen zu beantworten. Die im folgenden genannten Methoden sind jedoch nicht obligat bei jedem Patienten mit der Erstdiagnose von LUTS durchzuführen.

2.4.6.1 Prostata-spezifisches Antigen (PSA)

PSA sollte bestimmt werden, wenn der Verdacht auf ein Prostatakarzinom besteht und sich deshalb die Therapiestrategie ändert. Allerdings sind pathologisch erhöhte PSA-Werte nicht beweisend für ein Prostatakarzinom. Eine Überschreitung des Grenzwertes von 4,0 ng/ml sollte jedoch Anlass für eine weitere Abklärung geben (Hoffmann, 2021).

2.4.6.2 Urodynamik

Die Uroflowmetrie ist ein nichtinvasives objektives Messinstrument. Sie kann genutzt werden, um subjektiv angegebene Beschwerden zu objektivieren und kann als Verlaufsparemeter fungieren, um eine Therapie zu beurteilen. Insbesondere im Rahmen von Studien ist die Uroflowmetrie als objektiver Verlaufsparemeter wichtiger Bestandteil der Auswertung. Die Hauptparemeter der Uroflowmetrie sind der maximale Harnfluss (Qmax) und das Strömungsmuster.

2.4.6.3 Bildgebung

Eine Bildgebung der Prostata kann mithilfe von Ultraschall oder Schnittbildgebung mittels Magnetresonanztomographie (MRT) durchgeführt werden. Insbesondere vor geplanter operativer Versorgung ist die Einschätzung der Größe der Prostata mittels Bildgebung ein essenzieller diagnostischer Bestandteil, um bei der Vielzahl operativer Verfahren das richtige auszuwählen.

Die Diagnose BPH assoziierte LUTS kann somit gestellt werden, wenn LUTS definierende Symptome vorliegen und in der durchgeführten Diagnostik mögliche Differentialdiagnosen ausgeschlossen sind.

2.5 Therapieoptionen

Entscheidend für das weitere therapeutische Vorgehen ist die adäquate Klassifizierung der Symptomlast und die individuelle Abstimmung mit dem Patienten bezüglich seiner Behandlungswünsche und Ziele.

Prinzipiell können die Therapieoptionen in folgende Untergruppen aufgeteilt werden.

1. Konservative Behandlung
2. Medikamentöse Behandlung
3. Operative Behandlung

Grundsätzlich sollten, so lange keine Komplikationen aufgetreten sind, alle Patienten initial medikamentös behandelt werden, bevor eine operative Versorgung in Betracht gezogen wird (Parsons et al., 2020).

2.5.1 Konservative Behandlung

Im Vordergrund stehen hier Lifestyleänderungen sowie spezielle Verhaltensanpassungen, welche um eine medikamentöse Therapie ergänzt werden können. Bei Patienten, die nur eine milde (IPSS<8) bis moderate (IPSS=8-19)

Symptomlast ohne Komplikationen angeben, ist eine zuwartende Behandlung mit regelmäßigen Verlaufskontrollen eine veritable Option, da sich in diesem Patientenkollektiv im Verlauf selten Komplikationen zeigen (Kirby, 2000). Diese Annahme beruht darauf, dass gezeigt werden konnte, dass innerhalb eines Zeitraums von 5 Jahren nur 36 % der Patienten in der „Watchfull Waiting-Gruppe“ aufgrund von Therapieversagen operiert werden mussten, wohingegen 64 % unter zuwartender Betreuung stabil waren (Wasson et al., 1995, Flanigan et al., 1998). Hierzu ist jedoch anzumerken, dass in der operativ versorgten Gruppe eine bessere objektive Blasenfunktion festzustellen war. Für Patienten, die sich aufgrund einer milden bis moderaten Symptomlast für eine konservative Therapie entscheiden, sollte eine Kombination aus Lifestyleänderungen, medikamentöser Therapie und regelmäßigen Verlaufskontrollen etabliert werden.

2.5.2 Medikamentöse Therapie

Die medikamentöse Therapie setzt sich zusammen aus verschiedenen Stoffklassen und sollte initiiert werden, wenn Verhaltensänderungen keine zufriedenstellende Symptombesserung erreichen.

2.5.2.1 α 1-Adrenorezeptorantagonisten (α 1-Blocker)

α 1-Blocker stellen die medikamentöse Erstlinientherapie da. Sie wirken über die Blockade des α 1-Adrenorezeptors, welcher im Rahmen der BPH im Bereich der glatten Muskulatur der Prostata vermehrt exprimiert wird. Über die Blockade dieses Signalwegs kommt es zur Entspannung der glatten Muskulatur im Bereich des Blasenhalses und der Urethra. Dies wiederum führt zu einer Verringerung der Spannung und letztendlich zur Besserung der Blasenauflastobstruktion (BOO) (Michel and Vrydag, 2006).

2.5.2.2 5α -Reduktaseinhibitoren

Androgene Effekte auf die Prostata werden durch Dihydrotestosteron ausgelöst, welches aus Testosteron über die 5α -Reduktase hergestellt wird. 5α -Reduktaseinhibitoren blockieren diese Signaltransduktion. Hierdurch kommt es zu einer Apoptose von prostaticem epitheliale Gewebe, was wiederum in einer Größenreduktion der Prostata mündet (Rittmaster et al., 1996, Andriole et al., 2004). McConnell et al. konnten zeigen, dass der Effekt von 5α -Reduktaseinhibitoren mit zunehmender Größe der Prostata ebenfalls zunimmt (McConnell et al., 1998). Durch die Reduktion der Größe der Prostata

wird die statische Komponente der benignen Prostatavergrößerung reduziert und somit auch die BOO.

2.5.2.3 Phosphodiesterase-5-Inhibitoren

Phosphodiesterase-5-Inhibitoren konnten in mehreren Studien zeigen, dass sie die Symptomlast bei Patienten mit BPH/LUTS deutlich reduzieren (McVary et al., 2007, Roehrborn et al., 2008, Porst et al., 2011). Der genaue Mechanismus der Wirkung von Phosphodiesterase-5-Inhibitoren ist noch unklar, wobei einige pathophysiologische Signalketten untersucht sind und Hinweise geben wie die Symptomverbesserung erreicht wird. So kommt es durch Hemmung der Phosphodiesterase-5 zur intrazellulären cGMP Erhöhung, welche wiederum die Spannung der glatten Muskulatur von Urethra, Prostata und Detrusor reduziert. Wie auch bei den α 1-Blockern kommt es somit zur Besserung der BOO.

2.5.2.4 Muskarinrezeptorantagonisten

Der Muskel detrusor vesicae wird parasympathisch innerviert. Als Hauptneurotransmitter ist die Innervierung somit von Acetylcholin abhängig, welches über muskarinerge Acetylcholinrezeptoren an der glatten Muskulatur wirkt. Da somit pharmakologisch keine direkte Wirkung auf die Prostata besteht, sollten Muskarinrezeptorantagonisten primär bei Patienten mit führend irritativen Beschwerden eingesetzt werden, welche keine erhöhten Restharnwerte aufweisen (Gravas et al., 2020).

2.5.2.5 Beta-3-Antagonisten

Adrenerge Beta-3-Agonisten stimulieren den Muskel detrusor vesicae, sodass es zu einer Detrusorüberaktivität kommen kann. Über die Blockade dieser Signaltransduktion können somit, wie auch bei der Behandlung mit Anticholinergika, primär Patienten mit OAB-Symptomatik behandelt werden (Nitti et al., 2013).

2.5.2.6 Medikamentöse Kombinationstherapie

Eine Kombinationstherapie sollte bei Patienten eingesetzt werden, welche unter Monotherapie eine unzureichende Symptomlinderung erfahren haben oder ein erhöhtes Risiko für eine Krankheitsprogredienz haben (Gravas et al., 2020).

Aktuell werden zwei Kombinationstherapien empfohlen.

1. α 1-Blocker + 5 α -Reduktaseinhibitoren
2. α 1-Blocker + Muskarinrezeptorantagonisten

2.5.3 Operative Therapie

Durch das Aufkommen der medikamentösen Therapieoptionen hat sich die Anzahl der operativen Behandlungen als Erstlinientherapie seit der Jahrtausendwende drastisch reduziert (Wasson et al., 2000, Malaeb et al., 2012).

Bei Patienten, die moderate bis schwere LUTS aufgrund einer BPH aufweisen und unter optimaler konservativer und medikamentöser Therapie keine suffiziente Symptomlinderung erfahren, sollte eine operative Versorgung in Erwägung gezogen werden. Dieses Szenario stellt die mit Abstand häufigste Indikation einer operativen Versorgung dar. Es gibt jedoch weitere klinische Szenarien, in welchen eine primär operative Versorgung indiziert ist und nicht auf ein „Therapieversagen“ einer konservativen Behandlung gewartet werden sollte. Hierzu gehören insbesondere Komplikationen, wie z. B. rezidivierende Harnverhalte, Harnwegsinfekte, Blasensteine, Makrohämaturie oder eine Einschränkung der Nierenfunktion jeweils als Folge der BPH (Parsons et al., 2020).

Ziel der operativen Verfahren ist die direkte Gewebereduktion oder Verminderung der Kompressionswirkung des übermäßig vorhandenen Prostatagewebes.

Trotz mittlerweile mannigfaltig zur Verfügung stehenden operativen Verfahren ist die TURP weiterhin der Goldstandard der operativen Behandlung (Parsons et al., 2020, Gravas et al., 2020), an welchem die Ergebnisse neuer Verfahren gemessen werden müssen.

Gemäß Leitlinien der amerikanischen und europäischen Gesellschaft für Urologie soll die Auswahl des optimalen operativen Verfahrens anhand von Größe und Form der Prostata, dem interindividuellen Blutungsrisiko sowie dem individuellen Standpunkt des Patienten zu möglichen Nebenwirkungen hingehend der Sexualfunktion stattfinden (Parsons et al., 2020, Gravas et al., 2020).

Aufgrund der Vielzahl der operativen Therapieoptionen, welche nicht alle parallel zueinander Angeboten werden können, sollen auch persönliche Erfahrung mit den einzelnen Verfahren und Vorlieben des behandelnden Arztes in die Entscheidungsfindung und Auswahl des Therapieverfahrens einfließen. Die Auswahl des für den Patienten optimal geeigneten Therapieregimes ist durch viele Faktoren erschwert. Aufgrund der Vielzahl der zur Verfügung stehenden Therapieoptionen und des heterogenen Patientenkollektivs ist es schwierig, quantitativ und qualitativ hochwertige Studien durchzuführen und somit die jeweils optimalen Verfahren herauszuarbeiten.

Einen konkreten Entscheidungsalgorithmus mit Angabe des empfohlenen Verfahrens bieten beide Fachgesellschaften anhand der oben genannten Kriterien an, weshalb die wichtigsten Verfahren im Folgenden kurz vorgestellt werden.

2.5.3.1 Transurethrale Resektion der Prostata

Bei der transurethralen Resektion der Prostata (TURP) erfolgt eine zystoskopische transurethrale Resektion des Prostatagewebes mittels Elektrokauter. Hierbei kann entweder mittels monopolarer oder bipolarer Resektionsschlinge gearbeitet werden. Bei der monopolaren Variante, gemäß welcher der Strom zur Resektion über das Gewebe hin zu einem auf der Haut befestigten Gegenpol geleitet wird, muss gleichzeitige eine Spülung mit einer nichtionischen, hypoosmolaren Lösung erfolgen. Hingegen ist bei der im Verlauf entwickelten bipolaren Resektion, bei welcher der Strom innerhalb der Resektionsschlinge laufen kann, die Spülung mittels isotoner Natriumchloridspülung möglich. Hier konnte in Studien gezeigt werden, dass durch eine bipolare Resektion das Risiko eines Post-TUR-Syndroms sowie einer möglicherweise notwendigen Bluttransfusion reduziert werden konnte, bei sonst ähnlichem Outcome was Sicherheit und Effektivität des Verfahrens angeht (Alexander et al., 2019). Dies bietet insbesondere bei großen Prostatae oder langen Eingriffen Vorteile gegenüber einem monopolaren Vorgehen. Die Methode ist jedoch trotz dieser Verbesserung der Technik nicht für Drüsen $>80 \text{ cm}^3$ empfohlen (Lerner et al., 2021). Relevante Komplikationen der TURP sind Blutungen, erektile Dysfunktion, retrograde Ejakulation und Impotenz, Inkontinenz, Urethrastrikturen, das TUR-Syndrom und Harnwegsinfekte.

2.5.3.2 Transurethrale Elektrovaporisation (TUVP)

Die TUVP ist eine Modifikation der klassischen TURP. Hierbei erfolgt eine Verdampfung des Prostatagewebes anstelle der mechanischen Abtragung per Schlinge mittels verschiedener bipolarer Geräte, welche die Energie ins Gewebe übertragen. Auch hier zeigen sich ähnliche Ergebnisse gegenüber der TURP, bei leicht verbessertem perioperativem Risikoprofil aber unterlegener mittelfristiger Effektivität (Gravas et al., 2020).

2.5.3.3 Transurethrale Inzision der Prostata (TUIP)

Bei der TUIP handelt es sich um ein Verfahren, welches insbesondere bei der Behandlung kleiner Prostatae ($<30 \text{ ml}$) eingesetzt wird. Technisch wird eine longitudinale Inzision der Prostata durchgeführt, um Blasen Hals und der proximalen Urethra eine Erweiterung zu

erlauben. Vorteile gegenüber der TURP sind die Reduktion der Morbidität bezüglich relevanter Blutungen und sexueller Dysfunktion, wohingegen sich eine vermehrte Notwendigkeit von operativen Revisionen nachteilig zeigt (Lourenco et al., 2010).

2.5.3.4 Prostatektomie

Die Prostatektomie ist die älteste operative Methode der Behandlung von LUTS im Rahmen der BPH. Wie im Bereich TURP bereits dargelegt, sollen sehr große Drüsen (> 80 ml) aufgrund langer Interventionszeiten und somit steigendem Risiko für signifikante Nebenwirkungen nicht mittels monopolarer TURP behandelt werden, weshalb die Prostatektomie eine Therapiealternative für große Drüsen darstellen kann. Insbesondere da Studien eine mindestens gleichwertige Effektivität gegenüber der TURP zeigen konnten (Ou et al., 2010, Xie et al., 2014, Geavlete et al., 2015). Größter Nachteil der Prostatektomie ist, dass es sich hierbei um das invasivste Vorgehen aller Optionen handelt.

2.5.3.5 Laserverfahren

Laserverfahren haben sich sowohl als Alternativen zur Enukleation [Holmiumlaser-Enukleation der Prostata (HoLEP) / Thuliumlaser-Enukleation der Prostata (ThuLEP)], insbesondere bei großen Adenomen, wie auch als Alternative (Greenlight-Laser) zur konventionellen TUVF mittels bipolarer Energieapplikation etabliert. Vorteile der Laser sind, dass sie multiple Anforderungen erfüllen. So können Sie destruieren, koagulieren und vaporisieren und aufgrund Ihrer Wellenlänge sind geringe Eindringtiefen mit geringen linearen Effekten im angrenzenden Gewebe vorhanden. HoLEP/ThuLEP zeigen bei verringerter Hospitalisierungs- und Katheterisierungszeit ähnliche Ergebnisse bezüglich der Effektivität wie die TURP (Kuntz et al., 2004, Kuntz et al., 2008). Ebenso konnte gezeigt werden, dass ein verringertes Blutungsrisiko gegenüber der TURP besteht (Zhu et al., 2015, Zhong et al., 2019). Somit könnten speziell Patienten mit erhöhtem Blutungsrisiko, unter Therapie mit Thrombozytenaggregationshemmern oder Antikoagulation, im Vergleich zur TURP profitieren (El Tayeb et al., 2016).

Nachteile der Laserverfahren sind flache Lernkurven des behandelnden Arztes, hohe Kosten gegenüber den anderen Verfahren und eine verlängerte Operationsdauer.

2.5.3.6 Prostataurethraler-Lift (PUL)

Beim Verfahren des PUL handelt es sich um ein minimalinvasives Verfahren, bei welchem die einengenden lateralen Prostatallappen mittels eines zystoskopisch eingebrachten Implantats komprimiert werden und somit der prostatiche Anteil der Urethra erweitert wird. Vorteile des Verfahrens sind der Erhalt der Sexualfunktion bei jedoch im Vergleich zur TURP geringerem subjektiven und objektiven Effekt (McVary et al., 2014, Sonksen et al., 2015, Gratzke et al., 2017).

2.5.3.7 Prostataarterienembolisation

Die PAE ist ein minimalinvasives interventionell-radiologisches Verfahren, bei welchem nach Darstellung der arteriellen Anatomie des Beckens und respektive der arteriellen Versorgung der Prostata eine selektive Partikelembolisation der die Prostata versorgenden Gefäße durchgeführt wird. Hieraus resultiert eine ischämische Nekrose des Prostataparenchyms mit konsekutiver Volumenreduktion und somit Verbesserung der LUTS.

Im Vergleich zum Goldstandard - der TURP - bietet die PAE insbesondere eine deutlich geringere Häufigkeit an Nebenwirkungen, erhält eher die Sexualfunktion und kann unter Lokalanästhesie durchgeführt werden, was zu kürzeren Hospitalisierungszeiten führt (Knight et al., 2021). Bezüglich der Effektivität konnte gezeigt werden, dass kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Parameter wie IPSS, IPSS-QoL, Restharn (PVR) und erektiler Dysfunktion im Vergleich zur TURP besteht (Knight et al., 2021). Bessere Ergebnisse zeigte die TURP hingegen bei objektiven Kriterien wie Qmax, Prostatavolumen (PV) und PSA (Knight et al., 2021). Da es sich noch um ein recht junges Verfahren handelt, sind zum aktuellen Zeitpunkt noch wenige Studien mit Langzeitergebnissen der PAE (> 5 Jahre) vorhanden. Die erste Studie mit Daten und Follow-up bis zu 96 Monaten zeigt jedoch vielversprechende Daten auch für die Langzeit-Resultate der Methode (Carnevale et al., 2020).

2.6 Anatomie relevanter Arterien für die PAE

Aufgrund erfolgsversprechender Daten zur Behandlung von LUTS bei BPH mittels PAE befassten sich Bilhim et al. erstmals intensiver mit der arteriellen Versorgung der Prostata und den daraus resultierenden Folgen für die PAE (Bilhim et al., 2012).

In zahlreichen Studien zeigte sich eine hohe Variabilität der Anatomie (Bilhim et al., 2012, de Assis et al., 2015, Zhang et al., 2015, Moya et al., 2017, Wang et al., 2017, Amouyal et al., 2018, du Pisanie et al., 2019, Xuan et al., 2019, Eldem et al., 2020, Enderlein et al., 2020).

Um eine Vereinfachung und systematische Klassifikation vornehmen zu können, schlugen de Assis et al. 2015 erstmalig eine Klassifikation der verschiedenen Ursprünge der PA vor. Hierbei wurden fünf Subtypen in cranio-kaudaler Richtung und abhängig von ihrem Ursprung und dem konsekutiven Verlauf hin zur Prostata benannt (siehe Tabelle 1 und Abbildung 4).

Tabelle 1: Anatomische Klassifikation der Prostataarterie (nach de Assis et al., 2015)

Klassifikation	Anatomie
Typ I	Ursprung der PA aus der A. vesicalis inferior (AVI) aus dem anterioren Truncus der A. iliaca interna mit einem gemeinsamen Ast der A. vesicalis superior (AVS)
Typ II	Ursprung der PA aus der AVI aus dem anterioren Truncus unterhalb der AVS
Typ III	Ursprung der PA aus der A. obturatoria
Typ IV	Ursprung der PA aus der A. pudenda interna (API)
Typ V	Atypischer Ursprung der PA

Die Typen I bis IV wurden als „typisch“ benannt und Typ V-Arterien als atypischer Ursprung klassifiziert (de Assis et al., 2015). Mittels dieser Klassifikation konnten in weiteren Studien zwischen 76 % und 100 % der Prostataarterien (PAs) der Kategorie „typisch“ (Typen I-IV) zugeordnet werden (Bilhim et al., 2011b, Bilhim et al., 2012, Zhang et al., 2015, de Assis et al., 2015, Amouyal et al., 2018).

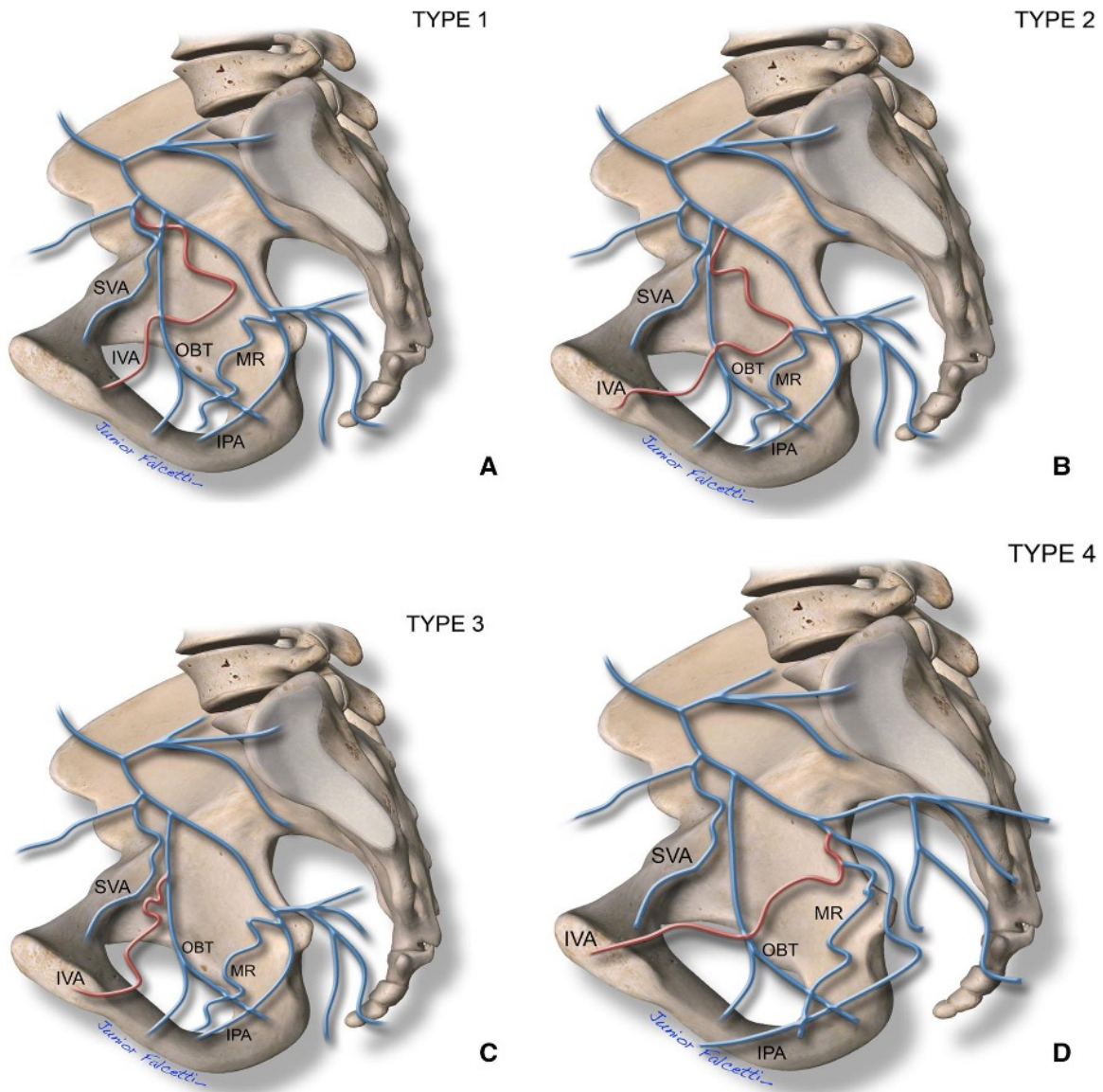


Abbildung 4: Klassische Anatomie der AII und Variationen der PA-Typen I-IV (aus de Assis et al., 2015)

Verkomplizierend kommt hinzu, dass nicht nur der Ursprung der eigentlichen PA anatomisch sehr variabel ist, sondern bereits die A. iliaca interna mit ihren Ästen sehr heterogen angelegt sind (Yamaki et al., 1998). Gemäß den Daten von Yamaki et al. entspringt die A. iliaca interna in ca. 80 % der Fälle als Ast aus der Arteria iliaca communis (AIC), um sich anschließend in einen anterioren und posterioren Ast aufzuteilen (Yamaki et al., 1998, Bilhim et al., 2014). Wenn diese und die folgenden anatomischen Eigenschaften vorliegen, wird dies als „klassische Anatomie“ der A. iliaca interna bezeichnet (Abbildung 5 /Abbildung 6). Im weiteren Verlauf typisch sind dann der Abgang von A. suprapubescentalis gemeinsam mit der A. umbilicalis, mit der A. infrapubescentalis, A. obturatoria, A. rectalis media, A. glutealis inferior und A. pudenda interna aus dem anterioren Truncus (Mamatha et al., 2015, Carnevale et al., 2017).

Aus dem posterioren Truncus gehen klassischerweise die A. glutealis superior, die Arteria iliolumbalis und die A. sacralis lateralis hervor (Mamatha et al., 2015, Carnevale et al., 2017, Balcerzak et al., 2022).

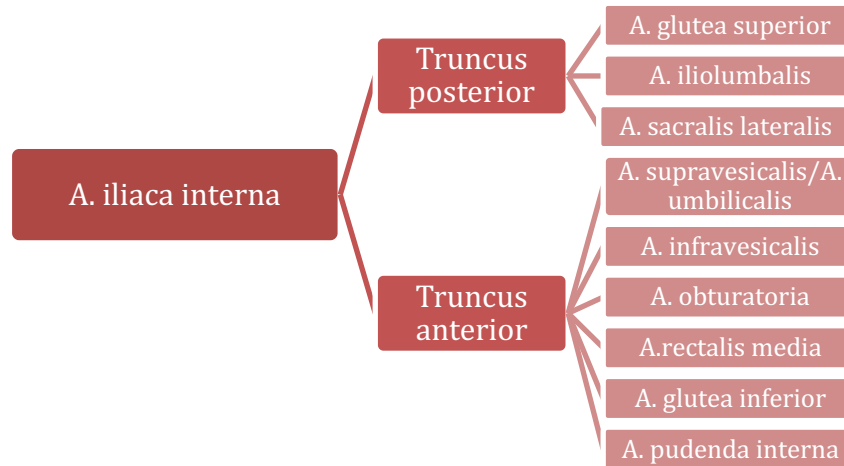


Abbildung 5: Klassische Anatomie (schematische Darstellung)

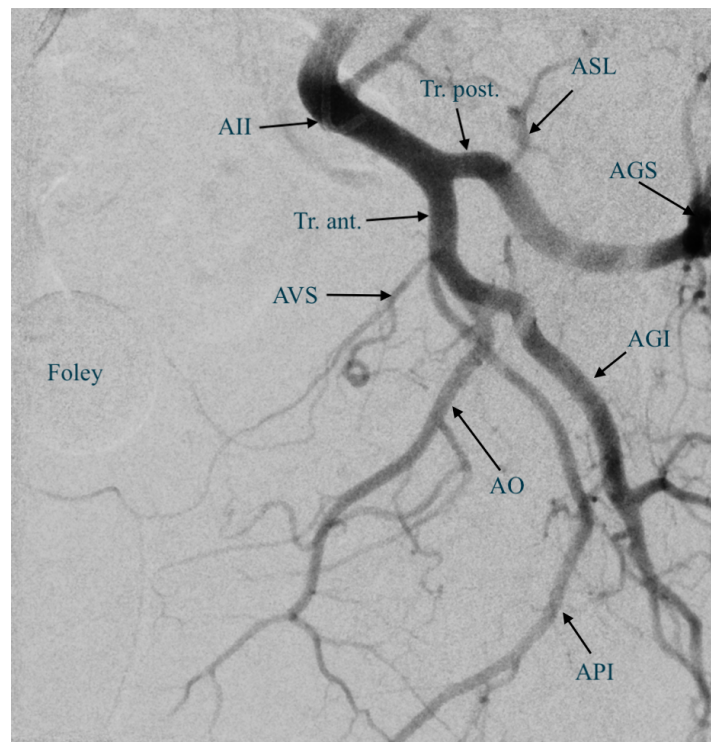


Abbildung 6: DSA der AII links ipsilateral in 45° schräger Ansicht: A. iliaca interna mit klassischer Anatomie

AII A. iliaca interna; *Tr. post.* Truncus posterior; *ASL* A. sacralis lateralis; *AGS* A. glutea superior; *Tr. ant.* Truncus anterior; *AVS* A. vesicalis superior; *AGI* A. glutea inferior; *Foley* Foleykatheter; *AO* A. obturatoria; *API* A. pudenda interna;

Die Prostataarterie entspringt üblicherweise aus dem anterioren Truncus der A. iliaca interna.

Wie Richardson et al. in einer Übersichtsarbeit zu Varianten und Kollateralen darlegen, ist die gängige Klassifikation von de Assis et al. jedoch in manchen Aspekten der komplexen Anatomie ungenau. Besagte Übersichtsarbeit zur Anatomie der PA zeigt auf, dass es „atypisch-typische“ Abgänge gibt (Richardson et al., 2020). Beispiele hierfür sind eine „typische“ PA, welche aus einer „atypischen“ Arteria obturatoria aus dem Truncus posterior (Abbildung 7/Abbildung 8/Abbildung 9) oder einer A. prostatica als Corona mortis aus der A. iliaca externa (AIE) (Abbildung 10) oder A. epigastrica inferior (AEI) hervorgehen. Diese Typen werden dann als Typ V klassifiziert.

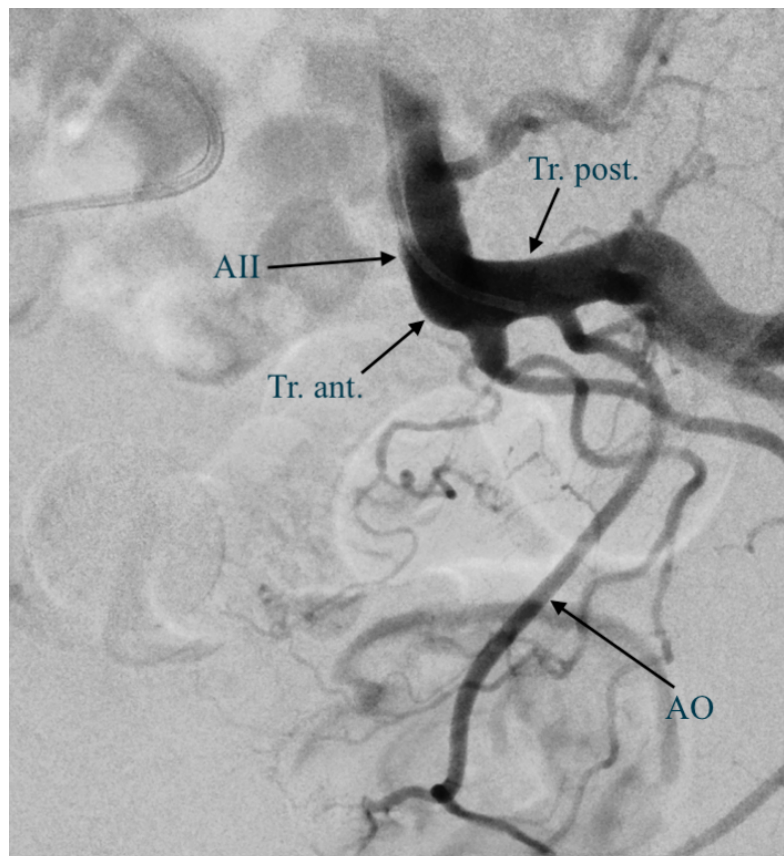


Abbildung 7: DSA der AII links ipsilateral in 45° schräger Ansicht: A. obturatoria aus Truncus posterior

AII A. iliaca interna; *Tr. ant.* Truncus anterior; *Tr. post.* Truncus posterior; *AO* A. obturatoria

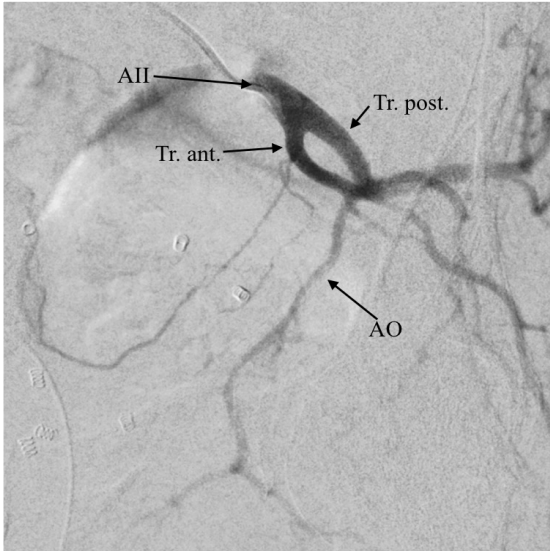


Abbildung 8: DSA der AII links ipsilateral in 45°
schräger Ansicht: Darstellung einer atypischen AO
aus dem Tr. posterior

AII A. iliaca interna; *Tr. ant.* Truncus anterior; *Tr.*
post. Truncus posterior; *AO* A. obturatoria

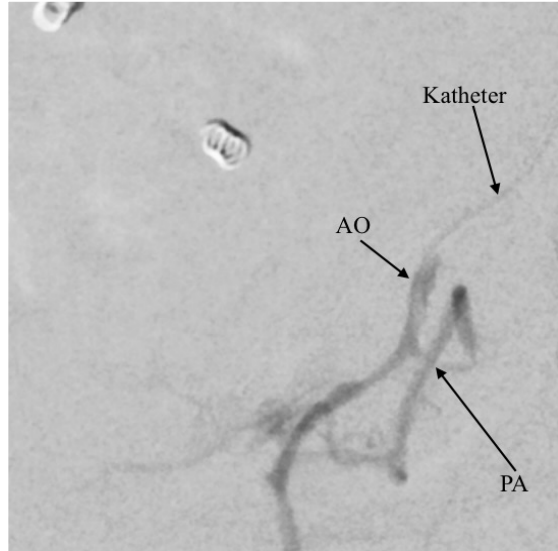


Abbildung 9: weiter distale Sondierung der in
Abbildung 8 dargestellten Gefäßsituation mit
deutlicher Vergrößerung und Identifikation der A.
prostatica (PA) (Typ III vs. Typ V) aus atypischer
A. obturatoria (AO) aus Truncus posterior

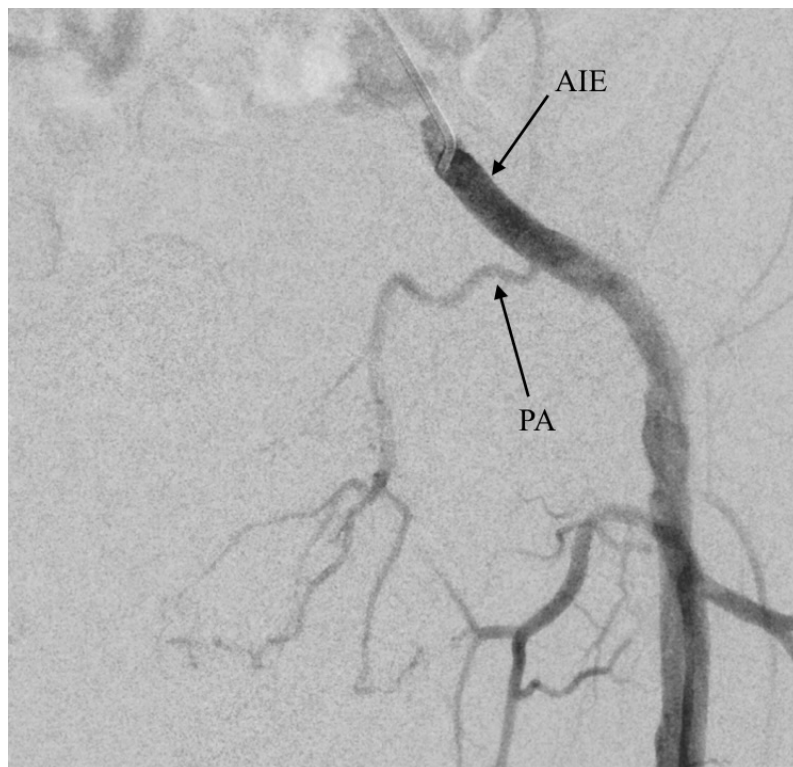


Abbildung 10: A. prostatica (PA) als Corona mortis aus A. iliaca externa (AIE)

Lediglich unklar bleibt, ob eine PA aus der A. obturatoria aus dem Truncus posterior als Typ V oder Typ III zu klassifizieren ist, da in der Originalarbeit jeweils Kriterien für einen Typ III und/oder Typ V erfüllt sind.

Ebenso unklar bleiben laut Originalklassifikation Detailfragen einerseits zur Klassifizierung von Tri- beziehungsweise Quadrifurkationen und andererseits ab wann ein Abgang einer PA aus der A. pudenda interna als aus dem „distalen Segment“ anzusehen ist und somit als Typ V klassifiziert wird und konsekutiv, bis wohin eine PA aus der A. pudenda interna als Typ IV eingestuft wird. Diese Präzisierungen der Klassifikationen und Anpassungen für diese Studie finden sich in Kapitel 3.1 unter Abschnitt B II sowie in Tabelle 28 im Kapitel 5.3.2.

Eine Folge dieser „Ungenauigkeiten“ könnte sein, dass in den bekannten Studien (Bilhim et al., 2011b, Bilhim et al., 2012, Zhang et al., 2015, de Assis et al., 2015, Amouyal et al., 2018), je nach Autor, sehr verschiedene Angaben zum Anteil (zwischen 0 % bis 22 %) der atypischen Ursprünge der PA angegeben sind.

Distal zum Endorgan erfolgt die Versorgung dann gewöhnlich über zwei Endäste. Der anteromediale Endast, welcher den zentralen Drüsenanteil unterhält, sowie den posterolateralen, welcher die periphere Zone und den Apex versorgt (Bilhim et al., 2012, Garcia-Monaco et al., 2014, de Assis et al., 2015). In überwiegender Anzahl (92 %) entspringen die besagten Endäste aus einer gemeinsamen PA, können jedoch auch aus verschiedenen Gefäßen hervorgehen, was Konsequenzen für die Embolisation haben kann (de Assis et al., 2015).

Da primär der zentrale Anteil der Prostata, versorgt durch den anteromedialen Endast, eine pathophysiologische Rolle bei LUTS bei BPH spielt, hat dies eine entscheidende Rolle bei der Auswahl des zu embolisierenden Zielgefäßes.

Frenk et al. konnten zeigen, dass die Reduktion des Prostatavolumens mit dem Maß der induzierten Ischämie korreliert, weshalb anzunehmen ist, dass die Embolisation beider Endäste im Rahmen einer höheren induzierten Ischämie überlegen sein könnte (Frenk et al., 2014). Dies gilt insbesondere, da zwischen beiden Endästen nachweislich eine starke Anastomosierung besteht (Clegg, 1955, Garcia-Monaco et al., 2014).

Aufgrund der oben geschilderten Problematik sind eine weitere Vereinheitlichung und Präzisierung der Klassifikation für die Zukunft essenziell.

2.7 Outcomeparameter

Outcomeparameter werden grundsätzlich in klinische und technische Outcomeparameter unterteilt. Klinische Outcomeparameter objektivieren die Beschwerden der LUTS und quantifizieren diese. Anhand der Veränderung der entsprechenden Parameter wie der Ausprägung der IPSS-Score-Reduktion, Verbesserung des QoL-Score, die Qmax-Verbesserung, die Volumenreduktion der Prostata und die Veränderung der Restharnbestimmung kann eine objektivierete Aussage zum klinischen Outcome getroffen werden.

Als technische Outcomeparameter wurden in bisherigen Studien eher Werte angewandt, die die technische Schwierigkeit der Intervention widerspiegeln sollen. Hierzu wurden typischerweise eine wechselnde Kombination aus Interventionsdauer (PT), Fluoroskopiezeit (FT), applizierter Kontrastmittelmenge (CV), Dosisflächenprodukt (DAP) und Air Kerma (AK) als technische Outcomeparameter postuliert.

Zahlreiche Prädiktoren, welche die oben genannten Outcomeparameter beeinflussen könnten, wurden postuliert und mit verschiedenen statistischen Methoden untersucht (Hacking et al., 2019, du Pisanie et al., 2019, Enderlein et al., 2020, Lintin et al., 2021). Hierzu zählen grundlegende Patientendaten (Alter, Gewicht, Größe usw.), als auch organ- und gefäßspezifische Daten (PA-Klassifikation, PV, Grad der Atherosklerose, Gewundenheit der Gefäße = subjective iliac tortuosity grade (SITG) uvm.) und zuletzt interventionsbezogene Daten (z. B. der behandelnde Interventionalist).

Insgesamt lagen zum Zeitpunkt des Beginns der Arbeit nur wenige Studien vor, welche sich gezielt mit der Erfassung des technischen Outcome und insbesondere mit Prädiktoren für das technische Ergebnis bei der PAE befasst haben. Trotz verschiedener Methoden und teilweise widersprüchlicher Ergebnisse kann anhand publizierter Studien, der für die Faktoren Patientenalter, Gewundenheit der Gefäße, Grad der Atherosklerose sowie dem Interventionalisten ein Einfluss auf einige der oben genannten technischen Outcomeparameter im Konsens angenommen werden.

Was bisher jedoch nach unserer Kenntnis noch nie untersucht wurde, ist welche dieser vielen Variablen nicht nur Einfluss auf prozedurassoziierten Variablen wie dem DAP, CV, PT, FT und AK haben, sondern vielmehr welche Variablen Einfluss auf den aus unserer Sicht entscheidenden objektiven Outcomeparameter, nämlich die erfolgreiche Embolisation, haben.

2.8 Fragestellung

Im Vergleich zum Goldstandard – der transurethralen Resektion der Prostata – etabliert sich die PAE als eine Therapiealternative zur Behandlung der LUTS bei der BPH.

Da es sich jedoch noch um ein relativ „junges“ Verfahren bei der Behandlung von LUTS bei BPH handelt, die Erstbeschreibung erfolgte 2000 (DeMeritt et al., 2000) und eine erste Fallserie wurde 2010 publiziert (Carnevale et al., 2010), liegen aktuell nur einzelne Studien mit Langzeitdaten mit bis zu 96 Monaten Follow-up vor (Carnevale et al., 2020). Aufgrund vielversprechender Daten hinsichtlich Effektivität und Sicherheit erfolgten in den letzten Jahren Optimierungen in vielen Gesichtspunkten des Verfahrens (Carnevale et al., 2014, Kovacs et al., 2020, Naidu et al., 2021, Carnevale et al., 2021, Barral et al., 2021).

Um Bedenken hinsichtlich der Strahlenexposition, der Interventionsdauer und möglicher Fehlembolisationen zu adressieren und mittels der PAE wirksame und komplikationsarme Embolisationsergebnisse zu erreichen, ist zum einen eine hohe radiologisch interventionelle Expertise notwendig, zum anderen ist die präzise Kenntnis und Darstellung der Anatomie eine unverzichtbare Voraussetzung. Da häufig die Identifikation der variantenreichen Prostataarterie und die anschließende Sondierung die zeitlich intensivsten und potenziell herausforderndsten Untersuchungsschritte sind (de Assis et al., 2015), kann bei guter Kenntnis der anatomischen Varianten die Prozedurdauer, Strahlenexposition, Applikation von Kontrastmittel und Rate an Nebenwirkungen potenziell reduziert werden.

Aufgrund erfolgversprechender Daten zur Behandlung von LUTS bei BPH mittels PAE befassten sich Bilhim et al. 2012 erstmalig mit der arteriellen Versorgung der Prostata und den daraus spezifisch resultierenden Konsequenzen für die PAE. In zahlreichen Studien zeigt sich eine enorm variable Anatomie.

Um eine Vereinfachung und systematische Klassifikation vornehmen zu können, schlugen de Assis et al., 2015 erstmalig eine Klassifikation der verschiedenen Ursprünge der PA vor. Hierbei wurden fünf Subtypen in cranio-kaudaler Richtung benannt, wobei die Typen I-IV als „typisch“ benannt und Typ V-Arterien als atypischer Ursprung klassifiziert wurden (de Assis et al., 2015). Im weiteren Verlauf wurden weitere Studien publiziert, die gemäß der neu etablierten Methode nach de Assis et al. klassifizieren. Die dort veröffentlichten Daten unterscheiden sich jedoch zum Teil erheblich untereinander, wie auch von der ursprünglichen Arbeit (Amouyal et al., 2018, Xuan et al., 2019, Enderlein et al., 2020, Eldem et al., 2020).

Aufgrund unterschiedlicher Methodik der Datenerhebung und kleinen bis lediglich mittelgroßen Patientenkollektiven in den anatomischen Folgestudien ist die zur Verfügung stehende Datenlage der vorliegenden Studien jedoch noch relativ schwach.

In dieser retrospektiven Studie sollen deshalb, anhand des nach unserer Kenntnis bisher größten weltweit untersuchten Kollektivs, folgende Punkte evaluiert werden:

1. Unterscheidet sich die Verteilung der Varianten der A. prostatica in unserem Kollektiv von der Verteilung in anderen publizierten Studien?
2. Ist die Verteilung der Varianten der A. prostatica bei verschiedenen Befundern konsistent?
3. Welche Ursachen führen am häufigsten zum technischen Versagen der PAE?
4. Haben verschiedene anatomische Varianten der A. prostatica Einfluss auf technische Aspekte der PAE? Als technische Aspekte werden die Wahrscheinlichkeiten der Verwendung einer Spiralembolisation mittels Coil oder eines Such-Cone Beam CT in Abhängigkeit der Variante der A. prostatica untersucht.
5. Wird der technische Erfolg der PAE beeinflusst durch die Abgangsvarianten der A. prostatica, das Vorliegen der typischen Anatomie der A. iliaca interna, das Alter des Patienten, den BMI, den Interventionalisten?

3 Material und Methoden

3.1 Studiendesign und Datenerhebung

Bei der vorliegenden Studie handelt es sich um eine monozentrische, retrospektive Studie. Insgesamt unterzogen sich 519 Patienten einer PAE zur Behandlung von LUTS bei BPH im Institut für Diagnostische und Interventionelle Radiologie am Marienkrankenhaus Hamburg im Zeitraum von Mai 2018 bis April 2021. In besagtem Kollektiv konnten hieraus 969 PAs, von 1038 potentiell möglichen, identifiziert werden und insgesamt 875 PAs erfolgreich embolisiert.

Die Einschlusskriterien zur Durchführung der PAE waren ein IPSS ≥ 8 , ein QoL-Score > 3 , eine BPH $> 40 \text{ cm}^3$ und eine nicht erfolgreiche medikamentöse Therapie > 6 Monate oder urologisch bereits gestellte Indikation zur Operation.

Ausschlusskriterien für die Durchführung einer radiologischen Embolisation der Prostataarterie waren Verdacht auf ein Malignom, akute Zystitis oder Prostatitis, Hydronephrose, Blasensteine oder -divertikel, Harnröhrenverengung, schwere Infektionen, größere chirurgische Eingriffe innerhalb der letzten 4 Wochen vor der PAE. Außerdem galten allgemeine Kontraindikationen für eine Angiographie wie Kontrastmittelallergien Grad 2 oder höher, eine Nierenfunktionsstörung mit einer GFR $< 45 \text{ ml/min}$ oder eine manifeste Hyperthyreose.

Zur strukturierten Eingabe und Extraktion der Daten wurde eine Microsoft-®-Excel-Datenbank angelegt.

Die Datenerhebung erfolgte in zwei Schritten (A+B):

A. Initial wurde für alle Patienten, welche sich im Zeitraum von Mai 2018 bis April 2021 einer PAE im Marienkrankenhaus unterzogen, ein Stammblatt angelegt. Hier wurden zur Anonymisierung die Patientennamen durch eine fortlaufende Nummerierung (Fallnummer) ersetzt.

Ins Stammblatt aufgenommen wurden somit:

- Fallnummer
- Geburtsdatum
- Interventionsdatum der PAE

Aus Geburtsdatum und Interventionsdatum wurde anschließend das Alter am Interventionsdatum berechnet.

B. Zur weiteren Datenerhebung und Auswertung wurden zwei zeitlich getrennte Befundungsgruppen gebildet.

I. Primärbefundung:

Die Primärbefundung entsprach den Interventionsberichten, welche durch den die Prozedur durchführenden Interventionalisten angelegt wurden und seit Durchführung der Intervention im Krankenhausinformationssystem (KIS) des Marienkrankenhauses hinterlegt waren.

II. Sekundärbefundung:

Die Sekundärbefundung erfolgte anhand der im System hinterlegten Rohdaten von digitaler Subtraktionsangiographie (DSA) und Computertomographie (CT) durch den Doktoranden. Die Sekundärbefundung erfolgte unabhängig und ohne Kenntnis von Primärbefundung und/oder Interventionsberichten.

Zu I:

Die primäre Befundung und anatomische Klassifikation erfolgten, gemäß der 2015 von de Assis et al. eingeführten Klassifikation (siehe Tabelle 1), durch den die Intervention durchführenden Radiologen am Interventionstag. Die Interventionen wurden von insgesamt fünf verschiedenen erfahrenen interventionellen Radiologen im Institut für Diagnostische und Interventionelle Radiologie am Marienkrankenhaus Hamburg durchgeführt.

Dabei konnten die Interventionalisten noch einmal in zwei Untergruppen unterteilt werden. Gruppe 1 (C.H. und M.Z.), bestehend aus 2 Experten auf dem Gebiet der PAE mit jeweils mehr als zehnjähriger interventionell-radiologischer Erfahrung sowie Gruppe 2 (J.T./D.R./M.K.), welche als erfahren in der Anwendung der PAE einzustufen sind, allerdings noch über weniger als zehn Jahre interventioneller Expertise verfügten.

Zur Datenextraktion wurden die OP-Berichte aus dem Picture Archiving and Communication System (PACS) (GE Centricity Universal Viewer Version 6.0) des Marienkrankenhauses identifiziert und anschließend auf folgende Variablen gescreent.

- Patientenausgangsdaten (Geburtsdatum/Größe in cm/Gewicht in kg)
- Interventionsdatum/Fallnummer
- Anatomische Daten von jeweils rechtem und linkem Hemipelvis (Klassifikation des PA-Typs durch den Interventionalisten)
- Interventionsbezogene Daten
(Durchführung einer Such-Cone Beam CT, durchführender Interventionalist und ggf. Assistenz, Verwendung von Coils)

Zu II:

Aufgrund von Unklarheiten/Ungenauigkeiten der Klassifikation von de Assis et al., wurde vor Beginn der Sekundärbefundung eine Anpassung der Klassifikation durch die interventionellen Radiologen der Gruppe 1 und den Doktoranden erarbeitet.

Hierbei wurde die typische Klassifikation I-V um einen Typ VI ergänzt, welche als „interventionell relevante“ unilaterale arterielle Doppelversorgung der Prostata definiert wurde. Als Kriterium der „interventionellen Relevanz“ wurde festgelegt, dass in zentralen Anteilen des Prostataparenchyms aus mehr als einem Gefäß, ein durch den Interventionalisten subjektiv eingeschätzter, signifikanter Blush im Cone Beam CT nachweisbar war. In diesen Fällen erfolgte dann stets, falls technisch möglich, ein Embolisationsversuch beider unilateral die Prostata versorgenden Gefäße. Voraussetzung für eine Typ VI Klassifikation ist eine relevante Doppelversorgung des zentralen Drüsenanteils. Eine doppelt angelegte PA, bei der eine PA lediglich die Kapsel versorgte und die andere PA den zentralen Drüsenanteil, wurde entsprechend nicht als Typ VI klassifiziert.

Angesichts von weiteren Unklarheiten in der Klassifikation von de Assis et al. wurden vor Befundungsbeginn weitere Präzisierungen hinsichtlich der Klassifikation vorgenommen. Für den Fall eines Ursprungs der PA aus einer AO aus dem Truncus posterior wurden diese als Typ III klassifiziert. Nach der Originalklassifikation würde eine solche Arterie sowohl die Kriterien für eine Klassifikation als Typ III, wie auch für einen Typ V erfüllen (Ursprung aus dem Truncus posterior der A. iliaca interna). Bei Tri- oder Quadrifurkation der A. iliaca interna die eine PA abgaben, wurden die PAs, welche zusammen aus einem Hauptstamm mit einer A. vesicalis superior hervorgingen,

als Typ I Arterien klassifiziert, obwohl sie ebenfalls auch als Typ V klassifizierbar wären. Für den Fall, dass A. vesicalis superior und A. vesicalis inferior nicht gemeinsam als Truncus vesicoprostaticae aus einer solchen Tri-/Quadrifurkation hervorgingen, wurde die dazugehörige PA als Typ V klassifiziert. Als letzte Unschärfe der ursprünglichen Klassifikation von de Assis und Kollegen ergibt sich die Problematik ab wann ein Abgang einer PA aus der A. pudenda interna als aus dem „distalen Segment“ anzusehen ist und somit als Typ V klassifiziert wird und konsekutiv, bis wohin eine PA aus der A. pudenda interna als Typ IV eingestuft wird. Wir haben uns in diesem Kontext für einen Typ V entschieden, wenn die PA aus dem letzten Drittel der Wegstrecke der A. pudenda interna entsprang.

Ebenso wurde definiert, dass im Gegensatz zur Primärbefundung weitere Variablen begutachtet werden sollten. Diese entsprachen:

- Evaluation, ob eine klassische Anatomie wie in Abbildung 5 vorliegt?
- Die Erfassung des Ursprungs der A. obturatoria.

Nach durchgeführter Definition der zusätzlich zu erhebenden Variablen erfolgte die Sekundärbefundung.

Bevor die Befundung der Rohdaten durch den Doktoranden selbstständig stattfand, erfolgte eine intensive Recherche zur Anatomie des Beckens und der die Prostata versorgenden Gefäße. Ebenso wurde der Doktorand anhand von 50 zuvor abgeschlossenen Fällen intensiv geschult, bevor die Auswertung mit Stichtag 01.05.2018 begonnen wurde. Die Sekundärbefundung fand anschließend retrospektiv und ohne Kenntnis der Primärbefundung anhand der im PACS dokumentierten Bilddaten statt.

In der Sekundärbefundung wurden die folgenden Variablen erhoben:

- Patientenausgangsdaten (Geburtsdatum)
- Interventionsdatum/Fallnummer
- Anatomische Daten von jeweils rechtem und linkem Hemipelvis (klassische Anatomie, Ursprung der A. obturatoria, Klassifikation des PA-Typs)
- Interventionsbezogene Daten (Sondierbarkeit, applizierte Embolisatmenge nach Größe des verwendeten Embolisats (klein/groß), Durchführung einer Such-Cone Beam CT, Erfassung Interventionalist und ggf. Assistenz, Verwendung von Embolisationsspiralen (Coils), Erfolg der PAE, Versagensursachen).

Die erhobenen Daten wurden in die Excel-®-Datenbank übernommen und mittels den im PACS hinterlegten Daten bestehend aus individueller Fallnummer, Geburtsdatum und Interventionsdatum verknüpft.

Nach Abschluss der Datenextraktion mit Primär- und Sekundärbefundung wurden die Ergebnisse hinsichtlich der Klassifikation der Variable PA-Typ verglichen. Bei nicht übereinstimmender Klassifikation von Primär- und Sekundärbefundung bzgl. des PA-Typs erfolgte eine dritte Konsensusbegutachtung. Diese wurde durch die interventionellen Radiologen der Gruppe 1 und dem Doktoranden gemeinsam durchgeführt. In diesem Konsensusverfahren wurde dann die endgültige Klassifikation des PA-Typs festgelegt.

3.2 Technisches Vorgehen bei der PAE

Alle Untersuchungen wurden auf einem Artis Zee (VC21C) deckenmontierten uniplanaren Flachdetektor-Angiographiesystems (Siemens Healthineers, Erlangen, Deutschland) durchgeführt. Die Durchleuchtungsaufnahmen erfolgten generell in Ultraniedrigdosis (ultraXCare Programm) bei zwei Bildern pro Sekunde. Die Cone Beam Computertomographie (syngo DYNA-CT, Siemens Healthineers, Erlangen, Deutschland) erfolgte mit einer Spannung von 125 kVp resultierend in etwa 0,36 μ Gy pro Einzelbild. Die Rekonstruktion der Cone Beam CT (CBCT) erfolgte mittels syngo Workplace Software (VB21N) auf einer Leonardo Workstation (beide Siemens Healthineers, Erlangen, Deutschland). Als Kontrastmittel wurde ein nichtionisches, jodhaltiges Kontrastmittel (Ultravist® 300 mg Iod/ml, Bayer Vital, Leverkusen, Deutschland) verwendet.

Bei der PAE werden an unserem Institut drei Arten der CBCT des Beckens unterschieden (siehe Abbildung 11):

I. Übersichts-CBCT:

Anfertigen mittels Pigtailkatheter aus der distalen Aorta mit Darstellung von der Aortenbifurkation nach distal bis auf Höhe der Symphyse/Prostata. Die Kontrastmittelmenge beträgt 56 ml bei 7 ml/s mit einer Aufnahmeverzögerung von 4,0 s. Diese Art der CBCT wird in unserem Institut nur in Ausnahmefällen durchgeführt, einige Arbeitsgruppen verwenden Sie aber regelhaft (Kriechenbauer et al., 2020).

II. Such-CBCT:

Anfertigen über den 5F-Führungskatheter aus der A. iliaca interna mit Darstellung der unilateralen Internastrombahn auf Höhe der Aufzweigung der A. iliaca interna in den vorderen und hinteren Truncus bis auf Höhe der Symphyse/Prostata. Die Kontrastmittelmenge beträgt 14 ml bei 2 ml/s mit einer Aufnahmeverzögerung von 3,0 s. Die Durchführung ist fakultativ (siehe unten).

III. Ziel-CBCT:

Anfertigen über den Mikrokatheter aus der distalen PA (antizipierte Embolisationsposition) mit Darstellung auf Höhe des Blasenbodens bis einige Zentimeter subsymphysär zur sicheren Erkennung von pudendalen und/oder penilen Kollateralen. Die Kontrastmittelmenge beträgt 3 ml bei 0,2 ml/s mit einer Aufnahmeverzögerung von 15,0 s. Die Durchführung ist am Institut obligat vor der Embolisation durchzuführen, um Fehlembolisationen auszuschließen.

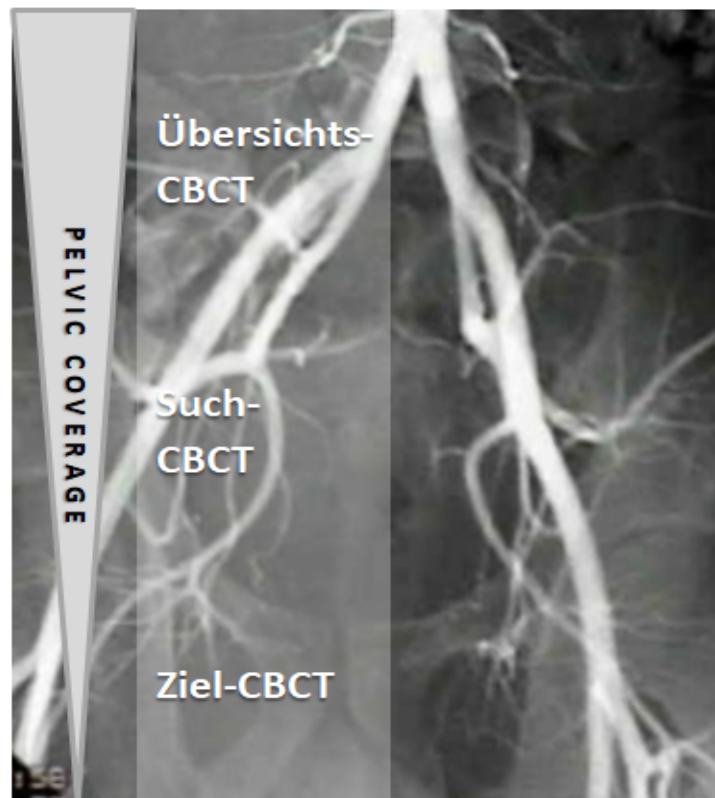


Abbildung 11: Veranschaulichung der verschiedenen Cone Beam CT Schemata und ihrer jeweiligen pelvinen Abdeckung

Die Intervention erfolgte unter Lokalanästhesie durch unilaterale Punktion der A. femoralis communis (AFC), üblicherweise rechtsseitig. Nur in Ausnahmefällen war eine Punktion auch auf der kontralateralen Seite notwendig, wie zum Beispiel bei einliegender Aortenprothese oder sehr stark ausgeprägter Elongation der Beckenarterien. Über einen 0,035'' hydrophil beschichteten Draht (GlideWire, Terumo, Tokyo, Japan) wurde eine 11 cm lange 5 French Schleuse eingebracht und dann die korrekte Lage in der A. femoralis communis mittels Durchleuchtungsserie dokumentiert. Regelmäßig erfolgte dann nach einem Cross-over-Manöver mittels 5 French Aachen1-Katheter (Glidecath™, non-taper angle Type T90, Terumo, Tokyo, Japan) die Sondierung der A. iliaca interna sinistra, gegebenenfalls unter Darstellung der Aortenbifurkation und/oder der Iliakalbifurkation links mittels Kontrastmittelserien als digitaler Subtraktionsangiographie (DSA) oder Durchleuchtungsserie. Nach Sondierung der Arteria iliaca interna (AII) sinistra wurde diese dann mittels DSA in ipsilateral schräger Position (35°-40°) sowie in caudo-cranialer Angulation (15°-20°) angefertigt. Wenn auf dieser Serie die PA nicht eindeutig identifiziert werden konnte, wurde eine Such-CBCT angefertigt. Ansonsten wurde ggf. der Aachen1-Katheter repositioniert, um eine Sondierung der PA zu erleichtern oder direkt ein Mikrokathetersystem bestehend aus Mikrokatheter (Renegade 2,5F oder

Direxion J 2,4F, beide Boston Scientific, Marlborough, MA, USA) und Mikrodraht (0,016" Meister, Asahi, Osaka, Japan oder 0,014" Fathom, Marlborough, MA, USA) eingeführt. Mit dem MKS erfolgte dann die Sondierung der Prostataarterie bis ins distale Segment proximal der Aufzweigung in die einzelnen Unteräste der Prostataarterie. Sofern eine Such-CBCT vorlag, auch optional mittels Navigation (Embolization Guidance, Siemens Healthineers, Erlangen, Deutschland). Nach erfolgreicher Sondierung erfolgte ausnahmslos eine Ziel-CBCT zur Verifikation der korrekten Katheterlage und somit Vermeidung von Non-Target-Embolisationen (siehe Abbildung 12). Im Falle von Kollateralen, die proximal der Prostata detektiert wurden, erfolgte die Distalisierung des Mikrokatheters. Wurden Kollateralen zu Nicht-Zielorganen aus dem auf Höhe der Prostata oder aus distalen Prostataästen detektiert, wurden diese vorab mit Mikro-Embolisationsspiralen im Durchmesser zwischen 1,5 mm bis 3 mm verschlossen (detachable Coils: Axium oder Concerto 0,014", Medtronic, Dublin, Ireland / pushable coils: Nester oder Hilal 0.018" Coils, Cook, Bloomington, IN, USA). Die Spiralembolisation diente hierbei in der Regel der Ausschaltung von kollateralversorgten Non-target Strukturen, aber nicht primär zur Behandlung der LUTS. In sehr seltenen Einzelfällen, wenn eine Partikelembolisation nicht möglich ist, wird die Spiralembolisation aber auch als Verfahren eingesetzt, um zu versuchen einen Verschluss der die Prostata versorgenden Gefäße zu gewährleisten.

Nach Sicherung der korrekten Katheterlage wurde die Embolisation mittels 100-300µm (kleine) und/oder 300-500µm (große) im Durchmesser messenden Partikeln (Embosphere, Merit Medical, Eschborn, Deutschland) durchgeführt (siehe Abbildung 12). Zur Applikation wurde die 1 ml Embospheren Fertigspritze mit 19 ml Kontrastmittel verdünnt. Eine Embolisation erfolgte dann bis zur Stase mit einer Verteilung von kleinen und großen Partikeln im Verhältnis von etwa 1:1 bis 2:1 unter intermittierender Röntgendurchleuchtung zum Ausschluss eines Rückflusses der Partikel in proximale Gefäßareale bei einer Geschwindigkeit von etwa 1 ml/min. Nach jeweils 3 ml appliziertem Partikelgemisch erfolgte eine Spülung mit ca. 3 ml NaCl-Lösung und eine Kontrolldarstellung mittels DSA zur Abschätzung der Restflussgeschwindigkeit und zum Ausschluss von eröffneten distalen Kollateralen zu Nicht-Zielorganen (Abbildung 12 Bild C).

Nach Abschluss der Untersuchung kontralateral erfolgte ein analoges Vorgehen auf der ipsilateralen Seite. Nach der Embolisation beider PA wurden der Mikrokatheter und Führungskatheter entfernt und die Einstichstelle der Leiste mit einem Gefäßclip

verschlossen (StarClose, Abbott, Plymouth, MN, USA). Im Falle der dann üblicherweise unmittelbar eintretenden Hämostase erfolgte keine zusätzliche Behandlung mit einem Druckverband. Die postinterventionelle Bettruhe betrug dann 2 Stunden. Im Falle einer Nachblutung nach Applikation des Verschlusssystems betrug die Bettruhe und Dauer einer Druckverbandbehandlung 6-8 Stunden.

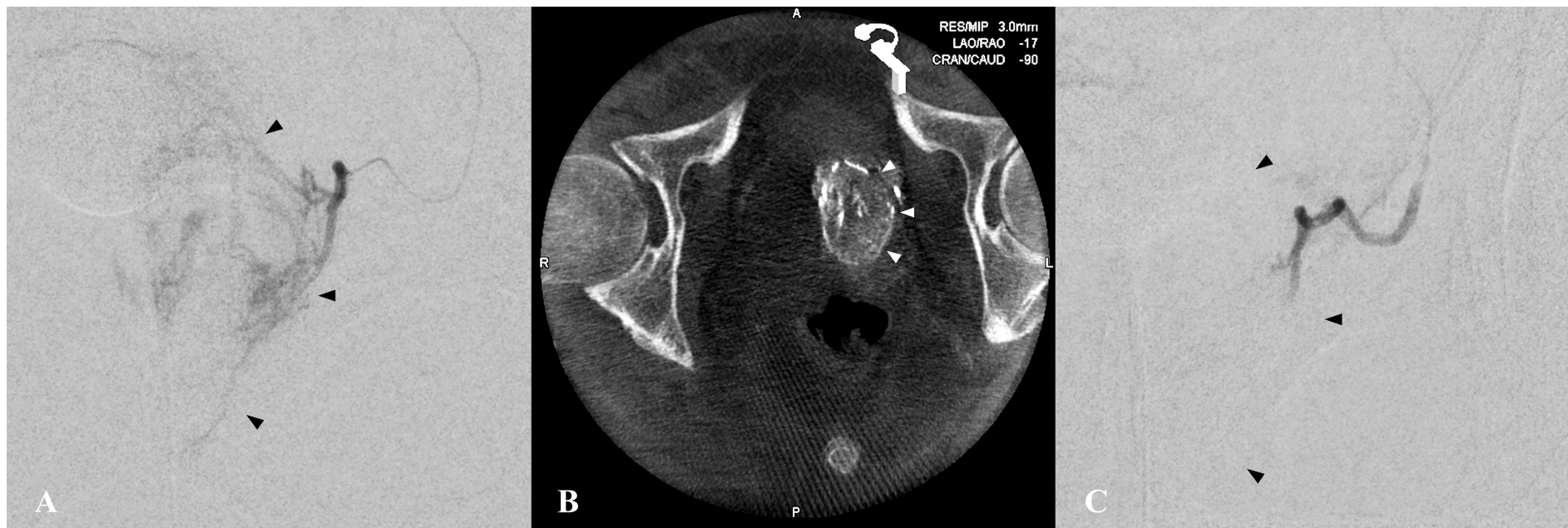


Abbildung 12: DSA und Cone Beam CT Aufnahmen vor und nach Embolisation

Bild A: DSA vor PAE über den Mikrokatheter aus der distalen A. prostatica sinistra. Die Pfeile markieren die Parenchymkontrastierung.

Bild B: Transversales Cone Beam CT über den Mikrokatheter aus der Position des Mikrokatheters in Bild A. Es zeigt sich eine homogene Kontrastierung des gesamten Parenchyms ohne Aussparung und ohne Kontrastierung von anderen Strukturen des kleinen Beckens.

Bild C: DSA nach Applikation der Mikrosphären mit vollständiger Stase in allen arteriellen Ästen der linken Prostatahälfte, aber fehlendem Verschluss von Gefäßen außerhalb der Prostata. Die Pfeile markieren den Bereich des ehemaligen Prostataparenchyms, wie es in Bild A zu sehen war.

3.3 Statistische Auswertung

Die Auswertung der Daten erfolgte mittels Microsoft® Excel für Mac (Version 16.55) sowie anschließender Transformation, Umstrukturierung und Modellberechnung der Daten in IBM® SPSS® Statistics für Mac (Version 27.0.0.0.).

Nachdem initial die Daten für 519 Patienten erhoben wurden, erfolgte zur besseren Auswertbarkeit die Umstrukturierung der Daten auf eine gefäßbezogene Betrachtung und somit auf ein Long-Format in SPSS, woraus sich konsekutiv 1038 potenziell auswertbare Prostataarterien ergaben. Besagte Umstrukturierung war zur Berechnung der Modelle notwendig. Aus diesem Grund wurde zur einheitlichen Terminologie der Arbeit im Verlauf immer die Betrachtung auf die einzelnen Gefäße und nicht auf Patienten vorgenommen, wenn nicht abweichend angegeben.

Zur Erstellung der statistischen Modelle und zum Abgleich der Korrektheit der statistischen Methoden wurde eine Statistikberatung und Betreuung der Promotion durch das Institut für Biometrie und Epidemiologie (IMBE) des Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf in Anspruch genommen.

3.3.1 Deskriptive Statistik

Für die deskriptive Statistik wurden Mittelwert (M), Standardabweichung (SD), Minimum und Maximum angegeben.

3.3.2 Interraterreliabilität

Um die Interraterreliabilität zwischen Primärbefunder und Doktorand zu ermitteln, wurde der Kappa-Koeffizient nach Cohen (κ) berechnet.

Die Übereinstimmung (Interraterreliabilität) zwischen den Beobachtern wird abhängig von κ als gering ($\kappa = 0,00-0,20$), mittelmäßig ($\kappa = 0,21-0,40$), mäßig ($\kappa = 0,41-0,60$), erheblich ($\kappa = 0,61-0,80$) oder nahezu perfekt ($\kappa = 0,81-1,00$) eingestuft (Landis and Koch, 1977).

3.3.3 Binär logistische Regressionsanalyse

Für die binär codierten abhängigen Variablen „Coil_appliziert“ und „Such-CBCT“ sollte jeweils separat überprüft werden, ob die Variable PA-Klassifikation einen Einfluss auf deren Ergebnis hat. Also ob gewisse PA-Typen häufiger ein Such-CBCT oder Coils brauchen als andere. Hierfür wählten wir als Modell eine logistische Regressionsanalyse. Als Referenzkategorie sollte der am häufigsten vorkommende PA-Typ verwendet werden.

Berichtet werden somit für die Modellgüte der Omnibus Test der Modellkoeffizienten [Chi-Quadrat-Test (χ^2)], der Regressionskoeffizient (b), das Signifikanzniveau (p), die Odds Ratio (OR) und die Konfidenzintervalle (CI).

3.3.4 Generalisiert linear gemischtes Modell (GLMM)

Als Modell kamen ein verallgemeinert lineares Modell, sowie ein GLMM in Frage.

Da es aufgrund der am gleichen Patienten stattfindenden Messwiederholungen (normalerweise ein Patient mit embolisierter PA rechts und links) aber zur Verletzung der Annahme des unabhängigen Modellfehlers des verallgemeinert linearen Modells kommt und somit beim Großteil der Messungen eine Abhängigkeit zwischen den Messungen (Rechts/Links) besteht, wird die Abhängigkeit dieser Messwiederholungen im Vergleich zum verallgemeinert linearen Modell durch die Hinzunahme eines zufälligen Effekts im GLMM dem Studiendesign entsprechend mit abgebildet.

Daher entschieden wir uns, bei nicht normalverteilter abhängiger Variable, für ein GLMM als Weiterentwicklung der verallgemeinert linearen Modelle und linear gemischten Modelle. Als konstanter Term wurde die anonymisierte Patientenummer verwendet.

Zur Evaluation der Einflüsse auf den technischen Erfolg der PAE wurden zu Beginn der Studie fünf Variablen definiert und auf ihren Einfluss auf den Technischen Outcome untersucht. Als technischer Erfolg wurde ein Verschluss der PA gewertet, unabhängig ob dieser per Partikelembolisation oder mittels Verschlusses per Coil erreicht wurde.

Da im Rahmen dieser Arbeit eine auf das einzelne Gefäß bezogene Auswertung vorgenommen wurde, wird ein technischer Erfolg auch hier immer auf das einzelne Gefäß bezogen. Das heißt, für den Status erfolgreicher Eingriff muss die PAE nicht zwingend auch kontralateral erfolgreich gewesen sein.

Modelliert wurde die abhängige Variable „PAE_einseitig“ (=technischer Erfolg) mit binärer Ausprägung, wobei 1=Ja (Therapieerfolg) und 0=Nein (Therapieversagen) entspricht. Modelliert wurde der technische Erfolg, also der Wert 1 und als Referenzwert 0=Technischer Misserfolg angenommen.

Zur Schätzung der abhängigen binären Variable „technischer Erfolg“ wurden in das Modell fünf unabhängige Variablen eingebracht, davon waren drei kategoriale Faktoren und zwei metrische Kovariaten:

1. Faktoren:

- Klassifikation des PA-Ursprungs: Typ I-VI (5 Freiheitsgrade)
- Interventionalist: Fünf verschiedene Interventionalisten (4 Freiheitsgrade)
- Klassische Anatomie: Ja / Nein (1 Freiheitsgrad)

2. Kovariaten:

- Alter zum Interventionszeitpunkt (nach Lebensdekaden)
- BMI in kg/m^2

Zur Berechnung des Modells wurde für jede kategoriale Variable (Faktoren) ein Referenzwert festgelegt. Die Referenzwerte für die Variablen PA-Klassifikation / klassische Anatomie sollte jeweils die Ausprägung der Variable sein, welche nominell am häufigsten vorkam. Für die Variable Interventionalist wurde der erfahrenste der fünf Interventionalisten (C.H.) als Referenzwert festgelegt. Die metrische Variable Alter wurde in Lebensdekaden gruppiert. Da es sich um vollständig unabhängige Prädiktoren handelt, wurden lediglich die Hauptfaktoren berechnet und keine Interaktionen der Variablen untereinander mit in das Modell aufgenommen.

Aus den Modellen sollte ermittelt werden, welche der Prädiktoren einen Einfluss auf den technischen Outcome haben und wie sich dieser verhält. Berechnet wurden somit für jede Ausprägung der Variablen die festen Koeffizienten, die geschätzten Randmittel und die Odds Ratio.

Als Signifikanzniveau wurde ein α -Fehler von 5 %, entsprechend einem p -Wert $< .05$ definiert.

4 Ergebnisse

4.1 Patientenkollektiv

In dieser Arbeit wurden im Zeitraum zwischen 03.04.2018 bis einschließlich 16.05.2021 insgesamt 519 Patienten einer PAE im Institut für Diagnostische und Interventionelle Radiologie im Marienkrankenhaus Hamburg unterzogen. Zum Interventionszeitpunkt war das Patientenkollektiv (519/519) im Mittel 69,7 Jahre alt ($SD=9,03$). Der jüngste Patient war zum Interventionszeitpunkt 46 Jahre, der Älteste 94,1 Jahre alt. Eine Übersicht der klinischen und demographischen Daten des Patientenkollektivs zeigt Tabelle 2. Eine grafische Darstellung mittels Histogramm ist in Abbildung 13 zu finden. Zur besseren statistischen Analyse wurden die Patienten nach Lebensdekaden aufgliedert (Tabelle 3). Dies wurde vorgenommen, um die Verständlichkeit der Aussagen des GLMMs (Vergleich Kapitel 4.4) zu erhöhen.

Tabelle 2: Deskriptive Statistik Patientenkollektiv

		Alter zum Interventionszeitpunkt	Größe in Zentimeter	Gewicht in Kilogramm	Body-Mass-Index (kg/m ²)
N	Gültig	519	498	497	497
	Fehlend	0	21	22	22
Mittelwert		69,7	178,9	85,8	26,7
Median		69,6	178,0	84,0	26,2
Std.-Abweichung		9,03	6,7	14,1	3,8
Minimum		46,0	157	50,0	17,5
Maximum		94,1	203	150,0	44,8

Tabelle 3: Alter zum Interventionszeitpunkt (nach Lebensdekaden)

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	5. Dekade (40-50 Jahre)	5	1,0	1,0	1,0
	6. Dekade (50-60 Jahre)	75	14,5	14,5	15,4
	7. Dekade (60-70 Jahre)	189	36,4	36,4	51,8
	8. Dekade (70-80 Jahre)	186	35,8	35,8	87,7
	9. Dekade (80-90 Jahre)	58	11,2	11,2	98,8
	10. Dekade (90-100 Jahre)	6	1,2	1,2	100,0
	Gesamt	519	100,0	100,0	

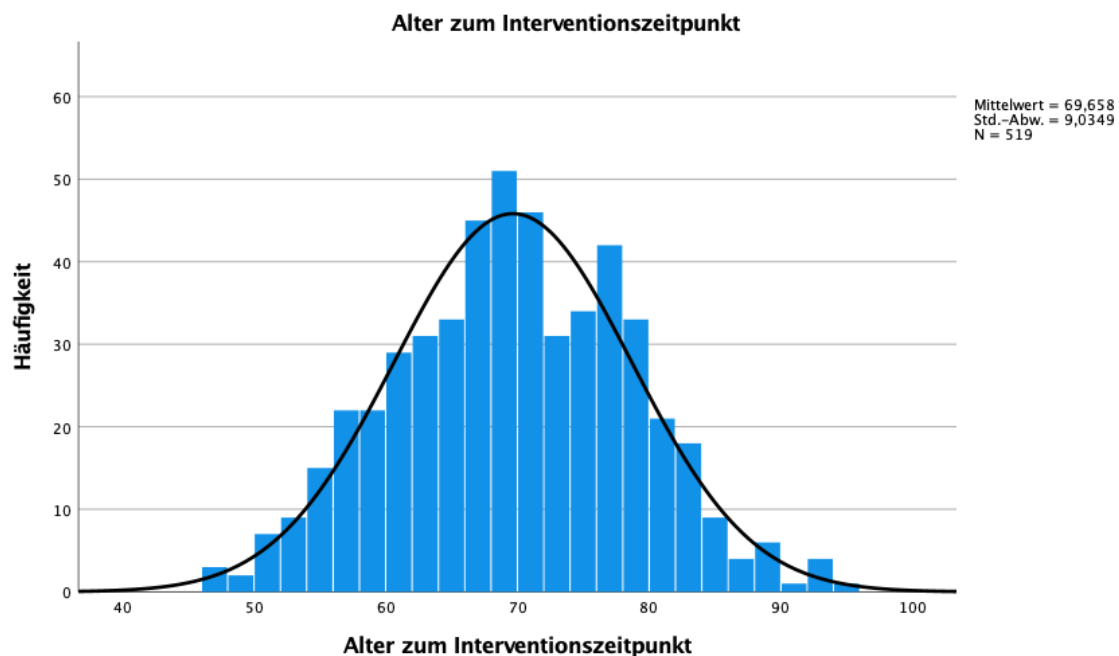


Abbildung 13: Histogramm Alter (in Jahren) zum Interventionszeitpunkt

Für 498/519 (96 %) der Patienten konnte die Körpergröße ermittelt werden, dieser betrug im Mittel 178,9 Zentimeter ($SD=6,7$). Die Spannweite lag zwischen 157-203 cm. Das Körpergewicht der Patienten lag für 497/519 (95,8 %) Datensätze vor und betrug im Mittel 85,8 kg ($SD=14,1$). Die Spannweite lag zwischen 50-150 kg. Aus Körpergröße und Gewicht konnte für 497/519 (95,8 %) der Patienten ein BMI berechnet werden. Dieser lag im Mittel bei 26,7 kg/m^2 ($SD=3,8$), die Spannweite betrug zwischen 17,5-44,8 kg/m^2 . In Abbildung 14 ist zur Veranschaulichung der Daten der BMI als Histogramm dargestellt.

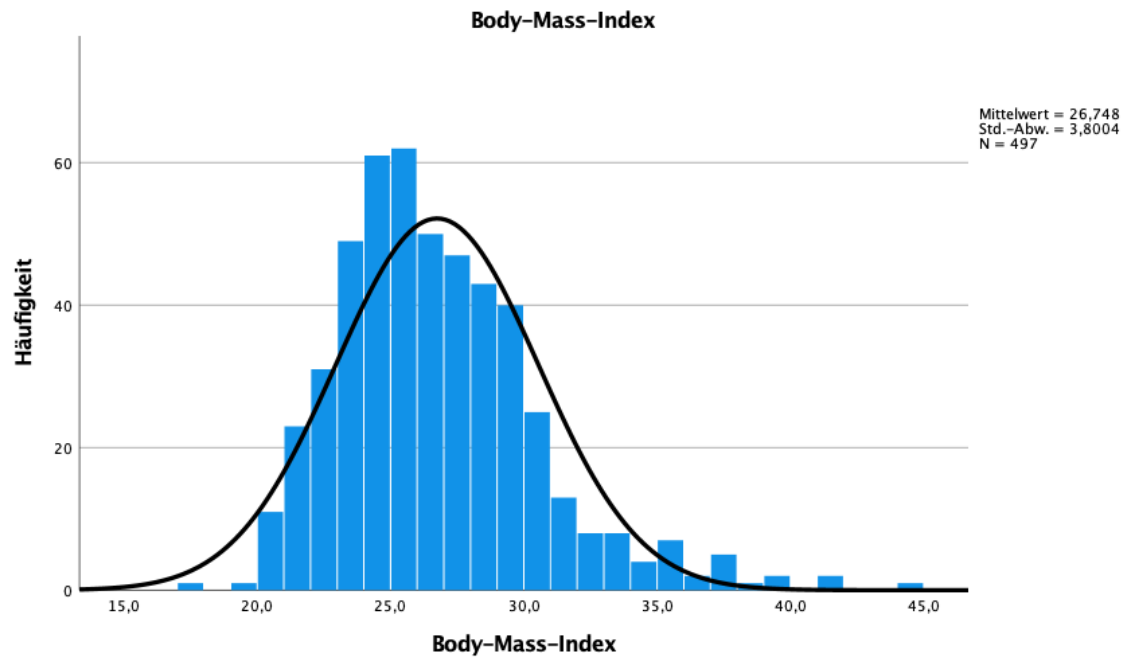


Abbildung 14: Histogramm Body-Mass-Index

4.2 Anatomische Klassifikationen

4.2.1 Klassifikation der Prostataarterie

Bei normalerweise paarig angelegter PA ergaben sich nach Umstrukturierung der Daten 1038 potenziell auswertbare Datensätze zur Beurteilung der Anatomie der Hemipelves. Hieraus konnten insgesamt 969 (93,4 %) bezüglich der PA ausgewertet werden. Nach Kontrolle auf Übereinstimmung der verschiedenen Rater und gegebenenfalls durchgeführter Konsensusbeurteilung erfolgte die endgültige Klassifikation in die Kategorien I-VI. Die prozentuale Verteilung der Typen I-VI war 42,7 %, 12,5 %, 16,4 %, 24,1 %, 2,5 % und 1,8 % gemäß Tabelle 4.

Tabelle 4: Anatomische Klassifikation Prostataarterie

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	Typ I	414	39,9	42,7	42,7
	Typ II	121	11,7	12,5	55,2
	Typ III	159	15,3	16,4	71,6
	Typ IV	234	22,5	24,1	95,8
	Typ V	24	2,3	2,5	98,2
	Typ VI (Doppelversorger)	17	1,6	1,8	100,0
	Gesamt	969	93,4	100,0	
Fehlend	System	69	6,6		
Gesamt		1038	100,0		

Als fehlend wurden nicht auswertbare Hemipelves 69/1038 (6,6 %) definiert. Grund hierfür waren in 42/1038 (4,1 %) die nicht mögliche Klassifikation bei fehlender Identifikation der PA, in 12/1038 (1,2 %) war lediglich eine unilaterale PAE geplant mit entsprechend nicht dargestellter kontralateraler Seite. In den anderen 15/1038 (1,5 %) konnte die Anatomie aus anderen Gründen nicht beurteilt werden.

4.2.2 Klassische Anatomie und Ursprung Arteria obturatoria

Hinsichtlich der anatomischen Gefäß- und Leitstrukturen, wie in Abbildung 4 und Abbildung 5 gezeigt, konnten 990/1038 (95,4 %) der Hemipelves ausgewertet werden. In 530/990 (53,5 %) der auswertbaren Fälle zeigte sich eine „klassische Anatomie“,

wohingegen in 460/990 (46,5 %) „atypische“ anatomische Gefäßkonstellationen vorlagen. Nicht auswertbar waren 48/1038 (4,6 %) Hemipelves. Als wichtigster Einflussfaktor zur Klassifizierung in die Rubrik „nicht-klassische Anatomie“ zeigte sich der ausgesprochen heterogene Ursprung und/oder das Fehlen der A. obturatoria (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5: Verteilung des Ursprungs der A. obturatoria

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	Truncus anterior	543	52,3	73,2	73,2
	Truncus posterior	169	16,3	22,8	96,0
	A. iliaca externa	30	2,9	4,0	100,0
	Gesamt	742	71,5	100,0	
Fehlend	kein Wert vorliegend	22	2,1		
	nicht nachweisbar	249	24,0		
	nicht beurteilbar	25	2,4		
	Gesamt	296	28,5		
Gesamt		1038	100,0		

4.2.3 Anatomische Symmetrie

Hinsichtlich der anatomisch kontralateral symmetrischen Anlage der PA zeigte sich klar, dass diese im Fall der PA nicht regelhaft gegeben ist. So waren bei 912/1038 (87,9 %) auswertbaren Fällen 354/912 (38,8 %) im Ursprung der PA symmetrisch, wohingegen in 558/912 (61,2 %) ein unterschiedlicher Ursprung der PA zur kontralateralen Seite gezeigt werden konnte.

Im Gegensatz dazu zeigte sich bei der Frage nach Symmetrie der klassischen Anatomie Folgendes. Von insgesamt 996/1038 (96 %) nutzbaren Fällen lag bei 654/996 (65,7 %) eine Symmetrie und bei 342/996 (34,3 %) eine asymmetrische Anlage hinsichtlich der klassischen Anatomie vor.

4.2.4 Interraterreliabilität

Um die Übereinstimmung der Klassifikation zwischen den Befundern in Form der Interraterreliabilität auszudrücken, wurde die Befundung von Interventionalist (siehe Tabelle 6) und Doktorand (siehe Tabelle 7) verglichen und zur besseren Veranschaulichung in Form eines gruppierten Balkendiagramms (siehe Abbildung 15) dargestellt.

Tabelle 6: Klassifikation PA durch Interventionalisten

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	Typ I	404	38,9	43,5	43,5
	Typ II	115	11,1	12,4	53,8
	Typ III	186	17,9	20,0	70,7
	Typ IV	186	17,9	20,0	95,9
	Typ V	22	2,1	2,4	98,2
	Typ VI	16	1,5	1,7	100,0
	Gesamt	929	89,5	100,0	
Fehlend	System	109	10,5		
Gesamt		1038	100,0		

Tabelle 7: Klassifikation PA durch Doktoranden

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	Typ I	388	37,4	40,5	40,5
	Typ II	128	12,3	13,3	53,8
	Typ III	162	15,6	16,9	70,7
	Typ IV	242	23,3	25,2	95,9
	Typ V	22	2,1	2,3	98,2
	Typ VI	17	1,6	1,8	100,0
	Gesamt	959	92,4	100,0	
Fehlend	System	79	7,6		
Gesamt		1038	100,0		

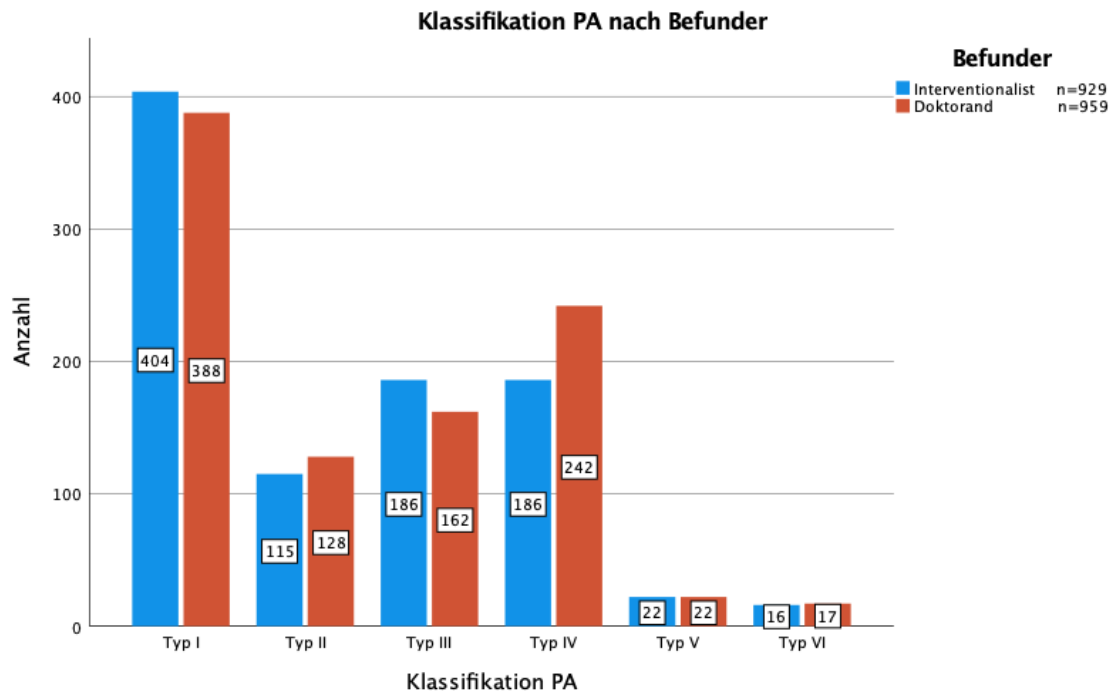


Abbildung 15: Vergleich Klassifikation PA nach Befunder

Aus den Interventionsberichten konnte die Klassifikation des Interventionalisten in insgesamt 929/1038 Fällen identifiziert werden. Bezüglich der Sekundärbefundung lagen 959/1038 klassifizierbare Fälle vor. In 921/1038 (88,7 %) der Fälle lagen sowohl eine Klassifikation von Interventionalist als auch durch den Doktoranden vor. Hieraus konnte die Interraterreliabilität mit dem Kappa-Koeffizient nach Cohen (κ) berechnet werden. Dieser lag bei $\kappa=0,861$, $SD=0,014$, $p<.001$ was einer sehr hohen Übereinstimmung entspricht.

Tabelle 8: Kreuztabelle zur Berechnung der Interraterreliabilität. Angaben in Anzahl der jeweiligen Fälle

		Klassifikation PA (Interventionalist)						Gesamt
		Typ I	Typ II	Typ III	Typ IV	Typ V	Typ VI	
Klassifikation PA (Doktorand)	Typ I	370	5	1	3	0	0	379
	Typ II	9	98	3	5	0	0	115
	Typ III	2	3	151	2	2	0	160
	Typ IV	19	7	29	174	0	0	229
	Typ V	0	0	1	0	20	0	21
	Typ VI	0	0	0	1	0	16	17
Gesamt		400	113	185	185	22	16	921

Da bei nicht übereinstimmender Klassifikation ein drittes Konsensusverfahren durchgeführt wurde, konnte aus diesen weiteren Daten herausgearbeitet werden, wer im Falle eines Dissens korrekt klassifiziert hatte und welche PA-Typen scheinbar schwerer erkennbar waren. Tabelle 9 fasst diese Auswertung zusammen. Es zeigt sich, dass bei 140 Dissensfällen in 59,3 % der Fälle die Klassifikation des Doktoranden und in 25 % der Fälle die Klassifikation der Interventionalisten durch das Konsensusteam übernommen wurden. In 15,7 % der Fälle wurde durch das Konsensusteam eine dritte und somit andere Klassifikation der PA als von Doktorand und Interventionalist festgelegt. In der weiteren Subgruppenanalyse zeigte sich, dass im Verhältnis zur jeweiligen Gesamtanzahl der PA-Typen Typ IV PAs am häufigsten falsch klassifiziert wurden, wohingegen Typ III PAs am seltensten fehlerhaft eingestuft wurden.

Tabelle 9: Interraterreliabilität zwischen Konsensusteam und Interventionalisten/Doktorand

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	Doktorand	83	59,3	59,3	59,3
	Interventionalist	35	25,0	25,0	84,3
	Konsensusteam	22	15,7	15,7	100,0
	Gesamt	140	100,0	100,0	

Tabelle 10: Endgültige PA-Typen im Falle eines Dissens zwischen Interventionalisten/Doktorand

Klassifikation PA-Ursprung					
		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	Typ I	44	31,4	31,4	31,4
	Typ II	23	16,4	16,4	47,9
	Typ III	8	5,7	5,7	53,6
	Typ IV	60	42,9	42,9	96,4
	Typ V	4	2,9	2,9	99,3
	Typ VI (Doppelversorger)	1	,7	,7	100,0
	Gesamt	140	100,0	100,0	

4.3 Technisches Outcome

4.3.1 PA-Verschluss

Als technischer Erfolg wurde eine Stase des arteriellen Flusses der PA gewertet, unabhängig ob dieser per Partikelembolisation oder mittels Verschlusses per Coil erreicht wurde (Vergleich hierzu auch Kapitel 4.3.3). Da im Rahmen dieser Arbeit eine auf das einzelne Gefäß bezogene Auswertung vorgenommen wurde, wird ein technischer Erfolg auch hier immer auf das einzelne Gefäß bezogen und nicht mit der kontralateralen Seite verbunden. Bei 1024/1038 (98,7 %) der Fälle wurde der Versuch einer PAE durchgeführt. Bei den fehlenden 14/1038 (1,3 %) war entweder nur eine einseitige PAE geplant, bei zum Beispiel Zustand nach bereits erfolgter PAE oder die Zustimmung zur Untersuchung wurde noch während der Untersuchung widerrufen. Erfolgreich konnte die PA bei 875/1024 (85,4 %) der Fälle verschlossen werden, wohingegen dies bei 149/1024 (14,6 %) der PAs frustriert verlief (Tabelle 11). Bezogen auf die untersuchten Patienten ergaben sich daraus 379/518 (73,2 %) bilaterale durchgeführte Prostataarterienembolisationen (PAEs), sowie 117/518 (22,6 %) unilaterale PAEs. Bei 22/518 (4,2 %) der Patienten konnte keinerlei PAE durchgeführt werden (Tabelle 12).

Tabelle 11: Technischer Erfolg PA-Verschluss

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	Nein	149	14,4	14,6	14,6
	ja	875	84,3	85,4	100,0
	Gesamt	1024	98,7	100,0	
Fehlend	geplant einseitige PAE	12	1,2		
	System	2	,2		
	Gesamt	14	1,3		
Gesamt		1038	100,0		

Tabelle 12: Patientenbezogene Embolisierungsergebnisse (mit Partikeln und/oder Coils)

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	Nein	22	4,2	4,2	4,2
	Ja (beidseitig)	379	73,0	73,2	77,4
	Ja (einseitig/links)	62	11,9	12,0	89,4
	Ja (einseitig/rechts)	55	10,6	10,6	100,0
	Gesamt	518	99,8	100,0	
Fehlend	kein Wert vorliegend	1	,2		
Gesamt		519	100,0		

4.3.2 PA-Partikelembolisation und Versagensursachen

In 856/1024 (83,6 %) der PAs erfolgte die PAE mittels Partikelembolisation, was 97,8 % (856/875) der insgesamt embolisierten Fälle entspricht. Bei 168/1024 (16,2 %) der PAs war keine Partikelembolisation möglich.

Tabelle 13: Partikelembolisation

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	Nein	168	16,2	16,4	16,4
	ja	856	82,5	83,6	100,0
	Gesamt	1024	98,7	100,0	
Fehlend	kein Wert vorliegend	2	,2		
	geplant einseitige PAE	12	1,2		
	Gesamt	14	1,3		
Gesamt		1038	100,0		

Die Aufschlüsselung der Ursachen der 168 Therapieversager für die Partikelembolisation sind in Abbildung 16 dargestellt. Die mit Abstand häufigste Ursache für ein Therapieversagen war die nicht mögliche Gefäßsondierung. Ursachen hierfür waren zumeist ungünstige Abgangswinkel der PA, eine ausgeprägte Gefäß-Torquierung oder atherosklerotische Veränderungen.

Zu ähnlichen Anteilen Grund für das Therapieversagen waren, trotz Einsatz von Such-CBCTs, die nicht mögliche Identifizierung der PA sowie nicht ausschaltbare Kollateralen.

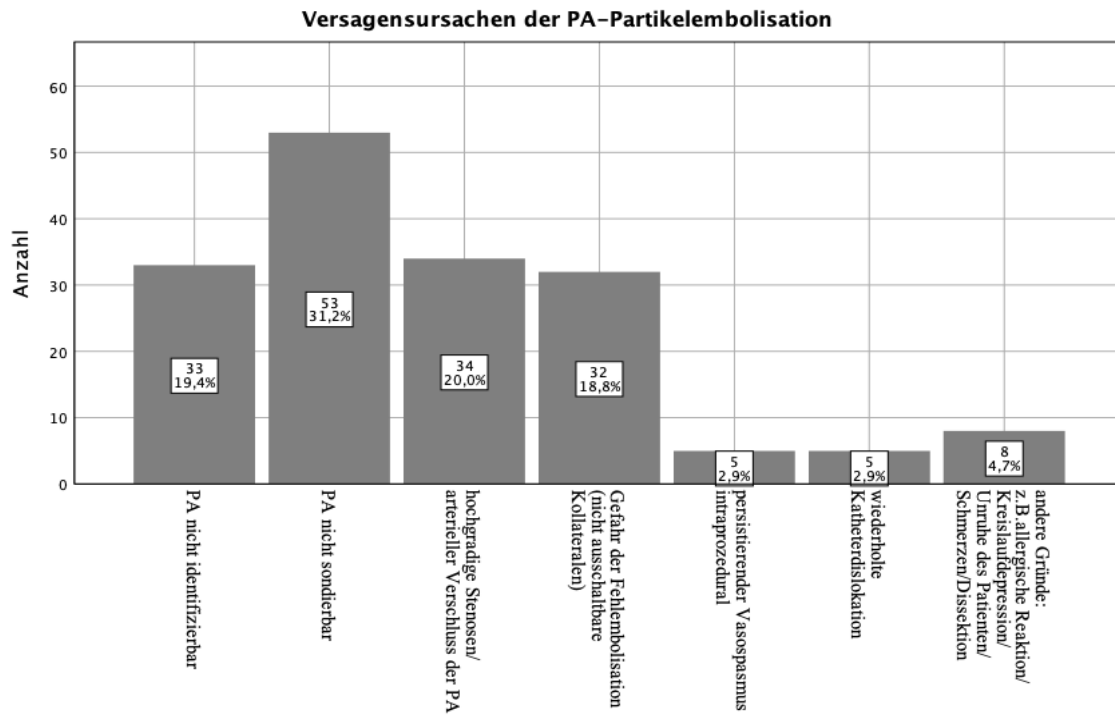


Abbildung 16: Versagensursachen der PA-Partikelembolisation

4.3.3 Spiralembolisation

In unserem Kollektiv wurden in 138/1024 (13,5 %) der potenziell zu embolisierenden Hemipelves ein oder mehrere Coils eingesetzt. In Tabelle 14 ist die Verteilung der PA-Typen für die Patienten dargestellt, die einen Coil implantiert bekamen. In Betrachtung der Anzahl der Patienten, welche mit mindestens einem Coil versorgt wurden, lag die Anzahl bei 120/518 Patienten und somit 23,2 % aller Studienteilnehmer. Davon waren 102/120 einseitige Coilapplikationen und 18/120 bilateral appliziert. Der wichtigste Grund der Coilverwendung war, wie bereits in Kapitel 4.3.2 angedeutet, die nicht selektiv mögliche Partikelembolisation mit konsekutiver Gefahr von Fehlembolisationen aufgrund von Kollateralen. So wurden 13,8 % der applizierten Coils (19/138) an PAs verwendet, bei denen keine Partikelembolisation möglich war. Daraus kann gefolgert werden, dass 119/138 Coils (86,2 %) für protektive Zwecke im Sinne einer Schutz-Spiralembolisation eingesetzt wurden.

Tabelle 14: Patientenanzahl mit applizierten Coils nach PA-Klassifikation

		Häufig- keit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	Typ I	52	37,7	38,5	38,5
	Typ II	17	12,3	12,6	51,1
	Typ III	26	18,8	19,3	70,4
	Typ IV	31	22,5	23,0	93,3
	Typ V	6	4,3	4,4	97,8
	Typ VI (Doppelversorger)	3	2,2	2,2	100,0
	Gesamt	135	97,8	100,0	
Fehlend	System	3	2,2		
Gesamt		138	100,0		

Um zu überprüfen, ob je nach vorliegender PA-Variante häufiger eine Coilembolisation notwendig war, wurde mittels logistischer Regression die abhängige binäre Variable „Coil_appliziert“ anhand der PA-Typen modelliert. Als Referenz wurde der häufigste PA-Typ (Typ I) festgelegt. In die logistische Regression konnten 968 Fälle eingeschlossen werden. Insgesamt zeigte sich für die Variable PA-Klassifikation kein signifikanter Einfluss auf die Aussicht der Notwendigkeit einer Coil-Applikation.

Da der Omnibus Test der Modellkoeffizienten mit $\chi^2(5) = 3,717$, $p = .591$ dem Modell ohne Einschluss der Variablen nicht überlegen ist, folgern wir daraus, dass der PA-Typ keinen Einfluss auf die Ausprägung der Variable „Coil_appliziert“ hat. Deshalb wurde die Analyse auch nicht fortgesetzt. Auch in der Subgruppenanalyse zeigten sich für keine Ausprägung des PA-Typs signifikante Werte. Lediglich eine Typ V PA ($b = .839$, $p = .090$, $OR = 2.314$ [95% CI: .878, 6.096]) zeigte einen tendenziell signifikanten Einfluss (vgl. Tabelle 15).

Tabelle 15: Koeffizienten Tabelle für Coilapplikation in Abhängigkeit der PA-Klassifikation

PA-Klassifikation		Regressionskoeffizient B	Standardfehler	Wald	df	Sig.	Exp (B)	95 % Konfidenzintervall für EXP(B)	
								Unterer Wert	Oberer Wert
S c h r i t t l	PA-Ursprung			4,013	5	,548			
	Typ II	,126	,301	,177	1	,674	1,135	,629	2,046
	Typ III	,305	,261	1,372	1	,241	1,357	,814	2,262
	Typ IV	,058	,243	,058	1	,810	1,060	,658	1,708
	Typ V	,839	,494	2,882	1	,090	2,314	,878	6,096
	Typ VI	,397	,653	,370	1	,543	1,488	,413	5,353
	Konstante	-1,938	,148	170,649	1	,000	,144		

4.3.4 Such-Cone Beam CT

War die Gefäßanatomie des jeweiligen Hemipelvis durch die alleinige DSA während der Intervention, ggf. auch nach Anfertigung einer DSA in einer anderen Angulation nicht eindeutig identifizierbar, wurde zur besseren Übersicht eine Such-CBCT der A. iliaca interna durchgeführt. Dies war für insgesamt 281/1012 (27,8 %) der PAs notwendig. Somit waren anhand der DSA die Strukturen in 731/1012 (72,2 %) initial gut darstellbar. Die fehlenden Werte (26/1038) bestanden aus 12 nur unilateral geplanten PAEs und 14 sonstigen Fehlerwerten.

Tabelle 16: Patientenanzahl mit durchgeführtem Such-CBCT nach PA-Klassifikation

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	Typ I	86	30,6	34,4	34,4
	Typ II	42	14,9	16,8	51,2
	Typ III	43	15,3	17,2	68,4
	Typ IV	55	19,6	22,0	90,4
	Typ V	15	5,3	6,0	96,4
	Typ VI (Doppelversorger)	9	3,2	3,6	100,0
	Gesamt	250	89,0	100,0	
Fehlend	System	31	11,0		
Gesamt		281	100,0		

Um zu überprüfen, ob gewisse anatomische PA-Varianten schwerer zu identifizieren sind als andere und somit vermehrt Such-CBCTs notwendig sind, wurde auch hier mittels logistischer Regression geprüft, ob die abhängige binäre Variable Such-CBCT anhand der PA-Klassifikation modelliert werden kann. Als Referenzwert für die unabhängigen Subgruppen der Variable PA-Klassifikation wurde auch hier die nominell häufigste Typ I PA postuliert. Die logistische Regression zeigt, dass das Modell als Ganzes mit einem Omnibus Test der Modellkoeffizienten von $\chi^2(5) = 30.870$, $p < .001$, $n = 967$ dem Modell ohne den Einschluss der Variablen signifikant überlegen ist. Cox & Snell R-Quadrat (= 0.031) und Nagelkerkes R-Quadrat (= 0.046) waren jedoch niedrig, was einer schlechten

Modellanpassung entspricht und somit andere relevante Einflussfaktoren auf die Ursache eines Such-CBCT wahrscheinlich macht.

Für die PA-Typen II ($b=.701$, $p=.002$, $OR=2.015$ [95% CI: 1.294, 3.140]) / Typ V ($b=1.843$, $p<.001$, $OR=6.318$ [95% CI: 2.674, 14.928]) und Typ VI ($b=1.450$, $p=.004$, $OR=4.265$ [95% CI: 1.598, 11.380]) ist die Wahrscheinlichkeit, ein Such-CBCT zu benötigen, signifikant höher als bei einer Typ I-PA. So steigt zum Beispiel bei einer Typ II PA die relative Wahrscheinlichkeit für die Durchführung eines Such-CBCT im Vergleich zur Typ I PA um 102,1 %. Bei breiten Konfidenzintervallen können die Effekte jedoch erheblich höher oder niedriger sein als die Mittelwerte. Die Effektstärke nach Cohen entspricht ($f^2 = 0.048$) und somit einem schwachen Effekt.

Tabelle 17: Koeffizienten Tabelle für Such-CBCT in Abhängigkeit der PA-Klassifikation

PA-Klassifikation	Regressionskoeffizient B	Standardfehler	Wald	df	Sig.	Exp (B)	95% Konfidenzintervall für EXP(B)	
							Unterer Wert	Oberer Wert
S c h r i t t l	PA-Ursprung		30,494	5	,000			
	Typ II	,701	,226	9,598	1	,002	2,015	1,294 3,140
	Typ III	,340	,216	2,485	1	,115	1,405	,921 2,145
	Typ IV	,152	,196	,605	1	,437	1,165	,793 1,711
	Typ V	1,843	,439	17,655	1	,000	6,318	2,674 14,928
	Typ VI	1,450	,501	8,387	1	,004	4,265	1,598 11,380
	Konstante	-1,333	,121	120,833	1	,000	,264	

4.4 Multifaktoriell generalisiert linear gemischtes Vorhersagemodell

Zur Schätzung der abhängigen binären Variable „technischer Erfolg“ wurden in ein GLMM fünf unabhängige Variablen eingebracht, wovon drei kategoriale Faktoren und zwei metrische Kovariaten waren:

- Faktoren:
 - Klassifikation des PA-Ursprungs: Typ I-VI (5 Freiheitsgrade)
 - Interventionalist: Fünf verschiedene Interventionalisten (4 Freiheitsgrade)
 - Klassische Anatomie: Ja / Nein (1 Freiheitsgrad)
- Kovariaten:
 - Alter zum Interventionszeitpunkt (nach Lebensdekaden)
 - BMI in kg/m^2

Es zeigte sich, dass das Modell als Ganzes ($F(12, 902) = 4,016, p < .001$) signifikant war und somit einen guten Prädiktor für das technische Outcome darstellte. Im Test auf die Modelleffekte zeigt sich, dass die Variablen Klassifikation des PA-Ursprungs ($F(5, 902) = 3,149, p = .008$), der Interventionalist ($F(4, 902) = 5,505, p < .001$) sowie das Alter zum Interventionszeitpunkt ($F(1, 902) = 8,601, p = .003$), signifikante Prädiktoren für den technischen Erfolg der PAE sind. Hingegen war der Einfluss der Variable Klassische Anatomie grenzwertig nicht signifikant ($F(1, 902) = 2,442, p = .118$). Für den BMI muss die Nullhypothese angenommen werden und somit konnte kein signifikanter Einfluss des BMI auf das technische Outcome der PAE festgestellt werden ($F(1, 902) = 0,653, p = .419$).

Tabelle 18: Feste Modelleffekte der ins GLMM eingebrachten Variablen

Variable	F	df1	df2	Sig.
Korrigiertes Modell	4,016	12	902	,000
Klassifikation PA-Ursprung	3,149	5	902	,008
Interventionalist	5,505	4	902	,000
Klassische Anatomie	2,442	1	902	,118
Alter zum Interventionszeitpunkt (nach Lebensdekaden)	8,601	1	902	,003
BMI	,653	1	902	,419

4.4.1 Variable: Klassifikation PA-Ursprung

In der Subgruppenbegutachtung der Variablen zeigte sich, dass nicht nur die Variablengruppe Klassifikation des PA-Ursprungs einen Einfluss auf den technischen Erfolg der PAE hatte, sondern ebenso, dass je nach Ausprägung der Variable PA-Klassifikation das technische Outcome sehr unterschiedlich sein konnte. Modelliert wurde am nominell häufigsten vorkommenden anatomischen Typ, welcher dem Typ I entsprach. Dieser wurde als Referenzwert mit der $OR=1$ festgelegt. In Tabelle 19 sind die statistischen Daten für die Variable PA-Klassifikation dargestellt.

Tabelle 19: Feste Koeffizienten für die Variable PA-Klassifikation

Modellterm	Koeffizient	Standardfehler	T	Sig.	95% Konfidenzintervall		Exp (Coefficient)	95% Konfidenzintervall für Exp(Coefficient)	
					Unterer	Oberer		Unterer	Oberer
Typ I	0	.	.	.	.	.	.	.	.
Typ II	,474	,3553	1,334	,183	-,223	1,171	1,606	,800	3,226
Typ III	1,256	,3968	3,164	,002	,477	2,034	3,510	1,611	7,647
Typ IV	,810	,3093	2,620	,009	,203	1,417	2,249	1,225	4,126
Typ V	,966	,9103	1,061	,289	-,821	2,752	2,627	,440	15,677
Typ IV	-,020	,7755	-,026	,979	-1,542	1,502	,980	,214	4,490

Für den Typ III ($b=1.256$, $p=.002$, $OR=3.510$ [95% CI: 1.611, 7.647]) und Typ IV ($b=.810$, $p=.009$, $OR=2.249$ [95% CI: 1.225, 4.126]) zeigt sich ein starker Effekt auf das Outcome und die Ergebnisse sind ebenso stark signifikant. So zeigt sich z. B., dass bei Vorliegen einer Typ III PA die Wahrscheinlichkeit für eine erfolgreiche Intervention 251 % höher ist als beim Vorliegen einer Typ I PA. Für Typ II ($b=.474$, $p=.183$, $OR=1.606$ [95% CI: .800, 3.226]) / Typ V ($b=.966$, $p=.289$, $OR=2.627$ [95% CI: .440, 15.677]) gibt es ebenfalls Signale, dass diese Typen ein eher positives Outcome haben, allerdings waren die Werte statistisch nicht signifikant. Typ VI ($b=-.020$, $p=.979$, $OR=.980$ [95% CI: .214, 4.490]) scheint ähnlich komplex wie Typ I bzgl. des technischen Outcome zu sein. Insgesamt zeigen sich die Konfidenzintervalle insbesondere bei Typ V breit, sodass gewisse Unsicherheiten hinsichtlich der Effektstärken bestehen. Grund für die breiten Konfidenzintervalle waren wahrscheinlich die geringen Fallzahlen der entsprechenden

Subgruppe (vgl. Tabelle 4). Die geschätzten Randmittel für den technischen Erfolg in Abhängigkeit von der PA-Klassifikation sind in Tabelle 20 dargestellt. Randmittel bedeuten, dass anhand unserer Daten bei sonst konstanten gehaltenen anderen Variablen und lediglich Veränderung der Variable PA-Klassifikation in ihre Subgruppen sich die Erfolgchancen entsprechend Tabelle 20 verändern. So ergibt sich z. B. bei vorliegender Typ III PA, dass die Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen PAE mit 94,5 % geschätzt wird, wohingegen eine Typ I PA geschätzt lediglich in 83,1 % gelingt. Abbildung 17 zeigt die *OR* für technischen Erfolg je nach vorliegender anatomischer Variante in Abhängigkeit von Typ I.

Tabelle 20: Geschätzte Wahrscheinlichkeiten erfolgreiche PAE in Abhängigkeit von der PA-Klassifikation

Schätzungen				
Klassifikation PA-Ursprung	Mittelwert	Standardfehler	95% Konfidenzintervall	
			Unterer	Oberer
Typ I	,831	,022	,782	,870
Typ II	,887	,033	,805	,938
Typ III	,945	,020	,892	,973
Typ IV	,917	,022	,864	,951
Typ V	,928	,060	,689	,987
Typ VI (Doppelversorger)	,828	,109	,517	,956

Klassifikation PA *OR*

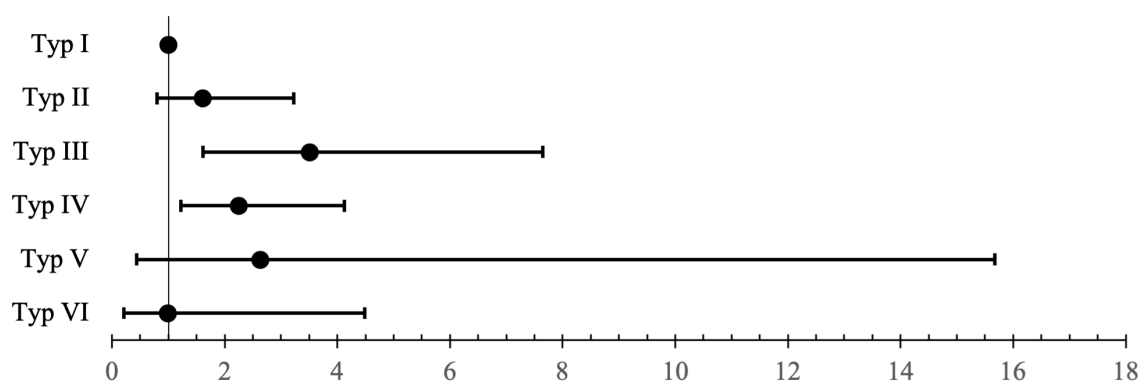


Abbildung 17: *OR* in Abhängigkeit der PA-Klassifikation

4.4.2 Variable: Interventionalist

Der technische Outcome zeigt eine starke Abhängigkeit von der Erfahrung des den Eingriff durchführenden Interventionalisten. Die Gruppe der Interventionalisten kann hierbei nochmals in zwei Untergruppen aufgeteilt werden. Einerseits zwei sehr erfahrene Interventionalisten mit >10 Jahren interventionell-radiologischer Expertise (Gruppe 1: M.Z. und C.H) und andererseits drei ebenfalls erfahrene Interventionalisten mit jedoch <10 Jahren interventioneller-radiologischer Tätigkeit (Gruppe 2: J.T./D.R./M.K.). Als Referenz wurde anhand des fortgeschrittensten Interventionalisten (C.H.) mit der $OR=1$ modelliert.

Tabelle 21: Feste Koeffizienten für die Variable Interventionalist

Interventionalist (Erfahrung in Jahren)	Koeffizient	Standardfehler	T	Sig.	95% Konfidenzintervall		Exp (Coefficient)	95% Konfidenzintervall für Exp (Coefficient)	
					Unterer	Oberer		Unterer	Oberer
M.Z. (14)	-,096	,3459	-,278	,781	-,775	,583	,908	,461	1,791
J.T. (4)	-1,288	,3536	-3,644	,000	-1,982	-,594	,276	,138	,552
D.R. (7)	-,812	,3198	-2,538	,011	-1,439	-,184	,444	,237	,832
M.K. (4)	-1,371	,5049	-2,715	,007	-2,362	-,380	,254	,094	,684
C.H. (>20)	0	.	.	.	.	.	.	.	.

Zwischen den beiden Interventionalisten der Gruppe 1 C.H. und M.Z. ($b=-.096$, $p=.781$, $OR=.908$ [95% CI: .461, 1.791]) zeigte sich am Modell kein signifikanter Unterschied auf die Erfolgswahrscheinlichkeit der PAE. Wohingegen die Gruppe 2 als Kollektiv, wie auch einzeln, stark und signifikant vom Outcome des Referenzinterventionalisten abwich. Für die Gruppe 2 der Interventionalisten bestehend aus J.T. ($b=-1.288$, $p<.001$, $OR=.276$ [95% CI: .138, .552]), D.R. ($b=-.812$, $p=.011$, $OR=.444$ [95% CI: .237, .832]) und M.K. ($b=-1.371$, $p=.007$, $OR=.254$ [95% CI: .094, .684]) zeigte sich ein signifikant schlechteres technisches Outcome. Die geschätzten Randmittel für den technischen Erfolg in Abhängigkeit von dem den Eingriff durchführenden Interventionalisten sind in Tabelle 22 dargestellt. Dies bedeutet, dass wenn alle anderen Parameter stabil gehalten wurden

und lediglich der Interventionalist ein anderer ist, sich die Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen PAE, bei dem Interventionalisten C.H. mit 94,7 % geschätzt wurde, wohingegen die geschätzte Erfolgchance bei M.K. beispielhaft bei 82,0 % lag.

In Abbildung 18 sind die Odds Ratio für technischen Erfolg eines jeden Interventionalisten dargestellt.

Tabelle 22: Geschätzte Randmittel PAE-Erfolg in Abhängigkeit vom Interventionalisten

Interventionalist	Mittelwert	Standardfehler	95% Konfidenzintervall	
			Unterer	Oberer
M.Z.	,942	,017	,899	,967
J.T.	,832	,044	,728	,901
D.R.	,888	,027	,823	,932
M.K.	,820	,070	,643	,920
C.H.	,947	,015	,907	,970

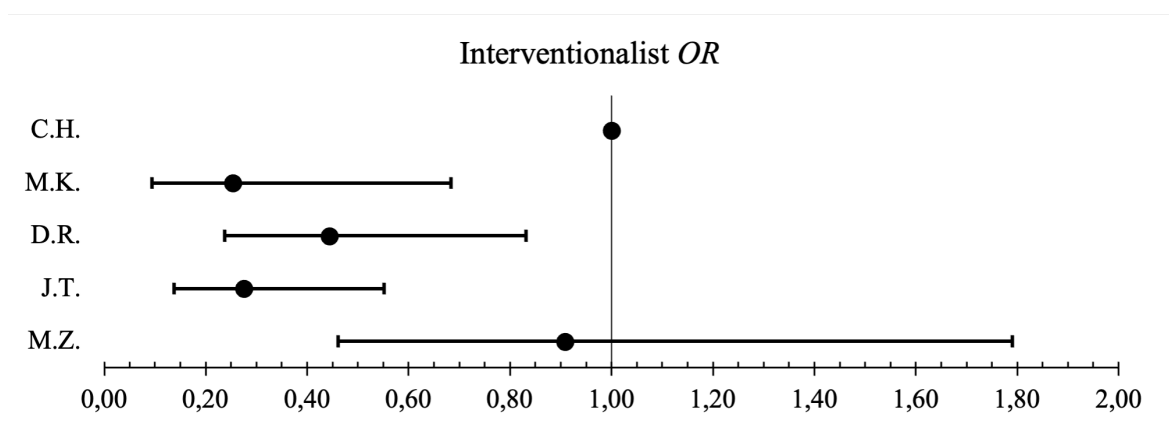


Abbildung 18: OR in Abhängigkeit des Interventionalisten

4.4.3 Variable: Klassische Anatomie

Das Vorliegen der klassischen bzw. atypischen Anatomie (Vgl. siehe Abbildung 5) hatte keinen signifikanten Einfluss auf das technische Outcome der PAE (siehe Tabelle 23). Bei binär ausgeprägter Variable und nominell häufiger vorliegender klassischer Anatomie wurde die Modellierung auf den Fall klassische Anatomie vorgenommen und diese als Referenzwert mit $OR=1$ verwendet. Für den Fall einer atypischen Anatomie ($b=.365$, $p=.118$, $OR=1.441$ [95% CI: .911, 2.278]) ergaben sich zwar eine moderat höhere Wahrscheinlichkeit für den technischen Erfolg, allerdings waren die Werte grenzwertig nicht signifikant. Auch hier sind in Tabelle 23, wie in den vorherigen Beispielen, Schätzwerte für die Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen PAE in Abhängigkeit nur der Variable klassische Anatomie angegeben, welche grafisch als OR in Abbildung 19 dargestellt sind.

Tabelle 23: Geschätzte Randmittel PAE-Erfolg in Abhängigkeit von Klassischer Anatomie

Klassische Anatomie	Mittelwert	Standardfehler	95% Konfidenzintervall	
			Unterer	Oberer
nein	,913	,020	,864	,946
ja	,880	,027	,817	,923

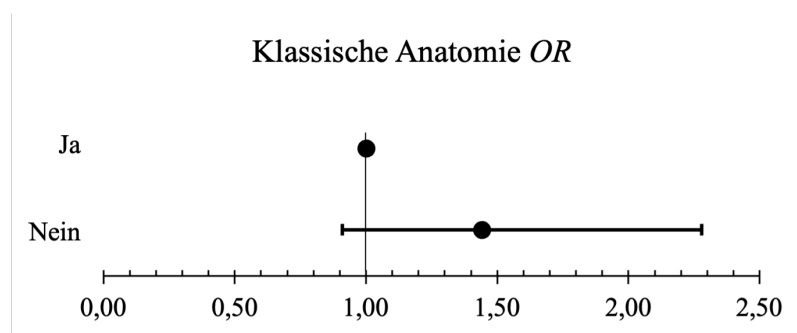


Abbildung 19: OR in Abhängigkeit der Klassischen Anatomie

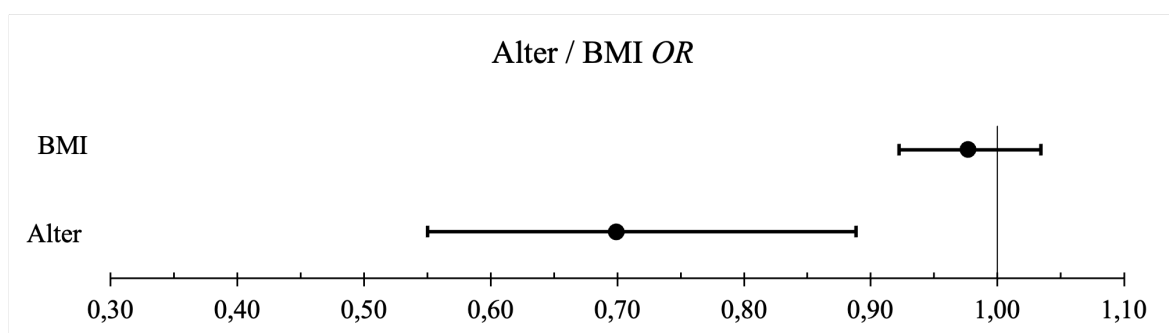
4.4.4 Metrische Variablen: Lebensalter und BMI

Für das Lebensalter, skaliert in Lebensdekaden, zeigt sich ein signifikanter und starker Einfluss auf das technische Outcome. So verringert sich die Chance einer erfolgreichen Intervention mit jeder zunehmenden Lebensdekade nach der fünften Lebensdekade im Mittel um 30,1 % ($b=-.358$, $p=.003$, $OR=.699$ [95% CI: .550, .888]).

Der BMI ($b=-.024$, $p=.419$, $OR=.977$ [95% CI: .922, 1.034]) wiederum ist kein Prädiktor für den technischen Outcome der PAE, da die Werte das Signifikanzniveau nicht erreichen und in ihrer Effektstärke ebenso vernachlässigbar sind. In Tabelle 24 sind die Koeffizienten der metrischen Kovariaten (Alter/BMI) sowie des binären Faktors der klassischen Anatomie dargestellt. Abbildung 20 zeigt die OR für technischen Erfolg der metrische skalierten Kovariaten. Hierbei sind als Skalierung für den BMI die Zunahme um 1 kg/m^2 und bezüglich des Alters der Eintritt in die nächste Lebensdekade gewählt worden.

Tabelle 24: Feste Koeffizienten für die Variablen Klassische Anatomie/BMI/Lebensalter

Modell-term	Koeffizient	Standardfehler	T	Sig.	95% Konfidenzintervall		Exp (Coefficient)	95% Konfidenzintervall für Exp (Coefficient)	
					Unterer	Oberer		Unterer	Oberer
[Kl. Anatomie =Nein]	,365	,2336	1,563	,118	-,093	,823	1,441	,911	2,278
[Kl. Anatomie =Ja]	0	.	.	.	.	.	.	.	.
Alter	-,358	,1221	-2,933	,003	-,598	-,118	,699	,550	,888
BMI	-,024	,0292	-,808	,419	-,081	,034	,977	,922	1,034

Abbildung 20: OR in Abhängigkeit von BMI / Alter

5 Diskussion

Das Ziel dieser Dissertation war, anhand des nach unserer Kenntnis bisher größten weltweit untersuchten Kollektivs fünf Kernfragen zu evaluieren.

Überprüft werden sollte, wie sich die Verteilung der Varianten der A. prostatica in unserem Kollektiv von der Verteilung in anderen publizierten Studien unterscheidet. Weiterhin sollte untersucht werden, ob mit dem etablierten Auswertungsalgorithmus verschiedene Befunder zu gleichen Ergebnissen kommen und somit die Frage beantwortet werden, ob die Verteilung der Varianten der A. prostatica bei verschiedenen Befundern konsistent ist.

Außerdem sollte evaluiert werden, welche Ursachen am häufigsten zum technischen Versagen der PAE führen.

Um die Komplexität der jeweiligen PAE an zwei festgelegten Variablen, nämlich der Wahrscheinlichkeit eine Spiralembolisation und/oder eine Such-Cone Beam CT zu benötigen, zu beurteilen, sollte untersucht werden, ob abhängig von der Variante der A. prostatica die technische Durchführbarkeit beeinflusst wird.

Abschließend sollte überprüft werden, ob der technische Erfolg der PAE durch die Abgangsvarianten der A. prostatica, das Vorliegen der typischen Anatomie der A. iliaca interna, das Alter des Patienten, den BMI oder den Interventionalisten beeinflusst werden.

5.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

In der Arbeit wurden 519 Patienten, die sich zwischen Mai 2018 und April 2021 im Institut für Diagnostische und Interventionelle Radiologie des Marienkrankenhauses Hamburg mittels PAE behandeln ließen, ausgewertet. Dabei konnten insgesamt 969 Prostataarterien von 1038 Hemipelven klassifiziert werden. Im Gegensatz zur als Standard festgelegten Klassifikation (de Assis et al., 2015) wurde eine Typ VI PA ergänzt, welche einer funktionell relevanten Doppelversorgung des zentralen Prostataparenchyms entspricht. Des Weiteren wurden vor Beginn der Sekundärbefundung Präzisierungen der de Assis Klassifikation vorgenommen und dies im Auswertungsprozess implementiert. Die Verteilung der PA Typen I bis VI war 42,7 %, 12,5 %, 16,4 %, 24,1 %, 2,5 % und 1,8 %. Dies weicht relevant von den damals durch de Assis et al. berichteten Prävalenzen ab (de Assis et al., 2015).

Um eine möglichst genaue Klassifikation unserer Kohorte zu erhalten, wurden alle Daten durch zweimalige unabhängige Auswertung klassifiziert und im Falle eines Dissens zwischen den Befundern eine Konsensusbegutachtung erhoben. Hierbei konnte gezeigt

werden, dass die Interraterreliabilität zwischen zwei unabhängigen Befundergruppen eine sehr hohe Übereinstimmung mit $\kappa=0,861$, $SD=0,014$, $p<.001$ aufwies und somit sehr gut reproduzierbar war. Anhand unserer Daten zeigte sich, dass die PAE technisch eine verlässliche Methode zur Behandlung von LUTS bei Prostatahyperplasie ist, da zu 85,4 % der Fälle eine erfolgreiche Embolisation des Zielgefäßes gelang.

Wir konnten zeigen, dass die Wahrscheinlichkeit ein Such-CBCT zur genauen Identifizierung des PA-Typs zu benötigen mit $\chi^2(5) = 30.870$, $p<.001$, $n=967$ je nach vorliegendem PA-Typ signifikant unterschiedlich war

Der PA-Typ hatte hingegen keinen Einfluss auf die Wahrscheinlichkeit, ob Coils zur PAE verwendet werden mussten ($\chi^2(5) = 3,717$, $p=.591$).

Mit Hilfe eines GLMM konnte gezeigt werden, dass nicht nur die PA-Variante, sondern ebenso die Erfahrung des durchführenden Interventionalisten sowie das Patientenalter einen signifikanten Einfluss auf die Erfolgsaussichten der PAE hatten. Hingegen konnte keine Korrelation für die Parameter BMI und das Vorliegen einer klassischen Anatomie festgestellt werden.

5.2 Diskussion von Material und Methoden

Das Studiendesign ist monozentrisch und retrospektiv, was Einschränkungen hinsichtlich der Allgemeingültigkeit der Ergebnisse mit sich bringt. Die PAE ist ein bereits klinisch etabliertes Verfahren und die Ein- und Ausschlusskriterien richteten sich nach Empfehlungen der deutschen und europäischen interventionell-radiologischen Gesellschaften und deren veröffentlichten Positionspapieren (Kovacs et al., 2020, Cornelis et al., 2020) und wurden bereits in mehreren randomisierten Studien angewandt (Gao et al., 2014, Carnevale et al., 2016, Qiu et al., 2017, Ray et al., 2018, Insausti et al., 2020, Abt et al., 2021).

Die Klassifikation der PA hat eine hohe Komplexität aufgrund der Variabilität der PA und stellt damit eine Herausforderung dar. Sie erfolgt durch einen Doktoranden, welcher vorab geschult wurde und sekundär einer Kontrolle durch die Befunde der Interventionalisten und bei Dissens einem Konsensusverfahren der PA-Klassifikation unterzogen wurde, sodass in der Erhebung der PA-Klassifikation insbesondere bei einer sehr hohen Interraterreliabilität ($\kappa=0,861$) kaum Fehler in der Befundung enthalten sein sollten. Um sicherzustellen, dass die behandelte Arterie auch tatsächlich der PA entsprach, wurde zu 100 % vor jeder Embolisation eine "Simulation" selbiger mittels

CBCT durchgeführt. Dies verhindert zum einen Fehlembolisationen und erhöht weiterhin die Sicherheit, dass die Beurteilung der PA durch die Befunder korrekt ist.

Hinsichtlich anderer erhobener Variablen (klassische Anatomie und Ursprung der A. obturatoria) erfolgte die Begutachtung allerdings nur durch den Doktoranden allein ohne Kontrolle durch einen weiteren Radiologen oder durch einen Abgleich mit erhobenen Befunden. Daraus folgt, dass die Datenqualität nicht in gleichem Maße der der PA-Klassifikationsbefunde entspricht. Dieser Effekt ist aber aufgrund der relativen Einfachheit besagter Befundung angemessenermaßen vernachlässigbar. Eine sekundäre Begutachtung aller erhobenen Variablen durch einen erfahrenen interventionellen Radiologen hätte die dortige Datenqualität nochmals erhöhen können, war aber aus Kapazitätsgründen nicht möglich.

Manche Variablen, die aus den Befunden übernommen werden mussten (Verwendung von Coils und Versagensursache) konnten nur teilweise anhand der DSA und CT-Rohdaten retrospektiv überprüft werden und sind somit möglicherweise subjektiven Einflüssen des behandelnden Radiologen unterlegen.

Die Erweiterung der Klassifikation um einen Typ VI ist bisher in der Literatur nicht beschrieben und deshalb ein neues, nicht validiertes Verfahren. Insbesondere die Subjektivität der Einschätzung der relevanten Doppelversorgung ist potenziell problematisch, durch die Validierung mittels CBCT sind aber überprüfbare und auch retrospektiv objektivierbare Bilddaten vorhanden.

Die technische Vorgehensweise entspricht einem der PAE typischen, auch in anderen Studien eingesetzten Verfahren. Erheblich unterschiedlich und ggf. eine Erklärung für abweichende Ergebnisse ist der standardisierte Einsatz des CBCT bei jeder zu embolisierenden PA. Trotz der damit verbundenen Strahlenexposition halten wir im Rahmen einer anatomischen Grundlagenarbeit die Verwendung des CBCT für richtig. Insbesondere da gezeigt werden konnte, dass erheblich mehr und hochrelevante Informationen aus einer Bildgebung mittels CBCT im Vergleich zu konventioneller DSA aus den Daten gezogen werden können. Wang et al. zeigten, dass in 60,8 % der Fälle die CBCT zusätzliche relevante Informationen bzgl. des Ursprungs der PA und distaler Anastomosen lieferte (Wang et al., 2017).

Bei einigen Variablen, insbesondere bei der PA-Klassifikation und den fünf verschiedenen Interventionalisten, unterscheiden sich die Häufigkeiten der Untergruppen sehr stark, was Einschränkungen in der statistischen Aussagekraft insbesondere der wenig repräsentierten Gruppen haben kann. Deshalb entschieden wir uns zum Einschluss von

mindestens 500 Patienten, um somit auch für die seltenen Ausprägungen der Variablen eine ausreichende Menge an Daten generieren zu können.

Das von uns verwendete generalisiert gemischte Modell ist hierfür anderen Modellrechnungen, wie zum Beispiel einem verallgemeinert linearen Modell überlegen, da es Messwiederholungen durch die Hinzunahme eines zufälligen Effekts ausgleichen kann und somit mögliche Confounder eliminiert.

Da aufgrund des von uns gewählten Modells die Anzahl der einbringbaren Variablen begrenzt ist und die Modellstabilität bei zu vielen untersuchten Variablen deutlich reduziert wird, mussten wir in unserem Vorhersagemodell aus einer Vielzahl möglicher untersuchbarer Variablen eine Auswahl treffen.

Wichtig im Auswahlprozess der zu untersuchenden Variablen war, welche Daten aus bereits publizierten Studien vorlagen und welche Daten in unserem retrospektiv untersuchten Kollektiv evaluierbar waren. In mehreren verschiedenen Outcomestudien wurden diverse Variablen postuliert und mit verschiedenen statistischen Methoden untersucht. Eine konkrete Auflistung und Diskussion der einzelnen Parameter und Variablen sind in Tabelle 29 und in Abschnitt 5.3.5 zusammengefasst. Da im Vergleich zu den in Tabelle 29 dargestellten Studien unser primäres Ziel war, eine Outcomevariable (technischer Erfolg der PAE) zu modellieren und nicht prozedurassoziierte Variablen wie DAP, CV, PT, FT und AK zu messen, wurde in der bisherig vorliegenden Literatur geschaut, welche Parameter dazu untersucht wurden und zu welchen Parametern bereits Daten vorlagen. Deshalb entschieden wir uns bei widersprüchlicher Datenlage für den Parameter PA-Ursprung (du Pisanie et al., 2019, Enderlein et al., 2020, Lintin et al., 2021). Für die Parameter Alter, BMI und Interventionalist entschieden wir uns, da für beide eine relevante Beeinflussung prozedurassoziiertes Variablen (DAP, CV, PT, FT und AK) nachgewiesen werden konnte (Hacking et al., 2019, du Pisanie et al., 2019, Enderlein et al., 2020) und wir dies auch auf den technischen Erfolg evaluieren wollten. Die klassische Anatomie wurde nach unserer Kenntnis bisher hingegen noch nie untersucht, ist aber mit der Überlegung ausgewählt worden, dass eine insgesamt atypische Anatomie mutmaßlich zu komplexeren Eingriffen führt. Bewusst gegen die Evaluation des Grades der Atherosklerose entschieden wir uns, da andere Autoren bereits zeigen konnten, dass dieser keinen Einfluss auf die Erfolgswahrscheinlichkeit der PAE hat (Lintin et al., 2021). Die Evaluation der Variable PA-Diameter wäre eine weitere sehr interessante Untersuchungsmöglichkeit gewesen, allerdings wären dazu in allen Fällen eine CTA oder spezielle CBCTs (Übersichts-CBCT/Such-CBCT) nötig gewesen, die

gemäß der Methode von Little et al. bereits den ganz proximalen Teil der PA darstellen (Little et al., 2018). Dies wäre an unserem Kollektiv somit nur bei den Patienten mit stattgehabtem Such-CBCT und einigen wenigen anderen Fällen möglich gewesen und wurde deshalb nicht in die Modelberechnung integriert.

5.3 Diskussion von Ziel und Fragestellung der Arbeit und der Ergebnisse

Hintergrund der vorliegenden Dissertation ist, dass mit der zunehmenden Etablierung der PAE als Alternative zur TURP sich die Frage stellt, welche Patienten insbesondere von einem minimalinvasiven Ansatz profitieren können sowie welche Parameter das technische Resultat und somit auch das klinische Outcome maßgeblich beeinflussen. Hieraus lassen sich potenziell Schlüsse für eine bessere Patientenselektion ziehen.

Um dies zu validieren, wurde im ersten Schritt anhand einer großen Stichprobe eines Zentrums mit konsequent mehr als 150 Prostataembolisationen pro Jahr die vorliegende Literatur hinsichtlich der grundlegenden Anatomie überprüft. Zur Anatomie gibt es zahlreiche Studien, welche jedoch in Ihren Ergebnissen inhomogen sind. Grund hierfür ist aus unserer Sicht die lange uneinheitliche Klassifizierung sowie verschiedene qualitative und quantitative Limitationen, die im Verlauf weiter diskutiert werden.

Sekundär sollte an unserem Kollektiv, mittels eines GLMMs, anhand verschiedener Variablen herausgearbeitet werden, welche dieser Variablen einen Einfluss auf das Outcome haben und wie dieser ausfällt.

5.3.1 Deskriptive Daten des Stichprobenkollektivs

Die BPH ist eine häufige Erkrankung bei Männern in fortgeschrittenem Alter. Das Alter zum Interventionszeitpunkt unserer 519 untersuchten Patienten lag im Mittel bei $69,7 \pm 9,0$ Jahren. Dies deckt sich mit den Ergebnissen großer weiterer Studien zur PAE von Xuan et al. 69,6 Jahre, Ray et al. $66,0 \pm 7,4$ Jahre, Pisco et al. $65,1 \pm 8,0$ Jahre, und Carnevale et al. $65,0 \pm 8,0$ (Pisco et al., 2016, Ray et al., 2018, Xuan et al., 2019, Carnevale et al., 2020).

Mit einer durchschnittlichen Körpergröße von $178,9 \pm 6,7$ cm und einem Durchschnittsgewicht $85,8 \pm 14,1$ kg sind unsere Daten ebenfalls mit den Ergebnissen anderer Studien wie von du Pisanie et al. kongruent $178,7 \pm 12,5$ cm und $82,4 \pm 13,6$ kg (du Pisanie et al., 2019).

5.3.2 Studienlage der anatomischen PA-Klassifikation

Vor dem Hintergrund der komplexen Anatomie mit zahlreichen Varianten der PA und deren Asymmetrie wurden mehrere Klassifikationssysteme entwickelt. Erstmals nahmen de Assis und Kollegen 2015 eine radiologische Klassifikation der PA in fünf Subgruppen vor, mit welcher laut den damaligen Daten ca. 94 % der Fälle den PA-Typen I-IV zugeordnet werden konnten (de Assis et al., 2015). Ziel dieser Klassifikation war eine Vereinheitlichung und Standardisierung der Nomenklatur, um durch schnellere Erkennung der vorliegenden Anatomie konsekutiv eine Reduktion unerwünschter Nebenwirkungen, wie erhöhte Kontrastmittelapplikation und Strahlenexposition zu erreichen (de Assis et al., 2015). Im Vergleich zu den zuvor von Bilhim et al. publizierten Daten, welche noch nicht nach dem Typen-Schema klassifizierten, diesem Schema jedoch inhaltlich ähnlich sind, waren die Daten größtenteils kongruent. Sie unterschieden sich lediglich geringfügig in den Prävalenzen, was jedoch im Rahmen von jeweils kleinen Patientenkollektiven und geringfügigen Präzisierungen hinsichtlich der Klassifikation zu werten sein könnte (Bilhim et al., 2012). In der Folge der Arbeit von de Assis et al. wurden nach unserer Kenntnis noch fünf weitere Studien publiziert, welche nach der neu etablierten Klassifikation Prävalenzen der PA-Typen berichten (Amouyal et al., 2018, Xuan et al., 2019, du Pisanie et al., 2019, Enderlein et al., 2020, Eldem et al., 2021). Des Weiteren liegt eine Studie von Wang et al. vor, welche ebenfalls Prävalenzen berichtet. Die dort verwendete Klassifikation entspricht nicht der Klassifikation von de Assis et al., kann aber ungefähr in diese, also die Typen I-V, übersetzt werden (Wang et al., 2017).

Tabelle 25: Studien mit Klassifikation gemäß de Assis et al.

Studie	Anzahl PAs	Typ I	Typ II	Typ III	Typ IV	Typ V	Typ VI (Doppel- versorgung)	Daten- erhebung
Bilhim et al., 2012 *	214	20,1% (43)	17,8% (38)	12,6% (27)	34,1% (73)	15,4% (33)	43% (64)	DSA/CTA
de Assis et al., 2015	283	28,7% (82)	14,7% (42)	18,9% (54)	31,1% (89)	5,6% (16)	8% (23)	DSA/ teilweise CBCT
Wang et al., 2017 *	318	37,1% (118)	31,1% (99)	4,7% (15)	24,2% (77)	2,8% (9)	7,4% (22)	DSA/ teilweise CBCT
Amouyal et al., 2018	143	35% (50)	13,3% (19)	15,4% (22)	31,5% (45)	4,9% (7)	28% (56)	DSA/ teilweise CBCT
Xuan et al., 2019	690	33,9% (234)	10,4% (72)	18,3% (126)	23,5% (162)	13,9% (96)	2,2% (15)	DSA/ teilweise CBCT
Du Pisanic et al. 2019	434	34,7% (151)	12,2% (53)	23,3% (101)	27,9% (121)	1,8% (8)		DSA / vorherige CTA (39,6%)/ CBCT (29,5%)
Enderlein et al., 2020	160	27,5% (44)	20% (32)	23,8% (38)	23,1% (37)	5,5% (9)		DSA/ CBCT (76,9%)
Eldem et al. 2021	119	36,1% (43)	10,9% (13)	18,5% (22)	28,6% (34)	5,9% (7)		DSA/ teilweise CBCT
Bisherige Daten Gesamt	1829	33,0% (604)	12,6% (231)	19,8% (363)	26,7% (488)	7,8% (143)		
Eigene Daten, 2022	969	42,7% (414)	12,5% (121)	16,4% (159)	24,1% (234)	2,5% (24)	1,8% (17)	DSA/ CBCT (100%)
Alle Daten Gesamt	2798	36,6% (1018)	12,7% (352)	18,8% (522)	26,0% (722)	6,0% (167)		

* = Klassifikation entspricht nicht exakt der von de Assis et al. → nicht in Mittelwerten der Gesamtdaten inkludiert

In Tabelle 26 sind weitere anatomische Studien dargestellt, die einerseits vor der Einführung der Klassifikation von de Assis et al. publiziert wurden, oder eine andere Klassifikation verwenden (Clegg, 1955, Bilhim et al., 2012, Garcia-Monaco et al., 2014, Zhang et al., 2015). Da sich bei diesen Studien die Klassifikation jedoch von der seit 2015 eingeführten Nomenklatur unterscheidet, sind die genannten Studien mit den neueren Ergebnissen nicht vergleichbar.

Tabelle 26: Studien mit Klassifikation unabhängig von de Assis et al.

Studie	Clegg, 1955	Bilhim et al., 2012	Garcia-Monaco et al., 2014	Zhang et al., 2015
Anzahl untersuchter PA	17	214	46	114
GPT (a.e. Typ II)	52,9% (9)	17,8% (38)		
AD/SVA (a.e. Typ I)	23,5% (4)	20,1% (43)	56,5% (26)	39,5% (45) / 32,6% (37)
UA	11,7% (2)			
IPA (a.e. Typ IV)	5,8% (1)	34,1% (73)	17,4% (8)	27,9% (32)
OA (Typ III)	5,8% (1)	12,6% (27)	4,3% (2)	
MRA		8,4% (18)	17,4% (8)	
IGA		3,7% (8)		
APA/AIPA		1,9% (4)	4,3% (2)	
SGA		1,4% (3)		
Datenerhebung	Kadaver	CT/DSA	Kadaver	DSA/CBCT

GPT=gluteal pudendal trunk; AD=anterior division (der AII); SVA=supravesical artery; UA=umbilical artery; IPA=internal pudendal artery; OA= obturator artery; MRA= middle rectal artery; IGA=inferior gluteal artery; APA=accessory pudendal artery; AIPA=accessory internal pudendal artery; SGA=superior gluteal artery

Wie in Tabelle 25 zu sehen ist, unterscheiden sich die Ergebnisse der Studien erheblich voneinander. Auch unsere Daten weichen relevant von den 2015 durch de Assis et al. publizierten Daten ab. Gründe dafür sind mannigfaltiger Ursache und sollen im weiteren Verlauf diskutiert werden. Angefangen bei der Herkunft der Studien variieren die dortigen zugrunde liegenden Patientenkollektive sehr wahrscheinlich erheblich in der Ethnizität, was möglicherweise zu unterschieden der Anatomie führen kann, bisher

jedoch nach unserer Kenntnis noch nicht untersucht wurde. Des Weiteren bestehen, wie bereits in Material und Methoden unter 3.1 beschrieben, gewisse Ungenauigkeiten der ursprünglichen Klassifikation von de Assis und Kollegen, welche eine inkonsistente Einordnung gewisser PA-Typen erklären könnten. Wie die Autoren bereits selbst dargelegt haben, gibt es weitere Limitationen der Studie von de Assis et al., welche teilweise auch auf die anatomischen Folgestudien zutreffen. Eines der Hauptprobleme ist, dass bisher kein standardisiertes Verfahren, sondern unterschiedliche Methoden zur Datenerhebung genutzt wurden. So wurden die Daten je nach Autor entweder mittels DSA, per CT-Angiografie und teilweise mittels CBCT erhoben (de Assis et al., 2015, Wang et al., 2017, Amouyal et al., 2018, du Pisanie et al., 2019, Xuan et al., 2019, Enderlein et al., 2020, Eldem et al., 2021). Im Großteil der Studien wurde die Klassifikation überwiegend anhand von DSA-Bildern durchgeführt, so auch in der Arbeit von de Assis und Kollegen. Es wird zwar angegeben, dass in komplexen Fällen eine 3D-Angiographie und/oder eine CBCT durchgeführt wurde, unklar bleibt jedoch, wie häufig dies tatsächlich erfolgte (de Assis et al., 2015). Mit den Erfahrungen von Wang und Kollegen ist deshalb davon auszugehen, dass es zumindest in einer gewissen Anzahl der Fälle aufgrund fehlender CBCT zu Fehlinterpretationen der PA-Klassifikation kam. In den Arbeiten von Amouyal et al., Xuan et al. und Eldem et al. wurde ebenfalls primär die DSA zur Datenerhebung verwendet und nur in „unklaren Fällen“ ein CBCT angefertigt, was darin resultiert, dass auch diese Arbeiten der gleichen technischen Limitation potenziell uneindeutiger DSA Daten unterliegen (Amouyal et al., 2018, Xuan et al., 2019, Eldem et al., 2021). Zudem wird in keiner der zuvor genannten Studien berichtet, wie häufig eine CBCT tatsächlich eingesetzt wurde, was zumindest bei der Quantifizierung der beschriebenen Problematik hilfreich wäre. Lediglich in der Arbeit von Enderlein et al. wurde bei der Mehrheit der Patienten ($80/104 = 76,9\%$) eine CBCT durchgeführt, wohingegen Wang et al. sogar für alle Patienten DSA und CBCT eingesetzt haben (Wang et al., 2017, Enderlein et al., 2020). Warum unsere Daten im Vergleich zu diesen beiden Studien unterschiedlich sind, ist damit nur eingeschränkt in der Methodik der Datenerhebung zu erklären. Insbesondere der enorm hohe Anteil der Typ II PA und der sehr geringe Anteil der Typ III PA im Vergleich zu allen anderen Studien bei Wang et al. ist auffällig. Grund hierfür könnte die ethnische Herkunft des dort untersuchten Patientenkollektivs und bei 318 untersuchten PAs eingeschränkt auch die Studiengröße sein (Wang et al., 2017). Ein weiterer Erklärungsansatz wäre, dass Wang et al. nicht explizit die Klassifikation von de Assis et al. verwendet haben und eine Typ II PA in der

Arbeit nur als Abgang aus dem anterioren Anteil der AII angegeben ist, wohingegen laut de Assis et al. eine Typ II PA aus dem anterioren Anteil der AII und gleichzeitig inferior zur AVS hervorgehen muss. Diese Vermutung wird ebenfalls unterstützt durch die Tatsache, dass auch Bilhim et al., die ähnlich klassifizieren wie Wang et al., im Vergleich zu de Assis et al. und unseren Daten vermehrt Typ II PAs/PAs aus dem anterioren Teil des gluteal-pudendalen Stamms zeigen (Bilhim et al., 2012). Enderlein et al. geben hingegen einen deutlich geringeren Anteil von Typ I PAs (27,5 %) und einen relativ höheren Anteil Typ II (20 %) und Typ III PAs (23,8 %) im Vergleich zu unserem Kollektiv (Typ I: 42,7 %; Typ II: 12,5 %; Typ III: 16,4 %) an, was im Rahmen des eher kleinen Patientenkollektivs von 160 untersuchten PAs erklärt werden könnte (Enderlein et al., 2020).

Bezüglich der berichteten Doppelversorgung der Prostata (Typ VI) unterscheiden sich die Daten verschiedener Autoren ebenfalls erheblich. Der von uns berichtete Anteil von Doppelversorgern liegt mit nur 1,8 % deutlich unter den angegebenen Werten anderer Autoren (Vergleich siehe Tabelle 25). Ein Grund für diese ausgesprochen hohe Varianz könnte, wie DeMeritt et al. in ihrer Arbeit zur Doppelversorgung des zentralen Drüsenanteils der Prostata gezeigt haben, darin liegen, dass aus der Gruppe der Doppelversorger noch einmal Untergruppen herausgearbeitet werden können (DeMeritt et al., 2018). Hierbei ist bei unserer Arbeit nochmals die Betonung wichtig, dass nur PAs als Typ VI klassifiziert wurden, welche separat entspringen und verschiedene „Zonen“ des zentralen Drüsenanteils der Prostata im CBCT perfundiert haben und nicht oder nur marginal anastomosieren. Dies entspricht einem Typ 3 Doppelversorger nach DeMeritt. Deshalb wurden diese PAs auch immer separat embolisiert. Wenn nach der Klassifikation von DeMeritt et al. auch Typ 2 (Anastomose verschiedener PA-Äste für den zentralen Drüsenanteil) als Doppelversorger gezählt werden, ist der berichtete Anteil „Doppelversorger“ natürlich erheblich höher. DeMeritt et al. beschreiben in ihrer Arbeit mit 57 untersuchten Hemipelves 9,7 % (7) als Typ 2 Doppelversorger und 6,9 % (5) als Typ 3 Doppelversorger. Ein weiterer Grund für die so unterschiedlich berichtete Anzahl Doppelversorger könnte dem Grund geschuldet sein, dass eventuell Arterien, welche die periphere Zone versorgen, aufgrund der schlechteren Bildgebung mittels DSA fälschlicherweise als „echte“ PA klassifiziert wurden. Die bei uns verwendete CBCT schließt eine solche Überschätzung der Doppelversorgung aus.

Problematisch bei der Thematik Datenerhebung mittels DSA und/oder CBCT ist, dass in Deckung mit anderen Autoren (Zhang et al., 2015) sich auch in unserer Erfahrung zeigt,

dass bei Klassifikation des anatomischen PA Typs ausschließlich anhand von DSA-Bildern durchaus relevante Informationen fehlen können. Konsekutiv können somit fehlerhafte oder unzureichende Angaben entstehen. Dies ist darin begründet, dass die PAs zum einen kleine Arterien sind, welche mit DSA allein schwer zu identifizieren sein können. Zusätzlich ergeben sich im Falle von Tri- oder Quadrifurkationen im proximalen Verlauf des vorderen anterioren Truncus der A. iliaca interna häufig Gefäßüberlagerungen, welche den genauen Ursprung verschleiern können. Erschwerend kommen teils noch Knochenkanten und Darmstrukturen als zusätzliche Störfaktoren hinzu, welche die Beurteilbarkeit noch weiter negativ beeinflussen (Bilhim et al., 2011b, Bilhim et al., 2011a). Durch die Dreidimensionalität der CBCT bestehen diese Einschränkungen nicht, vielmehr lassen sich mittels CBCT scheinbare Tri- oder Quadrifurkationen anatomisch häufig aufschlüsseln.

Nachteile der CT-Angiographie sind die mangelnde Sensitivität bei der Identifizierung einiger kleiner PAs (Bagla et al., 2013). Ebenso konnte gezeigt werden, dass eine präprozedurale CTA der Beckenarterien keinen Vorteil hinsichtlich der Erhöhung der technischen Erfolgsrate oder der Reduktion von DAP oder FT zeigt, wenn ein erfahrenes Interventionsteam und ein intraprozedurales CBCT verfügbar waren (Steffen et al., 2022). Daher haben sowohl DSA als auch die CT-Angiographie einige Einschränkungen bei der Darstellung von PAs und deren Ursprung, Verteilung, Termination und Anastomosen mit benachbarten Arterien. Weiterhin kann eine in die Prostata ziehende Struktur lediglich dem posterolateralen Endast entsprechen, welcher die periphere Zone perfundiert und somit bei Embolisation den pathophysiologisch wichtigeren Teil der zentralen Drüsenanteile ausspart. Diesen klinischen Eindruck konnten Wang et al. bestätigen und zeigen, dass die CBCT der DSA in der Identifizierung der Anatomie signifikant überlegen ist und in 60,8 % der Fälle wichtige, die Intervention verändernde Informationen beitragen kann (Wang et al., 2017). So waren in besagter Studie mittels CBCT 94,7 % der Ursprünge der PAs identifizierbar, wohingegen nur 74,5 % mittels konventioneller DSA identifiziert werden konnten. Weiterhin war die CBCT in der Erkennung bestehender Anastomosen (97 % vs. 58,2 %) der DSA deutlich überlegen (Wang et al., 2017).

Deshalb plädieren wir dafür in dieser Grundlagenarbeit zur anatomischen Klassifikation der PA Typen ausnahmslos für eine Sicherung der perfundierten Zielstruktur mittels CBCT. Zusätzlich bestätigt in diesem Vorgehen sehen wir uns durch die Arbeit von Carnevale et al., die sich in einer technischen Mitteilung ebenfalls für einen optimierten

Bildgebungsablauf der PAE aussprechen, welcher in jedem Fall ein CBCT enthalten soll (Carnevale et al., 2021).

Falls in den Studien nicht in allen Fällen ein CBCT durchgeführt wurde, sollte wenigstens die Anzahl der durchgeführten CBCTs berichtet werden. Gegen den vermehrten Einsatz des CBCT kann mit einer erhöhten Strahlenexposition argumentiert werden. Aufgrund der Sicherheitsrelevanz durch vermeidbare Fehlembolisationen sollte dennoch, trotz erhöhter Strahlenexposition, nach unserer Auffassung und aktueller Publikationen nicht darauf verzichtet werden (Wang et al., 2017, Carnevale et al., 2021). Vielmehr sollte die Reduktion der Strahlenexposition der CBCT ein Fokus zukünftiger Forschung sein, um diesen Nachteil zu reduzieren. Andrade und Kollegen gaben sogar an, dass die CBCT nicht den Hauptteil der Strahlenexposition verursacht, jedoch zählte die durchschnittliche Exposition in dieser Studie im Vergleich zu anderen publizierten Studien mit $450,7 \text{ Gy}\cdot\text{cm}^2$ zu den höchsten überhaupt (Andrade et al., 2017). Besagte Sachverhalte begründen unseren methodischen Ansatz, nicht nur bei unklarer anatomischer Situation ein CBCT durchzuführen, sondern auch nach initialer Darstellung per DSA. Ebenfalls gilt dies für den Fall, dass bereits eine PA per DSA identifiziert wurde. Trotzdem sollte nach unserer Ansicht eine Bestätigung mittels CBCT erfolgen, um erst anschließend zu embolisieren. Dieses Vorgehen soll eine bestmögliche Identifikation der die Prostata versorgenden Gefäße gewährleisten und Fehlembolisationen und folgend unerwünschte Ereignisse zuverlässig verhindern.

Eine weitere Limitation der anatomischen Studien ist, dass bis auf eine Ausnahme (Xuan et al., 2019) nur kleine bis mittelgroße Patientenkollektive untersucht wurden. Diesem Schwachpunkt haben wir mit der Untersuchung des großen Kollektivs somit Rechnung getragen.

Eine Problematik, welche alle Studien (einschließlich unserer) betrifft, ist, dass das Studiendesign retrospektiv und zumeist monozentrisch ausgelegt wurde. Die Inhomogenität der Ergebnisse könnte somit auch in der Herkunft der verschiedenen Populationen und Confoundern durch lokale Untersucher unterliegen.

Wenn die Ergebnisse aller Studien zusammengetragen werden, Mittelwerte wie in Tabelle 25 gebildet und diese anschließend mit unseren Daten verglichen werden, fallen die Unterschiede nicht mehr so gravierend aus. Lediglich auffällig verbleiben dann noch die in unserem Fall deutlich höhere Anzahl Typ I PAs sowie die Unterrepräsentation von Typ V PAs. Ein möglicher Grund hierfür könnte sein, dass in der originalen Klassifikation mehrere Unschärfen bestehen, die Interpretationsspielraum bei der

Einteilung in die verschiedenen Typen-Kategorien zulassen. Dies betrifft erstens PAs, welche aus der A. obturatoria entspringen, zweitens PAs die aus eine Tri- oder Quadrifurkation des anterioren Truncus der AII hervorgehen und drittens PAs, die aus dem „distalen Segment“ der A. pudenda interna die Prostata versorgen. So beschrieben bereits andere Autoren diese zum Teil „atypisch typischen“ PAs (Richardson et al., 2020). Die PA Typen, bei denen die Klassifikation am unpräzisesten ist, wurden in unserer Studie gemäß den Beschreibungen in Material und Methoden unter 3.1. II ausgewertet. In der täglichen Routine der DSA zeigt sich, dass insbesondere die besagten Tri-/Quadrifurkationen mit normaler DSA sehr schwer auflösbar sind und der genaue Ursprung eines Gefäßes nicht immer sicher abgegrenzt werden kann. Aufgrund des in unserer Studie regelhaften Einsatzes von CBCTs konnten wir diese komplexen Gefäßaufzweigungen genauer auflösen und haben deshalb mutmaßlich weniger Typ V PAs und eine höhere Anzahl von Typ I PAs beobachtet. All die vorherig genannten Faktoren sind weitere Erklärungsmöglichkeiten, für die je nach Studie erheblich unterschiedlich berichteten Prävalenzen der PA-Typen.

Im Rahmen der bisher durchgeführten Studien zur Anatomie der PA finden sich also wiederholt drei Hauptprobleme.

1. Bis 2015 lag keine einheitliche Klassifikation der PA-Varianten vor. Erst durch die Arbeit von de Assis et al. wurde eine einheitliche, allgemein akzeptierte Klassifikation erarbeitet, welche seitdem Verwendung findet. Diese besitzt jedoch noch diskrete Ungenauigkeiten.
2. Zwischen den Studien besteht eine uneinheitliche Methodik der Datenerhebung.
3. Die Studien zur Anatomie der PA-Varianten waren bis auf eine Ausnahme (Xuan et al.) kleine Untersuchungskollektive und insgesamt wurden seit Einführung der neuen Klassifikation 2015 nur wenige Studien mit der expliziten Fragestellung nach der Anatomie publiziert.

Zusammengefasst kann gesagt werden, dass die Hauptgründe der verschieden berichteten Prävalenzen in der unterschiedlichen Methodik der Datenerfassung und den kleinen Studienkollektiven liegen. Um in künftigen Studien die Anatomie der die Prostata versorgenden Arterien noch exakter und einheitlicher beschreiben zu können, schlagen wir deshalb eine leichte Anpassung und Präzisierung der ursprünglich etablierten Klassifikation vor wie in Tabelle 28 dargestellt.

Tabelle 27: Anatomische Klassifikation der Prostataarterie (nach de Assis et al., 2015)

Klassifikation	Anatomie
Typ I	Ursprung der PA aus der A. vesicalis inferior aus dem anterioren Truncus der AII mit einem gemeinsamen Ast der A. vesicalis superior
Typ II	Ursprung der PA aus der A. vesicalis inferior aus dem anterioren Truncus unterhalb der A. vesicalis superior
Typ III	Ursprung der PA aus der A. obturatoria
Typ IV	Ursprung der PA aus der A. pudenda interna
Typ V	Atypischer Ursprung der PA (weniger häufige Ursprünge der IVA, einschließlich der akzessorischen Arteria pudendalis interna, der Trifurkation oder Quadrifurkation des vorderen Abschnitts der IIA, der Arteria epigastrica inferior, des hinteren Abschnitts der IIA oder des distalen Abschnitts der Arteria pudendalis interna.

Tabelle 28: Modifizierte de Assis Klassifikation der PA-Typen

Klassifikation	Anatomie
Typ I	Ursprung der PA aus einem Truncus vesicoprostaticae bestehend aus A. vesicalis inferior + A. vesicalis superior (unabhängig ob dieser aus Truncus anterior/posterior/Tri-/Quadrifurkation des Hauptstammes entspringt)
Typ II	Ursprung der PA aus der A. vesicalis inferior aus dem anterioren Truncus unterhalb der A. vesicalis superior
Typ III	Ursprung der PA aus der A. obturatoria unabhängig von deren Ursprung im Stromgebiet der AII
Typ IV	Ursprung der PA aus den proximalen 2/3 der A. pudenda interna
Typ V	Atypischer Ursprung der PA
Typ VI	Interventionell relevante Doppelversorgung des zentralen Anteils des Prostataparenchyms aus ≥ 2 separat entspringenden PAs

Wie bereits durch andere Publikationen gezeigt werden konnte, sind die PAs nicht symmetrisch angelegt (Zhang et al., 2015, Wang et al., 2017). Diesen Sachverhalt können wir anhand unserer Daten bestätigen. Hierbei stimmen unsere Ergebnisse auch im „Grad der Asymmetrie“ mit den Daten von Zhang et al. überein, welche eine Asymmetrie in 65,5 % der Fälle zeigen konnten, wohingegen unsere Asymmetrie bei 61,2 % der Fälle

lag (Zhang et al., 2015). Lediglich die Studie von Wang et al. beschreibt den „Grad der Asymmetrie“ mit 87,8 % noch stärker ausgeprägt (Wang et al., 2017).

5.3.3 Anatomie der Arteria obturatoria und pelviner arterieller Leitstrukturen

In unserer Arbeit konnten insgesamt 742 von potenziell 1038 (71,5 %) Arteriae (Ae.) obturatoriae nachgewiesen und deren Ursprung klassifiziert werden.

Hinsichtlich der Anatomie der A. obturatoria sind unsere Daten leider nur teilweise valide. Grund hierfür ist, dass primär die PA im Rahmen der PAE dargestellt werden sollte und diese bekannterweise zumeist aus dem Bereich der AII entspringt. Deshalb wurden angiographisch primär die Gefäßstrukturen dargestellt, welche zur Prostata ziehen. Die Beurteilung des Ursprungs der A. obturatoria und der klassischen Anatomie waren sozusagen nur Co-Produkte von DSA- und CBCT-Serien. Trotzdem lässt sich anhand unserer Daten der Bereich der AII bezüglich des Ursprungs der AO sicher beurteilen. Ursprünge der AO aus dem Bereich der AIE sind anhand unserer Daten aber nur eingeschränkt verwertbar.

Hinsichtlich des Ursprungs der A. obturatoria aus dem Stromgebiet der A. iliaca interna stimmen unsere Daten (712/1038 [68,6 %]) ziemlich genau mit den publizierten Daten verschiedener anatomischer Studien überein. So beschreiben Sanudo et al. den Ursprung der A. obturatoria aus dem Gebiet der A. iliaca interna in selbst erhobenen Daten mit 69,2 % (155/224) und im Rahmen ihrer Metaanalyse mit 64,3 % (Sanudo et al., 2011). Ebenfalls fast identisch sind die Daten für die weitere Aufteilung des Ursprungs aus der A. iliaca interna. Sanudo et al. berichten von 52,6 % der Arterien aus dem Truncus anterior gegenüber 52,3 % in unseren Daten (Sanudo et al., 2011). Lediglich der Anteil der AO aus dem Truncus posterior der A. iliaca interna ist in unseren Daten mit 16,5 % (171/1038) höher als mit 8,5 % (19/224) in den Daten von Sanudo et al. und 12,1 % in der Metaanalyse (Sanudo et al., 2011). Grund hierfür könnte das mittelgroße Kollektiv von Sanudo et al. sein oder eine andere Methode der Datenerhebung (Kadaver vs. DSA/CBCT). Ebenso muss erwähnt werden, dass die Daten hinsichtlich der A. obturatoria aus dem Truncus posterior von Sanudo et al., wie anhand der Zahlen der Metaanalyse abzulesen ist, im Kontext der anderen Studien eher am unteren Ende der angegebenen Prävalenzen liegen.

Für den recht hohen Anteil der nicht nachweisbaren Ursprünge der A. obturatoria (296/1038 [28,5 %]) würde somit ein Ursprung aus dem Bereich der AIE plausibel infrage kommen. Welcher im Rahmen der methodischen Limitation unseres Angiographieschemas nicht adäquat abgebildet wurde. Der Anteil dieses, in unserer Arbeit, nicht nachweisbaren

Ursprungs von 28,5 % und den 2,7 % mit sicherem Nachweis der AO aus dem Bereich der AIE würden dann wiederum annähernd mit den 30,8 % Ursprung der AO aus der Stromgebiet AIE aus der Studie von Sanudo et al. übereinstimmen (Sanudo et al., 2011).

5.3.4 Interraterreliabilität

Um die Interraterreliabilität zu vergleichen, wurden die Befunde der fünf verschiedenen Interventionalisten mit der Befundung des Doktoranden verglichen. Dabei konnten durch den Doktoranden in der Anzahl 30 PAs mehr klassifiziert werden als durch die Interventionalisten. Insgesamt zeigte sich mit einem $\kappa=0,861$, $SD=0,014$, $p<.001$ eine fast perfekte Übereinstimmung der Befundungsergebnisse. Da bei nicht übereinstimmender Klassifikation ein drittes Konsensusverfahren durchgeführt wurde, konnte aus diesen weiteren Daten herausgearbeitet werden, wer im Falle eines Dissens korrekt klassifiziert hatte und welche PA Typen scheinbar schwerer erkennbar waren. Soweit uns bekannt, gibt es bisher keine Studien, die diesen Sachverhalt je beschrieben haben. In der Auswertung zeigte sich, dass bei 140 Dissensfällen in 59,3 % der Fälle die Klassifikation des Doktoranden und in 25 % der Fälle die Klassifikation der Interventionalisten durch das Konsensusteam übernommen wurde. In 15,7 % der Fälle wurde durch das Konsensusteam eine dritte und somit andere Klassifikation der PA als von Doktorand und Interventionalist festgelegt. In der weiteren Subgruppenanalyse zeigte sich, dass im Verhältnis zur jeweiligen Gesamtanzahl der PA Typen, Typ IV PAs am häufigsten falsch klassifiziert wurden, wohingegen Typ III PAs am seltensten fehlerhaft eingestuft wurden. Grund dafür ist wahrscheinlich, dass die A. obturatoria zumeist eine klar erkennbare, kräftige Arterie mit pathognomonischen Verlauf und somit leicht identifizierbar ist. Der Grund für die übermäßige hohe Anzahl an Fehlklassifikationen von Typ IV Arterien in unserem Kollektiv war einerseits auf eine wiederholte Fehlklassifikation eines Interventionalisten (Typ III vs. Typ IV) zurückzuführen, andererseits waren teilweise Typ I und Typ IV Arterien nur schwer unterscheidbar.

5.3.5 Technischer Outcome und deren Prädiktoren

Zum Zeitpunkt des Beginns der Arbeit lagen wenige Studien vor, welche sich gezielt mit der Erfassung des technischen Outcome und insbesondere mit Prädiktoren für das technische Ergebnis bei der PAE befasst haben. Diese Daten sind jedoch wichtig, um im sich ständig ändernden Umfeld der Behandlungsoptionen das für die Patienten optimal geeignete Therapieregime zu wählen. Wenn Faktoren identifiziert werden können, die einen negativen Einfluss auf das technische und/oder klinische Outcome haben, kann daran eine optimierte Patientenselektion stattfinden. Im gleichen Kontext ist wichtig zu überlegen, welche Daten und Verfahren vor einer PAE zur Verfügung stehen, um eine Einschätzung der Erfolgchancen zu ermöglichen.

Unterschieden werden muss zwischen klinischen und technischen Outcomeparametern. Bei der Beurteilung der Ergebnisse der verschiedenen publizierten Outcomestudien ist, wie auch bei den Daten zu den anatomischen Studien, die uneinheitliche Methodik problematisch. Zahlreiche Variablen, welche die oben genannten Parameter beeinflussen könnten, wurden in diesen Studien postuliert und mit verschiedenen statistischen Methoden untersucht. In Tabelle 29 sind aus vier Studien, die jeweilig verwendeten Outcomeparameter, die untersuchte Patientenzahl sowie die untersuchten Variablen zusammengefasst.

Tabelle 29: Überblick technische Outcomestudien

Studie	Pisania et al.	Hacking et al.	Enderlein et al.	Lintin et al.
	2019	2019	2020	2021
Patientenzahl	208	216	104	75
Outcome-parameter	Technisch	Technisch und Klinisch	Technisch und Klinisch	Technisch
Parameter	PT	PT	PT	PT
Parameter	FT	FT	FT	FT
Parameter	CV		CV	
Parameter	DAP	DAP	DAP	DAP
Variablen	Alter		Alter	
Variablen	Größe			
Variablen	Gewicht			
Variablen	Typ-PA		Typ-PA	Typ-PA
Variablen	Atherosklerose	Atherosklerose		Atherosklerose
Variablen	SITG		SITG	SITG
Variablen	PV	PV	PV	PV
Variablen		Interventionalist	Interventionalist	
Variablen				PA-Diameter
Variablen				Bilaterale Embolisation
Variablen				Anzahl CBCT
	Verwendung von Coils			

PT = Prozedurdauer; FT = Fluoroskopiezeit; CV = appliziertes Kontrastmittelvolumen;
DAP = Dosisflächenprodukt; SITG = subjektive Gewundenheit der iliakalen Gefäße; PV =
Prostataavolumen

Trotz verschiedener Methoden können anhand der vorliegenden Studien drei sehr wahrscheinlich gültige Hauptaussagen getroffen werden.

- **Alter:**
Einigkeit besteht hinsichtlich der Annahme, dass ein höheres Alter mit vermehrter Gewundenheit bzw. Elongation der Gefäße und stärkerer Ausprägung der Atherosklerose assoziiert ist (Han, 2012, du Pisanie et al., 2019, Enderlein et al., 2020).
- **Gewundenheit:**
Je höher der Grad der Gewundenheit der iliakalen Gefäße, desto negativer der Einfluss auf die genannten Parameter des technischen Outcomes (PT, FT, CV, DAP für Pisanie) (FT, CV für Enderlein) (du Pisanie et al., 2019, Enderlein et al., 2020). Die Arbeit von Lintin et al. widerspricht zwar diesen Daten, merkt aber selbst an, dass in allen drei Arbeiten verschiedene Methoden zur Einteilung der SITG verwendet wurden [Winkel Aorta zu A. iliaca communis (Lintin et al., 2021); Kombination aus Winkel Aorta zu A. iliaca communis und Winkel A. iliaca communis zu A. iliaca interna/A. iliaca externa (du Pisanie et al., 2019); Winkel A. iliaca communis zu A. iliaca externa (Enderlein et al., 2020)]. Als Grund, warum Lintin et al. keinen Einfluss auf die technischen Outcomeparameter zeigen konnten, ist wahrscheinlich der Tatsache geschuldet, dass nicht wie von Lintin et al. untersucht die Gewundenheit der A. iliaca communis im Verhältnis zur Aorta eine Rolle spielt, sondern vielmehr die Gewundenheit der A. iliaca interna/A. iliaca externa im Verhältnis zur A. iliaca communis welche in den Methoden von du Pisanie et al. und Enderlein et al. Anwendung findet.
- **Atherosklerose:**
Je höher der Grad der Atherosklerose der iliakalen Gefäße, desto negativer der Einfluss auf die genannten Parameter des technischen Outcomes (du Pisanie et al., 2019, Hacking et al., 2019, Lintin et al., 2021).
- **Interventionalist:**
Je nach durchführendem Interventionalisten unterscheiden sich die technischen Outcomeparameter signifikant (Hacking et al., 2019, Enderlein et al., 2020).

Bei anderen Variablen gibt es hingegen widersprüchliche Aussagen zum Einfluss auf das Outcome. In den durchgeführten Studien konnte einerseits gezeigt werden, dass eine linke Typ III PA ein niedrigeres DAP hat als die Gruppe der anderen linken PA-Typen, insbesondere des Typ I. Andererseits fanden Enderlein et al., dass auch die FT von linker Typ III PA gegenüber linker Typ I PA signifikant geringer waren (du Pisanie et al., 2019, Enderlein et al., 2020). Widersprüchlich dazu stehen Ergebnisse von Lintin et al., welche in ihrer Arbeit gezeigt haben, dass der Ursprung der PA keinen Einfluss auf die kontinuierlichen Outcomeparameter (DAP, AK, FT) oder auf die Wahrscheinlichkeit einer bilateralen Embolisation hat (Lintin et al., 2021).

Im Hinblick auf andere technische Outcomeparameter ergeben sich ebenfalls widersprüchliche Daten. Ein Beispiel kann anhand der Variablen Prostatavolumen (PV) gemacht werden, für welche Pisanie et al. angeben, dass je größer das Prostatavolumen, desto geringer die applizierte Menge Kontrastmittel (CV). Dahingegen konnten Enderlein et al. für das Prostatavolumen keinen Zusammenhang zu technischen Outcomeparametern feststellen (du Pisanie et al., 2019, Enderlein et al., 2020).

Der einfachste Outcomeparameter, erfolgreiche PAE (Ja/Nein) in Bezug auf die einzelne PA, wurde hingegen nach unserer Kenntnis bisher noch nie modelliert. Lediglich du Pisanie et al. und Lintin et al. haben Variablen beschrieben, welche einen negativen Einfluss auf die Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen bilateralen Embolisation haben, wobei auch in diesem Fall die Daten teilweise widersprüchlich sind. Auch waren in beiden Studien die Anzahl der durchgeführten Prozeduren deutlich geringer als in unserer Auswertung (du Pisanie et al. = 217 PAEs / Lintin et al. = 75 PAEs) (du Pisanie et al., 2019, Lintin et al., 2021). So gaben Pisanie et al. an, dass eine nicht bilaterale PAE wahrscheinlicher ist bei älteren Patienten, erhöhter SITG, vermehrter Atherosklerose und bei einer linken Typ I PA im Vergleich zu einer linken Typ III PA (du Pisanie et al., 2019). Bezüglich der Variable Alter beschreiben Pisanie et al., dass diese nicht die entscheidende Variable für erhöhtes Versagen ist, sondern die Variablen erhöhte SITG und vermehrte Atherosklerose (du Pisanie et al., 2019). Diese beiden Faktoren nehmen jedoch wie oben beschrieben mit dem Alter zu.

Lintin et al. fanden heraus, dass je kleiner der Durchmesser der PA, desto unwahrscheinlicher gelingt eine beidseitige PAE (Lintin et al., 2021). Im Gegensatz zu du Pisanie et al. hatte der Schweregrad der Atherosklerose in der Arbeit von Lintin et al. keinen signifikanten Einfluss auf die Wahrscheinlichkeit einer einseitigen Embolisation oder eines kompletten technischen Versagens (Lintin et al., 2021).

Ziel unserer Studie war deshalb bei mangelnder und widersprüchlicher Datenlage nicht, wie in den zuvor genannten Arbeiten, primär die Evaluation des technischen Outcomes an prozedurassoziierten Variablen wie dem DAP, CV, PT, FT und AK zu messen. Vielmehr sollte an einem Modell ein einfacher, aber letztendlich der aus unserer Sicht entscheidende objektive Outcomeparameter, nämlich die erfolgreiche Embolisation (Ja/Nein) modelliert werden. Anhand dieses Modells sollte beantwortet werden, welche Patienten optimale Kandidaten für die PAE sind.

Wir konnten in unserem Patientenkollektiv bei 1024 versuchten Embolisationen von einzelnen PAs einen technischen Erfolg in 85,4 % der Fälle erzielen. Von 518 Patienten wurden 379 (73,2 %) bilateral und 117 (22,6 %) unilateral embolisiert. Somit waren nach unserer Definition 95,8 % der Patienten embolisierbar und bei nur 22 Patienten (4,2 %) war keine PAE möglich. Diese Daten entsprechen weitgehend den Erfolgsraten anderer großer PAE-Studien (Hacking et al., 2019, Enderlein et al., 2020, Lintin et al., 2021). Beispielhaft sind die Daten dieser drei Autoren in Tabelle 30 angeführt. Enderlein et al. berichten bei 104 Patienten von 77,9 % bilateraler, 16,3% unilateraler Embolisation und 5,8 % Therapieversagern (Enderlein et al., 2020). Lintin et al. berichten bei 75 Patienten von 73,3 % bilateraler, 22,7 % unilateraler Embolisation und 4 % Therapieversagern (Lintin et al., 2021).

Eine Betrachtung der Erfolgsrate anhand der einzelnen PAs, wie in Tabelle 30 dargestellt, halten wir im Setting der PAE nicht nur als technischen Outcome für sinnvoll, sondern sogar eingeschränkt klinisch. Insbesondere da verschiedene Autoren zeigen konnten, dass eine bilaterale Embolisation der unilateralen zwar überlegen ist, jedoch auch die unilaterale Embolisation erhebliche positive Effekte auf subjektive und objektive Outcomeparameter hat, die mit bis zu 50 % der Verbesserung der bilateralen Embolisation beziffert werden können (Bilhim et al., 2013, Hacking et al., 2019).

Ebenso scheint in diesen Studien die Anzahl der Versager in Bezug auf die jeweiligen Einzelgefäße mit unseren Daten übereinzustimmen. Problematisch beim Vergleich der Erfolgsraten je nach Anzahl der PAs ist, dass in allen drei Studien nicht konkret angegeben wurde wie viele PAs tatsächlich embolisiert wurden. Deshalb haben wir angenommen, dass pro Patient jeweils zwei PAs vorlagen, was aber einer nicht überprüfaren Annahme entspricht. Die entsprechenden mutmaßlichen Erfolgsraten je PA haben wir so in Tabelle 30 berechnet. Lintin et al. hatten bei mutmaßlich 150 PAs 23 technische Therapieversager, was mit einer Versagensrate von 15,3 % fast unseren Ergebnissen mit 14,6 % entspricht (Lintin et al., 2021).

Tabelle 30: Technischer Erfolg verschiedener Studien

Studie	Erfolgreiche			
	Embolisations- rate je Anzahl PAs	Bilaterale PAE (Patientenanzahl)	Unilaterale PAE (Patientenanzahl)	Therapieversagen (Patientenanzahl)
Hacking et al. (2019)	79,7% [◦]	75,4% (141/187)	12,8% (24/187)	11,8% (22/187)*
Enderlein et al. (2020)	86,1% [◦]	77,9% (81/104)	16,3% (17/104)	5,8% (6/104)
Lintin et al. (2021)	84,6% [◦]	73,3% (55/75)	22,7% (17/75)	4% (3/75)
Eigene Daten (2022)	85,4%	73,2% (379/518)	22,6% (117/518)	4,2% (22/518)
Mittelwerte	84,1%	74,2% (656/884)	19,8% (175/884)	6% (53/884)

* = nicht explizit in Originalarbeit angegeben

◦ = Annahme, dass pro Patient immer 2 PAs vorliegen (genaue Anzahl embolisierter Gefäße ist in den Originalpublikationen nicht angegeben)

Hinsichtlich der konkreten Versagensursachen waren die von Lintin et al. beschriebenen vier Hauptursachen auch in unserem Kollektiv die häufigsten beobachteten Probleme (Vergleich Abbildung 16), wenn auch die Verteilung der Versagensursachen etwas anders zugewiesen ist. In unserem Kollektiv gab es neben den vier Hauptursachen noch drei weitere, kleinere Untergruppen (Katheterdislokationen, Vasospasmen und seltene andere Gründe). Wobei die Kategorien Vasospasmen und Katheterdislokationen auch der größten Gruppe „PA nicht sondierbar“ hätten zugeordnet werden können. Von unseren 1024 PAs konnten 149 (14,6 %) nicht embolisiert werden. Von diesen Versagern waren die Verteilungen der Ursachen etwas anders als bei Lintin et al.. In unserem Kollektiv war der mit Abstand häufigste Versagensgrund, dass die PA nicht sondierbar war (31,2 %), wohingegen die nicht mögliche Identifizierung der PA (19,4 %), hochgradig atherosklerotische Veränderungen (20,0 %) sowie nicht ausschaltbare Kollateralen (18,8 %) ähnlich häufig zum Versagen der Embolisation geführt haben. Diese Unterschiede in den prozentualen Häufigkeiten der Versagensursachen sind unserer Meinung nach einerseits an den verschiedenen Größen der jeweils untersuchten Patientengruppen zu sehen. Insbesondere da das Kollektiv von Lintin et al. nur aus 75 Patienten bestand. Ein weiterer Grund, warum in unserer Kohorte die nicht mögliche

Identifizierung der PA prozentual seltener vorkam, könnte der Tatsache geschuldet sein, dass wir regelhaft ein CBCT eingesetzt haben und somit möglicherweise mehr schwierig erkennbare PAs detektieren konnten. Anhand unserer Daten kann jedoch bestätigt werden, dass die bereits in der Literatur genannten vier Faktoren die Hauptursachen für das Therapieversagen der PAE sind.

Die Erfolgsrate bei Enderlein et al. im Vergleich zu unseren Daten war marginal besser. Gründe dafür könnten sein, dass die dort eingeschlossenen Patienten im Mittel etwas jünger waren (im Mittel 65 Jahre) und prozentual weniger „komplexe“ Typ I PAs (42,7 % vs. 27,5 %) vorkamen, sowie prozentual mehr „einfache“ Typ III PAs (16,4 % vs. 23,8 %). Eine wichtige Anmerkung beim Bezug auf den technischen Erfolg verschiedener Studien ist, dass je nach vorliegender Arbeit der technische Erfolg unterschiedlich definiert wird. Je nach vorliegender Studie wird der technische Erfolg, wie in unserem Fall, als eine mindestens unilaterale durchgeführte PAE (Bilhim et al., 2016, Enderlein et al., 2020) angegeben, teilweise aber auch als zwingend bilateral durchgeführte PAE (Lintin et al., 2021). In manchen Studien wird allerdings auch keine Angabe gemacht, wann eine PAE als erfolgreich zu bewerten ist (Hacking et al., 2019, du Pisanie et al., 2019). Ob wie in unserem Kollektiv, eine PA, die „nur“ mittels Coils verschlossen wurde, als Therapieerfolg gelten soll, kann konträr diskutiert werden. Diese Fälle machten in unserer Kohorte mit nur 1,8 % (18/1024) lediglich einen marginalen Anteil der Gesamtzahl an PAEs aus. Im Rahmen der anderen zuvor genannten Publikationen werden leider in keinem Fall Angaben gemacht, inwieweit eine Embolisation mittels Coil in Ihren Kohorten als Erfolg klassifiziert wurde und ob dieser Sachverhalt überhaupt vorkam. Die im Verhältnis zu anderen Studien relativ hohe Anzahl an Therapieversagern in der UK-ROPE Studie (Hacking et al.) könnte durch die verhältnismäßig geringe Patientenzahl pro Zentrum erklärt sein. So wurden nämlich 216 PAEs an 20 verschiedenen Zentren, also im Mittel 11 PAEs pro Zentrum durchgeführt (Hacking et al., 2019). Zusätzlich mussten besagte „Zentren“ zuvor auch noch trainiert werden (Hacking et al., 2019). Beide Sachverhalte sprechen dafür, dass in den teilnehmenden Kliniken zum Zeitpunkt der Studie noch keine ausgesprochene Expertise mit dem neuen Verfahren vorhanden war. Wie wir anhand unseres GLLM zeigen konnten, spielt diese Expertise jedoch eine erhebliche Rolle und beeinflusst die Erfolgsrate der PAE erheblich. Dies legt die Schlussfolgerung nahe, dass die Erfolgsrate der PAEs durch „unzureichende“ Erfahrung mit der neuen Methode in dieser Studie negativ beeinflusst gewesen sein könnte.

In 13,5 % (138/1024) der potenziell embolisierbaren PAs wurde eine Spiralembolisation durchgeführt. In den meisten Fällen wurde diese als Schutzembolisation durchgeführt. In einigen wenigen Fällen, in denen es sinnvoll erschien, z. B. bei distalen, nicht selektiv verschließbaren Kollateralen, wurde eine alleinige Spiralembolisation durchgeführt. Insgesamt war dies bei lediglich 13,8 % (19/138) der durchgeführten Spiralembolisationen der Fall. Die logistische Regression zeigte keinen Zusammenhang der Häufigkeit applizierter Coils mit der PA-Klassifikation. Daraus folgend kann angenommen werden, dass kein PA-Typ besonders komplexe Kollateralen bildet, die häufiger zur Coilapplikation führen.

Da wir nachweisen konnten, dass die Wahrscheinlichkeit eine Such-CBCT zu benötigen bei gewissen PA-Typen häufiger ist, legt die Schlussfolgerung nahe, dass diese Typen (Typ II/V/VI) insgesamt schwieriger identifizierbar waren. Nach unserer Kenntnis ist dies ein neuer Aspekt, den bisher keine andere Studie zeigen konnte. Allerdings war in der durchgeführten logistischen Regression die Effektstärke nach Cohen nur schwach ausgeprägt. Daraus folgt, dass sicher noch weitere, bisher nicht untersuchte Faktoren signifikant die Wahrscheinlichkeit eines notwendigen Such-CBCT im Rahmen der PAE beeinflussen.

5.3.6 Einfluss der untersuchten Faktoren auf das Outcome anhand des GLMM

In unserem Modell wurden fünf Variablen eingeschlossen und auf ihren Einfluss auf den technischen Erfolg der Intervention untersucht.

Dies waren:

- PA Ursprung
- Anatomie der AII (klassisch/atypisch)
- Interventionalist
- Patientenalter zum Interventionszeitpunkt
- BMI

Diese fünf Variablen sind mit bekannten und weitläufig verfügbaren Methoden präinterventionell identifizierbar.

PA Ursprung:

Wir konnten zeigen, dass Typ II und Typ III-PAs signifikant bessere Erfolgsaussichten auf eine erfolgreiche Embolisation haben als eine Typ I PA. Insgesamt sind die PA-Typen I und VI am komplexesten zu embolisieren. Diese Feststellungen decken sich teilweise mit Erkenntnissen anderer Autoren im Hinblick darauf, dass Typ I PAs eher zu einem

Versagen der PAE führen als Typ III PAs (du Pisanie et al., 2019, Enderlein et al., 2020). Eine Erklärung für das schlechtere Outcome könnte sein, dass Typ I PA aufgrund der anatomischen Nähe zur Bifurkation der A. iliaca interna und der Aufteilung in A. vesicalis superior und A. vesicalis inferior besonders schwierig zu kathetern sind. So zweigen Typ I PAs häufig in einem Winkel von $>90^\circ$ aus der A. iliaca interna oder dem Truncus anterior ab und teilen sich dann in besagte Unteräste (A. vesicalis superior/A. vesicalis inferior) auf, wobei hier ebenfalls wieder meist ein ähnlich großer Winkel vorliegt. Da diese S-förmige Verzweigung auf wenigen Millimetern in einem Gefäß stattfindet, was selbst meist nur 1-3 mm Durchmesser hat, ist die Katheterisierung anspruchsvoll. Bei relevanter Doppelversorgung der Prostata ist es logisch, dass ein vollständiger Verschluss zweier Gefäße schwieriger ist als der eines einzelnen Gefäßes. Warum im Gegensatz zu unseren Ergebnissen Lintin et al. in ihrer Analyse keinen Einfluss des Ursprungs der PA auf den technischen Erfolg zeigen konnten (Lintin et al., 2021), könnte mehrere Gründe haben. Einerseits wurde von Lintin und Kollegen der technische Erfolg anders als in unserem Fall und in den meisten anderen Studien als bilaterale Embolisation gewertet. Weiterhin wurden in besagter Publikation nur Patienten mit symmetrisch angelegten PAs in die Analyse eingeschlossen, was laut unseren Daten zum Ausschluss von mehr als 60 % der Patienten aufgrund von asymmetrischer PA-Anlage geführt haben dürfte. Somit stand mutmaßlich nur noch ein sehr kleines Kollektiv für die Analyse zur Verfügung. Unklar bleibt in der Arbeit, wie viele Datensätze somit für den Chi-Quadrat-Test zur Verfügung standen.

Anatomie der A. iliaca interna:

Überraschenderweise fanden wir keinen Einfluss auf die Erfolgsaussichten der Intervention, je nachdem, ob eine klassische Anatomie vorliegt oder nicht. Es zeigte sich sogar ein Trend dahin, dass bei nicht klassischer Anatomie der Eingriff wahrscheinlicher gelingt, wenn auch die Werte das Signifikanzniveau nicht erreicht haben. Aufgrund dieser Ergebnisse ist anzunehmen, dass tatsächlich die reine Anatomie der PA den Einfluss auf die Erfolgsrate der PAE hat und die weiter proximale arterielle Versorgung interventionell keine besondere Herausforderung für den Interventionalisten darstellt. Auch in Subgruppenanalysen der Variable „klassische Anatomie“ zeigten sich keine relevanten Unterschiede zwischen beiden Gruppen.

Interventionalist:

Wie vorherige Autoren bereits zeigen konnten, hat der Interventionalist einen Einfluss auf technische und klinische Outcomeparameter (Hacking et al., 2019, Enderlein et al., 2020). Wir konnten ebenso zeigen, dass ein hochsignifikanter Einfluss auf die Erfolgsaussichten einer PAE besteht. Innerhalb der Gruppen mit Interventionalisten ähnlicher Erfahrung fallen die Unterschiede jedoch weniger stark und teilweise nicht mehr signifikant aus. Hieraus folgern wir, dass nach einer initialen Lernkurve, die mutmaßlich mehrere Jahre und wahrscheinlich mehr als einhundert PAEs beträgt, tatsächlich die kumulative interventionelle Expertise des jeweiligen Untersuchers maßgeblich für die Erfolgsrate der PAE sein könnte. Problematisch bei der Auswertung hinsichtlich der Interventionalisten in unserem Kollektiv ist, dass die Anzahl der durchgeführten PAEs je nach Interventionalist inhomogen verteilt ist (46 – 302 PAEs je nach Interventionalist). Drei der fünf Interventionalisten in unserem Team führten alleine im für diese Studie betrachteten Zeitraum mehr als 250 PAEs durch. Hieraus sollte folgen, dass die PAE als Behandlungsmethode nur in Einrichtungen Anwendung findet, die eine besondere Expertise im Bereich der interventionellen Radiologie und insbesondere im Gebiet der PAE haben.

Alter:

Wie bereits gezeigt werden konnte (du Pisanie et al., 2019), fanden auch wir einen hochsignifikanten Einfluss des Alters auf das technische Outcome. Grund hierfür scheint die zunehmende Häufigkeit von Komorbiditäten mit fortschreitendem Alter zu sein. Als hierfür spezialisierte Vorhersagevariablen wurden die mit erhöhtem Alter erhöht assoziierten SITG sowie Atherosklerose diskutiert (du Pisanie et al., 2019). Laut der Arbeit von Pisanie et al. sind primär die SITG und Atherosklerose verantwortlich für das schlechtere Outcome und nicht andere mit dem Alter assoziierte nicht berücksichtigte Kovariaten (du Pisanie et al., 2019). Lintin et al. widersprechen dieser Aussage teilweise, da sie zeigen konnten, dass in ihrem Kollektiv kein signifikanter Einfluss auf die Erfolgsaussichten der PAE in Abhängigkeit vom Grad der Atherosklerose bestand und ggf. doch andere Kovariaten einen relevanten Einfluss auf die Erfolgsaussichten der PAE haben (Lintin et al., 2021). Um dies im Verlauf weiter zu überprüfen, sollte anhand eines großen Kollektivs eine entsprechende Subgruppenanalyse durchgeführt werden.

BMI:

Der BMI als Prognosevariable für eine erfolgreiche PAE zeigt keinen signifikanten Einfluss. Hingegen konnte von anderen Autoren gezeigt werden, dass selbstverständlich ein Einfluss des BMI auf Outcomeparameter wie das DAP besteht (du Pisanie et al., 2019).

5.4 Fazit und Perspektiven

Die BPH ist eine ausgesprochen häufige Erkrankung der alternden männlichen Bevölkerung (McVary, 2006). Der aus einer BPH resultierende Symptomkomplex, bekannt als LUTS, kann erhebliche Einschränkungen von Lebensqualität sowie ökonomische Schäden mit sich bringen (Wei et al., 2005, Hafner et al., 2019). Unter zahlreichen Therapieoptionen für LUTS bei BPH etabliert sich die PAE zunehmend als eine minimalinvasive interventionelle Therapieoption.

Verschiedene Studien haben berichtet, dass die Anatomie der PA komplex und interindividuell sehr heterogen ist. Deshalb war eine 2015 durch de Assis et al. eingeführte einheitliche Klassifikation (de Assis et al., 2015) ein wichtiger Schritt in der Weiterentwicklung des Verfahrens. In Folgestudien wurden durch abweichende Ergebnisse von der Originalpublikation die Verteilung der PA-Typen infrage gestellt und es wurden mit zunehmender Verbreitung des Verfahrens Parameter postuliert, welche einen Einfluss auf klinisches und technisches Outcome des Verfahrens haben. Unser Ziel war einerseits die Überprüfung der Verteilung der etablierten anatomischen Varianten. Andererseits sollten vordefinierte Variablen auf Ihren Einfluss auf den Erfolg der PAE untersucht werden.

Es gelang uns zu zeigen, dass die Verteilung der PA-Typen sich relevant von der Originalpublikation unterscheidet. Weiterhin konnten wir darlegen, dass mit unserer Methode eine sehr gute Übereinstimmung zwischen verschiedenen Befundergruppen gegeben ist.

Wir konnten klassische Versagensursachen der PAE nachweisen und diese quantifizieren. Hinsichtlich der Evaluation, inwieweit vordefinierte Variablen Einfluss auf den technischen Erfolg der PAE haben, ergab sich Folgendes:

Die besten Chancen einer erfolgreichen PAE haben eher jüngere Patienten, die von einem sehr erfahrenen interventionellen Radiologen behandelt werden und bei denen PA-Typen vorliegen, die nicht einem Typ I oder Typ VI entsprechen.

In Ergänzung zu unseren Daten legen andere Studien nahe, dass Patienten mit großen Prostatae, Prostataarterien mit großem Diameter sowie geringer Atherosklerose und Tortuosität der Prostataarterie optimale Kandidaten für die PAE sein könnten (du Pisanie et al., 2019, Hacking et al., 2019, Enderlein et al., 2020, Lintin et al., 2021, Young, 2021). Trotz aller Faktoren, die die Erfolgsrate beeinflussen, sollte jedoch berücksichtigt werden, dass bei insgesamt hohen Erfolgsraten es fraglich ist, ob aufgrund des Vorliegens einer oder mehrerer negativer Prädiktoren Patienten von der PAE abgeraten werden sollte. Vielmehr ist es wahrscheinlich sinnvoll, auf diese Faktoren im Aufklärungsgespräch aufmerksam zu machen, um dann gemeinsam mit dem Patienten diese Faktoren in Abwägung von Nutzen und Risiko zu diskutieren und zu überlegen, ob insbesondere bei mehreren ungünstigen Faktoren eine urologisch-operative Behandlung ggf. vorteilhafter ist, trotz eines insgesamt höheren Risikos für unerwünschte Nebenwirkungen (Knight et al., 2021). Bezüglich der anatomischen Parameter erscheint eine Voruntersuchung mittels CT-Angiographie jedoch nur eingeschränkt sinnvoll, da zwar die Anatomie gut dargestellt werden kann, jedoch die Untersuchung dadurch nicht kürzer oder interventionell weniger komplex wird (Steffen et al., 2022).

6 Zusammenfassung

Die BPH ist eine sehr häufige Erkrankung der alternden männlichen Bevölkerung. Sie geht zumeist mit Symptomen in Form von LUTS einher und kann die Lebensqualität der betroffenen Personen erheblich einschränken. Zur Behandlung stehen verschiedene konservativ medikamentöse als auch operative oder interventionelle Therapieansätze zur Verfügung. Die PAE hat sich darunter als effektive und nebenwirkungsarme Alternative zum operativen Goldstandard, der TURP, etabliert. Um eine optimale Therapie mittels PAE zu erreichen, ist eine fundierte Kenntnis der Anatomie eine unverzichtbare Voraussetzung. Weiterhin wurden in der Literatur verschiedene Einflussvariablen von Patienten diskutiert, welche einen Einfluss auf das technische Outcome der PAE haben. Die bisherige Studienlage hinsichtlich der Klassifikation der Anatomie der PA sowie der genannten Outcomeparameter sind jedoch heterogener Natur.

Ziel der vorliegenden Studie war deshalb zu evaluieren, wie sich die PA-Typen Verteilung in einem größeren Kollektiv im Vergleich zur bekannten Literatur verhält. Ebenso sollten fünf Variablen (PA-Typ/Interventionalist/klassische Anatomie/Alter/BMI) auf Ihren Einfluss auf das technische Outcome untersucht werden. Wir konnten am laut unserer Kenntnis bisher größten hierzu untersuchten Patientenkollektiv, bestehend aus 519 Patienten und 969 klassifizierten PAs zeigen, dass die Verteilung der PA-Varianten in unserem Kollektiv von der initialen Studie von de Assis et al. abweicht. So war die Verteilung der PA-Typen von I-V in unserem Fall 42,7 %, 12,5 %, 16,4 %, 24,1 % und 2,5 %. Eine interventionell relevante Doppelversorgung (Typ VI) lag in 1,8 % der Fälle vor. Der technische Erfolg in unserem Kollektiv lag bei 85,4 % (875/1024) der zu embolisierenden PAs. Von den an 519 Patienten durchgeführten Interventionen waren 73,2 % bilateral, 22,6 % unilateral und 4,2 % Therapieversager. Wir konnten Outcomeparameter identifizieren, welche einen signifikanten Einfluss auf die Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Embolisation haben. Hier zeigt sich, dass sowohl der PA-Typ ($p=.008$), der Interventionalist ($p<.001$) als auch das Patientenalter ($p=.003$) relevante Faktoren für den technischen Erfolg sind. Hingegen konnte für zwei andere Faktoren, den BMI ($p=.419$), als auch das Vorliegen einer klassischen Anatomie der AII ($p=.118$) kein Einfluss auf den technischen Erfolg nachgewiesen werden. Zusammenfassend zeigen unsere Daten eine andere Verteilung der PA-Anatomie als in vorherigen Studien und wir konnten drei Faktoren (Alter/Interventionalist/PA-Typ) identifizieren welche einen Einfluss auf die Erfolgchancen der PAE haben.

7 Summary

BPH is a very common disease in the aging male population. It is usually associated with symptoms known as LUTS and therefore can significantly limit quality of life of the affected individuals. A wide variety of treatment options ranging from conservative medical, to surgical and interventional therapy approaches are available. Among these, PAE has established itself in recent years as an effective alternative with fewer side effects compared to the gold standard of surgical treatment, being TURP. In order to achieve optimal results with PAE one must possess thorough knowledge of pelvic vascular anatomy. Besides that, different variables that influence PAE outcome have been discussed in recent publications and literature. Previous studies regarding the classification of the anatomy of PA, as well as the mentioned outcome parameters are heterogeneous in nature, though.

Therefore, the aim of this study was to evaluate how the PA-type distribution behaves in a larger collective with an optimized examination pathway compared to the so far published data from other authors. Furthermore we investigated whether five predefined variables (PA type/interventionalist/classical anatomy/age/BMI) influence technical outcome in PAE.

Distribution of the PA types in our collective deviated considerably from the initial study by de Assis et al. in the largest patient collective investigated to date, consisting of 519 patients and 969 classified PAs. Thus, the distribution of PA types from I to V in our case was 42,7 %, 12,5 %, 16,4 %, 24,1 % and 2,5 %. We furthermore did define a Typ VI which was apparent in 1,8 % of cases and is characterized by an independent double vascularization of the central prostatic gland. Technical success was achieved in 85,4 % of PAs to be embolized. Out of the 519 patients included in the study 73,2 % were embolized bilateral, 22,6 % unilateral and 4,2 % were technical failure. We identified outcome variables, that had a significant impact on the likelihood of successful embolization. Here, we found that PA-type ($p=.008$), Interventionalist ($p<.001$) as well as patient age ($p=.003$) were relevant factors for technical success. Whereas the two other assessed variables, BMI ($p=.419$) and classical anatomy of the internal iliac artery ($p=.118$), did not influence technical success significantly.

In summary, our data showed a different distribution of PA anatomy than in previously published studies and we identified three factors (PA type/ interventionalist/age) that influenced technical success in PAE.

8 Abkürzungsverzeichnis

A.	<i>Arteria</i>
Ae.	<i>Arteriae</i>
AEI	<i>A. epigastrica inferior</i>
AFC	<i>A. femoralis communis</i>
AIC	<i>A. iliaca communis</i>
AIE	<i>A. iliaca externa</i>
AII	<i>A. iliaca interna</i>
AK	<i>Air Kerma</i>
API	<i>A. pudenda interna</i>
AVI	<i>A. vesicalis inferior</i>
AVS	<i>A. vesicalis superior</i>
<i>b</i>	<i>Regressionskoeffizient</i>
BOO	<i>Blasenauslassobstruktion (engl. bladder outlet obstruction)</i>
BPH	<i>benigne Prostatahyperplasie</i>
CBCT	<i>Cone Beam CT</i>
CI	<i>Konfidenzintervalle</i>
CT	<i>Computertomographie</i>
CV	<i>applizierte Kontrastmittelmenge (engl. contrast volume)</i>
DAP	<i>Dosisflächenprodukt (engl. dose area product)</i>
DRU	<i>digital rektale Untersuchung</i>
DSA	<i>digitale Subtraktionsangiographie</i>
FT	<i>Fluoroskopiezeit (engl. fluoroscopy time)</i>
GLMM	<i>Generalisiert linear gemischtes Modell</i>
HoLEP	<i>Holmiumlaser-Enuklation der Prostata</i>
IPSS	<i>International Prostate Symptom Score</i>
KIS	<i>Krankenhausinformationssystem</i>
LUTS	<i>lower urinary tract symptoms</i>
<i>M</i>	<i>Mittelwert</i>
MRT	<i>Magnetresonanztomographie</i>
OAB	<i>überaktive Blase (engl. overactive bladder)</i>
OR	<i>Odds Ratio</i>
<i>p</i>	<i>Signifikanzniveau</i>

PA	<i>Prostataarterie</i>
PACS	<i>Picture Archiving and Communication System</i>
PAE	<i>Prostataarterienembolisation</i>
PAEs	<i>Prostataarterienembolisationen</i>
PAs	<i>Prostataarterien</i>
PSA	<i>Prostata-spezifisches Antigen</i>
PT	<i>Interventionsdauer (engl. procedure time)</i>
PUL	<i>Prostataurethraler-Lift</i>
PV	<i>Prostatavolumen</i>
PVR	<i>Restharn (engl. post-void residual)</i>
Qmax	<i>maximaler Harnfluss</i>
QoL	<i>Lebensqualität (engl. Quality of life)</i>
SD	<i>Standardabweichung</i>
SITG	<i>Gewundenheit der Iliakalgefäße (engl. subjective iliac tortuosity grade)</i>
ThuLEP	<i>Thuliumlaser-Enukleation der Prostata</i>
TUIP	<i>Transurethrale Inzision der Prostata</i>
TURP	<i>transurethralen Resektion der Prostata</i>
TUVP	<i>Transurethrale Elektrovaporisation</i>
κ	<i>Kappa-Koeffizient nach Cohen</i>
χ^2	<i>Chi-Quadrat-Test</i>

9 Literaturverzeichnis

- ABRAMS, P., CARDOZO, L., FALL, M., GRIFFITHS, D., ROSIER, P., ULMSTEN, U., VAN KERREBROECK, P., VICTOR, A., WEIN, A. & STANDARDISATION SUB-COMMITTEE OF THE INTERNATIONAL CONTINENCE, S. 2002. The standardisation of terminology of lower urinary tract function: report from the Standardisation Sub-committee of the International Continence Society. *Neurourol Urodyn*, 21, 167-78.
- ABT, D., MULLHAUPT, G., HECHELHAMMER, L., MARKART, S., GUSEWELL, S., SCHMID, H. P., MORDASINI, L. & ENGELER, D. S. 2021. Prostatic Artery Embolisation Versus Transurethral Resection of the Prostate for Benign Prostatic Hyperplasia: 2-yr Outcomes of a Randomised, Open-label, Single-centre Trial. *Eur Urol*, 80, 34-42.
- ALEXANDER, C. E., SCULLION, M. M., OMAR, M. I., YUAN, Y., MAMOULAKIS, C., N'DOW, J. M., CHEN, C. & LAM, T. B. 2019. Bipolar versus monopolar transurethral resection of the prostate for lower urinary tract symptoms secondary to benign prostatic obstruction. *Cochrane Database Syst Rev*, 12, CD009629.
- AMOUYAL, G., PELLERIN, O., DEL GIUDICE, C., DEAN, C., THIOUNN, N. & SAPOVAL, M. 2018. Variants of Patterns of Intra- and Extra-prostatic Arterial Distribution of the Prostatic Artery Applied to Prostatic Artery Embolization: Proposal of a Classification. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 41, 1664-1673.
- ANDRADE, G., KHOURY, H. J., GARZON, W. J., DUBOURCQ, F., BREDOW, M. F., MONSIGNORE, L. M. & ABUD, D. G. 2017. Radiation Exposure of Patients and Interventional Radiologists during Prostatic Artery Embolization: A Prospective Single-Operator Study. *J Vasc Interv Radiol*, 28, 517-521.
- ANDRIOLE, G., BRUCHOVSKY, N., CHUNG, L. W., MATSUMOTO, A. M., RITTMASER, R., ROEHRBORN, C., RUSSELL, D. & TINDALL, D. 2004. Dihydrotestosterone and the prostate: the scientific rationale for 5alpha-reductase inhibitors in the treatment of benign prostatic hyperplasia. *J Urol*, 172, 1399-403.
- BAGLA, S., RHOLL, K. S., STERLING, K. M., VAN BREDA, A., PAPADOURIS, D., COOPER, J. M. & VAN BREDA, A. 2013. Utility of cone-beam CT imaging in prostatic artery embolization. *J Vasc Interv Radiol*, 24, 1603-7.
- BALCERZAK, A., HAJDYS, J., SHANE TUBBS, R., KARAUDA, P., GEORGIEV, G. P. & OLEWNIK, L. 2022. Clinical importance of variability in the branching pattern of the internal iliac artery - An updated and comprehensive review with a new classification proposal. *Ann Anat*, 239, 151837.
- BARRAL, M., GARDAVAUD, F., LASSALLE, L., AMMAR, M. B., NAJDAWI, M., RAZAKAMANANTSOA, L., RENARD-PENNA, R., CUSSENOT, O. & CORNELIS, F. H. 2021. Limiting radiation exposure during prostatic arteries embolization: influence of patient characteristics, anatomical conditions, and technical factors. *Eur Radiol*, 31, 6471-6479.

- BERRY, S. J., COFFEY, D. S., WALSH, P. C. & EWING, L. L. 1984. The development of human benign prostatic hyperplasia with age. *J Urol*, 132, 474-9.
- BILHIM, T., CASAL, D., FURTADO, A., PAIS, D., O'NEILL, J. E. & PISCO, J. M. 2011a. Branching patterns of the male internal iliac artery: imaging findings. *Surg Radiol Anat*, 33, 151-9.
- BILHIM, T., PEREIRA, J. A., FERNANDES, L., RIO TINTO, H. & PISCO, J. M. 2014. Angiographic anatomy of the male pelvic arteries. *AJR Am J Roentgenol*, 203, W373-82.
- BILHIM, T., PISCO, J., PEREIRA, J. A., COSTA, N. V., FERNANDES, L., CAMPOS PINHEIRO, L., DUARTE, M. & OLIVEIRA, A. G. 2016. Predictors of Clinical Outcome after Prostate Artery Embolization with Spherical and Nonspherical Polyvinyl Alcohol Particles in Patients with Benign Prostatic Hyperplasia. *Radiology*, 281, 289-300.
- BILHIM, T., PISCO, J., RIO TINTO, H., FERNANDES, L., CAMPOS PINHEIRO, L., DUARTE, M., PEREIRA, J. A., OLIVEIRA, A. G. & O'NEILL, J. 2013. Unilateral versus bilateral prostatic arterial embolization for lower urinary tract symptoms in patients with prostate enlargement. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 36, 403-11.
- BILHIM, T., PISCO, J. M., FURTADO, A., CASAL, D., PAIS, D., PINHEIRO, L. C. & O'NEILL, J. E. 2011b. Prostatic arterial supply: demonstration by multirow detector angio CT and catheter angiography. *Eur Radiol*, 21, 1119-26.
- BILHIM, T., PISCO, J. M., RIO TINTO, H., FERNANDES, L., PINHEIRO, L. C., FURTADO, A., CASAL, D., DUARTE, M., PEREIRA, J., OLIVEIRA, A. G. & O'NEILL, J. E. 2012. Prostatic arterial supply: anatomic and imaging findings relevant for selective arterial embolization. *J Vasc Interv Radiol*, 23, 1403-15.
- CARNEVALE, F. C., ANTUNES, A. A., DA MOTTA LEAL FILHO, J. M., DE OLIVEIRA CERRI, L. M., BARONI, R. H., MARCELINO, A. S., FREIRE, G. C., MOREIRA, A. M., SROUGI, M. & CERRI, G. G. 2010. Prostatic artery embolization as a primary treatment for benign prostatic hyperplasia: preliminary results in two patients. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 33, 355-61.
- CARNEVALE, F. C., ISCAIFE, A., YOSHINAGA, E. M., MOREIRA, A. M., ANTUNES, A. A. & SROUGI, M. 2016. Transurethral Resection of the Prostate (TURP) Versus Original and PErFecTED Prostate Artery Embolization (PAE) Due to Benign Prostatic Hyperplasia (BPH): Preliminary Results of a Single Center, Prospective, Urodynamic-Controlled Analysis. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 39, 44-52.
- CARNEVALE, F. C., MCCLURE, T., CADOUR, F., VIDAL, V., DE ASSIS, A. M., MOREIRA, A. M., ROCHA, A. D. D., REBET, A. & NUTTING, C. 2021. Advanced image guidance for prostatic artery embolization - a multicenter technical note. *CVIR Endovasc*, 4, 63.

- CARNEVALE, F. C., MOREIRA, A. M. & ANTUNES, A. A. 2014. The "PErFecTED technique": proximal embolization first, then embolize distal for benign prostatic hyperplasia. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 37, 1602-5.
- CARNEVALE, F. C., MOREIRA, A. M., DE ASSIS, A. M., ANTUNES, A. A., CRISTINA DE PAULA RODRIGUES, V., SROUGI, M. & CERRI, G. G. 2020. Prostatic Artery Embolization for the Treatment of Lower Urinary Tract Symptoms Due to Benign Prostatic Hyperplasia: 10 Years' Experience. *Radiology*, 296, 444-451.
- CARNEVALE, F. C., SOARES, G. R., DE ASSIS, A. M., MOREIRA, A. M., HARWARD, S. H. & CERRI, G. G. 2017. Anatomical Variants in Prostate Artery Embolization: A Pictorial Essay. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 40, 1321-1337.
- CLEGG, E. J. 1955. The arterial supply of the human prostate and seminal vesicles. *J Anat*, 89, 209-16.
- CORNELIS, F. H., BILHIM, T., HACKING, N., SAPOVAL, M., TAPPING, C. R. & CARNEVALE, F. C. 2020. CIRSE Standards of Practice on Prostatic Artery Embolisation. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 43, 176-185.
- DE ASSIS, A. M., MOREIRA, A. M., DE PAULA RODRIGUES, V. C., HARWARD, S. H., ANTUNES, A. A., SROUGI, M. & CARNEVALE, F. C. 2015. Pelvic Arterial Anatomy Relevant to Prostatic Artery Embolisation and Proposal for Angiographic Classification. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 38, 855-61.
- DE LA ROSETTE, J. J., WITJES, W. P., SCHAFFER, W., ABRAMS, P., DONOVAN, J. L., PETERS, T. J., MILLARD, R. J., FRIMODT-MOLLER, C. & KALOMIRIS, P. 1998. Relationships between lower urinary tract symptoms and bladder outlet obstruction: results from the ICS-"BPH" study. *Neurourol Urodyn*, 17, 99-108.
- DEMERITT, J. S., ELMASRI, F. F., ESPOSITO, M. P. & ROSENBERG, G. S. 2000. Relief of benign prostatic hyperplasia-related bladder outlet obstruction after transarterial polyvinyl alcohol prostate embolization. *J Vasc Interv Radiol*, 11, 767-70.
- DEMERITT, J. S., WAJSWOL, E., WATTAMWAR, A., OSIASON, A., CHERVONIKNAPP, T. & ZAMUDIO, S. 2018. Duplicated Prostate Artery Central Gland Blood Supply: A Retrospective Analysis and Classification System. *J Vasc Interv Radiol*, 29, 1595-1600 e9.
- DU PISANIE, J., ABUMOUSA, A., DONOVAN, K., STEWART, J., BAGLA, S. & ISAACSON, A. 2019. Predictors of Prostatic Artery Embolization Technical Outcomes: Patient and Procedural Factors. *J Vasc Interv Radiol*, 30, 233-240.
- EL TAYEB, M. M., JACOB, J. M., BHOJANI, N., BAMMERLIN, E. & LINGEMAN, J. E. 2016. Holmium Laser Enucleation of the Prostate in Patients Requiring Anticoagulation. *J Endourol*, 30, 805-9.

- ELDEM, F. G., ATAK, F., OCAL, O., BOZACI, A. C., A, G. U. & PEYNIRCIOGLU, B. 2020. Angiographic prostatic arterial anatomy in Turkish population with benign prostatic hyperplasia. *Turk J Med Sci*.
- ELDEM, F. G., ATAK, F., OCAL, O., BOZACI, A. C., GUDELOGLU, A. & PEYNIRCIOGLU, B. 2021. Angiographic prostatic arterial anatomy in a Turkish population with benign prostatic hyperplasia. *Turk J Med Sci*, 51, 518-522.
- ENDERLEIN, G. F., LEHMANN, T., VON RUNDSTEDT, F. C., ASCHENBACH, R., GRIMM, M. O., TEICHGRABER, U. & FRANIEL, T. 2020. Prostatic Artery Embolization-Anatomic Predictors of Technical Outcomes. *J Vasc Interv Radiol*, 31, 378-387.
- FLANIGAN, R. C., REDA, D. J., WASSON, J. H., ANDERSON, R. J., ABDELLATIF, M. & BRUSKEWITZ, R. C. 1998. 5-year outcome of surgical resection and watchful waiting for men with moderately symptomatic benign prostatic hyperplasia: a Department of Veterans Affairs cooperative study. *J Urol*, 160, 12-6; discussion 16-7.
- FOSTER, H. E., BARRY, M. J., DAHM, P., GANDHI, M. C., KAPLAN, S. A., KOHLER, T. S., LERNER, L. B., LIGHTNER, D. J., PARSONS, J. K., ROEHRBORN, C. G., WELLIVER, C., WILT, T. J. & MCVARY, K. T. 2018. Surgical Management of Lower Urinary Tract Symptoms Attributed to Benign Prostatic Hyperplasia: AUA Guideline. *J Urol*, 200, 612-619.
- FRENK, N. E., BARONI, R. H., CARNEVALE, F. C., GONCALVES, O. M., ANTUNES, A. A., SROUGI, M. & CERRI, G. G. 2014. MRI findings after prostatic artery embolization for treatment of benign hyperplasia. *AJR Am J Roentgenol*, 203, 813-21.
- GAO, Y. A., HUANG, Y., ZHANG, R., YANG, Y. D., ZHANG, Q., HOU, M. & WANG, Y. 2014. Benign prostatic hyperplasia: prostatic arterial embolization versus transurethral resection of the prostate--a prospective, randomized, and controlled clinical trial. *Radiology*, 270, 920-8.
- GARCIA-MONACO, R., GARATEGUI, L., KIZILEVSKY, N., PERALTA, O., RODRIGUEZ, P. & PALACIOS-JARAQUEMADA, J. 2014. Human cadaveric specimen study of the prostatic arterial anatomy: implications for arterial embolization. *J Vasc Interv Radiol*, 25, 315-22.
- GEAVLETE, B., BULAI, C., ENE, C., CHECHERITA, I. & GEAVLETE, P. 2015. Bipolar vaporization, resection, and enucleation versus open prostatectomy: optimal treatment alternatives in large prostate cases? *J Endourol*, 29, 323-31.
- GRATZKE, C., BARBER, N., SPEAKMAN, M. J., BERGES, R., WETTERAUER, U., GREENE, D., SIEVERT, K. D., CHAPPLE, C. R., PATTERSON, J. M., FAHRENKRUG, L., SCHOENTHALER, M. & SONKSEN, J. 2017. Prostatic urethral lift vs transurethral resection of the prostate: 2-year results of the BPH6 prospective, multicentre, randomized study. *BJU Int*, 119, 767-775.

- GRAVAS, S., CORNU, J. N., GACCI, M., GRATZKE, C., HERRMANN, T. R. W., MAMOULAKIS, C., RIEKEN, M., SPEAKMAN, M. J. & TIKKINEN, K. A. O. 2020. EAU Guidelines on Management of Non-Neurogenic Male Lower Urinary Tract Symptoms (LUTS), incl. Benign Prostatic Obstruction (BPO) 2020. *European Association of Urology Guidelines. 2020 Edition*. Arnhem, The Netherlands: European Association of Urology Guidelines Office.
- HACKING, N., VIGNESWARAN, G., MACLEAN, D., MODI, S., DYER, J., HARRIS, M. & BRYANT, T. 2019. Technical and Imaging Outcomes from the UK Registry of Prostate Artery Embolization (UK-ROPE) Study: Focusing on Predictors of Clinical Success. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 42, 666-676.
- HAFNER, M., POLLARD, J., TROXEL, W. M., YERUSHALMI, E., FAYS, C., WHITMORE, M. & VAN STOLK, C. 2019. *How frequent night-time bathroom visits can negatively impact sleep, well-being and productivity: Examining the associations between nocturia, well-being and economic outcomes in a working-age population*, RAND Corporation.
- HAN, H. C. 2012. Twisted blood vessels: symptoms, etiology and biomechanical mechanisms. *J Vasc Res*, 49, 185-97.
- HOFFMANN, R. M. 2021. *Screening for prostate cancer* [Online]. Available: https://www.uptodate.com/contents/screening-for-prostate-cancer?search=psa&topicRef=7568&source=see_link#H166533446 [Accessed January 04, 2022].
- INSAUSTI, I., SAEZ DE OCARIZ, A., GALBETE, A., CAPDEVILA, F., SOLCHAGA, S., GIRAL, P., BILHIM, T., ISAACSON, A., URTASUN, F. & NAPAL, S. 2020. Randomized Comparison of Prostatic Artery Embolization versus Transurethral Resection of the Prostate for Treatment of Benign Prostatic Hyperplasia. *J Vasc Interv Radiol*, 31, 882-890.
- KIRBY, R. S. 2000. The natural history of benign prostatic hyperplasia: what have we learned in the last decade? *Urology*, 56, 3-6.
- KNIGHT, G. M., TALWAR, A., SALEM, R. & MOULI, S. 2021. Systematic Review and Meta-analysis Comparing Prostatic Artery Embolization to Gold-Standard Transurethral Resection of the Prostate for Benign Prostatic Hyperplasia. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 44, 183-193.
- KOVACS, A., BUCKER, A., GRIMM, M. O., HABERMANN, C. R., KATOH, M., MASSMANN, A., MAHNKEN, A. H., MEYER, B. C., MOCHE, M., REIMER, P., TEICHGRABER, U., WACKER, F. K. & IN ZUSAMMENARBEIT MIT DER DE, G. I. R. L. W. U. D. D.-V. 2020. Position Paper of the German Society for Interventional Radiology (DeGIR) on Prostatic Artery Embolization. *Rofö*, 192, 835-846.

- KRIECHENBAUER, B. M. T., FRANIEL, T., BURCKENMEYER, F., ASCHENBACH, R., DIAMANTIS, I., MALOUHI, A., STEINIGER, B. & TEICHGRABER, U. 2020. Influence of Interventionists' Experience on Radiation Exposure of Patients Who Underwent Prostate Artery Embolization: 4-Year Results from a Retrospective, Single-Center Study. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 43, 1194-1201.
- KUNTZ, R. M., AHYAI, S., LEHRICH, K. & FAYAD, A. 2004. Transurethral holmium laser enucleation of the prostate versus transurethral electrocautery resection of the prostate: a randomized prospective trial in 200 patients. *J Urol*, 172, 1012-6.
- KUNTZ, R. M., LEHRICH, K. & AHYAI, S. A. 2008. Holmium laser enucleation of the prostate versus open prostatectomy for prostates greater than 100 grams: 5-year follow-up results of a randomised clinical trial. *Eur Urol*, 53, 160-6.
- LANDIS, J. R. & KOCH, G. G. 1977. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33, 159-74.
- LERNER, L. B., MCVARY, K. T., BARRY, M. J., BIXLER, B. R., DAHM, P., DAS, A. K., GANDHI, M. C., KAPLAN, S. A., KOHLER, T. S., MARTIN, L., PARSONS, J. K., ROEHRBORN, C. G., STOFFEL, J. T., WELIVER, C. & WILT, T. J. 2021. Management of Lower Urinary Tract Symptoms Attributed to Benign Prostatic Hyperplasia: AUA GUIDELINE PART II-Surgical Evaluation and Treatment. *J Urol*, 206, 818-826.
- LINTIN, L., BARGE, T., BOARDMAN, P., TONG, G. & TAPPING, C. 2021. Predictors of technical outcome for prostatic artery embolisation using pre-procedural CT angiography. *Eur Radiol*, 31, 1308-1315.
- LITTLE, M. W., MACDONALD, A. C., BOARDMAN, P., BRATBY, M. J., ANTHONY, S., HADI, M. & TAPPING, C. R. 2018. Effects of Sublingual Glyceril Trinitrate Administration on the Quality of Preprocedure CT Angiography Performed to Plan Prostate Artery Embolization. *J Vasc Interv Radiol*, 29, 225-228.
- LOURENCO, T., SHAW, M., FRASER, C., MACLENNAN, G., N'DOW, J. & PICKARD, R. 2010. The clinical effectiveness of transurethral incision of the prostate: a systematic review of randomised controlled trials. *World J Urol*, 28, 23-32.
- MALAEB, B. S., YU, X., MCBEAN, A. M. & ELLIOTT, S. P. 2012. National trends in surgical therapy for benign prostatic hyperplasia in the United States (2000-2008). *Urology*, 79, 1111-6.
- MAMATHA, H., HEMALATHA, B., VINODINI, P., SOUZA, A. S. & SUHANI, S. 2015. Anatomical Study on the Variations in the Branching Pattern of Internal Iliac Artery. *Indian J Surg*, 77, 248-52.

- MCCONNELL, J., ROEHRBORN, C., BAUTISTA, O., ANDRIOLE, G., DIXON, C., KUSEK, J., LEPOR, H., MCVARY, K., NYBERG, L., CLARKE, H., CRAWFORD, E. D., DIOKNO, A., FOLEY, J., FOSTER, H., JACOBS, S., KAPLAN, S., KREDER, K., LIEBER, M., LUCIA, M. S., MILLER, G., MENON, M., MILAM, D., RAMSDELL, J., SCHENKMAN, N., SLAWIN, K. & SMITH, J. 2003. The long-term effect of doxazosin, finasteride, and combination therapy on the clinical progression of benign prostatic hyperplasia. *The New England Journal of Medicine*, 349, 2387-2398.
- MCCONNELL, J. D., BRUSKEWITZ, R., WALSH, P., ANDRIOLE, G., LIEBER, M., HOLTGREWE, H. L., ALBERTSEN, P., ROEHRBORN, C. G., NICKEL, J. C., WANG, D. Z., TAYLOR, A. M. & WALDSTREICHER, J. 1998. The effect of finasteride on the risk of acute urinary retention and the need for surgical treatment among men with benign prostatic hyperplasia. Finasteride Long-Term Efficacy and Safety Study Group. *N Engl J Med*, 338, 557-63.
- MCVARY, K. T. 2006. BPH: epidemiology and comorbidities. *Am J Manag Care*, 12, S122-8.
- MCVARY, K. T., GANGE, S. N., SHORE, N. D., BOLTON, D. M., COWAN, B. E., BROWN, B. T., TE, A. E., CHIN, P. T., RUKSTALIS, D. B., ROEHRBORN, C. G. & INVESTIGATORS, L. I. F. T. S. 2014. Treatment of LUTS secondary to BPH while preserving sexual function: randomized controlled study of prostatic urethral lift. *J Sex Med*, 11, 279-87.
- MCVARY, K. T., MONNIG, W., CAMPS, J. L., JR., YOUNG, J. M., TSENG, L. J. & VAN DEN ENDE, G. 2007. Sildenafil citrate improves erectile function and urinary symptoms in men with erectile dysfunction and lower urinary tract symptoms associated with benign prostatic hyperplasia: a randomized, double-blind trial. *J Urol*, 177, 1071-7.
- MICHEL, M. C. & VRYDAG, W. 2006. Alpha1-, alpha2- and beta-adrenoceptors in the urinary bladder, urethra and prostate. *Br J Pharmacol*, 147 Suppl 2, S88-119.
- MOYA, C., CUESTA, J., FRIERA, A., GIL-VERNET SEDO, J. M. & VALDERRAMA-CANALES, F. J. 2017. Cadaveric and radiologic study of the anatomical variations of the prostatic arteries: A review of the literature and a new classification proposal with application to prostatectomy. *Clin Anat*, 30, 71-80.
- NAIDU, S. G., NARAYANAN, H., SAINI, G., SEGARAN, N., ALZUBAIDI, S. J., PATEL, I. J. & OKLU, R. 2021. Prostate Artery Embolization-Review of Indications, Patient Selection, Techniques and Results. *Journal of clinical medicine*, 10, 5139.
- NITTI, V. W., AUERBACH, S., MARTIN, N., CALHOUN, A., LEE, M. & HERSCHORN, S. 2013. Results of a randomized phase III trial of mirabegron in patients with overactive bladder. *J Urol*, 189, 1388-95.

- OU, R., YOU, M., TANG, P., CHEN, H., DENG, X. & XIE, K. 2010. A randomized trial of transvesical prostatectomy versus transurethral resection of the prostate for prostate greater than 80 mL. *Urology*, 76, 958-61.
- PARSONS, J. K., DAHM, P., KOHLER, T. S., LERNER, L. B. & WILT, T. J. 2020. Surgical Management of Lower Urinary Tract Symptoms Attributed to Benign Prostatic Hyperplasia: AUA Guideline Amendment 2020. *J Urol*, 204, 799-804.
- PISCO, J. M., BILHIM, T., PINHEIRO, L. C., FERNANDES, L., PEREIRA, J., COSTA, N. V., DUARTE, M. & OLIVEIRA, A. G. 2016. Medium- and Long-Term Outcome of Prostate Artery Embolization for Patients with Benign Prostatic Hyperplasia: Results in 630 Patients. *J Vasc Interv Radiol*, 27, 1115-22.
- PORST, H., KIM, E. D., CASABE, A. R., MIRONE, V., SECREST, R. J., XU, L., SUNDIN, D. P., VIKTRUP, L. & TEAM, L. S. 2011. Efficacy and safety of tadalafil once daily in the treatment of men with lower urinary tract symptoms suggestive of benign prostatic hyperplasia: results of an international randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *Eur Urol*, 60, 1105-13.
- QIU, Z., ZHANG, C., WANG, X., CHENG, K., LIANG, X., WANG, D., HOU, S. & WANG, X. 2017. Clinical evaluation of embolization of the superior vesical prostatic artery for treatment of benign prostatic hyperplasia: a single-center retrospective study. *Wideochir Inne Tech Maloinwazyjne*, 12, 409-416.
- RAY, A. F., POWELL, J., SPEAKMAN, M. J., LONGFORD, N. T., DASGUPTA, R., BRYANT, T., MODI, S., DYER, J., HARRIS, M., CAROLAN-REES, G. & HACKING, N. 2018. Efficacy and safety of prostate artery embolization for benign prostatic hyperplasia: an observational study and propensity-matched comparison with transurethral resection of the prostate (the UK-ROPE study). *BJU Int*, 122, 270-282.
- RICHARDSON, A. J., ACHARYA, V., KABLY, I. & BHATIA, S. 2020. Prostatic Artery Embolization: Variant Origins and Collaterals. *Tech Vasc Interv Radiol*, 23, 100690.
- RITTMASER, R. S., NORMAN, R. W., THOMAS, L. N. & ROWDEN, G. 1996. Evidence for atrophy and apoptosis in the prostates of men given finasteride. *J Clin Endocrinol Metab*, 81, 814-9.
- ROEHRBORN, C. G. 2006. Alfuzosin 10 mg once daily prevents overall clinical progression of benign prostatic hyperplasia but not acute urinary retention: results of a 2-year placebo-controlled study. *BJU Int*, 97, 734-41.
- ROEHRBORN, C. G., MCVARY, K. T., ELION-MBOUSSA, A. & VIKTRUP, L. 2008. Tadalafil administered once daily for lower urinary tract symptoms secondary to benign prostatic hyperplasia: a dose finding study. *J Urol*, 180, 1228-34.
- SANUDO, J. R., MIRAPEIX, R., RODRIGUEZ-NIEDENFUHR, M., MARANILLO, E., PARKIN, I. G. & VAZQUEZ, T. 2011. Obturator artery revisited. *Int Urogynecol J*, 22, 1313-8.

- SHAPIRO, E., BECICH, M. J., HARTANTO, V. & LEPOR, H. 1992. The relative proportion of stromal and epithelial hyperplasia is related to the development of symptomatic benign prostate hyperplasia. *J Urol*, 147, 1293-7.
- SONKSEN, J., BARBER, N. J., SPEAKMAN, M. J., BERGES, R., WETTERAUER, U., GREENE, D., SIEVERT, K. D., CHAPPLE, C. R., MONTORSI, F., PATTERSON, J. M., FAHRENKRUG, L., SCHOENTHALER, M. & GRATZKE, C. 2015. Prospective, randomized, multinational study of prostatic urethral lift versus transurethral resection of the prostate: 12-month results from the BPH6 study. *Eur Urol*, 68, 643-52.
- STEFFEN, P., WENTZ, R., THALER, C., HABERMANN, C. R. & ZEILE, M. 2022. Single-Center Retrospective Comparative Study Evaluating the Benefit of Computed Tomography Angiography Prior to Prostatic Artery Embolization. *Cardiovasc Intervent Radiol*.
- WANG, M. Q., DUAN, F., YUAN, K., ZHANG, G. D., YAN, J. & WANG, Y. 2017. Benign Prostatic Hyperplasia: Cone-Beam CT in Conjunction with DSA for Identifying Prostatic Arterial Anatomy. *Radiology*, 282, 271-280.
- WASSON, J. H., BUBOLZ, T. A., LU-YAO, G. L., WALKER-CORKERY, E., HAMMOND, C. S. & BARRY, M. J. 2000. Transurethral resection of the prostate among medicare beneficiaries: 1984 to 1997. For the Patient Outcomes Research Team for Prostatic Diseases. *J Urol*, 164, 1212-5.
- WASSON, J. H., REDA, D. J., BRUSKEWITZ, R. C., ELINSON, J., KELLER, A. M. & HENDERSON, W. G. 1995. A comparison of transurethral surgery with watchful waiting for moderate symptoms of benign prostatic hyperplasia. The Veterans Affairs Cooperative Study Group on Transurethral Resection of the Prostate. *N Engl J Med*, 332, 75-9.
- WEI, J. T., CALHOUN, E. & JACOBSEN, S. J. 2005. Urologic diseases in America project: benign prostatic hyperplasia. *J Urol*, 173, 1256-61.
- XIE, J. B., TAN, Y. A., WANG, F. L., XUAN, Q., SUN, Y. W., XIAO, J., ZHU, Y. P. & ZHOU, L. Y. 2014. Extraperitoneal laparoscopic adenectomy (Madigan) versus bipolar transurethral resection of the prostate for benign prostatic hyperplasia greater than 80 ml: complications and functional outcomes after 3-year follow-up. *J Endourol*, 28, 353-9.
- XUAN, H. N., HUY, H. D., BICH, N. N. T., HOANG, G. P., VAN, K. L., DUY, T. N., TRAN, T. A., NGA, V. T. & MINH, L. B. 2019. Anatomical Characteristics and Variants of Prostatic Artery in Patients of Benign Hyperplasia Prostate by Digital Subtraction Angiography. *Open Access Maced J Med Sci*, 7, 4204-4208.
- YAMAKI, K., SAGA, T., DOI, Y., AIDA, K. & YOSHIZUKA, M. 1998. A statistical study of the branching of the human internal iliac artery. *Kurume Med J*, 45, 333-40.
- YOUNG, S. 2021. Prostate artery embolization for benign prostatic hyperplasia: The hunt for the ideal patient population. *Diagn Interv Imaging*, 102, 119-120.

ZHANG, G., WANG, M., DUAN, F., YUAN, K., LI, K., YAN, J., CHANG, Z. & WANG, Y. 2015. Radiological Findings of Prostatic Arterial Anatomy for Prostatic Arterial Embolization: Preliminary Study in 55 Chinese Patients with Benign Prostatic Hyperplasia. *PLoS One*, 10, e0132678.

ZHONG, J., FENG, Z., PENG, Y. & LIANG, H. 2019. A Systematic Review and Meta-analysis of Efficacy and Safety Following Holmium Laser Enucleation of Prostate and Transurethral Resection of Prostate for Benign Prostatic Hyperplasia. *Urology*, 131, 14-20.

ZHU, Y., ZHUO, J., XU, D., XIA, S. & HERRMANN, T. R. 2015. Thulium laser versus standard transurethral resection of the prostate for benign prostatic obstruction: a systematic review and meta-analysis. *World J Urol*, 33, 509-15.

10 Abbildung- und Tabellenverzeichnis

Abbildungen:

Abbildung 1: Beschwerden bei LUTS in Anlehnung an Abrams et al., 2002	5
Abbildung 2: IPSS-Fragebogen in Anlehnung an Barry et al., 1992	7
Abbildung 3: IPSS-QoL-Fragebogen in Anlehnung an Barry et al., 1992.....	8
Abbildung 4: Klassische Anatomie der AII und Variationen der PA-Typen I-IV (aus de Assis et al., 2015)	17
Abbildung 5: Klassische Anatomie (schematische Darstellung)	18
Abbildung 6: DSA der AII links ipsilateral in 45° schräger Ansicht: A. iliaca interna mit klassischer Anatomie.....	18
Abbildung 7: DSA der AII links ipsilateral in 45° schräger Ansicht: A. obturatoria aus Truncus posterior.....	19
Abbildung 8: DSA der AII links ipsilateral in 45° schräger Ansicht: Darstellung einer atypischen AO aus dem Tr. posterior	20
Abbildung 9: weiter distale Sondierung der in Abbildung 8 dargestellten Gefäßsituation mit deutlicher Vergrößerung und Identifikation der A. prostatica (PA) (Typ III vs. Typ V) aus atypischer A. obturatoria (AO) aus Truncus posterior.....	20
Abbildung 10: A. prostatica (PA) als Corona mortis aus A. iliaca externa (AIE)	20
Abbildung 11: Veranschaulichung der verschiedenen Cone Beam CT Schemata und ihrer jeweiligen pelvinen Abdeckung	31
Abbildung 12: DSA und Cone Beam CT Aufnahmen vor und nach Embolisation	34
Abbildung 13: Histogramm Alter (in Jahren) zum Interventionszeitpunkt.....	39
Abbildung 14: Histogramm Body-Mass-Index	40
Abbildung 15: Vergleich Klassifikation PA nach Befunder	44
Abbildung 16: Versagensursachen der PA-Partikelembolisation	48
Abbildung 17: OR in Abhängigkeit der PA-Klassifikation.....	55
Abbildung 18: OR in Abhängigkeit des Interventionalisten	57
Abbildung 19: OR in Abhängigkeit der Klassischen Anatomie.....	58
Abbildung 20: OR in Abhängigkeit von BMI / Alter.....	59

Tabellen:

Tabelle 1: Anatomische Klassifikation der Prostataarterie (nach de Assis et al., 2015)	16
Tabelle 2: Deskriptive Statistik Patientenkollektiv	38
Tabelle 3: Alter zum Interventionszeitpunkt (nach Lebensdekaden).....	39
Tabelle 4: Anatomische Klassifikation Prostataarterie	41
Tabelle 5: Verteilung des Ursprungs der A. obturatoria	42
Tabelle 6: Klassifikation PA durch Interventionalisten	43
Tabelle 7: Klassifikation PA durch Doktoranden.....	43
Tabelle 8: Kreuztabelle zur Berechnung der Interraterreliabilität. Angaben in Anzahl der jeweiligen Fälle	44
Tabelle 9: Interraterreliabilität zwischen Konsensusteam und Interventionalisten/Doktorand	45
Tabelle 10: Endgültige PA-Typen im Falle eines Dissens zwischen Interventionalisten/Doktorand	45
Tabelle 11: Technischer Erfolg PA-Verschluss	46
Tabelle 12: Patientenbezogene Embolisationsergebnisse (mit Partikeln und/oder Coils)	47
Tabelle 13: Partikelembolisation	47
Tabelle 14: Patientenanzahl mit applizierten Coils nach PA-Klassifikation.....	49
Tabelle 15: Koeffizienten Tabelle für Coilapplikation in Abhängigkeit der PA- Klassifikation.....	50
Tabelle 16: Patientenanzahl mit durchgeführtem Such-CBCT nach PA-Klassifikation	51
Tabelle 17: Koeffizienten Tabelle für Such-CBCT in Abhängigkeit der PA- Klassifikation.....	52
Tabelle 18: Feste Modelleffekte der ins GLMM eingebrachten Variablen.....	53
Tabelle 19: Feste Koeffizienten für die Variable PA-Klassifikation	54
Tabelle 20: Geschätzte Wahrscheinlichkeiten erfolgreiche PAE in Abhängigkeit von der PA-Klassifikation	55
Tabelle 21: Feste Koeffizienten für die Variable Interventionalist	56
Tabelle 22: Geschätzte Randmittel PAE-Erfolg in Abhängigkeit vom Interventionalisten	57
Tabelle 23: Geschätzte Randmittel PAE-Erfolg in Abhängigkeit von Klassischer Anatomie.....	58

Tabelle 24: Feste Koeffizienten für die Variablen Klassische Anatomie/BMI/Lebensalter	59
Tabelle 25: Studien mit Klassifikation gemäß de Assis et al.	66
Tabelle 26: Studien mit Klassifikation unabhängig von de Assis et al.	67
Tabelle 27: Anatomische Klassifikation der Prostataarterie (nach de Assis et al., 2015)	73
Tabelle 28: Modifizierte de Assis Klassifikation der PA-Typen	73
Tabelle 29: Überblick technische Outcomestudien	77
Tabelle 30: Technischer Erfolg verschiedener Studien.....	81

11 Danksagung

Mein Dank geht an erster Stelle an meinen Doktorvater Prof. Dr. Christian R. Habermann, sowie meinen Betreuer Dr. M. Zeile. Beiden danke ich für die außerordentlich kollegiale und gute Zusammenarbeit. Aufgrund Ihres besonderen Einsatzes über den gesamten Zeitraum der Promotion, ob bei administrativen, technischen oder inhaltlichen Fragen, sowie durch die ausgesprochen hohe Flexibilität, was Termine und Beratungen angeht, wurde diese Arbeit in dem zeitlich ambitionierten Rahmen erst möglich.

Des Weiteren bedanke ich mich bei Herrn Prof. Dr. G. Adam für seine Funktion als Mitglied der Betreuungskommission.

Weiterhin bedanke ich mich bei Susanne Lezius vom Institut für Biometrie und Epidemiologie des Universitätsklinikums Eppendorf für die hervorragende Beratung und Konzeptionierung der statistischen Methoden und den Hilfestellungen im Verlauf der Arbeit.

Ein besonderer Dank gilt meiner Freundin Vanessa, die mich verständnisvoll über den Zeitraum der Promotion begleitet hat und ohne deren initiale Motivation diese Dissertation nicht zustande gekommen wäre.

Abschließend möchte ich meiner Familie und insbesondere meinen Eltern danken, die mich in allen Lebenslagen unterstützt und gefördert haben.

12 Lebenslauf

■ Persönliche Daten

Name: Gerau
Vornamen: Maximilian Hermann Hans
Geburtsdatum: 25.08.1989
Geburtsort: Landau i.d. Pfalz
Anschrift: Eythstraße 1, 76829 Landau
E-Mail: m8g9@protonmail.com

■ Facharztweiterbildung

09/2021 Facharzt für Innere Medizin seit 09/2021
10/2019 – 09/2021 Assistenzarzt Weiterbildung;
Katholisches Marienkrankenhaus Hamburg,
Zentrum für Innere Medizin;
Chefärzte:
Prof. Dr. U. Schäfer /Prof. Dr. U. Vanhoefer/ O.Borlich
07/2018 - 09/2019 Rotation Interdisziplinäre Intensivstation
Chefarzt: PD Dr. O. Detsch
10/2017 – 06/2018 Rotation internistisch geführte Zentrale Notaufnahme
Chefarzt: Dr. T. Möhle-Heinzel
03/2016 – 09/2019 Assistenzarzt Weiterbildung
Innere Medizin II (Schwerpunkt Kardiologie);
Asklepios Klinik Nord / Heidberg, Hamburg ;
Chefärzte: Dr. R. U. Mletzko / Prof. Dr. A. Ghanem

■ Bildung

Seit 2021 Promotionsstudium am Universitätsklinikum Hamburg
Eppendorf
2011 - 2015 Studium der Humanmedizin (Klinik) am Asklepios
Campus Hamburg mit Abschluss der 2. Ärztlichen
Prüfung am 10.07.2015 mit „cum laude“
2009 - 2011 Studium der Humanmedizin (Vorklinik) an der
Semmelweis Universität Budapest mit Abschluss der
1. Ärztlichen Prüfung am 29.06.2011, Note „cum laude“
2008 - 2009 medizinisches Vorbereitungsjahr am McDaniel College
Budapest (06.10.08-31.05.09)

1999 - 2008 Otto-Hahn-Gymnasium Landau mit Abschluss Abitur

■ Promotion

Promotion seit 2021 „Anatomische Varianten der arteriellen Versorgung der Prostata und deren Einfluss auf die Prostataarterienembolisation (PAE) - eine retrospektive, monozentrische Studie.“

Institut für Diagnostische und Interventionelle Radiologie am Marienkrankenhaus Hamburg;

Betreuung: Prof. Dr. C. Habermann, Dr. M. Zeile,
Prof. Dr. G. Adam

Diplomarbeit (2013 – 2015) „Lig.bracing- ein neues Konzept zur Erstversorgung von Knieluxationen“ mit der Note „summa cum laude“; Abteilung für Unfallchirurgie AK St. Georg, Hamburg
Betreuung: Prof. Dr. K.H. Frosch, Dr. M. Heitmann

■ Praktisches Jahr

2014 - 2015 Abschnitt Chirurgie: Royal Melbourne Hospital, Melbourne Australien (01/2015 – 03/2015);
Chefarzt: Prof. Rodney Judson
Innere Medizin, Gynäkologie, Pädiatrie, Psychiatrie, Neurologie, Zentrale Notaufnahme, Hausärztliche Praxis an den Lehrkrankenhäusern der Universität Hamburg

■ Famulaturen

2013 Chirurgie am Vinzentiuskrankenhaus Landau;
Chefarzt: Dr. Werthmann

2012 Innere Medizin/Gastroenterologie an der Harvard Medical School in Boston Massachusetts;
Chefarzt: Gyorgy Baffy, MD, PhD

Hamburg, den 13. Juni 2022

.....

Maximilian Gerau

13 Eidesstattliche Versicherung

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach Ausgabe (Auflage und Jahr des Erscheinens), Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe.

Ferner versichere ich, dass ich die Dissertation bisher nicht einem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.

Ich erkläre mich einverstanden, dass meine Dissertation vom Dekanat der Medizinischen Fakultät mit einer gängigen Software zur Erkennung von Plagiaten überprüft werden kann.

Unterschrift: