

Aus der Klinik für Diagnostische und Interventionelle Radiologie,

Universitätsklinikum des Saarlandes, Homburg/Saar

Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Arno Bücker M.Sc.

Ermittlung der Strahlenbelastung bei über einer halben Million radiologischer Interventionen an- hand des DeGIR Registers zur Qualitätssicherung

Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Humanmedizin

der Medizinischen Fakultät

der

UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

2022

vorgelegt von:

Sarah Zielberg

geb. am: 17.06.1989 in Mainz

Tag der Promotion: 05.06.2023

Dekan: Prof. Dr. M.D. Menger

1. Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. med. Arno Bückner M.Sc.

2. Berichterstatter: Prof. Dr. med. Claudia Rube

*Ich widme diese Arbeit meinen Eltern Claudia und Rainer Zielberg
sowie meiner Großmutter Lucie Pepping*

Inhaltsverzeichnis

1	ZUSAMMENFASSUNG	1
	Abstract	4
2	EINLEITUNG	7
	Ziel der Arbeit	8
3	MATERIAL UND METHODE	9
4	LITERATURÜBERSICHT	13
	Ergebnisse der Literaturrecherche.....	13
5	ERGEBNISSE	26
	Ablation.....	26
	Aneurysmabehandlung.....	28
	Arterielle Rekanalisation.....	29
	Diagnostische Punktion unter CT-Steuerung.....	31
	Drainagen	32
	Neurologische Interventionen	33
	Neurologische Rekanalisation.....	34
	Osteoplastie	36
	Gallengangsdrainagen	39
	Schmerztherapie	41
	PICC	43
	TIPS-Neuanlagen	44

Venöse Rekanalisation von Dialyseshuntis.....	45
Rekanalisation von Lungenarterien.....	46
TACE.....	47
TAE	49
TAC	50
Übersicht	51
6 DISKUSSION.....	54
Vergleich der eigenen Ergebnisse mit denen aus der Literatur.....	54
Kritische Betrachtung der eigenen Untersuchung.....	59
Schlussfolgerungen	60
7 PUBLIKATION / DANKSAGUNG	62
Publikation.....	62
Danksagung.....	62
8 LEBENSLAUF	63
9 LITERATURVERZEICHNIS	65
10 ABBILDUNGSVERZEICHNIS	72
11 ANHANG	73
Abkürzungen	73

1 Zusammenfassung

Ziel

Das Ziel dieser Promotionsarbeit ist die retrospektive Analyse der Daten der Jahre 2018-2020 hinsichtlich der Strahlenbelastung bei radiologischen Interventionen anhand des Registers der Deutschen Gesellschaft für interventionelle Radiologie zur Qualitätssicherung (DeGIR- QS Register). Die ermittelten Daten sollen zum einen mit existierenden Dosisrichtwerten verglichen werden. Zum anderen sollen für Interventionen, für die es noch keine Dosisrichtwerte gibt, Daten erhoben werden, die als Grundlage für die Festsetzung von Dosisrichtwerten dienen könnten. Des Weiteren sollen die Daten darüber Aufschluss geben, ob für Subgruppen von Interventionen abweichende Strahlenbelastungen gegenüber der Gesamtgruppe der einzelnen Intervention erhoben wurden, die das Erstellen von eigenen Dosisrichtwerten für die Subgruppen eventuell sinnvoll machen.

Wir analysierten die Daten hinsichtlich der Strahlenbelastung bei den folgenden Interventionen:

- Ablation
- Aneurysma-Behandlung inklusive endovaskuläre Aortenreparatur (EVAR), Endoleak, Dissektion
- arterielle Rekanalisation
- Diagnostische Punktion/ Arthrographie
- Drainagen
- neurologische Embolisation
- neurologische Rekanalisation
- Osteoplastie
- Gallengangsdrainagen
- Schmerz-/Infiltrationsbehandlung inklusive Neurolyse
- PICC-Neuanlage
- TIPSS (transjuguläre intrahepatische portosystemische Shunts)
- vaskuläre Therapie von Tumoren und Gefäßprozessen
- venöse Rekanalisation

Materialien und Methoden

Alle Datensätze aus dem DeGIR-Register aus den Jahren 2018 bis 2020 zu den Interventionen diagnostische Punktion, Drainagen, non-vaskuläre Rekanalisation/Rekonstruktion, Schmerz-/Infiltrationsbehandlung, TIPSS, PICC-Neuanlage und venöse Rekanalisation wurden nach den Kriterien Dosisflächenprodukt, Dosislängenprodukt sowie CTDI-Wert ausgewertet.

Der Datensatz zur Ablation wurde zusätzlich nach den Subgruppen thorakale und abdominale Ablation, der der Aneurysma-Behandlungen nach einfach thorakal und einfach abdominal sowie kompliziert thorakal und abdominal untersucht. Die Einträge zur TACE wurden ergänzend in die Untergruppen mit Cone-Beam-CT und ohne Cone-Beam-CT aufgeteilt sowie die zur arteriellen Rekanalisation in Regionen der Aa. iliacae, Aa. femorales und Unterschenkelarterien. Die Intervention Osteoplastie unterteilten wir in die Gruppen alleinige Steuerung mittels Durchleuchtung, alleinige CT-gesteuerte und durchleuchtungsgesteuerte Kontrolle mit CT-Steuerung. Die Ergebnisse werden in Form von deskriptiven Statistiken mit Medianen und Interquartilsbereich (IQR) dargestellt, errechnet mit Hilfe von Microsoft Excel. Die Informationen zur Strahlenexposition werden als Boxplots veranschaulicht.

Literaturübersicht

Die Literaturrecherche wurde in der Datenbank PubMed der National Library of Medicine mit den Suchbegriffen ("interventional radiology") AND ("radiation exposure") durchgeführt. Als weiterer Filter wurden nur englischsprachige und deutschsprachige klinische Studien identifiziert. Zur weiteren Eingrenzung des Datensatzes entschloss man sich, angesichts der fortschreitenden technischen Entwicklung des Strahlenschutzes innerhalb der Interventionellen Radiologie (IR) in den letzten Jahren, sich auf die Daten der letzten 10 Jahre sowie ausschließlich auf Studien über Menschen zu beschränken. Dieser Datensatz wurde nun analysiert, indem die Überschriften und Abstracts hinsichtlich ihrer thematischen Relevanz durchgesehen wurden.

Ergebnisse

Die Dosiswerte bei der arteriellen Rekanalisation der Aa. iliacae, Aa. femorales inklusive der Aa. popliteae sowie der Unterschenkelarterien und für die Vasospasmustherapie lagen unterhalb den vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) veröffentlichten Referenzwerten. Dies galt auch für jegliche unserer Subgruppen bei der Aneurysmabehandlung der Aorta. Wir berücksichtigten in unserer Subgruppierung sowohl die Lage der Pathologie als auch die Komplexität

des Eingriffes. Auch unsere Daten bezüglich der Neuroembolisation, TACE-Verfahren, Osteoplastie sowie Schmerztherapie liegen niedriger als die der Literatur. Die Ablationen und Gallengangsinterventionen betreffend liegen wir mit unseren Gesamtgruppen- und Subgruppenwerten unterhalb der Literaturwerte. Jedoch liegt unsere 75. Perzentile im Bereich Ablation der Leber und Niere oberhalb des Literaturwertes.

Die Aneurysmabehandlung, diagnostische Punktion sowie Drainage betreffend konnten wir keinen direkten Vergleich mit den Werten der Literatur vornehmen, da dort kein Median ermittelt wurde oder da wir in unserer Studie eine andere oder keine Subgruppierung vorgenommen haben. Jedoch liegen wir mit unseren Werten unterhalb der Werte jeder einzelnen der Subgruppen der Literatur.

Für die folgenden Interventionen, venöse Rekanalisation von Dialyseshunt und Lungenarterie, TIPS-Neuanlagen sowie TAE-, TAC- und PICC- Verfahren, konnten in der Literatur der letzten Jahre keine vergleichbaren Daten gefunden werden.

Diskussion

Einer der Hauptgründe für diese Wertedifferenz innerhalb der oben genannten Interventionen, im Vergleich mit der Literatur, ist die seit Jahren zunehmende Weiterentwicklung, Verbesserung und Neuerung hinsichtlich der Software und Hardware von Angiographie- und CT-Anlagen; des Weiteren dürfte die Weiterentwicklung der interventionellen Medizinprodukte auch eine Rolle bei der zunehmenden Strahlensparnis spielen. Auch ist es möglich, dass die unterschiedlichen Fallzahlen eine Auswirkung auf der Ergebnisse haben. Wir weisen stets eine höhere Fallzahl als die Studien in der Literatur auf, was eine der großen Stärken dieser Studie ist, da die Nachteile eines Registers durch unsere hohen Fallzahlen minimiert werden dürften. Auch die unterschiedlichen Definitionen und Gruppierungen der Daten machen einen Vergleich unserer Daten mit denen der Literatur nur bedingt möglich.

Schlussfolgerung

Die Stärke dieser Auswertung ist der große Datensatz, der ein breites Patientenkollektiv repräsentiert und eine systematische Verzerrung (retrospektives Design) somit minimiert. Ein Vergleich mit anderen Studien ist nur eingeschränkt möglich, da viele Faktoren (BMI, Komplexität des Eingriffs usw.) nicht berücksichtigt werden konnten.

Unsere Daten sollen als Grundlage für die Definition aktueller Dosisrichtwerte dienen sowie für die Einschätzung, bei welchen Subgruppen eigene Dosisrichtwerte sinnvoll sind (z.B. komplexe Aortenaneurysmaeingriffe, da diese mit einer erhöhten Strahlenbelastung einhergehen).

Weitere Studien müssen daher durchgeführt werden, um die o.g. Abhängigkeiten und Auswirkungen auf die Dosiswerte zu untersuchen.

Abstract

Aim

The aim of this dissertation is the retrospective analysis of the data of the years 2018-2020 regarding radiation exposure during radiological interventions using the registry of the German Society for Interventional Radiology for quality assurance (DeGIR- QS Register). The data obtained will be compared with existing dose guidelines. On the other hand, data will be collected for interventions for which there are no dose guidelines yet, which could serve as a basis for setting dose guidelines. Furthermore, the data should provide information on whether for subgroups of interventions deviating radiation exposures compared to the total group of the individual intervention were collected, which may make the establishment of separate dose guidelines for the subgroups reasonable.

We analysed the data with respect to radiation exposure for the following interventions:

- Ablation
- Aneurysm treatment including endovascular aortic repair (EVAR), endoleak, dissection
- arterial recanalization
- Diagnostic puncture/arthrography
- Drainage
- neurological embolization
- neurological recanalization
- Osteoplasty
- Biliary drainage
- Pain/infiltration treatment including neurolysis
- PICC implantation
- TIPSS (transjugular intrahepatic portosystemic shunts)
- vascular therapy of tumors and vascular processes
- venous recanalization

Materials and Methods

All data sets from the DeGIR registry from 2018 to 2020 on the interventions diagnostic puncture, drainage, marking, nonvascular recanalization/reconstruction, pain/infiltration treatment, TIPSS, new PICC creation, and venous recanalization were evaluated according to the criteria dose area product, dose length product, and CTDI value.

The ablation data set was additionally analysed according to the subgroups thoracic and abdominal ablation, the aneurysm treatment data set according to simple thoracic and simple abdominal as well as complicated thoracic and abdominal. The entries for TACE were additionally divided into the subgroups with cone-beam CT and without cone-beam CT, and those for arterial recanalization into regions of the iliac, femoral, and lower leg arteries. We divided the intervention osteoplasty into the groups of fluoroscopy-guided control alone, CT-guided control alone, and fluoroscopy-guided control with CT-control. Results are presented in the form of descriptive statistics with medians and interquartile range (IQR) calculated using Microsoft Excel. Radiation exposure information is presented as boxplots.

Literature Review

The literature search was performed in the PubMed database of the National Library of Medicine using the search terms ("interventional radiology") AND ("radiation exposure"). As a further filter, only English- and German-language clinical studies were identified. To further narrow down the dataset, it was decided, in view of the progressive technical development of radiation protection within interventional radiology (IR) in recent years, to limit the data to the last 10 years and to human studies only. This dataset was now analysed by reviewing the headings and abstracts for thematic relevance.

Results

The dose values for arterial recanalization of the iliac arteries, femoral arteries including the popliteal arteries, and the transtibial arteries and for vasospasm therapy were below the reference values published by the German Federal Office for Radiation Protection (BfS). This was also true for any of our subgroups for aortic aneurysm treatment. We considered in our subgrouping the location of the pathology as well as the complexity of the procedure. Our data regarding neuroembolization, TACE procedures, osteoplasty, and pain management are also lower than those in the literature. Regarding ablations and biliary interventions, our total group and subgroup values are below the literature values. However, our 75th percentile in ablation of the liver and kidney is above the literature value.

Concerning aneurysm treatment, diagnostic puncture and drainage, we could not make a direct comparison with the values of the literature, because they did not calculate a median or because in our study we made a different or no subgrouping. However, our values are below the values of each of the subgroups in the literature.

For the following interventions, venous recanalization of dialysis shunt and pulmonary artery, markings, new TIPS installations, and TAE, TAC, and PICC procedures, no comparable data could be found in the literature in recent years.

Discussion

One of the main reasons for this difference in values within the above-mentioned interventions, compared with the literature, is the increasing development, improvement, and innovation regarding the software and hardware of angiography and CT facilities over the years; furthermore, the further development of interventional medicine products is also likely to play a role in the increasing radiation savings. It is also possible that the different number of cases has an impact on the results. We always have a higher number of cases than the studies in the literature, which is one of the great strengths of this study, as the disadvantages of a registry are likely to be minimized by our high case numbers. Also, the different definitions and groupings of the data make a comparison of our data with the literature only possible to a limited extent.

Conclusions

The strength of this evaluation is the large data set, which represents a broad patient population and thus minimizes systematic bias (retrospective design). Comparison with other studies is limited because many factors (BMI, complexity of the procedure, etc.) could not be taken into account.

Our data should serve as a basis for the definition of current dose guidelines as well as for the assessment of which subgroups should have their own dose guidelines (e.g., complex aortic aneurysm procedures, as these are associated with increased radiation exposure).

Further studies must therefore be performed to investigate the above-mentioned dependencies and effects on the dose values.

2 Einleitung

Die Strahlenbelastung von Patienten und Personal stellt bei interventionellen Prozeduren eine mögliche Quelle für spätere Komplikationen dar. Um den Interventionalisten einen Anhaltspunkt für die durchschnittliche Strahlenbelastung von Interventionen zu geben, wurden vom BfS sogenannte Dosisrichtwerte erstellt. Wie der Begriff schon sagt, sollen diese Werte eine Richtschnur für die „normale“ Strahlenbelastung im Rahmen der Interventionen geben, für die diese Werte existieren. Allerdings gibt es bisher lediglich für folgende Interventionen solche Dosisrichtwerte: Thrombusaspiration nach Schlaganfall, Coiling von cerebralen Aneurysmen, PCI, Kombinierte Koronarangiographie/PCI, TAVI, Endovaskuläre Aneurysma-Therapie (der Aorta thoracalis und abdominalis sowie supra- oder infrarenal), TACE und PTA im Becken-, Oberschenkel-, Knie-, Unterschenkel- und Fuß-Bereich.

Als Qualitätssicherungsmaßnahme wurde von radiologischen Interventionalisten bereits im Jahr 1994 eine Registerdatenbank eingeführt, welche als wesentliches Qualitätskriterium auch die Strahlenbelastung sämtlicher in dieser Datenbank eingepflegten Interventionen erfasst. Hier werden nicht nur die oben genannten Interventionen hinsichtlich ihrer Strahlenbelastung erfasst, sondern nahezu alle eigenständigen Interventionen aus dem Bereich der Interventionellen Radiologie. Außerdem können bei den Hauptinterventionen auch Untergruppen analysiert werden, welche aufgrund einer höheren Komplexität unter Umständen eine höhere Strahlenbelastung bedingen als einfache Standardinterventionen. Als Beispiel seien hier die fenestrierten Aortenprothesen genannt, welche gegenüber nicht fenestrierten Aortenprothesen eine deutlich langwierigere Intervention darstellen, was zwangsweise auch Auswirkungen auf die durchschnittliche Strahlenbelastung haben sollte. Die im DeGIR Register erhobenen Daten erlauben uns, das Ausmaß der Strahlenbelastung auch von Subgruppen festzustellen.

Damit dies auch für seltene Interventionen mit ausreichender Repräsentanz gelingen konnte, wurden insgesamt die Datensätze aus drei Jahren des DeGIR Registers gemeinsam ausgewertet.

Ziel der Arbeit

Ziel dieser retrospektiven Arbeit ist es, die durchschnittliche Strahlenbelastung bei radiologischen Interventionen anhand des Registers der Deutschen Gesellschaft für interventionelle Radiologie zur Qualitätssicherung (DeGIR- QS Register) zu ermitteln. Das Ausmaß dieser Strahlenbelastung ist ein wesentlicher Bestandteil des Qualitätsmanagements im Bereich radiologischer Interventionen.

Das Bestreben dieser Arbeit ist es, verlässliche aktuelle Daten zur Strahlenbelastung bei radiologischen Interventionen zu ermitteln. Die so ermittelten Werte sollen – soweit vorhanden – mit existierenden Dosisrichtwerten verglichen werden. Außerdem sollen die 75. Perzentile für solche Interventionen, für die bisher keine Dosisrichtwerte festgelegt wurden, als mögliche Datenquelle für die Festlegung ebensolcher Dosisrichtwerte dienen.

Darüber hinaus soll die Analyse von Subgruppen innerhalb einer Interventionsart anzeigen, ob die Strahlenbelastung bei diesen Subgruppen von der „allgemeinen Strahlenbelastung“ der Gesamtgruppe abweicht; dies würde ein Argument für die Festlegung auch eigener Dosisrichtwerte für diese Subgruppen sein.

3 Material und Methode

Diese Studie, mit der Kenn-Nr. 196/22, wurde durch die Ethikkommission der saarländischen Ärztekammer genehmigt.

Der Datensatz zur Ermittlung der Strahlendosis und Referenzwert-Erstellung bei radiologischen Interventionen wird aus dem Register der Deutschen Gesellschaft für Interventionelle Radiologie zur Qualitätssicherung (DeGIR-QS- Register) rekrutiert. Das Register führt seit 1994 Bericht über die Behandlungsqualität radiologischer interventioneller minimalinvasiver Methoden (Heuser et al., 2012). Die Dokumentation erfolgt durch interventionelle Radiologen auf freiwilliger Basis. Dieses Register fungiert als eine auf § 137 des 5. Sozialgesetzbuches basierende Maßnahme zur Qualitätssicherung. Ziel des Registers sind neben der Überwachung von Komplikationsraten unter anderem Erfassungen der Strahlenbelastung zur Sicherung und Verbesserung der Intervention.

Die Eingabe in das Register ist prinzipiell freiwillig. Im Falle einer Eingabe sind die qualitätsrelevanten Daten als Pflichtfelder definiert und müssen befüllt werden. Der Benutzer wird durch farbliche Markierung auf sie aufmerksam gemacht. Ein Abschließen der Eingabe ist nur möglich, wenn alle Pflichtfelder ausgefüllt wurden. Nur in diesem Fall werden die Falldaten der Datenauswertung zugeführt. Sämtliche Daten zur Strahlenbelastung sind als wesentliches Qualitätsmerkmal Pflichtfelder. Heute stellt dieses Register eines der deutschlandweit größten Patientendatenbanken auf diesem Gebiet dar. Es handelt sich um ein webbasiertes Register, welches seit seiner Einführung im Jahr 1994 einer kontinuierlichen Verbesserung unterzogen wird.

Die Dateneingabe muss jährlich bis zum 28. Februar des Folgejahres erfolgt sein. Die Auswertung der Daten wird jährlich vorgenommen. Finanziell getragen wird das Register durch die Deutsche Röntgengesellschaft und auch durch jährliche Lizenzgebühren für die Software.

Die Anonymisierung der Daten mittels zufälliger Codes erfolgt bereits vor dem Versand derselben zum zentralen Datenmanagementsystem und ist zu jeder Tageszeit möglich. Eine Installation der Software oder Aktualisierung auf dem eigenen Rechner ist nicht notwendig, da die aktuelle Version der Software stets auf einem zentralen Server gespeichert ist. Für den von uns gewählten Untersuchungszeitraum über die drei Jahre 2018-2020 umfasst die Stichprobe

insgesamt n= 571.315 Datensätze.

Naturgemäß handelte es sich in der vorliegenden Arbeit um eine retrospektive Auswertung dieser anonymisierten Daten. Für die Bearbeitung in der vorliegenden Arbeit wurden Daten des Untersuchungszeitraums 2018-2020 zu den folgenden Interventionen ausgewählt:

Ablation, Aneurysma-Behandlung inklusive endovaskuläre Aortenreparatur (EVAR)/Endoleak/ Dissektion, arterielle Rekanalisation, diagnostische Punktion/Arthrographie, Drainagen, neurologische Interventionen, neurologische Rekanalisation, Osteoplastie, Gallengangsdrainagen, Schmerz-/Infiltrationsbehandlung inklusive Neurolyse, PICC-Anlagen, TIPSS (transjuguläre intrahepatische portosystemische Shunts), Rekanalisation von Lungenarterien, venöse Rekanalisation von Dialyseshunt TACE, TAE, TAC. Diese Einschlusskriterien ergeben insgesamt 567.683 abgeschlossene Datensätze. Aus dem Jahr 2018 stammen 181.347 Daten, das Jahr 2019 weist 189.763 Daten auf und aus dem Jahr 2020 ergeben sich 196.573 Daten.

In einem ersten Schritt wurden die Daten in Bezug auf die Höhe der Strahlendosis bearbeitet. In diesem Zusammenhang enthielt die Auswertung aller Interventionen die Interventionsart, Alter des Patienten, Geschlecht des Patienten, genauere Lokalisation der Intervention und Region sowie die Dosis-Maße DFP, DLP und den CTDI.

Der CTDI-Wert gilt als Maß der Energiedosis in mGy bezogen auf eine einzelne Schicht bzw. definierte Schichtdicke. Das DLP in $\text{mGy} \times \text{cm}$ erhält man, indem der CTDI-Wert mit der Länge des Untersuchungsvolumens multipliziert wird. Das DFP in $\text{cGy} \times \text{cm}^2$ berechnet sich aus der Multiplikation der Nutzstrahlenfläche und der von der Messkammer am Strahleneintrittsfenster gemessenen Dosis.

Im Zuge der weiteren Überarbeitung der Daten in Bezug auf ihre Relevanz für die Höhe der Strahlendosis, wurden innerhalb der o.g. einzelnen Interventionen Unterkapitel erstellt.

1. Bei der Erstellung der Untergruppen für die Intervention Aneurysmabehandlung samt EVA/Endoleak/Dissektion wurde sowohl die Komplexität des Eingriffes als auch die Lage der Pathologie berücksichtigt, um u.a. der Tatsache Rechnung zu tragen, dass die Strahlendosis im Bereich des Thorax geringer ausfällt als im Abdomen. Dies bedingte die Subgruppen thorakal und abdominal. Des Weiteren fand eine Subgruppierung in einfache und komplexe Aortenintervention statt, da z.B. fenestrierte EVAR komplexer sind und hier eine höhere Strahlendosis und längere Bestrahlungszeit zu erwarten ist.

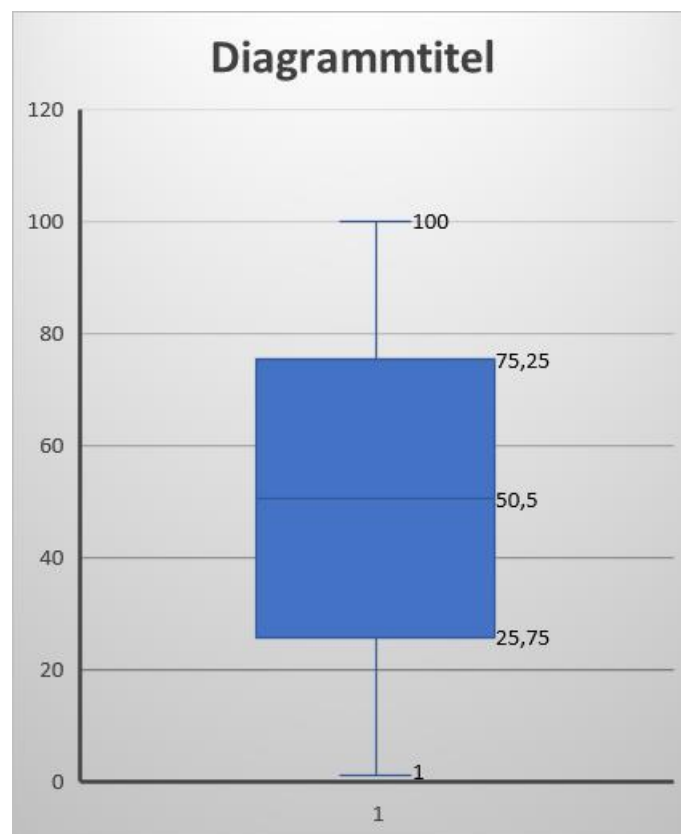
Dies führte zu den Kategorien einfach thorakale, einfach abdominelle, komplex thorakale und komplex abdominelle Interventionen.

2. Hinsichtlich der Intervention Ablation entschieden wir uns aus den oben genannten Gründen für die Untergruppen Thorax inkl. Lunge auf der einen Seite und Abdomen, inkl. Leber und Niere auf der anderen Seite. Um Vergleiche mit der Literatur vorzunehmen, analysierten wir die Werte für die Lunge und die Leber später nochmals getrennt.
3. Die Unterteilung in die Untergruppen Aa. iliaca, Aa. femorales mit den Aa. popliteae und Unterschenkelarterien bei der arteriellen Rekanalisation haben wir parallel zu den aktuellen diagnostischen Referenzwerten für interventionelle Röntgenanwendungen vom 16. August 2018 vom Bundesamt für Strahlenschutz (Bundesamt und Strahlenschutz, 2018) übernommen, um eine Vergleichbarkeit zu ermöglichen.
4. Hinsichtlich der vaskulären Therapie von Tumoren und Gefäßprozessen fand die Unterteilung in TACE mit Cone-Beam-CT, TACE ohne Cone-Beam-CT, TAE und TAC statt. Die Durchführung mittels Cone-Beam-CT wurde deshalb explizit erfasst, da die Strahlenexposition beim Cone-Beam-CT gegenüber einer einfachen DSA deutlich erhöht ist.
5. In Hinsicht auf die Neuroembolisationen fand eine Gruppierung in Aneurysma, arteriovenöse Malformation bei pialen Angiomen (AVM) und durale Fisteln (DAVF) statt.
6. Der Datensatz bezüglich der neurologischen Rekanalisationen wurden in Schlaganfalltherapie, intrakranielle Stenose, Carotis Stenting und Vasospasmustherapie untergliedert.
7. Osteoplastie wurde in die Subgruppen rein röntgengesteuerte Kontrolle, CT-gesteuerte Kontrolle sowie kombinierte Kontrollen mittels CT und Röntgen unterteilt.
8. Die weiteren Interventionen venöse Rekanalisation von Lungenarterie und Dialyseshunt, PICC, TIPPS, Schmerztherapie, Gallengangsdrainagen, Drainage und diagnostische Punktion unter CT-Steuerung wurden auch wegen der kleinen Fallzahlen nicht weiter unterteilt.

Im darauffolgenden Schritt wurden alle Datensätze exkludiert, die als Dosisflächenprodukt-, Dosislängenprodukt- oder CTDI-Wert (Computed Tomography Dose Index) keine Angabe oder den Wert 0 beinhalten.

Aller Voraussicht nach handelt es sich bei den unteren Ausreißern (im Sinne von ungewöhnlich niedriger Strahlendosis) um abgebrochene Interventionen oder aber um Fehleingaben. In

einigen Simulationen zur Festlegung einer Obergrenze stellte sich heraus, dass es zu keinen relevanten Veränderungen in Bezug auf den Median, die 25.- und die 75.- Perzentile durch das Exkludieren von oberen Ausreißern kommt. Daher wurde von uns keine willkürliche Obergrenze definiert, sondern alle Datenwerte im oberen Bereich in die Auswertung eingeschlossen. Im weiteren Verlauf wird der analysierte und filtrierte Datensatz mittels Excel in Boxplots transformiert. Diese geben jeweils den Median sowie die 25. und 75. Perzentile an, wobei zwecks Übersicht die Ausreißer jeweils ausgeblendet wurden. Ausreißer wurden als Werte definiert, die das 1,5fache des Interquartilabstands über dem dritten Quartil, also der 75. Perzentile liegen.



1 = Minimalwert; 25,75 = 25. Perzentile; 50,5 = Median; 75,25 = 75. Perzentile; 100 = Maximalwert ohne Ausreißer.

4 Literaturübersicht

Mit Hilfe einer Literaturanalyse sollte ein allgemeiner Überblick über die Strahlenbelastung bei radiologischen Interventionen gewonnen werden; die englischsprachige Metadatenbank PubMed der National Library of Medicine des Nationalen Zentrums für Biotechnologische Informationen (NCBI) wurde für die Literaturrecherche verwendet.

Die Literaturrecherche wurde mit den Schlagbegriffen ("interventional radiology") AND ("radiation exposure") durchgeführt und auf englischsprachige und deutschsprachige klinische Studien begrenzt. Außerdem wurde das Alter der Publikationen begrenzt, indem lediglich Publikationen aus den Jahren 1986 bis zum 19.3.2022 berücksichtigt wurden, was zu einer Anzahl von 795 Ergebnissen führte. Zur weiteren Eingrenzung des Datensatzes entschloss man sich, angesichts der fortschreitenden Entwicklung der Verfahren innerhalb der Interventionellen Radiologie (IR) in den letzten Jahren, sich auf die Daten der letzten 10 Jahre zu beschränken. Dies führt zu einer Datensatzmenge von 670 im Zeitraum von 2012 bis zum 19.3.2022. Anschließend konzentrierten wir uns ausschließlich auf menschenbezogene Studien (Filterbegriff „Humans“), was eine weitere Minderung des Datensatzes auf 581 mit sich brachte. Dieser Datensatz wurde nun bezüglich seiner Relevanz analysiert, indem das Gesamtabstract des Artikels gelesen und von SZ die Relevanz eingeschätzt wurde.

Ergebnisse der Literaturrecherche

Die Zahl der CT-Untersuchungen sowie der radiologischen Interventionen stieg in den letzten Jahren deutlich an. Nach Angaben des Bundesamts für Strahlenschutz nahm die Inzidenz von CT-Untersuchungen in Deutschland zwischen 2007 und 2014 um etwa 40 % zu. Vor allem chronisch kranke Patienten werden zuweilen kumulativen Dosen ausgesetzt. Der Nutzen, der mit einer so hohen Strahlung verbunden ist, überwiegt bisher bei weitem das Risiko. (Nyheim et al., 2017, Marant-Micallef et al., 2019). Aufgrund theoretischer Überlegungen ist davon auszugehen, dass eine Optimierung der Dosis einige interventionell radiologisch assoziierte Krebsfälle und deterministische Effekte vermindern kann. Deterministische Effekte (schädliche Gewebereaktionen) sind Effekte, die nur oberhalb einer bestimmten Dosischwelle auftreten und deren Schweregrad mit der Dosis zunimmt. Die häufigsten deterministischen Wirkungen sind Augenkatarakt, Hautverletzungen und Haarausfall.

Da bei nicht deterministischen Strahlenschäden davon ausgegangen wird, dass es keine Schwelendosis für ihr Auftreten gibt, sollte stets das ALARA-Prinzip (As Low As Reasonable Achievable) erfüllt sein. D. h. mit der niedrigsten möglichen Dosis soll eine Bildqualität erreicht werden, welche die erforderlichen diagnostischen Informationen liefern kann. Der Nutzen einer Untersuchung sollte in Anbetracht des schädlichen Potenzials der ionisierenden Strahlung und wie es das Strahlenschutzgesetz fordert, das Risiko stets überwiegen.

Insbesondere durch technische Neuerungen an den Angiographieanlagen aber auch durch eine zunehmende interventionelle Expertise, modernere Medizinprodukte und ein kontinuierliches Qualitätsmanagement dürfte eine Senkung der Strahlenexposition bei erhaltener Bildqualität möglich geworden sein. Dies lässt auch die Studie von Aberle et al. vermuten, in der die vorherigen nationalen diagnostischen Referenzwerte (DRL) für CT-Untersuchungen in der Schweiz aus dem Jahr 2010 deutlich höher ausfielen als die 2020 aktualisierten Werte. Dies kann sowohl durch Verbesserungen bei der CT-Hardware (Baumann et al., 2017), der Software (Röhrenstrommodulationstechniken, iterative Rekonstruktion) als auch dem adäquaten Gantry-Winkel und den unterschiedlichen Definition der Untersuchungsprotokolle erklärt werden. In früheren Zeiten gab es beispielsweise kein spezielles Sinusitis-Protokoll. In dieser Zeit war dieses Teil des Hauptprotokolls für Gesichtsknochen (Aberle et al., 2020). Zensen et al. bestätigt den Kausalzusammenhang zwischen Strahlenexposition und CT-Gerät sowie Protokolleinstellungen ebenfalls für die Perfusions-CTs (Zensen et al., 2021a).

Die für eine ausreichende Bildqualität notwendige Strahlendosis hängt sowohl von Statur des Patienten, klinischer Fragestellung, der Position auf dem Untersuchungstisch als auch von technischen Parametern ab. Um die Strahlenexposition zu senken, sollte das Untersuchungsprotokoll auf die Statur (BMI) des Patienten zugeschnitten sein für eine hohe Bildqualität bei geringem Bildrauschen. Des Weiteren kann mittels individueller Anpassung von Röhrenstrom und -spannung sowie repetitive Bildrekonstruktion eine Dosisreduktion hervorgerufen werden. Auf wiederholte Aufnahmen sollte möglichst verzichtet werden. Ebenso sollte die Untersuchung auf den kritischen Bereich der klinischen Fragestellung beschränkt werden.

In einer Studie bezüglich der thermischen Ablation von Nierenzellkarzinomen bei Patienten mit morbidem Adipositas zeigen die Ergebnisse, dass Adipositas mit einer zwei- bis dreifach höheren Strahlendosis einhergeht. Der größere Patientendurchmesser macht eine höhere

Röntgenröhrenleistung zur Gewährleistung eines angemessenen Signal-Rausch-Verhältnisses notwendig. Bei keinem der Patienten wurde der Grenzwert überschritten, noch wurden eine längere Ablationszeit oder mehr Ablationssonden benötigt. (Zhou et al., 2021)

Eine Analyse über die Sterblichkeit nach mechanischer Thrombektomie bei Schlaganfall zeigt, dass das männliche Geschlecht als ein Risikofaktor für eine höhere Strahlenexposition gilt. Bereits Farah et al. beschrieb dieses Phänomen und führte es auf ein generell höheres Gewicht bei Männern zurück. Auch wird die These formuliert, dass geschlechterspezifische Unterschiede in der Gefäßanatomie und arteriosklerotische Veränderungen verantwortlich sein könnten. Diese führen zu schwierigeren Zugangswegen und daraus resultierenden Mehraufnahmen, was wiederum die Strahlenexposition erhöht. Gemäß den Autoren wiesen Studien wiederholt eine erhöhte Mortalität während des Bereitschaftsdienstes tagsüber und nachts auf, im Vergleich zu den regulären Arbeitszeiten. Hinsichtlich der Durchleuchtungszeit und Verfahrensdauer sowie des Dosisflächenprodukts (DFP) konnten jedoch weder signifikante Unterschiede, noch eine Überschreitung des Dosisreferenzlevels beobachtet werden. (Zaeske et al., 2021).

Ein weiterer Parameter, der Einfluss auf die Strahlendosis hat, ist die Lehrsituation. Da jedoch auch in lehrender Umgebung die Verfahren stets unter Aufsicht von erfahrenen Interventionalisten stattfinden, werden diese stets sicher und erfolgreich durchgeführt. Pradella et al. skizzierte in seiner Veröffentlichung, dass die Lehrumgebung durchschnittlich zu einer Erhöhung der Eingriffsdauer von 209,8 Sekunden und einer Zunahme der Gesamtstrahlendosis von 10,6 mGy bei CT-gesteuerten Biopsien und Drainagen führte. Des Weiteren stellt die Entfernung der Läsion zur Haut einen weiteren Grund für eine Erhöhung der Strahlendosis um 5,4 mGy pro cm sowie eine Verlängerung der Eingriffsdauer um 36,8 Sekunden pro cm dar (Pradella et al., 2019).

Die Literaturrecherche konnten mehrere Studien identifizieren, die den Einfluss der Hardware sowie der Software des CT auf die Strahlenbelastung aufzeigen.

Die vorliegenden Daten von Guberina et al. weisen nach, dass neuere CT-Scanner-Generationen eine erhebliche Dosisersparnis ermöglichen. Gründe dafür sind u.a. die automatische Röhrenstrommodulation (CARE Dose4D), die gewichtsbasierte Modulation der Winkel- und Z-Achsen-Dosis, sowie die iterative Rekonstruktion (IRIS: Iterative Reconstruction in Image Space), die neuere Generationen besitzen. Die niedrigste Strahlendosis wurde an dem CT-Scanner mit der höchsten Schichtkapazität (128-Multislice) detektiert (Guberina et al., 2018).

Prospektive Strahlenbelastungsdaten zu CT-gesteuerten Eingriffen mit niedriger Spannung (80 oder 100 kV), im Vergleich zur konventionellen Spannung (120 kV), zeigen eine hohe technische Erfolgsrate und eine drastische Reduktion der Strahlenbelastung bei Eingriffen. Es gab keinen signifikanten Unterschied in der Patientengröße, d.h. die Dosisreduzierung ist tatsächlich die Folge der kVp-Änderung (Rezazadeh et al., 2014).

Bei der 3D-Bildfusion wird das präoperative CTA- oder Magnetresonanz-Angiographie-(MRA)-Bild mit einem CBCT-Bild (3D-3D-Registrierung) oder zwei orthogonalen Fluoroskopie-Bildern (2D-3D-Bildregistrierung) anhand von Orientierungspunkten (Clips, Knochenstrukturen) registriert; so wird ein fusioniertes Road-Mapping möglich. Nachteil dieses Systems ist die Fehlanpassung des CTA-Bildes, welches bei angehaltenem Atem durchgeführt wird, und dem der Fluoroskopie, welches unter freier Atmung stattfindet. Eine weitere Reduktion der Strahlendosis kann durch die Fusionierung mit der 2D-3D-Bildregistrierung erzielt werden, welche darüber hinaus auch als schnell und einfach beschrieben wird (Goudekettig et al., 2017).

Großbildmonitore (LDM) ermöglichen eine Vergrößerung und eine verbesserte Objektsichtbarkeit und führen hiermit zu einer Verringerung der Strahlenbelastung während angiographischer Verfahren. Die Cone-Beam-Computertomographie (CBCT) lässt eine 3D-Bildgebung sowie ein digitales Zoomen zu und ist daher besonders hilfreich bei der Embolisation kleinerer und gewundener Arterien wie z.B. der Prostata-Arterien. Das CBCT erlaubt auch eine genaue Darstellung der dreidimensionalen Gefäßanatomie, Steuerung der Durchleuchtung und Planung des Eingriffs, was ebenfalls die Strahlenbelastung reduziert. Beide, sowohl die CBCT als auch der LDM, sind effiziente Werkzeuge zur Verringerung des Bedarfs an Vergrößerungen und der Durchleuchtungszeit und somit zusätzlich der Strahlenbelastung. Das Ersetzen von digitaler Subtraktionsangiographie (DSA) durch aufgezeichnete, CBCT-unterstützte Fluoroskopie und die Verwendung niedrigerer Pulsraten sind weitere Techniken, um die Strahlendosis zu senken (Barral et al., 2021). Der Vorteil einer 3D-Rotationsangiographie gegenüber der 2-Ebenen-DSA kann in der Studie von Guberina et al. ebenfalls für neuroradiologische Interventionen bestätigt werden (Guberina et al., 2016). Auch Jiao et al. stimmt den Vorzügen der virtuellen Cone-Beam-CT-Navigation und des Flachdetektors bei transthorakalen Nadelbiopsien von Lungenknoten mit einem Durchmesser $\leq 2,0$ cm, hinsichtlich diagnostische Genauigkeit und Komplikationen, zu (Jiao et al., 2016).

Piron et al. stellte bei TACE-Verfahren mit Angio-CT (kombiniert im selben Raum mit der Angiographieeinheit) eine signifikante Verringerung der effektiven Patientendosis fest im

Vergleich zu Angiographie-System mit CBCT (Piron et al., 2019). In der Studie von Durack et al. reduziert sich durch die arterielle Mapping-Software (AMS) der Bedarf an DSA-Aufnahmen erheblich. In fast der Hälfte der TAE-Verfahren erleichterte die arterielle Mapping-Software das Erkennen von mindestens einem Zielgefäß, welches ursprünglich auf der DSA nicht vermutet wurde. Zu jeder Zeit blieb die mittlere Strahlendosis nach einem A-CBCT jedoch unter den Referenzwerten der Society of Interventional Radiology für die hepatische Chemoembolisation (Durack et al., 2018).

Um während einer Prostata-Arterien-Embolisation (PAE) die Strahlenexposition zu minimieren, sollte laut Svarc et al. eine präinterventionelle CTA zur Planung, eventuell eine einseitige Embolisation, vorwiegend anteroposteriore (AP) Projektionen und die Einschränkung von Cone-Beam-CT (CBCT) und Fluoroskopie erwogen werden (Svarc et al., 2021).

Endovaskuläre Aorten-Eingriffe, wie fenestrierte endovaskuläre Aneurysmreparaturen (FEVAR) und thorakale endovaskuläre Aortenreparaturen (TEVAR), werden mittels Fluoroskopie und digitaler Subtraktionsangiographie (DSA) durchgeführt. Mit zunehmender Komplexität des Verfahrens (gefenstert, verzweigt usw.) und der Anatomie kann der Bedarf an Bildgebungsserien steigen. Dies führt zu einer konsekutiven Erhöhung der Strahlendosis und der Verfahrensdauer. Die Meta-Analyse von Goudekting et al. fasst die Berichte von 2 prospektiven und 5 retrospektiven Studien mit ihren jeweiligen Kontrollgruppen, in denen die 3D-Bildfusionstechnik bei endovaskulären Aorteneingriffen beschrieben wurde, zusammen. Sekundär wirft sie auch einen Blick auf die Strahlendosis und die Verfahrens- und Durchleuchtungszeiten. Sechs der sieben Studien berichteten in ihren jeweiligen 3D-Bildfusionstechnik-Gruppen von geringeren Strahlendosen, Verfahrenszeiten und Durchleuchtungszeiten, wenn auch nicht immer signifikant (Goudekting et al., 2017). Die Strahlenbelastung für die EVAR konnte Frenzel et al. in seiner Studie mit insgesamt 1.639 Aortenaneurysma-Behandlungen, aus Datensätzen desselben Registers, das auch wir verwendet haben, für das Jahr 2019 erheben. Der DFP-Median für die totale EVAR lag bei $10.503 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ (Q3: $21.041 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$), für gefensterte Prothesen bei $14.217 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ (Q3: $30.082 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$) und für kombinierte Prothesen bei $13.021 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ (Q3: $26.129 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$). Ein Vergleich der Daten aus dem Jahr 2011 mit jenen aus dem Jahr 2019 zeigt keine signifikante Differenz des DFP-Medians (2019: $10.503 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ vs. 2011: $10.677 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$). Die Werte liegen im unteren Bereich der früher ermittelten Dosiswerte des DeGIR-Registers ($1.500\text{-}55.000 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$) (Frenzel et al., 2021). Bei einer EVAR eines Bauchaortenaneurysmen (AAA) beträgt der Median des DFP nach Angaben von Nyheim et al. $213 \text{ Gy} \times \text{cm}^2$.

Schaefers et al. beschrieb das Strahlenrisiko bei EVAR durch ein einziges Stentgraft-System mit mobiler C-Bogen oder stationärer C-Bogen Fluoroskopie. Die durchschnittliche Menge des verwendeten Kontrastmittels war in der Gruppe der stationären C-Bogen (FA) Fluoroskopie deutlich reduziert, allerdings waren die Strahlungsdosen hier signifikant höher. Bezüglich der Durchleuchtungszeit konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen nachgewiesen werden (Schaefers et al., 2018) .

Mehrere Artikel, wie auch der von Bargellini et al., befürworten die genaue Darstellung der Leberherde mittels C-Arm-CT bei der transarteriellen Behandlung. Das C-Arm-CT erlaubt eine genauere Darstellung und Identifizierung der Gefäßanatomie. Softwareprogramme bieten die Möglichkeit der Überlagerung von CTA- oder MRT-Bildern mit Echtzeit-Durchleuchtungsbildern, dies erlaubte in den Studien eine sichere und direkte Katheterisierung, ohne dass vorherige DSA-Aufnahmen erforderlich waren. Dies reduzierte die Strahlenbelastung. Bargellini et al. schlossen aus Gründen der Homogenität jedoch diejenigen Patienten aus, welche eine anatomische Variante der Lebergefäße aufwiesen. Laut den Autoren stellt dies jedoch keine Kontraindikation für die Verwendung von 3D-CTA-Bildern als Standard dar (Bargellini et al., 2013).

Der Vergleich von manuellen und motorisierten CT-gesteuerten Knochenläsionsbiopsien zeigt eine Dosisreduzierung und eine leichte, aber nicht signifikante Verkürzung der Eingriffsdauer bei dem motorisierten Bohrer-Biopsie-System. (Mittelwert \pm SD CTDIvol: manuell 270 ± 48 mGy, motorisiert 164 ± 35 mGy) (Zensen et al., 2021b). Diese Ergebnisse wurden auch durch die Studie von Lee et al. und Kihira et al. bestätigt. Darüber hinaus zeigt die Studie auf, dass die Läsionsdichte keinen signifikanten Einfluss auf die Strahlenbelastung hat, obwohl dichte und sklerotische Läsionen schwieriger zu erreichen sind. Hier sind vermutlich mehr CT-Scans zur Biopsieführung erforderlich, was die Strahlenbelastung und die Dauer des Verfahrens beeinflusste. Die diagnostische Ausbeute war beim motorisierten Bohrer-Biopsie-System auch etwas höher (Lee et al., 2021) (Kihira et al., 2020).

Die Strahlenexposition bei neuen Flachbilddetektoren (FPD) im Vergleich zu analogen Bildverstärkern (AII) zeigt laut Spira et al. einen signifikant höheren DFP-Wert bei therapeutischen angiographischen Verfahren mittels Flachbilddetektoren (FPD). Da die Durchleuchtungszeiten für die FPD-Systeme kürzer waren, folgern Spira et al., dass die kleineren Durchmesser des Bildverstärkerformats bei identischen Matrizen dazu führten, dass die Strahlendosis zur Kompensation des Bildrauschens bei besserer Auflösung heraufgesetzt wurde. Die Dosis für das einzelne Bild sind beim AII-System wie erwartet höher als beim FPD-System. Zeitgleich reduzierten sich die Durchleuchtungszeiten bei den neuen Flachbilddetektoren (FPD) (Spira et al.,

2016). Diese veranschaulichen eindrücklich, dass eine verbesserte Technik trotz höherer Strahlenempfindlichkeit neuer Detektoren zu einer höheren Strahlenbelastung beim Patienten führen kann; dies wiederum unterstreicht die Wichtigkeit von Dosisreferenzwerten.

Allerdings finden sich in der Literatur auch gegensätzliche Ergebnisse: Bei einer standardmäßigen, bilateralen Embolisationen der Gebärmutterarterien (UAE) stellten Scheurig-Munekler et al. für den Einsatz von Flachdetektoren neuester Generation ein signifikant niedrigeres DFP ($3.156 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$) im Vergleich zu den klassischen Bildverstärkern ($4.000 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$) fest. Die Dosen der oben beschriebenen Verfahren waren deutlich niedriger als die der klassischen Bildverstärker ($8.547 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$) (Scheurig-Muenkler et al., 2015).

Bei Patientinnen, die sich einer Uterusmyomembolisation (UME) bei symptomatischen Myomen unterzogen, verglich Sommer et al. die Strahlenbelastung zwischen einem modernen und einem konventionellen Angiographie-System. Das Dosisflächenprodukt war bei modernen Angiographie-System signifikant geringer (modern: $1.159,0 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ vs. konventionell: $3.123,5 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$; $p < 0,001$). Keine signifikanten Unterschiede waren bezüglich Alter, BMI, Volumen des Myoms, Uterusvolumen, Fluoroskopiezeit und Embolisatmenge, Major-Komplikationsrate und Grad der Devaskularisation des Myoms zu erkennen (Sommer et al., 2018).

Im Jahr 1994 führte die Deutsche Gesellschaft für Interventionelle Radiologie (DeGIR) das in unserer Arbeit genutzte Qualitätsmanagementprogramm ein. 2012 nutzte Heuser et al. diese Software zur Analyse der Daten, bei denen eine interventionelle Rekanalisation von Becken- oder unteren Extremitätenarterien durchgeführt wurde. Über alle Verfahren und Regionen hinweg betrug die technische Erfolgsrate 96,2 %. Die durchschnittliche Durchleuchtungszeit lag bei 12 Minuten und das DFP betrug $5.034 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ (Heuser et al., 2012). 2013 zog Heuser et al. erneut das Qualitätssicherungsregister zur Analyse der Datensätze zur EVAR-Behandlung heran. Der Erfolg lag bei 94,6 %. Die Mediane der Durchleuchtungszeit und des DFP lagen bei 17,32 min und $10.676,5 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$. (Heuser et al., 2013). Die Daten des DeGIR-Registers wurden auch zur Erstellung von DRW verwendet (Brix et al).

Die Anlage eines transjugulären intrahepatischen portosystemischen Shunts (TIPS) gilt als sehr komplexer Eingriff. Die mittlere Strahlenbelastung und die Menge des benötigten Kontrastmittels können durch Anwendung des Flachdetektor-basierten Systems (FPDS) mit sonographischem Echtzeit-Pfortader-Targeting, im Vergleich zu Verfahren mit einem bildverstärkerbasierten Angiographie-System (IIDS) und Pfortaderzielung durch knöcherne Orientierungspunkte, deutlich reduziert werden. Zusammenfassend definierte Miraglia et al. einen Referenzwert für die TIPS-Erstellung anhand der 75. Perzentile der Ergebnisse, welche unter der

Anwendung des Flachdetektor-basierten System (FPDS) mit sonographischem Echtzeit-Pfortader -Targeting erzielt wurden (Miraglia et al., 2016). 2015 bestätigte er ebenfalls, dass die Strahlenbelastung bei der TIPS-Erstellung/-Revision durch ein Niedrigdosis-Akquisitionsprotokoll (LDP) signifikant verringert wird, verglichen mit einem Standard-Referenzprotokoll (SDP) (Miraglia et al., 2015). Die Verwendung von FPDS zwecks Dosisreduktion befürwortete er bereits einige Jahre zuvor in seiner Studie über pädiatrische Lebertransplantatempfänger, die einen interventionellen Gallengangseingriff mit bildverstärkergestützten Angiographie-System (IIDS) oder einem Flachdetektor-basierten Interventionssystem (FPDS) erhalten haben (Miraglia et al., 2013).

Eine retrospektive Analyse von Pedersoli et al. untersuchte alle Daten von Patienten, die eine Rekanalisation und Stentimplantation in dem Truncus coeliacus erhielten. Analysiert wurden die Daten zum Gefäßzugang, den Materialien (Stents) sowie zur Durchleuchtungszeit und Strahlenbelastung. Zusammenfassend bestätigt sich, dass die retrograde Rekanalisation über die pankreatisch-duodenale Arkade sehr wohl technisch machbar und sicher ist. Die mittlere Dosis liegt hier bei $104.266 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$. Alternativ ist die schwierigere antegrade Rekanalisation möglich, mit einer mittleren Strahlendosis von $42.256 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ (Pedersoli et al., 2020).

In der Studie des Autors Engstrand et al. wurden die Zielgenauigkeit der stereo-taktischen Navigation und die Sicherheit der Hochfrequenz-Jet-Ventilation (HFJV) für die perkutane Mikrowellenablation bei inoperablen Leberläsionen untersucht, die mit Ultraschall nicht erreichbar waren. Die genaue Platzierung wird durch Leberbewegungen aufgrund der Atmung erschwert. Hier scheint die HFJV ein hilfreiches Mittel zu sein. Die Zielgenauigkeit der Antenneneinführungen ist wichtig, da dies die Anzahl der wiederholten Kontrollscans reduziert und folglich auch die Strahlenbelastung und möglichen Komplikationen durch Tumoraussaat oder Blutungen. Bei den Metastasen betrug die mittlere DLP $264 \pm 121 \text{ mGy} \times \text{cm}$, während sie bei dem HCC $502 \pm 326 \text{ mGy} \times \text{cm}$ betrug (Engstrand et al., 2017).

In den letzten Jahren nahm auch die Anzahl der CT-gesteuerten Biopsien bei pädiatrischen Tumorkläsionen zu. Die Belastung durch ionisierende Strahlung ist bei Kindern von größerer Bedeutung. Gruber-Rouh et al. analysierte in ihrer Veröffentlichung die Strahlendosis, die Genauigkeit und die Geschwindigkeit von CT-gesteuerten Eingriffen bei unter 18-jährigen. Das DLP des Interventionsscans betrug $29,5 \text{ mGy} \times \text{cm}$ ($6 \text{ mGy} \times \text{cm}$ - $85 \text{ mGy} \times \text{cm}$). Im Brustbereich (Lunge) betrug das DLP $14,8 \text{ mGy} \times \text{cm}$, im abdominalen Bereich (Leber, Lymphknoten) $35,0 \text{ mGy} \times \text{cm}$ und im Knochenbereich $38,4 \text{ mGy} \times \text{cm}$. Sollte keine Möglichkeit für einen US- oder MRT-gesteuerten Eingriff vorhanden sein und eine begründete Indikation bestehen, sind

nach der vorliegenden Studie CT-gesteuerte pädiatrische Eingriffe eine sichere und effiziente Methode (Gruber-Rouh et al., 2017).

Eine typische Orientierung hinsichtlich der ionisierenden Strahlenbelastung in einer Region oder einem Institut sind die Diagnostic Reference Levels (DRLs). Kloeckner et al. entwickelte daher Referenzstandards für durchleuchtungsgeführte nichtvaskuläre Eingriffe und definiert hierfür den Wert des dritten Interquartilabstands / 75. Perzentile (Q3) der Dosiswerte als Referenzwert (Kloeckner et al., 2012).

Examination	n	DFP - Median (Gy×cm ²)	DFP Q3 (Gy×cm ²)
<u>Embolisation</u>			
TACE	92	295.4	428.6
Embolisierung von Blutungen	30	325.4	529.3
<u>Biliäre</u>			
PTCD-Platzierung von der linken Seite	22	170.9	308.4
PTCD-Platzierung von der rechten Seite	61	113.9	155.1
PTCD-Kontrolle	165	83.6	128.8
PTCD-Änderung	127	76.5	123
<u>PAD</u>			
Thorakal	7	11.8	28.3
Abdominal	48	36.5	61.2

PTCD: perkutan transhepatischer Gallengangseingriff, PRG: perkutane Gastrostomien; PAD: perkutane Abszessdrainagen;
TACE: transarterielle Chemoembolisation

Auch analysierte er die Verteilung der Strahlung zwischen Durchleuchtung und Bildaufnahme. Ca. 66 % des DFP sind auf die Akquisition von Bildern zurückzuführen und nur ca. 34 % auf die Fluoroskopie. V.a. bei folgenden Intervention verursachte die Bildaufnahme ein signifikant höheres DFP im Vergleich zur Fluoroskopie: PTCD-Kontrolle und -änderung, TACE von

Lebertumoren, Embolisation von Blutungen und Magenbandauffüllung. Bei PRG- und PAD-Eingriffen war die Verteilung nahezu ausgeglichen.

Knapp ein Jahr später veröffentlichte er mögliche Referenzwerte zur Strahlenexposition bei CT-gesteuerten Eingriffen. Bis dato war dies die größte Stichprobe CT-geführter Eingriffe (Kloeckner et al., 2013).

Interventionen	n	Median - DLP (mGy×cm)	Q3 - DLP (mGy×cm)
Abdominal-Drainage	335	719	942
Pleuradrainage	117	521	630
Leber-Biopsie	406	760	982
Lungen-/Pleurabiopsie	242	538	662
Retroperitoneale Biopsie	115	781	1.098
Mediastinal-Biopsie	34	595	891
Nieren-/Nebennierenbiopsie	29	738	899
RFA/MWA Leber	85	1.403	1.906
RFA/MWA Knochen	15	470	567
RFA/MWA Lunge	8	932	1.270
Schmerzblockade	23	948	1.174
Vertebroplastie	167	1.454	1.666

RFA/MWA: Radiofrequenz- und Mikrowellen-Ablationen

Erneut analysierte er die Verteilung der Strahlung zwischen Durchleuchtung und Bildaufnahme. Er konnte wiederholt einen größeren Anteil (85%) der Gesamtstrahlendosis den CT-Serien vor und nach der Intervention zuordnen, nur 15 % entfielen auf den Eingriff selbst.

Rana et al. sammelte und analysierte Daten über die Strahlenbelastung bei diagnostischen und therapeutischen Interventionen. Die 75. Perzentile der DFP-Werte dienen als vorläufige Referenzwerte für verschiedene Verfahren (Rana et al., 2018).

Examination	n	Q3 des DFP (Gy × cm ²)
<u>Diagnostisch</u>		
Zerebrale Angiographie	226	121,62
Abdominale Angiographie	8	146,68
Angiographie der Vena Cava inferior	10	119,29
Angiographie der unteren Extremitäten	9	20,42
Angiographie der oberen Extremitäten	7	13,11
<u>Therapeutisch</u>		
Zerebrale AVM Embolisation	7	288,54
Bronchiale arterielle Embolisation	19	196,52
Coiling von zerebralen Aneurysmen	54	370,78
Intraarterielle Thrombolyse	8	284,55
Intraarterielle Nimodipine Injektion	15	107,14
JNA Embolisation	6	143,37
Angiographie der unteren Extremitäten	11	48,12
Renale arterielle Embolisation	21	197,54
Uterine arterielle Embolisation	16	257,33
Spinale arterielle Embolisation	7	245,58

JNA = juveniles nasopharyngeales Angiofibrom

In seiner Bekanntmachung der aktualisierten diagnostischen Referenzwerte für diagnostische und interventionelle Röntgenanwendungen vom 16. August 2018 erneuerte das Bundesamt für Strahlenschutz die Referenzwerte für die folgenden Interventionen.

Intervention	DFP cGy × cm ²
Thrombose-Aspiration nach Schlaganfall	18.000

Coiling eines Aneurysmas des Gehirns	25.000
PCI	4.800
Kombinierte Koronar-Angiographie/PCI	5.500
TACE	23.000
PTA Becken	9.000
PTA Oberschenkel- und Knie-Region	4.000
PTA Unterschenkel- und Fuß-Region	4.000
Endovaskuläre Aneurysma Therapie (Aorta thorakalis, abdominalis sowie supra- und infra-renal)	23.000

PCI = perkutane Koronarintervention; TAVI= Transkatheter- Aortenklappenimplantation; TACE= transarterielle Chemoembolisation; PTA = perkutane transluminale Angiographie

Die Strahlenbelastung der Patienten bei verschiedenen perkutanen biliären Eingriffen (PBIs) mit ultraschall- oder durchleuchtungsgesteuerten Gallengangspunktionen soll zur Erstellung empfohlener nationaler DRLs (75. Perzentil aller DFP s) herangezogen werden. Die DFP und Durchleuchtungszeit (FT) variierten je nach Zentrum und Art der PBI erheblich. Die Werte der Erst-PBIs waren signifikant höher als die der Folge-PBIs, jedoch gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den jeweiligen ersten PBI. Es zeigt sich keine Reduktion der Strahlenbelastung durch eine PBI mit US-geführter Gallengangspunktion im Vergleich zu einer mit fluoroskopisch geführter Punktion. Schmitz et al. empfiehlt also einen DRL von $4.300 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ für Erst-PBI und $1.400 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ für Folge-PBI (Schmitz et al., 2019).

Greffier et al. schlugen erstmals Referenzwerte für interventionelle Verfahren unter CT-Führung vor. Die Referenzwerte für das Gesamtdosislängenprodukt (DLPs) wurden definiert als die 3. Quartile der Werteverteilungen. Es wurden Referenzwerte für siebzehn Kategorien vorgeschlagen. Spinale oder perispinale Infiltration: $375 \text{ mGy} \times \text{cm}$, Vertebroplastie: $1.630 \text{ mGy} \times \text{cm}$, Biopsie: $845 \text{ mGy} \times \text{cm}$, Tumorablation: $1.950 \text{ mGy} \times \text{cm}$ und Drainage: $1.090 \text{ mGy} \times \text{cm}$. Ausgenommen der Infiltration sind diese Referenzwerte höher als die von Kloeckner et al. vorgeschlagenen (Greffier et al., 2020).

In einer aktuellen Veröffentlichung ermittelte Opitz et al. lokale diagnostische Referenzwerte (LDRLs) für die intra-arterielle Hämotherapie (IAC) bei pädiatrischen Patienten mit Retinoblastom (RB). Alle Verfahren wurden mit einem Flachbildschirm-Angiographie-System durchgeführt. Unter Berücksichtigung des Alters wurden verschiedene DRL erfasst. Die 75. Perzentile bei 4-12 Monate alten liegt bei $3,9 \text{ Gy} \times \text{cm}^2$, bei 13-72 Monate alten bei $7,0 \text{ Gy} \times \text{cm}^2$, bei 73 Monate-10 Jahre alten bei $14,5 \text{ Gy} \times \text{cm}^2$ und bei > 10 -jährigen bei $8,8 \text{ Gy} \times \text{cm}^2$. Es wurde ein signifikanter Dosisunterschied zwischen den untersuchten Altersgruppen nachgewiesen, jedoch keiner bei dem Geschlecht (Opitz et al., 2021b). Ein Jahr zuvor definierte er lokale diagnostische Referenzwerte (DRL) bei der endovaskulären Therapie (EVT) von Patienten mit kranialer und spinaler dural-arteriovenöser Fistel (dAVF), die sich einer EVT oder einer diagnostischen Angiographie unterzogen. Kraniale dAVF: EVT $507,33 \text{ Gy} \times \text{cm}^2$, n: 111, Angiographie $256,65 \text{ Gy} \times \text{cm}^2$, n: 71. Spinale dAVF: EVT $482,72 \text{ Gy} \times \text{cm}^2$, n: 24, Angiographie $396,39 \text{ Gy} \times \text{cm}^2$, n: 58. Die DRL der EVT war signifikant höher gegenüber den diagnostischen Angiographien (Opitz et al., 2021c).

5 Ergebnisse

Ablation

Die perkutane Radiofrequenz- oder Mikrowellenablation ist eine erprobte minimalinvasive Methode zur lokalen Abtötung von entartetem Gewebe. Bei diesem Verfahren wird eine Sonde, perkutan über einen Katheter, zum gewünschten Ziel geführt und dort wird die Zielläsion dann erhitzt. Unter CT-Steuerung erfolgt die Lokalisation des zu behandelnden Herdes und des Zugangsweges sowie das Verschieben und Platzieren der Sonde. Es folgt die Erhitzung der Läsion zur Abtötung der Tumorzellen. Nach Beendigung der Ablation erfolgt die Erhitzung des Einstichkanals unter Rückzug der Ablationssonde, um die Aussaat und Blutungen aus dem Stichkanal zu verhindern. Abschließend erfolgt im Regelfall eine CT-Untersuchung mit Kontrastmittel zur Abschätzung des Erfolgs der Intervention. Die Ablation kann wiederholt und auch nach einer Operation vorgenommen werden. Im Vergleich zu Operationen ist ein solcher Eingriff gewebesparender und auch weniger invasiv. Die Ablation kann unter örtlicher Betäubung, aber auch in Analgosedierung oder unter Allgemeinanästhesie stattfinden, v.a. wenn mehrere Herde zu behandeln sind.

Insgesamt konnten wir eine Anzahl von 458 Ablationsverfahren im Bereich Thorax und Lunge in unsere Analyse aufnehmen. Der Median des Dosislängenprodukts im Thorax- und Lungenbereich betrug $325 \text{ mGy} \times \text{cm}$ bei einem Minimalwert von $2 \text{ mGy} \times \text{cm}$, einem Maximalwert von $5.5846 \text{ mGy} \times \text{cm}$, einer 25. Perzentile von $141 \text{ mGy} \times \text{cm}$ und die 75. Perzentile lag bei $787 \text{ mGy} \times \text{cm}$. Der Median des CTDI betrug 32 mGy bei einem Minimalwert von 1 mGy , einem Maximalwert von 2.559 mGy , einer 25. Perzentile von 7 mGy und die 75. Perzentile lag bei 73 mGy . Die Anzahl der erfassten Ablationsverfahren im Bereich Leber und Niere beträgt 3.275. Der Median des Dosislängenprodukts betrug $1.064 \text{ mGy} \times \text{cm}$ bei einem Minimalwert von $1 \text{ mGy} \times \text{cm}$, einem Maximalwert von $155.088 \text{ mGy} \times \text{cm}$, einer 25. Perzentile von $476 \text{ mGy} \times \text{cm}$ und die 75. Perzentile lag bei $2.046 \text{ mGy} \times \text{cm}$. Der Median des CTDI betrug 60 mGy bei einem Minimalwert von 1 mGy , einem Maximalwert von 12.044 mGy , einer 25. Perzentile von 17 mGy und die 75. Perzentile lag bei $184,75 \text{ mGy}$.

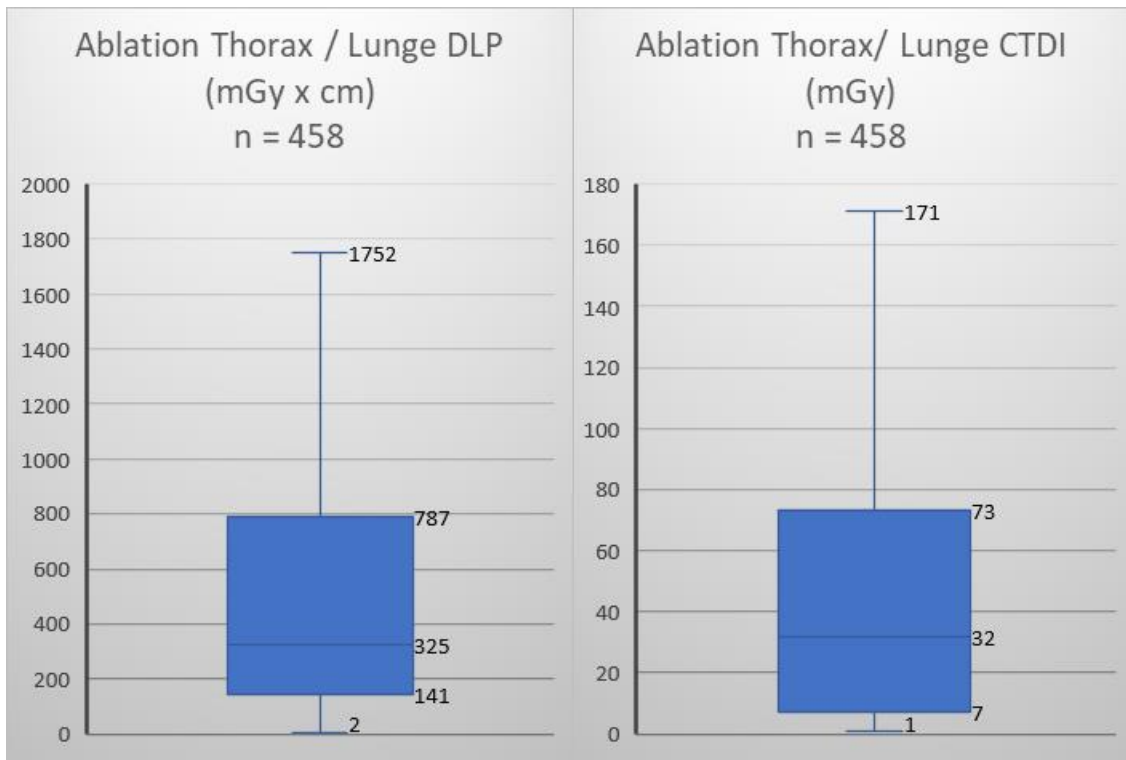


Abbildung 1: Kastendiagramm des DLP und des CTDI bei thorakalen Ablationen, n = 458

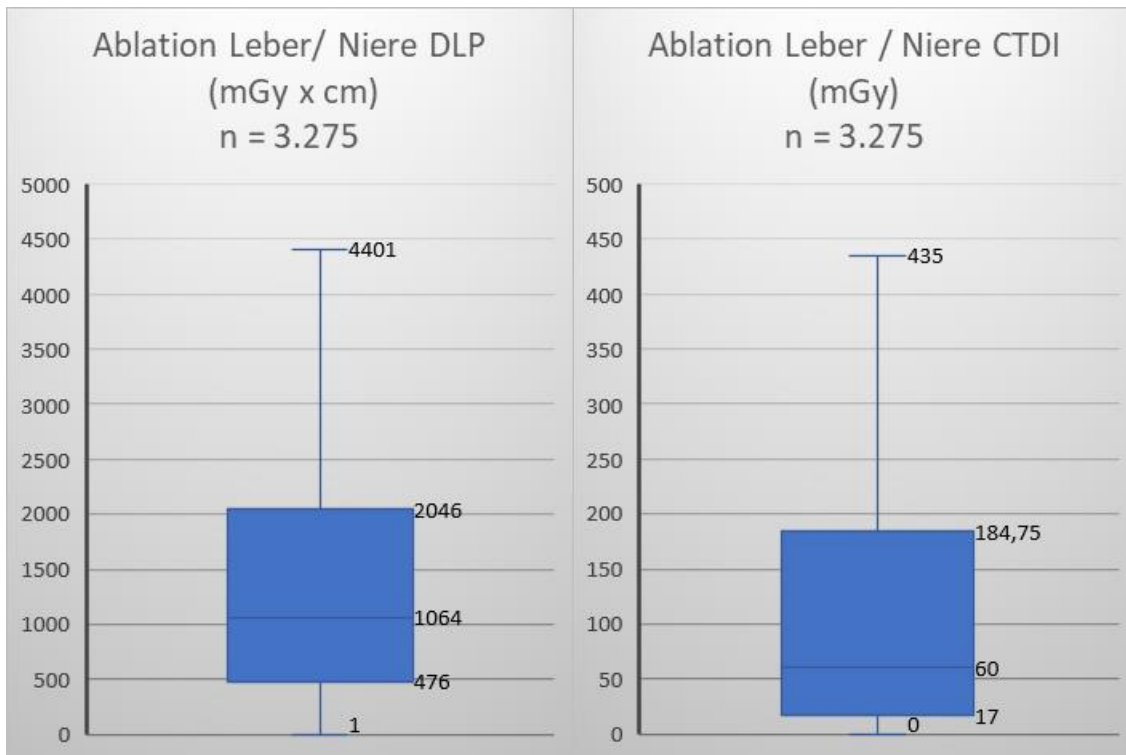


Abbildung 2: Kastendiagramm des DLP und CTDI bei Ablationen innerhalb der Leber und Niere, n = 3.275

Aneurysmabehandlung

Eine krankhafte Ausstülpung oder Erweiterung einer Gefäßwand kann bei Ruptur eine potenziell lebensbedrohliche Blutung hervorrufen. Die Diagnose eines Aneurysmas ist oft ein Zufallsbefund. Im Falle einer Ruptur klagt der Patient je nach Lokalisation und Ausdehnung der Blutung (gedeckte versus freie Ruptur) über mehr oder weniger spezifische Symptome. Prinzipiell existieren verschiedene minimalinvasive Behandlungsmethoden. Im Bereich der gehirnvorsorgenden Gefäße gibt es das Clipping- oder Coiling-Verfahren. Im Bereich der thorakalen und abdominalen Aorta gibt es das Stentgraft-Verfahren. Bei der thorakalen Aorta spricht man von der TEVAR (thoracic endovascular aortic repair), bei der abdominalen von der EVAR (endovascular aortic repair). Diese werden angiographisch unter Röntgenkontrolle durchgeführt. Abhängig von der Lokalisation des Aneurysmas kommen Rohrprothesen, Y-Prothesen oder fenestriert oder gebranchte Prothesen zum Einsatz. Hierfür wird eine Punktion oder chirurgische Präparation einer oder beider Leistenarterien vorgenommen. Dies dient der Durchführung einer Angiographie mittels Kontrastmittel zwecks Darstellung der Anatomie des betroffenen Gefäßes. Anschließend erfolgt die Platzierung der Prothese. Stellt sich das Ergebnis als befriedigend heraus, wird das Kathetersystem entfernt und die Leistenarterie verschlossen.

In unsere Analyse flossen insgesamt eine Anzahl von 918 einfachen und 59 komplexen thorakalen sowie 3.753 einfachen und 535 komplexen abdominalen Aneurysmabehandlungen ein. Der Median des Dosisflächenprodukts der einfach thorakalen Verfahren betrug $8.800 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ bei einem Minimalwert von $54 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$, einem Maximalwert von $856.180 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$, einer 25. Perzentile von $3.467 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ und die 75. Perzentile lag bei $19.628 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$. Der Median des Dosisflächenprodukts der komplexen thorakalen Verfahren betrug $15.694,5 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ bei einem Minimalwert von $337 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ einem Maximalwert von $106.929 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ und die 75. Perzentile lag bei $24.272 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$. Der Median des Dosisflächenprodukts der einfachen abdominalen Verfahren betrug $8.622 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ bei einem Minimalwert von $1 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$, einem Maximalwert von $762.4021 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$, einer 25. Perzentile von $3.693 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ und der 75. Perzentile lag bei $18.526,25 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$.

Der Median des Dosisflächenprodukts der komplexen abdominalen Verfahren betrug $14.063 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ bei einem Minimalwert von $25 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$, einem Maximalwert von $2.777.730 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$, einer 25. Perzentile von $6.384,25 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ und die 75. Perzentile lag bei $31.148 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$.

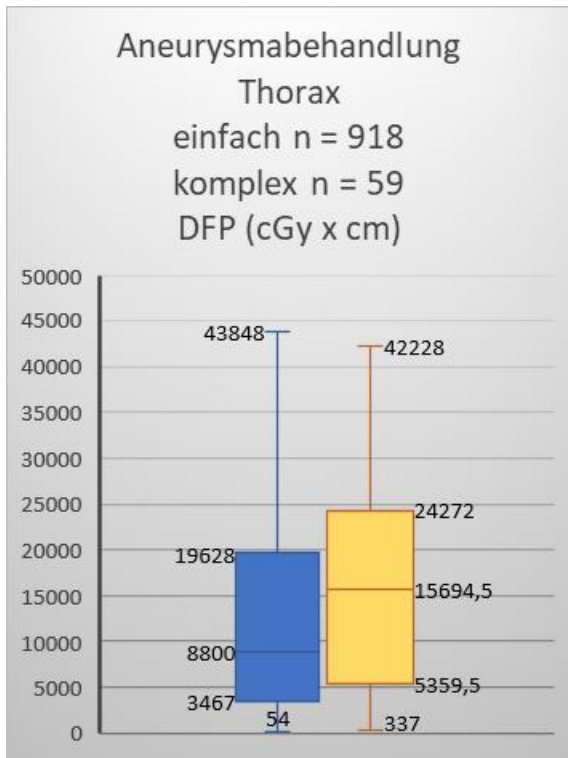


Abbildung 3: Kastendiagramm des DFP bei einfachen und komplexen thorakalen Aneurysmabehandlungen.

Blau: einfach n = 918
Gelb: komplex n = 59

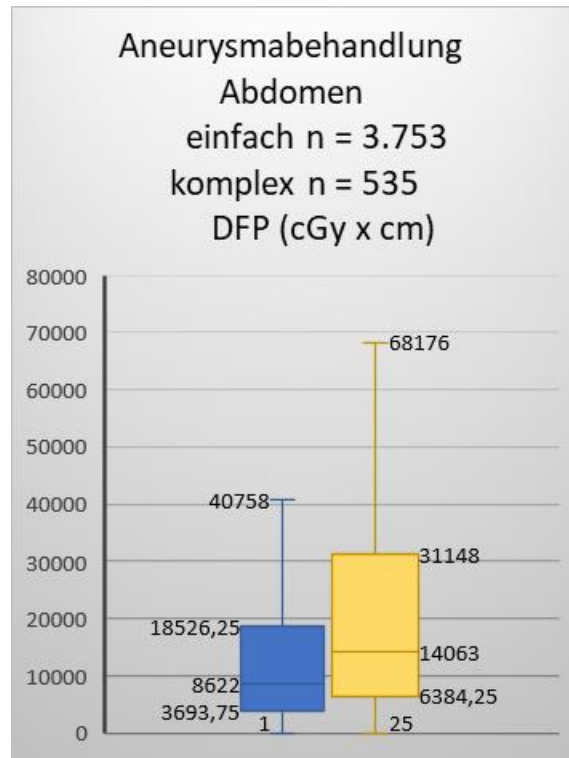


Abbildung 4: Kastendiagramm des DFP bei einfachen und komplexen abdominalen Aneurysmabehandlungen.

Blau: einfach n = 3.753
Gelb: komplex n = 535

Arterielle Rekanalisation

Liegen bei einem Patienten belastungsabhängige Schmerzen in den Beinen vor, so weist dies auf eine Verengung der Beinarterien hin. Heftige Bauchschmerzen (Angina abdominalis) ca. 15 bis 30 Minuten nach der Nahrungsaufnahme weisen auf eine Verengung der Darmarterien hin. In diesen Fällen kann eine gefäßeröffnende Intervention zur Rekanalisation verschlossener oder verengter Arterien notwendig sein.

Insgesamt konnten wir eine Anzahl von 32.636 arteriellen Rekanalisationsverfahren im Bereich der Iliakalgefäße, 79.089 im Bereich der Femoralarterien inklusive der A. poplitea und 26.866 im Bereich der Unterschenkelarterien auswerten. Der Median des Dosisflächenprodukts im Bereich der Iliakalgefäße betrug 3.515 cGy × cm² bei einem Minimalwert von 1 cGy × cm², einem Maximalwert von 4.701.700 cGy × cm², einer 25. Perzentile von 1.581,5 cGy × cm² und die

75. Perzentile lag bei 7.436 cGy × cm². Der Median des Dosisflächenprodukts im Bereich der Femoralarterien inklusive der Aa. popliteae betrug 976 cGy × cm² bei einem Minimalwert von 1 cGy × cm², einem Maximalwert von 9.505.072 cGy × cm², einer 25. Perzentile von 1.581,5 cGy × cm² und die 75. Perzentile lag bei 2.375 cGy × cm². Der Median des Dosisflächenprodukts im Bereich der Unterschenkelarterien betrug 673 cGy × cm² bei einem Minimalwert von 1 cGy × cm², einem Maximalwert von 7956.300 cGy × cm², einer 25. Perzentile von 355 cGy × cm² und die 75. Perzentile lag bei 1.505 cGy × cm².

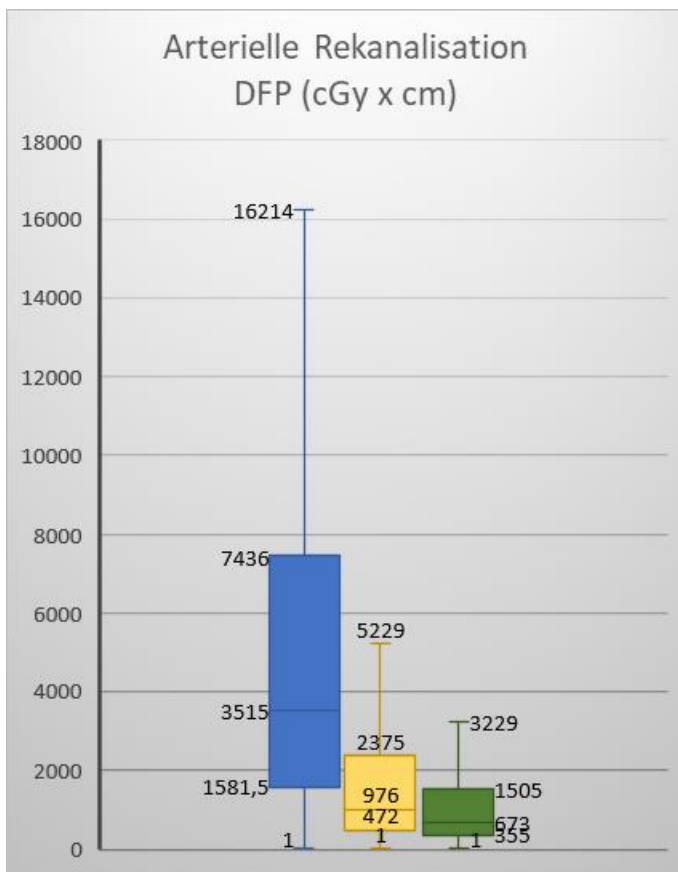


Abbildung 5: Kastendiagramm des DFP bei arteriellen Rekanalisationen der unteren Extremitäten

Blau: der Aa. iliaca, n = 32.636

Gelb: der Aa. femorales, poplitea, n = 79.089

Grün: der Unterschenkelarterien, n = 26.866

Diagnostische Punktion unter CT-Steuerung

Um Gewebeproben an bestimmten Stellen von Organen (Lunge, Leber, Lymphknoten oder Knochen) entnehmen zu können, eignet sich die CT-gesteuerte Punktion. Hierbei wird eine Punktionsnadel mit Hilfe von CT-Kontrollen im Regelfall nach lokaler Betäubung präzise in der zu punktierenden Läsion platziert. Die am Zielort entnommenen Gewebeproben werden anschließend durch die Pathologie oder Mikrobiologie untersucht.

Es konnten 37.144 Punktionsverfahren aus den Jahren 2018-2020 von uns analysiert werden. Der Median des Dosislängenprodukts betrug $309 \text{ mGy} \times \text{cm}$ bei einem Minimalwert von $1 \text{ mGy} \times \text{cm}$, einem Maximalwert von $29.828 \text{ mGy} \times \text{cm}$, einer 25. Perzentile von $176 \text{ mGy} \times \text{cm}$ und die 75. Perzentile lag bei $537 \text{ mGy} \times \text{cm}$. Der Median des CTDIs betrug 22 mGy bei einem Minimalwert von $0,13 \text{ mGy}$, einem Maximalwert von 105.504 mGy , einer 25. Perzentile von 9 mGy und die 75. Perzentile lag bei 58 mGy .

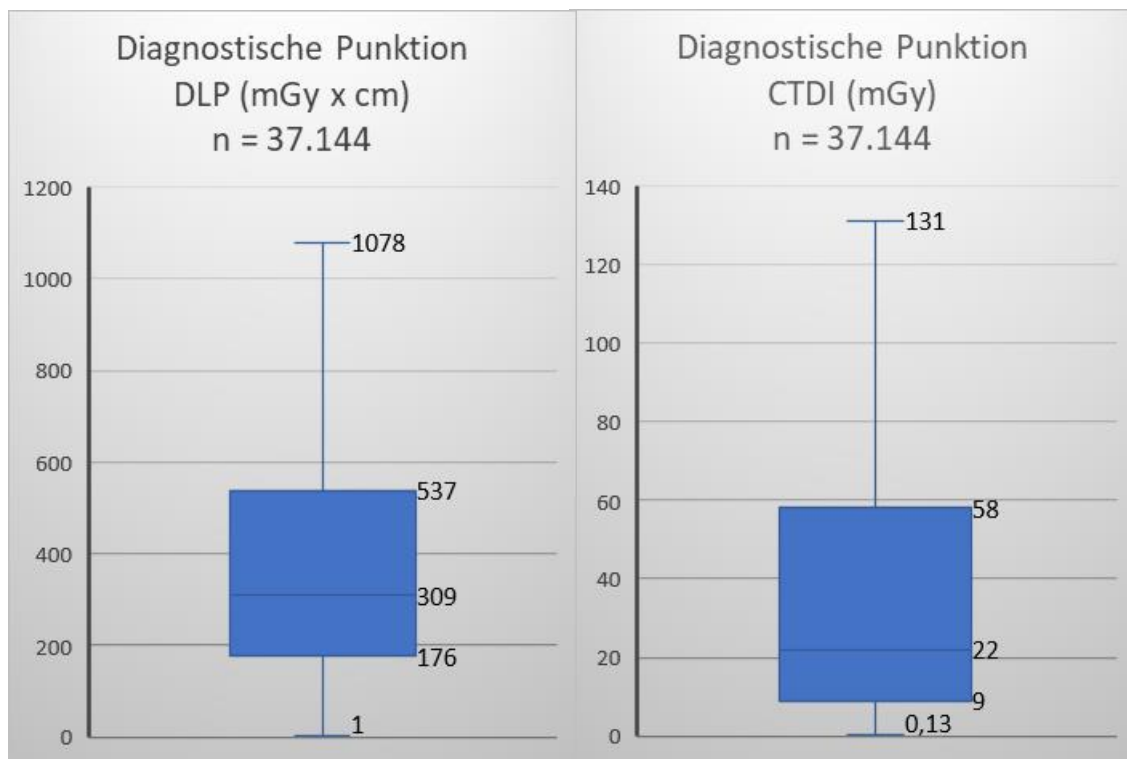


Abbildung 6 : Kastendiagramm des DLP und des CTDI bei diagnostischen Punktionen unter CT-Steuerung, $n = 37.144$

Drainagen

Eine CT-gesteuerte Drainage kann zum Ablassen von Flüssigkeitsansammlungen, wie Eiter oder Lymphflüssigkeit, erforderlich sein. Eine Probe dieser Flüssigkeitsansammlungen kann, um eine gezielte Antibiotika-Therapie zu ermöglichen, auf Keime untersucht werden. Bei diesem Verfahren wird unter CT-Kontrolle im Regelfall eine Hohlnadel bis zur Flüssigkeitsansammlung vorgeschoben und anschließend ein Draht eingeführt; seltener wird dies in Trokarttechnik ausgeführt. Über den eingebrachten Draht wird eine Drainage in der zu drainierenden Höhle platziert.

Es konnten 21.500 Drainageverfahren von uns eingeschlossen werden. Die CTDI-Angaben wurden im Jahr 2018 nicht durch das DeGIR Register erhoben und liegen daher nur bei $n = 14.106$ Fällen vor. Der Median des Dosislängenprodukts betrug $442 \text{ mGy} \times \text{cm}$ bei einem Minimalwert von $1 \text{ mGy} \times \text{cm}$, einem Maximalwert von $1.909 \text{ mGy} \times \text{cm}$, einer 25. Perzentile von $227 \text{ mGy} \times \text{cm}$ und die 75. Perzentile lag bei $774 \text{ mGy} \times \text{cm}$. Der Median des CTDIs betrug 20 mGy bei einem Minimalwert von $0,01$ einem Maximalwert von 3.209 mGy , einer 25. Perzentile von 10 und die 75. Perzentile lag bei 54 mGy .

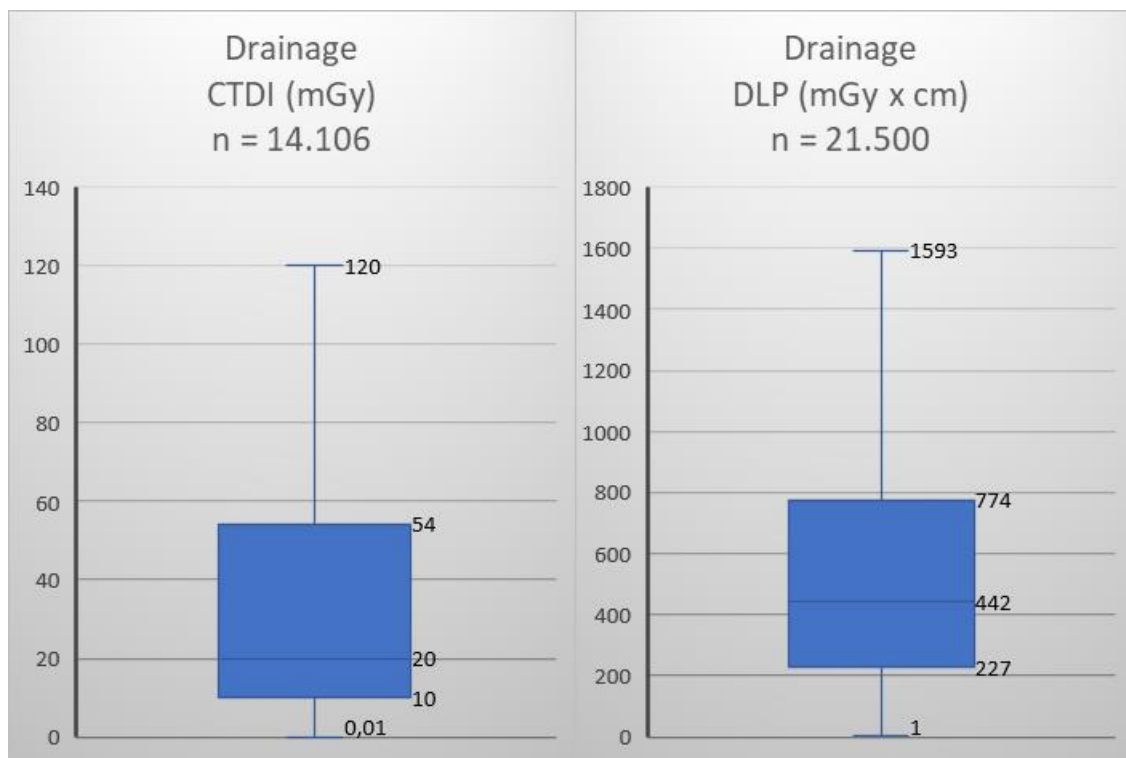
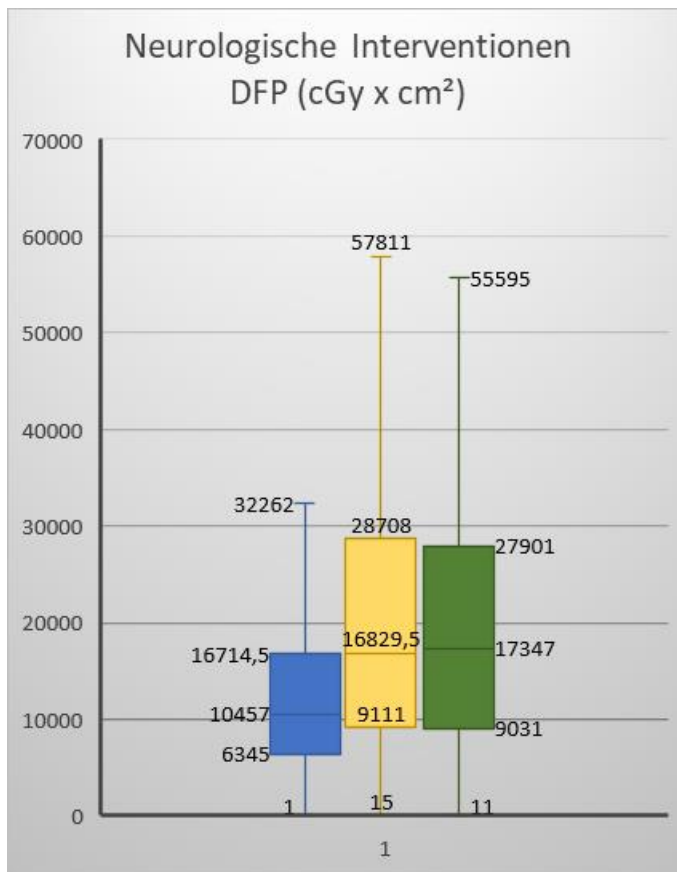


Abbildung 7: Kastendiagramm des DLP und des CTDI bei Drainagen, DLP $n = 21.500$, CTDI $n = 14.106$; die unterschiedlichen Fallzahlen ergeben sich, da im Jahr 2018 kein CTDI durch das Register erhoben wurde.

Neurologische Interventionen

Bei einer arteriovenösen Malformation (AVM) handelt es sich um Gefäßmissbildungen mit krankhaften Kurzschlüssen zwischen Arterien und Venen. Ein mögliches Risiko solcher AVM wie auch von Aneurysmen ist das Auftreten einer Ruptur mit Blutung. Außerdem kann ein raumfordernder Effekt erzeugt werden, was klinisch zu unspezifischen Symptomen wie Kopfschmerzen, Doppelbildern, erhöhtem Augeninnendruck, pulsierenden Geräuschen im Ohr und anderen neurologischen Symptomen führen kann. Zur Embolisation wird über eine arterielle Punktionsstelle ein Mikro-Katheter bis zur AVM vorgeführt. Dann erfolgt der Verschluss der Fistelverbindungen mit unterschiedlichen Embolisationsmaterialien.

Uns lagen 15.316 Verfahren zur Behandlung von zerebralen Aneurysmen vor, 2.013 bezüglich dualer AVM und 1.498 bezüglich der Embolisation bei pialen Angiomen. Der Median des Dosisflächenprodukts für Aneurysma-Embolisation betrug $10.457 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ bei einem Minimalwert von $1 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$, einem Maximalwert von $2.054.380 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$, einer 25. Perzentile von $6.345 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ und die 75. Perzentile lag bei $16.714,5 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$. Der Median des Dosisflächenprodukts für durale AVM-Embolisation betrug $16.829,5 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ bei einem Minimalwert von $15 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$, einem Maximalwert von $1.664.500 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$, einer 25. Perzentile von $9.111 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ und die 75. Perzentile lag bei $28.708 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$. Der Median des Dosisflächenprodukts für Embolisationen bei pialen-Angiomen betrug $17.347 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ bei einem Minimalwert von $11 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$, einem Maximalwert von $5.991.120 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$, einer 25. Perzentile von $9.031 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ und die 75. Perzentile lag bei $27.901 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$.

**Abbildung 8 :**

Kastendiagramm des DFP bei neurologischen Interventionen

Blau: Aneurysma-Behandlung
n: 15.316

Gelb: AV-Fistel-Behandlung
n: 2.013

Grün: piale Angiomen-Behandlung, n = 1.498

Neurologische Rekanalisation

Bei einem akuten Verschluss von hirnvorsorgenden Gefäßen muss innerhalb möglichst kurzer Zeit die Blutversorgung des Gehirns wiederhergestellt werden. Geschieht dies nicht, kommt es zu einem Mangel an Sauerstoff und das zu versorgende Gewebe geht zugrunde, im Sinne eines Schlaganfalls mit bleibenden Symptomen. Es gibt zwei grundsätzliche Möglichkeiten der Rekanalisation. Die systemische Lysetherapie beruht auf einer medikamentösen Blutverdünnung. Bei einer lokalen Lyse werden, über einen arteriellen Katheter, die blutverdünnenden Medikamente mehr oder weniger direkt in das verschlossene Gefäß injiziert. Wohingegen bei der mechanischen Rekanalisation über einen speziellen Katheter die Blutgerinnsel abgesaugt bzw. eingefangen werden.

Bei einer Stenose der Carotis ist eine Alternative zur gefäßchirurgischen Therapie die Stent-Platzierung. Hierbei erfolgt unter Röntgenkontrollen die Einbringung eines Katheters meist über die Leistenarterie, durch die Aorta, in die Carotis. Dort wird in die Verengung ein Stent

gelegt, der anschließend mit einem Ballon geweitet wird. Intracranielle Stenosen werden meist nur mit einem Ballon dilatiert.

In der Datenbank konnten wir 240 Datensätze zur Vasospasmustherapie, 1.550 zur Schlaganfalltherapie, 65 zur Behandlung intrakranieller Stenosen und 508 zum Carotis-Stenting ausmachen. Der Median des Dosisflächenprodukts für Vasospasmustherapien betrug $3.990 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ bei einem Minimalwert von $5 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$, einem Maximalwert von $28.358 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$, einer 25. Perzentile von $2.168 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ und die 75. Perzentile lag bei $6.936 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$. Der Median des Dosisflächenprodukts für Schlaganfalltherapien betrug $7.460 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ bei einem Minimalwert von $4 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$, einem Maximalwert von $1.628.880 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$, einer 25. Perzentile von $3.635 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ und die 75. Perzentile lag bei $12.390 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$. Der Median des Dosisflächenprodukts für intrakranielle Stenosen betrug $9.430,5 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ bei einem Minimalwert von $120 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$, einem Maximalwert von $45.021 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$, einer 25. Perzentile von $4.820,25 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ und die 75. Perzentile lag bei $13.104,5 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$. Der Median des Dosisflächenprodukts für Carotis-Stenting betrug $4.498 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ bei einem Minimalwert von $11 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$, einem Maximalwert von $117.467 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$, einer 25. Perzentile von $2.546 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ und die 75. Perzentile lag bei $8.846 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$.

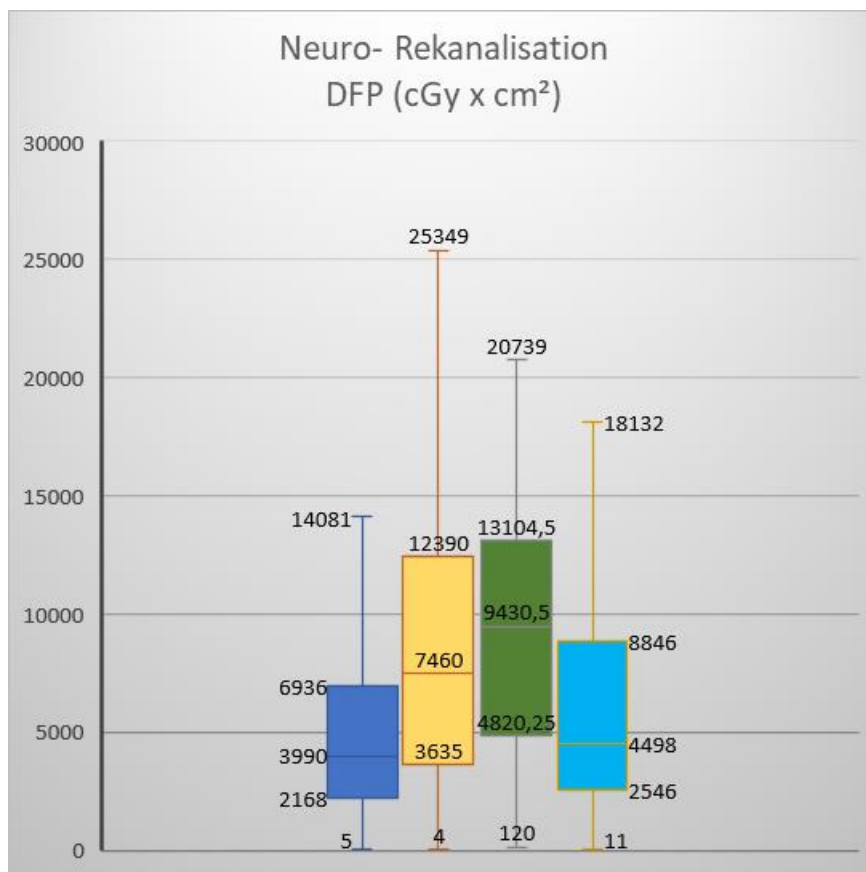


Abbildung 8:
Kastendiagramm des DFP bei neurologischen Rekanalisationen
Blau: Vasospasmus-Behandlung n = 240
Gelb: Schlaganfall-Behandlung n = 1550
Grün: intrakranielle Stenosen n = 65
Türkis: Carotis-Stenting n = 508

Osteoplastie

Die Osteoplastie ist ein minimalinvasives Verfahren und dient der Stabilisierung und Schmerzlinderung bei metastasierten Knochen in Folge eines Tumors (z.B. multiple Myelom). Der Eingriff findet unter lokaler Betäubung, Analgosedierung oder Allgemeinanästhesie statt. Unter Röntgenkontrolle wird eine Hohlnadel perkutan in den Knochen eingeführt und dieser dann mit Knochenzement aufgefüllt. Dieser härtet innerhalb einer halben Stunde aus und stützt den Knochen von innen und verhindert, dass dieser weiter in sich zusammensinkt. Auch ein Aufrichten bereits gesinterter Knochen ist möglich. Bei z.B. stark eingesunkenen Wirbeln kann eine Kyphoplastie notwendig sein. Hier wird der Wirbelkörper mittels Ballon-Katheter wieder aufgerichtet und anschließend wird in den dadurch entstehenden Hohlraum Knochenzement gefüllt. Belastung und Bewegung sind bereits kurz nach Abschluss des Verfahrens wieder möglich.

Für die Osteoplastie lagen 591 Verfahren für die Durchleuchtungskontrolle vor. Bei 634 wurde eine alleinige CT-Steuerung angewandt und bei 141 Anwendungen fand neben der Durchleuchtungskontrolle auch eine CT-Steuerung statt.

Der Median des Dosisflächenprodukts betrug bei der alleinigen Durchleuchtungskontrolle $1.395 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ bei einem Minimalwert von $3 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$, einem Maximalwert von $394.441 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$, einer 25. Perzentile von $700,5 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ und die 75. Perzentile lag bei $2.970 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$. Der Median des Dosislängenprodukts bei der alleinigen CT-Steuerung betrug $323 \text{ mGy} \times \text{cm}$ bei einem Minimalwert von $12 \text{ mGy} \times \text{cm}$, einem Maximalwert von $3.608 \text{ mGy} \times \text{cm}$, einer 25. Perzentile von $223 \text{ mGy} \times \text{cm}$ und die 75. Perzentile lag bei $460 \text{ mGy} \times \text{cm}$. Der Median des CTDIs betrug 27 mGy bei einem Minimalwert von 2 mGy , einem Maximalwert von 1.878 mGy , einer 25. Perzentile von 12 mGy und die 75. Perzentile lag bei 57 mGy .

Der Median des Dosisflächenprodukts betrug bei der Durchleuchtungskontrolle mit CT-Steuerung $758,5 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ bei einem Minimalwert von $18 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$, einem Maximalwert von $55.878 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$, einer 25. Perzentile von $500 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ und die 75. Perzentile lag bei $1.676,25 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$. Der Median des Dosislängenprodukts bei der Durchleuchtungskontrolle mit CT-Steuerung betrug $371 \text{ mGy} \times \text{cm}$ bei einem Minimalwert von $3 \text{ mGy} \times \text{cm}$, einem Maximalwert von $1.527 \text{ mGy} \times \text{cm}$, einer 25. Perzentile von $238 \text{ mGy} \times \text{cm}$ und die 75. Perzentile lag bei $583,5 \text{ mGy} \times \text{cm}$. Der Median des CTDIs betrug 108 mGy bei einem Minimalwert von 5 mGy , einem Maximalwert von 520 mGy , einer 25. Perzentile von 70 mGy und die 75. Perzentile lag bei 140 mGy .

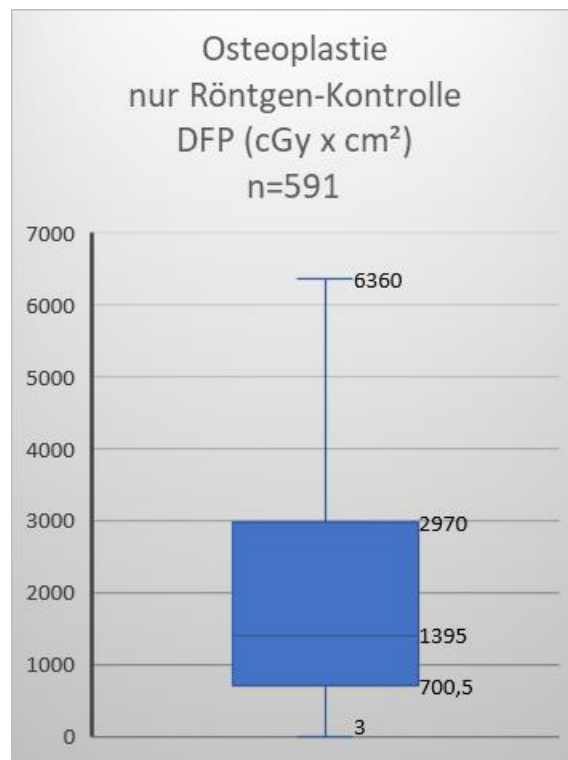


Abbildung 10: Kastendiagramm des DFP bei Osteoplastie mit reiner Durchleuchtungskontrolle, n= 591

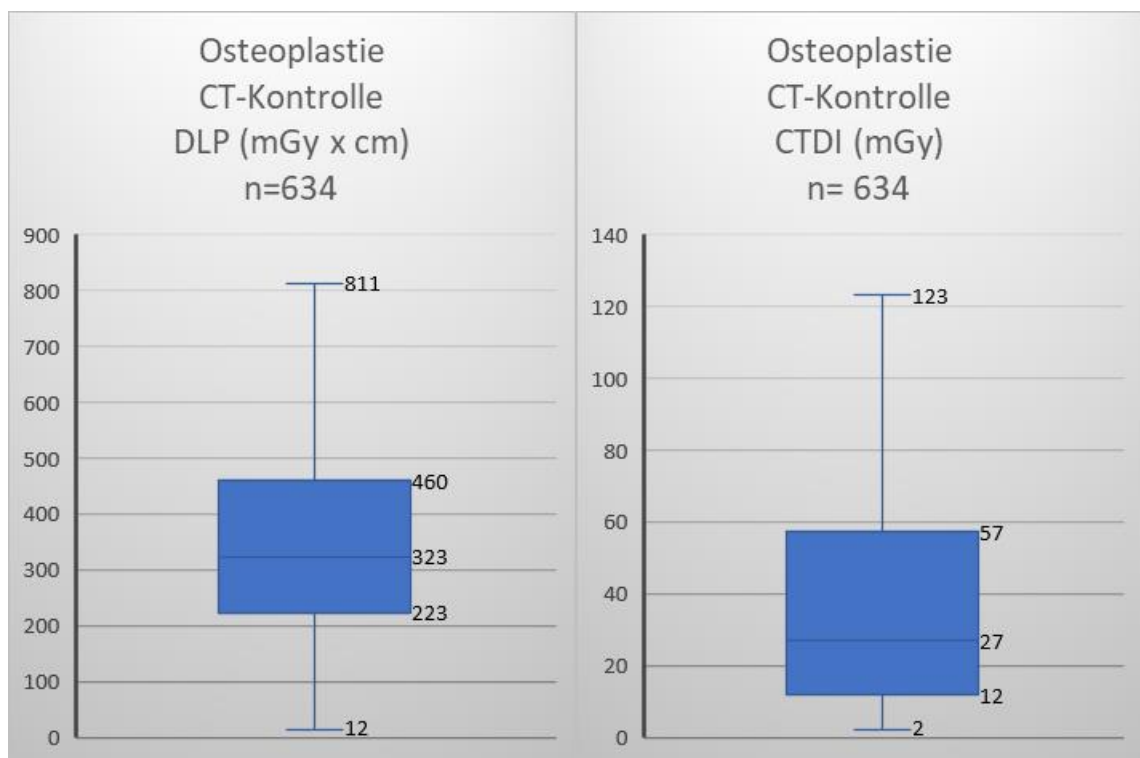


Abbildung 11: Kastendiagramm des DLP und CTDI bei Osteoplastie mit reiner Durchleuchtungskontrolle, n= 634

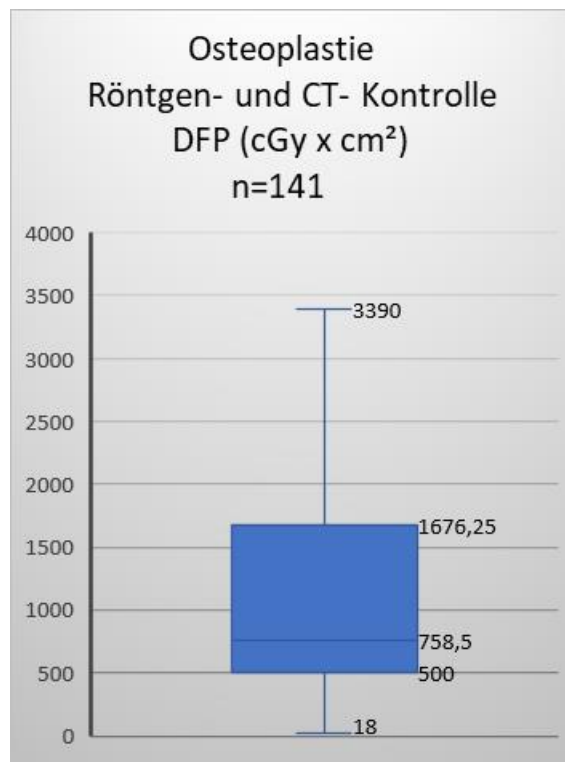


Abbildung 12: Kastendiagramm des DFP bei Osteoplastie mit Durchleuchtungskontrolle und CT-Steuerung, n= 591

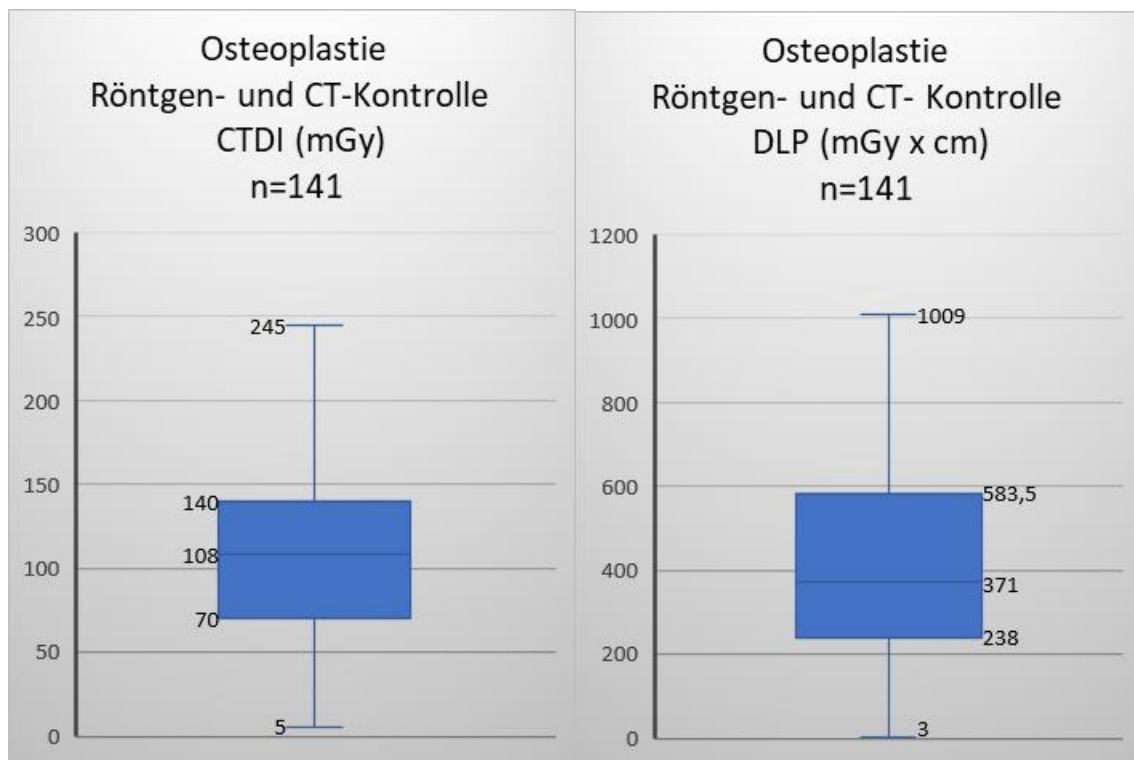


Abbildung 13: Kastendiagramm des DLP und CTDI bei Osteoplastie mit Durchleuchtungskontrolle und CT-Steuerung, n= 141

Gallengangsdrainagen

Die perkutane Gallengangsdrainage und Stentplatzierung dient der Entlastung aufgestauter Gallengänge – meist auf dem Boden maligner Stenosen, welche durch CCC, Gallenblasenkarzinome oder Pankreaskarzinome verursacht werden. Der Eingriff kann unter Röntgen- oder unter CT-Kontrolle durchgeführt werden. Zusätzlich kann auch noch der Ultraschall als begleitende Technik eingesetzt werden.

Der Eingriff beginnt mit einer Punktion der Leber auf Höhe der mittleren Axillarlinie des 10–12-Interkostalraums. Nach Entfernung des Mandrins wird die Nadel, unter Injektion von Kontrastmittel und unter Durchleuchtungskontrolle, langsam zurückgezogen, bis ein geeigneter Gallengang dargestellt wird. Bei erfolgreicher Punktion wird in Seldinger-Technik ein Draht eingelegt, über den eine Drainage vorgeschoben werden kann. Eine Punktion über den linken Leberlappen ist möglich, jedoch mit einer höheren Strahlenexposition verbunden. Der Datensatz umfasst alle Eingriffe an den Gallenwegen sowohl über einen Zugang von rechts als auch von links.

Es konnten 677 Gallengangsdrainagen mit Angaben zum DFP sowie 64 Interventionen mit DLP und CTDI-Angaben gefunden werden. Der Median des Dosislängenprodukts betrug $872 \text{ mGy} \times \text{cm}$ bei einem Minimalwert von $9 \text{ mGy} \times \text{cm}$, einem Maximalwert von $81.175 \text{ mGy} \times \text{cm}$, einer 25. Perzentile von $211 \text{ mGy} \times \text{cm}$ und die 75. Perzentile lag bei $1.560 \text{ mGy} \times \text{cm}$. Der Median des CTDIs betrug 65 mGy bei einem Minimalwert von 1 mGy , einem Maximalwert von 15.003 mGy , einer 25. Perzentile von $12,23 \text{ mGy}$ und die 75. Perzentile lag bei $142,5 \text{ mGy}$. Der Median des Dosisflächenprodukts betrug $1.738,5 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ bei einem Minimalwert von $3 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$, einem Maximalwert von $255.300 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$, einer 25. Perzentile von $644 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ und die 75. Perzentile lag bei $4.108,25 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$.

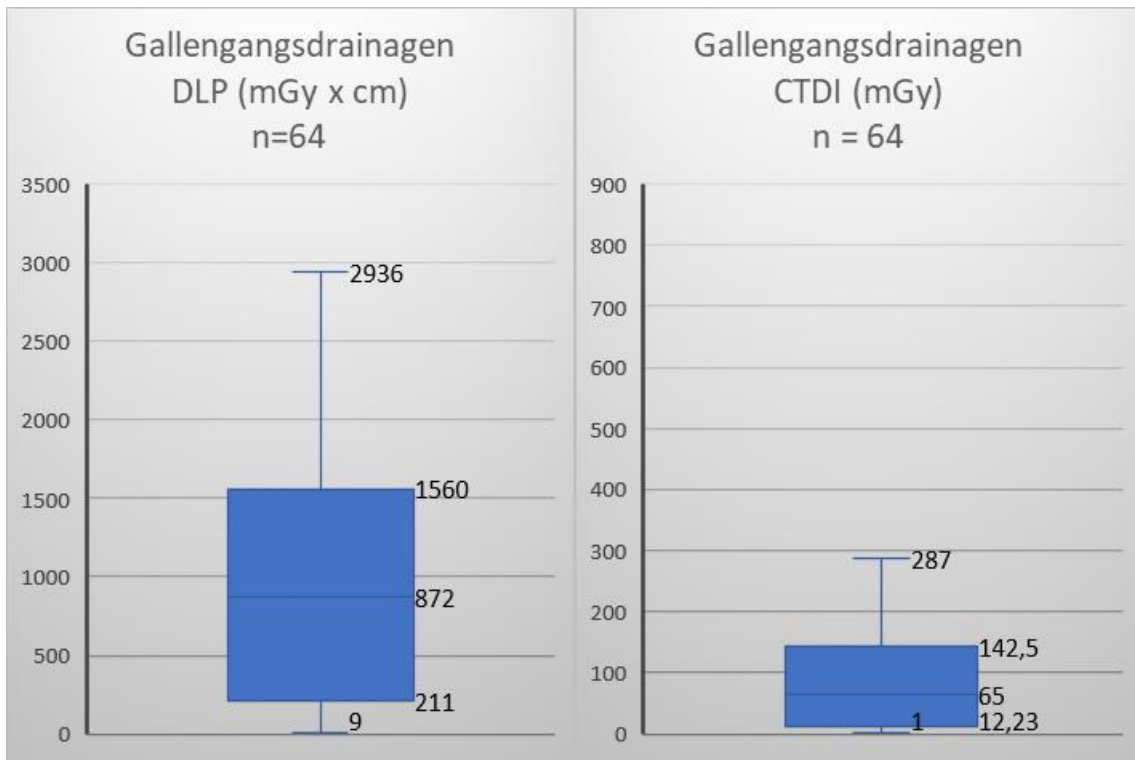


Abbildung 14: Kastendiagramm des DLP und CTDI bei Gallengangsdrainagen, n = 64

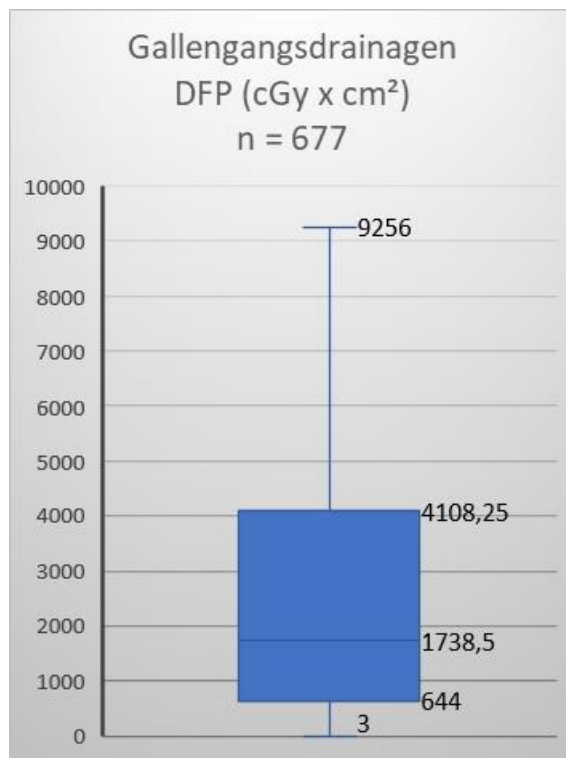


Abbildung 15: Kastendiagramm des DFP bei Gallengangsdrainagen, n = 677

Schmerztherapie

CT-gestützte Schmerztherapien sind z.B. beim chronischen Schmerzsyndrom durch Nervenwurzelreizung sowie Schmerzen durch einen Bandscheibenvorfall indiziert. Bei diesem Eingriff wird ein Lokalanästhetikum-Kortison-Gemisch unter CT-gestützter Sichtkontrolle am Ort der Nervenreizung appliziert. Dies führt zu einer Reduktion der Nervenempfindlichkeit und zu einer Abschwellung des Nervs. Zu diesen Therapien gehört die CT-gesteuerte periradikuläre Therapie (PRT). Sie ist indiziert bei Bandscheiben-Vorfällen ohne Lähmungen oder Stenosen des Spinalkanals. Die CT-gesteuerte Facettenblockade (CT-FB) ist bei Blockierung, Fehlbelastung oder degenerativen Veränderungen der Facettengelenke geeignet. Die CT-gesteuerte Plexusblockade im Oberbauch wird bei therapieresistenten Tumorschmerzen im Oberbauch eingesetzt.

Insgesamt konnten wir 23.345 CT-gesteuerte Eingriffe auflisten und 2.082 unter Röntgenkontrolle durchgeführte Interventionen. Der Median des Dosislängenprodukts betrug $100 \text{ mGy} \times \text{cm}$ bei einem Minimalwert von $1 \text{ mGy} \times \text{cm}$, einem Maximalwert von $10.098 \text{ mGy} \times \text{cm}$, einer 25. Perzentile von $35 \text{ mGy} \times \text{cm}$ und die 75. Perzentile lag bei $146 \text{ mGy} \times \text{cm}$. Der Median des CTDIs betrug 17 mGy bei einem Minimalwert von 1 mGy , einem Maximalwert von 13.816 mGy , einer 25. Perzentile von 10 mGy und die 75. Perzentile lag bei 36 mGy . Der Median des Dosisflächenprodukts betrug $124 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ bei einem Minimalwert von $1 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$, einem Maximalwert von $32.200 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$, einer 25. Perzentile von $33 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ und die 75. Perzentile lag bei $334 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$.

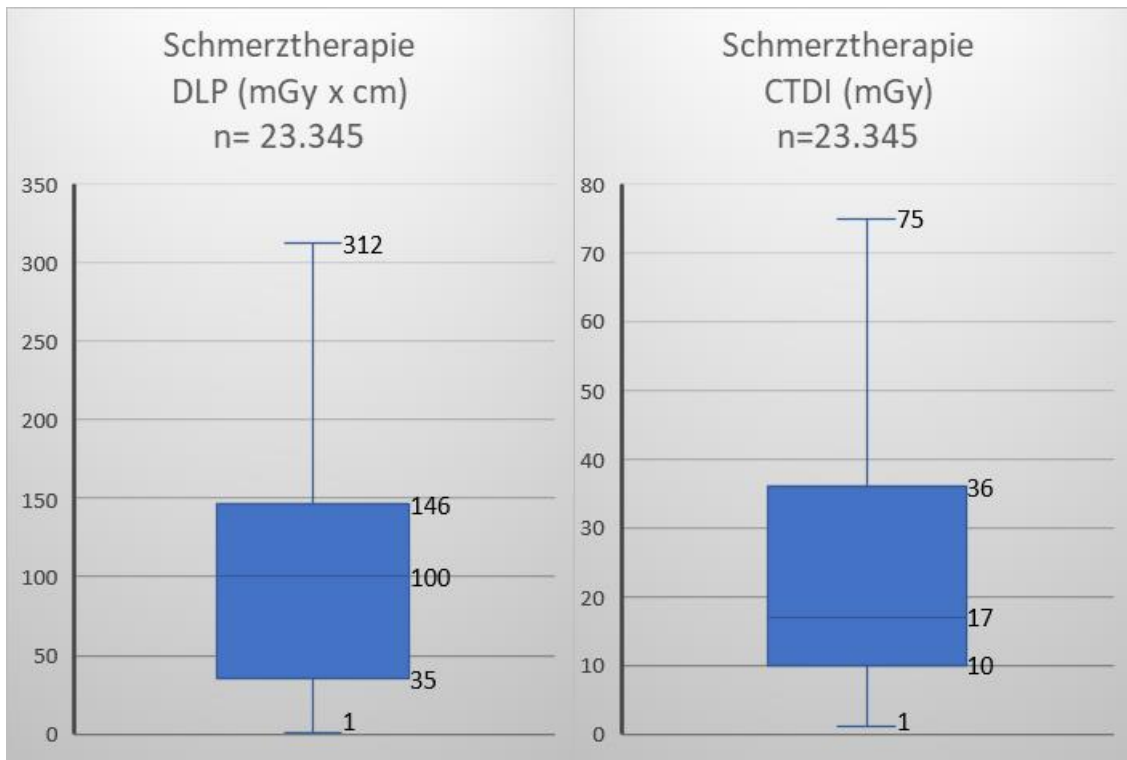


Abbildung 16: Kastendiagramm des DLP und CTDI bei Schmerztherapie, n = 23.345

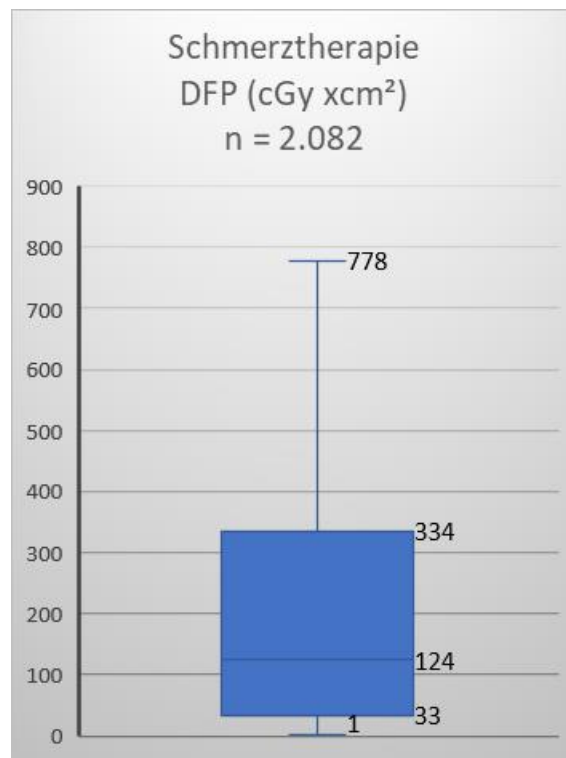


Abbildung 17: Kastendiagramm des DFP bei Schmerztherapie, n = 2.082

PICC

Bei einer PICC-Line handelt es sich um einen peripher eingeführten zentralvenösen Katheter (peripherally inserted central catheter). Er kann längere Zeit im Körper verbleiben und ist daher für Chemotherapien, antibiotische Therapien, parenterale Ernährung etc. geeignet. Auch Blutentnahmen sind darüber möglich. Unter Ultraschall- und Röntgenkontrolle wird bei lokaler Betäubung meist die V. basilica punktiert und ein Katheter mit seiner Spitze bis kurz vors Herz in die obere Hohlvene platziert. Der sichtbare PICC-Anteil wird mittels steriler Pflaster am Arm fixiert.

In den Jahren 2018-2020 wurden 10.278 PICC-Eingriffe aufgezeichnet. Der Median des Dosisflächenprodukts betrug $88 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ bei einem Minimalwert von $1 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$, einem Maximalwert von $39.943 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$, einer 25. Perzentile von $28 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ und die 75. Perzentile lag bei $300 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$.

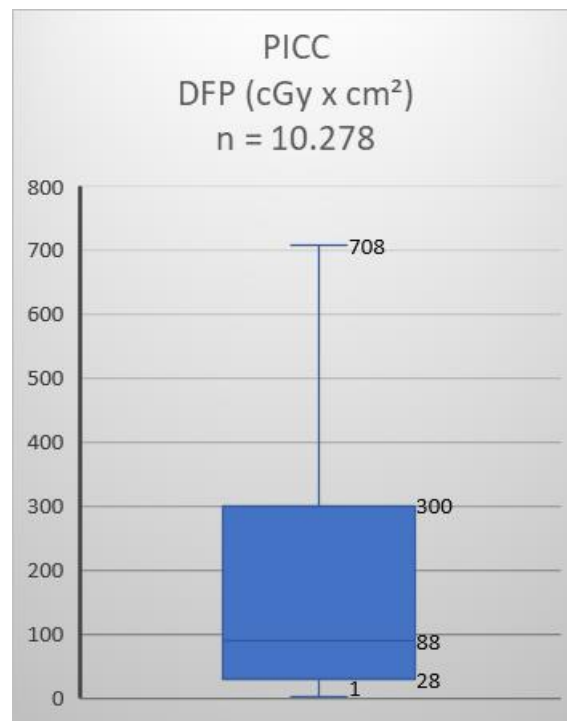


Abbildung 18: Kastendiagramm des DFP bei PICC, n = 10.278

TIPS-Neuanlagen

Bei einem TIPS (intrahepatischen portosystemischen Stent-Shunt) handelt es sich um eine künstliche Verbindung zwischen Pfortader und Lebervenen. Ziel ist die Druckreduzierung im Pfortadersystem bei Patienten mit fortgeschrittener Leberzirrhose, um gravierende Komplikationen wie portale Hypertension mit Aszites und Varizenblutungen zu therapieren. Die Anlage erfolgt transjugulär, über die rechte Vena jugularis, und gelangt über den rechten Vorhof in eine der Lebervenen. Über diese wird ein Pfortaderast punktiert. Ob die Punktion erfolgreich war, wird unter Röntgendurchleuchtung mittels Kontrastmittelinjektion verifiziert. Der neu geschaffene Trakt zwischen Lebervenen und Pfortader wird mittels eines Stents gesichert.

Wir analysierten insgesamt 3.393 TIPS-Neuanlagen. Der Median des Dosisflächenprodukts betrug $7.678 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ bei einem Minimalwert von $8 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$, einem Maximalwert von $2.684.630 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$, einer 25. Perzentile von $3.289,75 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ und die 75. Perzentile lag bei $17.059,75 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$.

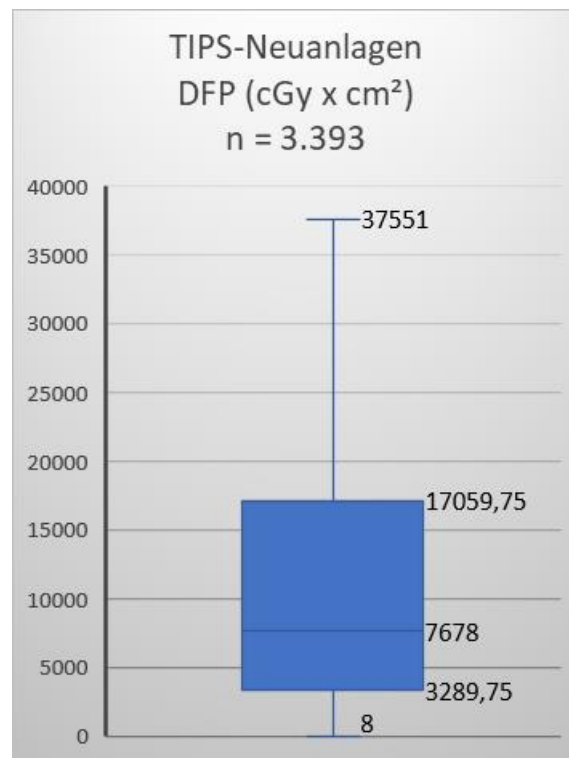


Abbildung 19: Kastendiagramm des DFP bei TIPS-Neuanlagen, n=3.393

Venöse Rekanalisation von Dialyseshunt

Shunt-Stenosen sind primär die Ursachen für eine nachlassende Shuntfunktion bis zu Shunt-Thrombosen. Klinisch äußert sich dies durch erhöhten venösen Gegendruck bei der Hämodialyse. Der Goldstandard zur Rekanalisation bei Verschlüssen ist die Ballondilatation. Dazu werden ein Katheter und ein meist hydrophiler Führungsdraht über die Läsion geführt. Über den liegenden Draht wird ein Ballonkatheter zur Dilatation eingeführt.

Die Datenbank enthielt für den gesuchten Zeitraum 10.567 Rekanalisationen von Dialyseshunt. Der Median des Dosisflächenprodukts betrug $414 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ bei einem Minimalwert von $1 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$, einem Maximalwert von $5.000.000 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$, einer 25. Perzentile von $168 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ und die 75. Perzentile lag bei $887,75 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$.

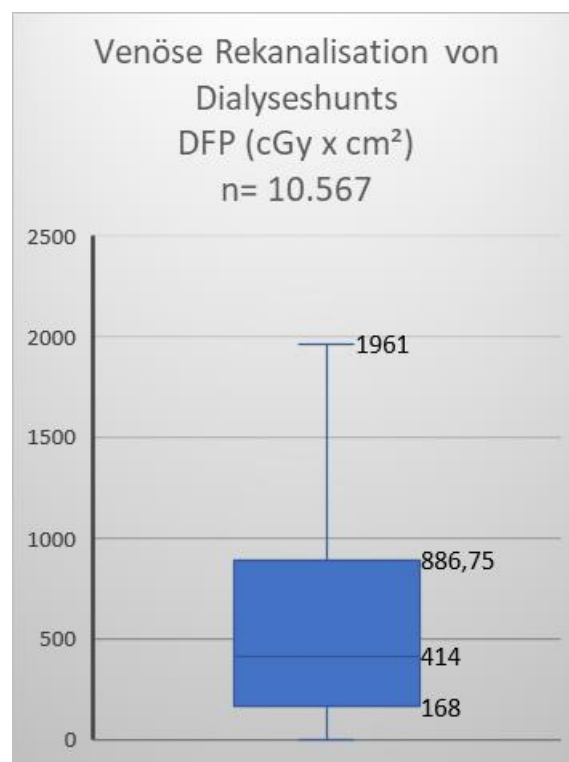


Abbildung 20: Kastendiagramm des DFP bei venöser Rekanalisation von Dialyseshunts, n = 10.567

Rekanalisation von Lungenarterien

Zur Rekanalisation von Lungenarterien liegen 346 Datensätze vor. Der Median des Dosisflächenprodukts betrug $6.323 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ bei einem Minimalwert von $5 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$, einem Maximalwert von $67.898 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$, einer 25. Perzentile von $3.900 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ und die 75. Perzentile lag bei $12.000 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$.

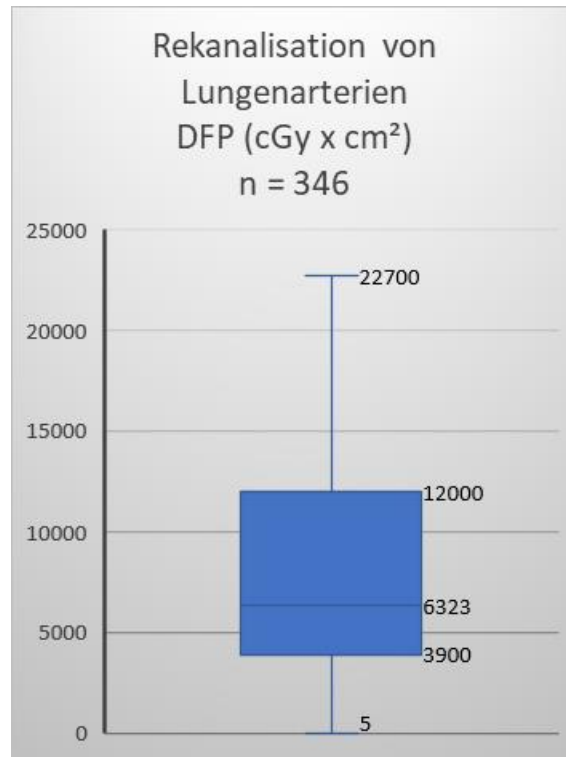


Abbildung 21: Kastendiagramm des DFP bei Rekanalisation von Lungenarterien, n = 346

TACE

Die transarterielle Chemoembolisation (TACE) ist ein Verfahren zur Behandlung von Lebertumoren wie das HCC und das CCC. Der Eingriff ermöglicht die Gabe von Chemotherapeutika bei gleichzeitiger Embolisation der den Tumor versorgenden Arterien. Nach Punktion der Leistenarterie wird ein Sondierungskatheter über die Aorta in den Truncus coeliacus platziert. Über diesen wird der Katheter zur Embolisation in die Arteria hepatica und gegebenenfalls in Lebersegmentarterien vorgeschoben. Die korrekte Lage des Katheters sowie die Tumorsituation wird mittels Kontrastmittel dargestellt. Die Kombination aus einem Embolisat und Chemotherapeutikum wird dann mehr oder weniger selektiv in den Tumor eingebracht.

Das Cone-Beam-CT liefert dreidimensionale Informationen über die Gefäßanatomie und auch über die Perfusion der Leber; zur Erstellung des dreidimensionalen Datensatzes rotiert die Angiographieanlage um den Patienten, sodass aus verschiedenen Angulationen ähnlich wie bei der CT Bilddaten akquiriert werden.

Es konnten insgesamt eine Zahl von 10.252 TACE-Prozeduren in unsere Untersuchungen eingeschlossen werden. Der Median des Dosisflächenprodukts für alle TACE sowie jene ohne Cone-Beam-CT betrug $9.232 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ bei einem Minimalwert von $2 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$, einem Maximalwert von $11.594.300 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$, einer 25. Perzentile von $4.159 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ und die 75. Perzentile lag bei $19.201,5 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$. Der Median des Dosisflächenprodukts für die TACE mit Cone-Beam-CT betrug $6.462 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ bei einem Minimalwert von $254 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$, einem Maximalwert von $158.868 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$, einer 25. Perzentile von $3.911 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ und die 75. Perzentile lag bei $15.542 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$.

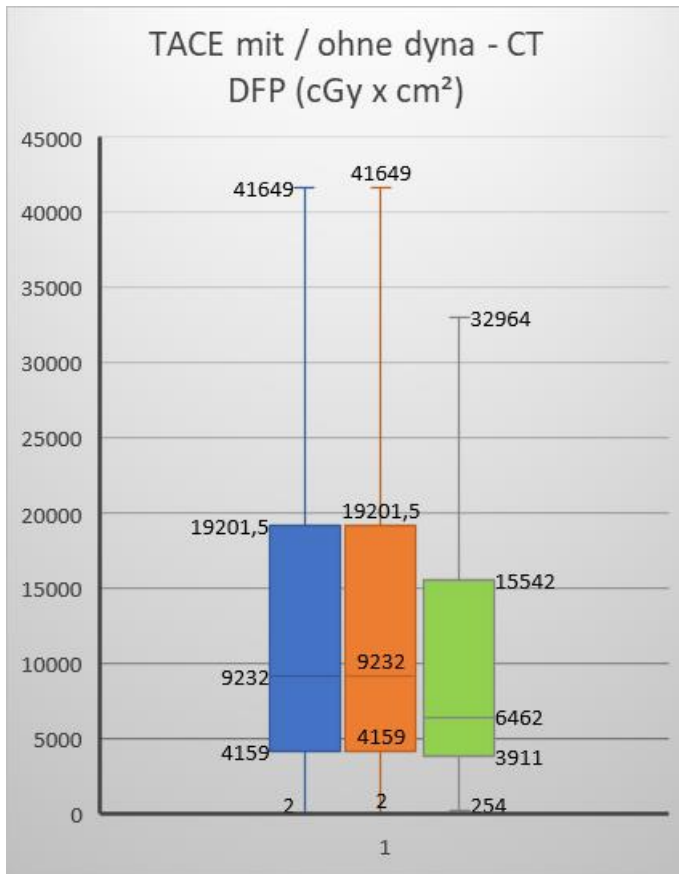


Abbildung 22:

Kastendiagramm des DFP bei TACE mit / ohne Cone-Beam-CT

- Blau:** Alle
- Orange:** ohne Cone-Beam-CT
- Grün:** mit Cone-Beam-CT

TAE

Die reine Tumorembolisation dient der Embolisation der tumorversorgenden arteriellen Gefäße im Sinne einer palliativen Behandlung inoperabler Tumore oder als neoadjuvante Therapie zum Downstaging. Das Verfahren wird bei neuroendokrinen Tumoren der Leber angewandt.

Insgesamt lagen 697 TAE-Untersuchungen vor. Der Median des Dosisflächenprodukts betrug $7.260 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ bei einem Minimalwert von $2 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$, einem Maximalwert von $1.735.800 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$, einer 25. Perzentile von $3.040,25 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ und die 75. Perzentile lag bei $13.642,75 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$.

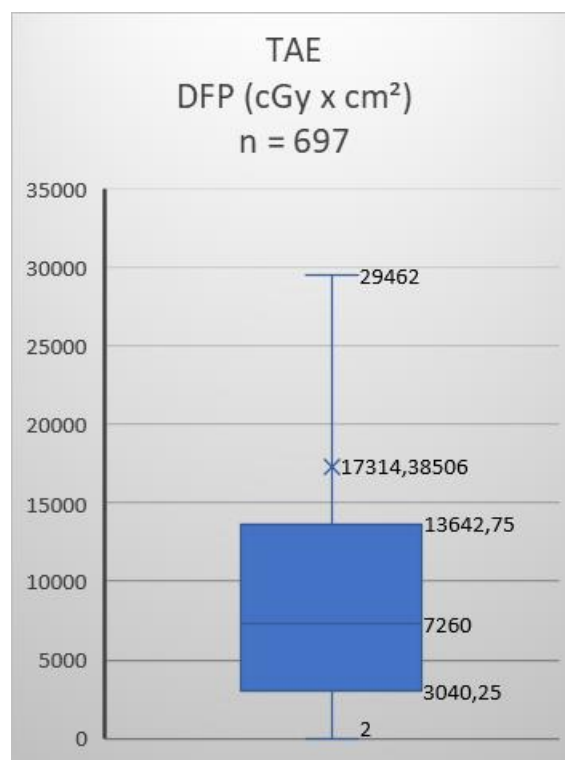


Abbildung 93: Kastendiagramm des DFP bei TAE, n = 697

TAC

Im Gegensatz zur TACE wird bei der TAC keine Embolisation von Lebergefäßen, sondern „nur“ die Perfusion der Leber mit einem Chemotherapeutikum vorgenommen. Wir konnten 537 TAC-Untersuchungen zwecks Analyse zusammentragen. Der Median des Dosisflächenprodukts betrug $4.751,5 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ bei einem Minimalwert von $5 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$, einem Maximalwert von $1.098.200 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$, einer 25. Perzentile von $1.862,5 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$ und die 75. Perzentile lag bei $11.375,5 \text{ cGy} \times \text{cm}^2$.

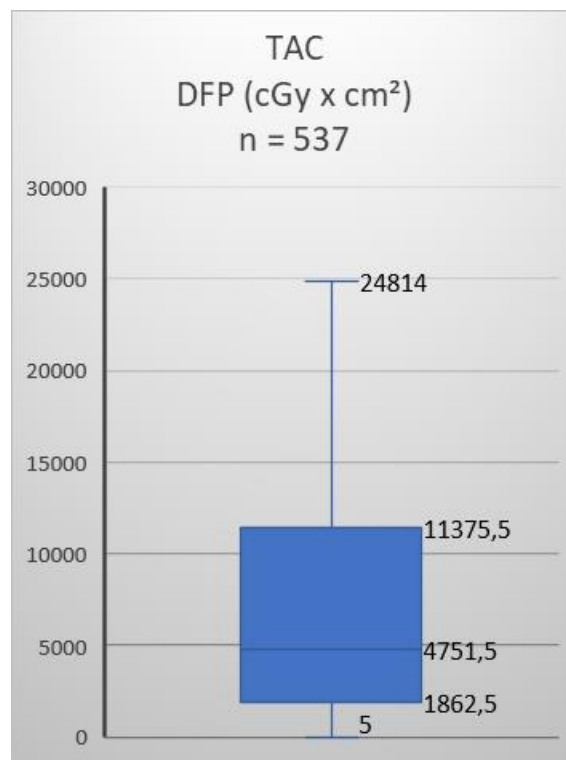


Abbildung 24: Kastendiagramm des DFP bei TAC, n = 537

Übersicht

In der nachfolgenden Tabelle fassen wir nochmal alle Daten zur besseren Übersicht zusammen.

Intervention		Minimal- Wert/ Maximal- Wert	Median	25. Perzentile/ 75. Perzentile	Anzahl
Ablation:					
Thorax/Lunge	DLP	2/55.846	325	141/787	458
Thorax/Lunge	CTDI	1/ 2.559	32	7/73	458
Leber/Nieren	DLP	1/155.088	1.064	476/2.046	3.275
Leber/Nieren	CTDI	1/12.044	60	17/184,75	3.275
Aneurysmabehandlung:					
Einfach thorakal	DFP	54/856.180	8.800	3.467/19.628	918
Komplex thorakal	DFP	337/106.929	15.694,5	5.359,5/24.272	59
Einfach abdominal	DFP	1/762.4021	8.622	3.693/18.526,25	3.753
Komplex abdominal	DFP	25/2.777.730	14.063	6.384,25/31.148	535
Arterielle					
Rekanalisation:					
Iliakalgefäße	DFP	1/4.701.700	3.515	1.581,5/7.436	32.636
Femoralgefäße	DFP	1/9.505.072	976	472/2.375	79.089
Unterschenkelarterie	DFP	1/7956.300	673	355/1.505	26.866
Punktion:					
	DLP	1/29.828	309	176/537	37.144
	CTDI	0,13/105.504	22	9/58	
Drainagen:					
	DLP	1/1.909	442	227/774	21.500
	CTDI	0,01/3.209	20	10/54	14.106

Ergebnisse

Neuro-Interventionen:

Aneurysma	DFP	1/2.054.380	10.457	6.345/16.714,5	15.316
Duale-AV-Fistel	DFP	15/1.664.500	16.829,5	9.111/28.708	2.013
AVM piale Angiome	DFP	11/5.991.120	17.347	9.031/27.901	1.498

Neuro-Rekanalisation:

Vasospasmustherapie	DFP	5/28.358	3.990	2.168/6.936	240
Schlaganfalltherapie	DFP	4/1.628.880	7.460	3.635/12.390	1.550
Intrakranielle Stenose	DFP	120/45.021	9.430,5	4.820,25/13.104,5	65
Carotis-Stenting	DFP	11/117.467	4.498	2.546/8.846	508

Osteoplastie:

Reine Durchleuchtungs- kontrolle	DFP	3/394.441	1.395	700,5/2.970	591
-------------------------------------	-----	-----------	-------	-------------	-----

CT-Steuerung

					634
	DLP	12/3.608	323	223/460	
	CTDI	2/1.878	27	12/57	

Durchleuchtungskon- trolle und CT-Steuerung	DLP	3/1.527	371	238/583,5	141
	CTDI	5/520	108	70/170	
	DFP	18/55.87	758,5	500/1.676,25	

Gallengangsdrainage	DLP	9/81.175	872	211/1.560	64
---------------------	-----	----------	-----	-----------	----

Rekanalisation und	CTDI	1/15.003	65	12,23/142,5	64
--------------------	------	----------	----	-------------	----

Rekonstruktion:	DFP	3/255.300	1.738,5	644/4.108,25	677
-----------------	-----	-----------	---------	--------------	-----

Schmerztherapie:	DLP	1/10.098	100	35/146	23.345
	CTDI	1/13.816	17	10/36	23.345

	DFP	1/32.200	124	33/334	2.082
--	-----	----------	-----	--------	-------

PICC:	DFP	1/39.943	88	28/300	10.278
-------	-----	----------	----	--------	--------

Ergebnisse

TIPS:	DFP	8/2.684.630	7.678	3.289,75/17.059,75	3.393
Venöse Rekanalisation:					
Dialyseshunts	DFP	1/5.000.000	414	168/886,75	10.567
Venöse Rekanalisation:					
Lungenarterien	DFP	5/67.898	6.323	3.900/12.000	346
TACE: Alle	DFP	2/11.594.300	9.232	4.159/19.201,5	10.252
ohne dyna-CT	DFP	2/11.594.300	9.232	4.159/19.201	11.092
mit dyna-CT	DFP	254/158.868	6.462	3.911/15.542	161
TAE:	DFP	2/1.735.800	7.260	3.040,25/13.642,75	697
TAC:	DFP	5/1.098.200	4.751,5	1.862,5/11.375,5	537

6 Diskussion

Vergleich der eigenen Ergebnisse mit denen aus der Literatur

In der folgenden Tabelle stellen wir die Referenz-Werte, veröffentlicht durch das Bundesamt für Strahlenschutz, den unseren gegenüber.

Intervention	BfS- Werte DFP (cGy × cm ²)	Unsere Werte 75. Perzentile DFP (cGy × cm ²)
Thrombose-Aspiration nach Schlaganfall	18.000	12.390
Coiling eines Aneurysmas des Gehirns	25.000	16.714,5
TACE	23.000	19.201,5
		(alle mit/ohne dyna-CT)
PTA Becken	9.000	7.436
PTA Oberschenkel- und Knie	4.000	2.375
PTA Unterschenkel- und Fuß-Region	4.000	1.505
Endovaskuläre Aneurysma-Therapie (Aorta thorakalis, abdominalis sowie supra- und infrarenal)	23.000	19.628 thorakal einfach 24.272 thorakal komplex 18.526,25 abdominal einfach 31.148 abdominal komplex

Das Bundesamt definierte einen Referenzwert für Thrombusaspiration bei Schlaganfall mit einem Wert von 18.000 cGy x cm² und für Coiling-Verfahren eines Aneurysmas im Gehirn mit einem Wert von 25.000 cGy x cm². Wir konnten mit 1.550 Verfahren einen Median von 7.460 cGy x cm² und eine 75. Perzentile von 12.390 cGy x cm² für Schlaganfallstherapien eruieren. Für Aneurysma-Therapien konnten wir mit 15.316 Verfahren einen Median von 10.457 cGy x cm² und eine 75. Perzentile von 16.714,5 cGy x cm² definieren. Somit liegen unsere Werte für beide Verfahren unterhalb der Referenzwerte des Bundesamtes. Dies galt auch für den

Diskussion

Vergleich mit den Werten von Rana et al.. Er beschrieb mit 8 Verfahren einen möglichen Grenzwert für intraarterielle Thrombolysen mit einer 75. Perzentile von 28.455 cGy x cm² sowie für Coiling von zerebralen Aneurysmen mit 54 Verfahren einen Wert von 37.078 cGy x cm² (Rana et al., 2018).

Selbiges galt für die TACE-Verfahren mit einer Anzahl von 10.252, einem Median von 9.232 cGy x cm² und einer 75. Perzentile von 19.201,5 cGy x cm² unsererseits. Das Bundesamt veröffentlichte einen Referenzwert von 23.000 cGy x cm² und Kloeckner et al. ermittelten mittels 92 Verfahren einen Median von 29.540 cGy x cm² und eine 75. Perzentile von 42.860 cGy x cm². Damit liegen beide deutlich über unseren Werten. Wir nahmen zusätzlich eine Unterteilung der TACE-Verfahren in die Subgruppen TACE mit Cone-Beam-CT (Median: 6.462 und 75. Perzentile: 15.542 cGy x cm²) und TACE ohne Cone-Beam-CT (Median: 9.232 und 75. Perzentile: 19.201 cGy x cm²) vor. Die Durchführung mittels Cone-Beam-CT wurde deshalb explizit erfasst, da die Strahlenexposition beim Cone-Beam-CT gegenüber einer einfachen DSA deutlich erhöht ist. Doch auch hier lagen wir mit den Werten beider Subgruppen unterhalb derer des Bundesamtes und von Kloeckner et al. (Kloeckner et al., 2012).

Die Dosiswerte bei der arteriellen Rekanalisation lagen unterhalb der vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) veröffentlichten Referenzwerte für diagnostische und interventionelle Röntgenanwendungen von 2018. Wir liegen bei der arteriellen Rekanalisation im Bereich der Aa. iliaca mit einem Median von 3.515 cGY x cm² und der 75. Perzentile von 7.436 cGY x cm² weit unterhalb der durch das Bundesamt angegebenen 9.000 cGY x cm². Dies gilt ebenfalls für die A. femoralis inklusive der A. poplitea mit dem Median von 976 cGY x cm² und der 75. Perzentile von 2.375 cGY x cm² versus 4.000 cGY x cm² sowie der Unterschenkelarterien mit einem Median von 673 cGY x cm² und einer 75. Perzentile von 1.505 cGY x cm² versus 2.500 cGY x cm².

In Bezug auf die Aneurysmabehandlung der Aorta lagen wir in jeglichen unserer Subgruppen unter dem durch das Bundesamt für Strahlenschutz angegebenen Dosisreferenzwert von 23.000 cGy x cm² mit der Ausnahme der abdominal komplexen, die mit ihrer 75. Perzentile bei 31.148 cGy x cm² liegen und damit oberhalb des vorgegebenen Referenzwertes. Bei unserer Subgruppierung berücksichtigten wir bei der Analyse jedoch sowohl die Lage der Pathologie als auch die Komplexität des Eingriffes, um u.a. der Tatsache Rechnung zu tragen, dass die Strahlendosis im Bereich des Thorax geringer ausfällt als im Abdomen und dass z.B. fenestrierte EVAR komplexer sind und hier eine höhere Strahlendosis und eine längere Bestrahlungszeit zu erwarten sind. Dies führte zu den Kategorien einfach thorakale, einfach abdominale, komplex

Diskussion

thorakale und komplex abdominelle Interventionen. Die Sinnhaftigkeit dieser Einteilung zeigt sich daran, dass unser Wert in der Subgruppe thorakal komplex und abdominal komplex oberhalb derer der einfachen Eingriffe liegt und unser Wert in der Subgruppe abdominal komplex den des Bundesamtes für die Gesamtgruppe überschreitet. Des Weiteren beinhalteten unsere Daten neben EVAR-Verfahren auch Endoleaks und Dissektionen. Daher ist ein Vergleich mit den Werten der Literatur und denen des BfS nur eingeschränkt möglich. Zwar berechneten ebenfalls Nyheim et al. und Frenzel et al. die DFP-Werte für die EVAR, allerdings wurden teils keine oder andere Subgruppierungen vorgenommen, was einen direkten Vergleich unmöglich macht (Nyheim et al., 2017) (Frenzel et al., 2021).

Die Werte für intrakranielle Stenosen (Median: 9.430 cGy x cm²) und Carotis-Stenting (Median: 4.498 cGy x cm²) können keinem direkten Vergleich unterzogen werden. Ein direkter Vergleich mit den Werten von Rana et al. ist für die Vasospasmustherapie (n: 240, Median 3.990 cGy x cm², 75. Perzentile 6.936 cGy x cm²) möglich und zeigt, dass unsere Werte deutlich niedriger sind. Er ermittelte mittels 15 Verfahren einen Dosiswert von 10.714 cGy x cm² (75. Perzentile) für die intraarterielle Nimodipin-Injektion (Rana et al., 2018).

Was die Neuroembolisation betrifft, liegen unsere Daten zur Embolisation von Aneurysmen (n: 15.316, Median: 10.457 cGy x cm², 75. Perzentile: 16.714,5 cGy x cm²) unterhalb der 75. Perzentile der Coiling-Verfahren von zerebralen Aneurysmen (37.078 cGy x cm², n 54) sowie von spinaler arterieller Embolisation (24.558 cGy x cm², n:7) von Rana et al.. Unsere Werte für duale AVM (n: 2.013, Median 16.829,5 cGy x cm² und 75. Perzentile 28.708 cGy x cm²) sowie für piale AVM (n: 1.498, Median 17.347 cGy x cm², 75. Perzentile 27.901 cGy x cm²) waren niedriger als die für zerebrale AVM von Rana et al. mit einer 75. Perzentile von 28.854 cGy x cm² bei 7 Eingriffen, sowie von Opitz et al. zur endovaskulären Therapie von spinalen dualen AVM mit einem Wert von 48.272 cGy x cm² bei 24 Eingriffen.

Der Wert von Opitz et al. zu endovaskulärer Therapie von kranialen duralen AV-Fisteln liegt bei 111 Verfahren mit 50.733 cGy x cm² unterhalb unserer 75. Perzentile (Rana et al., 2018) (Opitz et al., 2021c).

Die Ablationen betreffend konnten wir keinen direkten Vergleich mit den Werten von Engstrand et al. vornehmen, da diese den Mittelwert und nicht den Median berechneten und keine 75. Perzentile angaben (Engstrand et al., 2017). Die Korrelation mit den DLP-Werten von Kloeckner et al. zeigt, dass wir in unseren Gesamtgruppen unterhalb der Werte von Kloeckner et al. liegen. Im Bereich Thorax und Lunge weisen wir mit einem Median von 325 mGy x cm und der 75. Perzentile von 787 mGy x cm geringere Werte im Vergleich auf. Selbiges gilt für

Diskussion

die Gesamtgruppe Leber- und Nierenablation. Hier liegt unser Median mit 1.064 mGy x cm ebenfalls unterhalb dessen von Kloeckner et al. mit 1.403 mGy x cm. Jedoch liegt unsere 75. Perzentile der Gesamtgruppe Leber- und Nierenablation mit 2.046 mGy x cm knapp oberhalb deren Wert von 1.906 mGy x cm (Kloeckner et al., 2013). Um auszuschließen, dass diese Wertedifferenzen aus der Vereinigung unserer Subgruppen resultieren, verglichen wir die einzelnen Subgruppen miteinander. Bei einer alleinigen Betrachtung der Lungenablation (n: 271, Median von 455,5 mGy x cm und 75. Perzentile von 950 mGy x cm) weisen wir geringere Werte im Vergleich zu Kloeckner et al. (n: 8, Median von 932 mGy x cm und 75. Perzentile von 1.270 mGy x cm) auf. Auch unsere 3.569 Leberablationen mit einem Median von 1.232 mGy x cm liegen unterhalb dessen von Kloeckner et al. Doch auch hier liegt die 75. Perzentile mit 2.072,5 mGy x cm knapp oberhalb deren Wert von 1.906 mGy x cm (Kloeckner et al., 2013). Für unsere Subgruppe der Nierenablationen (n: 527, Median: 817,5 mGy x cm, 75. Perzentile 1.583,5 mGy x cm) konnte kein Vergleich vorgenommen werden, da diesbezüglich keine Analysen in der Literatur vorliegen.

In Fall der 37.144 diagnostischen Punktions nahmen wir keine Unterteilung der Daten in Bezug auf die Punktionsregion vor. Jedoch liegen wir mit unserem DLP-Median von 309 mGy x cm sowie der 75. Perzentile von 537 mGy x cm für alle Punktionsregionen mit 20 Verfahren weit unter der 75. Perzentile von Greffier et al. mit 845 mGy x cm sowie unterhalb der Werte jeder einzelnen der Subgruppen von Kloeckner et al. (Leber: n: 406, Median 760 mGy x cm, 75. Perzentile 982 mGy x cm; Lunge/Pleura: n: 242, Median 538 mGy x cm, 75. Perzentile 662 mGy x cm; Retroperitoneal: n: 115, Median 781 mGy x cm, 75. Perzentile 1.098 mGy x cm; Mediastinal: n: 34, Median 595 mGy x cm, 75. Perzentile 891 mGy x cm; Renal/Suprarenal: n: 29, Median 738 mGy x cm, 75. Perzentile 899 mGy x cm) (Greffier et al., 2020) (Kloeckner et al., 2013).

Dies gilt ebenfalls für die Drainagen mit 21.500 Verfahren. Auch hier nahmen wir keine Unterteilung der Daten in Bezug auf die Drainagenregion vor. Leider kann hier kein sicherer Bezug zu den Werten von Kloeckner et al. hergestellt werden, da dieser seine Angaben von 2013 in verschiedene Drainagenregionen einteilte. Unser Median von 442 mGy x cm sowie die 75. Perzentile von 774 mGy x cm für alle Drainagenregionen liegen jedoch unter den Werten von Kloeckner et al. bezüglich abdomineller Drainagen (n: 335, Median: 719 mGy x cm, 75. Perzentile: 942 mGy x cm) und unterhalb des Medians für pleurale Drainagen (n: 117, Median: 521 mGy x cm). Lediglich unsere 75. Perzentile liegt oberhalb derer von Kloeckner et al. für pleurale Drainagen (75. Perzentile: 630 mGy x cm) (Kloeckner et al., 2013). Dies ist unserer Ansicht nach der Zusammenführung so wie der unterschiedlichen Fallzahl geschuldet.

Diskussion

In Korrelation mit dem DLP-Median von Kloeckner et al. (n: 167, Median von 1.454 mGy x cm, und der 75. Perzentile von 1.666 mGy x cm) für Vertebroplastie und dem Median von Greffier et al. (n: 26, Median von 1.000 und 75. Perzentile von 1.630 mGy x cm), ist unser Median (n: 141, Median von 371 mGy x cm und der 75. Perzentile von 583,5 mGy x cm) bei der Kombination aus Durchleuchtungskontrolle mit CT-Steuerung deutlich niedriger. Auch der Median des DLP bei der alleinigen CT-Steuerung liegt mit 323 mGy x cm und der 75. Perzentile von 460 mGy x cm unterhalb der Werte von Kloeckner et al. und Greffier et al. (Kloeckner et al., 2013) (Greffier et al., 2020).

Bei unserer Analyse von Gallengangsinterventionen inkludierten wir alle Eingriffe, ohne eine Gruppierung unsererseits hinsichtlich der Seite des Zugangs für das DLP und den CTDI-Wert. Um einen direkten Vergleich unserer Werte mit denen von Kloeckner et al. vornehmen zu können, werteten wir die DFP-Daten bezüglich der Seite des Zugangs zusätzlich aus. In der Subgruppe Zugang von rechts liegen wir mit unseren Werten unterhalb derer von Kloeckner et al. (Unsere Werte: n: 3.697; Median: 1.738,5; 75. Perzentile: 4.108,25 vs. Kloeckner et al: n: 61; Median: 11.390; 75.Perzentile: 15.510). Auch bei einem Zugang von links liegen wir mit unseren Werten unterhalb derer von Kloeckner et al. (Unsere Werte: n: 1.320; Median: 1.579; 75. Perzentile: 3.942 vs. Kloeckner et al: n: 22; Median: 17.090; 75.Perzentile: 30.840) (Kloeckner et al., 2012).

Unser DLP-Median aus 23.345 Verfahren mit 100 mGy x cm und der 75. Perzentile von 146 mGy x cm für die Schmerztherapie liegt deutlich unterhalb der Werte von Kloeckner et al. mit einem Median 948 mGy x cm und der 75. Perzentile von 1.174 mGy x cm bei 23 Eingriffen (Kloeckner et al., 2013).

Einer der Hauptgründe für diese Wertedifferenz innerhalb der oben genannten Interventionen im Vergleich mit der Literatur, ist die seit Jahren zunehmende Weiterentwicklung, Verbesserung und Neuerung hinsichtlich der Software und Hardware. Darüber hinaus sind die von uns untersuchten Fallzahlen im Vergleich zur Literatur deutlich höher, was auch eine der größten Stärken dieser Studie ist.

Für die folgenden Interventionen, venöse Rekanalisation von Dialyseshunt und Lungenarterie, TIPS-Neuanlagen sowie TAE-, TAC- und PICC-Verfahren, wurden in den letzten Jahren keine Daten veröffentlicht.

Kritische Betrachtung der eigenen Untersuchung

Bei dieser Arbeit handelt es sich um eine retrospektive Analyse von Registerdaten mit den entsprechenden systematischen Nachteilen für solche Daten. Das von uns genutzte freiwillige Qualitätsmanagementsystem wurde von den Interventionsradiologen gut angenommen. Dies spiegelt sich durch einen großen Pool an Daten wider und bietet somit einen umfangreichen und deutschlandweiten Überblick in Bezug auf die Strahlenbelastung bei Interventionen, was eine große Stärke dieser Arbeit ist. Auch die Tatsache, dass unser einziges Ausschlusskriterium Werte ohne Angaben oder mit der Angabe 0 waren, erlaubte es uns, fast alle stattgefundenen Interventionen in einem bestimmten Zeitraum in die Studie einzubeziehen. Dies reduziert eine Verzerrung. Daneben fand in unserer Auswertung keine Patientenselektion statt. Damit spiegelt diese Analyse die Daten der aktuellen Patientenpopulation wider.

Aller Wahrscheinlichkeit nach handelt es sich bei den unteren Ausreißern um abgebrochene Interventionen und Fehleingaben. Während einiger Simulationen unter Eliminierung der Ausreißer wurde festgestellt, dass es zu keinen relevanten Veränderungen in Bezug auf die Werte Perzentile und Median durch das Exkludieren von Ausreißern kommt. Deshalb wurden keine weiteren Daten ausgeschlossen und infolgedessen fließen alle Daten in die Analyse mit ein. Durch die Inkludierung der unteren Ausreißer kommt es zu einer Senkung u.a. der 75. Perzentile. Dies wirkt sich allenfalls im Sinne einer Senkung der von uns ermittelten 75. Perzentilen aus, was bei Verwendung dieser Daten als Grundlage für Dosisrichtwerte somit eher zu niedrigeren Werten führen würde. Da es sich bei Referenzwerten um Richtwerte handelt und diese somit überschritten werden können, ist mit dem Inkludieren der unteren Ausreißer eine Sicherstellung gegeben, dass eher niedrigere Werte errechnet werden.

Die Software erlaubt eine detaillierte Übersicht der multiplen Faktoren, die während eines Eingriffs eine Rolle spielen können. Ebenfalls erleichtert sie den Vergleich der Daten einzelner Institute mit den gepoolten Daten aller teilnehmenden radiologischen Abteilungen.

Die vorliegende Analyse weist jedoch auch einige Einschränkungen und Mängel auf. Berücksichtigt werden muss zum Beispiel ein gewisser Bias im Rahmen des freiwilligen Registers. Ein weiterer Hauptkritikpunkt an dieser Studie ist, dass wir uns ausschließlich auf die Auswertung dosimetrischer Daten konzentriert haben. Andere Daten wie z.B. klinische Daten, wurden jedoch nicht gewertet. Einflüsse wie das Gewicht und die Größe des Patienten auf die Dosiswerte wurden nicht berücksichtigt, was eine Schwäche dieser Studie darstellt, da die Literatur deutlich aufzeigt, dass die Strahlendosis je nach Patientenstatur deutlich variieren kann (Zhou et al., 2021). Auch waren die Verfahren nicht standardisiert, sodass sowohl die Komplexität der

Verfahren als auch die Gerätemodelle und Softwares nicht mit einbezogen wurden. Weiterhin wurde der Ausbildungsstand des Interventionalisten auch in Bezug auf die Art des Eingriffs und den Strahlenschutz außer Acht gelassen.

Schlussfolgerungen

Eine große Stärke dieser Auswertung ist die große Datensammlung, die ein breites Patientenkollektiv repräsentiert. Dies vermindert die systematischen Verzerrungen, welche aufgrund des retrospektiven Studien-Designs verursacht werden können. Insbesondere ist ein Vergleich der vorliegenden Strahlendosen mit verschiedenen anderen Studien nur eingeschränkt möglich, da Faktoren wie BMI des Patienten, Geräte-Hardware, Protokolle, Komplexität des Eingriffs sowie Ausbildungsstand des Interventionalisten bei der Analyse nicht berücksichtigt wurden. Das Ziel dieser Auswertung war es, Durchschnittswerte für Interventionen anhand eines großen Kollektivs ohne die Einschränkung durch eine Vorabauswahl zu ermitteln. Hierdurch sollten unsere Daten besonders dafür geeignet sein, als Grundlage für die Definition aktueller Dosisrichtwerte zu dienen. Außerdem zeigen unsere Untersuchungen auf, für welche Subgruppen die Einführung eigener Dosisrichtwerte sinnvoll sein könnte. Dies trifft auf solche Subgruppen wie z.B. komplexe Aortenaneurysmaeingriffe zu, die mit einer gegenüber der Standardprozedur regelhaft deutlich erhöhten Strahlenbelastung einhergeht.

Weitere Studien müssen daher durchgeführt werden, um die o.g. Abhängigkeiten und Auswirkungen auf die Dosiswerte zu untersuchen. Bei diesen Studien sollten für alle Interventionen die verwendeten Bildgebungssysteme und ihre Software analysiert werden, da diese laut Literaturrecherchen einen deutlichen Einfluss auf die Dosis haben. Des Weiteren sollten die anatomischen Positionen berücksichtigt werden, um der Tatsache Rechnung zu tragen, dass eine Bildgebung der abdominalen Region mehr Dosis benötigt als z.B. die thorakale Region oder die Extremitäten. Auch Unterschiede in der Dosis aufgrund der Anzahl der zu behandelnden Läsionen sollten recherchiert werden, da dies möglicherweise Mehraufnahmen erfordert. Die Statur des Patienten muss analysiert werden und es ist zu untersuchen, ob für zukünftige Referenzwerte zwischen BMI-Größen unterschieden werden muss. Um den Einfluss des Ausbildungsstands des Interventionalisten auf die Strahlendosis adäquat zu untersuchen, müssten diese Daten erfasst und ausgewertet werden, was aufgrund datenschutzrechtlicher Vorgaben in unserem aktuellen Register nicht möglich ist.

Diskussion

Bei Referenzwerten handelt es sich immer um Richtwerte. Es muss daher immer bedacht werden, dass sie nicht uneingeschränkt auf einzelne Patienten anwendbar sind. Das primäre Ziel von Dosisreferenzwerten ist die Qualitätssicherung und der Patientenschutz; möglichst geringe Strahlenbelastungen kommen aber auch dem Interventionalisten zugute. Dementsprechend sollen vor allem Überschreitungen der Referenzwerte dazu führen, die Qualität der Intervention zu überprüfen. Neben veralteten Geräten und Besonderheiten auf Seiten des Patienten (z.B. Adipositas) ist aber auch die Komplexität der einzelnen Intervention zu berücksichtigen, da sich diese naturgemäß nicht in einem „allgemeingültigen“ Referenzwert wiederfinden kann.

7 Publikation / Danksagung

Publikation

Publikation in Vorbereitung.

Danksagung

Ich danke meinem Doktorvater und Chef Univ.-Prof. Dr. med. Arno Bücken sehr für seine Unterstützung und Hilfsbereitschaft.

Auch bei meinem Vater Dr. Rainer Zielberg, Frau Gabrielle Kessler sowie Frau Dominique Rech und Frau Choden Lassopa -Knoll möchte ich mich herzlich für ihre moralische Unterstützung bedanken.

8 Lebenslauf

Aufgrund von Datenschutz wurden die nachfolgenden Daten gelöscht.

9 Literaturverzeichnis

1. Aberle, Christoph, Nick Ryckx, Reto Treier and Sebastian Schindera. "Update of National Diagnostic Reference Levels for Adult Ct in Switzerland and Assessment of Radiation Dose Reduction since 2010." *European Radiology* 30, no. 3 (2020): 1690-700. <https://doi.org/10.1007/s00330-019-06485-1>. <https://dx.doi.org/10.1007/s00330-019-06485-1>.
2. Arendt, Christophe T., Patricia Tischendorf, Julian L. Wichmann, Michael Messerli, Lucas Jörg, Niklas Ehl, Robin F. Gohmann *et al.* "Using Coronary Ct Angiography for Guiding Invasive Coronary Angiography: Potential Role to Reduce Intraprocedural Radiation Exposure." *European Radiology* 28, no. 7 (2018): 2756-62. <https://doi.org/10.1007/s00330-018-5317-2>. <https://dx.doi.org/10.1007/s00330-018-5317-2>.
3. Bargellini, Irene, Francesca Turini, Elena Bozzi, Dario Lauretti, Antonio Cicorelli, Alessandro Lunardi, Roberto Cioni and Carlo Bartolozzi. "Image Fusion of Preprocedural Cta with Real-Time Fluoroscopy to Guide Proper Hepatic Artery Catheterization During Transarterial Chemoembolization of Hepatocellular Carcinoma: A Feasibility Study." *CardioVascular and Interventional Radiology* 36, no. 2 (2013): 526-30. <https://doi.org/10.1007/s00270-012-0495-9>. <https://dx.doi.org/10.1007/s00270-012-0495-9>.
4. Barral, Matthias, François Gardavaud, Louis Lassalle, Mohamed Ben Ammar, Milan Najdawi, Léo Razakamanantsoa, Raphaelae Renard-Penna, Olivier Cussenot and François H. Cornelis. "Limiting Radiation Exposure During Prostatic Arteries Embolization: Influence of Patient Characteristics, Anatomical Conditions, and Technical Factors." *European Radiology* 31, no. 9 (2021): 6471-79. <https://doi.org/10.1007/s00330-021-07844-7>. <https://dx.doi.org/10.1007/s00330-021-07844-7>.
5. Baumann, Frederic, Constantino Peña, Roman Kloeckner, Barry T. Katzen, Ripal Gandhi and James B. Benenati. "The Effect of a New Angiographic Imaging Technology on Radiation Dose in Visceral Embolization Procedures." *Vascular and Endovascular Surgery* 51, no. 4 (2017): 183-87. <https://doi.org/10.1177/1538574417698903>. <https://dx.doi.org/10.1177/1538574417698903>.
6. Bundesamt für Strahlenschutz. "Bekanntmachung der Aktualisierten Diagnostischen Referenzwerte Für Interventionelle Röntgenanwendungen." https://www.bfs.de/Shared-Docs/Downloads/BfS/DE/fachinfo/ion/drw-aktualisierung.pdf;jsessionid=3C7EEFB56C6C8C10E83C5E80056F047D.1_cid365?__blob=publicationFile&v=3
7. Cwetsch, Andrzej. "Comparison of Safety of Radial and Femoral Approaches for Coronary Catheterization in Interventional Cardiology." *Medical Science Monitor* 21 (2015): 1464-68. <https://doi.org/10.12659/msm.893193>. <https://dx.doi.org/10.12659/msm.893193>.
8. Durack, J. C., K. T. Brown, G. Avignon, L. A. Brody, C. T. Sofocleous, J. P. Erinjeri and S. B. Solomon. "Assessment of Automated Cone-Beam Ct Vessel Identification Software During Transarterial Hepatic Embolisation: Radiation Dose, Contrast Medium Volume, Processing Time, and Operator Perspectives Compared to Digital Subtraction Angiography." *Clinical Radiology* 73, no. 12 (2018): 1057.e1-57.e6. <https://doi.org/10.1016/j.crad.2018.08.005>. <https://dx.doi.org/10.1016/j.crad.2018.08.005>.
9. Engstrand, Jennie, Grzegorz Toporek, Piotr Harbut, Eduard Jonas, Henrik Nilsson and Jacob Freedman. "Stereotactic Ct-Guided Percutaneous Microwave Ablation of Liver Tumors with the Use of High-Frequency Jet Ventilation: An Accuracy and Procedural Safety Study." *American Journal of Roentgenology* 208, no. 1 (2017): 193-200. <https://doi.org/10.2214/ajr.15.15803>. <https://dx.doi.org/10.2214/ajr.15.15803>.
10. Frenzel, Felix, Arno Bücken, Philipp Paprottka, Jonathan Nadjiri, Andreas H. Mahnken,

- Alexander Massmann, Peter Minko and Lothar J. Heuser. "Degir Quality Report 2019: Report on the Treatment Quality of Minimally Invasive Methods – Interventional Therapy (Evar) of Abdominal Aortic Aneurysms." *RöFo - Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der bildgebenden Verfahren* (2021). <https://doi.org/10.1055/a-1541-8872>.
<https://dx.doi.org/10.1055/a-1541-8872>.
11. Fuss, C. T., M. Treitl, N. Rayes, P. Podrabsky, W. K. Fenske, D. A. Heinrich, M. Reincke *et al.* "Radiation Exposure of Adrenal Vein Sampling: A German Multicenter Study." *European Journal of Endocrinology* 179, no. 4 (2018): 261-67. <https://doi.org/10.1530/eje-18-0328>.
<https://dx.doi.org/10.1530/eje-18-0328>.
 12. Giet, Leeying, Nicholas Evans, Anthie Papadopoulou, Mohamed Khalifa, Janice Tsui, George Hamilton, Jocelyn Brookes and Chung Sim Lim. "Patient Radiation Exposure from Embolosclectherapy of Peripheral Vascular Malformations." *Journal of Vascular Surgery* 73, no. 5 (2021): 1794-99. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2020.08.152>.
<https://dx.doi.org/10.1016/j.jvs.2020.08.152>.
 13. Gonzalez, E. Vano and L. "Approaches to Establishing Reference Levels in Interventional Radiology." *Radiation Protection Dosimetry* 94 (2001): 109–12.
 14. Goudekting, Seline R., Stefan G. H. Heinen, Çağdaş Ünlü, Daniel A. F. Van Den Heuvel, Jean-Paul P. M. De Vries, Marco J. Van Strijen and Anna M. Sailer. "Pros and Cons of 3d Image Fusion in Endovascular Aortic Repair: A Systematic Review and Meta-Analysis." *Journal of Endovascular Therapy* 24, no. 4 (2017): 595-603. <https://doi.org/10.1177/1526602817708196>.
<https://dx.doi.org/10.1177/1526602817708196>.
 15. Greffier, Joël, Gilbert Ferretti, Julia Rousseau, Olivier Andreani, Emilie Alonso, Aymeric Rauch, Romain Gillet *et al.* "National Dose Reference Levels in Computed Tomography–Guided Interventional Procedures—a Proposal." *European Radiology* 30, no. 10 (2020): 5690-701. <https://doi.org/10.1007/s00330-020-06903-9>.
<https://dx.doi.org/10.1007/s00330-020-06903-9>.
 16. Gruber-Rouh, Tatjana, Axel Thalhammer, Thomas Klingebiel, Nour-Eldin A. Nour-Eldin, Thomas J. Vogl, Katrin Eichler, Nagy Naguib and Martin Beeres. "Computed Tomography-Guided Biopsies in Children: Accuracy, Efficiency and Dose Usage." *Italian Journal of Pediatrics* 43, no. 1 (2017). <https://doi.org/10.1186/s13052-016-0319-7>.
<https://dx.doi.org/10.1186/s13052-016-0319-7>.
 17. Guberina, Nika, Michael Forsting, Adrian Ringelstein, Saravanabavaan Suntharalingam, Kai Nassenstein, Jens Theysohn and Axel Wetter. "Radiation Exposure During Ct-Guided Biopsies: Recent Ct Machines Provide Markedly Lower Doses." *European Radiology* 28, no. 9 (2018): 3929-35. <https://doi.org/10.1007/s00330-018-5350-1>. <https://dx.doi.org/10.1007/s00330-018-5350-1>.
 18. Guberina, N., U. Lechel, M. Forsting, C. Mönninghoff, U. Dietrich and A. Ringelstein. "Dose Comparison of Classical 2-Plane Dsa and 3d Rotational Angiography for the Assessment of Intracranial Aneurysms." *Neuroradiology* 58, no. 7 (2016): 673-78. <https://doi.org/10.1007/s00234-016-1671-4>. <https://dx.doi.org/10.1007/s00234-016-1671-4>.
 19. Heuser, L., C. Arnold, D. Morhard, M. Köhler, W. Gross-Fengels and A. Bücken. "Qualitätsreport 2011: Bericht Über Die Behandlungsqualität Minimalinvasiver Methoden - Teil 2 Interventionelle Therapie (Evar) Von Aortenaneurysmen." *RöFo - Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der bildgebenden Verfahren* 185, no. 08 (2013): 709-19. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1335736>. <https://dx.doi.org/10.1055/s-0033-1335736>.
 20. Heuser, L., C. N. Arnold, D. Morhard, W. Gross-Fengels and A. Bücken. "[Quality Report 2011 of the Germyn Society of Interventional Radiology (Degir) - Report About Treatment Quality of Minimal Invasive Procedures]." [In ger]. *Rofo* 184, no. 6 (Jun 2012): 570-6. <https://doi.org/10.1055/s-0032-1312758>. DeGIR-Qualitätsreport 2011 - Bericht über die Behandlungsqualität minimalinvasiver Methoden.
 21. Hung, Matthew L., Edward W. Lee, Justin P. McWilliams, Siddharth A. Padia, Pengxu Ding and Stephen T. Kee. "A Reality Check in Transradial Access: A Single-Centre Comparison of

- Transradial and Transfemoral Access for Abdominal and Peripheral Intervention." *European Radiology* 29, no. 1 (2019): 68-74. <https://doi.org/10.1007/s00330-018-5580-2>.
<https://dx.doi.org/10.1007/s00330-018-5580-2>.
22. Jiao, Dechao, Kewei Ren, Zongming Li, Shaofeng Shui and Xinwei Han. "Clinical Role of Guidance by C-Arm Ct for 125i Brachytherapy on Pulmonary Tumors." *La radiologia medica* 122, no. 11 (2017): 829-36. <https://doi.org/10.1007/s11547-017-0791-1>.
<https://dx.doi.org/10.1007/s11547-017-0791-1>.
23. Jiao, Dechao, Huifeng Yuan, Quanhui Zhang and Xinwei Han. "Flat Detector C-Arm Ct-Guided Transthoracic Needle Biopsy of Small (≤ 2.0 cm) Pulmonary Nodules: Diagnostic Accuracy and Complication in 100 Patients." *La radiologia medica* 121, no. 4 (2016): 268-78.
<https://doi.org/10.1007/s11547-015-0604-3>. <https://dx.doi.org/10.1007/s11547-015-0604-3>.
24. Jiao, Dechao, Zhanli Zhang, Zhanguo Sun, Yanli Wang and Xinwei Han. "Percutaneous Nephrolithotripsy: C-Arm Ct with 3d Virtual Navigation in Non-Dilated Renal Collecting Systems." *Diagnostic and Interventional Radiology* 24, no. 1 (2018): 17-22.
<https://doi.org/10.5152/dir.2017.17079>. <https://dx.doi.org/10.5152/dir.2017.17079>.
25. Kim, Jung Su, Bong-Ki Lee, Dong Ryeol Ryu, Kwang Jin Chun, Hyun-Hee Choi, Younghoon Roh, Soon-Mu Kwon and Byung-Ryul Cho. "A Multicentre Survey of Local Diagnostic Reference Levels and Achievable Dose for Coronary Angiography and Percutaneous Transluminal Coronary Intervention Procedures in Korea." *Radiation Protection Dosimetry* 187, no. 3 (2019): 378-82. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncz178>. <https://dx.doi.org/10.1093/rpd/ncz178>.
26. Kloeckner, Roman, Anton Bersch, Daniel Pinto Dos Santos, Jens Schneider, Christoph Düber and Michael Bernhard Pitton. "Radiation Exposure in Nonvascular Fluoroscopy-Guided Interventional Procedures." *CardioVascular and Interventional Radiology* 35, no. 3 (2012): 613-20. <https://doi.org/10.1007/s00270-011-0206-y>. <https://dx.doi.org/10.1007/s00270-011-0206-y>.
27. Kloeckner, Roman, Daniel Pinto Dos Santos, Jens Schneider, Levent Kara, Christoph Dueber and Michael B. Pitton. "Radiation Exposure in Ct-Guided Interventions." *European Journal of Radiology* 82, no. 12 (2013): 2253-57. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2013.08.035>.
<https://dx.doi.org/10.1016/j.ejrad.2013.08.035>.
28. Li, Xinhua, Joshua A. Hirsch, Madan M. Rehani, Suvranu Ganguli, Kai Yang and Bob Liu. "Radiation Effective Dose above 100 Msv from Fluoroscopically Guided Intervention: Frequency and Patient Medical Condition." *American Journal of Roentgenology* 215, no. 2 (2020): 433-40. <https://doi.org/10.2214/ajr.19.22227>. <https://dx.doi.org/10.2214/ajr.19.22227>.
29. Marant-Micallef, Claire, Kevin D. Shield, Jérôme Vignat, Enora Cléro, Ausrele Kesminiene, Catherine Hill, Agnès Rogel *et al.* "The Risk of Cancer Attributable to Diagnostic Medical Radiation: Estimation for France in 2015." *International Journal of Cancer* 144, no. 12 (2019): 2954-63. <https://doi.org/10.1002/ijc.32048>. <https://dx.doi.org/10.1002/ijc.32048>.
30. McCarthy, Eoghan, John Kavanagh, Sean McKernan, Niamh O'Mahony, Niall McEniff, J. Mark Ryan and Michael Guiney. "Fluoroscopically Guided Transurethral Removal and/or Replacement of Ureteric Stents in Women." *Acta Radiologica* 56, no. 5 (2015): 635-40. <https://doi.org/10.1177/0284185114533246>.
<https://dx.doi.org/10.1177/0284185114533246>.
31. Miraglia, Roberto, Luigi Maruzzelli, Kelvin Cortis, Mario D'Amico, Gaetano Florida, Giuseppe Gallo, Corrado Tafaro and Angelo Luca. "Radiation Exposure in Transjugular Intrahepatic Portosystemic Shunt Creation." *CardioVascular and Interventional Radiology* 39, no. 2 (2016): 210-17. <https://doi.org/10.1007/s00270-015-1164-6>. <https://dx.doi.org/10.1007/s00270-015-1164-6>.
32. Miraglia, Roberto, Luigi Maruzzelli, Kelvin Cortis, Corrado Tafaro, Roberta Gerasia, Carmelo Parisi and Angelo Luca. "Digital Subtraction Angiography During Transjugular Intrahepatic Portosystemic Shunt Creation or Revision: Data on Radiation Exposure and Image Quality Obtained Using a Standard and a Low-Dose Acquisition Protocol in a Flat-Panel Detector-Based System." *Abdominal Imaging* 40, no. 6 (2015): 1808-12. <https://doi.org/10.1007/s00261-014-0313-8>.
<https://dx.doi.org/10.1007/s00261-014-0313-8>.

33. Miraglia, Roberto, Luigi Maruzzelli, Fabio Tuzzolino, Pietro Luigi Indovina and Angelo Luca. "Radiation Exposure in Biliary Procedures Performed to Manage Anastomotic Strictures in Pediatric Liver Transplant Recipients: Comparison between Radiation Exposure Levels Using an Image Intensifier and a Flat-Panel Detector-Based System." *CardioVascular and Interventional Radiology* 36, no. 6 (2013): 1670-76. <https://doi.org/10.1007/s00270-013-0660-9>.
<https://dx.doi.org/10.1007/s00270-013-0660-9>.
34. Moon, Jeonggeun, Yeonjeong Park, Su Jung Park, Pyung Chun Oh, Albert Youngwoo Jang, Wook-Jin Chung and Woong Chol Kang. "Comparison of Intracardiac Echocardiography and Transesophageal Echocardiography for Image Guidance in Percutaneous Patent Foramen Ovale Closure." *Medicina* 56, no. 8 (2020): 401. <https://doi.org/10.3390/medicina56080401>.
<https://dx.doi.org/10.3390/medicina56080401>.
35. Morishima, Yoshiaki, Koichi Chida, Yoshikazu Muroya and Yoshiya Utsumi. "Effectiveness of a New Lead-Shielding Device and Additional Filter for Reducing Staff and Patient Radiation Exposure During Videofluoroscopic Swallowing Study Using a Human Phantom." *Dysphagia* 33, no. 1 (2018): 109-14. <https://doi.org/10.1007/s00455-017-9839-6>.
<https://dx.doi.org/10.1007/s00455-017-9839-6>.
36. Nyheim, Thomas, Lars E. Staxrud, Jørgen J. Jørgensen, Kristin Jensen, Hilde M. Olerud and Gunnar Sandbæk. "Radiation Exposure in Patients Treated with Endovascular Aneurysm Repair: What Is the Risk of Cancer, and Can We Justify Treating Younger Patients?." *Acta Radiologica* 58, no. 3 (2017): 323-30. <https://doi.org/10.1177/0284185116651002>.
<https://dx.doi.org/10.1177/0284185116651002>.
37. Opitz, Marcel, Georgios Alatzides, Sebastian Zensen, Denise Bos, Axel Wetter, Nika Guberina, Marvin Darkwah Oppong *et al.* "Radiation Exposure During Diagnostic and Therapeutic Angiography of Carotid-Cavernous Fistula." *Clinical Neuroradiology* (2021).
<https://doi.org/10.1007/s00062-021-01126-x>. <https://dx.doi.org/10.1007/s00062-021-01126-x>.
38. Opitz, Marcel, Denise Bos, Cornelius Deuschl, Alexander Radbruch, Sebastian Zensen, Selma Sirin, Michael Forsting *et al.* "Estimation of Radiation Exposure of Children Undergoing Superselective Intra-Arterial Chemotherapy for Retinoblastoma Treatment: Assessment of Local Diagnostic Reference Levels as a Function of Age, Sex, and Interventional Success." *Neuroradiology* 63, no. 3 (2021): 391-98. <https://doi.org/10.1007/s00234-020-02540-7>.
<https://dx.doi.org/10.1007/s00234-020-02540-7>.
39. Opitz, Marcel, Sebastian Zensen, Denise Bos, Yan Li, Hanna Styczen, Axel Wetter, Nika Guberina *et al.* "Radiation Exposure in the Endovascular Therapy of Cranial and Spinal Dural Arteriovenous Fistula in the Last Decade: A Retrospective, Single-Center Observational Study." *Neuroradiology* (2021). <https://doi.org/10.1007/s00234-021-02816-6>.
<https://dx.doi.org/10.1007/s00234-021-02816-6>.
40. Orbach, D. B., C. Stamoulis, K. J. Strauss, J. Manchester, E. R. Smith, R. M. Scott and N. Lin. "Neurointerventions in Children: Radiation Exposure and Its Import." *American Journal of Neuroradiology* 35, no. 4 (2014): 650-56. <https://doi.org/10.3174/ajnr.a3758>.
<https://dx.doi.org/10.3174/ajnr.a3758>.
41. Panick, Catherine, Kevin Wunderle, Mark Sands and Charles Martin. "Patient Radiation Dose Reduction Considerations in a Contemporary Interventional Radiology Suite." *CardioVascular and Interventional Radiology* 41, no. 12 (2018): 1925-34. <https://doi.org/10.1007/s00270-018-2052-7>.
<https://dx.doi.org/10.1007/s00270-018-2052-7>.
42. Pedersoli, Federico, Markus Zimmermann, Maximilian Schulze-Hagen, Paul Sieben, Emona Barzakova, Fabian Goerg, Sebastian Keil *et al.* "Retrograde Recanalization of the Celiac Artery Via the Pancreaticoduodenal Arcade as a Safe and Valid Alternative to Antegrade Access." *Vascular and Endovascular Surgery* 54, no. 6 (2020): 477-81.
<https://doi.org/10.1177/1538574420927132>.
<https://dx.doi.org/10.1177/1538574420927132>.
43. Peters, M., G. Krings, M. Koster, M. Molenschot, M. W. Freund and J. M. P. J. Breur. "Effective

- Radiation Dosage of Three-Dimensional Rotational Angiography in Children." *Europace* 17, no. 4 (2015): 611-16. <https://doi.org/10.1093/europace/euu207>.
<https://dx.doi.org/10.1093/europace/euu207>.
44. Piron, Lauranne, Julien Le Roy, Christophe Cassinotto, Julien Delicque, Ali Belgour, Carole Allimant, Jean-Paul Beregi *et al.* "Radiation Exposure During Transarterial Chemoembolization: Angio-Ct Versus Cone-Beam Ct." *CardioVascular and Interventional Radiology* 42, no. 11 (2019): 1609-18. <https://doi.org/10.1007/s00270-019-02269-8>.
<https://dx.doi.org/10.1007/s00270-019-02269-8>.
45. Ploussi, Agapi, Elias Brountzos, Spyridon Rammos, Sotiria Apostolopoulou and Efstathios P. Efstathopoulos. "Radiation Exposure in Pediatric Interventional Procedures." *CardioVascular and Interventional Radiology* 44, no. 6 (2021): 857-65. <https://doi.org/10.1007/s00270-020-02752-7>.
<https://dx.doi.org/10.1007/s00270-020-02752-7>.
46. Pradella, Maurice, Christoph Trumm, Bram Stieltjes, Daniel T. Boll, Christoph J. Zech and Rolf W. Huegli. "Impact Factors for Safety, Success, Duration and Radiation Exposure in Ct-Guided Interventions." *The British Journal of Radiology* 92, no. 1099 (2019): 20180937. <https://doi.org/10.1259/bjr.20180937>.
<https://dx.doi.org/10.1259/bjr.20180937>.
47. Rana, Bhupendra Singh, Sanjeev Kumar, Chirag Kamal Ahuja, Narinder Paul Singh, Mukesh Kumar Yadav and Inderjeet Singh Sandhu. "Estimation of Radiation Exposure to the Patients in Diagnostic and Therapeutic Interventional Procedures." *Radiation Protection Dosimetry* 181, no. 3 (2018): 290-300. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncy025>.
<https://dx.doi.org/10.1093/rpd/ncy025>.
48. Rezazadeh, Saman, Steven J. Co and Simon Bicknell. "Reduced Kilovoltage in Computed Tomography-Guided Intervention in a Community Hospital: Effect on the Radiation Dose." *Canadian Association of Radiologists Journal* 65, no. 4 (2014): 345-51. <https://doi.org/10.1016/j.carj.2014.04.002>.
<https://dx.doi.org/10.1016/j.carj.2014.04.002>.
49. Romagnoli, E., G. Biondi-Zoccai, A. Sciahbasi, L. Politi, S. Rigattieri, G. Pendenza, F. Summaria *et al.* "Radial Versus Femoral Randomized Investigation in St-Segment Elevation Acute Coronary Syndrome: The Rifle-Steacs (Radial Versus Femoral Randomized Investigation in St-Elevation Acute Coronary Syndrome) Study." *J Am Coll Cardiol* 60, no. 24 (Dec 18, 2012): 2481-9. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2012.06.017>.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pub-med/22858390>.
50. Schaeffers, Johannes Frederik, Kevin Wunderle, Marco Virgilio Usai, Giovanni Federico Torsello and Giuseppe Panuccio. "Radiation Doses for Endovascular Aortic Repairs Performed on Mobile and Fixed C-Arm Fluoroscopes and Procedure Phase-Specific Radiation Distribution." *Journal of Vascular Surgery* 68, no. 6 (2018): 1889-96. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2018.05.020>.
<https://dx.doi.org/10.1016/j.jvs.2018.05.020>.
51. Scharwächter, C., A. Röser, C. Schwartz and P. Haage. "Prenatal Radiation Exposure: Dose Calculation." *RöFo - Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der bildgebenden Verfahren* 187, no. 05 (2015): 338-46. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1398817>.
<https://dx.doi.org/10.1055/s-0034-1398817>.
52. Scherthaner, Rüdiger E., Julius Chapiro, Sonia Sahu, Paul Withagen, Rafael Duran, Jae Ho Sohn, Alessandro Radaelli *et al.* "Feasibility of a Modified Cone-Beam Ct Rotation Trajectory to Improve Liver Periphery Visualization During Transarterial Chemoembolization." *Radiology* 277, no. 3 (2015): 833-41. <https://doi.org/10.1148/radiol.2015142821>.
<https://dx.doi.org/10.1148/radiol.2015142821>.
53. Scheurig-Muenkler, Christian, Maciej J. Powerski, Johann-Christoph Mueller and Thomas J. Kroencke. "Radiation Exposure During Uterine Artery Embolization: Effective Measures to Minimize Dose to the Patient." *CardioVascular and Interventional Radiology* 38, no. 3 (2015): 613-22. <https://doi.org/10.1007/s00270-014-0962-6>.
<https://dx.doi.org/10.1007/s00270-014-0962-6>.
54. Schmitz, Daniel, Thomas Vogl, Nour-Eldin Abdelrehim Nour-Eldin, Boris Radeleff, Jens-Christian Kröger, Andreas H. Mahnken, Harald Ittrich *et al.* "Patient Radiation Dose in

- Percutaneous Biliary Interventions: Recommendations for Drls on the Basis of a Multicentre Study." *European Radiology* 29, no. 7 (2019): 3390-400. <https://doi.org/10.1007/s00330-019-06208-6>. <https://dx.doi.org/10.1007/s00330-019-06208-6>.
55. Schreiner, Markus M., Hannes Platzgummer, Sylvia Unterhumer, Michael Weber, Gabriel Mistelbauer, Christian Loewe and Ruediger E. Schernthaner. "A Bmi-Adjusted Ultra-Low-Dose Ct Angiography Protocol for the Peripheral Arteries—Image Quality, Diagnostic Accuracy and Radiation Exposure." *European Journal of Radiology* 93 (2017): 149-56. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2017.06.002>. <https://dx.doi.org/10.1016/j.ejrad.2017.06.002>.
56. Sciahbasi, Alessandro, Giuseppe Ferrante, Dionigi Fischetti, Daniel Jonathan Miklin, Alessandro Sarandrea, Valentina Schirripa, Fabrizio Guarracini *et al.* "Radiation Dose among Different Cardiac and Vascular Invasive Procedures: The Rodeo Study." *International Journal of Cardiology* 240 (2017): 92-96. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2017.03.031>. <https://dx.doi.org/10.1016/j.ijcard.2017.03.031>.
57. Seo, Deoknam, Kie Hwan Kim, Jung-Su Kim, Seonggyu Han, Kyung Park and Jungmin Kim. "Evaluation of Radiation Doses in Patient and Medical Staff During Endoscopic Retrograde Cholangiopancreatography Procedures." *Radiation Protection Dosimetry* 168, no. 4 (2016): 516-22. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncv373>. <https://dx.doi.org/10.1093/rpd/ncv373>.
58. Sommer, Christof-Matthias, Wieland Voigt, Michel Klapp Oligier, Christopher Schlett, Stefan Erpenbach, Katrina Thomas, Andreas Hatopp, Patrick Kurz and Goetz Richter. "Radiation Exposure During Uterine Fibroid Embolization (Ufe): A Confounder-Controlled Comparison between a State-of-the-Art Angiography Unit and a Conventional Angiography Unit." *RöFo - Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der bildgebenden Verfahren* 190, no. 03 (2018): 250-58. <https://doi.org/10.1055/s-0043-119036>. <https://dx.doi.org/10.1055/s-0043-119036>.
59. Spink, Clemens, Maxim Avanesov, Alexander Lenz, Frank Oliver Henes, Lennart Well, Thomas Schmidt, Gerhard Adam, Harald Ittrich and Peter Bannas. "Radiation Dose Reduction During Adrenal Vein Sampling Using a New Angiographic Imaging Technology." *Scientific Reports* 12, no. 1 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-09984-2>. <https://dx.doi.org/10.1038/s41598-022-09984-2>.
60. Spira, Daniel, Sebastian Kirchner, Gunnar Blumenstock, Klaus Herz, Dominik Ketelsen, Jakub Wiskirchen and Benjamin Wiesinger. "Therapeutic Angiographic Procedures: Differences in Dose Area Product between Analog Image Intensifier and Digital Flat Panel Detector." *Acta Radiologica* 57, no. 5 (2016): 587-94. <https://doi.org/10.1177/0284185115597262>. <https://dx.doi.org/10.1177/0284185115597262>.
61. Svarc, Petra, Thijs Hagen, Hanne Waltenburg, Christian Andersson, Mats Bläckberg, Eduard Baco, Mikkel Taudorf *et al.* "Center Experience and Other Determinants of Patient Radiation Exposure During Prostatic Artery Embolization: A Retrospective Study in Three Scandinavian Centers." *European Radiology* (2021). <https://doi.org/10.1007/s00330-021-08351-5>. <https://dx.doi.org/10.1007/s00330-021-08351-5>.
62. Takiguchi, Keisuke, Atsushi Urikura, Tsukasa Yoshida, Yoshihiro Nakaya, Masahiro Endo and Takeshi Aramaki. "Radiation Dose and Image Quality of Ct Fluoroscopy with Partial Exposure Mode." *Diagnostic and Interventional Radiology* 26, no. 4 (2020): 333-38. <https://doi.org/10.5152/dir.2019.19091>. <https://dx.doi.org/10.5152/dir.2019.19091>.
63. Zaeske, C., L. Goertz, J. Kottlors, M. Schlamann, O. A. Onur, V. Maus, A. Mpotsaris *et al.* "Mortality after Mechanical Thrombectomy in Anterior Circulation Stroke May Be Higher at Nighttime and on Weekends." *European Radiology* 31, no. 6 (2021): 4148-55. <https://doi.org/10.1007/s00330-020-07615-w>. <https://dx.doi.org/10.1007/s00330-020-07615-w>.
64. Zensen, Sebastian, Nika Guberina, Marcel Opitz, Martin Köhrmann, Cornelius Deuschl, Michael Forsting, Axel Wetter and Denise Bos. "Radiation Exposure of Computed Tomography Imaging for the Assessment of Acute Stroke." *Neuroradiology* 63, no. 4 (2021): 511-18. <https://doi.org/10.1007/s00234-020-02548-z>. <https://dx.doi.org/10.1007/s00234-020-02548-z>.

02548-z.

65. Zensen, Sebastian, Sumitha Selvaretnam, Marcel Opitz, Denise Bos, Johannes Haubold, Jens Theysohn, Michael Forsting, Nika Guberina and Axel Wetter. "Differences in Radiation Exposure of Ct-Guided Percutaneous Manual and Powered Drill Bone Biopsy." *CardioVascular and Interventional Radiology* 44, no. 9 (2021): 1430-38. <https://doi.org/10.1007/s00270-021-02851-z>. <https://dx.doi.org/10.1007/s00270-021-02851-z>.
66. Zhou, Wenhui, Sanna E. Herwald, Raul N. Uppot and Ronald S. Arellano. "Thermal Ablation of Renal Cell Carcinoma in Patients with Morbid Obesity: Assessment of Technique, Safety, and Oncologic Outcomes." *American Journal of Roentgenology* 216, no. 4 (2021): 989-96. <https://doi.org/10.2214/ajr.20.23803>. <https://dx.doi.org/10.2214/ajr.20.23803>.

10 Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1: Kastendiagramm des DLP und des CTDI bei thorakalen Ablationen</i>	<i>27</i>
<i>Abbildung 2: Kastendiagramm des DLP und CTDI bei Ablationen innerhalb der Leber und Niere</i>	<i>27</i>
<i>Abbildung 3: Kastendiagramm des DFP bei einfachen und komplexen thorakalen Aneurysmabehandlungen.....</i>	<i>29</i>
<i>Abbildung 4: Kastendiagramm des DFP bei einfachen und komplexen abdominalen Aneurysmabehandlungen.....</i>	<i>29</i>
<i>Abbildung 5: Kastendiagramm des DFP bei arteriellen Rekanalisationen der unteren Extremitäten.....</i>	<i>30</i>
<i>Abbildung 6: Kastendiagramm des DLP und des CTDI bei diagnostischen Punktionen unter CT- Steuerung.....</i>	<i>31</i>
<i>Abbildung 7: Kastendiagramm des DLP und des CTDI bei Drainagen</i>	<i>32</i>
<i>Abbildung 8 : Kastendiagramm des DFP bei neurologischen Interventionen</i>	<i>34</i>
<i>Abbildung 9: Kastendiagramm des DFP bei neurologischen Rekanalisationen</i>	<i>35</i>
<i>Abbildung 10: Kastendiagramm des DFP bei Osteoplastie mit reiner Durchleuchtungskontrolle.....</i>	<i>37</i>
<i>Abbildung 11: Kastendiagramm des DLP und CTDI bei Osteoplastie mit reiner CT-Steuerung.....</i>	<i>37</i>
<i>Abbildung 12: Kastendiagramm des DFP bei Osteoplastie mit Durchleuchtungskontrolle und CT- Steuerung</i>	<i>38</i>
<i>Abbildung 13: Kastendiagramm des DLP und CTDI bei Osteoplastie mit Durchleuchtungskontrolle und CT- Steuerung.....</i>	<i>38</i>
<i>Abbildung 14: Kastendiagramm des DLP und CTDI bei Gallengangsdrainagen</i>	<i>40</i>
<i>Abbildung 15: Kastendiagramm des DFP bei Gallengangsdrainagen</i>	<i>40</i>
<i>Abbildung 16: Kastendiagramm des DLP und CTDI bei Schmerztherapie</i>	<i>42</i>
<i>Abbildung 17: Kastendiagramm des DFP bei Schmerztherapie.....</i>	<i>42</i>
<i>Abbildung 18: Kastendiagramm des DFP bei PICC.....</i>	<i>43</i>
<i>Abbildung 19: Kastendiagramm des DFP bei TIPS-Neuanlagen.....</i>	<i>44</i>
<i>Abbildung 20: Kastendiagramm des DFP bei venöser Rekanalisation von Dialyseshunts</i>	<i>45</i>
<i>Abbildung 21: Kastendiagramm des DFP bei Rekanalisation von Lungenarterien.....</i>	<i>46</i>
<i>Abbildung 22: Kastendiagramm des DFP bei TACE mit/ohne Cone-Beam-CT.....</i>	<i>48</i>
<i>Abbildung 23: Kastendiagramm des DFP bei TAE.....</i>	<i>49</i>
<i>Abbildung 24: Kastendiagramm des DFP bei TAC.....</i>	<i>50</i>

11 Anhang

Abkürzungen

DLP	Dosis-Längen-Produkt
DFP	Dosis-Flächen-Produkt
CTDI	Dosisindex der Computertomographie
TIPS	transjuguläre intrahepatische portosystemische Shunts
EVAR	endovaskuläre Aortenreparatur
PICC	peripher eingeführter zentralvenöser Katheter
AVM	arteriovenöse Malformation
DAVF	durale arteriovenöse Fisteln
TACE	transarterielle Chemoembolisation
TAE	transarterielle Embolisation
TAC	transarterielle Chemotherapie
CTA	Computertomographie-Angiographie