UNIVERSITÄTSKLINIKUM HAMBURG-EPPENDORF

Asklepios Klinik Altona
Institut für Radiologie und Neuroradiologie

Prof. Dr. med. Bernd Eckert

Einfluss von Behandlungsfaktoren auf die Strahlenexposition bei der intrakraniellen Thrombektomie

Dissertation

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

vorgelegt von:

Gregor Fritz Peter
aus Neu-Ulm

Hamburg 2021

Angenommen von der
Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg am: 02.11.2021

Veröffentlicht mit Genehmigung der
Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg.

Prüfungsausschuss, der/die Vorsitzende: PD Dr. Gabriel Broocks

Prüfungsausschuss, zweite/r Gutachter/in: Prof. Dr. Bernd Eckert

Inhaltsverzeichnis

1. EINLEITUNG 7

1.1. STRAHLENEXPOSITION IN DER RADIOLOGIE 7
1.1.1. GRUNDBEGRIFFE DER STRAHLENEXPOSITION 9
1.1.2. DOSISBEGRIFFE 11
1.2. ENDOVASKULÄRE THROMBEKTOMIE BEIM SCHLAGANFALL 14
1.2.1. STUDIENLAGE 15
1.2.2. STUDIEN IM ERWEITERTEN ZEITFENSTER 16
1.3. STRAHLENEXPOSITION BEI DER THROMBEKTOMIE 16
1.3.1. ANGIOGRAPHIE 17
1.3.2. REFERENZWERTE INTERVENTIONELL-RADIOLOGISCHER EINGRIFFE 19
1.3.3. ANGIOGRAPHISCHE CT („DYNA-CT“) 20
1.3.4. STRAHLENEXPOSITION DES UNTERSUCHERS 21
1.4. ZIEL DER UNTERSUCHUNG 24

2. MATERIAL UND METHODEN 25

2.1. PATIENTENKOLLEKTIV 25
2.2. OPERATEUR 25
2.3. PRÄPROZEDURALE NOTFALLDIAGNOSTIK 25
2.3.1. INDIKATION 25
2.4. ENDOVASKULÄRE THROMBEKTOMIE 25
2.5. DATENERFASSUNG 26
2.6. THERAPEUTISCHER ERFOLG UND KOMPLIKATIONEN 29
2.7. STATISTISCHE ANALYSE 30
2.8. VORLAGE BEI DER ETHIKKOMMISSION DER ÄRZTEKAMMER HAMBURG 30

3. ERGEBNISSE 31

3.1. PATIENTEN UND BEHANDLUNGSFAKTOREN 31
3.2. ÜBERSICHT DER STRAHLENEXPOSITION 32
3.3. STRAHLENEXPOSITION IM JAHRESVERGLEICH 35
3.4. VERSCHLUSSTYP 36
3.5. THROMBEKTOMIETECHNIK UND REPERFUSION 37
3.6. STRAHLENEXPOSITION UND OPERATEUR 38
3.7. KOMPLIKATIONEN 39
3.8. ANGIOGRAPHISCHE-CT („DYNA-CT“) 40
3.9. STATISTISCHE ANALYSE 41
3.9.1. UNIVARIATE ANALYSE 43
3.9.2. EINZELAUSWERTUNG PATIENTENALTER 45
3.9.3. MULTIVARIATE ANALYSE 46
3.9.4. LIMITATIONEN DER STATISTISCHEN ANALYSE 46

4. DISKUSSION 47

5. ZUSAMMENFASSUNG 60

6. ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS 62

7. LITERATURVERZEICHNIS 64

8. DANKSAGUNG 67

9. LEBENSLAUF 68

10. EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG 69

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Strahlungswichtungsfaktoren verschiedener Strahlenarten (1) 12
Tabelle 2: Gewebewichtungsfaktoren verschiedener Organe (1) 13
Tabelle 3: Umrechnung verschiedener Einheitsgrößen..... 14
Tabelle 4: Diagnostische Referenzwerte für interventionell-radiologische Eingriffe am Erwachsenen (17)..... 20
Tabelle 5: Vergleich von FD-CT und MS-CT bezüglich der effektiven Dosis bei einer CCT, einer CTA sowie einer CTP (15)..... 21
Tabelle 6: Patientenübersicht 32
Tabelle 7: Strahlenexposition und Prozedur gesamt..... 32
Tabelle 8: Strahlenexposition und Prozedur 2017 und 2018 35
Tabelle 9: Strahlenexposition und Verschlusstyp 36
Tabelle 10: Strahlenexposition und Operateur sowie die Aufteilung in Tag und Nacht..... 38
Tabelle 11: Symptomatische Intrakranielle Blutungen (SICB) mit klinischer Verschlechterung (NIHSS >4)..... 39
Tabelle 12: Asymptomatische Intrakranielle Blutungen (AICB)..... 40
Tabelle 13: DFP der angiographischen-CT im Vergleich mit und ohne Cu-Filter 40
Tabelle 14: Dichotomisierte Behandlungsfaktoren mit einem Grenzwert von 10.000 μGy $\bullet$ m2 sowie die P-Werte für die univariate Analyse 44
Tabelle 15: Technische Parameter sowie effektive Dosis der jeweiligen Programme/ Protokolle pro Serie (15) 58

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beiträge zur Gesamthäufigkeit und zur kollektiven effektiven Dosis für verschiedene Untersuchungen in der Röntgendiagnostik 2015 in Deutschland (3) 8
Abbildung 2: Deterministischer Strahlenschaden: 53jährige Patientin mit teilweisem Haarausfall in Folge von Bestrahlung (7) 10
Abbildung 3: Thrombus im Stent nach Retraktion (Neuroradiologie, AK Altona) 15
Abbildung 4: Digitale Subtraktionsangiographie (DSA) in frontaler Projektion: Der Stentretriever liegt im Thrombus, der die A. cerebri media verschließt. Der Absaugkatheter liegt im M1-Segment der A. cerebri media (Neuroradiologie, AK Altona) 18
Abbildung 5: Nach Zurückziehen des Stentretrievers und Aspiration über den Absaugkatheter vollständige Rekanalisation 19
Abbildung 6: angiographische-CT = Flachdetektor-CT (FD-CT) = „Dyna-CT“ (Siemens) = „Xper-CT“ (Philips) (Neuroradiologie, AK Altona) 21
Abbildung 7: mobile Strahlenschutzwand und bewegliche Strahlenschutzplatte (Neuroradiologie, AK Altona) 23
Abbildung 8: angezogene Bleischürze, Schilddrüsenschutz, Röntgenschutzbrille sowie Röntgenhaube (Neuroradiologie, AK Altona) 23
Abbildung 9: Dosisprotokoll einer Thrombektomie mit einer Gesamtdosis von 4587.5 μGy • m2, einer DLZ (Fluoro) von 10 Minuten und einer Serienanzahl von 7. Die Hautdosis beträgt 388.3 mGy (Neuroradiologie, AK Altona) 28
Abbildung 10: Dosisprotokoll einer Dyna-CT ohne Cu-Filter und einer Gesamtdosis von 5786.7 μGy • m2 (Neuroradiologie, AKA) 29
Abbildung 11: Dosisprotokoll einer Dyna-CT mit 0.2mm Cu-Filter und einer Gesamtdosis von 2495.8 μGy • m2 (Neuroradiologie, AKA) 29
Abbildung 12: Die jeweiligen Patienten (X-Achse) mit der zugehörigen DLZ (Y-Achse) verglichen 2017 (blau) und 2018 (grau) 33
Abbildung 13: Die jeweiligen Patienten (X-Achse) mit dem zugehörige DFP (Y-Achse) verglichen 2017 (blau) und 2018 (grau) 34
Abbildung 14: Verteilung des DFP im Gesamtkollektiv, Y-Achse in μGy • m^2 34
Abbildung 15: Häufigkeitsverteilung (Y-Achse) des DFP (X-Achse) 42
Abbildung 16: logarithmische Darstellung des DFP (X-Achse) mit annähernder Normalverteilung 42
Abbildung 17: Verteilung des DFP (Y-Achse) bezogen auf das Patientenalter (X-Achse) 45

1. Einleitung

1.1. Strahlenexposition in der Radiologie

Das Fachgebiet der Radiologie bietet eine Vielfalt an diagnostischen und therapeutischen Möglichkeiten. Auf der einen Seite stehen alle strahlungsfreien Anwendungen wie die Magnetresonanztomographie (MRT) oder die Sonographie, auf der anderen Seite stehen diejenigen Verfahren, bei denen Röntgenstrahlung zum Einsatz kommt. Röntgenstrahlung findet unter anderem bei konventionellen Röntgenuntersuchungen wie der Radiographie (Erstellung von statischen Bildern) oder der Durchleuchtung (Beobachtung dynamischer Vorgänge) Anwendung. Neben den konventionellen Röntgenuntersuchungen basiert auch die Computertomographie (CT) auf der Verwendung von Röntgenstrahlung. Röntgenstrahlung gehört zur elektromagnetischen Strahlung und besitzt eine ausreichend hohe Energie, um Elektronen aus Atomen oder Molekülen zu entfernen. Dieser Prozess wird als „Ionisation“ bezeichnet, weshalb Röntgenstrahlung zur Gruppe der ionisierenden Strahlung gezählt wird. Wenn solch eine ionisierende Strahlung auf biologisches Gewebe wie den menschlichen Körper trifft, wird Strahlungsenergie von dem bestrahlten Körper aufgenommen (absorbiert) und kann eine biologische Wirkung entfalten. Ob und inwieweit diese Wirkung einen gesundheitlichen Schaden anrichtet, hängt maßgeblich von der absorbierten Strahlendosis, der Expositionsdauer und dem exponierten Organ ab (1).

In Abbildung 1 sind die Häufigkeiten und deren jeweiliger Beitrag zur kollektiven effektiven Dosis der verschiedenen Verfahren, bei denen Röntgenstrahlung zum Einsatz kommt, aufgezeigt. Es ist zu erkennen, dass die Angiographie/ Intervention bzw. die CT nur einen kleinen Teil der Gesamthäufigkeit röntgenologischer Untersuchungen ausmachen, jedoch einen großen Teil zur kollektiven effektiven Dosis beitragen. Daher lohnt es sich hier besonders, auf eine gründliche Strahlenhygiene zu achten und diese detaillierter zu betrachten.

Um überflüssige röntgenologische Untersuchungen und die damit verbundene Strahlenexposition zu vermeiden muss vor jeder röntgenologischen Untersuchung eine gründliche Abwägung von diagnostischem und therapeutischem Nutzen gegenüber potentiell verursachenden Schäden abgewogen werden. Eine Anwendung von ionisierender Strahlung am Menschen „darf erst durchgeführt werden, nachdem ein Arzt oder Zahnarzt mit der

erforderlichen Fachkunde im Strahlenschutz entschieden hat, dass und auf welche Weise die Anwendung durchzuführen ist (rechtfertigende Indikation)“ (§83 Absatz 3 Satz 1 StrlSchG).

In einem 2018 veröffentlichten Case Report von Sumedh E. Shah et al. wird eine solche gründliche Abwägung von Nutzen und Risiko für eine Thrombektomie bei einer schwangeren Patientin mit einem akuten Schlaganfall beschrieben (2). Bei einer 37jährigen, im dritten Trimenon schwangeren Frau wurde ein Schlaganfall diagnostiziert, welcher mittels Thrombolyse therapiert wurde. Nachdem zwei Tage später erneut eine Schlaganfall-Symptomatik einsetzte, war eine erneute Thrombolyse kontraindiziert. Folgend wurde in einem interdisziplinären Team die Indikation für eine endovaskuläre Thrombektomie gestellt. Der medizinische Nutzen wurde höher eingestuft als mögliche durch die Strahlenexposition verursachte Schäden. Die Thrombektomie wurde transradial durchgeführt, um eine vermehrte Bestrahlung des Beckens zu umgehen. Sowohl bei der Mutter als auch bei dem Kind wurden keine Folgeschäden beobachtet (2). An diesem Beispiel wird ersichtlich, dass die endovaskuläre Thrombektomie auch als therapeutische Option bei Patientinnen mit einem Schlaganfall während der Schwangerschaft in Erwägung gezogen werden sollte.

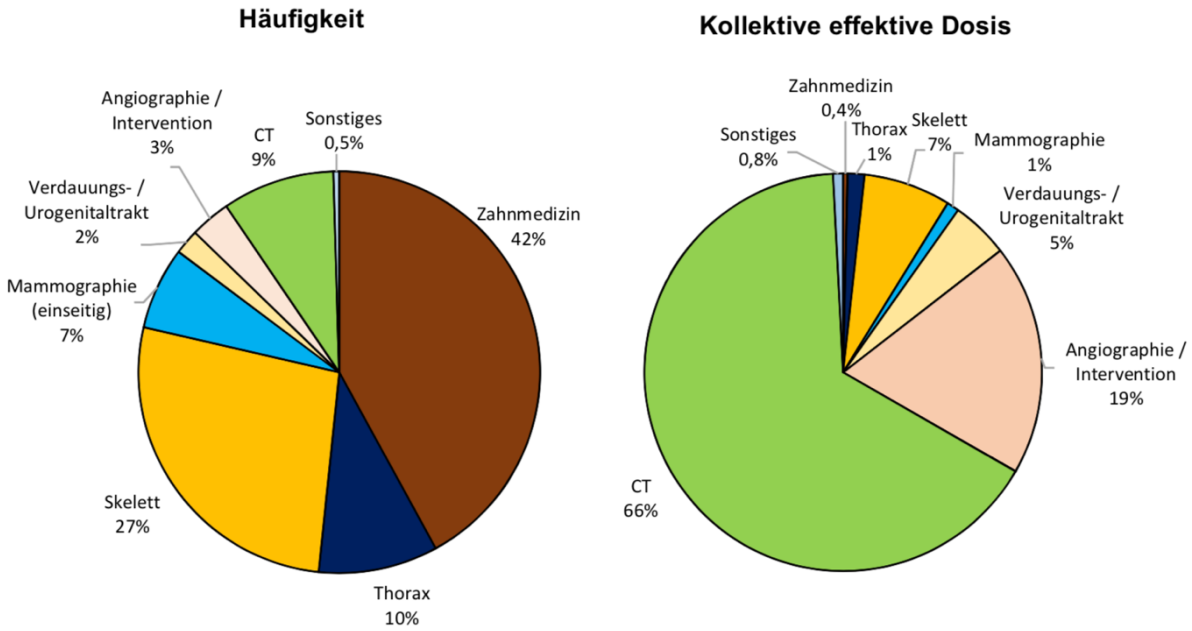


Abbildung 1: Beiträge zur Gesamthäufigkeit und zur kollektiven effektiven Dosis für verschiedene Untersuchungen in der Röntgendiagnostik 2015 in Deutschland (3)

1.1.1. Grundbegriffe der Strahlenexposition

Um die Thematik rund um die Strahlenexposition bei radiologischen Untersuchungen zu verstehen und somit angemessen im klinischen Alltag anwenden zu können, sollten grundlegende Begriffe klar und verständlich im Wortschatz eines jeden Arztes sein, der solche diagnostischen und therapeutischen Verfahren am Patienten indiziert und durchführt.
Neben der durch medizinische und technische Anwendungen verursachten Strahlung, der s.g. zivilisatorischen Strahlenexposition, existiert die natürliche Strahlenexposition, gemessen in mSv pro Jahr (mSv/a). Die gesamte natürliche Strahlenbelastung in Deutschland beträgt durchschnittlich 2.1 mSv/a. Abhängig vom Wohnort und dem Ernährungs- und Lebensstil kann die natürliche Strahlenexposition zwischen ca. 1 mSv/a und ca. 10 mSv/a schwanken (4). Die natürliche Strahlenexposition setzt sich aus inneren und äußeren Komponenten zusammen. Die inneren Komponenten beinhalten beispielweise die Inhalation des radioaktiven Edelgases Radon oder Radionuklide, welche durch die Nahrung aufgenommen werden.
Die äußeren Komponenten setzen sich aus kosmischer und terrestrischer Strahlung zusammen.
Die durch die zivilisatorische Strahlenbelastung verursachte mittlere effektive Dosis beträgt in Deutschland ca. 1.7 mSv/a (4).

Bei der Betrachtung des Strahlenrisikos für Patienten geht es einerseits um dosisabhängige Strahlenschäden und andererseits um stochastische Risiken strahleninduzierter Krebserkrankungen. In der Strahlenkunde spricht man auch von deterministischen und stochastischen Strahlenschäden.
Unter deterministischen Strahlenschäden versteht man diejenigen Schäden, die bei Überschreiten einer gewissen Schwellendosis auftreten. Deterministische Strahlenschäden treten in der Regel akut (Tage bzw. Wochen) nach Strahlenexposition mit hohen Dosen auf und entstehen durch massives Absterben von Körperzellen durch Apoptose und Nekrose und dem damit verbundenen Funktionsverlust des Gewebes oder Organs (5).
Ab einem Schwellenwert von etwa 500 mSv bei akuter Exposition treten Hautrötungen auf. Akute Strahleneffekte wie beispielsweise Übelkeit und

Erbrechen treten bei akuter Exposition ab einem Schwellenwert von etwa 1000 mSv auf.

Wird eine Person mit einer Dosis von 3000 - 4000 mSv in kurzer Zeit bestrahlt, führt dies bei 50% der exponierten Personen innerhalb von 6 – 8 Wochen zum Tod (LD50) (6).

Ab exponierten Dosen von >8000 mSv in kurzer Zeit sind die Folgen in annähernd 100% der Fällen letal (6).

Solche deterministischen Strahlenschäden können einerseits bei therapeutischen Bestrahlungen, andererseits jedoch auch bei radiologischer Diagnostik und Intervention auftreten, wenn der Strahlenschutz keine ausreichende Berücksichtigung findet.

Welche Ausmaße Strahlenschäden bei unzureichendem Strahlenschutz und unbeachteter Indikationsstellung annehmen kann, verdeutlicht ein Beispiel aus dem Jahr 2005 in der frühen klinischen Anwendungsphase der Perfusions-CT. Bei einer 53jährigen Patientin mit einem subarachnoidalen Hämatom wurden innerhalb von 15 Tagen vier Perfusions-MDCTs (= Multi Detektor CTs) mit hoher Strahlenexposition, sowie zwei Angiographien des Schädels durchgeführt. 37 Tage nach dem ersten Perfusions-MDCT wurde bei der Patientin Haarausfall in den exponierten Arealen beobachtet (7).

Um solchen Schäden entgegenzuwirken sind im Strahlenschutz Dosisgrenzwerte festgelegt.

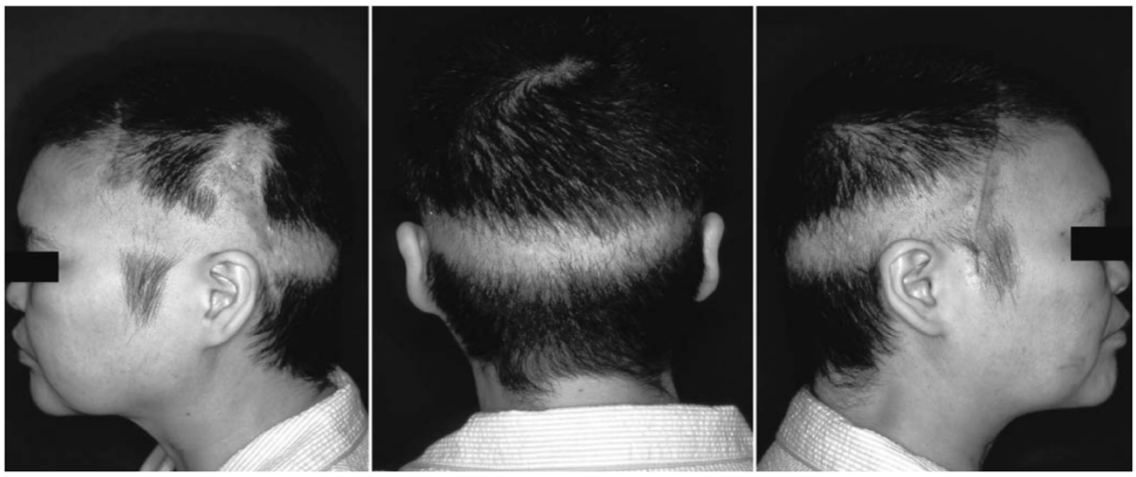


Abbildung 2: Deterministischer Strahlenschaden: 53jährige Patientin mit teilweisem Haarausfall in Folge von Bestrahlung (7)

Neben den deterministischen Strahlenschäden existieren die zufällig eintretenden stochastischen Strahlenschäden (Entweder-oder-Ereignisse).
Stochastische Strahlenschäden basieren auf Transformations- und Mutationsprozessen betroffener Zellen. Hierbei existiert keine Schwellendosis, ab welcher sich ein möglicher Strahlenschaden manifestiert. Zwischen der Schwere eines Schadens und der Dosis besteht keine Abhängigkeit. Vielmehr nimmt die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Schadens mit der Dosis zu. Der Zusammenhang besteht hier also zwischen der Dosis und der Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines stochastischen Strahlenschadens. Typische stochastische Strahlenschäden sind DNA-Schäden (genetische Schäden) und die Induktion eines Tumors (kanzerogene Schäden) (1).
Über langjährige Beobachtungen großer Personengruppen konnten wertvolle Kenntnisse über strahleninduzierte Neoplasien beim Menschen gewonnen werden. Wesentliche Erkenntnisse stammen aus Studien an Überlebenden der Atombombenabwürfe von Hiroshima und Nagasaki.
Eine Abwägung des Strahlenrisikos für das Auftreten strahleninduzierter Krebserkrankungen bietet eine Dosis-Wirkungs-Kurve. In dieser Dosis-Wirkungs-Kurve kann eine annähernd lineare Beziehung zwischen der exponierten Dosis und der prozentualen Auftrittswahrscheinlichkeit von Neoplasien beobachtet werden, ohne eine Schwellendosis zu berücksichtigen. Diese angenommene Dosis-Wirkungs-Beziehung wird als LNT- (linear no treshold) Hypothese bezeichnet und wird seit den 1970er Jahren von der internationalen Strahlenschutzkommission verwendet (8). Diese Hypothese ist derweil zwar noch nicht eindeutig bewiesen, dient aber dennoch als elementare Grundlage des Strahlenschutzes.

1.1.2. Dosisbegriffe

Um die Auswirkung von ionisierender Strahlung auf Materie bzw. bei medizinischen Anwendungen auf den menschlichen Körper näher zu beschreiben, kommen diverse Dosisbegriffe zur Verwendung. All diese Dosisbegriffe hängen grundlegend mit der durch ionisierende Strahlung transportierten Energie zusammen. Bei detaillierter Betrachtung unterscheiden sich die einzelnen Dosisbegriffe jedoch und sollen folgend erläutert werden.

Die Messung der transportierten Energiemenge von ionisierender Strahlung wird unter dem Begriff Dosimetrie zusammengefasst.

Als Energiedosis (*D*) bezeichnet man die absorbierte Energie (*E*) einer Masse (*m*) eines bestrahlten Körpers (9). Die Energiedosis wird unter der Einheit Gray (*Gy*) in den SI-Einheiten geführt. Ein Gray entspricht einem Joul pro Kilogramm.

Da die biologische Auswirkung von Strahlung im Wesentlichen auf der Absorption von Strahlenenergie basiert, bildet die Energiedosis die Grundlage der Dosimetrie.

Jede Strahlenart besitzt eine andere Strahlenqualität und damit eine unterschiedliche biologische Wirksamkeit. Demzufolge kann die Energiedosis also nicht dafür genutzt werden, unterschiedliche Strahlenarten hinsichtlich ihrer biologischen Auswirkung miteinander zu vergleichen. Um eine Vergleichbarkeit herzustellen, wird die Äquivalentdosis verwendet.

Die Äquivalentdosis ist das Produkt aus der Energiedosis (*D*) und eines in der Strahlenschutzverordnung festgelegten Strahlungswichtungsfaktor (w_r). Dieser Strahlungswichtungsfaktor berücksichtigt die unterschiedliche biologische Wirksamkeit verschiedener Strahlenarten. Die Äquivalentdosis einzelner, exponierter Organe bezeichnet man als Organdosis (1).

Da der Strahlungswichtungsfaktor eine dimensionslose Zahl darstellt wird auch die Äquivalentdosis in Joul pro Kilogramm angegeben und trägt die Einheit Sievert (*Sv*).

Für Röntgenstrahlung, welche einen Strahlungswichtungsfaktor von 1 hat, bedeutet dies, dass eine Energiedosis von *1 Gray* einer Äquivalentdosis von *1 Sievert* entspricht.

In der folgenden Tabelle (Tabelle 1) sind die einzelnen Strahlungswichtungsfaktoren verschiedener Strahlenarten aufgeführt.

Strahlenart	**Strahlungswichtungsfaktor w_r**
Photonen, alle Energien	1
Elektronen	1
Protonen	2
α-Teilchen	20
Neutronen, Energie <10 k*eV*	5
Neutronen, Energie 10 - 100 k*eV*	10
Neutronen, Energie >20 *MeV*	5

Tabelle 1: Strahlungswichtungsfaktoren verschiedener Strahlenarten (1)

Um die unterschiedliche Strahlenempfindlichkeit einzelner Organe zu berücksichtigen, wird die effektive Dosis verwendet. Um die effektive Dosis zu berechnen, wird die Äquivalentdosis bzw. die Organdosis mit den einzelnen Gewebewichtungsfaktoren (w_T) multipliziert. Die Einheit der effektiven Dosis ist ebenfalls Sievert (*Sv*) (1).

Einige Gewebewichtungsfaktoren sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Organ	**Gewebewichtungsfaktor w_T**
Gonaden	0.2
Rotes Knochenmark	0.12
Lunge	0.12
Dickdarm	0.12
Schilddrüse	0.05
Haut	0.01

Tabelle 2: Gewebewichtungsfaktoren verschiedener Organe (1)

Ein weiterer in der täglichen Praxis wichtiger Dosisbegriff ist das Dosisflächenprodukt (DFP). Beim DFP wird einerseits die Dosis (Intensität einer Bestrahlung) und andererseits die Fläche (Ausdehnung) erfasst. Durch Multiplikation dieser beiden Faktoren erhält man das DFP.

Das DFP ist aufgrund der Tatsache, dass die Dosis mit dem Abstand von einer Strahlenquelle quadratisch abnimmt und die Feldgröße im selben Maße zunimmt, praktisch vom Messort unabhängig. Daher kann das DFP durch spezielle flache Messkammern am Strahlenaustritt bestimmt werden. Im Gegensatz zu allen anderen Dosisgrößen kann das DFP daher auch während einer Untersuchung ermittelt werden. Nach Abschluss einer jeden Untersuchung mit Röntgenstrahlung wird das DFP in ausgedruckter oder digitaler Form dokumentiert.

Angegeben wird das DFP in der Regel in *Gy x cm²* oder in *cGy x cm²*. Da in der täglichen Praxis je nach verwendetem Messgerät auch andere Einheitskombinationen (z.B. *mGy x cm²* oder *dGy x cm²*) anzutreffen sind, ist beim Vergleich von DFP-Werten aus unterschiedlichen Quellen besondere Aufmerksamkeit geboten (10).

In Tabelle 3 sind beispielhaft Umrechnungen in verschiedene Einheitsgrößen aufgezeigt.

DFP in Ausgangseinheit	DFP in konvertierter Einheit
1.000 $\mu Gy \times m^2$	$10\ Gy \times cm^2$
1.000 $\mu Gy \times m^2$	$100\ dGy \times cm^2$
1.000 $\mu Gy \times m^2$	$1.000\ cGy \times cm^2$
1.000 $\mu Gy \times m^2$	$10.000\ mGy \times cm^2$

Tabelle 3: Umrechnung verschiedener Einheitsgrößen

Da ein Körper während einer CT-Aufnahme im Gegensatz zu einer konventionellen Röntgenaufnahme von allen Seiten bestrahlt wird, müssen hierbei andere Parameter zur Berechnung der Strahlenbelastung beachtet werden. Die Grundlage für die Berechnung der Strahlenbelastung während einer CT-Untersuchung liefert der Computed Tomography Dose Index (CTDI). Die Einheit des CDTI ist das *mGy*.

Wird das CDTI mit der Länge eines untersuchten Körpers multipliziert, so erhält man das Dosislängenprodukt (DLP). Das DLP gibt die gesamte Strahlenbelastung eines Patienten während einer CT-Untersuchung an. Die Einheit des DLP lautet demzufolge *mGy x cm* (10).

1.2. Endovaskuläre Thrombektomie beim Schlaganfall

Unter der endovaskulären Thrombektomie versteht man die mechanische Entfernung eines für einen Schlaganfall ursächlichen Thrombus. Ziel ist es, durch die Rekanalisation des betroffenen Blutgefäßes die Reperfusion des Gewebes zu erreichen. Die endovaskuläre Thrombektomie hat sich seit einiger Zeit als evidenzbasierte Therapieoption bei einem akuten Schlaganfall neben der Thrombolyse etabliert.

Die Indikationsstellung zur endovaskulären Thrombektomie basiert neben klinischen Kriterien auf verschiedenen bildgebenden Faktoren: Ausdehnung des irreversiblen Frühinfarkts im nativen CT, Lokalisation des Gefäßverschlusses und Kollateralkapazität leptomeningealer Arterien.

Je nach Kollateralisierung können Patienten bis zu 24 Stunden nach Infarktereignis von einer Thrombektomie profitieren (11).

Den klinischen Durchbruch der endovaskulären Therapie brachten Mikro-Stentretriever, welche mit einem Mikrokatheter zum Thrombus vorgeschoben werden und sich dort entfalten. Nachdem die Stentmaschen in den Thrombus eingedrungen sind, wird der Stentretriever zurückgezogen. Zusätzlich kann über

einen großlumigen und flexiblen Katheter direkt vor dem Thrombus aspiriert werden.

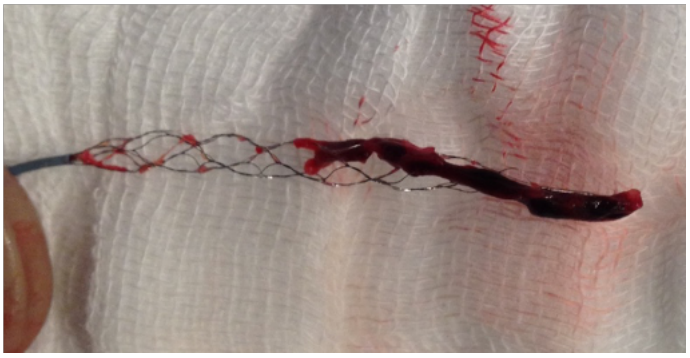


Abbildung 3: Thrombus im Stent nach Retraktion (Neuroradiologie, AK Altona)

1.2.1. Studienlage

Die 2014 veröffentlichte MR CLEAN Studie aus Holland konnte als erste Studie einen signifikanten Vorteil einer endovaskulären mechanischen Thrombektomie (EMT) nach intravenöser Thrombolyse (IVT) gegenüber einer IVT alleine zeigen (12).

In der MR CLEAN Studie wurden 500 Patienten mit einem akuten Schlaganfall, verursacht durch einen proximalen Gefäßverschluss, in einem Zeitfenster von maximal 6 Stunden (Symptombeginn bis Leistenpunktion) behandelt.

Es wurden zwei Behandlungsansätze und deren klinischen Resultate miteinander verglichen. Der Vergleich bestand aus einer Kombinationstherapie (EMT + IVT) und einer IVT alleine.

Die Kombinationstherapie zeigte deutlich bessere Therapieerfolge für die betroffenen Patienten.

Aus ethischen Gründen musste nach der MR CLEAN Studie die Rekrutierung aller anderen randomisierten Studien (ESCAPE, EXTEND IA, SWIFT PRIME, REVASCAT) abgebrochen und die initialen Ergebnisse ausgewertet werden. Diese wurden zusammen mit der MR CLEAN Studie zur HERMES Metaanalyse zusammengefasst. Es konnte in allen Studien ein signifikanter Behandlungseffekt einer EMT bewiesen werden. Seitdem gilt die EMT bei proximalen Gefäßverschlüssen als evidenz-basiert.

Seit Mitte 2015 gilt die Thrombektomie als eine Leitlinientherapie des Schlaganfalls (13).

1.2.2. Studien im erweiterten Zeitfenster

In der 2018 veröffentlichte DAWN Studie konnte ein Behandlungserfolg der EMT auch über ein Zeitfenster von sechs Stunden hinaus nachgewiesen werden (11). Es wurde die EMT mit der konservativen Behandlung bei proximalen Gefäßverschlüssen mit Nachweis von Penumbragewebe miteinander verglichen. Aufgrund des späten Zeitfensters kam eine IVT nicht mehr in Betracht.

Ursprünglich waren für die Studie 500 Patienten vorgesehen. Nachdem die Zwischenbilanz der Studie nach der Behandlung von 206 Patienten (107 Patienten Thrombektomie-Gruppe, 99 Patienten Kontrollgruppe) eindeutig positiv ausgefallen war, wurde diese frühzeitig beendet.

Durchschnittlich wurden die Patienten 13 Stunden nach Symptombeginn behandelt.

Die Ergebnisse fielen eindeutig aus: 49% der Patienten aus der Thrombektomie-Gruppe waren nach 90 Tagen in ihrem Alltag funktionell unabhängig. In der Kontrollgruppe waren dies lediglich 13%.

Nach dieser aktuellen Ansicht kann eine EMT bis zu 24 Stunden nach Infarktereignis indiziert sein. Durch die DAWN Studie wird sich zudem die Zahl derer Patienten erhöhen, welche für eine Thrombektomie in Frage kommen.

In der ebenfalls 2018 veröffentlichten DEFUSE 3 Studie konnten die Resultate der DAWN Studie bestätigt werden. In der DEFUSE 3 Studie wurden Patienten mit akutem Schlaganfall bis zu 16 Stunden nach Symptombeginn behandelt.

Auch diese Studie wurde aufgrund eindeutiger Vorteile der EMT vorzeitig, nach der Randomisierung von 182 Patienten beendet.

45% der durch eine Thrombektomie behandelten Patienten wiesen einen modified Rankin scale (mRS) von 0 – 2 nach 90 Tagen auf. Dies bedeutet, dass die betroffenen Patienten unter einer leichten Behinderung litten, jedoch in der Lage waren, ihren Alltag weitestgehend selbstständig zu bewältigen. In der Kontrollgruppe (keine EMT) dagegen wiesen lediglich 17% einen mRS Wert von 0 – 2 auf (14).

1.3. Strahlenexposition bei der Thrombektomie

Die endovaskuläre Thrombektomie basiert auf der Möglichkeit, mit röntgenologischen Verfahren die Anatomie sowie Pathologien der Blutversorgung des Gehirns sichtbar zu machen. Auf diese Weise kann mit

einem Kathetersystem der ursächliche Thrombus angesteuert und entfernt werden. Wie bei jeder anderen Untersuchung, bei der Röntgenstrahlung zum Einsatz kommt, gilt es auch bei der endovaskulären Thrombektomie die Strahlenexposition sowohl für den Patienten als auch für das medizinische Personal möglichst gering zu halten. Aufgrund der gesundheitlichen Risiken, die mit der Exposition von Röntgenstrahlung einhergehen, gilt es für jeden Betreiber von Röntgenanlagen neben der Einhaltung der rechtfertigenden Indikation auch die Strahlenanwendung nach dem ALARA-Prinzip („as low as reasonably achievable“) zu optimieren.
Dank steigender Zahlen an endovaskulären Thrombektomien nimmt auch die Zahl an Behandlungsprotokollen zu, aus welchen wertvolle Rückschlüsse hinsichtlich der Optimierung der Strahlenexposition gezogen werden können. Zudem haben auch Angiographieanlagen in den letzten Jahren erhebliche Entwicklungen erfahren, um sowohl die Strahlenexposition zu verringern als auch die Bildqualität zu verbessern.

1.3.1. Angiographie

Bei der endovaskulären Thrombektomie setzt sich die Bildgenerierung und demzufolge auch die Strahlenexposition aus einer Kombination zweier Aufnahmetechniken zusammen.
Zum einen kann mittels kontinuierlicher Durchleuchtung (Fluoroskopie) die Katheterposition während der Prozedur sichtbar gemacht und überprüft werden. Zum anderen kann durch die digitale Subtraktionsangiographie (DSA) ein Gefäßverschluss sowie ein potentieller Reperfusionserfolg, also der therapeutische Verlauf sichtbar gemacht werden.
Durch das Zusammenspiel dieser beiden Techniken kann sich der Operateur einen visuellen Überblick der individuellen Gefäßkonstellation eines jeden Patienten verschaffen. Auf diese Weise wird die Grundlage zur Durchführung einer endovaskulären mechanischen Thrombusentfernung gestellt.
Neben den unterschiedlichen diagnostischen und therapeutischen Aussagen der beiden Aufnahmetechniken unterscheiden sich die beiden Verfahren auch in ihrer exponierten Strahlendosis. Struffert et al. zu Folge hat eine Analyse von 21 Dosisprotokollen, welche von der Angiographieanlage automatisch generiert

wurden, zeigen können, „dass nur etwa 5% der Dosis der Fluoroskopie entstammt“ (15).

Der hingegen viel größere Anteil der Dosis liegt auf Seiten der DSA. „Eine 2D-Angiographieserie setzt sich aus einzelnen nacheinander aufgenommenen Bildern („frames“) zusammen (15).

Es kann sowohl die Dosis/ Bild auch die Bildfrequenz (Anzahl Bilder/s) vom Operateur gewählt werden. Je höher die Dosis/ Bild desto besser ist die Bildqualität. Jedoch geht die höhere Bildqualität auch mit einer erhöhten Gesamtdosis einher. Ebenso geht eine hohe Bildfrequenz, d.h. eine große Anzahl an Bildern/ s mit einer höheren Gesamtdosis einher.

In der Neuroradiologie sind zeitgesteuerte Serien (mehrere Phasen mit unterschiedlicher Bildfrequenz), bei welchen die Bildfrequenz zusammen mit der Gesamtdauer der Serien abnimmt, typisch. Durch die anfangs hohe Bildfrequenz lässt sich die arterielle Phase dynamisch und mit hoher zeitlicher Auflösung darstellen.

Die gegen Ende niedrige Bildfrequenz reicht aus, um die langanhaltende venöse Phase darstellen zu können (15).

Abbildung 4: Digitale Subtraktionsangiographie (DSA) in frontaler Projektion: Der Stentretriever liegt im Thrombus, der die A. cerebri media verschließt. Der Absaugkatheter liegt im M1-Segment der A. cerebri media (Neuroradiologie, AK Altona)

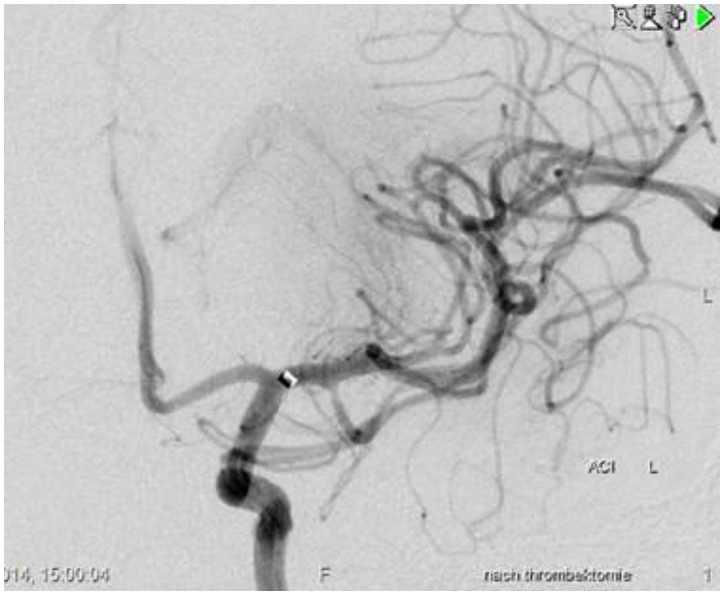


Abbildung 5: Nach Zurückziehen des Stentretrievers und Aspiration über den Absaugkatheter vollständige Rekanalisation

1.3.2. Referenzwerte interventionell-radiologischer Eingriffe

Um als Anwender von Röntgenanlagen eine Orientierung bei der Optimierung der Strahlenanwendung zu haben, sind sowohl in der neuen Strahlenschutzverordnung (§ 125 Abs. 1 StrlSchV) als auch im neuen Strahlenschutzgesetz (§185 Abs. 2 Nr. 2 StrlSchG) diagnostische Referenzwerte (DRW) verankert. Diese DRW stellen keine Grenzwerte dar.

Bei Überschreiten der DRW gilt es dennoch zu prüfen, „ob die Strahlenexposition reduziert werden kann, ohne das Ziel der medizinischen Anwendung zu gefährden“ (16).

Erstmals wurden in Deutschland 2003 DRW festgelegt und 2010 aktualisiert. Da sich die radiologische Technik sowie das Anwendungsspektrum seitdem erheblich verändert hat, wurden die DRW für diagnostische und interventionelle Röntgenanwendungen 2016 bzw. 2018 zuletzt aktualisiert (16).

Tabelle 4 sind DRW einiger interventionell-radiologischer Eingriffe am Erwachsenen zu entnehmen.

Art des interventionellen Eingriffs	**DFP** ($\mu Gy \cdot m^2$)
Thrombusaspiration nach Schlaganfall	18.000
Coiling eines zerebralen Aneurysma	25.000
PCI	4.800
Endovaskuläre Aneurysma-Therapie (Aorta thoracalis oder Bauchaorta)	23.000
TACE	23.000
PTA Becken	9.000

Tabelle 4: Diagnostische Referenzwerte für interventionell-radiologische Eingriffe am Erwachsenen (17)

1.3.3. Angiographische CT („Dyna-CT“)

Angiographische-CT, Flachdetektor-CT (FD-CT) oder cone-beam-CT sind allesamt Synonyme für dieselbe Art von Aufnahmetechnik. Hierbei kommen Flachdetektoren (FD) im Gegensatz zu konventionellen Bildverstärkern zum Einsatz. Die Vorteile von FD liegen in der höheren Dynamik, der schnellen digitalen Bildauslese sowie der sehr hohen Ortsauflösung (15).

Durch Rotation des C-Bogens erhält man einen 3D-Datensatz, der eine Rekonstruktion in allen Ebenen sowohl im Knochen- als auch im Weichteilfenster ermöglicht.

An Angiographieanlagen, die mit einer FD-CT ausgestattet sind, können demzufolge nicht nur subtrahierten 2D-Angiographieserien (2D-DSA), 3D-Rotationsangiographien (3D-DSA) sowie fluoroskopische Szenen, sondern auch CT-artige Schnittbilder (Abbildung 6) generiert werden, welche Multislice-CT (MS-CT) Aufnahmen ähneln.

Der Weichteilkontrast fällt in der FD-CT deutlich geringer als in der MS-CT aus. Die Aufnahmen sind jedoch in ausreichender Qualität um Blutungen, eine Kontrastmittel Extravasation, die Ventrikelgröße oder Fremdkörper sicher zu erkennen. Frühe Infarktdemarkationen sind in der Regel nicht sicher zu erkennen.

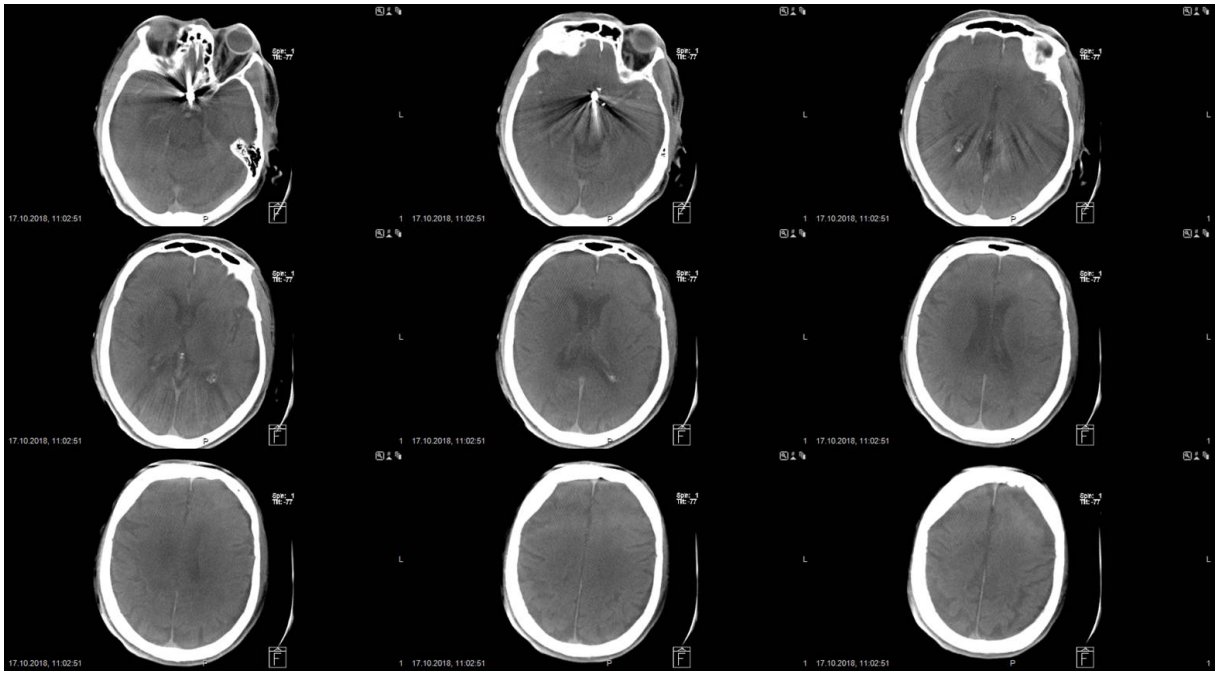


Abbildung 6: angiographische-CT = Flachdetektor-CT (FD-CT) = „Dyna-CT“ (Siemens) = „Xper-CT“ (Philips) (Neuroradiologie, AK Altona)

Die FD-CT stellt eine zusätzliche Strahlenexposition dar und sollte deshalb nur bei begründetem Verdacht auf eine Blutung oder im Fall, dass der Befund eine anderweitige therapeutische Konsequenz mit sich bringt, im Anschluss an die endovaskuläre Thrombektomie durchgeführt werden.

Aufnahmetechnik	CCT	CTA	CTP
FD-CT	2.9 mSv	2.9 mSv	2.3 mSv
MS-CT	1.4 – 2.7 mSv	2.8 – 5.5 mSv	3.6 – 5 mSv

Tabelle 5: Vergleich von FD-CT und MS-CT bezüglich der effektiven Dosis bei einer CCT, einer CTA sowie einer CTP (15)

1.3.4. Strahlenexposition des Untersuchers

Bei interventionellen Eingriffen mit Röntgenstrahlung ist neben dem Patienten insbesondere der primäre Untersucher durch die erforderliche Nähe zum Patienten Streustrahlung ausgesetzt. Daher muss bei jeder dieser Interventionen neben der Patientensicherheit auch der Strahlenschutz des Operateurs sowie des medizinischen Fachpersonals beachtet werden.

Für beruflich strahlenexponierte Personen sind im Strahlenschutzgesetz Grenzwert für die effektive Dosis festgelegt.

Der Grenzwert der effektiven Dosis für strahlenexponierte Personen beträgt 20 mSv/ Kalenderjahr. Im Einzelfall kann die zuständige Behörde eine effektive Dosis von 50 mSv/ Jahr zulassen. In fünf aufeinanderfolgenden Jahren dürfen jedoch insgesamt 100 mSv nicht überschritten werden (§ 78 Abs. 1 StrlSchG).
Auch für einzelne Organe sind Grenzwerte der Organ-Äquivalentdosen festgelegt.
Ein besonders strahlenempfindliches Organ stellt die Augenlinse dar. Ohne die Verwendung von adäquaten Strahlenschutzmaßnahmen können Augenlinsendosen von bis zu 0.7 mSv erreicht werden. Es besteht dann ein erhöhtes Risiko für das Auftreten von typischen posterioren subkapsulären Katarakten (s.g. radiogene Linsentrübung) (18).
Der Grenzwert für die Organ-Äquivalentdosis von beruflich exponierten Personen beträgt für die Augenlinse 20 mSv/ Kalenderjahr (§ 78 Abs. 2 StrlSchG).

Neben der Beachtung der allgemeinen Regeln des Strahlenschutzes (Distanz, Dauer, Dosis minimieren) sollte sich das medizinische Personal durch zusätzliche Hilfsmittel vor einer zu großen Strahlenexposition schützen.
Als wesentliche Protektion des gesamten Körpers ist eine Bleischürze mit zusätzlichem Schilddrüsenschutz unabdinglich. Daneben bieten spezielle Röntgenschutzbrillen einen Schutz vor zu hohen Augenlinsendosen.
Zusätzlich zu den direkt am Körper getragenen Hilfsmitteln gibt es weitere Strahlenschutzvorrichtungen für die Optimierung der Expositionsreduktion. Hierzu zählen beispielsweise Strahlenschutzplatten oder mobile Strahlenschutzwände, die zwischen dem Operateur und dem Patienten positioniert werden können.
Die Kombination der genannten Strahlenschutzmaßnahmen bietet die Basis eines optimalen Strahlenschutzes am Arbeitsplatz.

Abbildung 7: mobile Strahlenschutzwand und bewegliche Strahlenschutzplatte (Neuroradiologie, AK Altona)

Abbildung 8: angezogene Bleischürze, Schilddrüsenschutz, Röntgenschutzbrille sowie Röntgenhaube (Neuroradiologie, AK Altona)

1.4. Ziel der Untersuchung

Bislang sind nur wenige Daten hinsichtlich der Strahlenexposition bei der endovaskulären Thrombektomie publiziert. Beispielsweise haben Ameer E. Hassan et al. 2017 die Strahlenexposition verschiedener neurointerventionellen Prozeduren ausgewertet.

In seiner Analyse wurden unteranderem auch die Strahlendaten der endovaskulären Thrombektomie von 73 Patienten ausgewertet. Ameer E. Hassan et al. ermittelten einen Median für das DFP von 8.600 μGy • m^2 (19). Dieser Wert liegt in einem sehr ähnlichen Bereich zu dem in dieser Analyse ermittelten Median des DFP von 8.656 μGy • m^2.

Ebenfalls in einem sehr ähnlichen Bereich liegen die Medianwerte für das DFP aus einer Publikation von Holly Acton et al. aus dem Jahr 2018. Holly Acton et al. ermittelte anhand der Strahlendaten von 10 endovaskulären Thrombektomien einen Median für das DFP von 8.700 μGy • m^2.

Beide dieser Publikationen bieten jedoch lediglich Übersichtsdaten für die Strahlenexposition bei der endovaskulären Thrombektomie, ohne den Einfluss von Behandlungsfaktoren auf die Strahlenexposition zu berücksichtigen. Hinsichtlich der beeinflussenden Behandlungsfaktoren auf die Strahlenexposition gilt es, eine Publikation aus dem Jahr 2020 von Charlotte S. Weyland zu erwähnen. Charlotte S. Weyland et al. analysierte die Strahlenexposition je nach Rekanalisationsversuch bei der endovaskulären Thrombektomie.

In der Publikation um Charlotte S. Weyland et al. konnte eine Zunahme des DFP bei zunehmender Anzahl an Rekanalisationsversuchen bewiesen werden. Beispielsweise erhöhte sich der Median für das DFP von 6.870 μGy • m^2 bei einem Rekanalisationsversuch auf 10.640 μGy • m^2 bei zwei Rekanalisationsversuchen. Wurden drei Rekanalisationsversuche durchgeführt, lag der Median des DFP schon bei 13.020 μGy • m^2 (20).

Ziel dieser Untersuchung war es, die Strahlenexposition zu erfassen und hinsichtlich verschiedener Behandlungsfaktoren zu analysieren. Es sollten Behandlungsfaktoren identifiziert werden, welche mit einer erhöhten Strahlenexposition einhergehen und zudem sollte die Effektivität von Maßnahmen, die der Strahlenreduktion dienen, untersucht werden.

2. Material und Methoden

2.1. Patientenkollektiv

Die für diese Studie verwendeten Daten sind retrospektiv und anonymisiert im Zeitraum vom 01.01.2017 – 31.12.2018 in der neuroradiologischen Abteilung der Asklepios Klinik Altona (AKA) erfasst worden. Das Patientenkollektiv beinhaltet 208 wegen eines akuten Schlaganfalls mittels endovaskulärer Thrombektomie behandelte Patienten.

2.2. Operateur

Die Interventionen wurden im Zeitraum vom 01.01.2017 – 30.06.2017 ausschließlich von Neuroradiologen der AKA durchgeführt. Ab dem 01.07.2017 wurden die Eingriffe von allen Neuroradiologen im klinikübergreifenden Dienstsystem mit der Asklepios Klinik Nord-Heidberg sowie der Asklepios Klinik St. Georg durchgeführt.

2.3. Präprozedurale Notfalldiagnostik

Die präprozedurale Notfalldiagnostik des akuten Schlaganfalls beinhaltete die craniale Computertomographie (CCT), die Perfusions-CT (PCT) und die CT-Angiographie (CTA). Die Kombination von CCT, PCT und CTA („multimodale CT-Schlaganfall-Diagnostik“) ermöglicht einen deutlich größeren Informationsgewinn über das Ausmaß des akuten Schlaganfalls. Hierdurch kann eine optimale initiale Therapie eingeleitet und das weitere Vorgehen je nach Befund geplant werden.

2.3.1. Indikation

Die Indikation zur endovaskulären Thrombektomie wurde durch ein interdisziplinäres Team aus Neurologen und Neuroradiologen gestellt. Patienten mit einem akuten neurologischen Defizit sowie einem nachgewiesenen proximalen intrakraniellen Gefäßverschluss in der Bildgebung kamen für eine endovaskuläre Thrombektomie in Frage.

2.4. Endovaskuläre Thrombektomie

Die endovaskuläre Thrombektomie wurde stets in Vollnarkose durchgeführt. Die Technik der Intervention wurde nach individuellen Präferenzen des Operateurs

gewählt. Es wurde entweder eine alleinige primäre Aspiration oder eine primäre Aspiration mit Stent-Retriever angewendet. Insofern ein Stent-Retriever eingesetzt wurde, kamen die drei folgenden Modelle zum Einsatz: Solitaire FR (Ev3, Plymouth, MN, USA), Trevo (Kalamazoo, MN, USA) und ReVive SE (Raynham, MA, USA).
Ballonintroducer wurden nicht verwendet. Alle Prozeduren wurden mit Intermediate Aspirationskathetern durchgeführt.
Der Reperfusionserfolg wurde anhand des Thrombolysis in cerebral infarction (TICI) Scores klassifiziert. Ein TICI 0 bedeutet keine Perfusion nach ausgeübter Thrombektomie und entspricht keiner Verbesserung zur Ausgangssituation vor der Therapiedurchführung. Der maximale Therapierfolg einer Thrombektomie wird durch einen TICI 3 beschrieben. Ein TICI 3 entspricht einer vollständigen Perfusion des Gewebes (21). Ziel einer jeden Prozedur war stets mindestens eine TICI 2B Reperfusion.
Seit dem 01.01.2018 wurde auf die regelhafte Anwendung von „Low dose“-Programmen bei der Angiographie umgestellt.
Zur Regulation der Dosis stehen dem Anwender einer Angiographieanlage „Low dose“, Standard und „High dose“ Programme zur Verfügung. Die Programme unterscheiden sich in der Dosis/ Bild.

2.5. Datenerfassung

Die allgemeinen Patientendaten sowie der Untersuchungsbefund und der Operateur wurden an einer Workstation in der AKA mit einem „PACS Sectra IDS7“ erfasst.
Die Strahlenwerte (DLZ, Serien, DFP) wurden dem Primärausdruck, der s.g. „Examination Card“ oder Dosisprotokoll (Abbildung 9) entnommen. Für jede Dyna-CT stand solch eine „Examination Card“ ebenfalls zur Verfügung (Abbildung 10 und 11). Auch hier wurde das DFP dem Primärausdruck entnommen.
Der Parameter „Groin to End“ beschreibt den Zeitraum von Beginn der Angiographie mit Darstellung der ersten Serie über die Leistenschleuse bis hin zur letzten aufgenommenen Serie. „Groin to End“ konnte über die beiden Zeitpunkte (Beginn Angiographie mit erster Serie und letzte Serie) auf dem Dosisprotokoll errechnet werden.

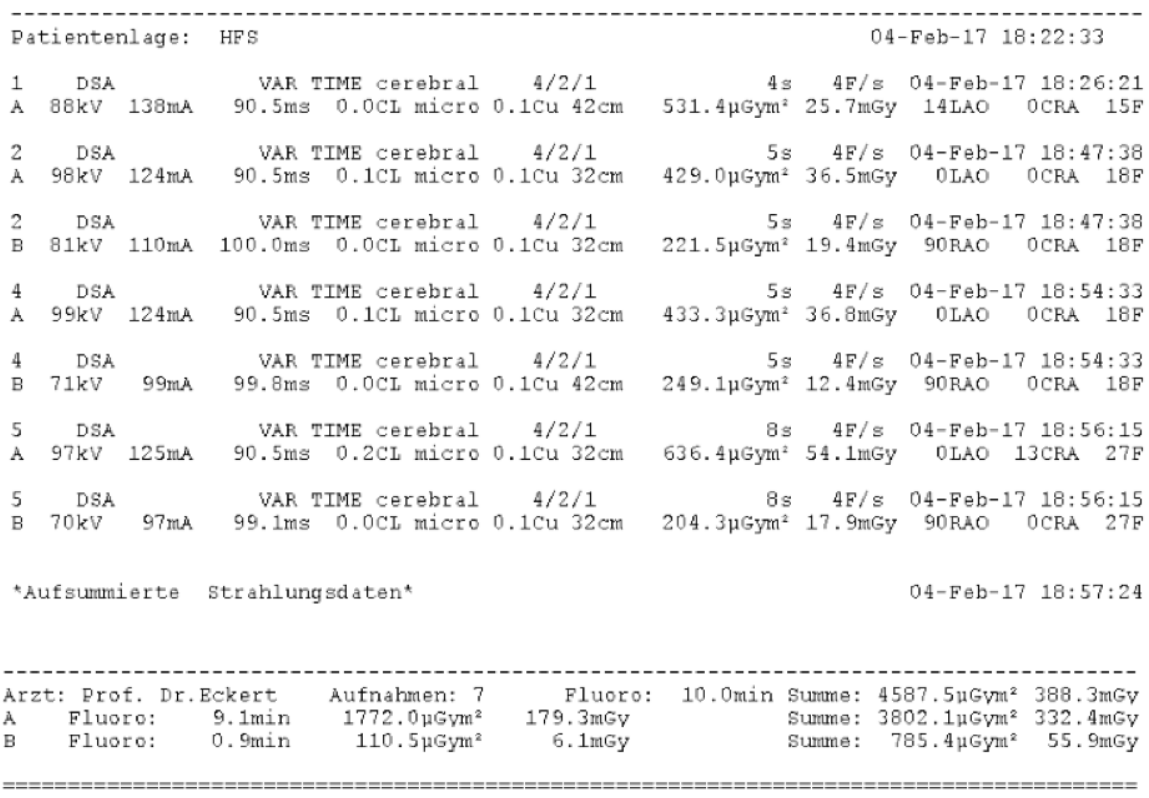
Abbildung 9 zeigt ein Dosisprotokoll, welches am Ende einer jeden Angiographie automatisch von der Angiographieanlage generiert wird und der Dokumentation der Strahlenexposition für jede Untersuchung dient.

Dem Dosisprotokoll sind sämtlich Parameter hinsichtlich der Strahlendaten zu entnehmen. Neben den Basisdaten wie dem Datum und der Uhrzeit der Intervention kann dem Dosisprotokoll die Anzahl der Serien sowie deren jeweilige verursachte Dosis entnommen werden. Weitere Parameter wie die Röhrenspannung sowie die Stromstärke der Röntgenröhre sind ebenfalls auf dem Dosisprotokoll dokumentiert.

Am Ende eines jeden Dosisprotokolls sind die aufsummierten Strahlungsdaten enthalten.

Auf diese Weise wurde für diese Studie die Anzahl der Serien („Aufnahmen“), die DLZ („Fluoro“), das DFP („Summe“) sowie die Behandlungsdauer („Groin to End“) erfasst.

Zudem kann dem Dosisprotokoll die Hautdosis (Air Kerma) entnommen werden. Die Hautdosis wird 15 cm oberhalb des Isocentrums berechnet. In der vorliegenden Arbeit wurde die Hautdosis jedoch in keine statistische Analyse miteinbezogen.



```
-----------------------------------------------------------------------------------------
Patientenlage:  HFS                                                  04-Feb-17 18:22:33

1    DSA           VAR TIME cerebral    4/2/1            4s   4F/s  04-Feb-17 18:26:21
A  88kV  138mA   90.5ms  0.0CL micro 0.1Cu 42cm   531.4µGym² 25.7mGy  14LAO   0CRA  15F

2    DSA           VAR TIME cerebral    4/2/1            5s   4F/s  04-Feb-17 18:47:38
A  98kV  124mA   90.5ms  0.1CL micro 0.1Cu 32cm   429.0µGym² 36.5mGy   0LAO   0CRA  18F

2    DSA           VAR TIME cerebral    4/2/1            5s   4F/s  04-Feb-17 18:47:38
B  81kV  110mA  100.0ms  0.0CL micro 0.1Cu 32cm   221.5µGym² 19.4mGy  90RAO   0CRA  18F

4    DSA           VAR TIME cerebral    4/2/1            5s   4F/s  04-Feb-17 18:54:33
A  99kV  124mA   90.5ms  0.1CL micro 0.1Cu 32cm   433.3µGym² 36.8mGy   0LAO   0CRA  18F

4    DSA           VAR TIME cerebral    4/2/1            5s   4F/s  04-Feb-17 18:54:33
B  71kV   99mA   99.8ms  0.0CL micro 0.1Cu 42cm   249.1µGym² 12.4mGy  90RAO   0CRA  18F

5    DSA           VAR TIME cerebral    4/2/1            8s   4F/s  04-Feb-17 18:56:15
A  97kV  125mA   90.5ms  0.2CL micro 0.1Cu 32cm   636.4µGym² 54.1mGy   0LAO  13CRA  27F

5    DSA           VAR TIME cerebral    4/2/1            8s   4F/s  04-Feb-17 18:56:15
B  70kV   97mA   99.1ms  0.0CL micro 0.1Cu 32cm   204.3µGym² 17.9mGy  90RAO   0CRA  27F

*Aufsummierte  Strahlungsdaten*                                      04-Feb-17 18:57:24

-----------------------------------------------------------------------------------------
Arzt: Prof. Dr.Eckert    Aufnahmen: 7      Fluoro:  10.0min Summe: 4587.5µGym² 388.3mGy
A    Fluoro:    9.1min    1772.0µGym²   179.3mGy            Summe: 3802.1µGym² 332.4mGy
B    Fluoro:    0.9min     110.5µGym²     6.1mGy            Summe:  785.4µGym²  55.9mGy

=========================================================================================
```

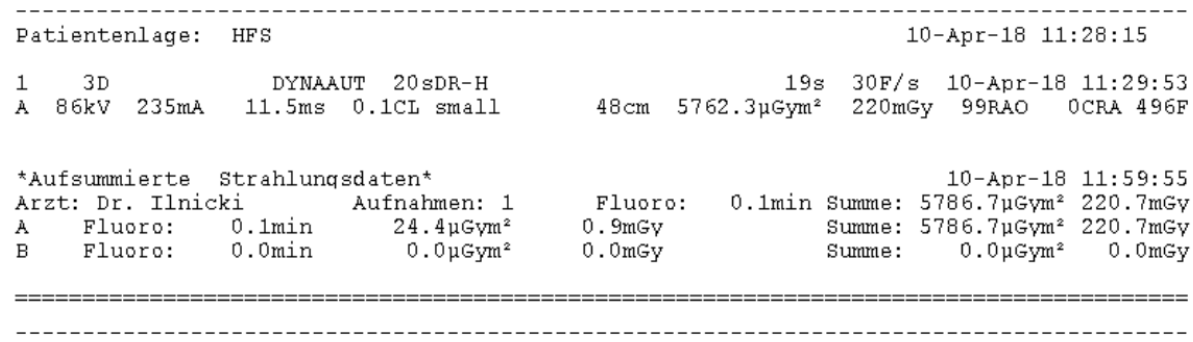
Abbildung 9: Dosisprotokoll einer Thrombektomie mit einer Gesamtdosis von 4587.5 µGy • m2, einer DLZ (Fluoro) von 10 Minuten und einer Serienanzahl von 7. Die Hautdosis beträgt 388.3 mGy (Neuroradiologie, AK Altona)

Analog zur Angiographie wird von der Angiographieanlage ein Dosisprotokoll für die FD-CT erstellt. Abbildung 10 und 11 zeigen jeweils ein solches Dosisprotokoll einer FD-CT einmal ohne und einmal mit zusätzlichem 0.2mm Cu-Filter.

Es ist ein maßgeblicher Unterschied in der Strahlenexposition bei Anwendung eines Cu-Filters ersichtlich. Das DFP kann bei Verwendung eines Cu-Filters von 5786.7 µGy • m^2 (ohne Cu-Filter) auf 2495.8 µGy • m^2 (mit 0.2mm Cu-Filter) um ca. 57% gesenkt werden. Bei jeder Dosisreduktion muss jedoch auch überprüft werden, ob die Bildqualität eine ausreichende Befundung gewährleistet.

Im Gegensatz zum Angiographieprotokoll gab es keine Festlegung über die Verwendung eines Cu-Filters zum Jahreswechsel von 2017 auf 2018.

Die Verwendung eines Cu-Filters war untersucherabhängig. Daher liegt bei den Dyna-CT Protokollen keine so homogene Verteilung wie bei den Angiographieprotokollen vor.

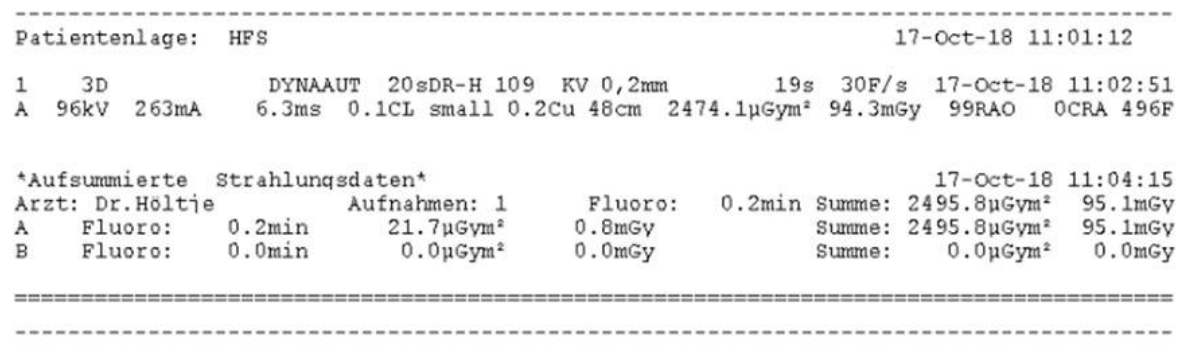


```
Patientenlage:  HFS                                                    10-Apr-18 11:28:15

1    3D            DYNAAUT  20sDR-H                          19s  30F/s  10-Apr-18 11:29:53
A  86kV  235mA   11.5ms  0.1CL small       48cm  5762.3µGym²  220mGy  99RAO   0CRA 496F


*Aufsummierte  Strahlungsdaten*                                          10-Apr-18 11:59:55
Arzt: Dr. Ilnicki        Aufnahmen: 1      Fluoro:   0.1min Summe: 5786.7µGym² 220.7mGy
A    Fluoro:    0.1min      24.4µGym²     0.9mGy            Summe: 5786.7µGym² 220.7mGy
B    Fluoro:    0.0min       0.0µGym²     0.0mGy            Summe:    0.0µGym²   0.0mGy
```

Abbildung 10: Dosisprotokoll einer Dyna-CT ohne Cu-Filter und einer Gesamtdosis von 5786.7 µGy • m2 (Neuroradiologie, AKA)



```
Patientenlage:  HFS                                                    17-Oct-18 11:01:12

1    3D            DYNAAUT  20sDR-H 109  KV 0,2mm        19s  30F/s  17-Oct-18 11:02:51
A  96kV  263mA    6.3ms  0.1CL small 0.2Cu 48cm  2474.1µGym² 94.3mGy  99RAO   0CRA 496F


*Aufsummierte  Strahlungsdaten*                                          17-Oct-18 11:04:15
Arzt: Dr.Höltje          Aufnahmen: 1      Fluoro:   0.2min Summe: 2495.8µGym²  95.1mGy
A    Fluoro:    0.2min      21.7µGym²     0.8mGy            Summe: 2495.8µGym²  95.1mGy
B    Fluoro:    0.0min       0.0µGym²     0.0mGy            Summe:    0.0µGym²   0.0mGy
```

Abbildung 11: Dosisprotokoll einer Dyna-CT mit 0.2mm Cu-Filter und einer Gesamtdosis von 2495.8 µGy • m2 (Neuroradiologie, AKA)

2.6. Therapeutischer Erfolg und Komplikationen

Der therapeutische Erfolg (Reperfusion) wurde mittels dem TICI Score erfasst. Der TICI Score reicht von TICI 0 (keine Perfusion) bis TICI 3 (komplette Perfusion) (21). Therapeutisches Ziel war stets mindestens TICI 2B. Der TICI-Score konnte dem Untersuchungsbefund entnommen werden.

Mögliche Komplikationen wurden entweder in der Dyna-CT oder in einer Kontroll-CT innerhalb von 24h nach der Thrombektomie diagnostiziert und in symptomatische intrazerebrale Blutungen (SICB) mit klinischer Verschlechterung und asymptomatische intrazerebrale Blutungen (AICB) ohne klinische Verschlechterung untergliedert.

2.7. Statistische Analyse

Die statistische Analyse der Studie erfolgte mittels SPSS, Version 25 (IBM Corp. Released 2017. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 25.0. Armonk, NY: IBM Corp.).
Während der statistischen Auswertung der Daten wurde die von der Asklepios Medical School Hamburg angebotene Methodenberatung in Anspruch genommen.

2.8. Vorlage bei der Ethikkommission der Ärztekammer Hamburg

Das Studienvorhaben wurde der Ethikkommission der Ärztekammer Hamburg am 29.04.2020 im Rahmen einer ausführlichen Projektbeschreibung vorgelegt. Seitens der Ethikkommission wurde am 15.05.2020 bescheinigt, dass das „Studienvorhaben keine Beratung durch die Ethikkommission der Ärztekammer Hamburg“ erfordert. Begründet wurde diese Entscheidung damit, dass die studiengegenständlichen Patientendaten keinem Menschen mehr zugeordnet werden können und dementsprechend kein „Forschungsvorhaben am Menschen“ im Sinne des § 9 Abs. 2 des Hamburgischen Kammergesetzes für die Heilberufe vorliegt. Ebenso fällt das Studienvorhaben nicht unter die nach § 15 Abs. 1 der Berufsordnung für Hamburger Ärzte und Ärztinnen beratungspflichtigen Forschungsvorhaben.

3. Ergebnisse

3.1. Patienten und Behandlungsfaktoren

Die vorliegenden Daten sind im Zeitraum vom 01.01.2017 bis zum 31.12.2018 in der AK Altona erfasst worden. Insgesamt wurden 208 Datensätze ausgewertet (weiblich: N = 111 (53.4%), männlich: N = 97 (46.6%)). Das Durchschnittsalter der Patient/-innen lag bei 71.6 Jahren (*SD = 13.1, Spanne 27 – 93 Jahre*).
162 (77.9%) Eingriffe wurden von internen Neuroradiologen (Haupttätigkeit in der AK Altona) und 46 (22.1%) von externen Neuroradiologen (Haupttätigkeit in anderen Asklepios Kliniken) durchgeführt.
Bei 193 Patient/-innen konnte in der letzten CT vor der Thrombektomie der ASPECT-Score (0 – 10) bestimmt werden. Hier lag der Mittelwert bei 8.6 und der Median bei 10 (*SD = 1.7*). Bei den anderen 15 Patient/-innen lag ein Verschluss des hinteren Kreislaufes (VA/BA) vor. Hierfür ist der ASPECT-Score nicht anwendbar.
Bei 185 (88.9%) Patient/-innen lag ein Verschluss des vorderen Kreislaufs vor. Diese Patientengruppe wurde nochmals wie folgt unterteilt: isolierte intrakranielle Verschlüsse (N = 148, 71.2%), isolierte extrakranielle Carotis-Verschlüsse (N = 5, 2.4%) und Tandem-Verschlüsse (N = 32, 15.4%). In 23 (11.1%) Fällen lag ein Verschluss des hinteren Kreislaufs vor.
Insgesamt konnte bei 177 (85.1%) Patient/-innen eine Reperfusion mit dem Ergebnis TICI 2B oder TICI 3 erreicht werden. Die Dauer der Interventionen betrug im Median 60 Minuten. Im Median betrug das DFP 8656.9 $\mu Gy \bullet m^2$ und die DLZ 29.8 Minuten.
Es wurden im Median 2 Rekanalisationsversuche pro Eingriff durchgeführt und 16 Serien aufgenommen.
In 20 (9.6%) Fällen kam es im Rahmen der Thrombektomie zu einer asymptomatischen ICB und in 3 (1.4%) Fällen zu einer symptomatischen ICB mit einer klinischen Verschlechterung.
Die Eingriffe fielen 143 (68.8%) Mal in die Dienstzeit und 65 (31.3%) Mal in die reguläre Arbeitszeit. 130 (62.5%) Thrombektomien wurden tagsüber (8:00 – 20:00 Uhr) und 78 (37.5%) Thrombektomien nachts durchgeführt.

	Anzahl	in %
Gesamtzahl	208	-
Durchschnittsalter	71.6	-
Weiblich	111	53.4%
Männlich	97	46.6%
Interner NRAD	162	77.9%
Externer NRAD	46	22.1%
ASPECTS (Mittelwert) im vorderen Kreislauf	8.6	-
Hinterer Kreislauf	23	11.1%
Vorderer Kreislauf gesamt	185	88.9%
Intrakranielle Verschlüsse	148	71.2%
Tandem-Verschluss (ACI + ACM/ Carotis-T)	32	15.4%
Isolierte Extrakranielle Carotis-Verschlüsse	5	2.4%
TICI 2B/ TICI 3	177	85.1%
Groin to End (Median) min.	60	-
Rekanalisationsversuche (Median)	2	-
DFP (Median) µGy • m²	8656.9	-
DLZ (Median) min.	29.8	-
Serien (Median)	16	-
Asymptomatische ICB	20	-
Symptomatische ICB	3	-
Thrombektomien während Regelzeit	65	31.3%
Thrombektomien während Dienstzeit	143	68.8%
Thrombektomien tagsüber (8:00-20:00)	130	62.5%
Thrombektomien nachts (20:00-8:00)	78	37.5%

Tabelle 6*:* Patientenübersicht

3.2. Übersicht der Strahlenexposition

	N	**Gesamt**		
	208	Median	Mittel	SD
Serien N		16	20	12,6
DLZ in Minuten		29.8	34.8	25.84
DFP in µGy • m²		8656	10636	7130
<10.000 µGy • m²	117	5837	5814	2097
>10.000 µGy • m²	91	14919	16836	6498
Groin to End in Minuten		60	72	44.5
Rekanalisationsversuche N		2	2.6	2.1
DFP Dyna-CT in µGy • m²	143	6234.5	5856	1251

Tabelle 7: Strahlenexposition und Prozedur gesamt

Durchschnittlich wurden während der Thrombektomie 20 Serien aufgenommen. Der Median lag hier bei 16 Serien (*SD = 12.6, Spanne 3 – 69*).

Bei der DLZ wurde ein Mittelwert von 34.8 Minuten und ein Median von 29.8 Minuten erreicht (*SD = 25.8, Spanne 2.7 – 136.1 min.*).

Das durchschnittliche DFP betrug 10.636 µGy • m^2. Der Median lag hier bei 8656.9 µGy • m^2 (*SD = 7130.8, Spanne 1502 – 47.575 µGy • m^2*).

In 143 (69%) Fällen wurde anschließend an die Thrombektomie eine angiographische CT („Dyna-CT“) durchgeführt. Bei 65 (31%) Patient/-innen war dies nicht der Fall.

Das durchschnittliche DFP bei einer angiographischen CT lag bei 5856 µGy • m^2 mit einem Median von 6234.5 µGy • m^2 (*SD= 1251, Spanne 2355.2 – 7686.9 µGy • m^2*).

In Abbildung 12 und Abbildung 13 ist jeweils eine Punktwolke für die DLZ sowie für das DFP für 2017 und 2018 aufgetragen.

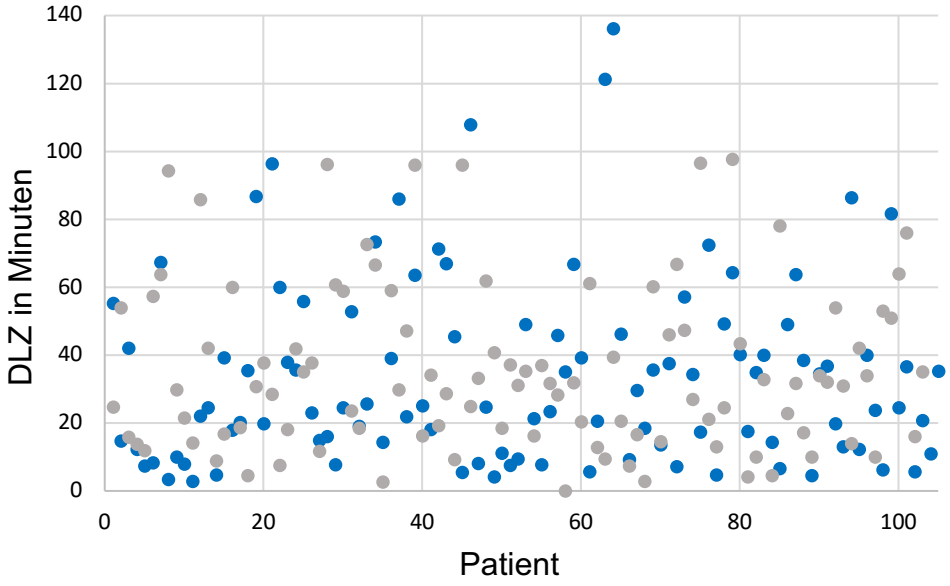


Abbildung 12: Die jeweiligen Patienten (X-Achse) mit der zugehörigen DLZ (Y-Achse) verglichen 2017 (blau) und 2018 (grau)

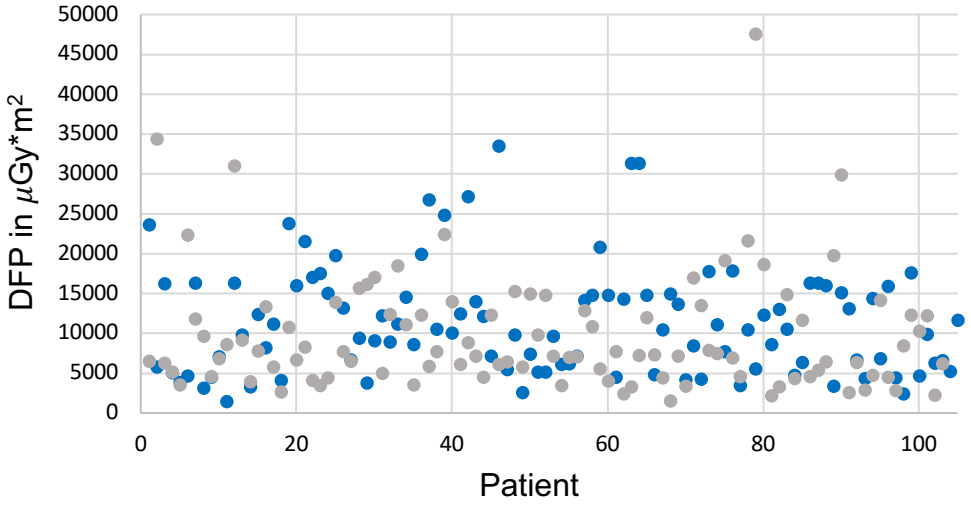


Abbildung 13: Die jeweiligen Patienten (X-Achse) mit dem zugehörige DFP (Y-Achse) verglichen 2017 (blau) und 2018 (grau)

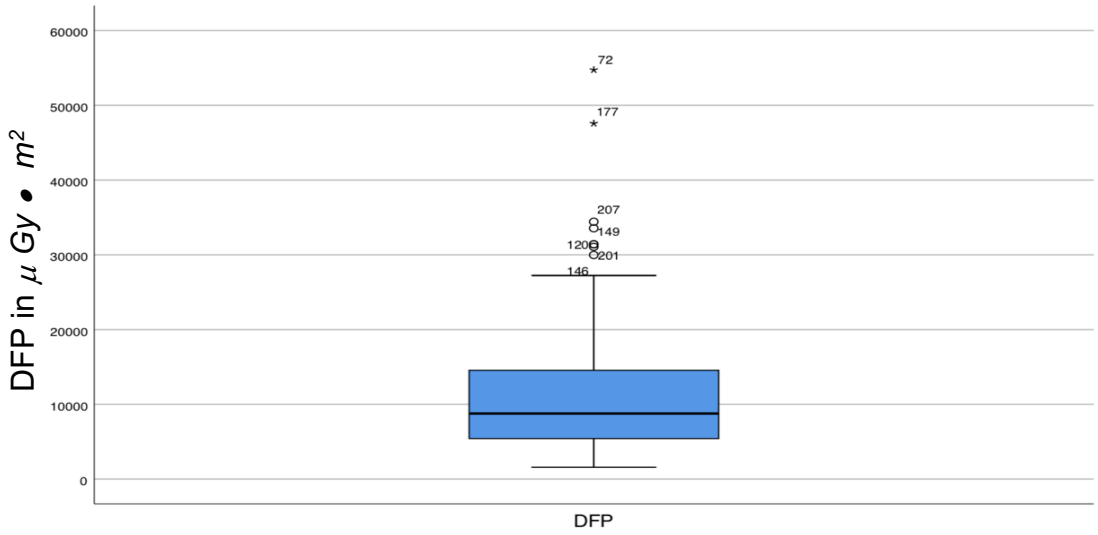


Abbildung 14: Verteilung des DFP im Gesamtkollektiv, Y-Achse in µGy • m²

3.3. Strahlenexposition im Jahresvergleich

	2017 N				**2018 N**			
	105	Median	Mittel	SD	103	Median	Mittel	SD
Serien N		18	20.8	12.1		15	19	13.2
DLZ in Minuten		24.6	33.7	27.2		31.5	35.8	24.4
DFP in μGy • m²		10483	11456	6834		7325	9800	7359
<10.000 μGy • m²	51	5631	5994	2168	66	5901	5675	2037
>10.000 μGy • m²	54	15077	16615	5603.5	37	14864	17157	7691
Groin to End in Minuten		63	76	49.3		58	69	39
Rekanalisationsversuche N		2	2.3	1.7		2	3	2.4

Tabelle 8: Strahlenexposition und Prozedur 2017 und 2018

Die DLZ, das DFP sowie das DFP der angiographischen CT aus 2017 und 2018 wurden miteinander verglichen (Tabelle 8). Bei der DLZ kam es zu einem geringen durchschnittlichen Anstieg von 2.1 Minuten von 33.7 Minuten (2017) auf 35.8 Minuten (2018). Im Median steigerte sich die DLZ um 6.9 Minuten (2017: 24.6 min., 2018: 31.5 min.).

Beim DFP konnte dennoch eine deutliche durchschnittliche Reduktion um 1656 μGy • m^2 verzeichnet werden (2017: 11.456 μGy • m^2, 2018: 9800 μGy • m^2). Im Median kam es zu einer deutlichen Abnahme um 3158 μGy • m^2 (2017: 10.483 μGy • m^2, 2018: 7325 μGy • m^2). Diese erhebliche Reduktion des DFP von 2017 auf 2018, trotz annähernd gleicher DLZ ist durch die Einführung von low-Dose Protokollen zu erklären. Die regelhafte Umstellung auf die low-Dose Protokolle erfolgte zum 01.01.2018. Hierdurch konnte unter gleichen Behandlungsbedingungen eine deutliche Reduktion des DFP erzielt werden.

3.4. Verschlusstyp

Verschlusstyp	Anzahl	DLZ in Minuten		DFP in µGy • m²		Serien N	
		Median	Mittel	Median	Mittel	Median	Mittel
M1	90	23.7	29.3	6714	8583.1	11.5	14.4
M2	24	22.5	27.7	7837	9131.2	17	18.1
Carotis-T	31	24.6	37.1	10621	12577.8	19	21.8
ACM + ACA	3	42	56.3	15763	14287	24	21.3
Gesamt vorderer Kreislauf intrakraniell	148	24.6	31.2	7515	9624.3	14	16.7
Isolierte Carotis	5	35	41.4	10543	11404.4	30	27.8
ACI + ACM	23	39.2	44.3	14817	15306.2	29	32
ACI + Carotis-T	9	81.6	73.8	17617	18845.9	34	37.2
Gesamt Carotis/ Tandem	37	45.8	51.1	14817	15639.9	33	32.7
Hinterer Kreislauf VA/ BA	23	29.8	31.1	7247	11631.3	13	19.7

Tabelle 9: Strahlenexposition und Verschlusstyp

Mit einer Anzahl von 90 (43.3%), waren M1-Verschlüsse am häufigsten vertreten. Gefolgt wurden sie von 31 (14.9%) Verschlüssen des Carotis-T und 24 (11.5%) M2-Verschlüssen, sowie 23 (11.1%) Verschlüssen des hinteren Kreislaufs (BA/VA).

In fünf (2.4%) Fällen lag ein isolierter Carotis-Verschluss vor. Nur drei Mal (1.4%) vertreten war ein kombinierter Verschluss der ACM und der ACA. Insgesamt wurden 148 (71.2%) intrakranielle Verschlüsse in die Datenauswertung miteinbezogen.

Mit 23 (11.1%) Verschlüssen war ein Verschluss der ACI und der ACM die häufigste Tandem-Läsion. Ein weiterer als Tandem-Läsion zu wertender Verschlusstyp, war mit einer Anzahl von 9 (4.3%), ein kombinierter Verschluss der proximalen ACI und des Carotis-T.

In der Strahlenexposition ist ein deutlicher Unterschied zwischen den rein intrakraniellen Verschlüssen (M1, M2, Carotis-T und ACM + ACA) und den Tandem-Läsionen zu beobachten. Das DFP der rein intrakraniellen Verschlüsse beträgt im Median 7515 $\mu Gy \bullet m^2$. Das DFP der Tandem-Läsionen (inkl. Isolierten Carotis-Verschlüssen) ist mit 14817 $\mu Gy \bullet m^2$ annährend doppelt so hoch.

Auch bei der DLZ und den Serien sind große Abweichungen zwischen rein intrakraniellen Verschlüssen und Tandem-Läsionen zu beobachten. Die DLZ liegt bei den Tandem-Läsionen (inkl. isolierten Carotis-Verschlüssen) (45.8 min.) um 21.1 Minuten über der DLZ der rein intrakraniellen Verschlüsse (24.6 min.). Bei den Serien liegt im Median eine Differenz von 19 vor (Tandem-Läsion: 33 Serien, rein intrakraniell: 14 Serien).
Bei Verschlüssen des hinteren Kreislaufs (VA/BA) werden sowohl im DFP als auch in der DLZ und den Serien ähnliche Werte erzielt wie bei den rein intrakraniellen Verschlüssen. Im Median liegt das DFP der rein intrakraniellen Verschlüsse um 268 $\mu Gy \bullet m^2$ über den Verschlüssen des hinteren Kreislaufs. Die DLZ weicht im Median um 5.2 Minuten (VA/BA: 29.8 min., rein intrakraniell: 24.6 min.) voneinander ab und die Serien unterscheiden sich im Median um eine Serie (VA/BA: 13, rein intrakraniell: 14).

3.5. Thrombektomietechnik und Reperfusion

Die Dauer der Thrombektomie („Groin to End“) betrug im Mittelwert 72 Minuten und im Median 60 Minuten (*SD = 44.5, Spanne 8 – 258 Minuten*).
Durchschnittlich wurden 2,6 Rekanalisationsversuch unternommen. Der Median lag bei 2 Rekanalisationsversuchen (*SD = 2.1, Spanne 1 – 11*).
Der Behandlungserfolg nach Rekanalisation wurde anhand der „Thrombolysis In Cerebral Infarction“ (TICI) Score erfasst. In 177 (85%) Fällen konnte TICI 2B oder TICI 3 erreicht werden, was einer erfolgreichen Rekanalisation entspricht. 108 (52%) Mal wurde die Thrombektomie mit TICI 3 und 69 (33%) mal TICI 2B abgeschlossen.
In 31 (15%) Fällen konnte keine erfolgreiche Rekanalisation erzielt werden. Dies entspricht TICI 2A (19; 9%), TICI 1 (2; 1%) und TICI 0 (10; 5%).
Insgesamt wurde bei 35 Patient/-innen (16.8%) im Rahmen der Intervention ein Stent appliziert. In 33 (15.9%) Fällen wurde dieser Stent zervikal und in 2 (1.0%) Fällen intrakraniell gesetzt. Die zervikale Stentapplikation wurde 29 (13.9%) Mal im Rahmen einer Tandem-Läsion (ACI + ACM/ ACI + Carotis-T), drei (1.4%) Mal im Rahmen eines isolierten Carotis-Verschlusses und einmal (0.5%) bei einem Verschluss des hinteren Kreislaufs vollzogen. Von den drei im Rahmen des isolierten Carotis-Verschlusses applizierten Stents wurde zwei Mal nur der zervikale Stent appliziert, ohne dass eine Thrombektomie durchgeführt wurde.

Die beiden intrakraniellen Stents wurden jeweils im Rahmen eines Carotis-T Verschlusses gesetzt.

In 161 (77.4%) Fällen wurde eine reine Aspirations- und/oder Stentretriever-Thrombektomie durchgeführt. Hiervon wurde 48 (23.1%) Mal eine reine Aspiration, 109 (52.4%) Mal eine Aspiration zusammen mit einer Stentretriever-Thrombektomie und vier (1.9%) Mal eine reine Stentretriever-Thrombektomie angewendet.

Sieben (3.4%) Mal konnte der Thrombus aus anatomischen Gründen (Gefäßelongation) nicht entfernt werden. Bei 5 (2.4%) Patient/-innen kam es im Verlauf der Prozedur zu einer Spontanlyse.

3.6. Strahlenexposition und Operateur

Behandelnder Arzt	Anzahl	**DLZ in Minuten**		**DFP in µGy • m²**		**Serien N**	
		Median	Mittel	Median	Mittel	Median	Mittel
A 3	29	15	17.6	6731	7353.8	13	14.9
A 4	24	22.2	26.5	9503.5	10670.3	22	22
A 1	17	20.6	23.1	9344	10717.7	18	22.9
A 2	92	35.0	37.9	8817.9	10615.6	19	20.8
Gesamt intern	162	21.4	26.3	9081	9839.4	18.5	20.2
E 6	16	44.2	47.7	9832.5	13739.4	15	24
E 5	26	40.7	47.8	8668	10463	11	13.3
E 7	4	53.7	57.4	20208.5	24579.3	25	33.8
Gesamt extern	46	44.2	51	9832.5	16260.7	15	23.7
Tag (8:00 – 20:00 Uhr)	130	31.7	34	8594.5	10467.5	15.5	20.1
Nacht (20:00 – 8:00 Uhr)	78	25	36	8656.9	10917.5	16	19.6

Tabelle 10: Strahlenexposition und Operateur sowie die Aufteilung in Tag und Nacht

162 (77.9%) Thrombektomien wurden von internen (Haupttätigkeit in der AK Altona, A1 – A4) und 46 (22.1%) von externen (Haupttätigkeit in anderen Asklepios Kliniken, E5 – E7) Neuroradiologen durchgeführt. Die Bezeichnungen A1 – A4 und E5 – E7 der behandelnden Ärzte wurden rein zufällig vergeben.

Die DLZ der internen (21.4 min.) und externen (44.2 min.) Neuroradiologen unterscheidet sich im Median um 22.8 Minuten. Das DFP hingegen weicht nur geringfügig voneinander ab. Hier liegt die Differenz im Median bei 751.5 $\mu Gy \bullet m^2$ (intern: 9081 $\mu Gy \bullet m^2$, extern: 9832.5 $\mu Gy \bullet m^2$). Auch die Serien unterscheiden sich im Median um nur 3.5 Serien (intern: 18.5 Serien, extern: 15 Serien).

Von den insgesamt 208 Thrombektomien fielen 65 (31%) in die reguläre Arbeitszeit (wochentags 8:00 – 16:30) und 143 (69%) in die Dienstzeit (wochentags 16:30 – 8:00, Wochenende, Feiertage). Zwischen 8:00 – 20:00 Uhr wurden insgesamt 130 (62.5%) und zwischen 20:00 – 8:00 Uhr 78 (37.5%) Patient/-innen behandelt. Auch zwischen Tag und Nacht konnten Unterschiede hinsichtlich der DLZ beobachtet werden. Tagsüber (31.8 min.) lag die DLZ im Median um 6.7 Minuten über der DLZ in der Nacht (25 min.). Das DFP unterscheidet sich wiederum nur geringfügig um 62.4 $\mu Gy \bullet m^2$ (Tag: 8594.5 $\mu Gy \bullet m^2$, Nacht: 8656.9 $\mu Gy \bullet m^2$). Auch hinsichtlich der Serien liegt nur eine geringfügige Differenz vor. Hier liegt der Unterschied im Median bei 1.5 Serien (Tag: 15.5 Serien, Nacht: 16 Serien)

3.7. Komplikationen

Bei 143 von 208 thrombektomierten Patient/-innen wurde eine Kontrolluntersuchung zum Ausschluss von intrakraniellen Blutungen mittels Dyna-CT durchgeführt. Da keine systematische Befundkontrolle aller Patient/-innen erfolgte, wurden die Blutungskomplikationen nicht in die Analyse miteinbezogen.

Bei drei Patient/-innen kam es im Rahmen der Behandlung zu einer ICB/ SAB mit klinischer Verschlechterung (NIHSS ≥ 4). 20 Mal hingegen kam es zu einer ICB/ SAB ohne klinische Verschlechterung.

Die einzelnen Ursachen der intrakraniellen Blutungen sowie die Strahlen- und Behandlungsdaten sind Tabelle 11 und 12 zu entnehmen.

Fall	Serien	DLZ in Minuten	DFP in µGy • m^2	Verschlusstyp	TICI	Rekanalisationsversuche	Ursache
1	16	60.2	7174	M1	0	0	Drahtperforation bei schwieriger Rekanalisierung
2	10	7.3	7409	Carotis-T	0	0	Hypertensive Massenblutung vor Sondierung
3	34	86.3	14458	ACI + Carotis-T	2B	3	Nach ACI-Stent Reperfusionsblutung vor Thrombektomie
Median	16	60.2	7409	-	-	0	-
Mittelwert	20	51.3	9680.3	-	-	1	-

Tabelle 11: Symptomatische Intrakranielle Blutungen (SICB) mit klinischer Verschlechterung (NIHSS >4)

Fall	Serien	DLZ in Minuten	DFP in µGy • m²	Verschlusstyp	TICI	Rekanalisa-tionsversuche	Ursache
1	16	45.5	12196	M1	3	1	spontan
2	11	21.4	6204	M1	2B	2	spontan
3	23	63.7	11862	M1	2A	3	spontan
4	24	60.8	16240	M1	2A	6	spontan
5	5	18.5	15040	M1	2B	2	spontan
6	43	23.1	13228	M1	2B	6	spontan
7	30	86.7	23861	M2	2B	4	Drahtperforation
8	21	24.6	9147	M2	2A	2	Drahtperforation
9	23	20.5	14377	M2	2B	2	spontan
10	19	28.5	8349	M2	2A	3	spontan
11	19	39.9	10573	Carotis-T	2B	1	Drahtperforation
12	39	55.2	23686	Carotis-T	2B	7	Drahtperforation
13	23	18.2	12539	Carotis-T	2B	3	spontan
14	42	121.2	31415	Carotis-T	3	4	spontan
15	46	59.1	12374	Carotis-T	2A	11	spontan
16	30	96	22484	Carotis-T	2A	8	spontan
17	34	73.3	14636	ACI + ACM	2B	2	spontan
18	51	86	26834	ACI + ACM	2B	5	spontan
19	34	54	34425	ACI + ACM	3	2	spontan
20	25	96.5	19210	ACI + Carotis-T	2A	6	spontan
Median	24.5	54.6	14506.5	-	-	3	-
Mittel-wert	27.9	54.6	16934	-	-	4	-

Tabelle 12: Asymptomatische Intrakranielle Blutungen (AICB)

3.8. Angiographische-CT („Dyna-CT“)

In 143 (69%) Fällen wurde anschließend an die Thrombektomie eine angiographische CT („Dyna-CT“) durchgeführt. In Tabelle 13 ist ein Vergleich des DFP der angiographischen-CT mit und ohne Verwendung eines 0.2mm Cu-Filters aufgetragen. In 19 Fällen wurde ein Cu-Filter verwendet. In 124 Fällen kam kein Cu-Filter zum Einsatz.

Im Median ist eine deutliche Reduktion des DFP der Dyna-CT um 3191.4 $\mu Gy \bullet m^2$ bei der Verwendung von Cu-Filtern zu beobachten. Dies entspricht einer Reduktion des DFP von ca. 50% bei der Verwendung von 0.2mm Cu-Filtern.

DFP in µGy • m²		ohne Cu-Filter	mit Cu-FIlter
	Anzahl	124	19
	Median	6347.9	3156.5
	Mittelwert	6271.1	3144.5
	SD	678.6	500.9

Tabelle 13: DFP der angiographischen-CT im Vergleich mit und ohne Cu-Filter

3.9. Statistische Analyse

Binäre und ordinale Variablen sind als absolute und relative Häufigkeiten angegeben. Sämtliche metrische Variablen wurden mittels des Medians dichotomisiert („Median-Split“). Zur Testung auf Unterschiede zwischen zwei unabhängigen Gruppen (DFP <10000 μGy • m^2 und DFP >10000 μGy • m^2) wurde für metrische und ordinale Variablen der Chi-Quadrat-Test nach Pearson verwendet.

Die multivariablen Analysen erfolgten mittels multipler linearer Regressionsanalysen mit dem DFP als unabhängige Variable. Da dies nicht normalverteilt ist (siehe Abbildung 15), erfolgte zuvor eine logarithmische Transformation (siehe Abbildung 16).

Die Variablenauswahl für das Endmodell erfolgten mittels univariablen Regressionsanalysen. Diejenigen Variablen, die in den univariablen Regressionsanalysen eine signifikante Assoziation mit dem DFP_{log} aufwiesen und klinisch relevant waren (Patientenalter, Verschlusstyp, Reperfusion, Rekanalisationsversuche und das Behandlungsjahr (normal-/low-Dose Protokoll) wurden in das multivariable Endmodell aufgenommen. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgte mittels der β-Koeffizienten, ihren zugehörigen 95%-Konfidenzintervallen und den *P*-Werten.

Die Urteilung der Anpassungsgüte dieses Endmodells erfolgte mittels der Beurteilung des R-Quadrats und der Inspektion der standardisierten Residuen.

Ein *P*-Wert <.05 wurde als statistisch signifikant definiert.

Die statistische Analyse der Daten erfolgte mittels SPSS, Version 25 (IBM Corp. Released 2017. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 25.0. Armonk, NY: IBM Corp.).

In Abbildung 15 ist die Häufigkeitsverteilung des DFP aufgetragen. Es ist eine Häufung des DFP zwischen 5000 μGy • m^2 und 7500 μGy • m^2 zu beobachten.

Es wurde die Abhängigkeit der beiden Einflussvariablen DLZ und Serienanzahl auf die abhängige Variable DFP untersucht. In der Regressionsanalyse betrug das korrigierte R-Quadrat für die DLZ 0.463 und für die Serien 0.537. Dies kann so interpretiert werden, dass etwa 46.3% der Varianz des DFP durch die DLZ

und etwa 53.7% der Varianz des DFP durch die Anzahl der Serien zu erklären ist.

Beide Einflussvariablen (DLZ und Serien) wiesen eine statistische Signifikanz von *P*<.001 auf und sind somit als hochsignifikant zu werten.

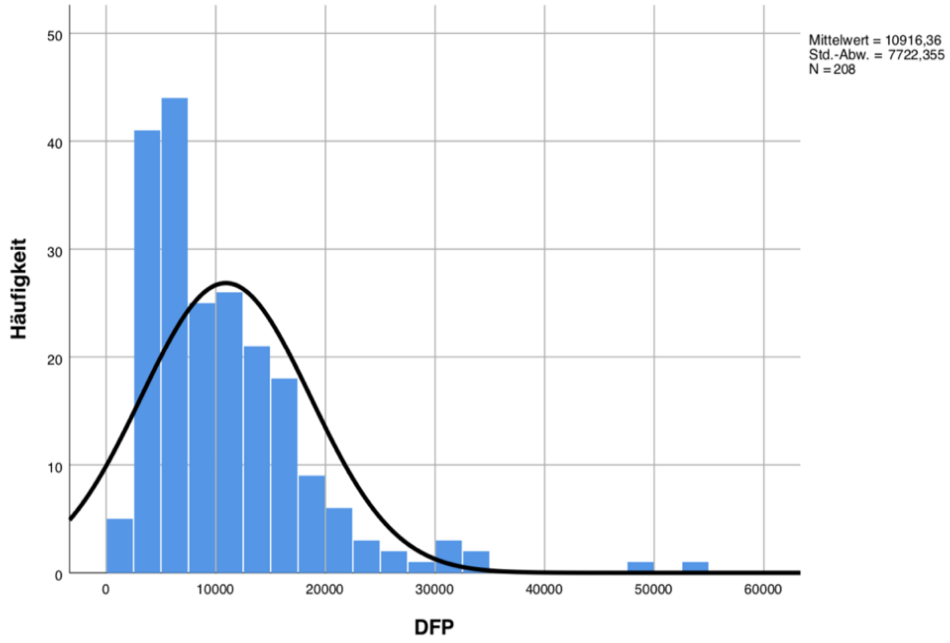


Abbildung 15: Häufigkeitsverteilung (Y-Achse) des DFP (X-Achse)

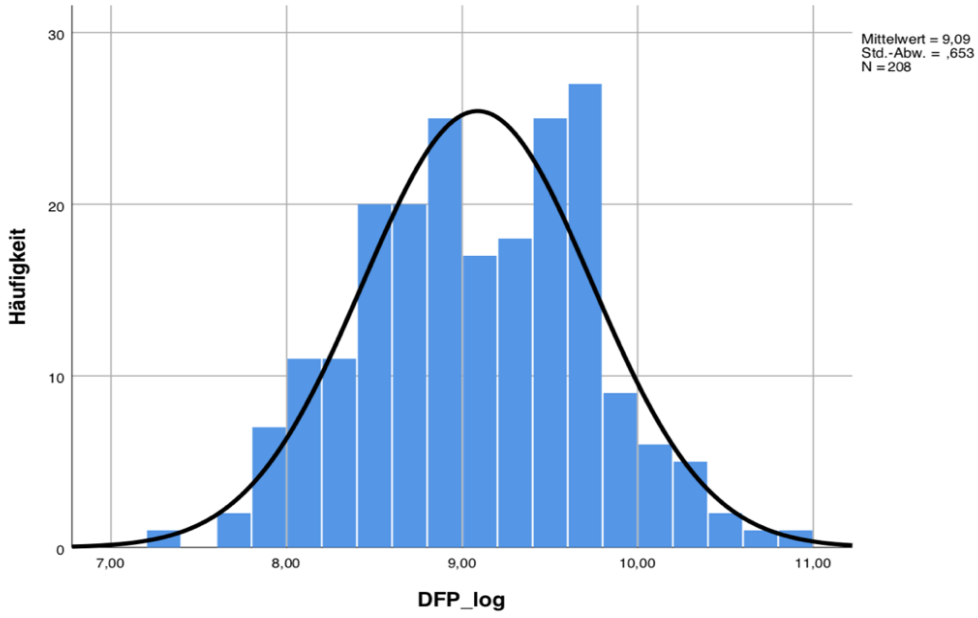


Abbildung 16: logarithmische Darstellung des DFP (X-Achse) mit annähernder Normalverteilung

3.9.1. Univariate Analyse

Die univariaten Regressionsnalysen ergaben einen signifikanten statistischen Zusammenhang der Strahlenbelastung für folgende Behandlungsfaktoren: Patientenalter (*P*=.03), DLZ (*P*<.001), Serien (*P*<.001), Groin to End (*P*<.001), Verschlusstyp (*P*<.001), Reperfusion (*P*=.02), Rekanalisationsversuche (*P*<.001) und das verwendete Protokoll (*P*=.03). Die dichotomisierten patienten- und behandlungsbezogenen Parameter für die beiden Gruppen mit einem DFP <10000 μGy • m^2 und >10000 μGy • m^2 sind in Tabelle 14 gezeigt.

	P-Wert	n	DFP <10.000 µGy • m²		DFP >10.000 µGy • m²	
			n	%	n	%
Total, n =		208	115	55	93	45
Alter						
< 75 Jahre	0,027	103	49	47,6	54	52,4
≥ 75 Jahre		105	66	62,9	39	37,1
DLZ (min)						
< 30	0,000	105	86	81,9	19	18,1
≥ 30		103	29	28,2	74	71,8
Dienst /Regeldienst						
8:00-16:30	0,985	65	36	55,4	29	44,6
16:30-8:00/+WE		143	79	55,2	64	44,8
NRAD						
Intern	0,136	162	94	58,0	68	42,0
Extern		46	21	45,7	25	54,3
Serien						
<20	0,000	119	97	81,5	22	18,5
≥ 20		89	18	20,2	71	79,8
Groin to End (min)						
< 60	0,000	105	89	84,8	16	15,2
≥ 60		103	26	25,2	77	74,8
Verschlusstyp						
Mono	0,000	176	110	62,5	66	37,5
Tandem		32	5	15,6	27	84,4
Reperfusion						
TICI 0-2a	0,016	31	11	35,5	20	64,5
TICI 2b/3		177	104	58,8	73	41,2
Rekanalisationsversuche						
≤ 2	0,000	134	92	68,7	42	31,3
> 2		74	23	31,1	51	68,9
Protokoll						
normal-dose (2017)	0,025	105	50	47,6	55	52,4
low-dose (2018)		103	65	63,1	38	36,9

Tabelle 14: Dichotomisierte Behandlungsfaktoren mit einem Grenzwert von 10.000 µGy • m2 sowie die P-Werte für die univariate Analyse

3.9.2. Einzelauswertung Patientenalter

Abbildung 17 zeigt die Verteilung des DFP bezogen auf das Patientenalter. Überraschenderweise ist zu beobachten, dass das DFP mit steigendem Patientenalter tendenziell abnimmt. Interventionen bei jüngeren Patienten gehen mit einem höheren DFP einher.

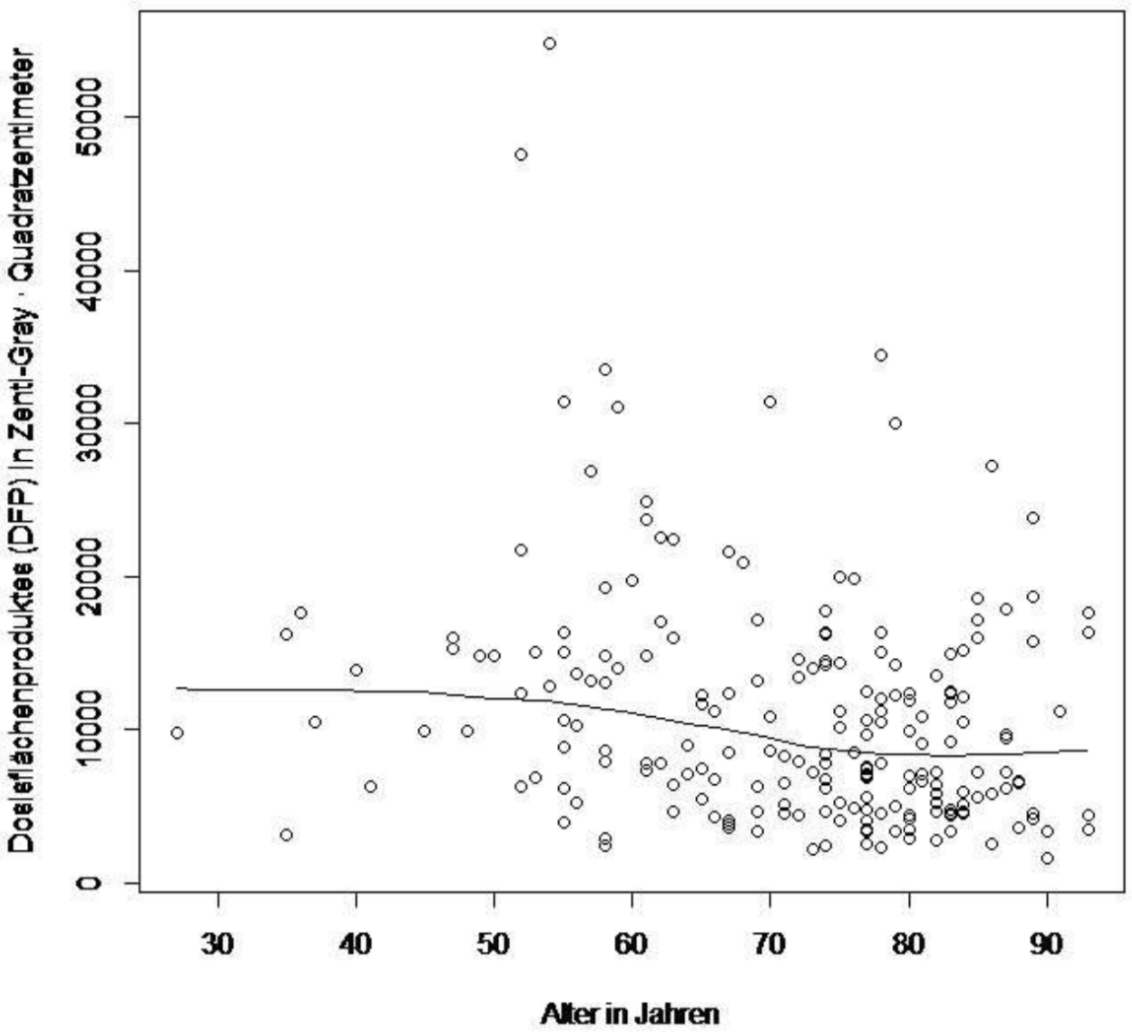


Abbildung 17: Verteilung des DFP (Y-Achse) bezogen auf das Patientenalter (X-Achse)

3.9.3. Multivariate Analyse

In die multivariate Analyse wurden folgende Parameter miteinbezogen: Patientenalter, Verschlusstyp, Reperfusion, Rekanalisationsversuche und das verwendete Protokoll. Der Einfluss dieser Parameter wurde in einer logistischen Regression auf die abhängige Variable DFP >10.000 μGy • m^2 versus DFP <10.000 μGy • m^2 untersucht.

Nicht in die multivariate Analyse miteinbezogen wurden die Parameter DLZ, Serien und Groin to End, da bei diesen hochsignifikanten Behandlungsfaktoren ein unmittelbarer Zusammenhang mit der Strahlenexposition hergestellt werden kann.

Die Ergebnisse der logistischen Regression sind Odds Ratios mit 95%-Konfidenzintervall und sollen Prädiktoren identifizieren, welche mit einer hohen Strahlenexposition (DFP >10.000 μGy • m^2) assoziiert sind.

Beim Verschlusstyp und den Rekanalisationsversuchen liegt der *P*-Wert bei 0.000. Der *P*-Wert des Behandlungsjahres liegt bei 0.002 und der *P*-Wert des Reperfusionsgrades bei 0.081. Bei dem Patientenalter liegt der *P*-Wert bei 0.668. Demzufolge sind Tandemverschlüsse, 3 oder mehr Rekanalisationsversuche und normal-Dose Protokolle unabhängig und signifikant mit einer hohen Strahlenexposition (DFP >10.000 μGy • m^2) assoziiert. Der Reperfusiongrad TICI 0 – TICI 2A ist tendenziell mit einer hohen Strahlenexposition assoziiert und ein tendenziell unabhängiger Prädiktor.

Kein signifikanter Einfluss auf die Strahlenexposition fand sich für die beiden Behandlungsfaktoren: Dienst/ Regeldienst und behandelnder Neuroradiologe.

3.9.4. Limitationen der statistischen Analyse

Die 95%-Konfidenzintervalle der logistischen Regression sind teilweise sehr weit und stellen somit eine Limitation in der Identifikation präziser Schätzer dar.

Die Ergebnisse können zwar als signifikant gewertet werden, die Schätzer sind jedoch sehr unpräzise.

Die Gründe für die teilweise weiten 95%-Konfidenzintervalle können entweder aufgrund weniger Ereignisse (imprecision) oder einer Reihe von Störgrößen (random error), die nicht in die Datenauswertung miteingeflossen sind, zustande gekommen sein.

4. Diskussion

Ziel der vorliegenden Arbeit war die Identifikation von Behandlungsfaktoren, welche mit einer erhöhten Strahlenexposition bei der endovaskulären Thrombektomie einhergehen.
Zudem sollte die Effektivität von low-Dose Protokollen, die der Strahlenreduktion dienen, untersucht werden. Low-Dose Protokolle wurden in der AKA seit dem 01.01.2018 regelhaft angewendet.
Ein weiteres Ziel dieser Arbeit war die Analyse der Strahlenexposition während der angiographischen-CT („Dyna-CT“). Bei der Dyna-CT sollte die Effektivität von Cu-Filtern, die ebenfalls der Strahlenreduktion dienen sollen, untersucht werden.

Bei der Analyse der insgesamt 208 durchgeführten Thrombektomien ergab sich ein Median für das DFP von 8656.9 μGy • m^2 (*SD = 7130.8, Spanne 1502 – 47.575 μGy • m^2*). Für die DLZ ergab sich ein Median von 29.8 Minuten (*SD = 25.8, Spanne 2.7 – 136.1 min.*).
Das DFP konnte im Median von 10.483 μGy • m^2 im Jahr 2017 (normal-Dose Protokolle) auf 7325 μGy • m^2 im Jahr 2018 (low-Dose Protokolle) gesenkt werden. Dies entspricht einer Reduktion des DFP im Median von ca. 30% durch den regelhaften Einsatz von low-Dose Protokollen.
Bei der DLZ kam es im Median zu einem geringen Anstieg von 24.6 Minuten im Jahr 2017 auf 31.5 Minuten im Jahr 2018.
Durch die statistische Analyse ergab sich zusätzlich zu den hochsignifikanten Behandlungsfaktoren (DLZ, Serien, Groin to End) bei denen ein unmittelbarer Zusammenhang mit der Strahlenexposition hergestellt werden kann, für die folgenden Behandlungsfaktoren eine unabhängige und signifikante Assoziation mit einer hohen Strahlenexposition (DFP >10.000 μGy • m^2): Verschlusstyp, Rekanalisationsversuche und Behandlungsjahr.
Als tendenziell mit einer hohen Strahlenexposition assoziierter und als tendenziell unabhängiger Prädiktor für eine hohe Strahlenexposition kann eine unzureichende Perfusion (TICI 0 – TICI 2A) angesehen werden.
Kein signifikanter Einfluss auf die Strahlenexposition fand sich für die beiden Behandlungsfaktoren: Dienst/ Regeldienst und behandelnder Neuroradiologe.
Bei 143 Patienten wurde anschließend an die Thrombektomie eine Dyna-CT durchgeführt.

Der Median für das DFP bei der Dyna-CT ergab 6234.5 μGy • m^2. Auch bei der Dyna-CT konnte das DFP im Median von 6347.9 μGy • m^2 ohne Cu-Filter auf 3156.5 μGy • m^2 mit Cu-Filtern um ca. 50% gesenkt werden.

Bislang sind nur wenige Untersuchungen über die Strahlenexposition bei der endovaskulären mechanischen Thrombektomie (EMT) sowie die Strahlenexposition bei der Dyna-CT veröffentlicht. Insofern Publikationen vorliegen, beinhalten diese vor allem Übersichtsdaten zur Strahlenexposition und keine detaillierte Analyse bezüglich des Zusammenhangs der Strahlenexposition mit den einzelnen Behandlungsfaktoren.
Als Orientierung für die Strahlenexposition bei der EMT können „diagnostische Referenzwerte für interventionelle Eingriffe am Erwachsenen“, veröffentlicht vom Bundesamt für Strahlenschutz zur Hand genommen werden (17). Diese Werte dienen lediglich der Orientierung und sind nicht als Grenzwerte zu betrachten. In der aktualisierten Fassung aus dem Jahr 2018 wird für die EMT nach einem Schlaganfall ein DFP von 18.000 μGy • m^2 als Referenzwert angegeben (17). Dieser Referenzwert wurde in der vorliegenden Arbeit bei 24 von 208 EMT überschritten. 184 Mal hingegen wurde der Referenzwert unterschritten. Nach §108 der Strahlenschutzverordnung ist bei Überschreiten einer Schwelle von 50.000 μGy • m^2 eine Meldung an den Medizinphysik-Experten verpflichtend. Diese Schwelle wurde in der vorliegenden Arbeit in keinem Fall überschritten.
Der Median des DFP liegt mit einem Wert von 8656.9 μGy • m^2 deutlich unter dem Referenzwert.
In einer 2017 veröffentlichten Publikation von Ameer E. Hassan et al. wurde das DFP sowie die DLZ bei verschiedenen neuro-interventionellen Eingriffen ermittelt (19). Insgesamt wurden 755 (weiblich: N = 363, männlich: N = 392) Prozeduren analysiert. Zum Vergleich mit den Daten dieser Arbeit ist nur die Subgruppe der EMT von Bedeutung. Ameer E. Hassan et al. analysierte die Strahlenwerte von 73 EMT (weiblich: N = 38, männlich: N = 35). Es wurde ein Median für das DFP von 8600 μGy • m^2 und ein Mittelwert für das DFP von 9090 μGy • m^2 beschrieben (19).
Sowohl der Median als auch der Mittelwert liegen in einem sehr ähnlichen Bereich mit den in dieser Arbeit ermittelten Werten (Median: 8656.9 μGy • m^2, Mittelwert: 10.636 μGy • m^2). Betrachtet man den Median des DFP aus dieser

Arbeit nur bei EMT mit low-Dose Protokoll liegt der Median mit einem Wert von 7325 μGy • m^2 deutlich unter dem von Ameer E. Hassan et al. ermittelten DFP von 8600 μGy • m^2.

Bei der DLZ liegt Ameer E. Hassan et al. mit einem Median von 19.9 Minuten und einem Mittelwert von 22.7 Minuten unter den in dieser Arbeit ermittelten Durchschnittswerten von 29.8 Minuten im Median und 34.8 Minuten als Mittelwert (19).

In der von Ameer E. Hassan et al. veröffentlichten Publikation wurden keine Angaben zu der verwendeten Angiographieanlage und zu den behandelten Patienten (Verschlusstypen) gemacht. Dies stellt eine Limitation in der Vergleichbarkeit der Daten dar.

Weitere Übersichtsdaten liefert eine 2018 veröffentlichte Publikation von Holly Acton et al. (22). Hierbei wurden vier interventionelle Verfahren (vier-Gefäß Angiographie, Embolisation arteriovenöser Malformationen, Aneurysma Coiling und EMT) bezüglich ihrer Strahlenexposition durch eine Dosisüberwachungssoftware („dose-tracking“ software) analysiert (22). Durch Verwendung dieser Dosisüberwachungssoftware (DoseWatch, General Electric Healthcare) sollen die Strahlenwerte während Interventionen aktuell und über diverse Zeiträume hin erfasst, überwacht und analysiert werden können.

In der Publikation von Holly Acton et al. wurden lediglich zehn EMT miteinbezogen und bezüglich ihres DFP analysiert.

Für das DFP während der EMT ermittelten Holly Acton et al. einen Median von 8700 μGy • m^2 und ein Mittelwert von 10.700 μGy • m^2 (22). Auch diese Durchschnittswerte liegen in einem ähnlichen Bereich wie die in dieser Arbeit ermittelten Werte für das DFP (Median: 8656.9 μGy • m^2, Mittelwert: 10.636 μGy • m^2). Betrachtet man im Vergleich auch hier nur die EMT bei denen low-Dose Protokolle verwendet worden sind, liegen die in dieser Arbeit ermittelten Werte mit einem Median von 7325 μGy • m^2 ebenfalls deutlich unter dem von Holly Acton et al. ermittelten Median von 8700 μGy • m^2. Für die DLZ beschreibt Holly Acton et al. keine Daten.

Auch in der Publikation von Holly Acton et al. wurden keine Angaben zu der verwendeten Angiographieanlage sowie den Gefäßverschlüssen gemacht. Auch hier stellt dies eine Limitation in der Vergleichbarkeit der Daten dar.

Sowohl Ameer E. Hassan et al. als auch Holly Acton et al. identifizierten in ihren Analysen keine Behandlungsfaktoren, welche mit einer erhöhten Strahlenexposition assoziiert sind.
Weitere Vergleichswerte liefert eine Publikation aus dem Jahr 2018 von Benjamin Friedreich et al. wobei die Strahlendaten von 168 thrombektomierten Patienten erfasst und analysiert wurden (23). 42 Patienten wurden hierbei an einer Angiographieanlage mit einer Ebene („single-plane“) und 126 an einer Angiographieanlage mit zwei Ebenen („bi-plane“) thrombektomiert. Benjamin Friedreich et al. konnte hinsichtlich technischer Parameter, der Dauer der Prozedur, dem Rekanalisationserfolg sowie der Komplikationsrate keine signifikanten Unterschiede zeigen. Der einzige Unterschied war die signifikant höhere Strahlenexposition bei der EMT an bi-planen Angiographieanlagen. Während der EMT an bi-planen Angiographieanlagen wurde ein Median des DFP von 20.566 μGy • m^2 gemessen. Bei der EMT an Angiographieanlagen mit nur einer Ebene hingegen betrug das DFP im Median nur 11.456 μGy • m^2 (23). In der AK Altona wurden alle EMT an einer Angiographieanlage mit zwei Ebenen durchgeführt. Das dabei erzielte DFP liegt mit einem Median von 8656.9 μGy • m^2 um mehr als die Hälfte unter dem Median des DFP welches von Benjamin Friedreich et al. an bi-planen Angiographieanlagen ermittelt wurde. Die von Benjamin Friedreich et al. veröffentlichten Daten wurden im Zeitraum vom 01.01.2009 – 20.08.2017 erhoben. Die in dieser Arbeit ausgewerteten Daten stammen hingegen aus dem Zeitraum vom 01.01.2017 – 31.12.2018. Die erheblichen Unterschiede in der Strahlenexposition zeigen die stetige Weiterentwicklung und auch die Effizienz von Maßnahmen, die der Optimierung der Strahlenreduktion dienen sollen.

In einer aktuellen Publikation aus dem Jahr 2020 von Charlotte S. Weyland et al. wurden die Strahlendaten von 544 EMT des vorderen Kreislaufs erfasst und der Einfluss der Rekanalisationsversuche auf die Strahlenexposition analysiert (20). Insgesamt wurde für das DFP hier ein Median von 11.370 μGy • m^2, für die DLZ ein Median von 31 Minuten und für die Rekanalisationsversuche ein Median von 2 ermittelt (20). Der in dieser Arbeit ermittelte Median für das DFP liegt mit 8656.9 μGy • m^2 deutlich unter dem von Charlotte S. Weyland et al. erreichten Wert. Bei der DLZ wurde in dieser Arbeit ein Median von 29.8 Minuten erreicht und

entspricht damit annährend dem Wert von Charlotte S. Weyland et al. Der Median für die Rekanalisationsversuche ist mit einer Anzahl von 2 mit der vorliegenden Arbeit identisch. Ebenso wurde bei den Rekanalisationsversuchen auch ein identischer Mittelwert von 2.6 erzielt.

Charlotte S. Weyland et al. untersuchte in ihrer Studie den Zusammenhang zwischen der Anzahl an Rekanalisationsversuchen und der Strahlenexposition. Es konnte festgestellt werden, dass die Strahlenexposition bei der EMT abhängig von der Anzahl an Rekanalisationsversuchen ist. Es konnte eine Verdoppelung der Strahlenexposition bei drei (DFP_3: 13.020 $\mu Gy \bullet m^2$) und eine Verdreifachung der Strahlenexposition bei fünf (DFP_5: 22.760 $\mu Gy \bullet m^2$) Rekanalisationsversuchen verglichen zu einem (DFP_1: 6870 $\mu Gy \bullet m^2$) Rekanalisationsversuch beobachtet werden (20).

Auch in der vorliegenden Arbeit konnte gezeigt werden, dass >2 Rekanalisationsversuche mit einer signifikant erhöhten Strahlenexposition einhergehen. Die Ergebnisse aus der Arbeit von Charlotte S. Weyland und dieser Arbeit stimmen hinsichtlich des Einflusses der Rekanalisationsversuchen auf die Strahlenexposition überein.

Zudem identifizierte Charlotte S. Weyland et al. periprozedurale Komplikationen sowie erschwerte anatomische Bedingungen als mit einer erhöhten Strahlenexposition einhergehende Faktoren (20). Extra- und Intrakranielle Tandem-Läsionen, welche in der vorliegenden Arbeit als unabhängig und signifikant mit einer hohen Strahlenexposition einhergehender Behandlungsfaktor identifiziert worden sind, wurden in der Arbeit von Charlotte S. Weyland nicht analysiert.

Der Einfluss der Anzahl an Rekanalisationsversuchen auf die Strahlenexposition konnte in einer weiteren Publikation von Jad Farah et al. aus dem Jahr 2019 ebenfalls übereinstimmend festgestellt werden (24). In der Publikation von Jad Farah et al. wurden die Strahlendaten von 319 EMT ausgewertet. Es wurde ein Median für das DFP von 9400 $\mu Gy \bullet m^2$ und ein Median für die DLZ von 26 Minuten angegeben (24). Mit einem Median von 8656.9 $\mu Gy \bullet m^2$ liegt das in dieser Arbeit ermittelte DFP etwas unter dem von Jad Farah et al. angegebenen Wert. Bei der DLZ hingegen wurde in dieser Arbeit mit 29.8 Minuten eine etwas längere Zeit als Median erfasst.

Jad Farah et al. identifizierte die Anzahl an Rekanalisationsversuchen als unabhängigen, die Strahlenexposition beeinflussenden Behandlungsfaktor (24). Dieser Behandlungsfaktor konnte übereinstimmend auch in der vorliegenden Arbeit, ebenso wie in der Arbeit von Charlotte S. Weyland et al. (20) als unabhängiger Einfluss auf eine erhöhte Strahlenexposition identifiziert werden.
Ebenfalls als unabhängige, mit einer erhöhten Strahlenexposition einhergehende Faktoren konnte Jad Farah et al. das männliche Geschlecht sowie eine nicht-erfolgreiche Rekanalisation mit dem Ergebnis TICI 0 – 2A identifizieren (24). Der Reperfusiongrad TICI 0 – TICI 2A konnte in der vorliegenden Arbeit ebenfalls als mit einer hohen Strahlenexposition assoziiert und als tendenziell unabhängiger Prädiktor identifiziert werden. In der univariaten Analyse war der Zusammenhang signifikant. In der multivariaten Analyse war eine Tendenz zur Signifikanz zu beobachten.
Das männliche Geschlecht konnte in dieser Arbeit nicht in Zusammenhang mit einer erhöhten Strahlenexposition gebracht werden.
In einer weiteren Publikation von Charlotte S. Weyland et al. aus dem Jahr 2019 wurde der Einfluss der Erfahrung des Operateurs auf die Strahlenexposition bei der EMT des vorderen Kreislaufs untersucht (25). Hierfür gliederte Charlotte S. Weyland et al. die Operateure je nach Anzahl an durchgeführten Prozeduren in drei Gruppen. Die Gruppen wurden wie folgt gegliedert: Gruppe A = 1 – 25 Prozeduren (N=152), Gruppe B = 26 – 50 Prozeduren (N=151) und Gruppe C >50 Prozeduren (N=393) (25). Es wurden Durchschnittswerte für das DFP, die DLZ sowie die Dauer der Prozedur je nach Gruppe errechnet. Für das DFP (sowie die DLZ) ergab sich je nach Gruppe folgender Median: Gruppe A = 14.813 $\mu Gy \bullet m^2$ (39 Minuten), Gruppe B = 11.160 $\mu Gy \bullet m^2$ (32 Minuten) und Gruppe C = 11.391 $\mu Gy \bullet m^2$ (31 Minuten) (25).
Charlotte S. Weyland et al. konnten somit einen signifikanten Einfluss der Erfahrung des Operateurs auf das DFP sowie die DLZ zeigen. Insbesondere die Reduktion des DFP sowie der DLZ von Gruppe A zu Gruppe B ist erheblich. Daraus schlussfolgern Charlotte S. Weyland et al., dass insbesondere während der ersten 25 Prozeduren eine besonders steile Lernkurve vorliegt (25). Die Unterschiede zwischen Gruppe B und C hinsichtlich DFP und DLZ sind hingegen marginal.

Der signifikante Einfluss des Operateurs auf die Strahlenexposition bei der EMT konnte in dieser Arbeit nicht übereinstimmend gezeigt werden. Es konnte lediglich eine im Median längere DLZ bei externen Neuroradiologen (Median: 44.2 Minuten) im Vergleich zu internen Neuroradiologen (Median: 21.4 Minuten) festgestellt werden. Beim DFP lagen marginale Unterschiede zwischen internen (Median: 9081 μGy • m^2) und externen (Median: 9832,5 μGy • m^2) Neuroradiologen vor.

In der vorliegenden Arbeit wurde zudem der Zusammenhang zwischen der Strahlenexposition und dem Zeitpunkt der Thrombektomie (Dienst/ Regeldienst) untersucht. Es wurde kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Strahlenexposition im Dienst (N=143, Median: 8925.5 μGy • m^2) und dem Regeldienst (N=65, Median: 8272 μGy • m^2) festgestellt.

Alle Operateure der vorliegenden Arbeit verfügten über eine große Erfahrung von >50 Prozeduren und würden somit in der Arbeit von Charlotte S. Weyland et al. der Gruppe C zugehören. Vergleicht man somit die Medianwerte dieser Arbeit mit den Medianwerten der Gruppe C aus der Arbeit von Charlotte S. Weyland et al. fällt auf, dass auch bei einer Prozedurhäufigkeit >50 deutliche Unterschiede in den Medianwerten vorliegen können.

Der in dieser Arbeit ermittelte Median für das DFP von 8656.9 μGy • m^2 liegt deutlich unter dem von Charlotte S. Weyland et al. ermittelten Median von 11.391 μGy • m^2. Ursächlich für diesen erheblichen Unterschied beim DFP könnte ein erneuter Anstieg der Lernkurve bei >50 Prozeduren sein. Teilweise liegen die Erfahrungswerte der Operateure in der AK Altona deutlich >50 durchgeführten Prozeduren. Zudem wurden die Interventionen bei Charlotte S. Weyland von 18 verschiedenen Neuroradiologen durchgeführt, wohingegen die EMT in dieser Arbeit von nur sieben Neuroradiologen durchführt worden sind, welche alle für das Modul E und F der DeGIR bzw. der DGNR zertifiziert sind.

Andere Ursachen für die erheblichen Unterschieden könnten Faktoren wie die Verschlusstypen, das verwendete Protokoll sowie im Verlauf aufgetretene Komplikationen sein.

Bei der DLZ liegt der Median beider Arbeiten in einem sehr ähnlichen Bereich. Charlotte S. Weyland et al. ermittelten hier ein Median von 31 Minuten für die Gruppe C. In dieser Arbeit wurde ein Median von 29.8 Minuten erzielt.

Es gilt zu erwähnen, dass Charlotte S. Weyland et al. keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich des finalen Reperfusionserfolg der einzelnen Gruppen (A, B und C) feststellen konnte.

Auch aus dem Jahr 2020 stammt eine weitere Publikation von Charlotte S. Weyland et al. in welcher die Strahlenexposition sowie die DLZ bei der EMT von Basilarisverschlüssen untersucht wurde und in Form einer „matched-pair"-Analyse mit den Strahlendaten von EMT bei Verschlüssen der Arteria cerebri media (ACM) verglichen wurde (26). Untersucht wurden die Daten von insgesamt 180 EMT, denen 90 Basilarisverschlüsse und 90 Verschlüsse der Arteria cerebri media zugrunde lagen.

Der Median des DFP lag für die Basilarisverschlüsse bei 12.340 $\mu Gy \bullet m^2$ und für die Verschlüsse der Arertia cerebri media bei 9430 $\mu Gy \bullet m^2$ (26). Charlotte S. Weyland et al. konnten hiermit eine Assoziation von Basilarisverschlüssen mit einer erhöhten Strahlenexposition verglichen zu Verschlüssen der Arteria cerebri media zeigen. Bei der DLZ hingegen wurde ein identischer Median von jeweils 29 Minuten für beide Verschlusstypen ermittelt (26).

Auch in der vorliegenden Arbeit wurde der Einfluss des Verschlusstyps auf das DFP sowie die DLZ untersucht. Anders als bei Charlotte S. Weyland et al. wurden in dieser Arbeit nicht nur Verschlüsse der Arteria cerebri media hinsichtlich des DFP analysiert, sondern alle Verschlüsse des vorderen Kreislaufs (M1, M2, Carotis-T, ACM + ACA) gemeinsam untersucht. Basilarisverschlüsse wurden zusammen mit Verschlüssen der Arteria vertebralis in Verschlüsse des hinteren Kreislaufs zusammengefasst.

Für Verschlüsse des vorderen Kreislaufs wurde ein Median für das DFP von 7515 $\mu Gy \bullet m^2$ ermittelt. Bei Verschlüssen des hinteren Kreislaufs lag der Median für das DFP bei 7247 $\mu Gy \bullet m^2$. Es konnte hiermit kein erheblicher Unterschied beim DFP zwischen Basilarisverschlüssen und Verschlüssen des vorderen Kreislaufs gezeigt werden.

Hinsichtlich der DLZ wurde in der vorliegenden Arbeit bei Verschlüssen des vorderen Kreislaufs ein Median von 24.6 Minuten und für Verschlüsse des hinteren Kreislaufs ein Median von 29.8 Minuten erzielt. Damit ist der in dieser Arbeit ermittelte Median für die DLZ bei Verschlüssen des hinteren Kreislaufs annährend identisch mit dem Median der DLZ aus der Studie von Charlotte S. Weyland et al. Bei Verschlüssen des vorderen Kreislaufs hingegen lag der in

dieser Arbeit ermittelte Median der DLZ jedoch um etwa 4 Minuten unter dem von Charlotte S. Weyland et al. ermittelten Median für die DLZ von 29 Minuten.
Die Ergebnisse dieser Studie stimmen hinsichtlich des DFP und der DLZ bezogen auf den Verschlusstyp nicht mit denen von Charlotte S. Weyland überein.
Ergebnisse einer anderen Publikation von Felix Bärenfänger et al. aus dem Jahr 2019 hingegen stimmen mit den Ergebnissen von Charlotte S. Weyland et al. überein. Felix Bärenfänger et al. konzentrierten sich in ihrer Arbeit primär auf die Haut-Äquivalentdosis (27). Daher ist kein direkter Vergleich des DFP möglich. Es wurden jedoch die höchsten Dosiswerte bei Eingriffen der hinteren Zirkulation sowie bei Carotis-T-Verschlüssen beschrieben. Genaue Daten wurden nicht angegeben. Dass Verschlüsse der hinteren Zirkulation mit einer erhöhten Strahlenexposition einhergehen wurde somit von Charlotte S. Weyland et al. und Felix Bärenfänger et al. übereinstimmend festgestellt. Dieser Zusammenhang konnte mit der vorliegenden Arbeit nicht bestätigt werden.
Erhöhte Strahlenwerte bei Verschlüssen des Carotis-T konnten jedoch auch in dieser Arbeit beschrieben werden. Bei Eingriffen aufgrund von Verschlüssen des Carotis-T wurde ein Median des DFP von 10.621 $\mu Gy \bullet m^2$ erfasst. Der Median des DFP aller Eingriffe zusammen betrug hingegen nur 8656 $\mu Gy \bullet m^2$. Hinsichtlich des erhöhten DFP bei Carotis-T Verschlüssen stimmen die Ergebnisse zwischen dieser Arbeit und der Arbeit von Felix Bärenfänger et al. überein. Charlotte S. Weyland et al. veröffentlichten zu Verschlüssen des Carotis-T keine Daten.
Bei der DLZ wurde in dieser Arbeit für M1-Verschlüsse ein Median von 23.7 Minuten und für M2-Verschlüsse ein Median von 22.5 Minuten ermittelt. Bei den Verschlüssen des hinteren Kreislaufs lag der Median für die DLZ bei 29.8 Minuten. Bei Verschlüssen der Arteria cerebri media wurde also eine geringere Zeit durchleuchtet. Hier liegt ebenfalls eine Differenz zu den Ergebnissen aus der Arbeit von Charlotte S. Weyland et al. vor, bei welcher ein identischer Median für die DLZ von Basilarisverschlüssen und Verschlüssen der Arteria cerebri media erfasst wurde.
Neben dem Einfluss einzelner Verschlusstypen wurde in der vorliegenden Arbeit abweichend zu der Studie von Charlotte S. Weyland et al. zusätzlich systematisch der Einfluss von Mono- bzw. Tandem-Läsionen auf die

Strahlenexposition untersucht. Das DFP lag bei Tandem-Läsionen im Median bei 14.817 μGy • m^2 verglichen zu Mono-Läsionen mit einem Median des DFP von 7515 μGy • m^2. Auch hinsichtlich der DLZ liegen große Unterschiede im Median vor. Bei Tandem-Läsionen wurde im Median 45.8 Minuten durchleuchtet. Bei Mono-Läsionen im Median dagegen nur 24.6 Minuten.

Tandem-Läsionen konnten in dieser Arbeit somit als univariat und multivariat signifikant mit einer hohen Strahlenexposition (DFP >10.000 μGy • m^2) assoziierter Behandlungsfaktor identifiziert werden.

Ebenfalls als univariat und multivariat signifikant mit einer hohen Strahlenexposition (DFP >10.000 μGy • m^2) assoziierter Behandlungsfaktor konnten normal-Dose Protokolle ausgemacht werden. Es konnte in dieser Arbeit eine signifikante Reduktion des DFP bei Anwendung von low-Dose Protokollen bewiesen werden. Zu demselben Ergebnis kommt eine Publikation von Adrien Guenego et al. aus dem Jahr 2019 (28). Es wurde hier der Einfluss von „radiation dose-reduction systems“ (RDS) auf die Strahlenexposition bei der EMT untersucht. Adrien Guenego et al. stellten die Hypothese auf, bei Anwendung von RDS das DFP reduzieren zu können und dabei gleichzeitig die Effektivität und die Sicherheit der EMT nicht zu beeinflussen.

Das RDS ist als äquivalent zu den in dieser Arbeit angewendeten low-Dose Protkollen zu betrachten.

In der Arbeit von Adrien Guenego et al. wurden die Strahlendaten von 1096 thrombektomierten Patienten ausgewertet. 520 davon wurden an einer bi-planen Angiographieanlage mit RDS und 576 an einer bi-planen Angiographieanlage ohne RDS thrombektomiert. Die Thrombektomien mit RDS wurden mittels dem „Philips AlluraClarity“ Dosisreduktionssystem von Philips durchgeführt. Die Thrombektomien ohne RDS wurden an Angiographieanlagen mit älteren bzw. anderen Dosisreduktionssystem durchgeführt. Das DFP konnte im Median von 14.000 μGy • m^2 ohne RDS auf 9100 μGy • m^2 mit RDS reduziert werden (28). Dies entspricht einer Reduktion des DFP von 35%.

Der Rekanalisationserfolg, die Komplikationsrate, das klinische Outcome sowie die DLZ wurden durch die Anwendung des RDS nicht beeinflusst. Die Effektivität und die Sicherheit der EMT wurde demzufolge durch die Anwendung des RDS nicht beeinflusst (28).

Adrien Guenego et al. konnten ihre Arbeitshypothese mit ihrer Untersuchung bestätigen.
In der vorliegenden Arbeit konnte das DFP im Median von 10.438 μGy • m^2 bei Anwendung von normal-Dose Protokollen auf 7325 μGy • m^2 bei Anwendung von low-Dose Protkollen um ca. 30% reduziert werden.
Der wirksame Einfluss von Systemen (RDS und low-Dose Protokolle), die der Reduktion der Strahlenexposition bei der EMT dienen sollen, konnten hiermit übereinstimmend bestätigt werden.

Um die absorbierte Energie und je nach exponiertem Organ die damit verbundenen Risiken von Strahlenschäden abschätzen zu können, wäre es hilfreich das DFP in die Organdosis oder die effektive Dosis umrechnen zu können. Für die Angiographie ist die Umrechnung vom DFP in die effektive Dosis jedoch sehr aufwändig, da für jede Winkelposition und jede Feldgröße mit dem jeweiligen Fokus-Haut-Abstand eine effektive Dosis berechnet und diese dann aufsummiert werden müsste. Dosismanagementsystem bieten diese Berechnung daher in der Regel nicht an. In einer Publikation von Andrew Scott-Moncrieff et al. aus dem Jahr 2011 wurde versucht mittels eines Umrechnungsfaktor bei kardialen Angiographien das DFP in die effektive Dosis umzuwandeln (29). Dieser Umrechnungsfaktor beträgt 0.22 mSv/[Gy• cm^2]. Ein beispielhaftes DFP von 10.000 μGy • m^2 bei einer kardialen Angiographie könnte folgendermaßen in die effektive Dosis umgerechnet werden:
10.000 μGy • m^2 = [100 Gy• cm^2] • 0.22 = 22 mSv. Andrew Scott-Moncrieff et al. bestimmten ein Mittelwert für die effektive Dosis bei diagnostischen Koronarangiographien an 2628 Patienten von 11.4 mSv (29). Ein MS-CT des Schädels versucht vergleichsweise eine effektive Dosis von 1.4 – 2.7 mSv und eine MS-CT-Perfusion des Schädels eine effektive Dosis von 3.6 – 5 mSv (15).
Der verwendete Umrechnungsfaktor kann nur für kardiale Angiographien angewandt werden. Aufgrund anderer exponierter Organe werden für die Umwandlung des DFP in die effektive Dosis bei der neuro-interventionellen Eingriffen andere Berechnungsgrundlagen erforderlich.
In einer Publikation von T. Struffert et al. aus dem Jahr 2015 werden effektive Dosen von zerebralen Angiographien, welche an einem Phantom gemessen wurden, angegeben (15). In Tabelle 15 ist die Auswirkung des verwendeten

Protokolls (low-Dose, normal-/Standard-Dose und high-Dose) auf die effektive Dosis ersichtlich. Überträgt man die am Phantom gemessenen effektiven Dosen auf die in dieser Arbeit ermittelten Daten, könnte bei einem in der vorliegenden Arbeit ermittelter Median von 16 Serien eine effektive Dosis von 16 mSv (16 Serien • 1 mSv) für normal-Dose Protokolle und eine effektive Dosis von 12.8 mSv (16 Serien • 0.8 mSv) für low-Dose Protokolle errechnet werden. Es ist ersichtlich, dass durch die Verwendung von low-Dose Protokollen neben dem DFP auch die effektive Dosis deutlich reduziert werden kann. Für die Fluoroskopie geben T. Struffert et al. nur die gemessene effektive Dosis eines normal-/Standard-Dose Programms an. Die effektive Dosis beträgt hierbei 0.6 mSv bei einer DLZ von 5 Minuten (1 Minute = 0.12 mSv) (15). Überträgt man den in dieser Arbeit ermittelten Median für die DLZ von 29.8 Minuten auf die gemessenen Daten von T. Struffert et al., ergibt sich eine durch die Fluoroskopie verursachte effektive Dosis von 3.58 mSv (29.8 Minuten • 0.12 mSv). Addiert man die errechnete effektive Dosis verursacht durch die Angiograhie von 16 mSv und die errechnete effektive Dosis verursacht durch die Fluoroskopie von 3.58 mSv bei normal-/Standard-Dose Protokollen, ergibt sich eine gesamte effektive Dosis von 19.58 mSv für die Thrombektomien in dieser Arbeit. Da T. Struffert et al. keine effektive Dosis für die Fluoroskopie mit low-Dose Protokollen angegeben haben, kann die gesamte effektive Dosis bei Verwendung von low-Dose Protokollen nicht beispielhaft errechnet werden.

Indikation	a.p./lat.	a.p./lat.	a.p./lat.
2D-DSA-Programm	**„Low dose“**	**Standard**	**„High dose“**
Dosis/ Bild (μGy)	2.4	3	3.6
Röhrenspannung (kV)	73	73	73
Aufnahmezeit (s)	18	18	18
Effektive Dosis/ Serie (mSv)	**0.8**	**1**	**1.3**

Tabelle 15: Technische Parameter sowie effektive Dosis der jeweiligen Programme/ Protokolle pro Serie (15)

In einer 2014 erschienenen Publikation von R.M. Sanchez et al. wurde mittels eines Computerprogramms (PCXMC 2.0 Rotation) die Organdosis bei diagnostischen und therapeutischen neuro-interventionellen Eingriffen berechnet

(30). Als Grundlage der Berechnung wurde das DFP verwendet. Der Mittelwert des DFP betrug in der Arbeit von R.M. Sanchez et al. für diagnostische Interventionen 6450 μGy • m^2 und für therapeutische Interventionen 23.000 μGy • m^2. Der errechnete Mittelwert für die Organdosis betrug für diagnostische Interventionen 100 mGy und für therapeutische Interventionen 500 mGy. Die maximale Organdosis während einer therapeutischen Intervention betrug 1678 mGy (30). Der von der ICRP angegebene Grenzwert von 500 mGy wurde in der Arbeit von R.M. Sanchez et al. bei 40% der Patienten überschritten. Das häufige Überschreiten des Grenzwertes kann damit gerechtfertigt werden, dass die durchgeführten Eingriffe einer medizinischen Indikation unterlagen und teils lebensrettend waren.

Schlussfolgerung:

Behandlungsfaktoren, die bei der intrakraniellen Thrombektomie mit einer signifikanten erhöhten Strahlenexposition einhergehen, sind das verwendete Dosisprogramm (normal-Dose Protokolle), der Verschlusstyp (Tandem-Läsionen), der Reperfusionsgrad (TICI 0 – TICI 2A) sowie die Anzahl an Rekanalisationsversuchen (>2). Keinen signifikanten Einfluss auf die Strahlenexposition hat der Zeitpunkt der Intervention (Dienst/ Regeldienst). Bei einem Team aus erfahrenen Neuroradiologen macht auch der behandelnde Arzt keinen signifikanten Unterschied hinsichtlich der Strahlenexposition.

Low-Dose Protokolle sollten sowohl bei der Angiographie als auch bei der Dyna-CT angewendet werden, um die Strahlenexposition bei der intrakraniellen Thrombektomie signifikant zu reduzieren.

5. Zusammenfassung

Hintergrund: In dieser Studie sollen unabhängige Behandlungsfaktoren, die mit einer erhöhten Strahlenexposition bei der endovaskulären mechanischen Thrombektomie (EMT) beim akuten Schlaganfall assoziiert sind, identifiziert werden.

Methodik: Die retrospektive Analyse umfasst alle Patienten die im Zeitraum vom 01.01.2017 – 31.12.2018 in der Asklepios Klinik Hamburg-Altona mittels EMT behandelt worden sind. Seit dem 01.01.2018 wurden low-Dose Protokolle regelhaft bei allen EMT angewendet. Die Interventionen wurden in einem kombinierten Dienstplanmodell dreier Kliniken von vier internen und drei externen Neuroradiologen, die alle für die Schlaganfall Thrombektomie zertifiziert sind (DeGIR/ DGNR Modul E), durchgeführt. Es wurde das Dosisflächenprodukt (DFP, $\mu Gy \bullet m^2$) sowie die Durchleuchtungszeit (DLZ, min) gemessen. Die statistische Analyse wurde mittels SPSS, Version 25 durchgeführt und beinhaltete folgende dichotomisierte Behandlungsfaktoren: Alter (<75 vs. ≥75), DLZ (<30 min vs. ≥30 min), Zeitpunkt der Intervention (8:00 – 16:30 vs 16:30 – 8:00/ Wochenende), behandelnder Neuroradiologe (intern vs extern), Anzahl der Serien (<20 vs. ≥20), Groin to End (<60 min vs. ≥60 min), Verschlusstyp (Mono vs. Tandem), Reperfusionserfolg (TICI 0 - 2A vs. TICI 2B/3), Rekanalisationsversuche (≤2 vs. >2) und das Dosisprotokoll (normal-Dose Protokoll [2017] vs. low-Dose Protokoll [2018]). Die Strahlenexposition wurde für die statistische Analyse in <10.000 $\mu Gy \bullet m^2$ und ≥10.000 $\mu Gy \bullet m^2$ dichotomisiert.

Ergebnisse: Die Behandlungsergebnisse von 208 Patienten (111 weiblich, 97 männlich) wurden analysiert. Bei 23 (11.1%) Patienten lag ein Verschluss des hinteren Kreislaufs und bei 185 (88.9%) ein Verschluss des vorderen Kreislaufs vor. In 32 (15.4%) Fällen lag eine Tandem-Läsion vor. 177 (85.1%) Mal konnte eine erfolgreiche Reperfusion (TICI 2B/3) erreicht werden. Das DFP konnte im Median von 10.483 $\mu Gy \bullet m^2$ mit normal-Dose Protokollen (N=105) auf 7325 $\mu Gy \bullet m^2$ mit low-Dose Protokollen (N=103) reduziert werden. Bei 143 (69%) Patienten wurde anschließend an die EMT eine Dyna-CT durchgeführt. Das DFP konnte hierbei im Median von 6347.9 $\mu Gy \bullet m^2$ ohne Verwendung von Cu-Filtern (N=124) auf 3156.5 $\mu Gy \bullet m^2$ bei Verwendung von Cu-Filtern (N=19) reduziert werden. Die univariate statistische Analyse zeigte einen signifikanten Anstieg der Strahlenexposition bei jüngeren Patienten (<75 Jahre), bei Tandemverschlüssen, bei unzureichender Reperfusion (TICI 0 - 2A), bei >2 Rekanalisationsversuchen und bei Anwendung von normal-Dose Protokollen (2017). Der behandelnde Neuroradiologe und der Zeitpunkt der Intervention zeigten keinen signifikanten Einfluss auf die Strahlenexposition. Die multivariate statistische Analyse ergab einen unabhängigen und signifikanten Einfluss auf eine erhöhte Strahlenexposition bei Tandem-Läsionen, bei >2 Rekanalisationsversuchen sowie bei normal-Dose Protokollen (2017).

Schlussfolgerung: Low-Dose Protokolle können die Strahlenexposition bei der EMT signifikant reduzieren. In einem für die Thrombektomie zertifizierten Dienstteam wird die Höhe der Strahlenexposition maßgeblich durch den Verschlusstyp und die Anzahl an Rekanalisationsversuchen bestimmt.

Abstract

Backround and Purpose: This study should identify independent treatment factors associated with a high radiation exposure during endovascular mechanical thrombectomy (EMT) in acute stroke.

Methods: This retrospective analysis included all patients treated by means of EMT in the Asklepios Klinik Hamburg-Altona from 01.01.2017 to 31.12.2018. Starting from 01.01.2018 low-dose programs were applied during all EMT procedures. EMT were performed in a combining on call system for three stroke centers by four internal and three external neuroradiologists, which are all certified for stroke thrombectomy (DeGIR/ DGNR Modul E).
Dose area product (DAP, μGy • m^2) and fluoroscopy time (FT, min) were measured.
Statistics analysis were performed using SPSS, Version 25 and included the following dichothomized treatment factors: Age (<75 vs. ≥75), fluoroscopy time (<30 vs. ≥30 min), time of intervention (8:00 – 16:30 vs. 16:30 – 8:00/ weekend), treating neuroradiologist (intern vs. extern), number of series (<20 vs. ≥20), procedure time (<60min vs. ≥ 60 min), occlusion type (mono vs. tandem), reperfusion success (TICI 0 - 2A vs. TICI 2B/3), recanalization attempts (≤2 vs. >2) and dose protocol (normal-dose protocol [2017] vs. low-dose protocol [2018]). The radiation exposure was dichotomized in <10.000 μGy • m^2 and ≥10.000 μGy • m^2 for the statistical analysis.

Results: The treatment results of 208 patients (111 females, 97 males) were analyzed. An occlusion of the posterior circulation was found in 23 patients (11.1%) and an occlusion of the anterior circulation in 185 patients (88.9%). A tandem lesion was seen in 32 patients (15.4%). TICI 2B/3 reperfusion was achieved in 177 patients (85.1%).
The median DAP was reduced from 10.483 μGy • m^2 with normal-dose protocols (N=105) to 7325 μGy • m^2 with low-dose protocols (N=103).
A Dyna-CT was performed in 143 patients (69%) after EMT. The Median DAP could be reduced from 6347.9 μGy • m^2 without using Cu-filters (N=124) to 3156.5 μGy • m^2 by using Cu-filters (N=19).
The univariate statistical analysis showed a significant increase of the radiation dose in case of a younger age (<75 years), tandem occlusions, failed reperfusions (TICI 0 – 2A), >2 recanalization attempts and normal-dose protocols (2017). The treating neuroradiologist and the time of intervention were not found to be statistically different concerning the radiation dose.
The multivariate statistical analysis indicated a significant higher radiation exposure in case of tandem occlusions, >2 recanalization attempts and normal-dose protocols (2017).

Conclusion: Low dose programs can significantly reduce the radiation exposure in EMT. In an interventional team, certified for stroke thrombectomy the degree of the radiation dose is mainly determined by the occlusion type and the number of recanalization attempts.

6. Abkürzungsverzeichnis

ACA	Arteria cerebri anterior
ACI	Arteria carotis interna
ACM	Arteria cerebri media
AICB	Asymptomatische intrakranielle Blutung
AKA	Asklepios Klinik Altona
ASPECTS	Alberta Stroke Program Early CT Score
BA	Arteria basilaris
CT	Computertomographie
CCT	Craniale - CT
CTA	CT - Angiographie
CTP	CT - Perfusion
CTDI	Computed Tomography Dose Index
DAP	Dose area product
DFP	Dosisflächenprodukt
DLP	Dosislängenprodukt
DLZ	Durchleuchtungszeit
DRW	Diagnostische Refernzwerte
DSA	Digitale Subtraktionsangiographie
EMT	Endovaskuläre mechanische Thrombektomie
FD-CT	Flachdetektor - CT
Gy	Gray
ICB	Intrakranielle Blutung
IVT	Intravenöse Thrombolyse
LD50	Mittlere letale Dosis
mGy	Miligray
mRS	Modifizierte Rankin Skala
mSv	Milisievert
M1	Erster Abschnitt der Arteria cerebri media
M2	Zweiter Abschnitt der Arteria cerebri media
MRT	Magnetresonanztomographie
MS-CT	Multisclice - CT
NIHSS	National Institute of Health Stroke Scale

NRad	Neuroradiologe
RDS	Radiation Dose-Reduction System
SICB	Symptomatische intrakranielle Blutung
StrlSchG	Strahlenschutzgesetz
TICI	Thrombolysis in Cerebral Infarction
VA	Arteria vertebralis
w_r	Strahlungswichtungsfaktor
w_T	Gewebewichtungsfaktor

7. Literaturverzeichnis

1. Reiser Maximilian KF-P, Debus Jürgen. Duale Reihe - Radiologie. Stuttgart: Thieme; 2011.

2. Shah SS, Snelling BM, Brunet MC, Sur S, McCarthy DJ, Stein A, et al. Transradial Mechanical Thrombectomy for Proximal Middle Cerebral Artery Occlusion in a First Trimester Pregnancy: Case Report and Literature Review. World Neurosurg. 2018;120:415-9.

3. Bundesministerium für Umwelt NunS. Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 2017. In: Bundesministerium für Umwelt NunS, editor. 2020. p. 38.

4. Strahlenschutz Bf. Wie hoch ist die natürliche Strahlenexposition in Deutschland? 2020 [updated 09.06.2020; cited 2020 08.11]. Available from: https://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/natuerliche-strahlenbelastung/natuerliche-strahlenbelastung_node.html.

5. Strahlenschutz Bf. Wie wirkt Strahlung? 2020 [updated 14.10.2020; cited 2020 06.11]. Available from: https://www.bfs.de/DE/themen/ion/wirkung/einfuehrung/einfuehrung.html.

6. Strahlenschutz Bf. Grenzwerte im Strahlenschutz 2019 [updated 21.06.2019; cited 2020 06.11]. Available from: https://www.bfs.de/DE/themen/ion/strahlenschutz/grenzwerte/grenzwerte.html.

7. Imanishi Y, Fukui A, Niimi H, Itoh D, Nozaki K, Nakaji S, et al. Radiation-induced temporary hair loss as a radiation damage only occurring in patients who had the combination of MDCT and DSA. Eur Radiol. 2005;15(1):41-6.

8. Maurice Tubiana, Ludwig E. Feinendegen, Chichuan Yang, Joseph M. Kaminski. The Linear No-Threshold Relationship Is Inconsistent with Radiation Biologic and Experimental Data. Radiology. 2009.

9. Harten U. Physik für Mediziner: Springer-Verlag; 2017.

10. Nagel HD. Handbuch diagnostische Radiologie. Strahlenphysik, Strahlenbiologie, Strahlenschutz: Springer; 2003. 319 p.

11. Nogueira RG, Jadhav AP, Haussen DC, Bonafe A, Budzik RF, Bhuva P, et al. Thrombectomy 6 to 24 Hours after Stroke with a Mismatch between Deficit and Infarct. N Engl J Med. 2018;378(1):11-21.

12. Berkhemer OA, Fransen PSS, Beumer D, van den Berg LA, Lingsma HF, Yoo AJ, et al. A Randomized Trial of Intraarterial Treatment for Acute Ischemic Stroke. New England Journal of Medicine. 2015;372(1):11-20.

13. Peter A. Ringleb GFH, Joachim Röther, Olav Jansen, Christoph Groden, Roland Veltkamp. Akuttherapie des ischämischen Schlaganfalls - Ergänzung 2015. Deutsche Gesellschaft für Neurologie; 2015.

14. Albers GW, Lansberg MG, Kemp S, Tsai JP, Lavori P, Christensen S, et al. A multicenter randomized controlled trial of endovascular therapy following imaging evaluation for ischemic stroke (DEFUSE 3). Int J Stroke. 2017;12(8):896-905.

15. Struffert T, Lang S, Scholz R, Hauer M, Dörfler A. Strahlendosis bei zerebraler Angiographie und Flachdetektor-CT-Applikationen in der Neuroradiologie. Der Radiologe. 2015;55(8):654-62.

16. Schegerer A, Loose R, Heuser LJ, Brix G. Diagnostic Reference Levels for Diagnostic and Interventional X-Ray Procedures in Germany: Update and Handling. Rofo. 2019;191(8):739-51.

17. Schegerer AA. Bekanntmachung der aktualisierten diagnostischen Referenzwerte für interventionelle Röntgenanwendungen. In: Strahlenschutz Bf, editor. Bundesanzeiger2018.

18. F. Szigeti FM. Strahlenschutz der Augenlinsen bei der inteventionellen Radiologie. Radiopraxis. 2016.

19. Hassan AE, Amelot S. Radiation Exposure during Neurointerventional Procedures in Modern Biplane Angiographic Systems: A Single-Site Experience. Interv Neurol. 2017;6(3-4):105-16.

20. Weyland CS, Seker F, Potreck A, Hametner C, Ringleb PA, Mohlenbruch MA, et al. Radiation exposure per thrombectomy attempt in modern endovascular stroke treatment in the anterior circulation. Eur Radiol. 2020;30(9):5039-47.

21. Higashida RT, Furlan AJ, Roberts H, Tomsick T, Connors B, Barr J, et al. Trial design and reporting standards for intra-arterial cerebral thrombolysis for acute ischemic stroke. Stroke. 2003;34(8):e109-37.

22. Acton H, James K, Kavanagh RG, O'Tuathaigh C, Moloney D, Wyse G, et al. Monitoring neurointerventional radiation doses using dose-tracking software: implications for the establishment of local diagnostic reference levels. Eur Radiol. 2018;28(9):3669-75.

23. Friedrich B, Maegerlein C, Lobsien D, Monch S, Berndt M, Hedderich D, et al. Endovascular Stroke Treatment on Single-Plane vs. Bi-Plane Angiography Suites : Technical Considerations and Evaluation of Treatment Success. Clin Neuroradiol. 2019;29(2):303-9.

24. Farah J, Rouchaud A, Henry T, Regen C, Mihalea C, Moret J, et al. Dose reference levels and clinical determinants in stroke neuroradiology interventions. Eur Radiol. 2019;29(2):645-53.

25. Weyland CS, Hemmerich F, Mohlenbruch MA, Bendszus M, Pfaff JAR. Radiation exposure and fluoroscopy time in mechanical thrombectomy of anterior circulation ischemic stroke depending on the interventionalist's experience-a retrospective single center experience. Eur Radiol. 2020;30(3):1564-70.

26. Weyland CS, Potreck A, Neuberger U, Mohlenbruch MA, Nagel S, Ringleb PA, et al. Radiation exposure in endovascular stroke treatment of acute basilar artery occlusions-a matched-pair analysis. Neuroradiology. 2020;62(12):1701-7.

27. Barenfanger F, Block A, Rohde S. Investigation of Radiation Exposure of Patients with Acute Ischemic Stroke during Mechanical Thrombectomy. Rofo. 2019;191(12):1099-106.

28. Guenego A, Mosimann PJ, Pereira VM, Nicholson P, Zuber K, Lotterie JA, et al. Proposed achievable levels of dose and impact of dose-reduction systems for thrombectomy in acute ischemic stroke: an international, multicentric, retrospective study in 1096 patients. Eur Radiol. 2019;29(7):3506-15.

29. Scott-Moncrieff A, Yang J, Levine D, Taylor C, Tso D, Johnson M, et al. Real-world estimated effective radiation doses from commonly used cardiac testing and procedural modalities. Can J Cardiol. 2011;27(5):613-8.

30. Sanchez RM, Vano E, Fernandez JM, Moreu M, Lopez-Ibor L. Brain radiation doses to patients in an interventional neuroradiology laboratory. AJNR Am J Neuroradiol. 2014;35(7):1276-80.

8. Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Bernd Eckert für die Überlassung des Themas und die kontinuierlich gute Betreuung und Unterstützung.
Außerdem möchte ich Herrn PD Dr. Gabriel Broocks für die Co-Betreuung und Herrn PD Dr. Bruno Neuner für die Unterstützung in der statistischen Analyse danken.
Des Weiteren möchte ich mich bei meinen Eltern bedanken, welche mir das Studium der Humanmedizin ermöglicht haben und stets für mich da waren.
Für die wohltuende und liebevolle Unterstützung danke ich meiner Freundin Annika Häberle.

9. Lebenslauf

Lebenslauf wurde aus datenschutzrechtlichen Gründen entfernt.

10. Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach Ausgabe (Auflage und Jahr des Erscheinens), Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe.
Ferner versichere ich, dass ich die Dissertation bisher nicht einem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.
Ich erkläre mich einverstanden, dass meine Dissertation vom Dekanat der Medizinischen Fakultät mit einer gängigen Software zur Erkennung von Plagiaten überprüft werden kann.

Unterschrift: .....