

AUS DEM INSTITUT FÜR DIAGNOSTISCHE UND INTERVENTIONELLE RADIOLOGIE,
KINDER UND NEURORADIOLOGIE

DIREKTOR: PROF. DR. MED. M.-A. WEBER, M. SC.

FACIALE THERMOMETRIE ALS PRÄDIKTOR BEI ENDOVASKULÄR BEHANDELTEN SCHLAGANFÄLLEN DES VORDEREN KREISLAUFS

INAUGURALDISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DES AKADEMISCHEN GRADES

DOKTOR DER MEDIZIN

DER

UNIVERSITÄTSMEDIZIN ROSTOCK

VORGELEGT VON

CHRISTIAN MICHAEL JOACHIM GEIGER | GEB. AM 25.11.1996 IN PFORZHEIM

AUS LUDWIGSBURG

ROSTOCK | 17.05.2024

https://doi.org/10.18453/rosdok_id00005071

Dekan: Herr Prof. Dr. med. Bernd J. Krause

Gutachter:

1. Herr Prof. Dr. med. Sönke Langner
Ehemals: Universitätsmedizin Rostock, Institut für diagnostische und interventionelle Radiologie, Kinder- und Neuroradiologie, Aktuell: Enradia Zentrum für Radiologie Nuklearmedizin Endokrinologie, Radiologische Gemeinschaftspraxis Greifswald-Wolgast-Anklam
2. Herr Prof. Dr. med. Jens-Peter Kühn
Universitätsklinikum Carl Gustav Carus Dresden, Institut und Poliklinik für Diagnostische und Interventionelle Radiologie
3. Herr Prof. Dr. med. Uwe Walter
Universitätsmedizin Rostock, Klinik und Poliklinik für Neurologie

Jahr der Einreichung: 2024

Verteidigungstermin: 08.01.2025

LEBENS LAUF

Name:	Christian Michael Joachim Geiger
Geburtsdatum-/ort:	25.11.1996 in Pforzheim

PRAKTISCHE ERFAHRUNG

01/2022 - heute	Assistenzarzt für Innere Medizin RKH-Kliniken Ludwigsburg, Klinik für Innere Medizin, Gastroenterologie, Hämato-Onkologie, Diabetologie und Infektiologie • Behandlung internistischer Patienten • Interdisziplinäre Zusammenarbeit mit anderen Fachbereichen • Übernahme von Bereitschaftsdiensten
11/2020 – 11/2021	Praktisches Jahr RKH-Kliniken Ludwigsburg • 1. Kliniken für Innere Medizin • 2. Chirurgische Kliniken • 3. Institute für Diagnostische und Interventionelle Radiologie und Neuroradiologie

BILDUNGSWEG

11/2020 - 11/2021	Studium der Humanmedizin (Staatsexamen) Universität Heidelberg • 3. Abschnitt der Ärztlichen Prüfung
10/2015 - 11/2020	Studium der Humanmedizin (Staatsexamen) Universität Rostock • 2. Abschnitt der Ärztlichen Prüfung • Wahlfach: Radiologie • 1. Abschnitt der Ärztlichen Prüfung • Wahlfach: Pathophysiologie neurologischer Erkrankungen:
Bis 06/2015	Gymnasium (Allgemeine Hochschulreife) Gymnasium Rutesheim

WEITERBILDUNG

03/2023	Kompaktkurs Internistische Intensivmedizin Regensburg (Online-Kurs)
09/2022	Advanced Life Support (ALS) RKH-Simulationszentrum Vaihingen a.d. Enz
04/2019	Theoretische und Praktische Einführung in die Ultraschalldiagnostik inklusive Farbkodierte Duplexsonographie (DEGUM) Universität Rostock, Institut für diagnostische und interventionelle Radiologie, Kinder- und Neuroradiologie

INHALTSVERZEICHNIS

I.	EINLEITUNG	8
1.1	FRAGESTELLUNG.....	10
II.	HAUPTTEIL.....	11
2.1	MATERIAL UND METHODEN	11
2.1.1	PRÄKLINISCHE VERSUCHE	11
2.2	KLINISCHER TEIL	13
2.2.1	PATIENTENKOLLEKTIV.....	13
2.2.2	BILDGEBUNG.....	13
2.2.3	INTERVENTION.....	14
2.2.4	THERMOMETRIE	16
2.2.5	KLINISCHE DATEN	17
2.2.6	BILDAUSWERTUNG	18
2.2.7	STATISTISCHE AUSWERTUNG	22
2.3	ERGEBNISSE	22
2.3.1	PRÄKLINISCHE VERSUCHE	22
2.4	KLINISCHER TEIL	23
2.4.1	ERGEBNISSE DEMOGRAPHIE	23
2.4.2	ANGIOGRAPHISCHE ERGEBNISSE DER INTERVENTION	25
2.4.3	ERGEBNISSE THERMOMETRIE	26
2.4.4	ERGEBNISSE BILDGEBUNG	42
III.	DISKUSSION.....	43
3.1	GESAMTERGEBNIS.....	43
3.2	VORTEILE DER THERMOGRAPHIE MIT FLIR ONE	43
3.3	KEINE SIGNIFIKANTEN TEMPERATURUNTERSCHIEDE ZWISCHEN BETROFFENER UND NICHTBETROFFENER KÖRPERHÄLFTE	44
3.4	VERGLEICH MIT ÄHNLICHEN STUDIEN IN DER LITERATUR ZU TEMPERATURUNTERSCHIEDEN BEI SCHLAGANFÄLLEN.....	45

3.5	KEINE KORRELATION ZWISCHEN TEMPERATURUNTERSCHIED UND SCHWEREGRAD DES SCHLAGANFALLS	46
3.6	KEINE KORRELATION ZWISCHEN TEMPERATURUNTERSCHIED UND OUTCOME	46
3.7	ERKLÄRUNGSANSÄTZE FÜR NEGATIVE BEFUNDE ZUR KORRELATION	47
3.8	AUSWIRKUNGEN DES ALTERS DER UNTERSUCHTEN PATIENTEN	48
3.9	EINFLUSS EINER SYSTEMISCHEN LYSE THERAPIE	48
3.10	EINFLUSS VON SEDIERUNGEN	50
3.11	EINFLUSS DER VOM SCHLAGANFALL BETROFFENEN BEREICHE	51
3.12	EINFLUSS EINER GUTEN REKANALISATION AUF DAS OUTCOME INSGESAMT	53
3.13	EINFLUSS DES INFARKTVOLUMENS	54
IV.	FAZIT	56
V.	AUSBLICK	57
VI.	ANHANG	58
VII.	LITERATURVERZEICHNIS	66
VIII.	EIDESSTATTLICHE VERSICHERUNG	71
IX.	DANKSAGUNG	72

THESEN

1. Die FLIR ONE liefert mit anderen Thermographie - / Thermometriesystemen vergleichbare Ergebnisse und kann einen Temperaturunterschied hinreichend genau feststellen. Darüber hinaus ist die FLIR ONE einfach zu bedienen und kompakt.
2. Im untersuchten Patientenkollektiv ließ sich im Rahmen der Akutphase des Schlaganfalls kein signifikanter Temperaturunterschied mittels Thermographie zwischen betroffener und nicht betroffener Körperseite feststellen.
3. Die Thermographie erlaubt keine Prädiktion des Outcomes nach erfolgreicher Schlaganfalltherapie und eignet sich auch nicht zur Bestätigung des klinischen Interventionserfolgs.
4. Anhand der Thermographie lassen sich keine Rückschlüsse über den Schweregrad des neurologischen Defizits (bestimmt durch die NIHSS) oder das Infarktvolumen treffen.
5. Auch bei Vorliegen einer facialis Parese zeigte sich kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der gemessenen Temperaturdifferenz.
6. Möglicherweise bilden sich die Veränderungen des vegetativen Systems erst mit Verzögerung zum Schlaganfall aus.
7. Auch ein Alter über 80 Jahre sollte kein Grund gegen eine endovaskuläre Thrombektomie sein.
8. Die endovaskuläre Thrombektomie ist sowohl mit als auch ohne vorausgehende systemische Lysetherapie ein sicheres und effektives Therapieverfahren. Für Patienten mit Kontraindikationen für eine systemische Lysetherapie stellt sie die einzige akuttherapeutische Möglichkeit dar.
9. Bezüglich der Sedierungsstrategie ist die Datenlage uneinheitlich.
10. Auch Verschlüsse im M2-Bereich sind interventionell sicher und effektiv therapierbar.
11. Ein großes Infarktvolumen korreliert mit einem schlechteren Outcome.
12. Neben einer erfolgreichen Rekanalisation ist auch die Zeit bis zur Rekanalisation für das Outcome entscheidend.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

ABBILDUNG 1: VERWENDETE THERMOGRAPHIE-KAMERAS BZW. -THERMOMETER	12
ABBILDUNG 2: ANGIOGRAPHIE VOR UND NACH MECHANISCHER THROMBEKTOMIE.....	15
ABBILDUNG 3: BILDBEISPIEL THERMOGRAPHISCHE UNTERSUCHUNG	17
ABBILDUNG 4: BESTIMMUNG DES DWI-ASPECTS-SCORES	18
ABBILDUNG 5: BESTIMMUNG DES ASPECTS-SCORES	19
ABBILDUNG 6: BESTIMMUNG DES FINALEN INFARKTVOLUMENS	20
ABBILDUNG 7: INTRAKRANIELLE BLUTUNGSKOMPLIKATIONEN NACH ECASS-KRITERIEN	21
ABBILDUNG 8: VERTEILUNG DER TEMPERATURMESSWERTE IM GESICHT.....	28
ABBILDUNG 9: VERTEILUNG DER TEMPERATURMESSWERTE PRÄINTERVENTIONELL	31
ABBILDUNG 10: VERTEILUNG DER TEMPERATURMESSWERTE POSTINTERVENTIONELL.....	32
ABBILDUNG 11: VERGLEICH DER TEMPERATURMESSWERTE PRÄ- UND POSTINTERVENTIONELL ..	32
ABBILDUNG 12: VERTEILUNG TDIFF PRÄ- UND POSTINTERVENTIONELL.....	38
ABBILDUNG 13: VERTEILUNG DER TEMPERATURMESSWERTE PRÄ- UND POSTINTERVENTIONELL.	39
ABBILDUNG 14: VERTEILUNG DER TEMPERATURDIFFERENZEN PRÄINTERVENTIONELL	41
ABBILDUNG 15: KORRELATION INFARKTVOLUMEN U. TEMPERATURDIFFERENZ AN DEN HÄNDEN PRÄINTERVENTIONELL.....	41
ABBILDUNG 16: VERGLEICHENDE MESSUNGEN DER 5 GLASGEFÄßE. [°C]	60

TABELLENVERZEICHNIS

TABELLE 1: DEFINITIONEN INTRAZEREBRALER BLUTUNGEN NACH HIRNINFARKT NACH ECASS-STUDIEN	20
TABELLE 2: TEMPERATURPARAMETER PRÄINTERVENTIONELL.....	26
TABELLE 3: TEMPERATURPARAMETER POSTINTERVENTIONELL.....	27
TABELLE 4: TEMPERATURPARAMETER IN RELATION.....	29
TABELLE 5: TEMPERATURDIFFERENZEN.....	30
TABELLE 6: VERGLEICH TEMPERATURDIFFERENZ PRÄ- VS. POSTINTERVENTIONELL.....	34
TABELLE 7: KORRELATIONEN ZWISCHEN TEMPERATURPARAMETERN UND MRS UND VOLUMEN ..	35
TABELLE 8: BERECHNETE KORRELATIONEN ZWISCHEN TEMPERATURDIFFERENZ UND ASPECTS BZW. NIHSS MRS UND VOLUMEN.....	37
TABELLE 9: BERECHNETE KORRELATIONEN ZWISCHEN TEMPERATURDIFFERENZ PRÄ- UND POSTINTERVENTIONELL AN DEN VERSCHIEDENEN MESSSTELLEN UND ASPECTS BZW. NIHSS MRS UND VOLUMEN.....	40
TABELLE 10: PRÄKLINISCHE MESSUNGEN.....	58
TABELLE 11: PRÄKLINISCHE MESSUNGEN IN RELATION	59
TABELLE 12: PRÄKLINISCHE MESSUNGEN KUNSTSTOFFFLASCHE	61
TABELLE 13: DEMOGRAPHISCHE DATEN DES PATIENTENKOLLEKTIVS.....	62
TABELLE 14: STATISTISCHE KENNZAHLEN DES UNTERSUCHTEN KOLLEKTIVS.....	64
TABELLE 15: STANDARDUNTERSUCHUNGSPROTOKOLLE UMR (MRT-SEQUENZEN)	64
TABELLE 16: TEMPERATURDIFFERENZEN BEI PATIENTEN MIT UND OHNE FACIALE PARESE	65
TABELLE 17: ERHEBUNG MRS-SCORE PER TELEFONINTERVIEW	65
TABELLE 18: AN TAKAHASHI ET AL. ANGELEHNTE AUSWERTUNG DER THERMOGRAPHISCHEN AUFNAHMEN.....	65

Zur besseren Lesbarkeit wird in dieser Arbeit das generische Maskulinum verwendet. Die in dieser Arbeit verwendeten Personenbezeichnungen beziehen sich – sofern nicht anders kenntlich gemacht – auf alle Geschlechter.

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

(in alphabetischer Reihenfolge)

ACA:	Arteria cerebri anterior
ACM:	Arteria cerebri media
ADC:	apparent diffusion coefficient
ASPECTS-Score:	Alberta Stroke Program Early Computed Tomographic Score
CCT:	craniale Computertomographie
CT:	Computertomographie
CTA:	CT-Angiographie
DWI:	diffusion weighted imaging
ECASS:	European cooperative acute stroke study
FLAIR:	fluid attenuated inversion recovery
IfDIR:	Institut für Diagnostische und Interventionelle Radiologie
IR:	Infrarot
i.v.:	intravenös
KG:	Körpergewicht
LVO:	large vessel occlusion
MR:	Magnetresonanz
MRT:	Magnetresonanztomographie
MRA:	MR-Angiographie
mRS:	modified Rankin Scale
MT:	mechanische Thrombektomie
mTICI:	modified Thrombolysis in Cerebral Infarction
NIHSS:	National Institutes of health stroke scale
PAVK:	periphere arterielle Verschlusskrankheit
PWI:	perfusion weighted imaging
ROI:	Region of interest
rtPA:	rekombinanter tissue-type plasminogen activator
SAB:	Subarachnoidalblutung
SOP:	Standard operating procedure
SD:	Standardabweichung
UMR:	Universitätsmedizin Rostock
Z.n.:	Zustand nach

I. EINLEITUNG

Der Schlaganfall ist eine der bedeutendsten Ursachen für Behinderungen und Todesfälle weltweit [1]. Im Jahr 2016 traten in Deutschland 227.687 ischämische Schlaganfälle auf [2]. In der Europäischen Union ist der Schlaganfall die zweithäufigste Todesursache und eine der führenden Ursachen für Behinderungen bei Erwachsenen [3]; er betrifft jedes Jahr ca. 1,1 Millionen Europäer [4]. Die mit Schlaganfällen assoziierten Kosten wurden für das Jahr 2017 auf ca. 45 Milliarden Euro geschätzt. [3]

Klinisch kann nicht zwischen einem ischämischen und einem hämorrhagischen Schlaganfall unterschieden werden. Daher sollte bei Symptomen eines akuten Schlaganfalls durch eine unverzügliche Bildgebung eine Hirnblutung ausgeschlossen werden, um mit einer sofortigen intravenösen Lysetherapie mit rtPA beginnen zu können, sofern keine weiteren Kontraindikationen vorliegen [5]. Des Weiteren sind Stroke Mimics wie epileptische Anfälle, Hirntumore oder Demenz differentialdiagnostisch zu bedenken. Hierbei kann die Bildgebung Hinweise geben.

Die Bildgebung kann entweder CT- oder MR-basiert erfolgen. Die CT-Bildgebung erfolgt mittels nativer CCT. Hierbei sind Infarktfrühzeichen wie das hyperdense Mediazeichen oder hypodense Parenchymareale ab 2 Stunden nach Symptombeginn feststellbar [5]. Mittels ASPECTS-Scores (Alberta Stroke Program Early Computed Tomographic Score) lassen sich frühe Infarktzeichen quantifizieren. Bei Verdacht auf das Vorliegen einer LVO (large vessel occlusion) (z.B. bei NIHSS > 6) sollten eine CT-Angiographie (CT-A) und ggf. ein Perfusions-CT (CT-P) durchgeführt werden, um Penumbra, also Gewebe, welches durch rekanalisierende Maßnahmen noch zu retten ist, zu detektieren und ggf. sog. Stroke Mimics wie z.B. post-iktale Paresen auszuschließen [6]. Bei Nachweis einer LVO kann eine mechanische Thrombektomie versucht werden.

Bei der MR-Bildgebung sind vor allem die DWI- (diffusion weighted imaging) und FLAIR- (fluid attenuated inversion recovery) Sequenzen von Bedeutung. Dabei lassen sich ischämische Areale in der DWI als hyperintense Läsionen mit erniedrigtem ADC-Wert in der berechneten ADC-Parameterkarte (apparent diffusion coefficient, ADC) abgrenzen. Ist eine DWI-Läsion vollständig in FLAIR abgrenzbar, besteht eine Kontraindikation für eine Thrombolyse. Auch in der MR-Bildgebung kann durch die MR-Perfusion (perfusion weighted imaging, PWI) eine möglicherweise vorhandene Penumbra nachgewiesen werden, das sog. „PWI DWI Mismatch“, [7] und mittels MR-Angiographie eine LVO dargestellt werden.

In der Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Neurologie zur Diagnostik akuter zerebrovaskulärer Erkrankungen wird keine Empfehlung gegeben, welches Verfahren in der Diagnostik des akuten ischämischen Schlaganfalls zu bevorzugen ist [5]. Die Auswahl erfolgt vor allem nach lokalen Gegebenheiten. Dabei ist die MRT (v.a. über die DWI-Sequenz) beim schnellen

Nachweis kleiner kortikaler oder lakunärer Läsionen überlegen [6, 8]. Demgegenüber stehen der hohe apparative Aufwand, die methodenspezifischen Kontraindikationen sowie der erschwerte Zugang zu den Patienten während der Untersuchung.

Im Vordergrund der medikamentösen Therapie des Schlaganfalls steht die intravenöse Lysetherapie mit rtPA. Der Einsatz von rtPA war zunächst auf ein Zeitfenster von 3 Stunden beschränkt. Erst nach der ECASS-III Studie von 2008 wurde die Zulassung auf ein 4,5 Stunden-Fenster ausgedehnt [9, 10]. Die intravenöse Lysetherapie stellt aktuell die Basis der Schlaganfalltherapie dar und wird, falls keine Kontraindikationen dagegen vorliegen, im Zeitraum von bis 4,5 Stunden nach dem Ereignis regelhaft durchgeführt.

Erste Studien zur endovaskulären Therapie wurden bereits in den 1980er- und 1990er-Jahren durchgeführt [11–13]. In diesen Studien wurden Thrombolytika intraarteriell verabreicht. Anfang der 2000er-Jahre begann die Entwicklung der mechanischen Thrombektomiesysteme. Mit den ersten Systemen (MERCİ-Device und Penumbra System) konnten vielversprechende Rekanalisationsraten erzielt werden [14–16]. Die ersten randomisierten Studien zur mechanischen Thrombektomie (MT) im Jahr 2013 [17, 18] zeigten keine Überlegenheit der MT, was vor allem auf das Studiendesign und die Nutzung wenig effektiver Systeme zurückgeführt wurde [19]. Die Einführung von Systemen der 2. Generation (Stent-Retrievern), die hinsichtlich Patienten-Outcome, Rekanalisationsergebnis und Blutungskomplikationen überlegen waren [20, 21], führte zur Etablierung des Ansatzes der mechanischen Thrombektomie. Randomisierte kontrollierte Studien mit vorheriger CTA oder MRA haben den Nutzen der endovaskulären Therapie des Schlaganfalls belegt [17, 22–26]. Die endovaskuläre Therapie wurde daher auch in die Leitlinie zur Akuttherapie des ischämischen Schlaganfalls aufgenommen [10]. Nach der Leitlinie wird innerhalb von 6 Stunden bei einem Patienten mit relevantem neurologischem Defizit und relevantem Verschluss im vorderen Kreislauf eine mechanische Thrombektomie empfohlen. Falls keine Kontraindikationen gegen eine systemische Thrombolysetherapie vorliegen, sollte davor innerhalb des 4,5-Stunden-Fensters auch intravenös rtPA gegeben werden [10, 27]. Eine Metaanalyse der Studien des Jahres 2015 zur MT zeigte, dass das Outcome entscheidend von der Zeit bis zur MT abhängt [28].

Es gibt verschiedene Möglichkeiten der endovaskulären Schlaganfalltherapie: Mechanische Thrombektomie, Aspiration und kombinierte Ansätze. Die verschiedenen Möglichkeiten der endovaskulären Schlaganfalltherapie können mit und ohne proximale Ballonokklusion erfolgen, wobei v.a. die rasche Rekanalisation relevant ist [29, 30].

Thermometrie ermöglicht, die Temperatur eines Objekts zu erfassen, zum Beispiel der Hautoberfläche. Hierfür gibt es eine Vielzahl kommerziell erhältlicher Systeme. Durch technologischen Fortschritt gibt es mittlerweile auch Systeme, welche mit einer kompakten Dongle-Kamera an einem handelsüblichen Smartphone funktionieren. Thermometrie mittels einer solchen Smartphone-Lösung hat bereits Anwendung in der Medizin gefunden, zum Beispiel bei

Kontaktdermatitiden [31], diabetischen Fußkrankungen [32, 33] und im Bereich der plastischen Chirurgie bzw. bei Verbrennungswunden [34, 35]. Auch in der Neurologie wurde Thermometrie bereits erfolgreich zur Diagnosestellung des akuten Wallenberg-Syndroms (nach lateralem Medulla oblongata Infarkt) eingesetzt [36].

Patienten berichten nach einem ischämischen Schlaganfall häufig über ein subjektives Kältegefühl der betroffenen Körperseite [37]. Asymmetrische Verteilungen der Hauttemperatur als Zeichen autonomer vasomotorischer Dysregulation wurden bereits in verschiedenen Studien beschrieben. Jedoch ist die Studienlage hier nicht eindeutig: Manche Studien berichten von erhöhter Temperatur [38]. Andere Studien berichten hingegen von erniedrigter Temperatur der betroffenen Körperhälfte [39, 40]. Korpelainen et al. konnten auch eine Temperaturasymmetrie nach ischämischem Schlaganfall feststellen [40]. Dabei war die betroffene Körperhälfte kälter als die nichtbetroffene Seite, wobei das Ausmaß des Temperaturunterschieds mit der Schwere der motorischen Defizite korrelierte [40].

1.1 FRAGESTELLUNG

In der vorliegenden Arbeit sollen folgende Fragen beantwortet werden:

1. Lässt sich bei Patienten mit einer LVO mittels einer Smartphone-basierten Thermometrie ein Temperaturunterschied zwischen der betroffenen und der nicht-betroffenen Körperhälfte nachweisen?
2. Erlaubt die Smartphone-basierte Thermometrie eine Prädiktion für das klinische Outcome nach erfolgreicher endovaskulärer Schlaganfalltherapie?
3. Besteht eine Korrelation zwischen der Smartphone-basierten Thermometrie und dem Schweregrad des neurologischen Defizits, bestimmt durch die National Institutes of Health Stroke Scale (NIHSS) bei Aufnahme?

II. HAUPTTEIL

2.1 MATERIAL UND METHODEN

2.1.1 PRÄKLINISCHE VERSUCHE

Die Temperatur eines Objektes kann mittels Thermometrie bestimmt werden. Die Thermographie ist ein bildgebendes Verfahren, das Temperaturverteilungen sichtbar macht. Somit kann Sie als eine Form der Thermometrie, bei der die Intensität der Infrarotstrahlung, die von einem Punkt ausgeht, als Maß für dessen Temperatur gedeutet wird, angesehen werden.

In der vorliegenden Arbeit wurde für die Thermographie eine FLIR ONE-Kamera (2. Generation; FLIR Systems Inc., Wilsonville, Oregon, USA), verwendet. Hierbei handelt es sich um eine kompakte Infrarotkamera, welche an ein Smartphone gekoppelt werden kann. In der vorliegenden Studie wurde hierfür ein iPhone (Modell 6s; Apple Inc., Cupertino, Kalifornien, USA) verwendet. Um die Sicherheit der Daten zu gewährleisten, war das Smartphone nicht mit dem Internet verbunden und es war auch keine SIM-Karte eingelegt. Die FLIR ONE-Kamera nutzt einen Infrarot-Sensor für den Wellenlängenbereich 8 bis 14 μm und kann bei Temperaturen zwischen 0 und 100°C eingesetzt werden. Sie erlaubt es, Temperaturunterschiede in Schritten von 0,1°C zu erfassen [41]. Zusätzlich zum Wärmebild nimmt die Kamera ein konventionelles Foto auf und ermöglicht die Fusion beider Bilder.

Um die Reliabilität der verwendeten Infrarotkamera zu überprüfen, wurde zunächst die Smartphone-basierte Thermographie mittels FLIR ONE, welche in der vorliegenden Studie zur Thermographie eingesetzt wurde, mit anderen kommerziellen Thermometrie-Systemen verglichen. Zum Vergleich herangezogen wurden:

- ☐ Das Thermographiesystem Testo 869 (Testo SE & Co. KGaA, Titisee-Neustadt, Deutschland)
- ☐ das Infrarotthermometer PCE 880 (PCE Deutschland GmbH, Meschede, Deutschland)
- ☐ das Infrarotthermometer Scantemp Pro 440 (Dostmann Electronic GmbH, Wertheim, Deutschland)

Die Referenztemperatur wurde mittels des faseroptischen Temperaturmessgeräts FO-TEMP 1-4 (Optocon AG, Dresden, Deutschland) ermittelt.

Gemessen wurden 5 Glasgefäße, die jeweils mit unterschiedlich warmem Wasser gefüllt wurden. Dabei wurde jeweils sowohl die Temperatur des Wassers (mittels eines kommerziell verfügbaren Eintauch-Thermometers) als auch die Temperatur der Gefäßoberfläche mittels Optocon FOTEMP 1-4 ermittelt, welche auch mit den Infrarotkameras gemessen werden sollte. Die Temperatur wurde dabei mit einem definierten Abstand von 40 cm zum Testobjekt

gemessen. Der Emissionsgrad von Glas liegt (je nach verwendetem Glas und Quelle) zwischen 0,9 - 0,97. Der Emissionsgrad von menschlicher Haut liegt bei 0,98 und der von Wasser bei 0,96 [42]. Daher wurde für die Testmessungen mit den oben genannten Infrarotgeräten der Emissionsgrad von (0,95) eingestellt.

Bei der in der klinischen Studie verwendeten FLIR ONE-Kamera wurden zusätzlich Aufnahmen aus 80 cm Abstand angefertigt, um den Einfluss des Abstandes der Kamera zum Untersuchungsobjekt zu evaluieren.

Darüber hinaus wurde als weiteres Vergleichsobjekt eine Kunststoffflasche mit matter Oberfläche herangezogen. Dabei wurden die jeweiligen Temperaturen an der Oberfläche analog gemessen.



ABBILDUNG 1: VERWENDETE THERMOGRAPHIE-KAMERAS BZW. -THERMOMETER

- a) Optocon FOTEMP 1-4
(Quelle: Optocon Handbuch Fotemp 4);
- b) FLIR ONE Gen. 2
(Quelle: <https://www.flir.de/support/products/flir-one-gen-2/#Documents>);
- c) PCE 880
(Quelle: <https://www.warensortiment.de/technische-daten/pyrometer-dt-8810.htm>);
- d) Testo 869
(Quelle: <https://www.testo.com/de-DE/unternehmen-pr-fachpresse/testo-869>);
- e) Scantemp Pro 440
(Quelle: <https://www.tfa-dostmann.de/produkt/infrarot-thermometer-scan-temp-440-31-1116/>)

2.2 KLINISCHER TEIL

2.2.1 PATIENTENKOLLEKTIV

Prospektiv wurden alle Patienten im Zeitraum von 12/17 – 1/19 in die Untersuchung einbezogen, die aufgrund eines akuten Gefäßverschlusses im vorderen Kreislauf eine endovaskuläre Schlaganfalltherapie erhielten. Weitere Einschlusskriterien waren:

- ☐ Alter des Patienten > 18 Jahre
- ☐ vorliegende Einwilligung des Patienten bzw. des gesetzlichen Vertreters zur Teilnahme an der Studie

Ausschlusskriterium war insbesondere das Fehlen von Gliedmaßen.

Für die Studie lag ein positives Votum der Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Universität Rostock vor. Um den Ablauf der Therapie nicht zu verzögern, erfolgten Aufklärung und schriftliche Einverständniserklärung nach der Therapie. Falls bis zum Ende des stationären Aufenthalts kein schriftliches Einverständnis vorlag, wurden die Patientendaten gelöscht und nicht in die Auswertung mit einbezogen.

2.2.2 BILDGEBUNG

Alle Patienten, die aus der neurologischen Notaufnahme der UMR zur Intervention zugewiesen wurden, erhielten initial eine MR-Bildgebung bei 1,5 Tesla (Magnetom Avanto, Siemens, Erlangen). Verwendet wurde dazu eine 8-Kanal Kopfspule zur Signaldetektion. Das standardisierte Untersuchungsprotokoll für alle Patienten ist in Tabelle 15 im Anhang abgebildet. Patienten, die aus einem auswärtigen Krankenhaus zur endovaskulären Therapie verlegt wurden, erhielten standardmäßig eine native CCT und eine CTA. Zur Verlaufskontrolle erhielten alle Patienten innerhalb von 24 Stunden nach Intervention sowie 5 Tage nach Intervention eine Verlaufsbildgebung, entweder als MRT oder als native CCT. Die Bildgebung nach 5 Tagen wurde verwendet, um das finale Infarktvolumen zu bestimmen. Falls keine Verlaufsbildgebung nach 5 Tagen vorhanden war, wurde die letzte vorhandene Bildgebung nach erfolgter endovaskulärer Therapie genutzt.

2.2.3 INTERVENTION

Wenn keine Kontraindikationen bestanden und sich die Patienten innerhalb des durch die Leitlinien definierten Zeitfensters befanden, erhielten alle Patienten eine i.v.-Thrombolyse mit 0,9mg rtPA / kg KG (rekombinanter Plasminogenaktivator) durch den behandelnden Neurologen.

Die Interventionen wurden an einer monoplanaren Angiographie-Anlage (Siemens Axiom Artis dTA, Siemens AG, Berlin, Deutschland) entsprechend der hausinternen SOP des Instituts für Diagnostische und Interventionelle Radiologie, Kinder- und Neuroradiologie (IfDIR) für die endovaskuläre Schlaganfalltherapie durchgeführt. Ob der Eingriff in Vollnarkose oder unter Analgesiedierung erfolgte, oblag der Einschätzung des jeweiligen Interventionalisten und war von der klinischen Situation abhängig. Die Intervention erfolgte standardmäßig über einen transfemorale Zugang. Ob die Intervention als Aspirationsthorombektomie mit manueller Aspiration, Stent-Retriever-gestützte Thrombektomie oder als Kombination von beiden Verfahren durchgeführt wurde, oblag ebenfalls der Entscheidung des jeweiligen Interventionalisten, ebenso die Verwendung einer proximalen Ballonokklusion. Für die Intervention wurden entweder ein Stroke Fast Pack (Stryker, Kalamazoo, Michigan, USA) mit Trevo® Stent Retriever oder ein pRESET®-Stent Retriever (phenox GmbH, Bochum, Deutschland) verwendet. Bei Verwendung des pRESET®-Stent Retrievers oblag die Wahl des verwendeten Aspirationskatheters wieder dem Interventionalisten. Der Grad der Rekanalisation wurde in einer abschließenden Übersichtsangiographie in zwei Ebenen entsprechend der mTICI-Klassifikation dokumentiert (siehe Abbildung 2). Dabei wurden eine gute Rekanalisation als mTICI 3/2b definiert und eine inkomplette Rekanalisation als mTICI 2a/1/0. Zusätzlich wurden der Zeitpunkt des Beginns der Angiographie sowie der Zeitpunkt der Rekanalisation dokumentiert. Das Ausmaß der Rekanalisation wurde dem schriftlichen Angiographie-Befund entnommen. Soweit das Ausmaß der Rekanalisation dort nicht dokumentiert war, wurde eine Nachbefundung durch einen erfahrenen Neuroradiologen erhoben.

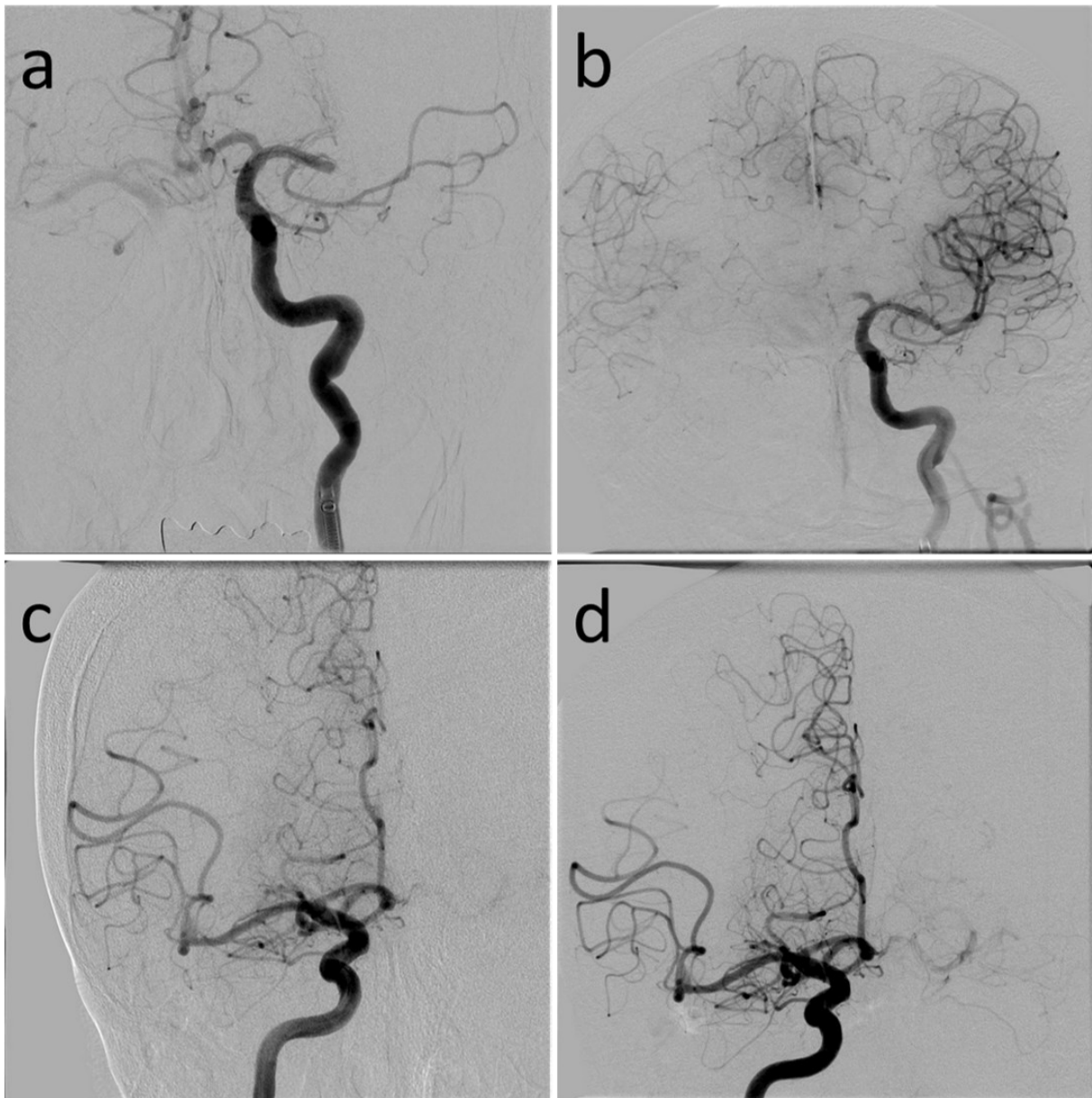


ABBILDUNG 2: ANGIOGRAPHIE VOR UND NACH MECHANISCHER THROMBEKTOMIE

- a,b) 73 Jahre alte Patientin mit M1 Verschluss links; a) Bild der Angiographie im ap-Strahlengang mit Verschluss der A. cerebri media links und b) Kontrollangiographie nach erfolgreicher Rekanalisation mittels Katheteraspirationstherapie mit nun komplett durchgängigem Medialstromgebiet (mTICI 3).
- c,d) 77 Jahre alte Patientin mit M2 Verschluss rechts; c) Bild der Angiographie im ap-Strahlengang mit Verschluss der A. cerebri media rechts und d) Angiographie nach frustraner Rekanalisation (mTICI 0). Nach Aspiration von Thrombuspartikeln zeigte sich ein KM-Extravasat (nicht dargestellt). Ein erneuter Aspirationsversuch musste bei Erbrechen mit Aspiration und notwendiger Intubation abgebrochen werden.

2.2.4 THERMOMETRIE

Für die thermographischen Aufnahmen wurde die gleiche FLIR ONE GEN. 2 Infrarotkamera (FLIR Systems, Inc., Wilsonville, Oregon) verwendet wie in den präklinischen Testmessungen. Es wurden thermographische Aufnahmen des Gesichts und jeweils der linken und rechten Hand und des linken und rechten Fußes unter standardisierten Bedingungen angefertigt. Hierbei lag der Patient in Rückenlage auf dem Angiographie-Tisch. Die Aufnahmen wurden aus einem Abstand von 50 cm senkrecht zur Oberfläche angefertigt. Dabei wurden die Aufnahmen sowohl unmittelbar präinterventionell als auch unmittelbar postinterventionell angefertigt.

Für die Auswertung der Infrarotbilder wurde die Software FLIR Tools (FLIR Systems Inc., Wilsonville, Oregon) verwendet. Die Auswertung erfolgte durch die manuelle standardisierte Einlage von Messpunkten auf dem Fußrücken, dem Handrücken, auf der Wange und der Stirn, jeweils für die linke und rechte Körperhälfte (Beispiel s. Abbildung 3). Die Messareale waren dabei auf beiden Körperseiten gleich groß und an der gleichen Stelle.

Die Messparameter waren dabei:

- ☐ Emissionsgrad (0,98),
- ☐ Abstand (50 cm),
- ☐ Luftfeuchtigkeit (50 %),
- ☐ Atmosphärentemperatur (20,0°C),
- ☐ reflektierte Temperatur (22,0°C).

Dabei ist zu beachten, dass die reflektierte Temperatur und die Raumtemperatur in der Software des Herstellers standardmäßig auf diese Werte definiert sind. Entsprechend den Herstellervorgaben müssten beide Werte für das jeweilige thermographische Experiment definiert werden. Das war in der Akutsituation jedoch nicht möglich. Daher entsprach die Atmosphärentemperatur der Temperatureinstellung der Klimaanlage im Untersuchungsraum der Angiographie.

Zur Auswertung der Thermographien wurde für jeden Messpunkt sowohl die absolute Temperatur bestimmt als auch die Temperaturdifferenz jedes Messpunktes zwischen der klinisch vom Schlaganfall betroffenen Seite ($T_{\text{betroffen}}$) zum jeweiligen Messpunkt der nicht betroffenen kontralateralen Seite ($T_{\text{nicht betroffen}}$) entsprechend der Formel:

$T_{\text{diff}} = T_{\text{nicht betroffen}} - T_{\text{betroffen}}$.

Darüber hinaus wurden die beiden Messareale an der Wange und an der Stirn zu einem kombinierten Messareal zusammengeführt, welches als „Gesicht“ bezeichnet wurde. Es wurden Quotienten zwischen den einzelnen Messarealen gebildet, um die verschiedenen Messareale in Relation zueinander betrachten zu können.

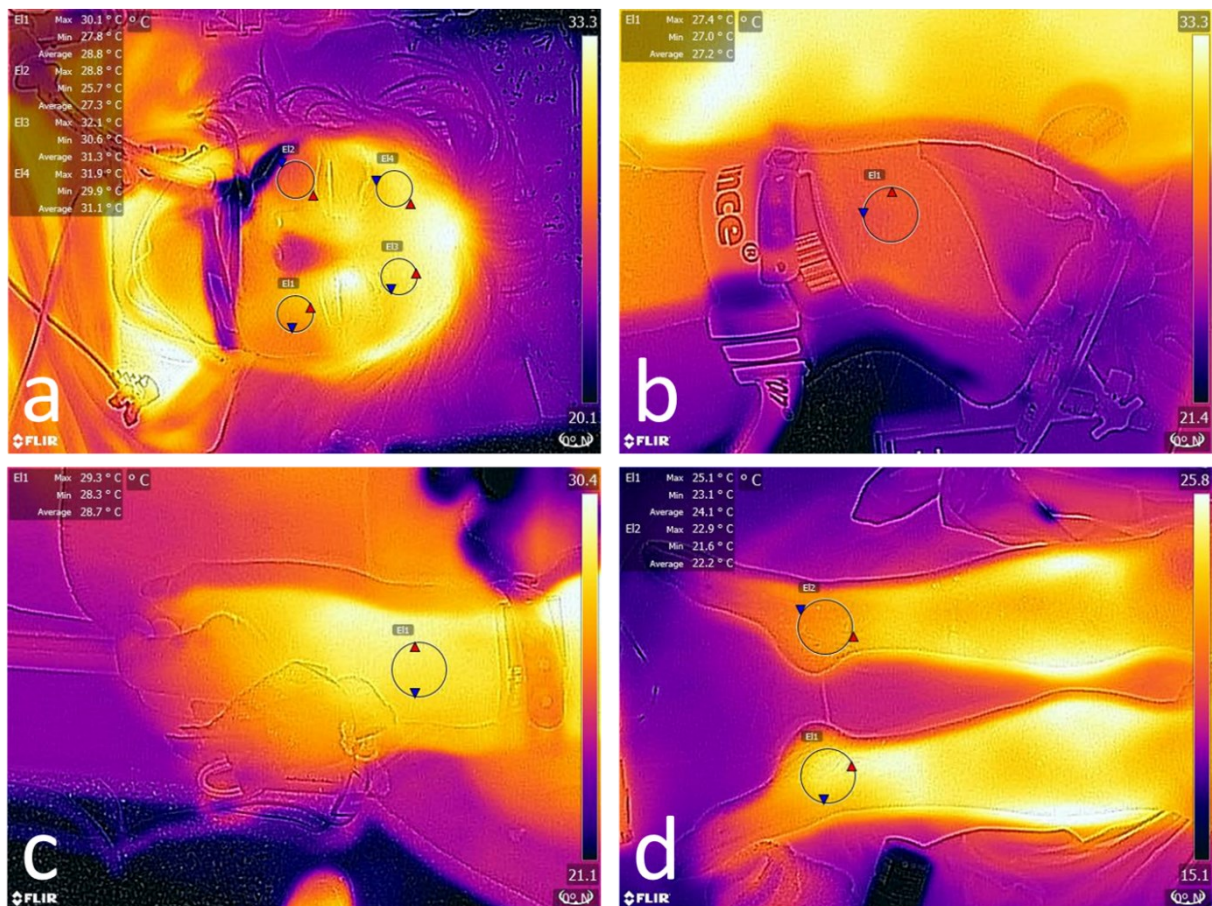


ABBILDUNG 3: BILDBEISPIEL THERMOGRAPHISCHE UNTERSUCHUNG

Thermographische Untersuchung einer 69-jährigen Patientin mit M1-Verschlag Links;
präinterventioneller NIHSS: 21

- a) Gesicht mit Messungen im Bereich der Stirn und der Wange (jeweils mittlere Temperatur in der ROI: linke Wange: 28,2°C, rechte Wange: 26,8°C, linke Stirn: 30,5°C, rechte Stirn: 30,3°C);
- b) Messungen rechte Hand: 26,8°C;
- c) Messungen linke Hand: 28,1°C;
- d) Messungen beider Füße: links 23,9°C, rechts 22,1°C.

2.2.5 KLINISCHE DATEN

Für die weitere Auswertung wurden neben den demographischen Daten der Beginn der klinischen Symptome sowie die Schwere des Schlaganfalls nach NIHSS (vor Intervention) erhoben.

Soweit anhand der vorliegenden klinischen Daten möglich, wurde die Zeit zwischen Symptombeginn und Beginn der Angiographie bzw. Rekanalisation anhand der standardmäßig dokumentierten Zeiten berechnet.

Das langfristige funktionelle Outcome der Patienten wurde mittels der mRS-Skala durch Telefoninterviews nach mindestens 90 Tagen erhoben. Die Telefoninterviews wurden anhand standardisierter Fragen durchgeführt [43–45] (siehe Anhang).

Darüber hinaus wurde das Bestehen von Risikofaktoren für einen Schlaganfall anhand der vorliegenden klinischen Diagnosen in den Arztbriefen untersucht. Hierfür wurden Arztbriefe auf die klinischen Diagnosen arterielle Hypertonie, Z.n. früherem Schlaganfallereignis, Diabetes Mellitus, Vorhofflimmern und Hyperlipidämien als Risikofaktoren untersucht.

2.2.6 BILDAUSWERTUNG

Zur weiteren Auswertung wurden die prä- und postinterventionellen CT- bzw. MRT-Untersuchungen in pseudonymisierter Form auf eine Horos-Workstation übertragen (Horos Vers. 3.2.2; www.horosproject.org).

Das Vorhandensein von Infarktfrühzeichen in der CCT wurde entsprechend des ASPECTS-Scores quantifiziert, das Ausmaß der DWI-Läsionen in der MR-Bildgebung entsprechend des ASPECTS-DWI-Scores [46].

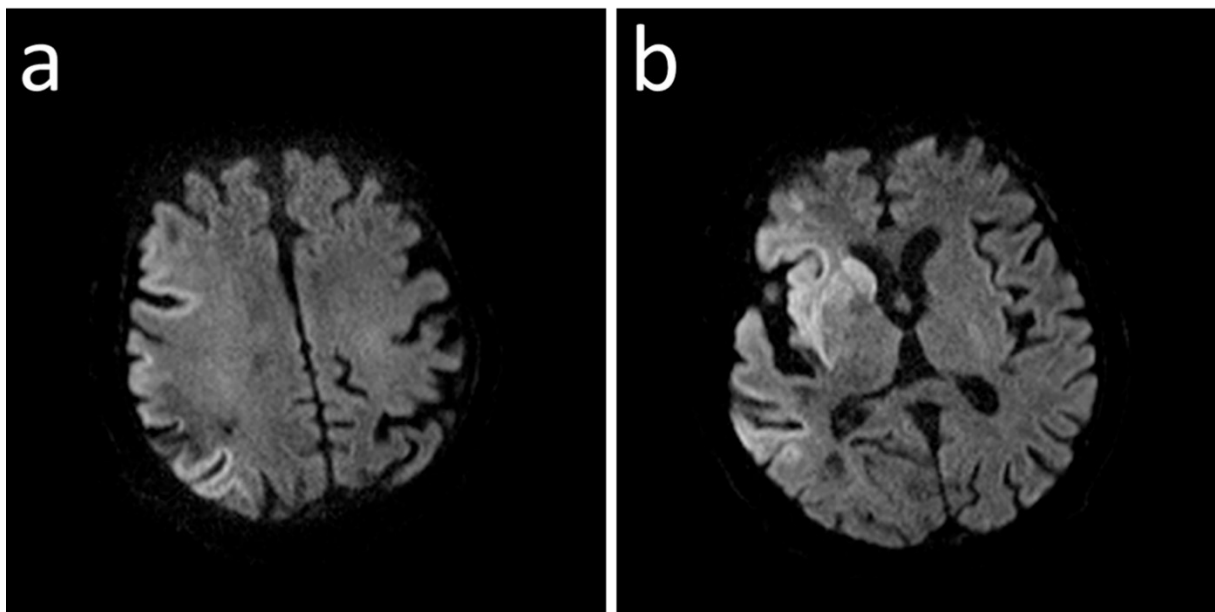


ABBILDUNG 4: BESTIMMUNG DES DWI-ASPECTS-SCORES

Diffusionsgewichtete Aufnahmen einer 83-jährigen Patientin mit rechtsseitigem Mediaverschluss, Diffusionsstörungen in den ASPECTS-Regionen M4-M6 (in a) sowie M1-M3, Insel, Caudatus-Kopf und Linsenkern (in b) entsprechend einem DWI-ASPECTS = 1

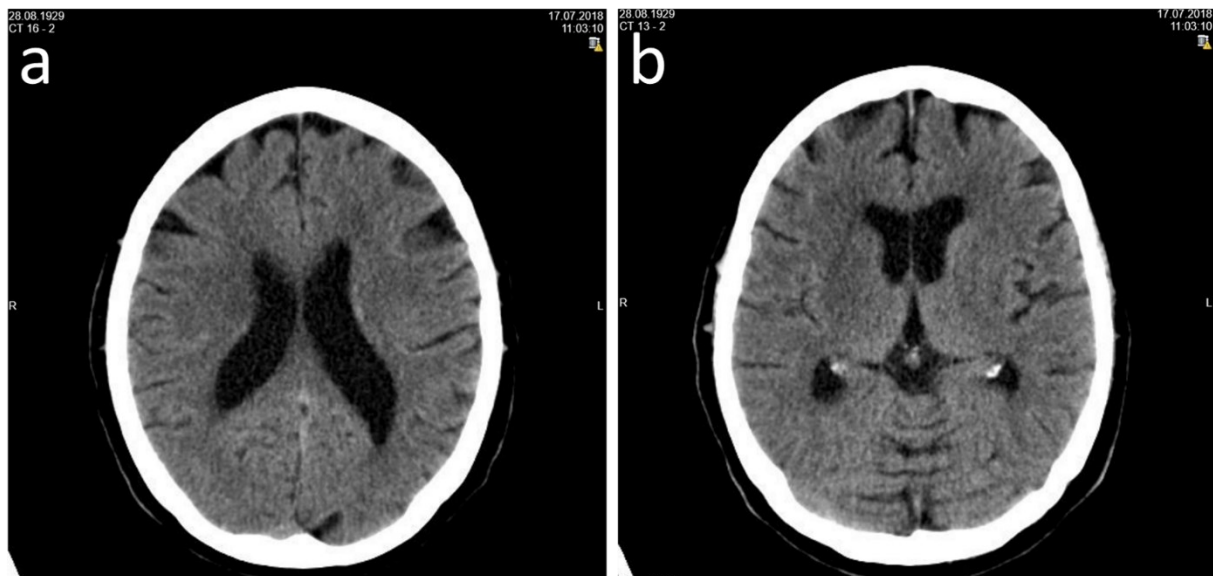


ABBILDUNG 5: BESTIMMUNG DES ASPECTS-SCORES

CT-Aufnahmen einer 88-jährigen Patientin mit rechtsseitigem Mediaverschluss, beginnende Demarkierung in den ASPECTS-Regionen Caudatus-Kopf und Linsenkern (in b) entsprechend einem ASPECTS =8

Das finale Infarktvolumen wurde in der Kontrollbildgebung 5 Tage nach der Intervention bestimmt. Soweit keine solche Kontrollbildgebung vorlag, wurde die Infarktvolumetrie in der letzten zur Verfügung stehenden postinterventionellen Bildgebung vor Entlassung der Patienten aus der stationären Therapie bzw. vor dem Versterben durchgeführt. Hierzu wurde in Horos mit dem Werkzeug „Pencil“ manuell eine ROI um den demarkierten Infarkt gezeichnet. Dies erfolgte auf allen Schichten, auf denen der Infarkt in der jeweils verwendeten Modalität abgrenzbar war. In der CCT wurde hierfür das hypodense Infarktareal (s. Abbildung 6) umfahren. Wurde als Verlaufsuntersuchung eine MRT durchgeführt, wurde der Infarkt in FLAIR bestimmt (s. Abbildung 6). Das finale Infarktvolumen wurde mit der Funktion ROI „Volume – Compute Volume“ berechnet. Falls sich aufgrund von inkonstanten Schichtabständen das Infarktvolumen nicht semi-automatisch bestimmen ließ, wurde die Fläche des Infarktes in den jeweiligen Schichten addiert und mit der Schichtdicke multipliziert.

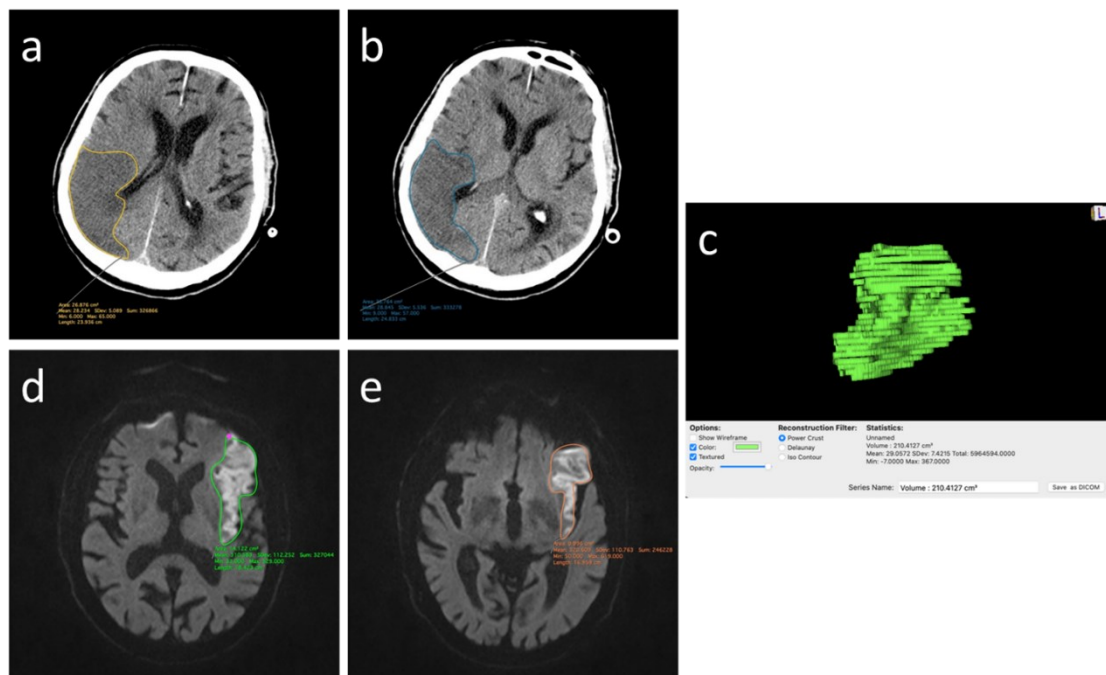


ABBILDUNG 6: BESTIMMUNG DES FINALEN INFARKTVOLUMENS

Bestimmung des finalen Infarktvolumens in der Verlaufsuntersuchung.

Obere Reihe: CT-Volumetrie; der demarkierte Infarkt (a,b; beispielhafte Schichten) wird manuell segmentiert und das finale Infarktvolumen (c) von 210 cm³ berechnet und als 3D-ROI dargestellt. Die ROI weist aufgrund der primär axial aufgenommenen Schichten Treppenartefakte auf.

Untere Reihe: MR-Volumetrie; der demarkierte Infarkt (d,e; beispielhafte Schichten) wird manuell segmentiert. Aufgrund eines Schichtenproblems konnte hier keine 3D-ROI erzeugt werden. Die manuelle Berechnung des Infarktvolumens ergab ein Volumen von 51 cm³.

Mögliche aufgetretene intrakranielle Blutungskomplikationen wurden nach ECASS-Kriterien [47, 48] (s.Tabelle 1) klassifiziert.

TABELLE 1: DEFINITIONEN INTRAZEREBRALER BLUTUNGEN NACH HIRNINFARKT NACH ECASS-STUDIEN

Hämorrhagischer Infarkt Typ 1 H1	Hämorrhagischer Infarkt Typ 2 H2	Parenchymatöse Blutung Typ 1 P1	Parenchymatöse Blutung Typ 2 P2
Kleine petechiale Einblutungen im Randbereich des Infarktes	Konfluierende kleine petechiale Einblutungen im Bereich des Infarktes ohne raumfordernden Effekt	Kompaktes Blutgerinnsel in $\leq 30\%$ des Infarktareals mit leichtem raumforderndem Effekt	Kompaktes Blutgerinnsel in $> 30\%$ des Infarktareals mit substantiell raumforderndem Effekt

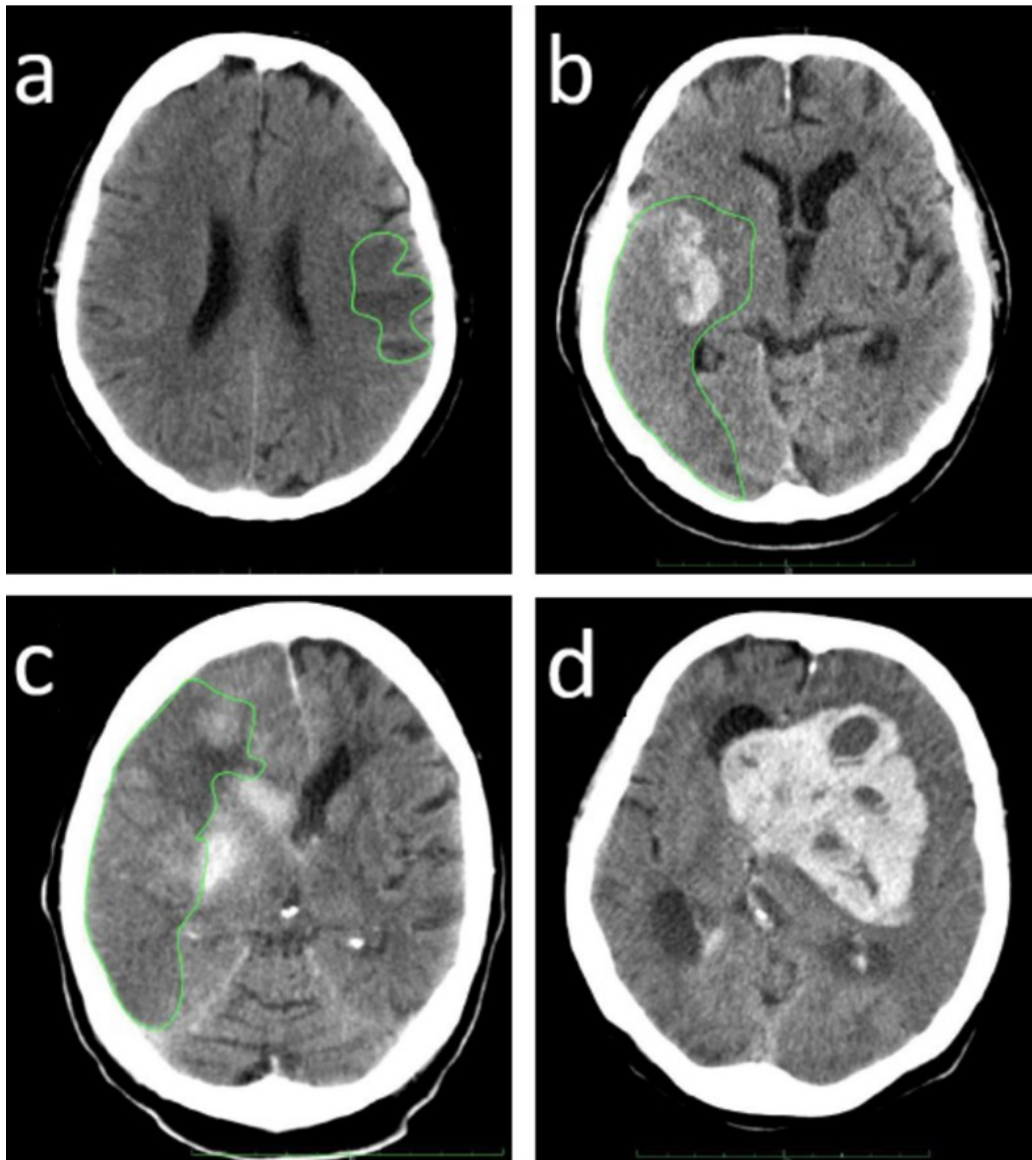


ABBILDUNG 7: INTRAKRANIELLE BLUTUNGSKOMPLIKATIONEN NACH ECASS-KRITERIEN

Intrakranielle Blutungskomplikationen nach ECASS-Kriterien im Patientenkollektiv; soweit möglich, wurde das Infarktareal mittels manueller ROI markiert.

- a) 72-jähriger Patient mit Verschluss im Bereich M1 links, nach systemischer Lyse und MT Rekanalisationsergebnis mTICI 2b; im Verlaufs-CCT kleine petechiale Einblutungen in den Infarkt (ECASS H1)
- b) 81-jähriger Patient mit Verschluss im Bereich M1 rechts, nach systemischer und MT Rekanalisationsergebnis mTICI 3; im Verlaufs-CCT konfluierende kleine petechiale Einblutungen in den Infarkt ohne raumfordernden Effekt (ECASS H2)
- c) 85-jährige Patientin mit Verschluss im Bereich distale ACI rechts, nach MT Rekanalisationsergebnis mTICI 2a; im Verlaufs-CCT Kompaktes Blutgerinnsel in $\leq 30\%$ des Infarktareals mit leichtem raumforderndem Effekt (ECASS P1). Die Hyperdensitäten im Bereich des Linsenkernes und Caudatus-Kopfes sind bedingt durch ein periinterventionelles KM-Extravasat bei Angiographie über den Aspirationskatheter im M1-Segment. In der Verlaufskontrolle (nicht dargestellt) haben sich diese Veränderungen dementsprechend vollständig resorbiert
- d) 84-jährige Patientin mit Verschluss im Bereich M1 links, nach MT Rekanalisationsergebnis mTICI 3; im Verlaufs-CCT Kompaktes Blutgerinnsel in $> 30\%$ des Infarktareals mit substantiell raumforderndem Effekt (ECASS P2)

2.2.7 STATISTISCHE AUSWERTUNG

Die Statistische Auswertung erfolgte mit der Software IBM SPSS Statistics 25. Kontinuierliche Variablen werden als Mittelwert (MW) +/- Standardabweichung (SD) dargestellt. Bei ordinal skalierten Variablen wurden Korrelationsanalysen mittels des Spearmanschen Rangkorrelationskoeffizienten durchgeführt. Bei Korrelation zweier metrischer, intervallskalierter Variablen erfolgte zunächst eine jeweilige Testung auf univariate (Kolomogorov-Smirnov-Test) Normalverteilung. Bei nicht vorliegender Normalverteilung der Variablen wurde auch hier eine Analyse mittels des Spearmanschen Rangkorrelationskoeffizienten durchgeführt, da die Voraussetzung der Normalverteilung für eine Analyse nach Pearson nicht gegeben war. Beim Vergleich zwischen einer nominal skalierten Variable und einer ordinal skalierten erfolgten Chi-Quadrat-Tests.

Bezüglich der Signifikanz von Unterschieden zwischen zwei Gruppen (z.B. Messstellen) bezüglich eines metrisch skalierten Merkmals wurden T-Tests für unabhängige oder verbundene Stichproben durchgeführt, insofern eine Normalverteilung (laut Kolomogorov-Smirnov-Test) vorlag. Da dies nur teilweise gegeben war, wurden in diesem Fall, oder bei nicht metrisch skalierten Merkmalen, Wilcoxon-Tests (für Unterschiede zwischen 2 abhängigen Gruppen ohne Normalverteilung) bzw. Mann-Whitney-U-Tests (für Unterschiede zwischen 2 unabhängigen Gruppen ohne Normalverteilung) durchgeführt. Hierbei wurde aufgrund der rel. geringen Stichprobengröße ($N < 30$) die absolute (2-seitige) Signifikanz und nicht die asymptotische (2-seitige) Signifikanz betrachtet. A priori wurde ein $p < 0,05$ als statistisch signifikant definiert.

2.3 ERGEBNISSE

2.3.1 PRÄKLINISCHE VERSUCHE

Bei der Auswertung der Messung der wassergefüllten Gefäße konnte gezeigt werden, dass sich Wassertemperatur und Oberflächentemperatur des Gefäßes unterschieden. Dabei lag die Oberflächentemperatur im Mittel $5,72\text{ °C}$ unter der Wassertemperatur.

Die verschiedenen Messgeräte liefern im Vergleich zum Referenzmessgerät (Optocon FO-TEMP 1-4) mit wenigen Ausnahmen höhere Temperaturen als die faseroptische Messung an der Glasoberfläche. So ergibt sich für die absoluten Messwerte bei Verwendung der FLIR ONE (in 40 cm Abstand) im Mittel eine Differenz von $+ 1,21\text{ °C}$ zum Optocon-Gerät, bei 80 cm Abstand $+ 2,5\text{ °C}$. Für die Vergleichsgeräte liegt dieser Wert (für 40 cm Abstand) bei $+ 2,22\text{ °C}$ (PCE-880); $+ 2,7\text{ °C}$ (Testo-869); $+ 1,86\text{ °C}$ (Scantemp Pro 440). Die FLIR ONE liefert somit mit anderen am Markt erhältlichen Messgeräten vergleichbare Ergebnisse. Die Messergebnisse sind im Anhang tabellarisch aufgelistet (s. Tabelle 10 und Tabelle 11 im Anhang).

Allerdings zeigt sich bei allen Geräten, dass die mittels Infrarot-Technik gemessene Temperatur etwas über der faseroptisch gemessenen Temperatur liegt. So überschätzt in diesem Versuchsaufbau die FLIR ONE bei 40 cm Abstand die Referenztemperatur im Mittel um 4,5 %, bei 80 cm Abstand um 8,9 %. Das PCE-880 liegt im Mittel um 8,5 % darüber; das Testo 869 um 8,8 % und das Scantemp Pro 440 um 6,7 %.

Des Weiteren wurde eine matte Kunststoffflasche als Vergleichsobjekt herangezogen. Hierbei lieferten die Vergleichsgeräte bei einem Abstand von 40 cm folgende Temperaturwerte für die Kunststoffflasche: PCE-880 (24,0 °C); Scantemp Pro 440 (22,6 °C); Testo-869 (22,9 °C). Mit der FLIR ONE wurde diese Messung ebenfalls durchgeführt. An dieser Stelle wurde zusätzlich untersucht, ob eine Veränderung des Abstands zum Messobjekt Auswirkungen auf die Messung hat. Dafür wurden mehrere Aufnahmen bei Abständen von 40cm, 80cm und 120 cm angefertigt. Hierbei ergab sich für einen Abstand von 40 cm im Mittel ein Wert von 25,1 °C, bei einem Abstand von 80 cm bzw. 120 cm 23,9 °C bzw. 23, 8 °C. Die Messergebnisse sind im Anhang tabellarisch aufgelistet (s. Tabelle 12 im Anhang).

2.4 KLINISCHER TEIL

2.4.1 ERGEBNISSE DEMOGRAPHIE

Im Studienzeitraum (14.12.2017 – 06.01.2019) wurden 60 Patienten aufgrund einer LVO interventionell behandelt. Neun Patienten mussten ausgeschlossen werden, weil der Gefäßverschluss im vertebrobasilären Stromgebiet lag. Bei 25 Patienten lagen keine Thermometriedaten oder keine schriftliche Einverständniserklärung vor. In die finale Auswertung wurden somit 26 Patienten eingeschlossen. Hiervon wurden 6 Patienten aus einem externen Krankenhaus zuverlegt, 20 wurden notfallmäßig neurologisch in der UMR vorgestellt.

Von den 26 betrachteten Patienten waren 16 (62 %) weiblich und 10 (38 %) männlich. Das mittlere Patientenalter betrug 79,1 Jahre +/- SD: 7,75 Jahre (Min: 56 J; Max: 93 J). Der mediane NIHSS-Score lag bei Aufnahme bei 13 (Min: 4; Max: 32), der mediane mRS vor Schlaganfallereignis bei 1 (Min: 1- Max: 5). Bei 16 Patienten wurde vor der Intervention eine MRT-Bildgebung durchgeführt. In 10 Fällen erfolgte ein CCT mit CT-Angiographie. In der präinterventionell durchgeführten Bildgebung lag der mediane ASPECTS-Score bei 10 (Min: 1; Max: 10).

Bei den untersuchten Patienten waren folgende Risikofaktoren für einen Schlaganfall bekannt:

- Arterielle Hypertonie bei 13 Patienten (50 %),
- Früheres Schlaganfallereignis bei 5 Patienten (19 %),
- Diabetes mellitus bei 8 Patienten (31 %),
- Vorhofflimmern bei 9 Patienten (35 %),
- Hyperlipidämie bei 7 Patienten (27 %).

Von den in die finale Auswertung eingeschlossenen Patienten hatten 12 Patienten (46 %) einen rechtsseitigen und 14 (54 %) einen linksseitigen Gefäßverschluss. Die Verschlusslokalisationen sind in Tabelle 13 im Anhang aufgeführt. 18 Patienten (69 %) erhielten zuvor eine systemische Lyse. Bei 8 Patienten (31 %) wurde aufgrund von Kontraindikationen keine systemische Thrombolyse durchgeführt (siehe Tabelle 13 im Anhang), bei 6 Patienten aufgrund einer gleichzeitig bestehenden gerinnungshemmenden Therapie (Heparin, NOAKS etc.) und bei 2 Patienten, weil das empfohlene Zeitfenster (4,5h) für die systemische Lyse überschritten oder der Zeitpunkt des Symptombeginns unklar waren. In 9 von 26 Fällen (35 %) erfolgte die Interventionen in Intubationsnarkose, in den übrigen Fällen in Analgosedierung mit anästhesiologischer Begleitung.

In der Verlaufskontrolle konnte bei drei der weiblichen Patienten (18,8 %) und einem der männlichen Patienten (10 %) ein gutes funktionelles Outcome ($mRS \leq 2$) nach 90 Tagen erreicht werden (s. Tabelle 13 im Anhang).

Bei der Betrachtung des Outcomes in Bezug auf das Patientenalter zeigte sich besonders im Kollektiv der über 80-jährigen Patienten ein eher schlechtes funktionelles Outcome. Nur 7 % der Patienten in dieser Altersgruppe konnten ein gutes Outcome (anhand mRS nach 90 Tagen, mit $mRS \leq 2$) erreichen. Bei den Patienten zwischen 70 und 80 erreichten 27 % ein gutes Outcome. Die beiden behandelten Patienten mit einem Alter unter 70 erzielten allerdings auch ein schlechtes Outcome (mRS 3 und 6 nach 90 Tagen).

Von den Patienten mit einem Gefäßverschluss auf der linken Seite konnten 2 Patienten (14,3 %) ein gutes funktionelles Outcome ($mRS \leq 2$) erzielen, im Kollektiv der Patienten mit rechtsseitigem Gefäßverschluss erzielten ebenfalls 2 Patienten ein gutes Outcome (16,7 %).

Von den 8 Patienten, die vor der interventionellen Therapie keine i.v.-Thrombolyse erhalten hatten, erzielte in der Nachkontrolle keiner ein gutes funktionelles Ergebnis (medianer $mRS = 6$). Von den 18 Patienten, die zuvor eine i.v.-Thrombolyse erhalten hatten, erzielten in der Nachkontrolle 4 Patienten (22 %) ein gutes Ergebnis (medianer $mRS = 3$).

Die demographischen Daten sind zusammenfassend in Tabelle 13 im Anhang dargestellt.

2.4.2 ANGIOGRAPHISCHE ERGEBNISSE DER INTERVENTION

Ein gutes Rekanalisationsergebnis (mTICI 2b/3) konnte bei 19 Patienten (73 %) erzielt werden. Von den 7 Patienten mit einem suboptimalen Rekanalisationsergebnis (mTICI 0/1/2a) hatten 5 Patienten eine mTICI 2a-Rekanalisation und bei 2 Patienten war keine Rekanalisation möglich. In einem Fall konnte der Verschluss aufgrund der Anatomie nicht erreicht werden. Bei der anderen Patientin gelang eine Rekanalisation trotz mehrfacher Rekanalisationsmanöver und unterschiedlicher Techniken nicht und die Intervention musste bei Aspiration abgebrochen werden.

Soweit der Symptombeginn bekannt war, lag im Mittel eine Zeit von ca. 4 Stunden zwischen Symptombeginn und Rekanalisation. Von 26 untersuchten Patienten war die Berechnung dieser Zeit lediglich bei 10 Patienten möglich. Bei 2 Patienten war keine Rekanalisation möglich. 7 Patienten schilderten Symptome seit dem Erwachen („wake-up Stroke“). Bei den restlichen Patienten war kein Symptombeginn dokumentiert, etwa bei Zuverlegung aus anderen Häusern oder bei sonst unklarem Symptombeginn.

In der Gruppe der unter Narkose durchgeführten Interventionen (9 Interventionen, 35 % der Interventionen) konnte nur ein Patient ein gutes funktionelles Outcome (mRS 90d $\leq$ 2, 11 %) erzielen. Hingegen konnten von den 17 unter Analgosedierung behandelten Patienten 3 Patienten (18 %) ein gutes Outcome erzielen (11 % (mit Narkose) vs. 18 % (ohne Narkose)). Die Häufigkeiten von Analgosedierung und Intubationsnarkose in der Patientengruppe mit einem guten funktionellen Ergebnis (mRS 0-2) unterschieden sich nicht signifikant $p=0,660$.

Bei 10 Patienten (38,4 %) zeigte sich im Verlauf eine Einblutung. Klassifiziert nach ECASS III [47, 48] lag bei 4 Patienten (15,4 % bezogen auf die Gesamtgröße der Untersuchung von 26 Patienten) eine Einblutung vom H1 Typ vor, Typ H2 bei einem Patienten (3,8 %), Typ P1 bei zwei Patienten (7,7 %) und Typ P2 bei drei Patienten (11,5 %).

Von den 16 Patienten ohne Blutungskomplikationen erzielten 4 (25 %) ein gutes Outcome. Hingegen konnte in keinem der 10 Fälle mit einer Blutungskomplikation ein gutes funktionelles Ergebnis erreicht werden. Es zeigte sich kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen $p=0,075$.

Im Follow-up nach mindestens 90 Tagen lag der mediane mRS-Wert bei 4 (Min: 2 Max: 6). 11 Patienten (42 %) verstarben innerhalb des Beobachtungszeitraums (mRS=6), wobei sich die Ursachen hierfür nicht eruieren ließen.

Es zeigten sich keine signifikanten Korrelationen zwischen ASPECTS-Score bzw. Rekanalisationsergebnis (nach mTICI) und dem funktionellen Outcome nach 90 Tagen (mRS 90) (($r=-0,024$; $p=0,911$) bzw. ($r=-0,264$; $p=0,193$)).

Ein gutes funktionelles Outcome erreichten 20 % der Patienten mit M1-Verschluss (3 Patienten) und 20 % der Patienten mit M2-Verschluss (1 Patient). Die untersuchten 6 Patienten mit

einem Verschluss im Bereich der ACI oder des Carotis-T konnten kein gutes Outcome erzielen. Insgesamt konnten nur 4 Patienten (15,4 %) ein gutes Outcome ($mRS \leq 2$) erzielen, wohingegen dies bei 22 Patienten (84,6 %) nicht gelang ($mRS > 2$).

2.4.3 ERGEBNISSE THERMOMETRIE

In der Thermometrie war die betroffene Körperhälfte geringfügig kälter als die nicht-betroffene Körperhälfte (siehe Tabelle 2 und Tabelle 3). Jedoch war dieser Temperaturunterschied für die absoluten Werte nicht signifikant.

TABELLE 2: TEMPERATURPARAMETER PRÄINTERVENTIONELL

Parameter	N	MW	Min	Max	SD	P
[gesund]-[krank]Wange	26	0,2	-2,2	2,0	1,1	0,15
[gesund]-[krank]Stirn	26	0,1	-0,8	2,0	0,6	0,15
[gesund]-[krank]Hände	25	0,4	-2,8	5,0	1,7	0,33
[gesund]-[krank]Füße	25	0,4	-3,4	4,9	1,9	0,164
[krank] Stirn-[krank] Wange	26	1,1	-1,0	5,1	1,4	0,0003*
[gesund]Stirn-[gesund] Wange	26	1,0	-1,8	4,5	1,4	0,0006*
[gesund]-[krank] Gesicht	26	0,3	-1,6	3	1,2	0,08
Wange_gesund	26	31,4	26,5	35,5	2,1	
Wange_krank	26	31,2	25,7	36,2	2,4	
Stirn_gesund	26	32,4	28,5	34,8	1,5	
Stirn_krank	26	32,3	28,7	35,4	1,4	
Hand_gesund	26	30,8	26,5	34,6	2,1	
Hand_krank	25	30,3	25,7	34,9	2,5	
Fuß_gesund	26	29,9	22,5	34,7	3,2	
Fuß_krank	25	29,6	22,1	34,9	3,6	

TABELLE 3: TEMPERATURPARAMETER POSTINTERVENTIONELL

Parameter	N	MW	Min	Max	SD	P
Wange_gesund_post	21	29,6	22,9	32,3	2,8	
Wange_krank_post	21	29,5	23,2	33,1	3,0	
Stirn_gesund_post	21	30,8	24,8	33,0	2,6	
Stirn-krank_post	21	30,5	23,7	32,7	2,5	
Hand_gesund_post	16	29,6	26,8	34,3	2,3	
Hand_krank_post	17	28,8	24,7	32,7	2,6	
Fuß_gesund_post	18	28,2	20,2	34,0	3,67	
Fuß_krank_post	18	27,8	18,6	33,8	3,6	
[gesund]- [krank]Wange_post	21	0,1	-2,6	3,1	1,6	0,945
[gesund]-[krank]Stirn_post	21	0,3	-1,3	1,6	0,7	0,093
[gesund]-[krank]Hand_post	16	0,9	-3,5	6,0	2,3	0,76
[gesund]-[krank]Fuß_post	18	0,4	-4,0	4,8	2,2	0,21
[krank]Stirn- [krank]Wange_post	21	1,0	-1,0	4,7	1,6	0,011*
[gesund]Stirn-[ge- sund]Wange_post	21	1,25	-1,5	4,4	1,5	0,002*
[gesund]-[krank] Ge- sicht_post	21	0,3	-2,4	4	1,91	0,601

Tabelle 2 und 3: Deskriptive Statistik der im Patientenkollektiv gemessenen und berechneten Temperaturparameter und –differenzen präinterventionell (2) und postinterventionell (3). (N= Anzahl der Messwerte) (MW= Mittelwert, Min= Minimum, Max= Maximum, SD= Standardabweichung; jeweils in °C; p= Signifikanz Wert; p* statistisch signifikant)

Betrachtet man präinterventionell die einzelnen Messpositionen, zeigte sich das Gesicht bei 15 Patienten (58 %) im Bereich der Wange auf der betroffenen Seite kälter. Die Messpositionen Stirn und die Hand waren jeweils bei 14 Patienten (54 %) und die Füße bei 12 Patienten (46 %) auf der betroffenen Seite kälter.

Um den Einfluss einer möglichen Innervation der Stirn der betroffenen Seite durch den N. facialis der Gegenseite zu bewerten, wurde der Temperaturunterschied zwischen Stirn und Wange der jeweiligen Seite bestimmt.

Hierbei zeigte sich, dass im untersuchten Kollektiv auf beiden Seiten, also sowohl auf der kranken als auch auf der gesunden Seite, die Messareale im Bereich der Stirn im Mittelwert um ca. 1°C wärmer waren als die jeweiligen Messareale der Wange. Die Unterschiede waren signifikant (siehe Tabelle 2 und Tabelle 3).

Betrachtet man beide Messpositionen im Gesicht als ein zusammengesetztes Areal $T_{\text{Stirn}} + T_{\text{Wange}} = T_{\text{Gesicht}}$ und bildet nun die Differenz zwischen kranker und gesunder Seite nach $T_{\text{Gesicht(gesund)}} - T_{\text{Gesicht(krank)}}$ so zeigte sich die nicht-betroffene (gesunde) Seite im Mittel um 0,3°C wärmer als die betroffene (kranke) Seite. Der Unterschied war nicht signifikant ($p_{\text{Gesicht prä}}=0,08$; $p_{\text{Gesicht post}}=0,6$).

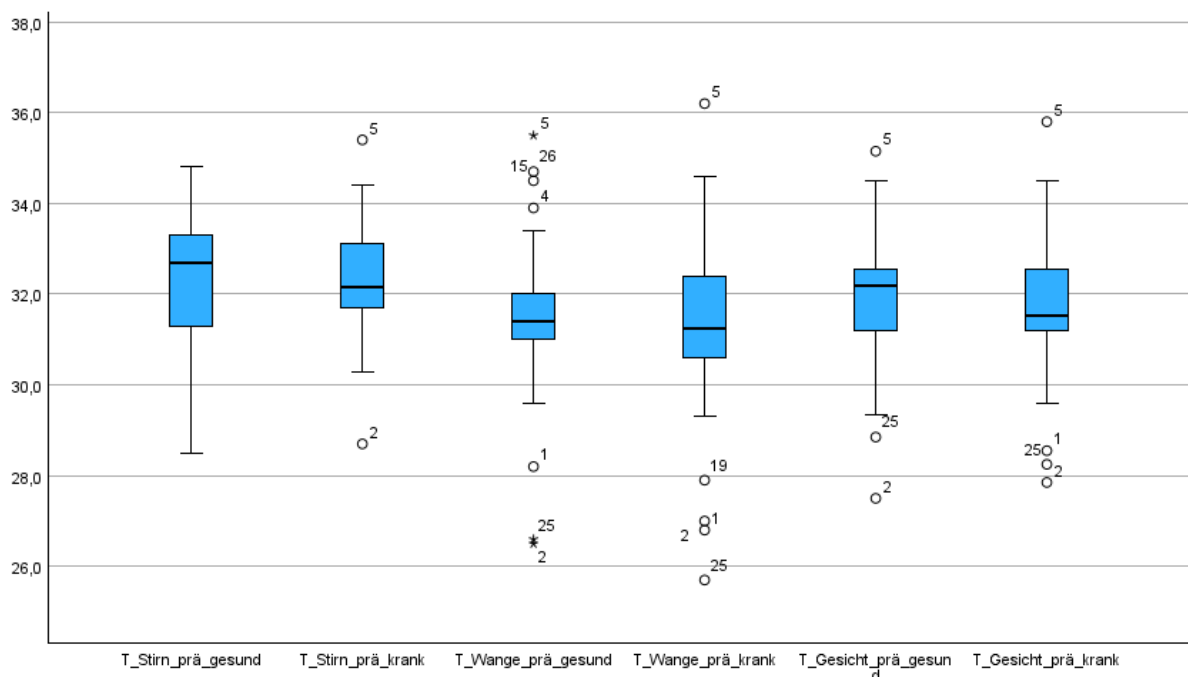


ABBILDUNG 8: VERTEILUNG DER TEMPERATURMESSWERTE IM GESICHT

TABELLE 4: TEMPERATURPARAMETER IN RELATION

Verhältnis	MW	SD	P
Wange _{krank} /Hand _{krank}	1,0	0,1	0,11
Wange _{krank} /Fuß _{krank}	1,1	0,1	0,056
Wange _{krank} /Wange _{gesund}	1,0	0,0	0,298
Wange _{krank} /Hand _{gesund}	1,0	0,1	0,351
Wange _{krank} /Fuß _{gesund}	1,1	0,1	0,041*
Stirn _{krank} /Hand _{krank}	1,1	0,1	0,0001*
Stirn _{krank} /Fuß _{krank}	1,1	0,2	0,002*
Stirn _{krank} /Wange _{gesund}	1,0	0,0	0,002*
Stirn _{krank} /Hand _{gesund}	1,1	0,1	0,001*
Stirn _{krank} /Fuß _{gesund}	1,1	0,1	0,001*
Wange _{gesund} /Hand _{krank}	1,0	0,1	0,061
Wange _{gesund} /Fuß _{krank}	1,1	0,1	0,040*
Wange _{gesund} /Wange _{krank}	1,0	0,0	0,298
Wange _{gesund} /Hand _{gesund}	1,0	0,1	0,069
Wange _{gesund} /Fuß _{gesund}	1,1	0,1	0,033*
Gesicht _{krank0,5} /Hand _{krank}	1,0	0,1	0,003*
Gesicht _{krank0,5} /Fuß _{krank}	1,1	0,1	0,010*
Gesicht _{krank0,5} /Wange _{gesund}	1,0	0,0	0,078
Gesicht _{krank0,5} /Hand _{gesund}	1,0	0,1	0,009*
Gesicht _{krank0,5} /Fuß _{gesund}	1,1	0,1	0,006*
Gesicht _{gesund0,5} /Hand _{krank}	1,1	0,1	0,002*
Gesicht _{gesund0,5} /Fuß _{krank}	1,1	0,1	0,007*
Gesicht _{gesund0,5} /Wange _{gesund}	1,0	0,0	0,001*
Gesicht _{gesund0,5} /Hand _{gesund}	1,0	0,1	0,003*
Gesicht _{gesund0,5} /Fuß _{gesund}	1,1	0,1	0,004*

Tabelle 4: Temperaturmesswerte an den verschiedenen Messstellen in Relation. (MW= Mittelwert, SD= Standardabweichung; jeweils in °C; p= Signifikanz Wert; p* statistisch signifikant); Werte für das Gesicht wurden halbiert.

TABELLE 5: TEMPERATURDIFFERENZEN

Differenzen	MW	SD	P
Wange _{krank} -Hand _{krank}	0,7	2,2	0,11
Wange _{krank} -Fuß _{krank}	1,4	3,5	0,056
Wange _{krank} -Wange _{gesund}	-0,2	1,0	0,298
Wange _{krank} -Hand _{gesund}	0,4	2,0	0,351
Wange _{krank} -Fuß _{gesund}	1,3	3,0	0,041*
Stirn _{krank} -Hand _{krank}	1,9	2,1	0,0001*
Stirn _{krank} -Fuß _{krank}	2,6	3,77	0,002*
Stirn _{krank} -Wange _{gesund}	0,9	1,3	0,002*
Stirn _{krank} -Hand _{gesund}	1,5	1,9	0,001*
Stirn _{krank} -Fuß _{gesund}	2,4	3,3	0,001*
Wange _{gesund} -Hand _{krank}	0,9	2,3	0,061
Wange _{gesund} -Fuß _{krank}	1,6	3,7	0,040*
Wange _{gesund} -Wange _{krank}	0,2	1,1	0,298
Wange _{gesund} -Hand _{gesund}	0,6	2,3	0,069
Wange _{gesund} -Fuß _{gesund}	1,5	3,3	0,033*
Gesicht _{krank0,5} -Hand _{krank}	1,3	2,0	0,003*
Gesicht _{krank0,5} -Fuß _{krank}	2,0	3,6	0,010*
Gesicht _{krank0,5} -Wange _{gesund}	0,3	0,9	0,078
Gesicht _{krank0,5} -Hand _{gesund}	0,9	1,9	0,009*
Gesicht _{krank0,5} -Fuß _{gesund}	1,8	3,0	0,006*
Gesicht _{gesund0,5} -Hand _{krank}	1,5	2,1	0,002*
Gesicht _{gesund0,5} -Fuß _{krank}	2,2	3,7	0,007*
Gesicht _{gesund0,5} -Wange _{gesund}	0,5	0,7	0,001*
Gesicht _{gesund0,5} -Hand _{gesund}	1,1	1,9	0,003*
Gesicht _{gesund0,5} -Fuß _{gesund}	2,0	3,25	0,004*

Tabelle 5: Temperaturdifferenzen zwischen den verschiedenen Messstellen. (MW= Mittelwert, SD= Standardabweichung; jeweils in °C; p= Signifikanz Wert; p* statistisch signifikant)

Betrachtet man die Temperaturdifferenzen der verschiedenen Messpositionen der betroffenen Seite zur entsprechenden Messstelle der nicht-betroffenen Seite, so zeigte sich die kranke (betroffene) Seite geringfügig kälter. Dieser Unterschied war aber nicht statistisch signifikant und auch nicht bei allen untersuchten Personen vorhanden (siehe Tabelle 2 und Tabelle 3). Betrachtet man die Differenz der Messpunkte des Gesichts der betroffenen Körperhälfte zu den anderen Messpunkten auf der betroffenen Seite, so zeigte sich zum Teil ein statistisch signifikanter Unterschied (siehe Tabelle 5). So zeigte sich das Gesicht auf der betroffenen Seite präinterventionell im Mittel um 1,3°C wärmer als die Hände der betroffenen Seite und um 2,0°C wärmer als der Fuß der betroffenen Seite. Allerdings zeigten sich ähnliche Werte auch für die gesunde Seite des Gesichts. (siehe Tabelle 5).

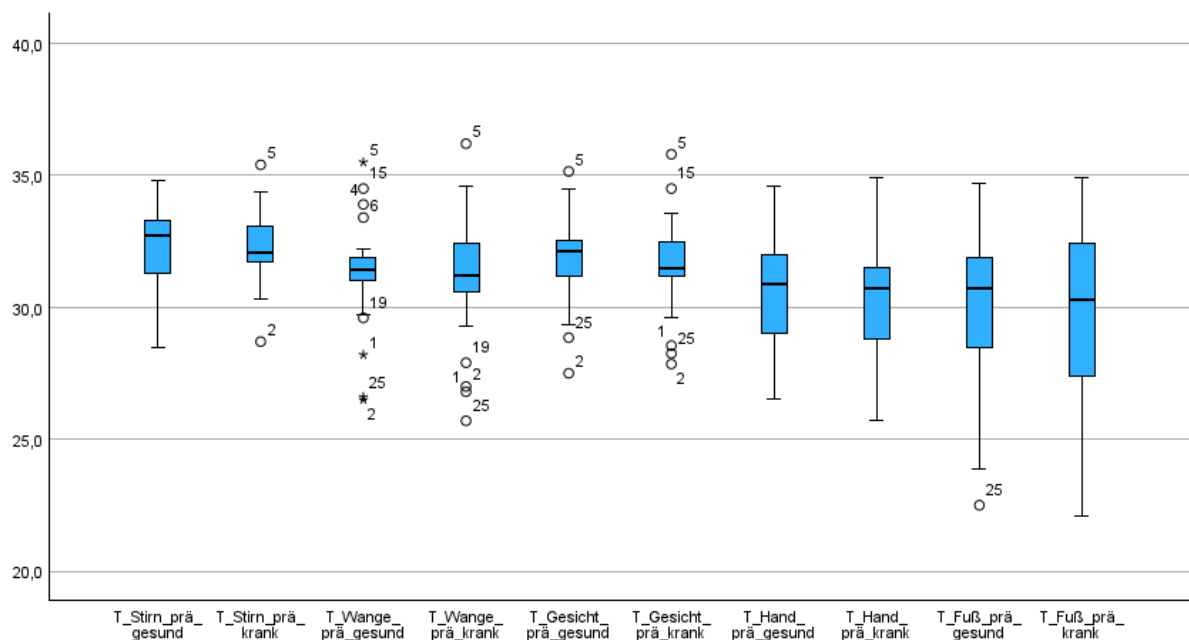


ABBILDUNG 9: VERTEILUNG DER TEMPERATURMESSWERTE PRÄINTERVENTIONELL

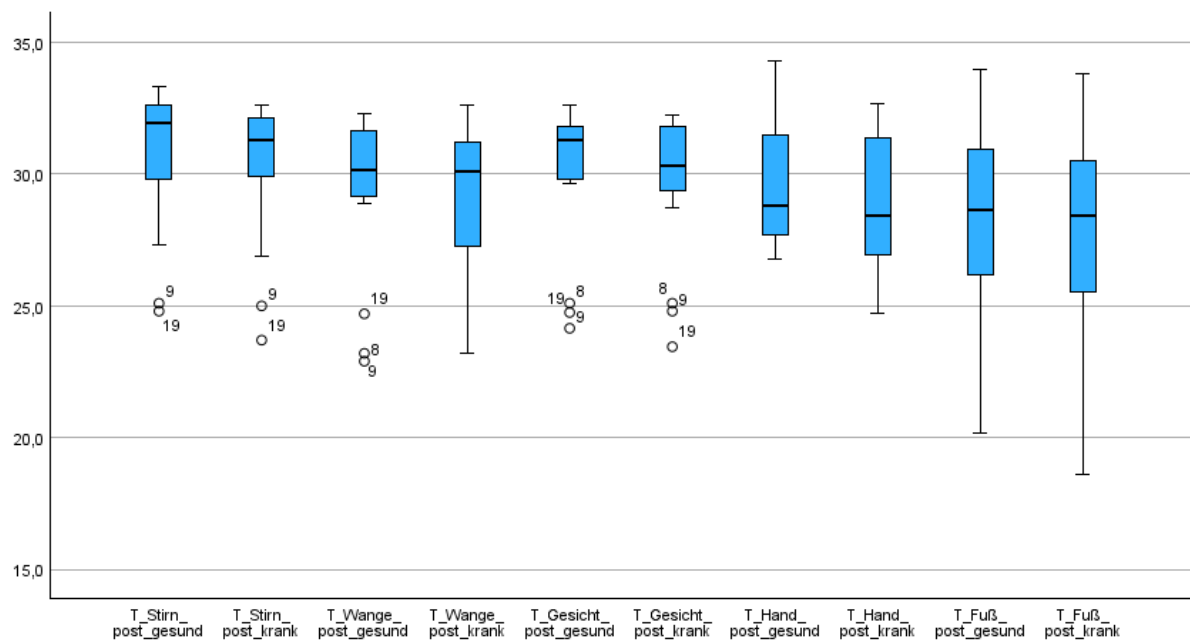


ABBILDUNG 10: VERTEILUNG DER TEMPERATURMESSWERTE POSTINTERVENTIONELL

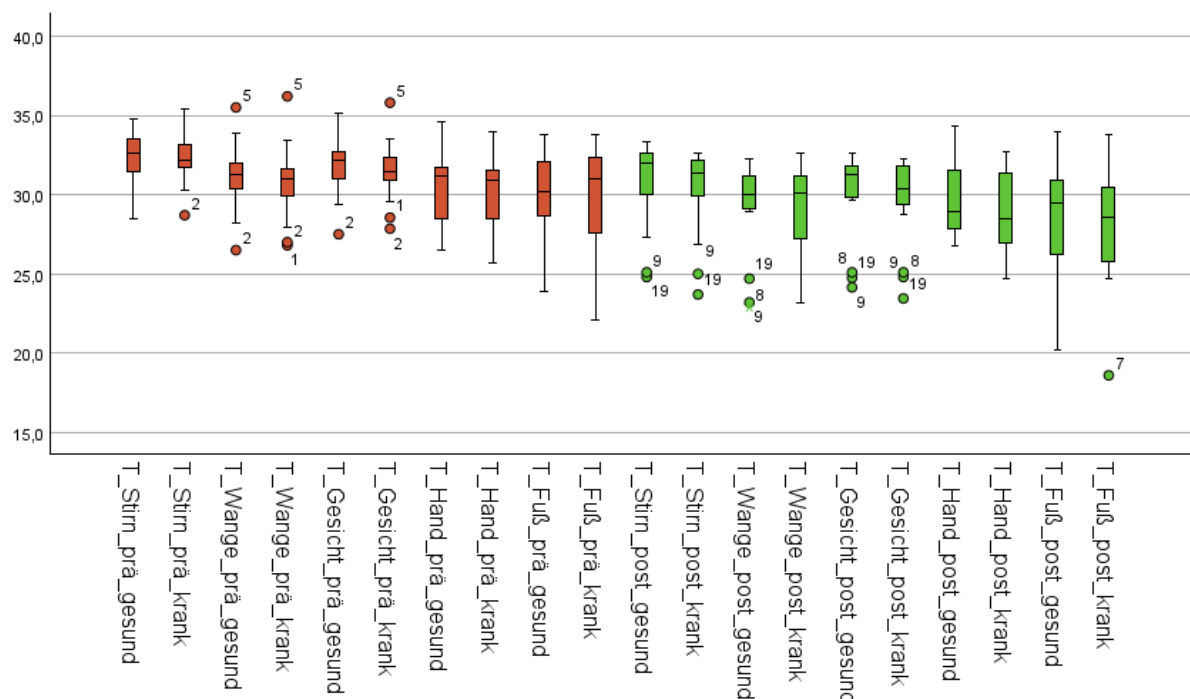


ABBILDUNG 11: VERGLEICH DER TEMPERATURMESSWERTE PRÄ- UND POSTINTERVENTIONELL

Boxplot aus SPSS: Verteilung der Temperaturmesswerte prä- und postinterventionell im Vergleich. Präinterventionelle Werte in orange, postinterventionelle Werte in grün.

Es zeigte sich eine signifikante Korrelation zwischen der Temperaturdifferenz (vor Intervention) (nichtbetroffen – betroffen) am Fuß und dem ASPECTS Score. ($r=0,441$; $p=0,031$). Für die anderen Messpunkte vor und nach Intervention konnten keine signifikanten Korrelationen mit dem ASPECTS Score gezeigt werden (s. Tabelle 8).

Es zeigte sich keine signifikante Korrelation zwischen den Temperaturdifferenzen an den verschiedenen Messpunkten und dem NIHSS vor der Intervention (siehe Tabelle 8). Lediglich bezüglich der Temperaturdifferenz an den Füßen postinterventionell zeigte sich eine statistisch signifikant inverse Korrelation mit dem NIHSS ($r=-0,589$; $p=0,01$), somit korrelierte eine größere Temperaturdifferenz an den Füßen postinterventionell mit einem geringeren NIHSS (also einer geringeren Symptomschwere).

Bei der Betrachtung der Temperaturdifferenzen vor und nach der Intervention zeigte sich kein statistisch signifikanter Unterschied (siehe Tabelle 6).

TABELLE 6: VERGLEICH TEMPERATURDIFFERENZ PRÄ- VS. POSTINTERVENTIONELL

Vergleich Temperaturdifferenz prä- vs. Postinterventionell	MW	SD	P
$T_{\text{diffStirnpräinterventionell}} - T_{\text{diffStirnpstinterventionell}}$	-0,133	0,8	0,27
$T_{\text{diffWangepräinterventionell}} - T_{\text{diffWangepstinterventionell}}$	0,186	1,43	0,664
$T_{\text{diffGesichtpräinterventionell}} - T_{\text{diffGesichtpstinterventionell}}$	0,0262	0,88	0,972
$T_{\text{diffHändepräinterventionell}} - T_{\text{diffHändepstinterventionell}}$	-0,52	3,33	0,396
$T_{\text{diffFußpräinterventionell}} - T_{\text{diffFußpstinterventionell}}$	0,029	1,18	0,794
$T_{\text{diffStirnpräinterventionell}}$	0,148	0,61	
$T_{\text{diffStirnpstinterventionell}}$	0,281	0,76	
$T_{\text{diffWangepräinterventionell}}$	0,233	1,15	
$T_{\text{diffWangepstinterventionell}}$	0,048	1,59	
$T_{\text{diffGesichtpräinterventionell}}$	0,190	0,64	
$T_{\text{diffGesichtpstinterventionell}}$	0,164	0,96	
$T_{\text{diffHändepräinterventionell}}$	0,447	2,04	
$T_{\text{diffHändepstinterventionell}}$	0,967	2,33	
$T_{\text{diffFußpräinterventionell}}$	0,376	1,94	
$T_{\text{diffHändepstinterventionell}}$	0,347	2,22	

Tabelle 6: Temperaturdifferenzen prä- und postinterventionell (MW= Mittelwert, SD= Standardabweichung; jeweils in °C; p= Signifikanz Wert; p* statistisch signifikant)

Es zeigten sich keine signifikanten Korrelationen zwischen den Temperaturdifferenzen vor und nach Intervention an den verschiedenen Messpunkten und dem funktionellen Outcome (mRS nach 90 Tagen; siehe Tabelle 8). Das gilt sowohl für die Untergruppe mit gutem Rekanalisationsergebnis (mTICI 2b-3), als auch für die Untergruppe mit suboptimalem Rekanalisationsergebnis (mTICI 0-2a; siehe Tabelle 7). Lediglich für die Untergruppe mit schlechter Rekanalisation zeigte sich für die Korrelation der Temperaturdifferenz an den Füßen (prä- und postinterventionell) mit dem Infarktvolumen und für die Korrelation der Temperaturdifferenz an der Stirn präinterventionell eine statistisch signifikante Korrelation, bei allerdings sehr kleiner Stichprobengröße (N=4) ohne Relevanz.

TABELLE 7: KORRELATIONEN ZWISCHEN TEMPERATURPARAMETERN UND MRS UND VOLUMEN

Rekanalisationssubgruppe	Korrelation	r-Wert	p-Wert
mTICI 0-2a	T _{diff_Stirn_prä} und mRS	-0,579	0,173
mTICI 2b-3	T _{diff_Stirn_prä} und mRS	0,076	0,757
mTICI 0-2a	T _{diff_Stirn_prä} und Volumen	1,0	<0,001*(N=4)
mTICI 2b-3	T _{diff_Stirn_prä} und Volumen	0,14	0,956
mTICI 0-2a	T _{diff_Wange_prä} und mRS	0,535	0,216
mTICI 2b-3	T _{diff_Wange_prä} und mRS	0,203	0,404
mTICI 0-2a	T _{diff_Wange_prä} und Volumen	-0,800	0,200
mTICI 2b-3	T _{diff_Wange_prä} und Volumen	0,200	0,800
mTICI 0-2a	T _{diff_Gesicht_prä} und mRS	0,267	0,562
mTICI 2b-3	T _{diff_Gesicht_prä} und mRS	0,178	0,467
mTICI 0-2a	T _{diff_Gesicht_prä} und Volumen	0,200	0,800
mTICI 2b-3	T _{diff_Gesicht_prä} und Volumen	0,241	0,336
mTICI 0-2a	T _{diff_Hände_prä} und mRS	0,223	0,631
mTICI 2b-3	T _{diff_Hände_prä} und mRS	-0,22	0,932
mTICI 0-2a	T _{diff_Hände_prä} und Volumen	-0,400	0,600
mTICI 2b-3	T _{diff_Hände_prä} und Volumen	-0,380	0,132
mTICI 0-2a	T _{diff_Füße_prä} und mRS	-0,401	0,373
mTICI 2b-3	T _{diff_Füße_prä} und mRS	-0,383	0,117
mTICI 0-2a	T _{diff_Füße_prä} und Volumen	1,0	<0,01* (N=4)
mTICI 2b-3	T _{diff_Füße_prä} und Volumen	-0,336	0,187
mTICI 0-2a	T _{diff_Stirn_post} und mRS	-0,778	0,069
mTICI 2b-3	T _{diff_Stirn_post} und mRS	-0,187	0,504
mTICI 0-2a	T _{diff_Stirn_post} und Volumen	0,400	0,600
mTICI 2b-3	T _{diff_Stirn_post} und Volumen	-0,222	0,445
mTICI 0-2a	T _{diff_Wange_post} und mRS	-0,304	0,558

mTICI 2b-3	T _{diff_Wange_post} und mRS	0,275	0,320
mTICI 0-2a	T _{diff_Wange_post} und Volumen	0,800	0,200
mTICI 2b-3	T _{diff_Wange_post} und Volumen	0,213	0,464
mTICI 0-2a	T _{diff_Gesicht_post} und mRS	-0,304	0,558
mTICI 2b-3	T _{diff_Gesicht_post} und mRS	0,158	0,575
mTICI 0-2a	T _{diff_Gesicht_post} und Volumen	0,800	0,200
mTICI 2b-3	T _{diff_Gesicht_post} und Volumen	0,169	0,563
mTICI 0-2a	T _{diff_Hände_post} und mRS	0,224	0,718
mTICI 2b-3	T _{diff_Hände_post} und mRS	-0,183	0,589
mTICI 0-2a	T _{diff_Hände_post} und Volumen	0,200	0,800
mTICI 2b-3	T _{diff_Hände_post} und Volumen	-0,291	0,385
mTICI 0-2a	T _{diff_Füße_post} und mRS	-0,439	0,383
mTICI 2b-3	T _{diff_Füße_post} und mRS	0,23	0,944
mTICI 0-2a	T _{diff_Füße_post} und Volumen	1,0	<0,01* (N=4)
mTICI 2b-3	T _{diff_Füße_post} und Volumen	-0,084	0,795

Tabelle 7: Korrelationen zwischen Temperaturparametern und mRS und Volumen je nach Rekanalisationsergebnis (r= Korrelationskoeffizient; p= Signifikanz Wert; p* statistisch signifikant)

Betrachtet man das finale Infarktvolume, zeigte sich eine signifikante Korrelation für das Volumen und die Temperaturdifferenz an den Händen vor Intervention (r= -0,544; p= 0,011; siehe Abbildung 15). Somit korrelierte in der untersuchten Stichprobe eine verhältnismäßig wärmere kranke Hand (also negative T_{diff}) mit einem größeren Schlaganfall, wobei nur eine mittlere Korrelation vorlag. Für die anderen Messpunkte vor und nach Intervention zeigte sich keine signifikante Korrelation (s. Tabelle 8).

TABELLE 8: BERECHNETE KORRELATIONEN ZWISCHEN TEMPERATURDIFFERENZ UND ASPECTS BZW. NIHSS MRS UND VOLUMEN

Korrelation	r-Wert	p-Wert
T _{diff Fuß prä} und ASPECTS	0,441	0,031*
T _{diff Wange prä} und ASPECTS	-0,254	0,22
T _{diff Stirn prä} und ASPECTS	0,135	0,520
T _{diff Gesicht prä} und ASPECTS	-0,173	0,408
T _{diff Hände prä} und ASPECTS	-0,120	0,575
T _{diff Fuß post} und ASPECTS	0,419	0,084
T _{diff Wange post} und ASPECTS	-0,222	0,347
T _{diff Stirn post} und ASPECTS	-0,319	0,171
T _{diff Gesicht post} und ASPECTS	-0,286	0,221
T _{diff Hände post} und ASPECTS	0,293	0,270
T _{diff Fuß prä} und NIHSS _{prä}	-0,182	0,396
T _{diff Wange prä} und NIHSS _{prä}	0,148	0,481
T _{diff Stirn prä} und NIHSS _{prä}	-0,145	0,488
T _{diff Gesicht prä} und NIHSS _{prä}	0,128	0,543
T _{diff Hände prä} und NIHSS _{prä}	-0,182	0,395
T _{diff Fuß post} und NIHSS _{prä}	-0,589	0,01*
T _{diff Wange post} und NIHSS _{prä}	0,032	0,889
T _{diff Stirn post} und NIHSS _{prä}	0,333	0,140
T _{diff Gesicht post} und NIHSS _{prä}	0,179	0,439
T _{diff Hände post} und NIHSS _{prä}	-0,135	0,619
T _{diff Fuß prä} und mRS	-0,375	0,080
T _{diff Wange prä} und mRS	0,249	0,221
T _{diff Stirn prä} und mRS	0,20	0,923
T _{diff Gesicht prä} und mRS	0,222	0,275
T _{diff Hände prä} und mRS	-0,79	0,707
T _{diff Fuß post} und mRS	0,077	0,777
T _{diff Wange post} und mRS	0,228	0,321

Korrelation	r-Wert	p-Wert
T _{diff} Stirn post und mRS	-0,359	0,110
T _{diff} Gesicht post und mRS	0,042	0,858
T _{diff} Hände post und mRS	-0,148	0,558
T _{diff} Fuß prä und Infarktvolumen	-0,164	0,478
T _{diff} Wange prä und Infarktvolumen	0,308	0,163
T _{diff} Stirn prä und Infarktvolumen	0,069	0,759
T _{diff} Gesicht prä und Infarktvolumen	0,295	0,182
T _{diff} Hände prä und Infarktvolumen	-0,544	0,011*
T _{diff} Fuß post und Infarktvolumen	-0,191	0,478
T _{diff} Wange post und Infarktvolumen	0,385	0,115
T _{diff} Stirn post und Infarktvolumen	-0,140	0,580
T _{diff} Gesicht post und Infarktvolumen	0,304	0,221
T _{diff} Hände post und Infarktvolumen	-0,36	0,899

Tabelle 8: Berechnete Korrelationen zwischen Temperaturdifferenz und ASPECTS bzw. NIHSS mRS und Volumen (r= Korrelationskoeffizient; p= Signifikanz Wert; p* statistisch signifikant)

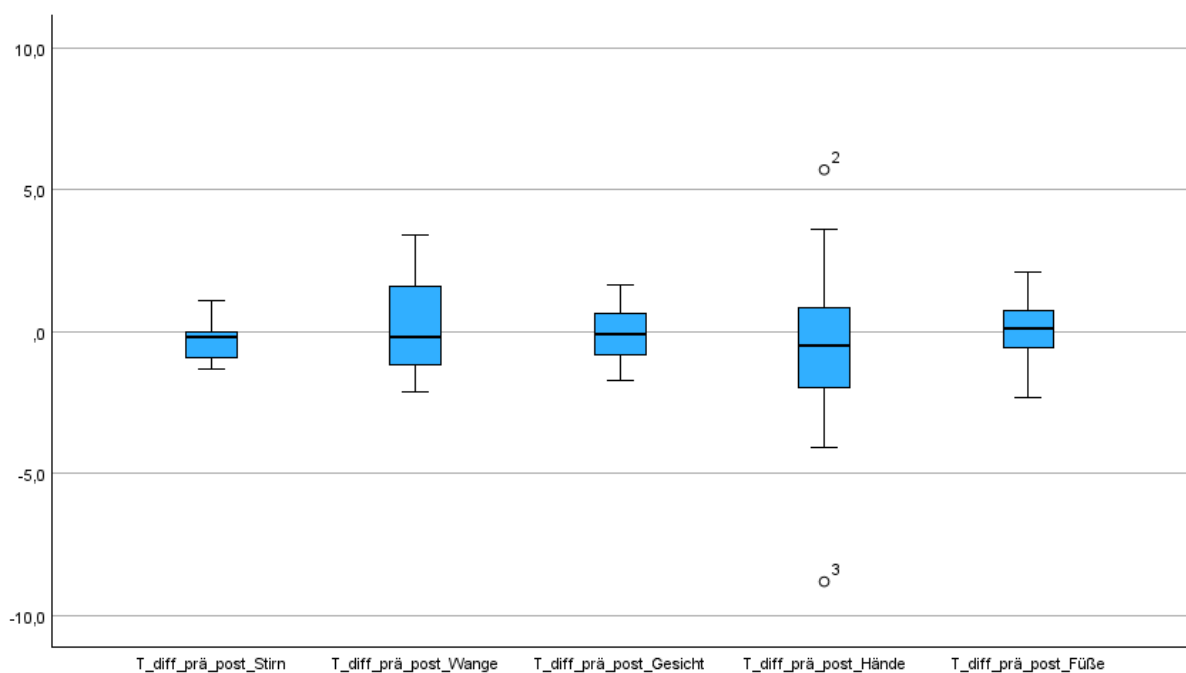


ABBILDUNG 12: VERTEILUNG T_{DIFF} PRÄ- UND POSTINTERVENTIONELL

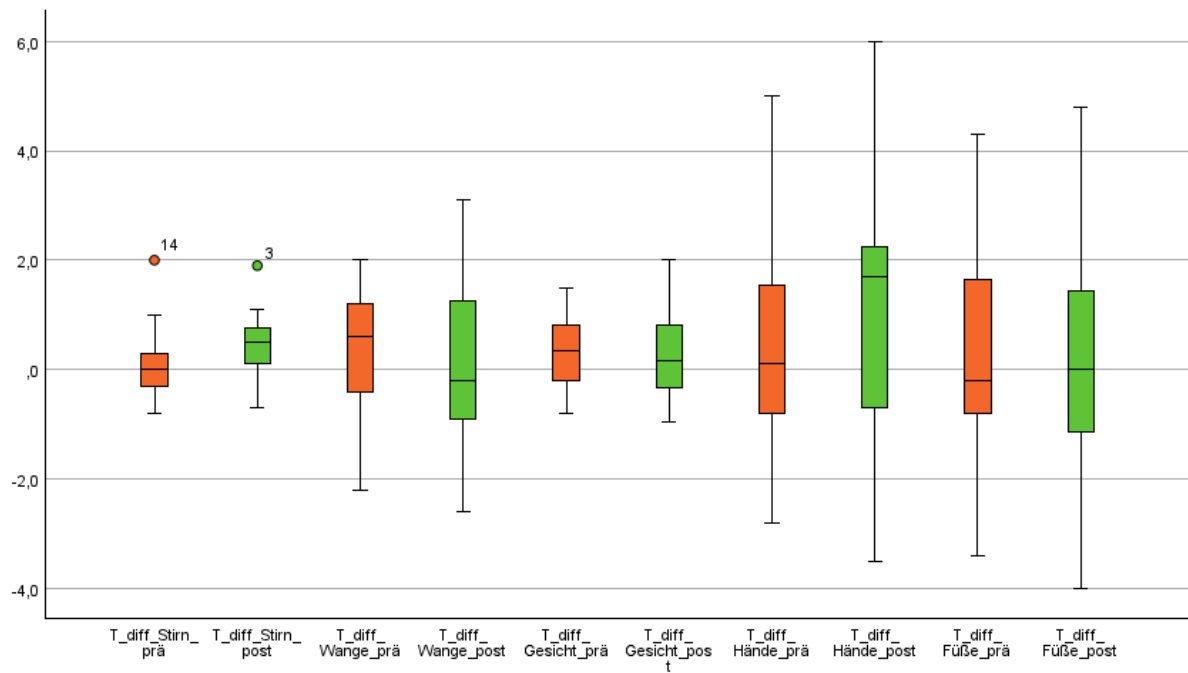


ABBILDUNG 13: VERTEILUNG DER TEMPERATURMESSWERTE PRÄ- UND POSTINTERVENTIONELL

Boxplot aus SPSS: Verteilung der Temperaturmesswerte prä- und postinterventionell im Vergleich. Präinterventionelle Werte in orange, postinterventionelle Werte in grün.

TABELLE 9: BERECHNETE KORRELATIONEN ZWISCHEN TEMPERATURDIFFERENZ PRÄ- UND POSTINTERVENTIONELL AN DEN VERSCHIEDENEN MESSSTELLEN UND ASPECTS BZW. NIHSS mRS UND VOLUMEN

Korrelation	r-Wert	p-Wert
T _{diff prä-post Stirn} und ASPECTS	0,103	0,666
T _{diff prä-post Stirn} und NIHSS	-0,307	0,176
T _{diff prä-post Stirn} und mRS	0,114	0,621
T _{diff prä-post Stirn} und Infarktvolumen	0,002	0,994
T _{diff prä-post Wange} und ASPECTS	-0,073	0,759
T _{diff prä-post Wange} und NIHSS	0,165	0,476
T _{diff prä-post Wange} und mRS	-0,030	0,897
T _{diff prä-post Wange} und Infarktvolumen	-0,333	0,176
T _{diff prä-post Gesicht} und ASPECTS	0,011	0,964
T _{diff prä-post Gesicht} und NIHSS	-0,033	0,888
T _{diff prä-post Gesicht} und mRS	0,083	0,720
T _{diff prä-post Gesicht} und Infarktvolumen	-0,269	0,280
T _{diff prä-post Hände} und ASPECTS	-0,451	0,091
T _{diff prä-post Hände} und NIHSS	0,046	0,870
T _{diff prä-post Hände} und mRS	-0,146	0,603
T _{diff prä-post Hände} und Infarktvolumen	-0,277	0,337
T _{diff prä-post Füße} und ASPECTS	-0,037	0,888
T _{diff prä-post Füße} und NIHSS	0,174	0,503
T _{diff prä-post Füße} und mRS	0,191	,462
T _{diff prä-post Füße} und Infarktvolumen	0,366	0,179

Tabelle 9: Berechnete Korrelationen zwischen Temperaturdifferenz prä- und postinterventionell an den verschiedenen Messstellen und ASPECTS bzw. NIHSS mRS und Volumen. (r= Korrelationskoeffizient; p= Signifikanz Wert; p* statistisch signifikant)

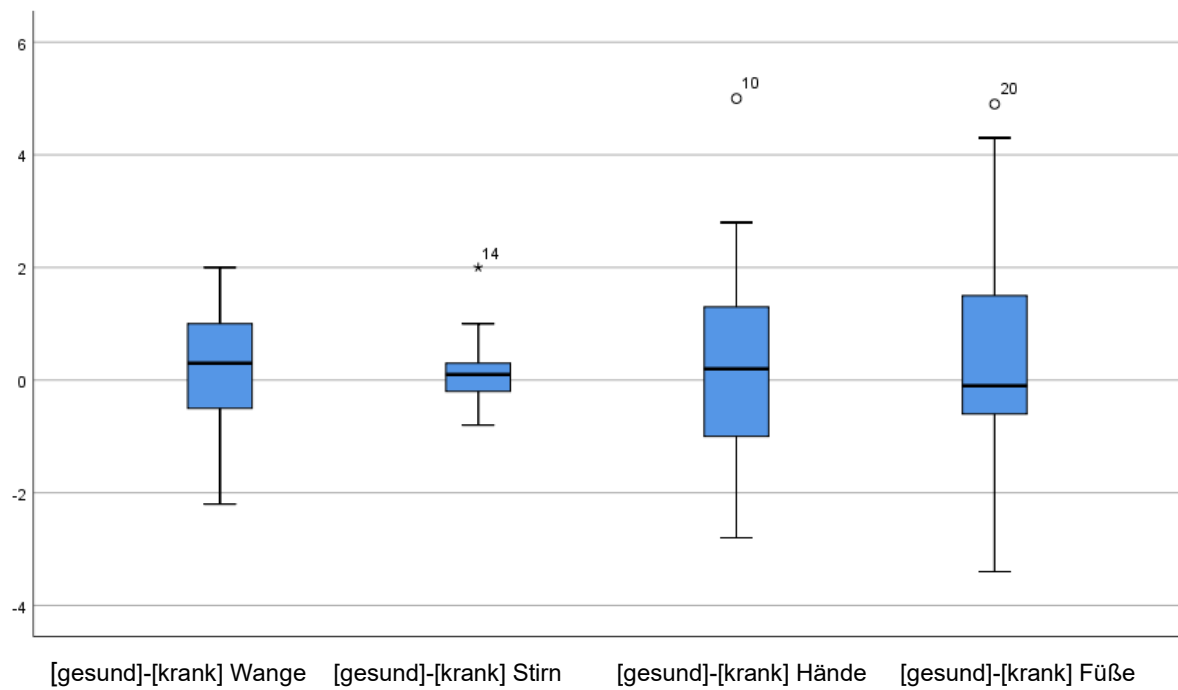


ABBILDUNG 14: VERTEILUNG DER TEMPERATURDIFFERENZEN PRÄINTERVENTIONELL

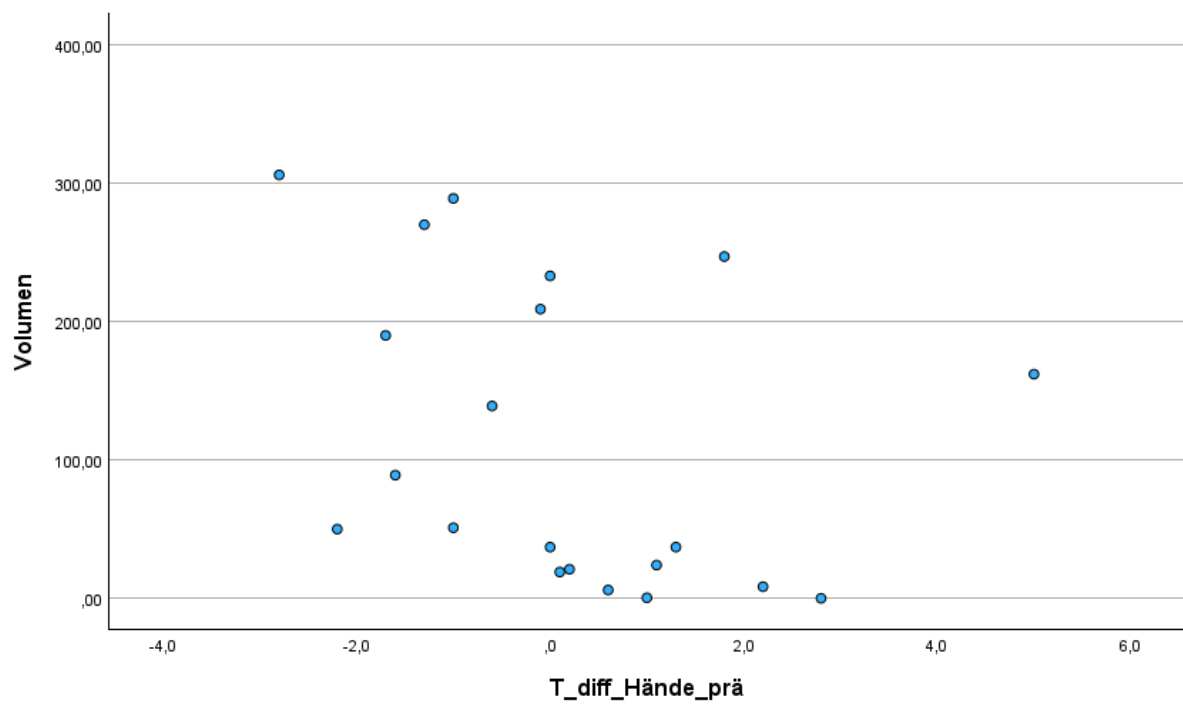


ABBILDUNG 15: KORRELATION INFARKTVOLUMEN U. TEMPERATURDIFFERENZ AN DEN HÄNDEN PRÄINTERVENTIONELL

2.4.4 ERGEBNISSE BILDGEBUNG

Von den eingeschlossenen Patienten war eine Volumetrie des finalen Infarktvolumens nur in 22 Fällen möglich. Bei einem Patienten ließ sich in der Verlaufsbildgebung kein Infarkt abgrenzen. Bei 3 Patienten konnte aufgrund einer Blutungskomplikation (2x Typ P2 nach ECASS und eine ausgeprägte SAB mit Ventrikeleinbruch (siehe Abbildung 7)) das finale Infarktvolumen nicht bestimmt werden. Einer dieser 3 Patienten verstarb am 2. Tag nach dem Schlaganfall. In einem Fall wurde der Patient unmittelbar nach Abschluss der Intervention in das zuweisende Krankenhaus zurückverlegt, so dass die Verlaufsbildgebung nicht zur Verfügung stand.

Bei den in die Volumetrie eingeschlossenen Patienten betrug das mittlere Infarktvolumen $125,3 \text{ cm}^3$ +/- SD: $119,3 \text{ cm}^3$; Min: 0 cm^3 ; Max: 369 cm^3 . Es zeigte sich eine signifikante Korrelation zwischen finalem Infarktvolumen und dem funktionellen Outcome (anhand mRS nach 90 Tagen; $r = 0,491$; $p = 0,02$).

Es zeigten sich jeweils keine signifikanten Korrelationen zwischen Infarktvolumen und Rekanalisationsergebnis ($r = -0,269$; $p = 0,226$), zwischen funktionellem Outcome (mRS 90) und Rekanalisationsergebnis ($r = -0,264$; $p = 0,193$) sowie zwischen finalem Infarktvolumen und ASPECTS-Score in der initialen Bildgebung ($r = -0,082$; $p = 0,717$).

III. DISKUSSION

Einige Patienten berichten nach einem ischämischen Schlaganfall von einem subjektiven Kältegefühl der betroffenen Körperseite. Ob diese Kälteempfindung mittels Thermographie darstellbar ist und ob das Ausmaß der Temperaturdifferenz von prognostischem oder diagnostischem Nutzen ist, war Thema der vorliegenden Arbeit.

3.1 GESAMTERGEBNIS

Es konnte gezeigt werden, dass die Smartphone-basierte Thermometrie mittels FLIR ONE im Vergleich zu kommerziell verfügbaren und auch deutlich teureren Infrarotsystemen bei den präklinischen Vergleichsmessungen ein vergleichbares und reliables Ergebnis liefert, vor allem hinsichtlich der Temperaturdifferenz. Die FLIR ONE erlaubt es damit, einen möglichen Unterschied der Körpertemperatur zwischen den beiden Körperseiten darzustellen. Ein Temperaturunterschied in der Thermographie könnte zur Diagnosestellung des Schlaganfalls beitragen. Allerdings war ein Temperaturunterschied zwischen den Seiten nicht immer feststellbar und es zeigte sich kein statistisch signifikanter Temperaturunterschied zwischen der kranken und gesunden Seite. Des Weiteren zeigte sich auch keine signifikante Korrelation zwischen den thermographischen Daten und dem Outcome nach 90 Tagen (mRS) oder der klinischen Schwere des Schlaganfalls (NIHSS). Klinische Untersuchung, Anamnese und bildgebende Untersuchungen stehen auch weiterhin im Vordergrund der Diagnostik.

3.2 VORTEILE DER THERMOGRAPHIE MIT FLIR ONE

Bedeutende Vorteile einer Thermographie mit FLIR ONE sind vor allem die einfache Bedienung des Geräts am angeschlossenen Smartphone via zugehörige App, welche auch ohne Einweisung für das Personal möglich ist, und der relativ günstige Preis der FLIR ONE. Darüber hinaus liefert die Kamera nicht nur ein thermographisches Bild. Vielmehr ist auch die Anzeige eines fusionierten Bilds mit dem gleichzeitig aufgenommenen Foto möglich, was die Darstellung und Auswertung der Temperaturunterschiede erleichtert. Des Weiteren ist die FLIR ONE im Vergleich zu anderen Thermographiesystemen deutlich kleiner und somit auch eher für den Einsatz zu diagnostischen Zwecken z.B. in der Notaufnahme geeignet. Allerdings kann die FLIR ONE ausschließlich gekoppelt an ein Smartphone betrieben werden, was bei Verwendung eines beliebigen Smartphones zu Problemen hinsichtlich der Sicherheit der Daten führen könnte. Deshalb wurde in der vorliegenden Untersuchung ein iPhone 6s ohne SIM-Karte und ohne Verbindung zum Internet genutzt.

In der vorliegenden Arbeit konnte gezeigt werden, dass die FLIR ONE vergleichbare Messwerte wie andere am Markt erhältliche Infrarotmessgeräte liefert und dass die mit Infrarot-Technik gemessenen Temperaturen etwas über den mit einem faseroptischen Gerät ermittelten Referenzwerten lagen. Das Problem einer leichten Überschätzung der absoluten Temperaturwerte betrifft allerdings alle verglichenen Geräte. Diese Überschätzung der Temperaturwerte könnte gegebenenfalls dadurch korrigiert werden, dass bei jeder Aufnahme ein Gegenstand mit bekannter Oberflächentemperatur (zum Beispiel durch faseroptische Messung ermittelt) und bekanntem Emissionsgrad mit aufgenommen wird. Eine solche Vergleichsmessung war allerdings in der vorliegenden Studie aufgrund der unverzüglich nötigen Therapie nicht umsetzbar. Den Abweichungen der gemessenen Temperatur von der Referenztemperatur kann grundsätzlich durch gleichzeitiges Aufnehmen beider Körperseiten auf einem Bild und folgende Differenzberechnung begegnet werden. Auch das konnte leider nicht bei allen Studienpatienten umgesetzt werden. Auch geringfügige Abweichungen im Versuchsaufbau, z.B. Abweichungen des Messabstands und -winkels können die für eine Körperstelle gemessene Temperatur beeinflussen. Abgesehen von diesen Problemen bei der praktischen Durchführung der Studie erscheint die FLIR ONE grundsätzlich als sehr geeignetes System, um einen Temperaturunterschied aufzudecken. Nach Herstellerangaben kann die FLIR ONE (Gen. 2) Temperaturunterschiede von nur $0,1^{\circ}\text{C}$ erfassen [41]. Die FLIR ONE stellt also ein für eine Akutsituation wie die Behandlung des Schlaganfalls praktikables, zeiteffektives und ausreichend genaues Verfahren zur Messung von Temperaturunterschieden dar.

3.3 KEINE SIGNIFIKANTEN TEMPERATURUNTERSCHIEDE ZWISCHEN BETROFFENER UND NICHT-BETROFFENER KÖRPERHÄLFTE

Es zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen betroffener und nichtbetroffener Körperhälfte hinsichtlich der Körpertemperatur. Zwar war im Mittel die betroffene Körperseite an den verschiedenen Messstellen kälter als die Gegenseite. Dieser Unterschied war aber nicht signifikant.

Die Temperaturen auf der betroffenen Seite waren im Mittel an den Wangen um $0,2^{\circ}\text{C}$, an der Stirn um $0,1^{\circ}\text{C}$, an den Händen um $0,4^{\circ}\text{C}$ und an den Füßen um $0,4^{\circ}\text{C}$ niedriger als auf der nichtbetroffenen Seite.

Angelehnt an Takahashi et al., die ebenfalls thermographische Aufnahmen einer Infrarotkamera der Firma FLIR nutzten, um die Temperaturasymmetrie der Körpertemperatur beim akuten Wallenberg-Syndrom zu untersuchen, wurde ein Schwellenwert für die Temperaturdifferenz von $0,5^{\circ}\text{C}$ zwischen den beiden Seiten definiert [36] und untersucht an wie vielen der Messstellen die betroffene Seite um mehr als $0,5^{\circ}\text{C}$ kälter war als die nichtbetroffene.

Bei der Mehrzahl der untersuchten 26 Patienten war die betroffene Seite nicht um mehr als $0,5^{\circ}\text{C}$ kälter als die Gegenseite. Zum Teil wurde eine Temperaturdifferenz im Bereich von $[0 \pm 0,5^{\circ}\text{C}]$ oder gar eine Temperaturdifferenz von weniger als $-0,5^{\circ}\text{C}$ gemessen, also, entgegen der Hypothese, eine kältere nichtbetroffene Seite (siehe Tabelle 10 im Anhang).

Auch die an Takahashi et al. angelehnte Auswertung der thermographischen Aufnahmen zeigte, dass nur bei wenigen Patienten die betroffene Seite um mehr als $0,5^{\circ}\text{C}$ kälter war als die gesunde Seite. Bei der Mehrzahl der Patienten zeigte sich nur eine geringfügige Temperaturdifferenz oder sogar eine kältere nichtbetroffene Seite. Die vorliegenden Daten lassen also vermuten, dass es zwar bei Schlaganfällen des vorderen Kreislaufs zu Störungen der Temperaturregulation kommen kann. Die Hypothese, dass die betroffene Seite kälter ist als die nichtbetroffene Seite, bestätigte sich aber bei der Mehrzahl der untersuchten Patienten nicht. Hierzu ist aber anzumerken, dass die Auswertung der thermographischen Daten in der Studie von Takahashi et al. zum Wallenberg-Syndrom im Mittel nach 3,6 Tagen (1-9 Tagen) nach dem Ereignis erfolgte, in der vorliegenden Arbeit hingegen ausschließlich am Tag des Ereignisses unmittelbar nach der Intervention.

Eine weitere Limitation der vorliegenden Studie ist, dass weitere Einflussfaktoren auf die periphere Durchblutung, wie zum Beispiel das Vorliegen einer PAVK oder eine zu einer Kreislaufzentralisation führende Medikation, nicht ausgeschlossen wurden. Das könnte die Temperaturwerte beeinflusst haben.

Bei 10 Patienten wurde eine faziale Parese dokumentiert, bei den übrigen 16 Patienten hingegen nicht. Zwischen der Gruppe der Patienten mit fazialer Parese und der Gruppe der Patienten ohne eine solche Parese zeigte sich kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der gemessenen Temperaturdifferenz im Gesicht ($p_{\text{Wange}} = 0,299$; $p_{\text{Stirn}} = 0,277$) (siehe Tabelle 8 im Anhang).

3.4 VERGLEICH MIT ÄHNLICHEN STUDIEN IN DER LITERATUR ZU TEMPERATURUNTERSCHIEDEN BEI SCHLAGANFÄLLEN

Das Ergebnis der vorliegenden Untersuchung, dass sich die betroffene Seite kälter darstellt als die nicht betroffene Seite, allerdings ohne signifikanten Temperaturunterschied, entspricht grundsätzlich den Ergebnissen ähnlicher Studien in der Literatur:

Alfieri et al. untersuchten ebenfalls die Körpertemperatur von Patienten mit Schlaganfall und von gesunden Probanden mittels IR-Thermometrie. Bei gesunden Probanden konnten sie keine Temperaturdifferenz feststellen. Bei den Patienten nach Schlaganfall stellte sich die betroffene Seite nur an den Füßen als kälter dar [49].

Korpelainen et al. berichteten, dass die betroffene Seite (kontralateral zum Gefäßverschluss) kälter war als die nichtbetroffene (Stirn um $0,2^{\circ}\text{C}$; Füße um $0,7^{\circ}\text{C}$) [40]. Diese Studie wurde

allerdings mit einem Kontaktthermometer und nicht mit IR-Thermometrie durchgeführt. Andere Untersuchungen zum Temperaturunterschied zwischen der betroffenen und der nichtbetroffenen Seite lieferten widersprüchliche Ergebnisse [38].

Auch wenn in der vorliegenden Arbeit kein signifikanter Unterschied der Temperaturen zwischen beiden Körperseiten festgestellt werden konnte, deuten doch vor allem die gemessenen Differenzen an den Füßen darauf hin, dass die betroffene Körperseite kühler ist als die nichtbetroffene Seite.

3.5 KEINE KORRELATION ZWISCHEN TEMPERATURUNTERSCHIED UND SCHWEREGRAD DES SCHLAGANFALLS

Die thermographischen Daten erlauben keine Rückschlüsse auf die Schwere des Schlaganfalls und sie korrelieren auch nicht mit der Größe des Infarktvolumens. Lediglich die Temperaturdifferenz an den Händen präinterventionell korrelierte invers mit dem Infarktvolumen. Somit korrelierte in der untersuchten Stichprobe eine verhältnismäßig wärmere kranke Hand (also negative T_{diff}) mit einem größeren Schlaganfall, wobei nur eine mittlere Korrelation vorlag. Für die anderen Messpunkte vor und nach Intervention zeigte sich keine signifikante Korrelation. Dabei ist aber zu beachten, dass das Infarktvolumen danach noch durch die medikamentöse und endovaskuläre Therapie beeinflusst werden konnte.

3.6 KEINE KORRELATION ZWISCHEN TEMPERATURUNTERSCHIED UND OUTCOME

Auch ließ sich keine Korrelation des Temperaturunterschieds mit einem guten klinischen Ergebnis nach erfolgreicher Rekanalisation feststellen. Auch die erneuten thermographischen Aufnahmen direkt nach der Therapie zeigten keine signifikante Veränderung der Temperaturasymmetrie. Auch hier ist aber nicht auszuschließen, dass sich eventuelle Veränderungen der Oberflächentemperatur aufgrund der erst verzögert einsetzenden vegetativen Veränderung erst später manifestieren würden. Die mittels Thermographie gemessenen Temperaturunterschiede eignen sich mithin nicht zur Prädiktion des Outcomes oder zur klinischen Bestätigung des Interventionserfolgs.

Für das untersuchte Kollektiv konnte gezeigt werden, dass die Größe des Infarktes mit dem funktionellen Outcome korreliert. Die Thermographie kann allerdings nicht genutzt werden, um Aussagen über das Outcome zu treffen. Denn ein mittels Thermographie festgestellter Temperaturunterschied korreliert nur in Einzelfällen mit der Infarktgröße. Ein Temperaturunterschied der Körperhälften ist vielmehr nur ein weiterer ergänzender diagnostischer Hinweis dafür, dass überhaupt ein Schlaganfall vorliegt, der einfach und in kurzer Zeit erhoben werden kann. Vor allem bei Schlaganfällen mit wenig beeinträchtigenden neurologischen Defiziten und

atypischer oder nicht möglicher Anamnese (z.B. aufgrund von Sprachbarrieren) könnte die Thermographie eine Hilfe zur Diagnose darstellen; ähnlich wie dies für die mitunter schwierige Diagnosestellung des akuten Wallenberg-Syndroms (nach lateralem Infarkt der Medulla Ob-longata) von Takahashi et al. gezeigt werden konnte [36].

3.7 ERKLÄRUNGSANSÄTZE FÜR NEGATIVE BEFUNDE ZUR KORRELATION

Eventuell könnte die fehlende Korrelation der thermographischen Daten mit der klinischen Schwere des Schlaganfalls und des Outcomes durch die, der unverzüglich nötigen Therapie geschuldete, mangelnde Standardisierung der Aufnahmen mitverursacht worden sein. Auch wenn versucht wurde, ein maximales Maß an Standardisierung zu erreichen, gab es durch die je nach Patienten in unterschiedlichem Maße notwendigen begleitenden intensiv-medizinischen Maßnahmen unterschiedlich starke Einschränkungen des Sichtfeldes für die Kamera. Eine Verbesserung der Standardisierung wäre z.B. durch vordefinierte Abstandshalter, welche mittels 3D-Druckverfahren hergestellt werden können, möglich. Die Verfügbarkeit von 3D-Drucksystemen für den nicht-kommerziellen Gebrauch hat sich aber erst nach Abschluss der Studie zunehmend entwickelt. Darüber hinaus ist zu diskutieren, dass die Thermometrie im Vergleich zu anderen Studien recht frühzeitig nach Symptombeginn durchgeführt wurde, weshalb sich die Temperaturasymmetrie noch nicht vollständig entwickeln konnte. Bei den wenigen anderen Studien zur Temperaturasymmetrie nach Schlaganfallereignissen wurden die Temperaturen meist später im Verlauf erhoben. So erfolgte in der vorliegenden Arbeit die Thermographie (für die Patienten mit bekanntem Symptombeginn) im Mittel 4h nach Symptombeginn, wohingegen z.B. bei Takahashi et al. die Thermographie im Mittel nach 3,6 Tagen (Min-Max: 1-9 Tage) oder bei Korpelainen et al. die Temperaturmessung nach medianen vier Tagen (1-7 Tage) erfolgte [36, 40]. Eventuell ist zu einem relativ frühen Zeitpunkt eine Temperaturasymmetrie noch nicht vollständig ausgebildet, da sich die Veränderungen des vegetativen Systems möglicherweise erst mit Verzögerung zu den mittels NIHSS erfassten Symptomen manifestiert. So sind in anderen Studien u.a. Veränderungen der Herzfrequenzvariabilität, Blutdruckvariabilität, eine Hyperhidrosis und Temperaturabweichungen der betroffenen Seite in den ersten Tagen bis Wochen nach Schlaganfällen beschrieben worden, wobei dort keine Messungen in den ersten Stunden nach dem Ereignis durchgeführt wurden. Auch dass die Größe des Infarktgebiets nicht mit den thermographischen Daten aus der Akutsituation korreliert, könnte auf die Messung relativ kurz nach einem Schlaganfall zurückzuführen sein. Darüber hinaus scheint auch die Lokalisation des Infarktes neben der Infarktgröße relevant für die Beeinflussung des vegetativen Systems zu sein. So wurden signifikante vegetative Veränderungen v.a. bei Mitbeteiligung der Insula und des Frontal- und Parietallappens beschrieben.

3.8 AUSWIRKUNGEN DES ALTERS DER UNTERSUCHTEN PATIENTEN

Das mittlere Alter der untersuchten Patienten lag im Mittel bei 79,1 Jahren. Zwar zeigte sich bei den behandelten Patienten mit einem Alter von über 80 Jahren häufiger ein schlechtes Outcome nach 90 Tagen (mRS >2) als bei den Patienten zwischen 70 und 80 Jahren (93 % vs. 73 %). Aber auch bei den 2 behandelten Patienten unter 70 Jahren kam es zu einem schlechten Outcome. Ein Alter über 80 Jahre sollte aber kein Grund gegen eine endovaskuläre Thrombektomie sein, da sie auch bei dieser Altersgruppe der konservativen Therapie noch überlegen ist [50]. „Obwohl das Alter den Effekt der Behandlung nicht verändert, stellt es doch einen unabhängigen und starken Prädiktor für das finale Outcome dar [Übersetzt]“ [50].

Bei einem der beiden unter 70 Jahre alten Patienten kam es im Verlauf zu einer intracerebralen Blutung und der Verschluss der ACI konnte nur mit einem mTICI 2a Ergebnis rekanalisiert werden. Darüber hinaus war die Zeit seit Symptombeginn unbekannt, da es sich um einen „wake-up stroke“ handelte. Der andere der beiden Patienten hatte bereits präinterventionell den zweithöchsten NIHSS Score unter den untersuchten Patienten. Trotz erfolgreicher (mTICI 3) Rekanalisation des vorliegenden M1 Verschlusses und einem relativ kleinen Infarktvolumen (von 37 cm³) konnte nur ein mRS von 3 nach 90 Tagen erzielt werden. Beide Patienten erhielten keine vorherige systemische Lysetherapie, was zu den vergleichsweise schlechten Outcomes (mRS 6 bzw. 3 nach 90 Tagen) beigetragen haben könnte.

Der mediane NIHSS lag vor Intervention bei 13. In den 5 großen Studien zur Thrombektomie des Jahres 2015 lag er in den Interventionsgruppen im Mittel bei 17, jedoch konnte auch für den NIHSS Bereich von 11-15 (vor Intervention) die Überlegenheit der zusätzlichen endovaskulären Therapie gezeigt werden [50]. Allerdings waren höheres Alter und höherer NIHSS vor Intervention positiv korreliert mit einem höheren mRS Score nach 90 Tagen [50]. Hier könnte vor allem das höhere mittlere Alter (79,1 Jahre) zu den beobachteten, eher schlechten funktionellen Outcomes beigetragen haben (medianer mRS nach 90 Tagen = 4; 11 Patienten mit mRS = 6).

3.9 EINFLUSS EINER SYSTEMISCHEN LYSE THERAPIE

Nur 69 % der Patienten erhielten rtPA i.v. vor der mechanischen Thrombektomie, da bei den anderen Patienten Gründe oder Kontraindikationen gegen eine systemische Lyse vorlagen. Die häufigsten Gründe gegen eine systemische Lysetherapie sind: unbekannte Zeit des Symptombeginns (z.B. „wake-up stroke“), zu großer Zeitraum nach Symptombeginn und Kontraindikationen gegen eine systemische Lysetherapie wie Antikoagulation und Schlaganfall, Ope-

ration oder Blutungsereignisse in letzter Zeit. Ob eine, der mechanischen Thrombektomie vorausgehende, systemische Lysetherapie die Ergebnisse nach mechanischer Thrombektomie verbessert, ist aktuell unklar.

In der vorliegenden Studie konnte bei keinem der Patienten, die zuvor keine systemische Lysetherapie erhielten, ein gutes Outcome erzielt werden. Ein gutes Outcome trat hingegen bei 3 Patienten mit Lysetherapie ein.

Weber et. al haben in einer retrospektiven Analyse 283 Patienten untersucht, welche mit mechanischer Thrombektomie mit oder ohne vorausgehende systemische Lysetherapie behandelt wurden [51]. Sie konnten keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Rekanalisationsergebnisse, dem Auftreten von Komplikationsereignissen und dem langfristigen funktionellen Outcome zwischen Patienten feststellen, welche mit systemischer Lysetherapie und mechanischer Thrombektomie oder nur mit mechanischer Thrombektomie behandelt wurden [51]. Des Weiteren haben sie innerhalb der Patientengruppe, die keine systemische Lysetherapie erhielt, auch Patienten ohne Kontraindikationen gegen die systemische Lysetherapie untersucht. Hierbei zeigte sich, dass das funktionelle Outcome bei Patienten ohne Kontraindikationen gegen die systemische Lysetherapie, trotz ähnlicher Rekanalisationsraten und Komplikationshäufigkeiten, signifikant besser war, als bei den Patienten mit Kontraindikationen gegen die systemische Lysetherapie [51]. Für die Patientengruppe mit Kontraindikationen gegen die systemische Lysetherapie ist die mechanische Thrombektomie allerdings die einzige akuttherapeutische Möglichkeit. Die alleinige mechanische Thrombektomie hat sich in der Studie von Weber et al. als sichere Behandlungsmethode gezeigt, welche bei einem Drittel der Patienten mit Kontraindikationen zu einem guten funktionellen Outcome geführt hat [51].

Drei kleinere Studien kommen hingegen zu dem Ergebnis, dass eine vorausgehende systemische Lysetherapie die mechanische Thrombektomie erleichtert [52–54].

Ob eine vorausgehende systemische Lysetherapie die mechanische Thrombektomie erleichtert oder nicht, ist nicht abschließend geklärt. Jedoch eignen sich nicht alle Patienten für die mechanische Thrombektomie. Zudem ist die mechanische Thrombektomie häufig auch nur an speziellen Zentren verfügbar. Deshalb ist die unverzügliche systemische Lysetherapie oftmals die Basis der akuten Therapie des Schlaganfalls. Eine Thrombektomie kann bei geeigneten Patienten zusätzlich eingesetzt werden. Die mechanische Thrombektomie ist sowohl mit als auch ohne vorhergehende systemische Lysetherapie ein sicheres und effektives Therapieverfahren.

3.10 EINFLUSS VON SEDIERUNGEN

In der Akutphase des Schlaganfallereignisses zeigen Patienten häufig Spontanbewegungen, Sprachverständnisstörungen und eine allgemeine psychomotorische Unruhe, was den Erfolg der Intervention beeinflussen kann. Deswegen ist häufig eine Sedierung des Patienten nötig [55]. Das kann durch Intubationsnarkose mit Beatmung oder durch oberflächliche Sedierung des weiterhin spontan atmenden Patienten („conscious sedation“) geschehen. Ob die Thrombektomie besser in Narkose oder in Sedierung stattfinden sollte, ist Bestandteil gegenwärtiger Forschung. In der vorliegenden Studie wurden 9 (35 %) Interventionen in Narkose durchgeführt. Nur bei einem Patienten davon konnte ein gutes Outcome erzielt werden. Die Häufigkeiten in der Gruppe mit gutem Outcome ($mRS \leq 2$) unterschieden sich hinsichtlich Narkose oder Sedierung aber nicht signifikant. Für die Durchführung der Intervention in oberflächlicher Sedierung spricht unter anderem, dass dadurch Komplikationen wie respiratorassoziierte Infekte, Blutdruckschwankungen und ARDS („acute respiratory distress syndrome“) vermieden werden können und zudem die Intervention schneller erfolgen kann als bei Eingriffen in Intubationsnarkose [55].

Eine Post-hoc-Analyse der MR-Clean-Studie [56] zeigte deutlich bessere Ergebnisse bei Eingriffen in oberflächlicher Sedierung. Allerdings ist die Aussagekraft dieser Analyse aufgrund des post-hoc-Ansatzes eingeschränkt, da die Vollnarkose häufig eher bei instabileren Patienten angewendet wird. Prospektive randomisierte Studien zu diesem Thema aus Schweden (ANSTROKE) [57] und Heidelberg (SIESTA) [58] ergaben nicht, dass eine Sedierungsstrategie überlegen ist. Hingegen zeigte eine dänische Studie (GOLIATH) [59] bessere Outcomes in der Narkose-Gruppe. Eine Metaanalyse der Daten von GOLIATH, SIESTA und ANSTROKE zeigte bessere Outcomes bei Patienten, welche unter Narkose behandelt wurden. Ferner konnten nach dieser Metaanalyse in der Narkose-Gruppe häufiger bessere Rekanalisationsergebnisse erzielt werden. Hinsichtlich der Mortalität zeigten sich allerdings keine signifikanten Unterschiede [60].

Demgegenüber stehen Metaanalysen, welche vor allem retrospektive, nicht randomisierte Studien einbeziehen. Solche Studien zeigten, dass bei Interventionen in oberflächlicher Sedierung verglichen mit Eingriffen in Narkose häufiger ein gutes funktionelles Outcome und eine niedrigere Mortalität erzielt werden konnte [61].

Auch Campbell et al. beobachteten in einer Metaanalyse signifikant bessere Outcomes nach oberflächlicher Sedierung als nach Narkose. Ihre Daten legen nahe, wenn möglich, auf eine Narkose zu verzichten. Patienten, welche aus anderen Gründen narkotisiert werden müssen, sollte nach Campbell et al. aber nicht die Möglichkeit einer endovaskulären Therapie vorenthalten werden, da diese auch in dieser Patientengruppe der alleinigen systemischen Therapie

überlegen sei [62]. Zusammenfassend lässt sich also sagen, dass die Datenlage zur Sedierungsstrategie widersprüchlich ist.

3.11 EINFLUSS DER VOM SCHLAGANFALL BETROFFENEN BEREICHE

12 Patienten (46 %) hatten einen rechtsseitigen und 14 (54 %) einen linksseitigen Gefäßverschluss. Ein gutes funktionelles Outcome konnte bei den Patienten mit linksseitigem Verschluss etwas seltener erzielt werden als bei Patienten mit rechtsseitigen Verschlüssen (14,7 % vs. 16,3 %).

Rosso et al haben 405 Patienten mit Schlaganfall untersucht, die endovaskulär behandelt wurden. Dabei konnten sie zeigen, dass es hinsichtlich des funktionellen Outcomes (gemessen als mRS nach 90 Tagen) keinen Unterschied zwischen rechts- und linksseitigen Infarkten gibt. Allerdings zeigten sich Unterschiede beim NIHSS bei Aufnahme und NIHSS nach 24 Stunden [63]. Die unterschiedlichen Werte beim NIHSS könnten darin begründet sein, dass die NIHSS-Skala die Schwere eines Infarktes für die rechte und die linke Seite unterschiedlich misst. So werden 7 Punkte für Aphasie und nur 2 Punkte für Neglect (v.a. bei Infarkten der nicht-dominanten Hemisphäre - meist rechts) vergeben.

Ein gutes funktionelles Outcome erreichten 20 % der Patienten mit M1 Verschluss (3 Patienten) und 20 % der Patienten mit M2 Verschluss (1 Patient). Die untersuchten sechs Patienten mit einem Verschluss im Bereich der ACI oder des Carotis T konnten kein gutes Outcome erzielen. Insgesamt konnten nur 4 Patienten (15,4 %) ein gutes Outcome ($mRS \leq 2$) erzielen, wohingegen 22 Patienten (84,6 %) ein schlechtes Outcome erzielten ($mRS > 2$). Die Häufigkeiten der Patienten mit Gefäßverschlüssen in den verschiedenen Bereichen unterschieden sich hinsichtlich eines guten Outcomes nicht signifikant.

Zumeist wurden in den Studien zur mechanischen Thrombektomie Gefäßverschlüsse im Bereich der ACI oder dem M1-Segment der ACM (Abschnitt zwischen Carotis-T und Mediaaufzweigung) behandelt. In den 5 großen Studien zur mechanischen Thrombektomie fanden sich nur 51 Patienten mit einem M2-Segment Gefäßverschluss (distal des M1-Segments [50]). In der vorliegenden Studie wurden 5 Patienten mit Gefäßverschlüssen im Bereich des M2-Segments behandelt.

Verschlüsse im M2-Segment sind nach Coutinho et al. gut behandelbar. Bezüglich der Häufigkeit von Komplikationen und den Rekanalisationsraten und Rekanalisationszeiten zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zu proximalen Verschlüssen [64].

Eine retrospektive Studie aus den USA, welche 522 Patienten mit Verschlüssen im M2-Segment untersucht hat, von denen 288 interventionell behandelt wurden, kommt zu dem Ergebnis, dass eine dreifach höhere Odds Ratio für ein gutes funktionelles Outcome nach 3 Monaten

zugunsten der Intervention im Vergleich zur konservativen Therapie besteht [65]. Eine prospektive Studie zur Behandlung von Gefäßverschlüssen im M2-Segment fehlt bislang noch. Auch eine Metaanalyse aus den USA, welche 12 Studien mit insgesamt 1080 Patienten mit endovaskulär behandeltem M2-Verschluss untersucht hat, kommt zu dem Schluss, dass die mechanische Thrombektomie bei Verschlüssen im M2-Segment eine sichere und gute Behandlungsmöglichkeit darstellt [66]. Rekanalisationsraten und -zeiten bei M2-Verschlüssen waren ähnlich wie bei M1-Verschlüssen. Der Anteil mit gutem funktionellen Outcome war sogar signifikant höher als bei M1-Verschlüssen. Hinsichtlich der Mortalität gab es keine signifikanten Unterschiede. Allerdings kam es bei M2-Verschlüssen häufiger zu symptomatischen intrakraniellen Blutungen als bei M1- Interventionen [66].

Auch Compagne et al., welche 244 Patienten mit M2-Verschluss mit 759 Patienten mit M1-Verschluss verglichen haben, kamen zu dem Ergebnis, dass Outcome und Komplikationshäufigkeit bei Interventionen im M2-Segment ähnlich ausfallen wie bei Interventionen im M1-Segment [67].

Eine Metaanalyse individueller Patientendaten der fünf bedeutenden Thrombektomie-Studien des Jahres 2015 analysierte insgesamt 1287 Patienten und zeigte, dass in diesen Studien vor allem Gefäßverschlüsse im M1-Segment (439 Patienten; 69 %) interventionell behandelt wurden, aber auch viele Patienten mit Verschluss im Bereich der ACI (133; 21 %) und nur wenige Patienten mit M2-Verschluss (51; 8 %) [50]. Um Aussagen über den Einsatz der mechanischen Thrombektomie bei M2-Verschlüssen anhand dieser Studiendaten treffen zu können, war die Patientenzahl zu gering. Hingegen konnte die Überlegenheit der endovaskulären Therapie gegenüber der konservativen Therapie bei Verschlüssen im Bereich der ACI und des M1-Segments der ACM gezeigt werden [50].

Es bestehen allerdings verschiedenen Definitionen des M2-Segments, was die Vergleichbarkeit von Studien zu diesem Thema erschwert [66]. Nach einer häufig verwendeten Definition beginnt das M2-Segment an der Bifurkation der ACM (Genu der ACM), wenn die ACM eine Biegung in der sylvischen Fissur vollzieht. Eine andere Definition bezeichnet postbifurkationale Abgänge der M1 als M2-Segment [66].

Die vorliegenden Daten aus den verschiedenen retrospektiven Studien weisen darauf hin, dass auch Verschlüsse im M2-Segment der ACM sicher und effektiv behandelbar sind und dass sich das Outcome und die Komplikationshäufigkeit nicht von Verschlüssen des M1-Segments unterscheidet.

3.12 EINFLUSS EINER GUTEN REKANALISATION AUF DAS OUTCOME INSGESAMT

Ein gutes Rekanalisationsergebnis (TICI 2b oder 3) konnte bei 79 % der behandelten Patienten in der vorliegenden Untersuchung erreicht werden. Das ist ein vergleichsweise guter Wert. Bei einer Metaanalyse der Patientendaten der 5 großen randomisierten Studien des Jahres 2015 zur endovaskulären Therapie (bei denen auch vor allem Stent Retriever genutzt wurden) lag dieser Wert bei 71 % [50]. Nur bei 2 Patienten konnte keine Rekanalisation erreicht werden, bei 5 Patienten nur eine mTICI 2a Rekanalisation. Allerdings zeigte sich im untersuchten Kollektiv keine signifikante Korrelation zwischen Rekanalisationsergebnis nach mTICI und dem funktionellen Outcome. Dies steht im Widerspruch zur Literatur, nach der ein gutes Rekanalisationsergebnis mit einem guten Outcome assoziiert ist und eine Reperfusion von mindestens 50 % des Stromgebiets (mTICI 2b oder 3) einen Prädiktor für ein gutes Outcome darstellt [68–70]. Allerdings berichten auch Kaschka et al. von einer Subgruppe (23,5 %) der Patienten, bei welchen trotz guten Rekanalisationsergebnissen kein gutes Outcome erzielt werden konnte. Dies führen die Autoren auf die in dieser Gruppe deutlich längere Zeit bis zu Rekanalisation zurück. Das spricht dafür, dass auch bei technisch erfolgreicher Rekanalisation das Erzielen eines guten Outcomes zeitabhängig ist [70]. In der vorliegenden Studie waren viele Patienten mit unklarem Symptombeginn oder „wake-up stroke“ (n = 15) eingeschlossen. Bei den Patienten mit bekanntem Symptombeginn lagen im Mittel 4 Stunden (Min: 3,5h; Max: 5,7h) zwischen Symptombeginn und Rekanalisation. Neben der großen Zahl an Patienten mit unklarem Symptombeginn oder länger zurückliegendem Symptombeginn könnte auch das vergleichsweise hohe mittlere Alter der untersuchten Patienten zu den schlechten Outcomes trotz guter Rekanalisation beigetragen haben.

Des Weiteren zeigte sich trotz vorhandener SOP für die Durchführung der interventionellen Schlaganfalltherapie eine hohe Bandbreite an verwendeten Techniken und eine geringe Standardisierung. So oblag zum Beispiel die Wahl des Thrombektomiesystems und die Verwendung einer proximalen Ballonokklusion der Entscheidung des Interventionalisten.

Bei 10 Patienten (39 %) kam es im Verlauf zu intrakraniellen Blutungen. Hierbei sind auch asymptomatische Befunde in der Verlaufsbildgebung miterfasst, was den Vergleich mit der Literatur erschwert. Patienten, welche im Verlauf keine Blutung aufwiesen, erzielten zu 26,7 % ein gutes Outcome. Von den Patienten mit Blutung im Verlauf konnte keiner ein gutes Outcome erzielen. Das weist darauf hin, dass im Verlauf auftretende intrakranielle Blutungen einen bedeutenden Faktor für das Outcome darstellen.

Nur 4 Patienten (15,4 %) konnten nach 90 Tagen ein gutes funktionelles Outcome (mRS $\leq$ 2) erreichen. Dies liegt deutlich unter den Ergebnissen in den Interventionsgruppen der großen Thrombektomiestudien aus dem Jahr 2015; dort erreichten 46 % ein gutes Outcome.

Unter den Patienten mit einem proximalen Gefäßverschluss des vorderen Kreislaufs erlangten trotz systemischer Therapie 60-80 % der Patienten ihre funktionelle Selbstständigkeit nicht mehr wieder oder starben innerhalb von 90 Tagen nach dem Schlaganfallereignis [17, 22]. Das vergleichsweise relativ hohe mittlere Alter (79,1 Jahre) der Patienten könnte zum vorliegenden schlechten Outcome (medianer mRS nach 90 Tagen: 4; 11 Patienten (42 %) verstorben) beigetragen haben. Denn ein hohes Alter ist ein Prädiktor für das Outcome [50]. Des Weiteren könnte zum schlechten funktionellen Outcome auch beigetragen haben, dass das mittlere Infarktvolumen mit 125 cm³ vergleichsweise groß war.

3.13 EINFLUSS DES INFARKTVOLUMENS

Das mittlere Infarktvolumen lag bei 125,3 cm³ (SD: 119,3 cm³; Min: 0 cm³; Max: 369 cm³), das mediane bei 70,0 cm³. Ein großes Infarktvolumen korrelierte mit einem schlechteren funktionellen Outcome. In einer Metaanalyse, welche insgesamt 1665 Patienten eingeschlossen hat, erhielten 821 Patienten eine endovaskuläre Behandlung und 844 Patienten wurden konservativ behandelt [71]. Das mediane Infarktvolumen lag hier (über beide Gruppen gesehen) bei 41 cm³ (14-120 cm³); in der Interventionsgruppe zeigten sich signifikant niedrigere Infarktvolumina (median: 33 cm³ vs. 51 cm³) und niedrigere mRS-Scores als in der Kontrollgruppe (median: 3 vs. 4). Das Infarktvolumen stellt einen Prädiktor für das funktionelle Outcome dar [71]. Allerdings lag das mediane Infarktvolumen in der vorliegenden Studie deutlich höher als in den Interventionsgruppen der Metaanalyse. Die Rekanalisationsraten waren aber vergleichbar (75,8 % vs. 79 %).

Jedoch wurde in der Metaanalyse das Infarktvolumen in einem Zeitraum von 12h bis zu 2 Wochen (336h) nach dem Schlaganfallereignis erhoben (median 29h) [71]. In der vorliegenden Arbeit geschah das hingegen nach 5 Tagen (+/- 2 Tage; oder anhand der letzten verfügbaren Bildgebung). Dies könnte zu dem höheren Wert für das Infarktvolumen in der vorliegenden Studie beigetragen haben.

Vor Interventionsbeginn bereits infarzierte Hirnareale stellen einen entscheidenden Faktor für das Outcome von Patienten nach endovaskulär rekanalisierender Therapie dar [72]. Deshalb haben die meisten Studien zur mechanischen Thrombektomie Patienten, welche bereits auf der initialen Bildgebung Zeichen eines großen Infarkts zeigen, ausgeschlossen. Dies kann durch verschiedene Verfahren durchgeführt werden. Am häufigsten wird dafür der ASPECTS-Score verwendet. Die Metaanalyse von Goyal et al. liefert Hinweise dafür, dass ein niedrigerer ASPECTS-Score (ein größerer irreversibler Defekt) stark mit einem schlechteren Outcome assoziiert ist [50]. Allerdings profitierten Patienten mit moderatem ASPECTS-Score (6-8) ähnlich stark von der Intervention wie Patienten mit einem hohen ASPECTS-Score (9-10) [50]. Um den Nutzen einer Intervention für Patienten mit einem ASPECTS-Score < 5 einschätzen

zu können, fehlen ausreichende Daten, da diese Patientengruppe aus den meisten Thrombektomiestudien ausgeschlossen wurde [50]. Hinweise, dass auch dieses Patientenkollektiv von einer Intervention profitieren könnte, liefern die Daten von Song et al., welche das Outcome von 19 Patienten mit (DWI-ASPECTS <5) untersucht haben [73].

In der vorliegenden Studie lag der mediane ASPECTS-Score bei 10 (Min = 1; Max = 10).

Eine Metaanalyse von 13 Studien konnte zeigen, dass ein höherer ASPECTS-Score eher mit einem guten funktionellen Outcome nach endovaskulärer Therapie, geringeren Raten an symptomatischen intrakraniellen Blutungen und niedrigerer Mortalität assoziiert ist als ein niedrigerer ASPECTS-Score [74]. Patienten mit mittlerem ASPECTS-Score (5-7) könnten aber zum Teil von der Intervention profitieren, wohingegen Patienten mit ASPECTS 0-4 signifikant seltener von der Intervention profitieren [74].

Im untersuchten Kollektiv zeigte sich keine signifikante Korrelation zwischen ASPECTS-Score und Outcome. Das könnte an der relativ geringen Fallzahl und dem erwartbaren häufig schlechteren Outcome beim untersuchten älteren Kollektiv liegen. Darüber hinaus kam es trotz hohem medianem ASPECTS Score und vergleichsweise guten Rekanalisationsergebnissen zu einem höheren mittleren Infarktvolume als in anderen Studien zur endovaskulären Therapie. Das könnte neben dem Alter und aufgetretenen Blutungen zum beobachteten schlechten Outcome bei relativ guten ASPECTS-Scores beigetragen haben.

IV. FAZIT

In der vorliegenden Arbeit konnte gezeigt werden, dass die Smartphone-basierte Thermometrie mittels FLIR ONE im Vergleich zu kommerziell verfügbaren und auch deutlich teureren Infrarotsystemen ein vergleichbares und reliables Ergebnis liefert, vor allem hinsichtlich der Temperaturdifferenz innerhalb einer Aufnahme. Die FLIR ONE erlaubt es, einen möglichen Temperaturunterschied der Körpertemperatur der Körperseiten einfach darzustellen und zu messen. Ein solcher Unterschied könnte zur Diagnosestellung des Schlaganfalls beitragen. Anamnese, klinische und bildgebende Untersuchungen stehen aber auch weiterhin im Vordergrund der Diagnostik. Aufgrund der großen Vorteile der Thermographie mittels FLIR ONE (einfach und schnell bedienbar, transportabel und verhältnismäßig günstig) stellt die so durchgeführte Thermographie eine Methode mit großem Potenzial in der Diagnostik des Schlaganfalls dar, welche in weiteren Studien untersucht werden sollte. Allerdings zeigte sich im untersuchten Patientenkollektiv kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Körpertemperaturen der beiden Körperseiten. Zwar war die betroffene Seite im Mittel geringfügig kälter als die nichtbetroffene Seite, jedoch war dieser Unterschied nicht statistisch signifikant. Eventuell könnte dies durch die zu geringe Zeit zwischen Schlaganfallereignis und Thermographie, durchblutungsverändernde Erkrankungen (z.B. PAVK) oder Medikation oder die mangelnde Standardisierung im notfallmäßigen Setting begründet sein. Die vorliegenden Daten deuten darauf hin, dass es nach einem Schlaganfall zu Störungen der Thermoregulation kommen kann. Jedoch kann anhand der Thermographie und der Temperaturdifferenz nach den Ergebnissen der vorliegenden Studie keine Aussage über das Infarktvolumen, die Schwere des Schlaganfalls nach NIHSS oder das zu erwartende Outcome getroffen werden. Gründe hierfür könnten neben den oben genannten Gründen für die fehlende Signifikanz des Temperaturunterschieds für das untersuchte Kollektiv im relativ hohen mittleren Alter, großen Infarktvolumen trotz guter Rekanalisation, der hohen Anzahl an Interventionen mit unbekanntem Symptombeginn und dem Auftreten von Blutungsereignissen liegen.

V. AUSBLICK

Eine alternative Technik um Informationen über die Durchblutungssituation des Gehirns zu gewinnen ist die „Near-Infrared Spectroscopy“ (NIRS). Die NIRS ist ein nicht invasives Verfahren, welches zum Monitoring der Durchblutungssituation des Patienten nach rtPA-Gabe und/oder Thrombektomie am Patientenbett eingesetzt werden könnte [75]. Die NIRS nutzt eine Lichtquelle, welche Photonen mit einer Wellenlänge im Nahinfrarotbereich emittiert (700-1100nm). Diese Photonen können durch den Schädel hindurch bis zu einer Tiefe von wenigen Zentimetern in das Hirngewebe eindringen. Dabei wird das emittierte Licht teilweise absorbiert, gestreut, reflektiert oder transmittiert, wobei durch das unterschiedliche Absorptionsspektrum von Oxyhämoglobin bzw. Desoxyhämoglobin die Sauerstoffsättigung im Gewebe ermittelt werden kann [75]. Diese Technik wurde bereits in verschiedenen kleineren Studien zum Monitoring beim akuten Schlaganfall eingesetzt [75–79].

Möglicherweise kann die Thermographie in Zukunft einen einfach zu erhebenden Hinweis auf einen Schlaganfall geben, was die Diagnose erleichtern könnte. Hierfür wären zunächst Studien an einem größeren Patientenkollektiv und eventuell auch zu einem späteren Messzeitpunkt nötig. Darüber hinaus könnte die Thermographie eventuell zusammen mit erweiterten Bildgebungsmöglichkeiten (siehe Dawn-Studie (23)) oder der NIRS dazu beitragen, Patienten mit unklarem Symptombeginn (z.B. „wake-up stroke“) oder auch Patienten, welche über dem definierten Zeitfenster für die Therapie liegen und die von einer Therapie noch profitieren könnten, zu selektieren. Hierfür sind allerdings zunächst weitere Studien mit besserer Standardisierung (z.B. Mitaufnahme eines Vergleichsobjekts bekannter Temperatur), späterem Messzeitpunkt und eventuell unter Ausschluss von durchblutungsverändernden Erkrankungen oder Medikation (wobei dies die Praktikabilität des Verfahrens einschränkt) erforderlich. Darüber hinaus stellt die Thermographie mittels FLIR ONE eine einfache Methode zur Messung und Darstellung möglicher Temperaturunterschiede dar und hat somit ein großes Potenzial für die medizinische Forschung zum Beispiel im Bereich der Neurologie oder hinsichtlich Fragestellungen bezüglich der Durchblutungssituation von Patienten z.B. in der Gefäßchirurgie oder anderen Bereichen der Medizin.

VI. ANHANG

TABELLE 10: PRÄKLINISCHE MESSUNGEN

	1. Gefäß	2. Gefäß	3. Gefäß	4. Gefäß	5. Gefäß		Mittelwert		
T (Wasser)	41.6	38.7	42	22.2	35				
FLIR ONE 40cm	34.9	32.7	35.7	20.9	32.7				
FLIR ONE 80cm	38.5	34.3	37.3	22.43	30.9				
PCE-880	36	34	37	23	32				
Testo-869	38.2	34.4	38.7	20.6	32.5				
Scantemp Pro 440	38.2	35	37	22.3	27.7				
Optocon	35.4	31.8	34.4	19.2	30.1				
Min	34.9	31.8	34.4	19.2	27.7		29.6		
Max	41.6	38.7	42	23	35				

Tabelle 10: Vergleichende Messungen von 5 Glasgefäßen, welche mit Wasser unterschiedlicher Temperatur gefüllt wurden. Vergleichend Eintauchthermometer (T(Wasser)) und Obeflächentemperatur (gemessen mittels Optocon) Temperaturen in °C.

TABELLE 11: PRÄKLINISCHE MESSUNGEN IN RELATION

	1. Gefäß	2. Gefäß	3. Gefäß	4. Gefäß	5. Gefäß		Mittelwert		
DIFF: FLIR ONE 40- Optocon	-0.5	0.9	1.3	1.7	2.6		1.21		
DIFF: FLIR ONE 80- Optocon	3.1	2.5	2.9	3.2	0.8		2.5		
DIFF: PCE-880- Optocon	0.6	2.2	2.6	3.8	1.9		2.22		
DIFF: Testo-869 -Optocon	2.8	2.6	4.3	1.4	2.4		2.7		
DIFF: Scantemp Pro 440 - Optocon	2.8	3.2	2.6	3.1	-2.4		1.86		
DIFF: Twasser -Optocon	6.2	6.9	7.6	3	4.9		5.72		
	1. Gefäß	2. Gefäß	3. Gefäß	4. Gefäß	5. Gefäß		Mittelwert	Überschätzung um %	
FLIR ONE 40 / Optocon	0.99	1.03	1.04	1.09	1.09		1.05	4.5	
FLIR ONE 80 / Optocon	1.09	1.08	1.08	1.17	1.03		1.09	8.9	
PCE-880 / Optocon	1.02	1.07	1.08	1.20	1.06		1.08	8.5	
Testo 869/ Optocon	1.08	1.08	1.13	1.07	1.08		1.09	8.8	
Scantemp Pro 440 / Optocon	1.08	1.10	1.08	1.16	0.92		1.07	6.7	

Tabelle 11: Vergleichende Messungen von 5 Glasgefäßen, welche mit Wasser unterschiedlicher Temperatur gefüllt wurden. Vergleichend Eintauchthermometer und Obeflächen-temperatur (gemessen mittels Optocon) Temperaturen und Differenzen (DIFF) in °C.

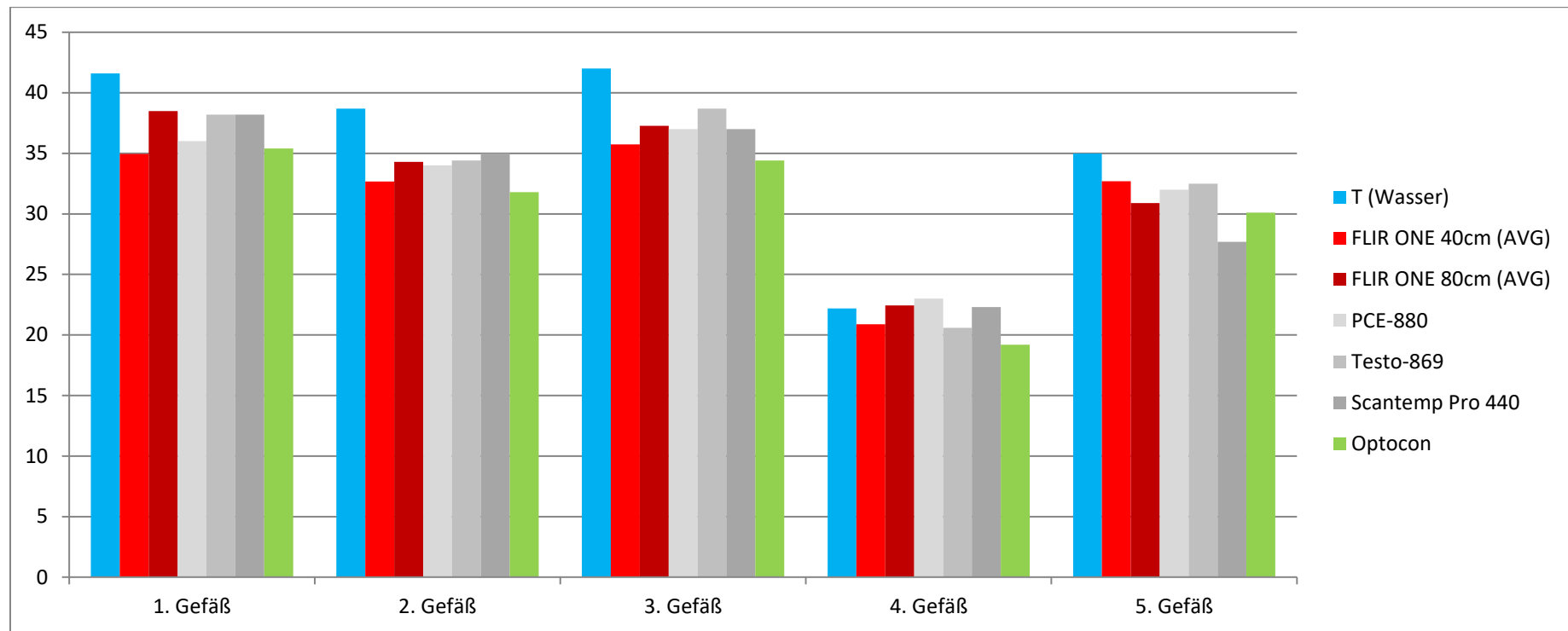


ABBILDUNG 16: VERGLEICHENDE MESSUNGEN DER 5 GLASGEFÄßE. [°C]

TABELLE 12: PRÄKLINISCHE MESSUNGEN KUNSTSTOFFFLASCHE

Wert	FLIR ONE 40cm	FLIR ONE 80cm	FLIR ONE 120cm	PCE-880 40cm	Scantemp Pro 440 40cm	Testo 869 40cm)
Anzahl Messungen	10	10	10	1	1	1
Mittelwert	25,1	23,9	23,8	24	22,6	22,9
SD	0,052	0,97	1,06			
Min	25,0	22,6	22,5			
Max	25,1	24,9	24,9			

Tabelle 12: Vergleichende Messungen einer Kunststoffflasche mit matter Oberfläche; zusätzliche Messungen aus 80 cm und 120 cm Abstand; Temperaturen in °C.

TABELLE 13: DEMOGRAPHISCHE DATEN DES PATIENTENKOLLEKTIVS

P	M/W	Alter	NIHSS vor Intervention	MRS vor Intervention	CT/MR-ASPECTS	sys. Lyse	Verschluss-seite	Verschluss-lokalisation	Intervention in Narkose	mTICI	Zeit bis zur Rek. in h	In-farkt-vol. [cm ³]	Blutung nach ECASS	MRS 90 d
1	W	69	21	1	10	-	L	M1	X	3	3,8	37	-	3
2	W	73	15	1	10	-	L	M1	X	3	k.a.	8,4	-	3
3	M	73	12	1	10	X	R	M1	-	2a	5,7	306	H1	4
4	W	85	15	1	10	X	R	ACI	X	2a	k.a.	233	P1	6
5	W	77	10	1	10	X	R	M1	-	3	3,8	24	-	2
6	M	77	7	1	10	X	L	M2	-	2b	k.a.	50	H1	3
7	W	79	12	1	10	X	L	M1	X	2b	k.a.	19	-	2
8	W	71	4	1	10	-	L	ACI -CarotisT	-	2b	k.a.	0	-	4
9	W	89	15	1	10	-	R	M1	-	0	n.m.	190	-	6
10	W	83	12	1	9	X	R	ACI	-	3	k.a.	162	-	3
11	W	89	9	1	10	X	L	M2	-	2a	k.a.	N.D.	KA	3
12	W	83	13	1	10	X	L	M1	-	2a	4,0	289	-	6
13	W	83	11	2	1	X	R	ACI	-	3	4,5	21	-	6
14	W	75	18	1	7	X	L	M2	-	3	k.a.	139	-	2
15	W	88	13	1	8	-	R	M1	-	3	k.a.	37	P2	6

P	M/W	Alter	NIHSS vor Intervention	MRS vor Intervention	CT/MR-ASPECTS	sys. Lyse	Ver-schluss-seite	Verschluss-lo-kalisation	Intervention in Narkose	mTICI	Zeit bis zur Rek. in h	In-farkt-vol. [cm³]	Blutung nach ECASS	MRS 90 d
16	M	56	11	1	10	X	L	ACI	-	2a	k.a.	N.D.	P2	6
17	M	93	15	1	8	X	R	ACI	-	3	4,75	209	P1	3
18	M	72	32	5	10	X	L	M1	X	2b	4,5	6	H1	3
19	M	81	14	2	8	X	R	M1	X	3	k.a.	247	H2	6
20	M	80	19	4	9	X	R	M1	-	2b	k.a.	0,4	-	2
21	M	81	k.a.	3	10	-	L	M1	X	3	3,75	89	-	6
22	W	75	13	1	10	X	R	M1	X	2b	3,75	270	-	4
23	M	86	13	1	10	X	L	M2	-	3	k.a.	51	H1	3
24	W	77	4	1	10	X	R	M2	-	0	n.m.	N.D.	-	6
25	W	84	11	1	N. D.	-	L	M1	X	3	k.a.	N.D.	P2	6
26	M	78	10	1	9	-	L	M1	-	2b	3,0	369	-	6

Tabelle 13: Tabellarische Darstellung der demographischen Daten des Patientenkollektivs (X =ja)

TABELLE 14: STATISTISCHE KENNZAHLEN DES UNTERSUCHTEN KOLLEKTIVS

	Alter in Jahren	NIHSS vor Intervention	MRS vor Intervention	CT- / MR-APECTS	MRS nach 90 Tagen	Infarktvolumen in cm ³
Mittelwert	79,1					125,3
Median		13	1	10	4	
SD	7,75					119,3
Min	56	4	1	1	2	0
Max	93	32	5	10	6	369

TABELLE 15: STANDARDUNTERSUCHUNGSPROTOKOLLE UMR (MRT-SEQUENZEN)

Protokoll 1 (bekannter Symptombeginn)	Protokoll 2 (unbekanntes Zeitfenster)
Dauer: ca. 11 Minuten	Dauer: ca. 17 Minuten
Localizer	Localizer
DWI transversal	DWI transversal
FLAIR transversal	FLAIR transversal
TOF-Angiographie	TOF-Angiographie
T2*(Hemo) transversal	T2*(Hemo) transversal
DWI koronal	DWI koronal
	T2 tse sagittal und transversal
	T1 se transversal

Tabelle 15: Standarduntersuchungsprotokolle der UMR für Patienten mit V.a. Schlaganfall mit bekanntem Symptombeginn (Protokoll 1) und unbekanntem Zeitfenster (Protokoll 2) zwischen Symptombeginn und Vorstellung. Durchgeführt an Siemens Avanto 1,5 T MRT (Siemens, Berlin, Deutschland)

TABELLE 16: TEMPERATURDIFFERENZEN BEI PATIENTEN MIT UND OHNE FACIALE PARESE

	T Wange [gesund - krank] MW	T Wange [gesund - krank] SD	T Stirn [gesund - krank] MW	T Stirn [gesund-krank] SD
Patienten mit facialer Parese	0,36	1,05	0,23	0,80
Patienten ohne faciale Parese	0,13	1,08	0,06	0,46

Tabelle 16: Tabellarische Darstellung der Temperaturdifferenzen bei Patienten mit und ohne faciale Parese

TABELLE 17: ERHEBUNG mRS-SCORE PER TELEFONINTERVIEW

mRS 6	Ist der Pat. verstorben?
mRS 5	Wird durchgehende Pflege benötigt?
mRS 4	Wird Hilfe beim Essen, dem Toilettengang, der täglichen Hygiene oder beim Laufen benötigt?
mRS 3	Wird Hilfe bei der Vorbereitung eines einfachen Gerichts, bei Haushaltsaufgaben, dem Umgang mit Geld, dem Einkaufen oder bei Reisen benötigt?
mRS 2	Hat sich die Fähigkeit zu Arbeiten oder sich um Andere zu kümmern verändert? (falls dies Aufgaben vor dem Schlaganfallereignis gewesen sind) Hat sich die Fähigkeit zur sozialen Teilnahme oder der Wahrnehmung von Freizeitaktivitäten verändert?
mRS 1	Bestehen Probleme beim Lesen, Schreiben, Sprechen oder Wortfindungsstörungen. Bestehen Probleme bezüglich Balance, Koordination, Sehstörungen? Liegt eine Taubheit oder Bewegungsunfähigkeit des Gesichts, der Arme, der Beine, der Hände oder der Füße vor? Bestehen Schluckstörungen oder andere vom Schlaganfall resultierende Symptome?
mRS 0	Bestehen keine Symptome, keine Einschränkungen nach dem Schlaganfallereignis?

Tabelle 17: Standardisierte Fragen zur Erhebung des mRS-Scores per Telefoninterview (nach [43])

TABELLE 18: AN TAKAHASHI ET AL. ANGELEHNTE AUSWERTUNG DER THERMOGRAPHISCHEN AUFNAHMEN

Messposition	T _{diff} >+0,5°C	T _{diff} [0°C±0,5°C]	T _{diff} < -0,5°C
Wange	12	9	5
Stirn	5	18	3
Hände*	12	5	8
Füße*	9	7	9

Tabelle 18: An Takahashi et al. angelehnte Auswertung der thermographischen Daten
*je ein Patient technisch nicht standardisiert auswertbar, deshalb nur 25 Werte

VII. LITERATURVERZEICHNIS

- 1 Krishnamurthi RV, Feigin VL, Forouzanfar MH, et al. Global and regional burden of first-ever ischaemic and haemorrhagic stroke during 1990-2010: findings from the Global Burden of Disease Study 2010. *Lancet Glob Health*. 2013;1(5):e259-e281. doi:10.1016/S2214-109X(13)70089-5
- 2 Weber R, Eyding J, Kitzrow M, et al. Distribution and evolution of acute interventional ischemic stroke treatment in Germany from 2010 to 2016. *Neurol Res Pract*. 2019;1:4. Published 2019 Feb 28. doi:10.1186/s42466-019-0010-8
- 3 Timmis A, Townsend N, Gale C, et al. European Society of Cardiology: Cardiovascular Disease Statistics 2017. *Eur Heart J*. 2018;39(7):508-579. doi:10.1093/eurheartj/ehx628
- 4 Béjot Y, Bailly H, Durier J, Giroud M. Epidemiology of stroke in Europe and trends for the 21st century. *Presse Med*. 2016;45(12 Pt 2):e391-e398. doi:10.1016/j.lpm.2016.10.003
- 5 Hennerici M. G., Kern R. et al. S1-Leitlinie Diagnostik akuter zerebrovaskulärer Erkrankungen. 2017. In: Deutsche Gesellschaft für Neurologie, Hrsg. Leitlinien für Diagnostik und Therapie in der Neurologie. Online: www.dgn.org/leitlinien
- 6 Muir KW, Buchan A, von Kummer R, Rother J, Baron JC. Imaging of acute stroke. *Lancet Neurol*. 2006;5(9):755-768. doi:10.1016/S1474-4422(06)70545-2
- 7 Schellinger PD, Bryan RN, Caplan LR, et al. Evidence-based guideline: The role of diffusion and perfusion MRI for the diagnosis of acute ischemic stroke: report of the Therapeutics and Technology Assessment Subcommittee of the American Academy of Neurology [published correction appears in *Neurology*. 2010 Sep 7;75(10):938]. *Neurology*. 2010;75(2):177-185. doi:10.1212/WNL.0b013e3181e7c9dd
- 8 Chalela JA, Kidwell CS, Nentwich LM, et al. Magnetic resonance imaging and computed tomography in emergency assessment of patients with suspected acute stroke: a prospective comparison. *Lancet*. 2007;369(9558):293-298. doi:10.1016/S0140-6736(07)60151-2
- 9 Hacke W, Kaste M, Bluhmki E, et al. Thrombolysis with alteplase 3 to 4.5 hours after acute ischemic stroke. *N Engl J Med*. 2008;359(13):1317-1329. doi:10.1056/NEJMoa0804656
- 10 Ringleb P., Köhrmann M., Jansen O., et al.: Akuttherapie des ischämischen Schlaganfalls, S2e-Leitlinie, 2022, in: Deutsche Gesellschaft für Neurologie (Hrsg.), Leitlinien für Diagnostik und Therapie in der Neurologie. Online: www.dgn.org/leitlinien
- 11 Mori E, Tabuchi M, Yoshida T, Yamadori A. Intracarotid urokinase with thromboembolic occlusion of the middle cerebral artery. *Stroke*. 1988;19(7):802-812. doi:10.1161/01.str.19.7.802
- 12 del Zoppo GJ, Higashida RT, Furlan AJ, Pessin MS, Rowley HA, Gent M. PROACT: a phase II randomized trial of recombinant pro-urokinase by direct arterial delivery in acute middle cerebral artery stroke. PROACT Investigators. *Prolyse in Acute Cerebral Thromboembolism*. *Stroke*. 1998;29(1):4-11. doi:10.1161/01.str.29.1.4
- 13 Furlan A, Higashida R, Wechsler L, et al. Intra-arterial prourokinase for acute ischemic stroke. The PROACT II study: a randomized controlled trial. *Prolyse in Acute Cerebral Thromboembolism*. *JAMA*. 1999;282(21):2003-2011. doi:10.1001/jama.282.21.2003
- 14 Smith WS, Sung G, Starkman S, et al. Safety and efficacy of mechanical embolectomy in acute ischemic stroke: results of the MERCI trial. *Stroke*. 2005;36(7):1432-1438. doi:10.1161/01.STR.0000171066.25248.1d
- 15 Smith WS, Sung G, Saver J, et al. Mechanical thrombectomy for acute ischemic stroke: final results of the Multi MERCI trial. *Stroke*. 2008;39(4):1205-1212. doi:10.1161/STROKE-AHA.107.497115
- 16 Penumbra Pivotal Stroke Trial Investigators. The penumbra pivotal stroke trial: safety and effectiveness of a new generation of mechanical devices for clot removal in intracranial

- large vessel occlusive disease. *Stroke*. 2009;40(8):2761-2768. doi:10.1161/STROKE-AHA.108.544957
- 17 Broderick JP, Palesch YY, Demchuk AM, et al. Endovascular therapy after intravenous t-PA versus t-PA alone for stroke [published correction appears in *N Engl J Med*. 2013 Mar 28;368(13):1265]. *N Engl J Med*. 2013;368(10):893-903. doi:10.1056/NEJMoa1214300
 - 18 Kidwell CS, Jahan R, Gornbein J, et al. A trial of imaging selection and endovascular treatment for ischemic stroke. *N Engl J Med*. 2013;368(10):914-923. doi:10.1056/NEJMoa1212793
 - 19 Smith WS. Endovascular Stroke Therapy. *Neurotherapeutics*. 2019;16(2):360-368. doi:10.1007/s13311-019-00724-5
 - 20 Saver JL, Jahan R, Levy EI, et al. Solitaire flow restoration device versus the Merci Retriever in patients with acute ischaemic stroke (SWIFT): a randomised, parallel-group, non-inferiority trial. *Lancet*. 2012;380(9849):1241-1249. doi:10.1016/S0140-6736(12)61384-1
 - 21 Nogueira RG, Lutsep HL, Gupta R, et al. Trevo versus Merci retrievers for thrombectomy revascularisation of large vessel occlusions in acute ischaemic stroke (TREVO 2): a randomised trial [published correction appears in *Lancet*. 2012 Oct 6;380(9849):1230]. *Lancet*. 2012;380(9849):1231-1240. doi:10.1016/S0140-6736(12)61299-9
 - 22 Berkhemer OA, Fransen PS, Beumer D, et al. A randomized trial of intraarterial treatment for acute ischemic stroke [published correction appears in *N Engl J Med*. 2015 Jan 22;372(4):394]. *N Engl J Med*. 2015;372(1):11-20. doi:10.1056/NEJMoa1411587
 - 23 Goyal M, Demchuk AM, Menon BK, et al. Randomized assessment of rapid endovascular treatment of ischemic stroke. *N Engl J Med*. 2015;372(11):1019-1030. doi:10.1056/NEJMoa1414905
 - 24 Campbell BC, Mitchell PJ, Kleinig TJ, et al. Endovascular therapy for ischemic stroke with perfusion-imaging selection. *N Engl J Med*. 2015;372(11):1009-1018. doi:10.1056/NEJMoa1414792
 - 25 Saver JL, Goyal M, Bonafe A, et al. Stent-retriever thrombectomy after intravenous t-PA vs. t-PA alone in stroke. *N Engl J Med*. 2015;372(24):2285-2295. doi:10.1056/NEJMoa1415061
 - 26 Jovin TG, Chamorro A, Cobo E, et al. Thrombectomy within 8 hours after symptom onset in ischemic stroke. *N Engl J Med*. 2015;372(24):2296-2306. doi:10.1056/NEJMoa1503780
 - 27 Peter A, Ringleb, Gerhard F, Hamann et al. Akuttherapie des ischämischen Schlaganfalls - Ergänzungen 2015 - Rekanalisierende Therapie 2015. *Aktuelle Neurologie* 2016; 43(02): 82-91. doi: 10.1055/s-0042-101225
 - 28 Saver JL, Goyal M, van der Lugt A, et al. Time to Treatment With Endovascular Thrombectomy and Outcomes From Ischemic Stroke: A Meta-analysis. *JAMA*. 2016;316(12):1279-1288. doi:10.1001/jama.2016.13647
 - 29 Maegerlein C, Mönch S, Boeckh-Behrens T, et al. PROTECT: PRoximal balloon Occlusion TogEther with direCt Thrombus aspiration during stent retriever thrombectomy - evaluation of a double embolic protection approach in endovascular stroke treatment. *J Neurointerv Surg*. 2018;10(8):751-755. doi:10.1136/neurintsurg-2017-013558
 - 30 Maegerlein C, Berndt MT, Mönch S, et al. Further Development of Combined Techniques Using Stent Retrievers, Aspiration Catheters and BGC: The PROTECTPLUS Technique. *Clin Neuroradiol*. 2020;30(1):59-65. doi:10.1007/s00062-018-0742-9
 - 31 Anzengruber F, Alotaibi F, Kaufmann LS, et al. Thermography: High sensitivity and specificity diagnosing contact dermatitis in patch testing. *Allergol Int*. 2019;68(2):254-258. doi:10.1016/j.alit.2018.12.001
 - 32 Fraiwan L, Ninan J, Al-Khodari M. Mobile Application for Ulcer Detection. *Open Biomed Eng J*. 2018;12:16-26. Published 2018 Jun 29. doi:10.2174/1874120701812010016
-

- 33 van Doremalen RFM, van Netten JJ, van Baal JG, Vollenbroek-Hutten MMR, van der Heijden F. Validation of low-cost smartphone-based thermal camera for diabetic foot assessment. *Diabetes Res Clin Pract.* 2019;149:132-139. doi:10.1016/j.diabres.2019.01.032
 - 34 Hardwicke JT, Osmani O, Skillman JM. Detection of Perforators Using Smartphone Thermal Imaging. *Plast Reconstr Surg.* 2016;137(1):39-41. doi:10.1097/PRS.0000000000001849
 - 35 Xue EY, Chandler LK, Viviano SL, Keith JD. Use of FLIR ONE Smartphone Thermography in Burn Wound Assessment. *Ann Plast Surg.* 2018;80(4 Suppl 4):S236-S238. doi:10.1097/SAP.0000000000001363
 - 36 Takahashi M, Shinya A, Ito N, et al. Utility of thermographic measurements of laterality of body surface temperature to prevent misdiagnosis of acute Wallenberg's syndrome. *Brain Behav.* 2018;8(8):e01040. doi:10.1002/brb3.1040
 - 37 Wanklyn P, Forster A, Young J, Mulley G. Prevalence and associated features of the cold hemiplegic arm. *Stroke.* 1995;26(10):1867-1870. doi:10.1161/01.str.26.10.1867
 - 38 Herbaut AG, Cole JD, Sedgwick EM. A cerebral hemisphere influence on cutaneous vasomotor reflexes in humans. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 1990;53(2):118-120. doi:10.1136/jnnp.53.2.118
 - 39 Wanklyn P, Ilsley DW, Greenstein D, et al. The cold hemiplegic arm. *Stroke.* 1994;25(9):1765-1770. doi:10.1161/01.str.25.9.1765
 - 40 Korpelainen JT, Sotaniemi KA, Myllylä VV. Asymmetrical skin temperature in ischemic stroke. *Stroke.* 1995;26(9):1543-1547. doi:10.1161/01.str.26.9.1543
 - 41 Support for FLIR ONE Gen 2 - Discontinued | FLIR Systems. Im Internet: www.flir.de/support/products/flir-one-gen-2#Specifications; Stand: 01.02.2023
 - 42 Schuster N, Kolobrodov VG. *Infrarotthermographie. 2., überarb. und erw. Ausg.* Weinheim: Wiley-VCH; 2004
 - 43 Wilson JT, Hareendran A, Grant M, et al. Improving the assessment of outcomes in stroke: use of a structured interview to assign grades on the modified Rankin Scale. *Stroke.* 2002;33(9):2243-2246. doi:10.1161/01.str.0000027437.22450.bd
 - 44 Wilson JT, Hareendran A, Hendry A, Potter J, Bone I, Muir KW. Reliability of the modified Rankin Scale across multiple raters: benefits of a structured interview. *Stroke.* 2005;36(4):777-781. doi:10.1161/01.STR.0000157596.13234.95
 - 45 Savio K, Pietra GL, Oddone E, Reggiani M, Leone MA. Reliability of the modified Rankin Scale applied by telephone. *Neurol Int.* 2013;5(1):e2. Published 2013 Feb 19. doi:10.4081/ni.2013.e2
 - 46 Barber PA, Hill MD, Eliasziw M, et al. Imaging of the brain in acute ischaemic stroke: comparison of computed tomography and magnetic resonance diffusion-weighted imaging. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 2005;76(11):1528-1533. doi:10.1136/jnnp.2004.059261
 - 47 Fiorelli M, Bastianello S, von Kummer R, et al. Hemorrhagic transformation within 36 hours of a cerebral infarct: relationships with early clinical deterioration and 3-month outcome in the European Cooperative Acute Stroke Study I (ECASS I) cohort. *Stroke.* 1999;30(11):2280-2284. doi:10.1161/01.str.30.11.2280
 - 48 Larrue V, von Kummer R R, Müller A, Bluhmki E. Risk factors for severe hemorrhagic transformation in ischemic stroke patients treated with recombinant tissue plasminogen activator: a secondary analysis of the European-Australasian Acute Stroke Study (ECASS II). *Stroke.* 2001;32(2):438-441. doi:10.1161/01.str.32.2.438
 - 49 Alfieri FM, Massaro AR, Filippo TR, Portes LA, Battistella LR. Evaluation of body temperature in individuals with stroke. *NeuroRehabilitation.* 2017;40(1):119-128. doi:10.3233/NRE-161397
 - 50 Goyal M, Menon BK, van Zwam WH, et al. Endovascular thrombectomy after large-vessel ischaemic stroke: a meta-analysis of individual patient data from five randomised trials. *Lancet.* 2016;387(10029):1723-1731. doi:10.1016/S0140-6736(16)00163-X
-

- 51 Weber R, Nordmeyer H, Hadisurya J, et al. Comparison of outcome and interventional complication rate in patients with acute stroke treated with mechanical thrombectomy with and without bridging thrombolysis. *J Neurointerv Surg.* 2017;9(3):229-233. doi:10.1136/neurintsurg-2015-012236
 - 52 Pfefferkorn T, Holtmannspötter M, Patzig M, et al. Preceding intravenous thrombolysis facilitates endovascular mechanical recanalization in large intracranial artery occlusion. *Int J Stroke.* 2012;7(1):14-18. doi:10.1111/j.1747-4949.2011.00639.x
 - 53 Guedin P, Larcher A, Decroix JP, et al. Prior IV Thrombolysis Facilitates Mechanical Thrombectomy in Acute Ischemic Stroke. *J Stroke Cerebrovasc Dis.* 2015;24(5):952-957. doi:10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2014.12.015
 - 54 Dávalos A, Pereira VM, Chapot R, et al. Retrospective multicenter study of Solitaire FR for revascularization in the treatment of acute ischemic stroke. *Stroke.* 2012;43(10):2699-2705. doi:10.1161/STROKEAHA.112.663328
 - 55 Kallmünzer B, Köhrmann M. Rekanalisierende Therapie bei ischämischem Schlaganfall [Endovascular thrombectomy for ischemic stroke]. *Med Klin Intensivmed Notfmed.* 2017;112(8):674-678. doi:10.1007/s00063-017-0341-6
 - 56 Berkhemer OA, van den Berg LA, Fransen PS, et al. The effect of anesthetic management during intra-arterial therapy for acute stroke in MR CLEAN. *Neurology.* 2016;87(7):656-664. doi:10.1212/WNL.0000000000002976
 - 57 Löwhagen Hendén P, Rentzos A, Karlsson JE, et al. General Anesthesia Versus Conscious Sedation for Endovascular Treatment of Acute Ischemic Stroke: The AnStroke Trial (Anesthesia During Stroke). *Stroke.* 2017;48(6):1601-1607. doi:10.1161/STROKE-AHA.117.016554
 - 58 Schönenberger S, Uhlmann L, Hacke W, et al. Effect of Conscious Sedation vs General Anesthesia on Early Neurological Improvement Among Patients With Ischemic Stroke Undergoing Endovascular Thrombectomy: A Randomized Clinical Trial [published correction appears in JAMA. 2017 Feb 7;317(5):538. doi: 10.1001/jama.2016.20888] *JAMA.* 2016;316(19):1986-1996. doi:10.1001/jama.2016.16623
 - 59 Sørensen LH, Speiser L, Karabegovic S, et al. Safety and quality of endovascular therapy under general anesthesia and conscious sedation are comparable: results from the GOLI-ATH trial. *J Neurointerv Surg.* 2019;11(11):1070-1072. doi:10.1136/neurintsurg-2019-014712
 - 60 Wan TF, Zhang JR, Liu L. Effect of General Anesthesia vs. Conscious Sedation on the Outcomes of Acute Ischemic Stroke Patients After Endovascular Therapy: A Meta-Analysis of Randomized Clinical Trials. *Front Neurol.* 2019;10:1131. Published 2019 Oct 31. doi:10.3389/fneur.2019.01131
 - 61 Jing R, Dai HJ, Lin F, Ge WY, Pan LH. Conscious Sedation versus General Anesthesia for Patients with Acute Ischemic Stroke Undergoing Endovascular Therapy: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Biomed Res Int.* 2018;2018:2318489. Published 2018 Mar 29. doi:10.1155/2018/2318489
 - 62 Campbell BCV, van Zwam WH, Goyal M, et al. Effect of general anaesthesia on functional outcome in patients with anterior circulation ischaemic stroke having endovascular thrombectomy versus standard care: a meta-analysis of individual patient data [published correction appears in Lancet Neurol. 2019 Mar;18(3):e2. doi: 10.1016/S1474-4422(19)30038-9]. *Lancet Neurol.* 2018;17(1):47-53. doi:10.1016/S1474-4422(17)30407-6
 - 63 Rosso C, Blanc R, Ly J, et al. Impact of infarct location on functional outcome following endovascular therapy for stroke. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 2019;90(3):313-319. doi:10.1136/jnnp-2018-318869
 - 64 Coutinho JM, Liebeskind DS, Slater LA, et al. Mechanical Thrombectomy for Isolated M2 Occlusions: A Post Hoc Analysis of the STAR, SWIFT, and SWIFT PRIME Studies. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2016;37(4):667-672. doi:10.3174/ajnr.A4591
-

- 65 Sarraj A, Sangha N, Hussain MS, et al. Endovascular Therapy for Acute Ischemic Stroke With Occlusion of the Middle Cerebral Artery M2 Segment. *JAMA Neurol.* 2016;73(11):1291-1296. doi:10.1001/jamaneurol.2016.2773
- 66 Saber H, Narayanan S, Palla M, et al. Mechanical thrombectomy for acute ischemic stroke with occlusion of the M2 segment of the middle cerebral artery: a meta-analysis. *J Neurointerv Surg.* 2018;10(7):620-624. doi:10.1136/neurintsurg-2017-013515
- 67 Compagne KCJ, van der Sluijs PM, van den Wijngaard IR, et al. Endovascular Treatment: The Role of Dominant Caliber M2 Segment Occlusion in Ischemic Stroke [published correction appears in *Stroke*. 2019 Mar;50(3):e100. doi: 10.1161/STR.0000000000000185]. *Stroke.* 2019;50(2):419-427. doi:10.1161/STROKEAHA.118.023117
- 68 Schmitz ML, Yeatts SD, Tomsick TA, et al. Recanalization and Angiographic Reperfusion Are Both Associated with a Favorable Clinical Outcome in the IMS III Trial. *Interv Neurol.* 2016;5(3-4):118-122. doi:10.1159/000446749
- 69 Tomsick TA, Yeatts SD, Liebeskind DS, et al. Endovascular revascularization results in IMS III: intracranial ICA and M1 occlusions. *J Neurointerv Surg.* 2015;7(11):795-802. doi:10.1136/neurintsurg-2014-011318
- 70 Kaschka IN, Kloska SP, Struffert T, et al. Clinical and radiological outcome after mechanical thrombectomy in acute ischemic stroke: What matters?. *Neuroradiol J.* 2016;29(2):99-105. doi:10.1177/1971400916628170
- 71 Boers AMM, Jansen IGH, Brown S, et al. Mediation of the Relationship Between Endovascular Therapy and Functional Outcome by Follow-up Infarct Volume in Patients With Acute Ischemic Stroke. *JAMA Neurol.* 2019;76(2):194-202. doi:10.1001/jamaneurol.2018.3661
- 72 Jovin TG, Yonas H, Gebel JM, et al. The cortical ischemic core and not the consistently present penumbra is a determinant of clinical outcome in acute middle cerebral artery occlusion. *Stroke.* 2003;34(10):2426-2433. doi:10.1161/01.STR.0000091232.81947.C9
- 73 Song K, Guan M, Li W, et al. Acute ischemic stroke patients with diffusion-weighted imaging-Alberta Stroke Program Early Computed Tomography Score ≤ 5 can benefit from endovascular treatment: a single-center experience and literature review. *Neuroradiology.* 2019;61(4):451-459. doi:10.1007/s00234-019-02177-1
- 74 Phan K, Saleh S, Dmytriw AA, et al. Influence of ASPECTS and endovascular thrombectomy in acute ischemic stroke: a meta-analysis. *J Neurointerv Surg.* 2019;11(7):664-669. doi:10.1136/neurintsurg-2018-014250
- 75 Annus Á, Nagy A, Vécsei L, Klivényi P. 24-Hour Near-Infrared Spectroscopy Monitoring of Acute Ischaemic Stroke Patients Undergoing Thrombolysis or Thrombectomy: A Pilot Study. *J Stroke Cerebrovasc Dis.* 2019;28(8):2337-2342. doi:10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2019.05.026
- 76 Hametner C, Stanarcevic P, Stampfl S, Rohde S, Veltkamp R, Bösel J. Noninvasive cerebral oximetry during endovascular therapy for acute ischemic stroke: an observational study. *J Cereb Blood Flow Metab.* 2015;35(11):1722-1728. doi:10.1038/jcbfm.2015.181
- 77 Ritzenthaler T, Cho TH, Mechtouff L, et al. Cerebral Near-Infrared Spectroscopy: A Potential Approach for Thrombectomy Monitoring. *Stroke.* 2017;48(12):3390-3392. doi:10.1161/STROKEAHA.117.019176
- 78 Aries MJ, Coumou AD, Elting JW, van der Harst JJ, Kremer BP, Vroomen PC. Near infrared spectroscopy for the detection of desaturations in vulnerable ischemic brain tissue: a pilot study at the stroke unit bedside. *Stroke.* 2012;43(4):1134-1136. doi:10.1161/STROKEAHA.111.636894

VIII. EIDESSTATTLICHE VERSICHERUNG

Ich versichere eidesstattlich durch eigenhändige Unterschrift, dass ich die Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Veröffentlichungen entnommen sind, habe ich als solche kenntlich gemacht.

Die Arbeit ist noch nicht veröffentlicht und ist in gleicher oder ähnlicher Weise noch nicht als Studienleistung zur Anerkennung oder Bewertung vorgelegt worden. Ich weiß, dass bei Abgabe einer falschen Versicherung die Prüfung als nicht bestanden zu gelten hat.

Christian Geiger

Ludwigsburg, im Mai 2024

IX. DANKSAGUNG

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Langner für die Möglichkeit diese Dissertation unter seiner Leitung zu erstellen. Insbesondere möchte ich mich für die hervorragende Betreuung, wissenschaftliche Expertise, Bereitstellung der verwendeten FLIR ONE und umfassende und freundliche Unterstützung bedanken.

Zudem möchte ich mich bei den Mitarbeitern des Instituts für diagnostische und interventionelle Radiologie, Kinder- und Neuroradiologie der Universitätsmedizin Rostock bedanken, welche mich im Rahmen dieser Arbeit unterstützt haben. Insbesondere gilt mein Dank Herrn Dr. Heller und Herrn Dr. Cantre für die Bereitstellung von weiteren Infrarotgeräten und Untersuchungsprotokollen, sowie weitere Unterstützung.

Ich möchte des Weiteren meiner Familie und meinen Freunden für ihre stetige Unterstützung danken.