Aus der Klinik für Neurologie
(Prof. Dr. med. M. Bähr)
der Medizinischen Fakultät der Universität Göttingen

Prädiktoren für die Notwendigkeit einer Tracheotomie nach mechanischer Thrombektomie

DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizinischen Fakultät der
Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von

Katarina Ponel, geb. Schramm

aus

Nordhausen

Göttingen 2025

Dekan:	Prof. Dr. med. W. Brück

Betreuungsausschuss

Betreuer:	PD Dr. med. I. Maier
Ko-Betreuerin:	PD Dr. med. H. Haus

Prüfungskommission

Referent/in:	PD Dr. med. I. Maier
Ko-Referent/in:	PD Dr. med. H. Haus
Drittreferent/in:	Prof. Dr. Margarete Schön

Datum der mündlichen Prüfung:	29.10.2025

Hiermit erkläre ich, die Dissertation mit dem Titel " Prädiktoren für die Notwendigkeit einer Tracheotomie nach mechanischer Thrombektomie" eigenständig angefertigt und keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet zu haben.

Göttingen, den 29.10.2025 ……

(Unterschrift)

Die Daten, auf denen die vorliegende Arbeit basiert, wurden teilweise publiziert:

Maier IL, **Schramm K**, Bähr M, Behme D, Psychogios M-N, Liman J (2021): Predictive Factors for the Need of Tracheostomy in Patients with Large Vessel Occlusion Stroke Being Treated with Mechanical Thrombectomy. Front Neurol 12

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis **1**

Abbildungsverzeichnis **3**

Tabellenverzeichnis **4**

Abkürzungsverzeichnis **5**

1. Einleitung **6**

1.1 Definition des Schlaganfalles und allgemeines Therapiekonzept 6
1.2 Inzidenz, Mortalität und ökonomische Aspekte des Schlaganfalles 8
1.3 Ätiologie des ischämischen Schlaganfalles 10
1.4 Risikofaktoren des ischämischen Schlaganfalles 12
1.5 Pathomechanismus des ischämischen Schlaganfalles 14
1.6 Anatomie der hirnversorgenden Arterien 15
1.6.1 Arteria cerebri anterior 17
1.6.2 Arteria cerebri media 17
1.6.3 Arteria cerebri posterior 17
1.6.4 Arteria vertebralis und basilaris 17
1.7 Symptome und Diagnostik 18
1.8 Einteilung des Schlaganfalles 19
1.9 Verwendete Klassifikationsmodelle 20
1.9.1 National Institutes of Health Stroke Scale (NIHSS) 20
1.9.2 Modified Rankin Scale (mRS) 20
1.9.3 Alberta Stoke Program Early CT Score (ASPECT Score) 21
1.9.4 Modified Treatment in cerebral Ischemia (mTICI) Score 22
1.10 Therapie 26
1.10.1 Intravenöse Thrombektomie 26
1.10.2 Mechanische Thrombektomie 27
1.11 Stroke Unit Management 29
1.12 Neurologische Intensivstation 30
1.13 Komplikationen nach Schlaganfall 30
1.13.1 Ausgewählte Komplikationen 32
1.14 Entwöhnung vom Respirator 33
1.15 Tracheotomie 35
1.15.1 Anlage eines Tracheostomas 36
1.16 Fragestellung 38

2. Material und Methoden **39**

2.1 Studienbeschreibung 39

2.2 Gruppierungen der Fälle ... 39
2.3 Statistische Analyse ... 40

3. Ergebnisse ... 43

3.1 Studienkollektiv TK+ versus TK- ... 43
3.1.1 Basischarakteristika und Anamneseparameter ... 43
3.1.2 Zeiten und Scores ... 46
3.1.3 Komplikationen ... 48
3.2 Regressionsanalysen ... 48
3.2.1 Univariate logistische Regression TK+ versus TK- ... 48
3.2.2 Multivariate logistische Regression TK+ versus TK- ... 49
3.3 Entwicklung des Scores und ROC-Kurve ... 50
3.4 Sekundäranalyse Studienkollektiv erweiterte TK+ versus TK- ... 52
3.5 Korrelation zwischen Beatmungsart und Outcome ... 53

4. Diskussion ... 54

5. Zusammenfassung ... 60

6. Anhang ... 61

6.1 Basis- und Anamnesecharakteristika der Sekundäranalyse (erweiterte TK Gruppen) ... 61
6.2 Schlaganfallparameter der Sekundäranalyse ... 62
6.3 Scores und Bildgebungsparameter der Sekundäranalyse ... 63
6.4 Komplikationen der Sekundäranalyse ... 64
6.5 Multivariate logistische Regression der Sekundäranalyse ... 64
6.6 Entwicklung des Tracheostomiescores ... 65

7. Literaturverzeichnis ... 66

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Anatomie der hirnversorgenden Gefäße (Ansicht der Großhirnhemisphären von frontal, medial und lateral), mit freundlicher Genehmigung der AMBOSS GmbH Arterielle Versorgungsgebiete der Großhirnhemisphären, Kapitel: Gefäßversorgung des Gehirns, Kapitel aktualisiert am 22.12.2023, zitiert am 02.06.2024 um 20.30, https://next.amboss.com/de/article/Q60ukS?q=arteria%20cerebri%20anterior.....16

Abbildung 2 Alberta Stroke Program Early CT Score (ASPECTS), mit freundlicher Genehmigung von Alwalid O, Radiopaedia.org (Accessed on 02 Mar 2023) https://radiopaedia.org/cases/72706 22

Abbildung 3 Abrupter Abbruch M1 Segment der A. cerebri media rechts, MRA in koronaler Rekonstruktion, mit freundlicher Genehmigung von Matt A. Morgan, Radiopedia.org (Accessed on 26 Apr 2024) https://radiopaedia.org/cases/53899.....23

Abbildung 4 Angiographie mit abruptem Abbruch im M1 Segment der A. cerebri media rechts, mit freundlicher Genehmigung von Matt A. Morgan, Radiopedia.org (Accessed on 26 Apr 2024) https://radiopaedia.org/cases/53899.....24

Abbildung 5 Angiographie mTICI 2b nach mechanischer Thrombektomie der A. cerebri media rechts, mit freundlicher Genehmigung von Matt A. Morgan, Radiopedia.org (Accessed on 26 Apr 2024) https://radiopaedia.org/cases/53899.....25

Abbildung 6 Stent-Retriever System (Solitaire Revascularization Device, mit freundlicher Genehmigung von Medtronic GmbH) 28

Abbildung 7 Darstellung Tracheostoma (mit freundlicher Genehmigung der Andreas Fahl Medizintechnik-Vertrieb GmbH) 36

Abbildung 8 Ein- und Ausschlusskriterien der Analysegruppen.....40

Abbildung 9 Schematische Darstellung des statistischen Arbeitsprozesses.....42

Abbildung 10 Komplikationen der Gruppen TK+ und TK- nach relativen Häufigkeiten 48

Abbildung 11 Verteilung der beiden Analysegruppen innerhalb des entwickelten Scores.....50

Abbildung 12 ROC-Kurve und Koordinaten, SPSS.....51

Abbildung A1 Entwicklung des Tracheostomiescores.....65

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 TOAST Kriterien, Trial of Org 10172 in Acute Stroke Treatment, modifiziert nach (Adams et al. 1993) 11
Tabelle 2 Modified Rankin Scale (Rankin 1957; van Swieten et al. 1988) 21
Tabelle 3 Basischarakteristika und Anamneseparameter TK+ versus TK- 44
Tabelle 4 Blutgasanalyse (früheste, arteriell) TK+ versus TK- 45
Tabelle 5 Schlaganfallparameter TK+ versus TK- 45
Tabelle 6 Scores und Bildgebungsparameter TK+ versus TK- 47
Tabelle 7 Krankenhausaufenthalt und Beatmungszeiträume in Tagen TK+ versus TK- 47
Tabelle 8 Univariate logistische Regression TK+ versus TK- 49
Tabelle 9 Multivariate logistische Regression TK+ versus TK- 49
Tabelle 10 Korrelation zwischen Beatmungsart und *Outcome* 53
Tabelle A1 Basis- und Anamnesecharakteristika der Sekundäranalyse 61
Tabelle A2 Schlaganfallparameter der Sekundäranalyse 62
Tabelle A3 Scores und Bildgebungsparameter der Sekundäranalyse 63
Tabelle A4 Komplikationen der Sekundäranalyse 64
Tabelle A5 Multivariate logistische Regression der Sekundäranalyse 64

Abkürzungsverzeichnis

A.	Arteria
Aa.	Arteriae
COPD	*Chronic obstructive pulmonary disease*
CS	*Conscious Sedation*
DALY	*Disability-adjusted life years*
ESUS	*embolic stroke of undetermined source*
GA	*General Anesthesia*
HDL	*High density Lipoprotein*
IQR	Interquartilabstand
IVT	Intravenöse Thrombolyse
LA	Lokalanästhesie
LDL	*Low density Lipoprotein*
LVOS	*Large vessel occlusion stroke*
mRS	*Modified Rankin scale*
mTICI	*Modified Thrombolysis in cerebral Infarction*
MT	Mechanische Thrombektomie
MW	Mittelwert
NIHSS	National Institute of Health *Stroke Scale*
SD	Standardabweichung
SU	*Stroke Unit*
TIA	Transitorische ischämische Attacke
TOAST	*Trial of Org 10172 in Acute Stroke Treatment*
VHF	Vorhofflimmern
WHO	World Health Organisation

1. Einleitung

1.1 Definition des Schlaganfalles und allgemeines Therapiekonzept

Als Schlaganfall, auch Insult oder Apoplex genannt, werden verschiedene Erkrankungen der Hirngefäße zusammengefasst, denen eine plötzliche Minderung der Blutversorgung des Hirnparenchyms durch einen Gefäßverschluss (ischämischer Schlaganfall) oder eine Gefäßruptur (hämorrhagischer Schlaganfall) gemeinsam sind. In Abhängigkeit von Dauer und Schwere des Versorgungsdefizites kommt es zur unwiderruflichen Schädigung von Nervenzellgewebe.

Der ischämische Schlaganfall, dem pathophysiologisch ein Verschluss eines hirnversorgenden Gefäßes durch einen Thrombus oder eine Embolie zu Grunde liegt, ist mit etwa 80 % die häufigste Form. Hiervon abzugrenzen ist der hämorrhagische Schlaganfall, bei dem eine intrakranielle Blutung zur Schädigung des umgebenden Hirngewebes führt (Hacke 2016). Dabei kommt es unabhängig von der Ätiologie zum plötzlichen Einsetzen unterschiedlicher Symptome wie Halbseitenlähmungen, Störungen des Sehens oder der Sprache. Die Symptomatik kann fluktuierend, progredient oder persistierend sein und abhängig vom betroffenen Hirnareal entsprechend der dort verortenden Funktion des Gehirns sehr variabel auftreten. Eine unverzügliche Diagnostik und Therapieeinleitung sind entscheidend für den Behandlungserfolg (*Outcome*), da hierdurch ein vollständiger Rückgang der Symptome möglich ist. Das Konzept „*time is brain*“ der Schlaganfall-Akuttherapie spiegelt sich in der ausgeprägten Ischämieintoleranz neuronaler Strukturen wieder; so führt statistisch bereits eine Behandlungsverzögerung von einer einzigen Sekunde zu einem Verlust von knapp 2,2 Stunden gesunder Lebenszeit (Almekhlafi et al. 2021). Bereits das präklinische Management inklusive supportiver Maßnahmen ist wegweisend. Durch die Voranmeldung und den schnellstmöglichen Transport der betroffenen Person in ein Krankenhaus mit einer *Stroke Unit* (SU) wird bereits die Diagnostik und Therapie mit dem notwendigen Fachpersonal gebahnt, um eine rasche klinische Versorgung sicherzustellen. Ein venöser Zugang, die Überwachung der Vitalparameter und des Blutzuckers, sowie – wenn möglich – eine 30°-Oberkörperhochlagerung sind Standard. Eine arterielle Hypertonie wird hingegen in der Regel toleriert, um die Sauerstoffversorgung der Penumbra mit einem ausreichend hohen mittleren arteriellen Druck sicherzustellen. Die Penumbra ist ein kritischer Bereich um das Infarktgebiet herum, der noch lebensfähige Neurone enthält, aber bereits unter einem verringerten Blutfluss leidet. Hypotonien sollten bereits präklinisch mithilfe von kristalloiden Lösungen und ggf. Noradrenalin behandelt werden. Des Weiteren spielen vor der Hospitalisierung eine Normoxämie, Normoglykämie und Normothermie zur Neuroprotektion eine wichtige Rolle (Ringleb et al. 2022a).

Nach Eintreffen der Patient*innen in der Notaufnahme wird die Anamnese und klinische Untersuchung rasch vervollständigt und bei Erhärtung der Verdachtsdiagnose umgehend eine native Computertomographie des Schädels angefertigt, um eine Hämorrhagie als Ursache der Symptomatik auszuschließen. Bestätigt sich der Verdacht auf einen ischämischen Schlaganfall kommen im Speziellen zwei Therapieoptionen in Betracht mit Hilfe derer eine Wiedereröffnung des verschlossenen Gefäßes ermöglicht werden kann. Die Thrombolysetherapie ist eine seit vielen Jahren etablierte und effektive medikamentöse Therapieform, die für etwa 20 % der Hirninfarktpatient*innen infrage kommt (Ärzteblatt 2019c). Einen herausragenden Fortschritt in der Schlaganfalltherapie stellt seit ihrer Einführung 2015 die mechanische Thrombektomie (MT) dar (Goyal et al. 2015), bei der das Blutgerinnsel mit einem Mikrokatheter aus den proximalen, zerebralen Gefäßabschnitten entfernt werden kann und somit ebenfalls als kausale Therapie des Schlaganfalles Anwendung findet. Im Jahr 2022 kamen in Deutschland für die Thrombektomie 16475 Patienten von insgesamt rund 260000 Schlaganfallpatienten in Frage, was etwa 6 % entspricht (Schramm 2023).

Für die Durchführung der MT werden circa 55 % der Patient*innen aus verschiedenen Gründen intubiert (Ilyas et al. 2018). Eine rasche Extubation mit anschließender Übernahme auf eine *Stroke Unit* nach dem etwa einstündigen Rekanalisationsverfahren ist dabei die Regel. Denn eine verlängerte Beatmungsdauer nach einer MT ist mit einer erhöhten Rate ungünstiger klinisch-funktioneller Ergebnisse nach drei Monaten sowie einer gesteigerten Pneumonierate verbunden (Fandler-Höfler et al. 2020).

Stroke Units stellen ein interprofessionelles Behandlungskonzept aus multimodalen Therapien und individuellen Rehabilitationsangeboten dar, welches das funktionelle *Outcome*, die Mortalität sowie die Unterbringung in Pflegeeinrichtungen signifikant reduziert (*Stroke Unit Trialists`Collaboration* 2013). Hier spielen vor allem rehabilitative Maßnahmen der Ergo-, Logo- Physio- und Psychotherapie eine tragende Rolle. *Stroke Units* können im Vergleich zu nicht auf die Therapie von Schlaganfällen spezialisierte Stationen außerdem die Liegezeiten verkürzen und Komplikationsraten reduzieren. Dennoch erleiden etwa 25 % der Patient*innen Komplikationen wie schwere Infektionen oder maligne, raumfordernde Schlaganfälle und müssen intensivmedizinisch versorgt werden (Faigle et al. 2016). Diese Behandlung umfasst sehr häufig aufgrund des eingeschränkten Bewusstseins und erloschenen Atemschutzreflexen die maschinelle Beatmung.

Diese Arbeit widmet sich jenen Patient*innen, welche aufgrund eines schweren ischämischen Schlaganfalles selbst oder dessen Folgen nicht frühzeitig von der künstlichen Beatmung entwöhnt werden können und somit über mehrere Tage oder Wochen mittels Endotrachealtubus beatmet werden müssen. Eine Alternative zur Beatmung über einen oro-tracheal eingeführten Tubus ist die Tracheotomie. Hierbei wird ein künstlicher Zugang zur Luftröhre unterhalb des Kehrkopfes geschaffen, über den die Beatmungsmaschine angeschlossen werden kann. Dieser Eingriff ist bei Patienten notwendig, die auf absehbare

Zeit nicht von der mechanischen Beatmung entwöhnt werden können und dient dazu Komplikationen zu vermeiden, die mit einer langwierigen oro-trachealen Intubation und tiefen Sedierung einhergehen. Eine Tracheotomie hat im Gegensatz zur fortgeführten oro-trachealen Intubation bei kritisch Kranken wesentliche Vorteile, wenngleich auch ein operativer Eingriff notwendig ist (Mallick und Bodenham 2010). Eine 2022 veröffentlichte Studie brachte hervor, dass eine frühe versus eine späte Tracheotomie die allgemeine und intensivmedizinische Behandlungsdauer verkürzen und das Risiko für eine beatmungsbedingte Pneumonie (*ventilator-related pneumonia*, VAP) reduzieren kann (Shen et al. 2022).

Diese Dissertation soll einen Ausblick darauf geben, ob Patienten mit einem erhöhten Beatmungsbedarf von jenen mit einem geringeren bereits frühzeitig identifiziert werden können. Zudem soll untersucht werden, ob diese Prädiktoren stark genug sind, die intensivmedizinische Therapie zeitnah und zugunsten der Komplikationsrate mit Hilfe einer Tracheotomie anzupassen.

1.2 Inzidenz, Mortalität und ökonomische Aspekte des Schlaganfalles

Etwa alle 40 Sekunden erleidet ein Mensch in den Vereinigten Staaten von Amerika (United States of America, USA) einen Schlaganfall (Mozaffarian 2016, Kap. 14) und alle dreieinhalb Minuten verstirbt eine betroffene Person in den USA an den Folgen (Tsao et al. 2022, S. 403). Mit einer Inzidenz von etwa 200.000 pro Jahr ist der Schlaganfall auch in Deutschland eine der häufigsten Erkrankungen des zerebrovaskulären Systems und mit einer Mortalität von circa 12 % im ersten Monat und weiteren 12 % im ersten Jahr nach Ereignis die dritthäufigste Todesursache (Heuschmann et al. 2010, S. 333 ff. Günster et al. 2011, S. 12). Zwar konnte in den vergangenen Jahrzehnten ein Rückgang der Mortalität verzeichnet werden, was zum einen durch die effektivere Prävention und zum anderen durch die Reduktion der Letalität erklärt werden kann, jedoch ist trotzdem mit einer Zunahme der Menschen mit Schlaganfall aufgrund der steigenden Lebenserwartung zu rechnen (Robert-Koch-Institut 2015, S. 43–49).

Außerdem wurde eine wachsende Inzidenz in der Altersklasse 20-64 Jahre beobachtet, was vermutlich mit dem stetigen Anstieg des Wohlstandes und des damit einhergehenden Lebensstils und dem kardio-vaskulären Risikoprofil in der westlichen Welt zusammenhängt (Katan und Luft 2018). Denn einige der hauptverantwortlichen Risikofaktoren für einen Schlaganfall wie Übergewicht, Rauchen, hoher Blutdruck, Diabetes mellitus, Dyslipidämie und mangelnde Bewegung sind ein deutliches Zeichen des gestiegenen Wohlstandes.

Laut der Weltgesundheitsorganisation (World Health Organisation, WHO) war der Schlaganfall 2019 weltweit die zweithäufigste Todesursache und belegt Platz drei der *disability-adjusted life years* (DALY) (2019). Die DALY lag 2019 global bei 143 Millionen Jahren

und ist eine gesundheitsökonomische Maßzahl zur Quantifizierung der verlorenen Lebensjahre durch vorzeitigen Tod oder der Menge an Lebensjahren mit Behinderung und berechnet sich aus deren Summe (Feigin et al. 2021). Die hohe Rangplatzierung verdeutlicht, dass der Schlaganfall nicht nur viele Lebensjahre einfordert, sondern auch eine erhebliche gesundheitsökonomische Belastung aufgrund der langjährigen Pflegebedürftigkeit nach einem überlebten Schlaganfall mit sich bringt. Nach einem Schlaganfall sind etwa 40 % langfristig auf Unterstützung im Alltag angewiesen (Luengo-Fernandez et al. 2013) und der Schlaganfall ist die Hauptursache für Behinderungen in Deutschland (Robert-Koch-Institut 2015).

Laut einer europaweiten Studie der Universität von Oxford beliefen sich die Gesamtkosten verursacht durch Schlaganfälle in Deutschland im Jahr 2017 auf 17 Milliarden Euro und sollen bis 2040 um 30 % steigen. In der gesundheitsökonomischen Berechnung flossen sowohl die Aufwendungen für die stationäre und ambulante Versorgung als auch die Auslagen für Produktivitätsverluste und die Pflege durch Angehörige mit ein (Luengo-Fernandez et al. 2020).

Laut eines Berichts des Bundesinstitutes für Bevölkerungsforschung aus dem Jahr 2021 befindet sich die Welt in einem epidemiologischen Wandel, was bedeutet, dass die steigende Lebenserwartung mit dem Wandel der Todesursachen zusammenhängt. So haben sich durch die zunehmende Entwicklung, wie beispielsweise sauberes Trinkwasser, bessere Ernährung und die Modernisierung des Gesundheitssystems, die Todesursachen von infektiösen hin zu nicht-infektiösen verschoben. Hierunter zählen Herz-Kreislauf-Erkrankungen inklusive Schlaganfälle, Tumore sowie Demenz und Parkinson. Zu Beginn des epidemiologischen Wandels in den 1950er Jahren konnte die Lebenserwartung schnell durch die Senkung der Kinder- und Müttersterblichkeit gesteigert werden. Wohingegen die Senkung der nicht-infektiösen Todesursachen ein erhebliches Engagement in die Prävention und Therapie beanspruchen wird (Elke et al. 2021, S. 38 ff.).

1.3 Ätiologie des ischämischen Schlaganfalles

Die TOAST Klassifikation (*Trial of Org 10172 in Acute Stroke Treatment*) entstand aus der gleichnamigen Studie 1993 und dient der Zuordnung der verschiedenen Schlaganfall-Ätiologien (Adams et al. 1993). Sie basiert auf klinischen Kriterien sowie funktionsdiagnostischen Zusatzparametern wie Elektrokardiogramm, Echokardiographie, radiologischer Bildgebung und klinischer Chemie. So werden makroangiopathische, kardial-embolische, mikroangiopathische, andere und unklare Ursachen unterschieden und sind in Tabelle 1 mit den entsprechenden Diagnosekriterien und der Klinik dargestellt.

Die Verteilung der Schlaganfallursachen wurde im Erlanger Schlaganfall Projekt (ESPro) untersucht und ergab für 1355 Schlaganfallerstmanifestationen in einer demographisch geschlossenen Population folgendes: 12 % makroangiopathisch, 26 % kardial-embolisch, 24 % mikroangiopathisch, 37 % ungeklärte Ätiologie und 2 % ließen sich den anderen Ursachen zuordnen, wozu Vaskulitiden, Koagulopathien, Dissektionen, Fettembolien und Migräne-assoziierte Schlaganfälle zählen (Dietl et al. 2009).

Die TOAST- Einteilung hat Bedeutung bei der Erforschung von Entstehungsmechanismen und Risikofaktoren eines ischämischen Schlaganfalles, bei der Zuordnung in Behandlungsgruppen und lässt Rückschlüsse auf die Prognose des gesundheitlichen Zustandes der Betroffenen zu. Die Langzeitüberlebensraten sind abhängig von der Ursache des Schlaganfalles. Dabei liegt die 5-Jahres-Überlebenswahrscheinlichkeit insgesamt von Frauen bei 50,4 % (95 % KI, 47,9-53,1) und von Männern bei 59,2 % (95 % KI, 56,4-62,0). Handelt es sich um das Erstereignis und um eine Mikroangiopathie, so ist die 5-Jahres-Überlebenswahrscheinlichkeit am höchsten (Frauen 71,8 %, Männer 75,9 %), bei einer kardio-embolischen Genese hingegen am niedrigsten (Frauen 35,7 %, Männer 47,8 %) (Rücker et al. 2020).

Tabelle 1 TOAST Kriterien, Trial of Org 10172 in Acute Stroke Treatment, modifiziert nach (Adams et al. 1993)

Entität und Häufigkeit	**Diagnosekriterien**	**Klinik**
Makroangiopathie (12 %)	> 50 % Stenose oder Okklusion einer extra- oder intrakraniellen Arterie durch Atherosklerose oder CT/MRT kortikale oder zerebelläre Läsion oder subkortikale Infarzierung > 1,5 cm Durchmesser Ausschluss einer kardial-emolischen Genese	z.B. Seh- und Sprechstörungen, Schwindel, Neglect, sensorisches/ motorisches Defizit
Kardioembolie (26 %)	Mind. eine kardiale Ursache für arteriellen Verschluss * s. Makroangiopathie	z.B. Seh- und Sprechstörungen, Schwindel, Neglect, sensorisches/ motorisches Defizit
Mikroangiopathie (24 %)	Diabetes mellitus oder arterielle Hypertonie in Vorgeschichte CT/MRT unauffällig oder Läsion < 1,5 cm Durchmesser Ausschluss Makroangiopathie und Kardioembolie	Lakunäre Syndrome, keine kortikale Dysfunktion
Andere bekannte Ursache (2 %)	Nachweis mind. einer der unten genannten Ursachen ** Nachweis einer Ischämie in CT/MRT unabhängig von Lokalisation und Größe Ausschluss Makroangiopathie und Kardioembolie	Kein Unterscheidungskriterium
Unbekannte Ursache (37 %)	Zwei oder mehr potenzielle Ursachen eruierbar, keine Ursache eruierbar, unvollständige Diagnostik	Kein Unterscheidungskriterium

***** mögliche Ursachen für Kardioembolie: Herzklappenersatz, Vorhofflimmern, Sick-Sinus-Syndrom, Z.n. Myokardinfarkt, intrakardiale Thromben, Endokarditiden, offenes Foramen ovale, Herzinsuffizienz

** Vaskulitiden, Koagulopathien, Dissektionen, Fettembolien, Migräne-assoziiert

1.4 Risikofaktoren des ischämischen Schlaganfalles

Als häufigster Auslöser für eine akute, zerebrale Minderperfusion der hirnversorgenden Arterien gilt die Atherosklerose. Sie entsteht aufgrund eines komplexen, langjährigen Pathomechanismus innerhalb der Gefäßwand, der durch verschiedene Risikofaktoren, wie z.B. Nikotinabusus, Dyslipidämie, Diabetes mellitus, Adipositas und arterielle Hypertonie ausgelöst wird.

Laut Deutscher Gesellschaft für Neurologie seien 70 % der Schlaganfälle vermeidbar durch Modulation der Risikofaktoren (Olma und Kurth 2022). Außerdem addieren sich die verschiedenen Risikofaktoren nicht nur, sie potenzieren sich. Diabetes mellitus oder Tabakkonsum erhöhen das Risiko um das Zwei- bis Dreifache, arterielle Hypertonie bis auf das Zwölffache (Ärzteblatt 2019a). Unbehandelte Hypertonie in Kombination mit absoluten Arrhythmien bei Vorhofflimmern erhöhen das Schlaganfallrisiko sogar um das Zwanzigfache (Ärzteblatt 2019b). Die INTERSTROKE-Studie hat in 22 Ländern zehn Risikofaktoren identifiziert: arterielle Hypertonie, aktuelles Rauchen, Ernährung mit viel rotem Fleisch, Eiern, frittiertes oder salziges Essen, mangelnde Bewegung, Taille-Hüfte-Verhältnis, Diabetes mellitus, Alkoholkonsum (> 30 Getränke pro Monat), psychosozialer Stress, Vorhofflimmern, Dyslipidämie. Hierbei machten bereits Bluthochdruck, aktuelles Rauchen, abdominale Fettleibigkeit, Ernährung und mangelnde körperliche Aktivität 80 % des globalen Risikos aus. Unter Hinzunahme der fünf weiteren Risikofaktoren erhöhte sich das attributable Risiko in der Allgemeinbevölkerung auf 90 % (O'Donnell et al. 2010).

Die arterielle Hypertonie ist der mit Abstand häufigste Risikofaktor für Schlaganfälle weltweit. Sie führt zu einer mechanischen Belastung und zu Gegenregulationsmechanismen des Herz-Kreislaufsystems, welche dieses in Anhängigkeit von Dauer und Intensität nachfolgend schädigen. Eine konsequente Blutdruckkontrolle von < 130 mmHg geht mit einer um 42 % geringeren Inzidenz von Schlaganfällen und einer Verringerung des Rezidiv-Aufkommens im Vergleich zum Standard-Blutdruck von 130 - 139 mmHg einher (Tsao et al. 2022).

Das Rauchen kann das Schlaganfallrisiko um etwa 50 % erhöhen. Dabei spielt nicht nur der prothrombotische Effekt der verschiedenen Inhaltsstoffe, sondern auch die Verstärkung der Atherosklerose eine Rolle (Gerischer et al. 2015).

Diabetes mellitus erhöht ebenfalls das Risiko einen Schlaganfall oder ein Rezidiv zu erleiden, insbesondere bei den Jüngeren. Außerdem ist dieser Risikofaktor mit einem schlechteren *Outcome*, Re-Hospitalisierungen und einer erhöhten Mortalität assoziiert (Virani et al. 2021).

Das Vorhofflimmern (VHF) gilt als eine der häufigsten kardialen Ursachen eines ischämischen Schlaganfalles (Höer et al. 2023). Hierbei entstehen durch die Rhythmusstörung Thromben innerhalb des Herzens, welche mit dem Blutstrom in die hirnversorgenden Arterien gelangen können. Ungefähr 80 % der Erstereignisse eines VHF

sind asymptomatisch, weshalb es häufig der Diagnostik entgeht. Man kann davon ausgehen, dass etwa 20-30 % aller Schlaganfälle auf ein VHF zurückzuführen sind (Höer et al. 2023).

Eine ausgewogene Einstellung der Blutfettwerte bewies sich als sehr bedeutsam in der Prävention vor Schlaganfällen. So werden hohe *Low-Density-Lipoprotein*-Werte (LDL) mit erhöhten makroangiopathischen, atherosklerotischen Veränderungen und hohe *High-Density-Lipoprotein*-Werte (HDL) mit einer Senkung atherosklerotischer Plaques der kleinen Gefäße vergesellschaftet. Dahingegen gibt es Hinweise, dass sehr niedrige LDL Werte das Risiko für hämorrhagische Schlaganfälle steigern können (Virani et al. 2021).

Ein weiterer beeinflussbarer Risikofaktor sind die Ernährungsgewohnheiten. Eine Metaanalyse untersuchte, ob der tägliche Konsum von Obst und Gemüse das Auftreten eines Schlaganfalles beeinflussen kann. So zeigte sich, dass das Risiko für einen Schlaganfall mit jeder Portion Obst pro Tag um 11 % reduziert werden konnte (Dauchet et al. 2005).

Neben den beeinflussbaren existieren zahlreiche nicht-beeinflussbare Risikofaktoren für das Auftreten eines Schlaganfalles. Viele von ihnen hängen direkt mit der Entstehung der Atherosklerose zusammen, andere haben selbst einen Effekt auf zellulärer Ebene.

Das Lebensalter und das Geschlecht haben einen komplexen Einfluss auf die Pathophysiologie des ischämischen Schlaganfalles und interagieren miteinander. So stellt das Altern unter den nicht veränderbaren Einflussgrößen die dominierende dar. In jüngeren Jahren erleiden häufiger Männer einen Schlaganfall als Frauen, wohingegen die Frauen in der höheren Altersklasse führend sind. Dies liegt vor allen daran, dass die Prävalenz im Alter zunimmt und die Lebenserwartung der Frauen höher ist (Roy-O'Reilly und McCullough 2018). Aber auch das Einsetzen der Menopause und der konsekutive Verlust weiblicher Sexualhormone scheint unter anderem einen Einfluss zu haben. Eine 2015 veröffentlichte Studie zur Minocyclin-Neuroprotektion nach ischämischem Schlaganfall konnte eine geschlechtsabhängige Wirkung zugunsten des männlichen Geschlechts nachweisen (Amiri-Nikpour et al. 2015).

1.5 Pathomechanismus des ischämischen Schlaganfalles

Im Wesentlichen lassen sich drei verschiedene Pathomechanismen für einen Schlaganfall finden: atherosklerotische, embolische und andere.

Die atherosklerotische Genese folgt einem komplexen Pathomechanismus und kann sowohl die Hirnbasisarterien als auch die intrakraniellen Hirnarterien betreffen (Makro- bzw. Mikroangiopathie). Dabei spielt eine chronische Belastung der innersten Gefäßschicht, der Tunica intima, eine bedeutende Rolle (Böcker 2012). Diese Belastung kann zum einen bedingt sein durch hämodynamische Aspekte wie eine arterielle Hypertonie oder lokale Prädilektionsstellen, zum anderen durch biochemische Vorgänge wie z.B. Rauchen, Dyslipidämien oder Entzündungsreaktionen und zu einer endothelialen Dysfunktion führen. Diese Dysfunktion basiert hauptsächlich auf einem Stickstoffmonooxid-Mangel, wodurch die intrazelluläre Signaltransduktion gestört wird und oxidativer Stress entsteht. Infolge dessen werden die Thrombozytenaggregation und -adhäsion sowie die Gefäßpermeabilität verändert (Böcker 2012). Durch die genannten Vorgänge wandern aktivierte Monozyten in das Endothel ein und phagozytieren dort abgelagertes Cholesterin. Der Phagozytose folgt im Verlauf die Apoptose der Monozyten, sie werden histopathologisch zu sogenannten Schaumzellen mit nekrotischem Kern. Des Weiteren lagern sich im Endothel Zelldetritus und Kalzium ab und glatte Muskelzellen proliferieren, was eine chronische Entzündungsreaktion zur Folge hat. Die abgelagerte Masse wird als atherosklerotische Plaque oder auch Atherom bezeichnet. Es kommt nachfolgend zur sukzessiven Lumeneinengung und Stenosierung des Gefäßes. Der hierdurch erhöhte Strömungswiderstand steigert vor der Engstelle die Strömungsgeschwindigkeit und senkt sie nachfolgend. Durch die unphysiologischen Strömungsverhältnisse wird der gesamte Mechanismus weiter verstärkt und es kann zur vollständigen Verlegung des Gefäßes kommen (arterielle Thrombose). Die Oberfläche einer atherosklerotischen Plaque kann auch zerklüftet und exulzeriert sein, so dass durch appositionelle Thromben der Plaque aufgelockert ist. Solche Plaques sind häufig die Ursache für Embolien, genau wie rupturierte Plaques, da sie im turbulenten Blutstrom losgelöst werden (Hacke 2016).

Mit etwa 40 % ist der embolische Verschluss einer zerebralen Arterie die häufigste Ursache des ischämischen Schlaganfalles (Hacke 2016). Bei der Thromboembolie kann es durch Ruptur des Atheroms und Freilegung des nekrotischen Kerns zur Aktivierung der Blutgerinnung und zur Fortspülung partikulärer Bestandteile aus dem Thrombus kommen, wodurch es zur Verlegung der nachgeschalteten Hirnarterien kommt. Häufige Prädilektionsstellen sind die Karotisbifurkation und die Aorta (Hacke 2016). Eine kardial bedingte Thromboembolie, wie sie typischerweise im Rahmen eines VHF vorkommt, ist ebenfalls ein häufiger Grund für eine Hirnischämie. Bei einer Vorhoffrequenz von bis zu 400 Schlägen pro Minute bilden sich hauptsächlich im linken Vorhofohr Thromben, welche mit dem Blutstrom in die Hirnarterien fortgeleitet werden können. Ferner kommen septische, tumorbedingte aber auch Luft-, Fett-, Knochenmark- oder Fruchtwasserembolien

infrage. Die paradoxe Embolie beschreibt die Ausschwemmung eines Thrombus des rechten Vorhofes über ein persistierendes Foramen ovale auf die linke Herzhälfte und somit in das Hochdrucksystem und ist damit auch eine Quelle für eine thromboembolische Hirnischämie.

Zu den anderen Pathomechanismen zählen z. B. hämodynamisch verursachte Schlaganfälle, die bei systemischen Perfusionsdefiziten (Herzstillstand, Arrhythmien, Myokardinfarkt, Lungenarterienembolie) auftreten, sowie Hypoxien, Koagulopathien, Dissektionen und Vaskulitiden.

1.6 Anatomie der hirnversorgenden Arterien

Die gesamte Sauerstoffversorgung des Gehirns erfolgt über vier Arterien und deren Aufzweigungen. Die paarig angelegten Aa. carotides internae ventral und die ebenfalls paarigen Aa. vertebrales dorsal. Die A. carotis interna entspringt beidseits der A. carotis communis, die A. vertebralis zweigt sich links aus der A. subclavia und rechts aus dem Truncus brachiocephalicus ab. Die vier Gefäße verlaufen zunächst in einem extrakraniellen Abschnitt und verzweigen sich nach Durchtritt durch die Schädelbasis in ihrem intrakraniellen Verlauf weiter. Die Äste, die aus den beiden Aa. carotides internae hervorgehen, zählen zum vorderen Stromgebiet und heißen A. cerebri media und anterior. Die Aa. vertebrales vereinigen sich zunächst zur A. basilaris im sogenannten vertebrobasilären Übergang. Anschließend teilt sich die A. basilaris in die Aa. cerebri posteriores, diese bilden das hintere Stromgebiet. Auf Höhe des Hypophysenstiels verlaufen die A. cerebri anterior, A. cerebri media und A. cerebri posterior der jeweiligen Hirnhälfte in ihre Versorgungsgebiete. Diese Versorgungsgebiete sind in Abbildung 1 dargestellt. Rami communicantes verbinden das vordere mit dem hinteren Stromgebiet sowie die linke mit der rechten Hemisphäre im Circulus arteriosus cerebri (auch Circulus arteriosus willisii). Abhängig von der Stärke dieser Kollateralen, welche einer hohen individuellen Varianz unterliegen, kann bei einem Verschluss eines oder sogar mehrerer extrakranieller Gefäße bei intaktem Circulus arteriosus willisii eine Anastomosierung erfolgen, was die Sauerstoffversorgung des Gehirns einzigartig macht (Hacke 2016). Auch funktionelle Anastomosen zwischen den intra- und extrakraniellen Arterien stellen eine zusätzliche Sicherung der Sauerstoffversorgung des Gehirns dar. Da die Blutversorgung des Gehirns so essentiell für das Überleben des gesamten Individuums ist, liegt die physiologische Durchblutung deutlich oberhalb der Infarktschwelle (Hacke 2016).

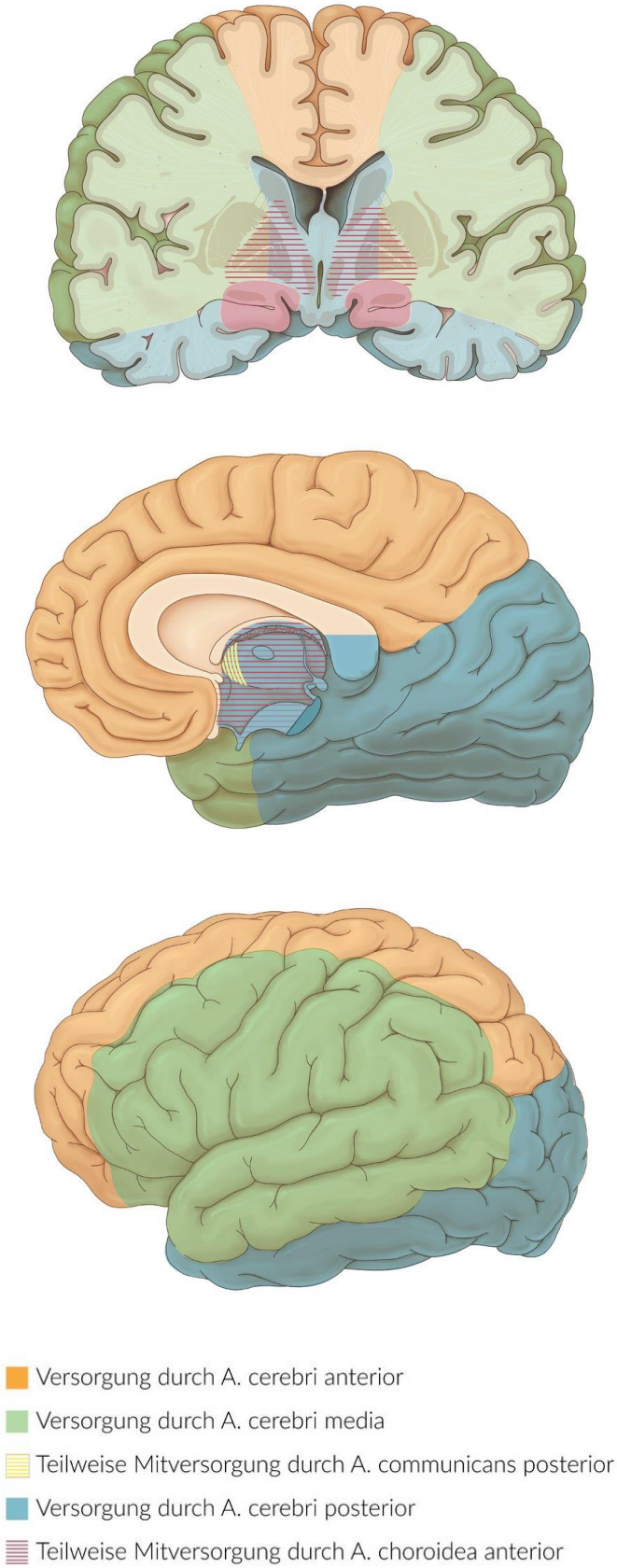


Abbildung 1 Anatomie der hirnversorgenden Gefäße (Ansicht der Großhirnhemisphären von frontal, medial und lateral), mit freundlicher Genehmigung der AMBOSS GmbH Arterielle Versorgungsgebiete der Großhirnhemisphären, Kapitel: Gefäßversorgung des Gehirns, Kapitel aktualisiert am 22.12.2023, zitiert am 02.06.2024 um 20.30, https://next.amboss.com/de/article/Q60ukS?q=arteria%20cerebri%20anterior

1.6.1 Arteria cerebri anterior

Die A. cerebri anterior ist ein Endast der A. carotis interna und wird entsprechend ihrer Lage zur A. communicans anterior in ein A1- und A2- Segment unterteilt. Die Arterie versorgt Teile des präfrontalen und prämotorischen Kortex sowie Teile des Parietallappens und das Septum. Ein Verschluss der A. cerebri anterior ist mit 5 % eher selten und führt typischerweise zu beinbetonten, sensomotorischen Hemiparesen kontralateral des Infarktgebietes (Hacke 2016).

1.6.2 Arteria cerebri media

Die A. cerebri media ist ebenfalls ein Endast der A. carotis interna und wird nach Abgabe der A. cerebri anterior in einen M1- und M2- Abschnitt untergliedert. Ihr Versorgungsgebiet umfasst große Teile des Frontal-, Patietal- und Temporallappens und ist somit das größte der drei Hirnarterien. Durch die Lokalisation auf der Großhirnhälfte kommt es beim Ausfall dieser Arterie klassischerweise zu armbetonten Lähmungen auf der kontralateralen Seite. Auch der sogenannte Hemineglect wird einer Läsion im Mediastromgebiet zugesprochen, bei der Betroffene trotz intakter primärer Sensorik und Motorik die kontralaterale Körperhälfte nicht wahrnehmen. Ebenfalls zu den vielfältigen Symptomen eines Mediainfarktes zählen Aphasien unterschiedlicher Ausprägung durch die Versorgung des Wernicke- und Broca-Sprachzentrums. Aufgrund verschiedener Faktoren wie Strömungsverhältnisse und Bifurkationen ist die A. cerebri media die häufigste Ursache für einen ischämischen Schlaganfall (Hacke 2016).

1.6.3 Arteria cerebri posterior

Die Aa. cerebri posteriores entstehen durch Aufzweigung der A. basilaris, welche wiederum aus dem Zusammenschluss der Vertebralisarterien gebildet wird. Man unterteilt sie in vier Segmente. Zum Versorgungsgebiet zählen der Temporal- und Okzipitallappen sowie das Mesencephalon. Posteriorinfarkte sind eher selten und führen typischerweise zu homonymer Hemianopsie, aber auch zu komplexen neuropsychologischen Mischbildern mit Gedächtnisstörungen, Unruhe oder Desorientiertheit (Hacke 2016).

1.6.4 Arteria vertebralis und basilaris

Infarkte aus dem Versorgungsgebiet der A. basilaris und A. vertebralis werden auch als Hirnstamminfarkte bezeichnet, da sie diesen perfundieren. Dazu zählen das Mesencephalon, das Cerebellum, der Pons und das Myelencephalon mit der Medulla oblongata. Durch eine Ischämie in diesem Versorgungsgebiet können lebenswichtige Funktionen wie Atmung, Herzfrequenzsteuerung, aber auch Hirnstammreflexe wie der Hustenreflex beeinträchtigt sein. Ein akuter Verschluss der A. basilaris hat ohne Behandlung eine Sterblichkeit von 80 % (Hacke 2016). Schlaganfälle der hinteren Zirkulation (Aa. cerebri posteriores, A. basilaris und Aa. vertebrales) machen etwa 20-25 % aller Ischämien aus (Sparaco et al. 2019).

1.7 Symptome und Diagnostik

Ein Schlaganfall äußert sich, unabhängig von seiner Ätiologie, als plötzliche oder rasch zunehmende Ausfallerscheinung neurologischer Funktionen. Welche spezielle Funktion betroffen ist, ist abhängig vom Ausfall des entsprechenden Hirnareales, welches diese Funktion ausübt. Bedingt durch die komplexe Organisation des Gehirns gibt es vielfältige Erscheinungsformen. So löst ein Verschluss der A. cerebri media typischerweise eine brachofazialbetonte Hemiparese kontralateral aus, ein Verschluss der A. cerebri posterior einen kontralateralen Gesichtsfelddefekt. Eine solche Ausfallerscheinung wird als fokal-neurologisches Defizit bezeichnet, wenn sie sich einem bestimmten arteriellen Versorgungsgebiet zuordnen lassen kann und ist nicht nur für die beteiligten Ärzt*innen, sondern vor allem auch für den Betroffenen ein alarmierender Befund und weist auf eine bedrohliche Erkrankung des Gehirns hin. Zu den häufigsten Symptomen gehören die Hemiparese, die Hemihypästhesie sowie Sprach- und Sehstörungen. Aber auch Bewusstseinseintrübung oder Schwindel können isoliert auftreten. Hierbei ist der plötzliche Beginn der Symptomatik von entscheidender Bedeutung für die Abgrenzung zu anderen neurologischen Krankheitsbildern.

Der im Jahr 2017 überarbeitete und validierte *BE-FAST Score* ist ein klinischer Test für die schnelle Erkennung eines Schlaganfalles und kann vor allem auch von Laien angewendet werden. Das Akronym steht für ***B****alance* (Gleichgewicht), ***E****yes* (Augen), ***F****ace* (Gesicht), ***A****rms* (Arme), ***S****peech* (Sprache) und ***T****ime* (Zeit) (Aroor et al. 2017). In verschiedenen Kampanien der weltweiten Gesundheitsministerien und -organisationen wird dieser Test beworben, um die Aufmerksamkeit für das komplexe Krankheitsbild in der Allgemeinbevölkerung zu schaffen. Denn dabei gilt der Leitsatz „*time ist brain*“, was bedeutet, dass eine unverzügliche Diagnostik und Therapie absolut entscheidend für den Ausgang der Erkrankung sind, weil mit jeder Minute etwa 1,9 Millionen Neurone, 14 Billionen Synapsen und 12 Kilometer myelinisierte Nervenfasern zugrunde gehen, wenn nicht unverzüglich eine Therapie eingeleitet wird (Saver 2006). In der neuesten S2e-Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Neurologie und der Deutschen Schlaganfall-Gesellschaft wird der *BE-FAST-Score* als prähospitale Screeningmethode empfohlen (Ringleb et al. 2022b).

Eine strukturierte Anamnese und zügige Diagnostik sind das Fundament der Behandlung des akuten Schlaganfalles und sollte nicht länger als fünf Minuten dauern, denn dieses Krankheitsbild stellt einen potenziell lebensbedrohlichen Notfall dar. Das Rettungsdienstpersonal sollte bereits prähospital wichtige Basisinformationen sammeln, die durch einen in der Schlaganfalltherapie erfahrenen Arzt/Ärztin möglichst mit Anbindung einer zertifizierten *Stroke Unit* ergänzt werden. Die Medikamentenanamnese, insbesondere eine antikoagulatorische Behandlung, und der exakte Symptombeginn sind entscheidend für die anschließende therapeutische Strategie. Zusätzlich zur fokussierten klinisch-neurologischen Untersuchung, inklusive des National Institutes of Health *Stroke Scale*

(NIHSS, siehe 1.9.1) zur Graduierung der Symptomschwere, werden Vital- und Laborparameter erhoben und umgehend eine zerebrale Bildgebung durchgeführt. Diese umfasst bei Verdacht auf einen akuten Hirninfarkt mindestens eine native kraniale Computer- (cCT) oder Magnetresonanztomographie (cMRT) zum Ausschluss eines hämorrhagischen Infarktes und sollte laut aktueller Leitlinie bei einer Thrombolyseindikation unabhängig vom NIHSS um eine nicht-invasive Gefäßdiagnostik (Computertomographie-Angiographie oder Magnetresonanz-Angiographie) ergänzt werden, um die Indikation für eine endovaskuläre Therapie zu prüfen (Royl et al. 2010). Außerdem ist oftmals einige Stunden nach Ereignis eine Infarktzone im nativen cCT darstellbar.

Auch bei Patient*innen mit nur geringer oder vorübergehender Symptomatik sind ein 12-Kanal-Elektrokardiogramm, die Doppler- und Duplexsonographie der hirnversorgenden intra- und extrakraniellen Arterien sowie die Echokardiographie Bestandteile der zügig durchzuführenden Diagnostik (Ringleb et al. 2022b).

1.8 Einteilung des Schlaganfalles

Anzugrenzen vom ischämischen Schlaganfall, bei dem ein fokaler Infarkt des zentralen Nervensystems nachweisbar ist, ist die transitorische ischämische Attacke (TIA), welche umgangssprachlich als Vorbote des Schlaganfalles bezeichnet wird. Hierbei handelt es sich um eine vorübergehende Episode eines neurologischen Funktionsausfalles, welche auf eine passagere Durchblutungsstörung, jedoch ohne Nachweis einer Gewebeschädigung, zurückzuführen ist. Als Vorbote wird die TIA bezeichnet, weil etwa 50 % aller Schlaganfälle ein bis zwei Tage nach einer stattgehabten TIA auftreten (Easton et al. 2009). Als ein klinisch stummer Infarkt wird ein Untersuchungsbefund bezeichnet, der mit einer zurückliegenden Ischämie vereinbar ist, bei dem sich aber anamnestisch kein Hinweis für ein solches Ereignis findet. Bei einem *Progressive Stroke* ist die Symptomschwere im Verlauf zunehmend.

Eine weitere Unterteilung des Schlaganfalles lässt sich anhand der Symptomschwere vornehmen. Hierbei dient der Wert der Schlaganfall-Scala des National Institutes of Health (NIHSS) als Bezugspunkt (siehe folgenden Abschnitt). Ein leichter Schlaganfall geht mit einer geringen Symptomschwere einher und liegt auf der NIHSS zwischen 1-4. Die Punktwerte 5-15 werden als moderater Schlaganfall gewertet, die Werte 16-20 als moderat bis schwer. Ab einem NIHSS von >21 wird der Schlaganfall als schwer eingeordnet.

1.9 Verwendete Klassifikationsmodelle

1.9.1 National Institutes of Health Stroke Scale (NIHSS)

Mit Hilfe der Schlaganfall-Scala des National Institutes of Health (NIHSS) ist eine Graduierung der Schwere eines Schlaganfalles durch eine neurologisch geführte Untersuchung möglich (Brott et al. 1989). Sie kann zu verschiedenen Zeitpunkten erhoben werden und dient so auch der Verlaufsbeurteilung nach einem Schlaganfall und der frühen Einschätzung des individuellen Behandlungserfolges, welcher auch als *Outcome* bezeichnet wird. So erhöht jeder Punkt auf der Skala die Wahrscheinlichkeit, dass der oder die Betroffene anschließend nicht in die eigene Häuslichkeit entlassen werden kann (Schlegel et al. 2003).

Die Skala beinhaltet 13 Kategorien anhand derer eine Einschätzung der Schwere des neurologischen Defizites möglich ist. Zu den Kategorien zählen unter anderem eine Bewertung des Bewusstseins und der Orientierung, der Okulo- und Extremitätenmotorik, der Sensorik sowie der Sprache und Dysarthrie. In jeder Kategorie können 0 bis maximal 4 Punkte vergeben werden und sie reicht von 0 bis 42 Punkte. Je höher der Wert auf der Skala ist, desto ausgedehnter ist das Infarktareal und die Symptomschwere. Die NIHSS wurde von den Ärzt*innen der Universitätsmedizin Göttingen jeweils bei Aufnahme und Entlassung der Studienteilnehmer erhoben und in eine Datenbank eingefügt.

1.9.2 Modified Rankin Scale (mRS)

Die modifizierte Rankin Skala (siehe Tabelle 2) ist ein standardisiertes Maß für den Grad einer neurologischen Beeinträchtigung nach einem Schlaganfall und kann die Werte null (keinerlei Symptome) bis sechs (Tod infolge eines Schlaganfalles) annehmen (Rankin 1957; van Swieten et al. 1988).

Tabelle 2 Modified Rankin Scale (Rankin 1957; van Swieten et al. 1988)

mRS-Wert	Grad der Beeinträchtigung	Auswirkungen
0	Keine	Keine
1	Nicht relevant	Kann trotz gewisser Symptome Alltagsaktivitäten verrichten
2	Leicht	Kann sich ohne Hilfe versorgen, ist aber im Alltag eingeschränkt
3	Mittelschwer	Benötigt Hilfe im Alltag, kann aber ohne Hilfe gehen
4	Höhergradig	Benötigt Hilfe bei der Körperpflege, kann nicht ohne Hilfe gehen
5	Schwer	Bettlägerig, inkontinent, benötigt ständig pflegerische Hilfe
6		Tod infolge des Schlaganfalles

1.9.3 Alberta Stoke Program Early CT Score (ASPECT Score)

Der ASPECT *Score* ist eine valide, quantitative, computertomographiegestützte Topographieanalyse des Mediastromgebietes und wurde initial dazu entwickelt, das cCT nach Schlaganfall zu beurteilen. Nachfolgend konnte außerdem eine Assoziation zwischen dem *Score* und der aus dem Schlaganfall resultierenden Pflegebedürftigkeit oder dem Auftreten von Todesereignissen gezeigt werden (Pexman et al. 2001). Die Bewertung Anhand des ASPECT *Scores* erfolgt wie in Abbildung 2 dargestellt in zehn definierten Bereichen im Stromgebiet der Arteria cerebri media. Diese zehn anatomischen Orientierungspunkte werden auf das Vorhandensein frischer ischämischer Läsionen mittels nativer kranialer CT hin untersucht. Zu den möglichen Läsionen zählen unter anderem eine verwaschene Mark-Rinden-Grenze, verstrichene Sulci, Hypodensitäten im Parenchym und verminderte Abgrenzbarkeit bestimmter Strukturen, wie z.B. den Basalganglien. Bei Detektion einer solchen Läsion wird ein Punkt der zehn erreichbaren Punkte subtrahiert. So erhält eine Schnittbildgebung ohne einen Hinweis auf eine Ischämie im Mediastromgebiet zehn von zehn möglichen Punkten, wohingegen ein großes Infarktgeschehen zu sukzessiven Punktabzügen führt. Hohe Punktwerte in diesem Punktesystem werden mit einer niedrigeren Pflege- und Todeswahrscheinlichkeit, sowie mit einem niedrigeren Risiko für symptomatische intrakranielle Blutungen assoziiert (Prakkamakul und Yoo 2017).

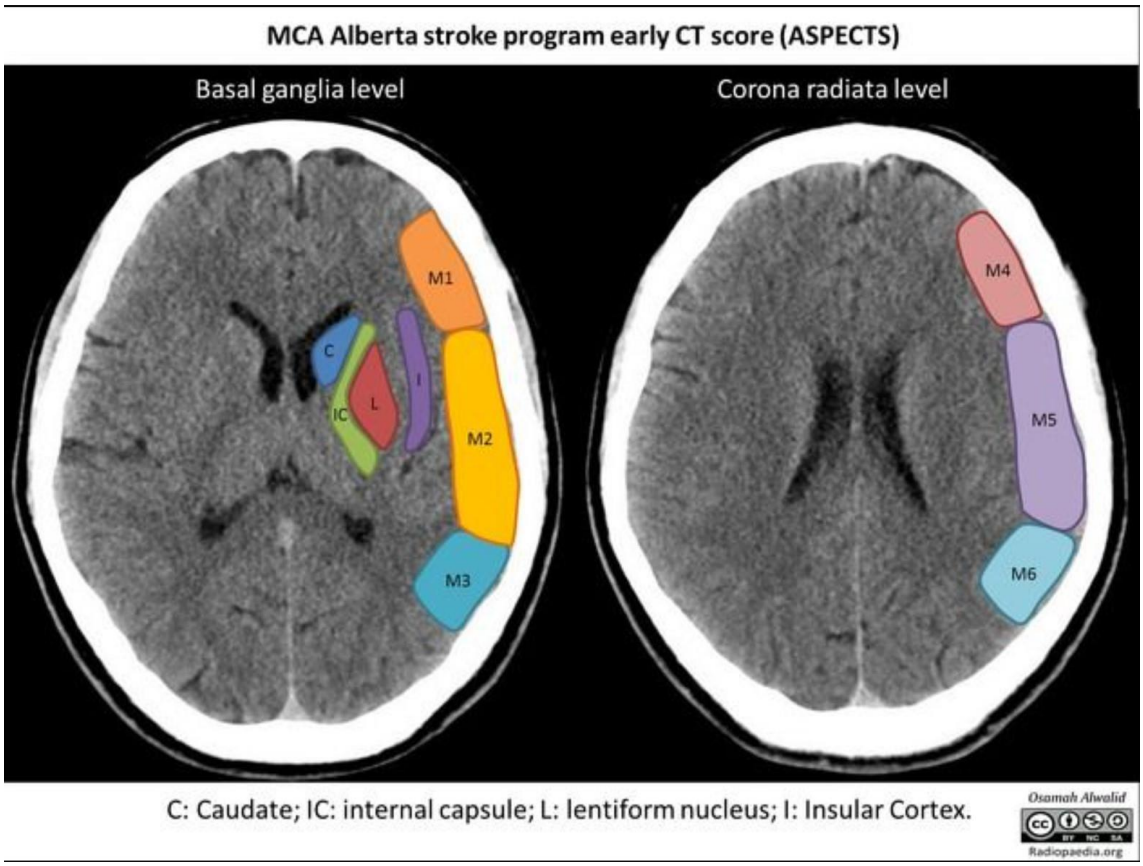


Abbildung 2 Alberta Stroke Program Early CT Score (ASPECTS), mit freundlicher Genehmigung von Alwalid O, Radiopaedia.org (Accessed on 02 Mar 2023) https://radiopaedia.org/cases/72706

1.9.4 Modified Treatment in cerebral Ischemia (mTICI) Score

Hierbei handelt es sich um eine angiographische Graduierung des Behandlungserfolges nach mechanischen Rekanalisation. Durch eine kontrastmittelgestützte Beurteilung des ursprünglich okkludierten Gefäßes sowie des distal davon gelegenen reperfundierten Hirnabschnittes kann die Effektivität der Thrombektomie klassifiziert und dokumentiert werden. Der *Score* kann Werte von null bis drei annehmen, wobei mTICI 0 eine frustrane Reperfusion und mTICI 3 eine vollständige Wiedereröffnung des okkludierten Gefäßes darstellt. Durch die Modifizierung des *Scores* wird in Grad 2a und 2b die Unterscheidung der partiellen Reperfusion zwischen mehr oder weniger als 50 % getroffen, was eine leichtere Anwendbarkeit im Vergleich zum ursprünglichen TICI *Score* darstellt. Zudem hat sich der mTICI *Score* auch zur Abschätzung des klinischen Ergebnisses bewährt (Zaidat et al. 2013). In den folgenden Abbildungen ist ein vollständiger Verschluss der A. cerebri media im M1-Segment zu sehen. Die letzte Abbildung stellt die erreichte Reperfusion nach einer mechanischen Thrombektomie mit einem mTICI *Score* von 2b dar.

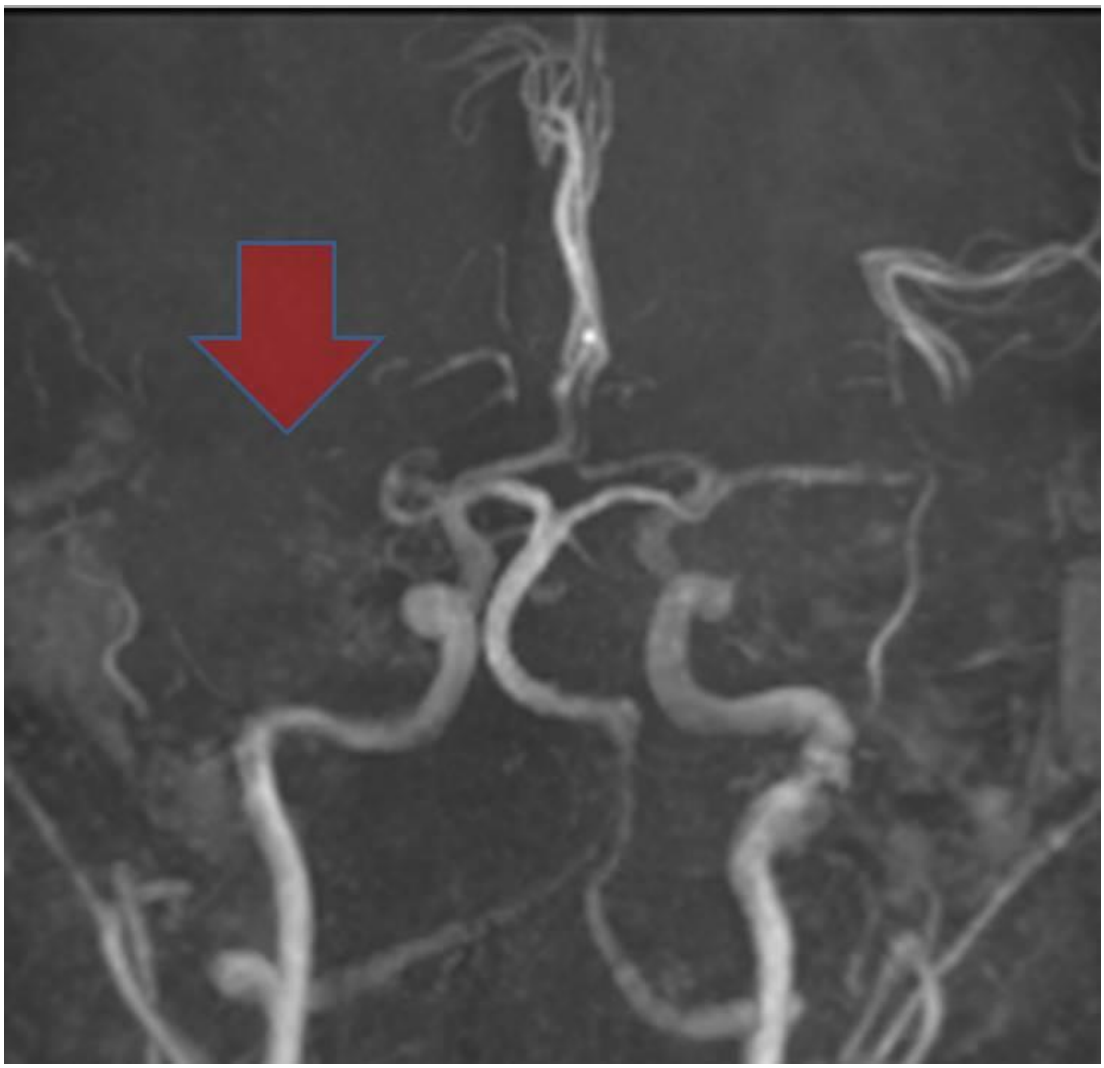


Abbildung 3 Abrupter Abbruch M1 Segment der A. cerebri media rechts, MRA in koronaler Rekonstruktion, mit freundlicher Genehmigung von Matt A. Morgan, Radiopedia.org (Accessed on 26 Apr 2024) https://radiopaedia.org/cases/53899

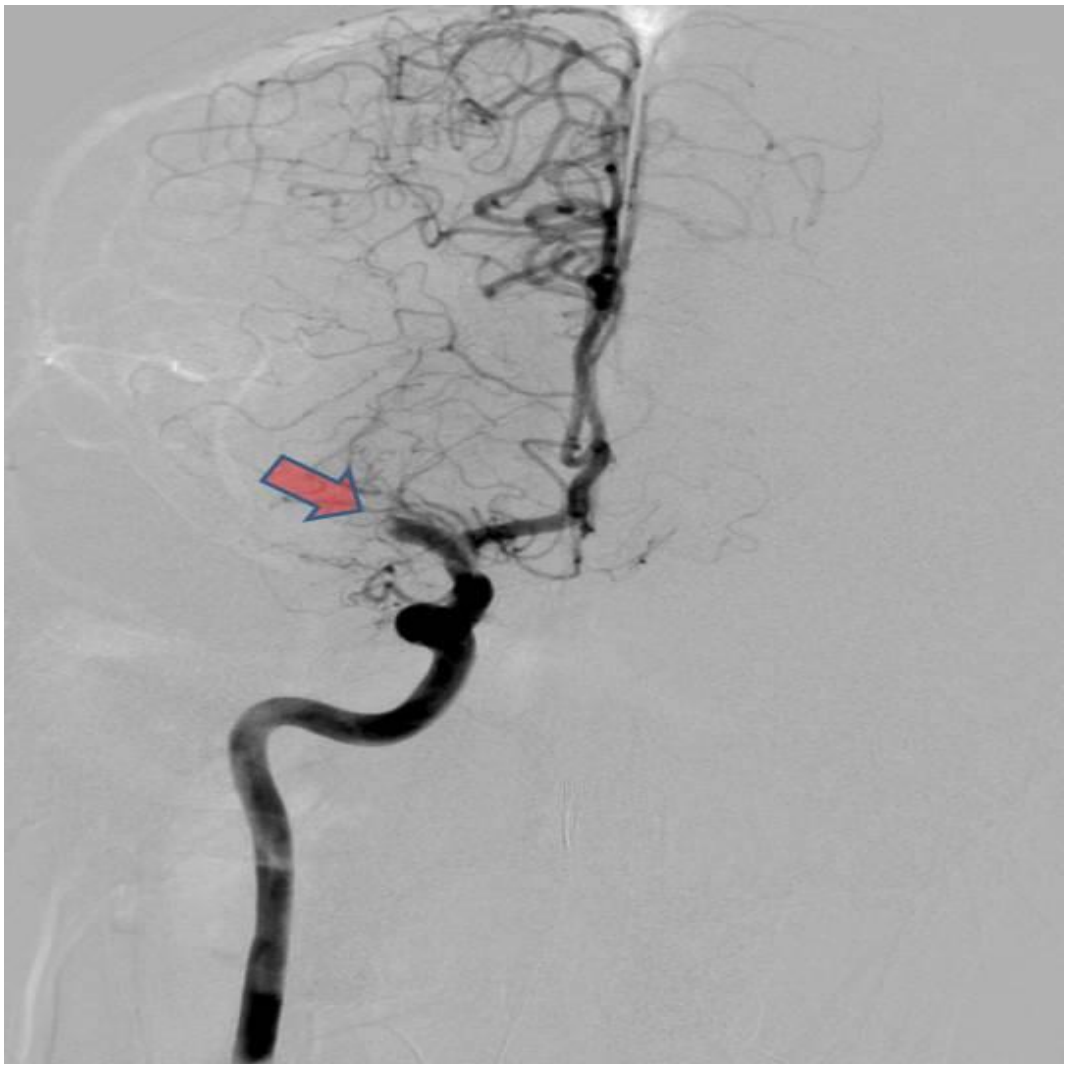


Abbildung 4 Angiographie mit abruptem Abbruch im M1 Segment der A. cerebri media rechts, mit freundlicher Genehmigung von Matt A. Morgan, Radiopedia.org (Accessed on 26 Apr 2024) https://radiopaedia.org/cases/53899

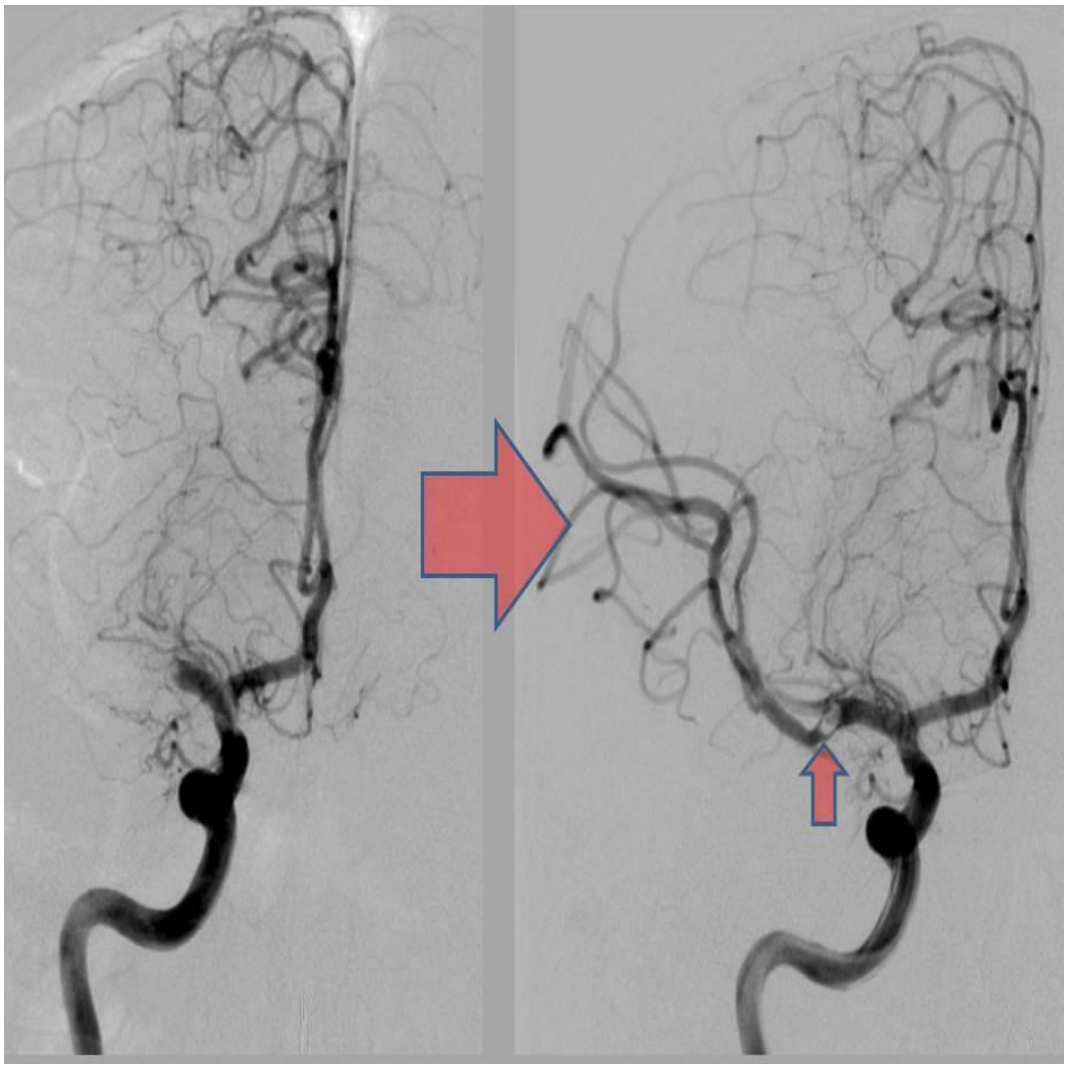


Abbildung 5 Angiographie mTICI 2b nach mechanischer Thrombektomie der A. cerebri media rechts, mit freundlicher Genehmigung von Matt A. Morgan, Radiopedia.org (Accessed on 26 Apr 2024) https://radiopaedia.org/cases/53899

1.10 Therapie

Das oberste Ziel der Therapie des ischämischen Schlaganfalles ist die Reperfusion des minderversorgten Gewebes, denn bereits nach wenigen Minuten anhaltenden Sauerstoffmangels kommt es zum Absterben von Nervenzellen. Hierfür stehen neben vielen supportiven Maßnahmen, wie beispielsweise die Stabilisierung der Vitalparameter, zwei rekanalisierende Therapieoptionen zur Verfügung, welche nachfolgend beschrieben werden. Durch die Wiedereröffnung des okkludierten Gefäßes kann zwar nicht der Infarktkern, aber die Penumbra, also das an die Nekrosezone angrenzende und noch überlebensfähige Zellen enthaltene Areal, gerettet werden. Neben der akuten Therapie stellt die Prävention eines erneuten Schlaganfalles ein weiteres wichtiges Ziel dar. Hier spielen die Modulation der beeinflussbaren Risikofaktoren eine entscheidende Rolle, wie zum Beispiel die Blutdruckeinstellung oder die orale Antikoagulation bei VHF. Die Entscheidung über eine orale Antikoagulation wird unter Berücksichtigung eines Risiko-*Scores* getroffen, wie z.B. dem CHA_2DS_2VASc-*Score*. Dieser kalkuliert die Risikofaktoren Herzinsuffizienz, arterielle Hypertonie, Alter, Diabetes mellitus, vorherige Schlaganfallereignisse/TIA, vaskuläre Vorerkrankungen und das Geschlecht für die Notwendigkeit einer oralen Antikoagulation. Zum Einsatz kommen die direkten oralen Antikoagulanzien Apixaban, Dabigatran, Edoxaban und Rivaroxaban oder Vitamin-K-Antagonisten (Höer et al. 2023). Weitere präventive Maßnahmen sind die Thrombendarteriektomie, bei der vor allem atherosklerotische Stenosen der A. carotis interna gefäßchirurgisch durch Abtragung der Plaque behandelt werden und der Verschluss des linken Vorhofohres bei VHF.

1.10.1 Intravenöse Thrombektomie

Die intravenöse Thrombolyse (IVT) mittels Alteplase (rt-PA = rekombinanter gewebespezifischer Plasminogenaktivator) wird bei bestehender Indikation und Ausschluss der Kontraindikationen unverzüglich nach der Durchführung einer nativen Computertomographie des Kopfes begonnen. Die Alteplase bindet nach intravenöser Gabe an Fibrin und aktiviert so das dort gebundene Plasminogen zu Plasmin, welches das Fibrinkonvolut auflöst (Schell und Thomalla 2020). Zu einer der wichtigsten Indikationen zählen der Symptombeginn innerhalb von 4,5 Stunden, welcher als Thrombolysezeitfenster bezeichnet wird. Allerdings wurde erst kürzlich das zuvor sehr starr eingehaltene Zeitfenster abhängig von speziellen Bildgebungskriterien, von 4,5 Stunden auf bis zu 24 Stunden erweitert (Saini et al. 2021). Das Alter stellt hier keine Grenze mehr dar, genauso wenig wie radiologische Ischämiefrühzeichen, wenn gleich diese mit einer schlechteren Prognose einhergehen. Auch Betroffene mit sehr niedrigen beziehungsweise sehr hohen NIHSS Werten sollen einer systemischen Thrombolyse zugeführt werden, wenn sie behindernde Symptome aufweisen (Ringleb et al. 2022a). Als absolute Kontraindikationen zählen zum Beispiel aktive oder stattgehabte intrazerebrale Blutungen, Erkrankungen mit erhöhtem Blutungsrisiko, kürzlich zurückliegende, große Operationen, schwere systemische

Blutungen, entgleister Blutzucker (> 400 oder < 50 mg/dl) und nicht kontrollierbare Hypertonie > 185/110 mmHg (Schell und Thomalla 2020). Als mögliche Komplikationen der IVT sind sekundäre Einblutungen in das infarzierte Hirngewebe zu nennen. Die direkte orale Antikoagulation wird aufgrund aktueller Studienergebnisse möglicherweise bald nicht mehr als absolute Kontraindikation für die IVT angesehen, da aus einer Studie aus Heidelberg und Bern hervorgeht, dass das iatrogene Blutungsrisiko nach IVT für oral antikoagulierte Patient*innen nicht erhöht zu sein scheint (Meinel et al. 2023).

Im Anschluss an die Bolusgabe der IVT sollte bei jedem Erkrankten eine Angiographie zur Indikationsprüfung für eine weitere Therapiemöglichkeit erfolgen, der mechanischen Thrombektomie (MT) (Ringleb et al. 2022b).

1.10.2 Mechanische Thrombektomie

Die mechanische Thrombektomie ist seit fast zehn Jahren in Deutschland zugelassen und gilt seitdem als Goldstandard für die Behandlung großer Gefäßverschlüsse. Die *number needed to treat* von 2,5 ist überragend für die Reduktion von neurologischen Langzeitfolgen (Goyal et al. 2016a). Die MT kann sowohl mit vorangegangener IVT, als auch ohne erfolgen, beispielsweise bei Kontraindikationen für die Lysetherapie (Goyal et al. 2015). Ein besseres *Outcome* konnte zwischen der reinen MT und dem Kombinationsverfahren (IVT+MT) nicht verzeichnet werden (Fischer et al. 2022). Sie ist allerdings nur in Zentren der Schlaganfallversorgung verfügbar und stellt dadurch eine Limitierung dieser sehr effektiven Therapie dar. Um mehr Patient*innen den Zugang zu dieser Möglichkeit zu gewähren, wurde die sogenannte „*drip and ship*“ Strategie entwickelt, bei der Betroffene nach Diagnostik und Indikationsstellung zur MT aus einem peripheren Haus schnellstmöglich an ein Krankenhaus mit der entsprechenden Expertise und Ausstattung angebunden werden. Jedoch erreichen viele Patient*innen nicht im passenden Zeitfenster das Krankenhaus, erfüllen nicht die Indikationskriterien oder sind nicht transportfähig, sodass nur 6 % der Betroffenen überhaut einer MT zugeführt werden können (Schramm 2023). Seit der Einführung 2015 ist die Zahl der Zentren und somit auch der Interventionen stetig gestiegen, weshalb Deutschland in der interventionellen Schlaganfalltherapie flächendeckend eines der bestversorgten Länder repräsentiert (Schramm 2023).

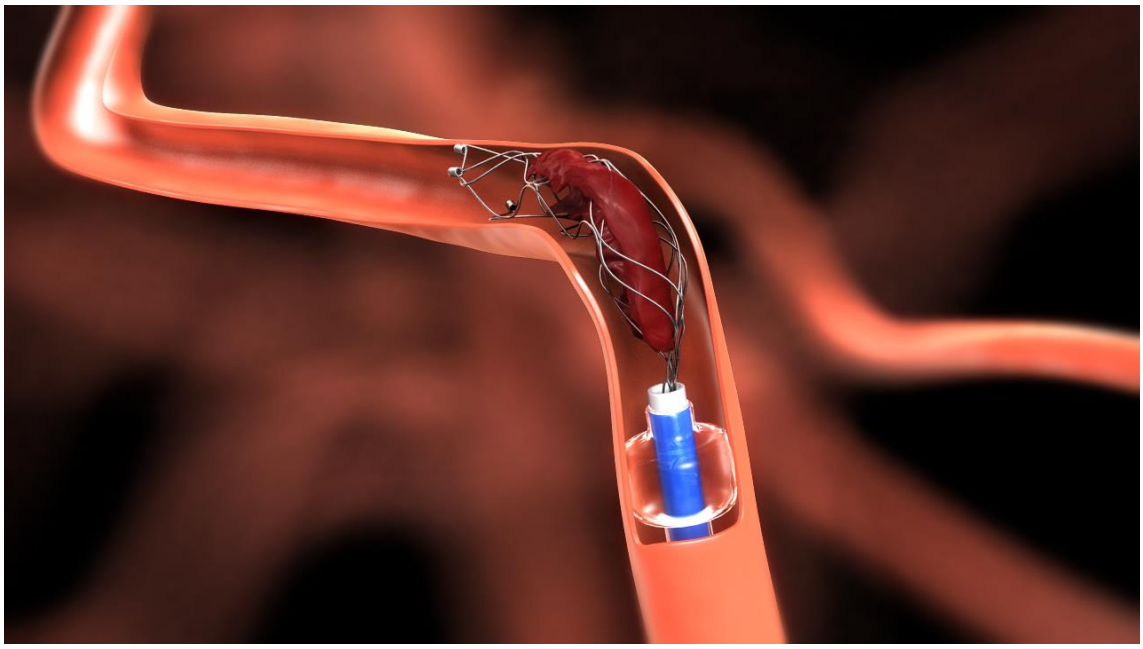


Abbildung 6 Stent-Retriever System (Solitaire Revascularization Device, mit freundlicher Genehmigung von Medtronic GmbH)

Mit Hilfe eines Mikrokatheters wird, wie in Abbildung 6 dargestellt, das Blutgerinnsel im Gefäß passiert. Anschließend wird ein Drahtkäfig, der sogenannte Stent-Retriever, auf Höhe des Gerinnsels expandiert, wodurch sich das Gerinnsel im Drahtkäfig verfängt. So kann durch Rückzug des Katheters das Gerinnsel aus dem Gefäß entfernt werden. Voraussetzung dafür ist ein akuter Verschluss eines großen Gefäßes im vorderen (distale A. carotis interna und M1-Abschnitt der A. cerebri media) oder hinteren Kreislauf (A. basilaris). Die beste Evidenz für die endovaskuläre Therapie besteht für Patient*innen mit einem A. carotis interna- und/oder Mediahauptstammverschluss, ≥ 18 Jahre, einem guten klinischen Vorzustand (prä-Schlaganfall mRS 0-1), einem NIHSS von ≥ 6 und ASPECTS ≥ 6 (Ringleb et al. 2022a). Jedoch kann die MT auch bei Verschlüssen der A. cerebri anterior und posterior von großem Nutzen für die Patient*innen sein, sodass die Entscheidung individuell abgewogen werden sollte. Allgemein gilt für Verschlüsse im vorderen Stromgebiet ein Zeitfenster von sechs Stunden in dem die besten Ergebnisse erzielt werden. Jedoch kann die Intervention im Einzelfall auch bis zu 24 Stunden nach Symptombeginn durchgeführt werden (Ringleb et al. 2022b). Die DAWN und DEFUSE3 Studien konnten zeigen, dass unter bestimmten radiologischen Voraussetzungen und bei schwerem neurologischem Defizit eine Intervention bis zu 24 Stunden Zeitfenster sogar ohne vorangegangene IVT sehr gute Ergebnisse erzielen kann (Silva und Nogueira 2020; Liebeskind et al. 2022). Bei Verschlüssen der A. basilaris existiert aufgrund der teils fluktuierenden und oft schwerwiegenden Symptomatik keine zeitliche Obergrenze.

Die Patient*innen werden während der gesamten Behandlung anästhesiologisch betreut. Da bei dem neuroradiologischen Eingriff kleinste Hirnarterien (< 2 mm) unter

Röntgenkontrolle mit Hilfe digitaler Subtraktionsangiographie wiedereröffnet werden und die Qualität der radiologischen Bildgebung für das Ergebnis entscheidend ist, ist eine Immobilisation häufig erforderlich. Außerdem sind Vorerkrankungen und das individuelle Risikoprofil wichtige Parameter bei der Wahl des Anästhesieverfahrens. Es wird zwischen einer Allgemeinnarkose, einer reinen Sedierung und einer Lokalanästhesie unterschieden. Es existieren verschiedene Studien, die die unterschiedlichen Optionen vergleichen. Einerseits ist die Immobilisation des Patienten bei der Vollnarkose für die Bildgebung und die Gesamtdauer des Eingriffes von Vorteil, andererseits verlängert sich so die Zeit bis zur Punktion (*time to groin*) (Fandler-Höfler et al. 2020). Die verschiedenen anästhesiologischen Möglichkeiten führen außerdem zu Unterschieden im Blutdruckmanagement, der Überwachung des kognitiven Status und des Atemwegsmanagements inklusive Gasaustausch (Businger et al. 2020; Fandler-Höfler et al. 2020). Allgemein erhöhen sich die Komplikationen und Spätfolgen mit der Dauer der künstlichen Beatmung, jedoch kann eine verfrühte Extubation zu bedrohlichen Blutdruckspitzen und respiratorischen Problemen führen (Fandler-Höfler et al. 2020). Die Entscheidung für oder gegen die Intubation sollte somit von einem erfahrenen anästhesiologischen Team aufgrund patienten- und verfahrensspezifischer Faktoren getroffen werden. Etwa die Hälfte aller Patient*innen kommen für eine Allgemeinnarkose in Frage, wohingegen der Rest sich etwa zu gleichen Teilen auf die Sedierung und Lokalanästhesie verteilen (Cappellari et al. 2020). Nach erfolgter MT werden die Erkrankten bei einer Vollnarkose nach den üblichen Kriterien wie zum Beispiel Wiedererlangen der Schutzreflexe, Eigenatmung und ausreichende Vigilanz extubiert und im Normalfall unabhängig von dem anästhesiologischen Verfahren auf einer neurologischen Normalstation weiter behandelt. Für einige der Patient*innen ist aber eine intensivmedizinische Betreuung und nicht selten eine Fortführung der Intubation notwendig. Gründe hierfür können Bewusstseinsstörungen, respiratorische Probleme, Kreislaufdysregulation, erhöhter Hirndruck, Blutungen, allergische Reaktionen, periinterventionelle- oder schlaganfallassoziierte Komplikationen sein.

1.11 Stroke Unit Management

Stroke Units sind hochspezialisierte Stationen, die eine fein abgestimmte Kombination aus Schlaganfalldiagnostik, spezifischer Therapie und individuell adaptierter Rehabilitation vereint und weltweit als Goldstandard der Behandlung von Schlaganfallpatient*innen gilt. *Stroke Units* zählen aufgrund des intensiven pflegerischen Aufwandes und der Notwendigkeit der Überwachung der Vitalparameter zu den *Intermediate Care* Stationen. Hierher gelangen sowohl die, die einer Thrombektomie oder einer Thrombolyse zugeführt wurden, also auch jene, die für keine dieser Therapien infrage kamen. Patient*innen, die direkt nach mechanischer Thrombektomie bereits im Interventionssaal extubiert werden konnten, oder bei denen hierfür gar keine Intubation notwendig war, können bei vitaler Stabilität sofort auf die *Stroke Unit* übernommen werden.

Die Versorgung der Schlaganfallpatient*innen umfasst eine regelmäßig protokollierte Überwachung der hämodynamischen, respiratorischen und neurologischen Funktionen zur Vermeidung von Komplikationen wie Rezidive, Blutungen, Hirnödem oder Herz-Kreislaufdysregulationen. Neben der Behandlung des Schlaganfalles ist eine Frührehabilitation unerlässlich. So kann die *Stroke Unit* die Überlebenschancen der Patient*innen verbessern und zum Wiedererlangen der funktionellen Unabhängigkeit und zur Rückkehr nach Hause beitragen (Businger et al. 2020).

1.12 Neurologische Intensivstation

Neurologische Intensivstationen sind ebenfalls spezialisierte Stationen, die Patient*innen mit intensivmedizinischem Behandlungsaufwand vorbehalten sind. Neben der standardisierten Beatmungstechnik, den Monitoreinheiten und den Sedierungsmöglichkeiten bieten diese Stationen zusätzlich spezielle neurologische Überwachungs- und Behandlungsmethoden an. So gehören die Erhebung des Pupillen- und Reflexstatus und des NIHSS zum mehrmaligen täglichen Standard. Außerdem zählen Hirndruckmessungen, ultraschallgestützte Untersuchungen der Liquorräume, des Hirnparenchyms und der Hirngefäße sowie elektrophysiologische Messungen des zentralen und peripheren Nervensystems zum Standardrepertoire einer neurologischen Intensivstation. Auf der neurologischen Intensivstation werden Patient*innen mit schweren Schlaganfällen und jene betreut, die nach mechanischer Thrombektomie nicht sofort im Interventionsraum extubiert werden konnten. Eine frühzeitige Extubation wird hier in jedem Falle angestrebt. Außerdem werden neben den Schlaganfallpatienten auch andere neurologische Krankheitsbilder mit akuten oder schweren Verläufen wie z.B. Epilepsien, Myasthenia gravis oder Entzündungen des Nervensystems behandelt. Das interprofessionelle Team ist ebenfalls wie bei den SU hochspezialisiert auf die komplexen Krankheitsbilder, um das *Outcome* der betroffenen Patient*innen möglichst positiv zu modellieren.

1.13 Komplikationen nach Schlaganfall

Über 50 % aller Schlaganfallpatient*innen durchleben zumindest eine Komplikation innerhalb der ersten dreißig Tage nach dem Ereignis (Davenport et al. 1996). Die Komplikationsrate nimmt proportional mit dem Alter und dem Behinderungsgrad zu, ist jedoch regional sehr variabel in Verteilung und Häufigkeit. Einer Studie von Johnston nach waren in einem Beobachtungszeitraum von drei Monaten nach Schlaganfall 51 % der Todesfälle durch Komplikationen bedingt (1998), was verdeutlicht, wie wichtig die Prävention dieser Komplikationen ist. Das Risiko für ein Rezidiv liegt innerhalb des ersten Jahres bei etwa 10-12 %. Die häufigsten Komplikationen mit jeweils rund 25 % sind Schmerzen und Fieber, wobei für Fieber am häufigsten die Pneumonie im Rahmen eines Aspirationsgeschehens ursächlich ist (Jäger 2008; Gleixner und Wirth 2017).

Zu den allgemeinen Komplikationen zählen beispielsweise die Schluckstörung, die initial circa 50 % der Schlaganfallpatient*innen betrifft und mit einem hohen Aspirationsrisiko sowie daraus folgend einer Aspirationspneumonie assoziiert ist (Hufschmidt et al. 2022). Zur Diagnostik dieser äußerst relevanten Komplikation wird jeder Patient innerhalb von 24 Stunden nach Aufnahme einem Dysphagie-Screening unterzogen. Therapeutisch kommt eine initiale orale Nahrungskarenz, logopädische Schlucktherapie sowie eine auf die Schwere der Dysphagie abgestufte Nahrungszufuhr oder eine perkutane endoskopische Gastrostomie infrage. Präventiv kommt einer der Grundpfeiler der *Stroke Unit* zum Einsatz: die frühe Mobilisation.

Thrombosen und Embolien sind ebenfalls allgemeine Komplikationen, die zwar insgesamt mit < 5 % deutlich seltener auftreten, jedoch einen wesentlichen Risikofaktor für Todesfälle nach Schlaganfall darstellen (Kumar et al. 2010). Grund für das Auftreten von Thrombosen und Embolien sind vor allem Immobilisation, Paresen, hohes Lebensalter und unzureichende Hydratation, weshalb präventiv ebenfalls die frühe Mobilisation und eine ausreichende Flüssigkeitszufuhr neben einer antikoagulatorischen Therapie essentiell sind.

Kardiale Komplikationen wie zum Beispiel Myokardinfarkt, Herzinsuffizienz und Herzrhythmusstörungen treten häufig auf und sind zum einen durch autonome Dysregulationen infolge des Schlaganfalles bedingt, zum anderen liegen dieselben Risikofaktoren diesen kardialen Krankheitsbildern zugrunde wie dem Schlaganfall, sodass von einer Koinzidenz gesprochen werden kann. Durch eine engmaschige Überwachung auf den spezialisierten Schlaganfallstationen mittels Monitorings, 12-Kanal-Elektrokardiogramm und Echokardiografie können diese Komplikationen schnell entdeckt und behandelt werden.

Infekte des Urogenitaltraktes sowie Pneumonien spielen mit knapp 25 % eine wichtige Rolle nach einem Schlaganfall. Ursachen für eine Infektion des Urogenitaltraktes sind vor allem aufsteigende Infektionen durch eingebrachtes Fremdmaterial in Form von Blasenkathetern und als Folge des Schlaganfalles bedingte Blasenentleerungsstörungen (Langhorne et al. 2000). Hierbei spielen eine zügige Diagnostik mittels Urinkulturen und eine antibiogrammgerechte Antibiotikatherapie eine wichtige Rolle bei der Therapie des Infektes und zur Prävention einer Sepsis. Die Aspirationspneumonie wird häufig durch Schluck- und Vigilanzstörungen oder gestörte Schutzreflexe infolge des Schlaganfalles beobachtet und ist ein wesentlicher Faktor für einen komplizierten klinischen Verlauf, Extubationsversagen und Todesfolge. Präventiv erfolgt, wie bereits erwähnt, das Dysphagie-Screening, stufenweise Nahrungszufuhr und Logopädie, außerdem ist eine Frühmobilisation und Atemtraining essentiell. Im folgenden Abschnitt werden die Diagnosekriterien der Pneumonie sowie der Sepsis spezifisch erwähnt. Außerdem folgen die Kriterien für fehgeschlagene Extubationen, symptomatische intrakranielle Blutungen und Hemikraniektomie.

Intrakranielle Druckerhöhung durch Einblutung oder Hirnödem ist eine schwere Komplikation, die häufig zu hohem Behinderungsgrad oder Tod nach Schlaganfall führt und bei etwa 5 % aller Schlaganfallpatient*innen auftritt (Ropper 2014). Zum einen ist das Risiko

für eine sekundäre Einblutung in das Ischämiegebiet durch die Einwanderung von Blutzellen und die Ausschüttung verschiedener Botenstoffe als Folge des Sauerstoffdefizites grundsätzlich stark erhöht, zum anderen führen auch die spezifischen Therapien wie die systemische Lyse oder die mechanische Thrombektomie zu gehäuften intrakraniellen Einblutungen (Hacke 2016; Kirchoff-Torres und Bakradze 2018). Da das Gehirn anatomisch nur wenig Kompensationsmöglichkeiten einer Druckerhöhung bietet, kommt es oft zur Ventrikelkompression oder Mittellinienverlagerung und mündet letztlich in einer Herniation des Hirngewebes, wenn nicht unverzüglich eine Entlastung mit Hilfe einer Hemikraniektomie durchgeführt wird.

Allgemein lässt sich zusammenfassen, dass alle aufgezählten Komplikationen sich gegenseitig bedingen, beeinflussen und verstärken können und insgesamt zu einer sehr erschwerten Beatmungssituation führen können und oft in frustranen Extubationsversuchen münden.

Neben den oben genannten können entsprechend der Komplexität des Gehirns viele weitere Komplikationen auftreten, welche in dieser Arbeit aufgrund der thematischen Bedeutungslosigkeit nicht näher aufgeführt werden.

1.13.1 Ausgewählte Komplikationen

Folgende Kriterien wurden zur Dokumentation von Schlaganfall- und nicht-schlaganfallassoziierten Komplikationen nach mechanischer Thrombektomie in dieser Studie gewertet:

1.13.1.1 Sepsis

Für die Diagnose einer Sepsis wurde der SOFA-*Score (Sepsis-related organ failure assessment)* verwendet, bei dem die Schwere der Organdysfunktion, die für die Diagnose und auch Prognose entscheidend ist, mit Punkten bewertet wird. Die Diagnose wurde bei einem Wert ≥ 2 in Kombination mit positiven Blutkulturen gestellt.

1.13.1.2 Nosokomiale Pneumonie (Hospital acquired Pneumonia)

Die Diagnosekriterien wurden entsprechend der S3-Leitlinie erfüllt, wenn ein neu aufgetretenes oder progredientes Infiltrat auf der Röntgen-Thoraxaufnahme auftrat und mindestens zwei Nebenkriterien wie purulentes Sekret, Fieber (> 38°C), Leukozytose(> 10000/µl) oder Leukopenie (< 4000/µl) oder der Nachweis eines pneumonietypischen Erregers im Blut oder Bronchialsekret gelang (Dalhoff et al. 2018, S. 4).

1.13.1.3 Fehlgeschlagene Extubation

Eine Extubation wurde als fehlgeschlagen eingestuft, wenn ≥ 1 Extubation erfolgte oder innerhalb von 48 Stunden eine Reintubation notwendig war.

1.13.1.4 Symptomatische intrakranielle Blutung

Hier wurde jede Art intraparenchymaler Blutung in Zusammenhang mit einer Verschlechterung der neurologischen Performance, gemessen an der Zunahme des NIHSS von ≥ 4 Punkten, gewertet.

1.13.1.5 Hemikraniektomie

Die Entscheidungsfindung zur Hemikraniektomie erfolgte fallbasiert in einem interdisziplinären Expertenkonsens und fand entsprechend der S2k Leitlinie zur Akuttherapie des ischämischen Schlaganfalles innerhalb von 48 Stunden bei raumforderndem Charakter statt. Als raumfordernd wir ein Hirninfarkt bezeichnet, wenn ein klinisches Infarktsyndrom, eine Vigilanzminderung, ein Gesamt-NIHSS > 15-20 oder > 15 - 18 bei nicht dominanter Hemisphäre, ein großflächiger Infarkt im Media-Stromgebiet (≥ 50 % bis 66 %, > 145 ml) und eine Miteinbeziehung der Stammganglien besteht (Ringleb et al. 2022b, S. 127 ff.).

1.14 Entwöhnung vom Respirator

Viele Patient*innen erleiden schwere Bewusstseinseinschränkungen oder Schädigungen des Atem- oder Schluckzentrums im Rahmen des Schlaganfalles, sodass eine Atemwegssicherung mittels endotrachealen Tubus indiziert ist. Die Überwachung und Anpassung der mechanischen Beatmung, sowie das Management der Hämodynamik, des Flüssigkeits- und Elektrolythaushaltes, der Blutgerinnung und engmaschige Kontrollen der Vitalparameter erfolgen auf einer Intensivstation. Es hat sich bei vielen verschiedenen Krankheitsbildern, so auch dem ischämischen Schlaganfall, bewährt, eine frühzeitige Entwöhnung vom Beatmungsgerät zu beginnen, um unter anderem nosokomiale Infektionen zu minimieren und somit die Aufenthaltsdauer auf der Intensivstation zu verringern (Coplin et al. 2000; Bösel et al. 2012). Eine invasive Langzeitbeatmung ist mit Schädigung des Lungengewebes, Verletzungen der Trachea, Ventilator-assoziierten Pneumonien und einer deutlich erhöhten Letalität assoziiert. Ein Jahr nach Krankenhausentlassung leben noch circa 40 % der Patient*innen, die mehr als 14 Tage beatmet wurden (Schönhofer et al. 2014). Eine verzögerte Extubation und auch fehlgeschlagene Extubationsversuche verschlechtern die Prognose der Intensivpatient*innen maßgeblich (Epstein 2002).

Bei der Entwöhnung vom Respirator (*Weaning)* wird die Atemarbeit und die Steuerung der Atmung vom Gerät auf den Patienten übertragen. Man kann in diesem Zusammenhang drei Phasen unterscheiden, welche mit dem *Outcome* positiv korrelieren:

- Einfaches *Weaning*: Die betroffene Person kann bereits nach dem ersten Spontanatemversuch erfolgreich extubiert werden

- Schwieriges *Weaning:* Die betroffene Person benötigt mehrere (bis zu drei) Spontanatemversuche oder bis zu sieben Tage nach dem ersten Spontanatmenversuch bis zur erfolgreichen Extubation
- Prolongiertes *Weaning*: Die betroffene Person braucht mehr Spontanatemversuche oder länger als sieben Tage vom ersten Spontanatemversuch bis zur erfolgreichen Entwöhnung

Als erfolgreich wird das *Weaning* bezeichnet, wenn über mindestens 48 Stunden ohne maschinelle Unterstützung spontan geatmet werden kann und es keine Anzeichen für eine Erschöpfung des Patienten gibt (Oczenski 2017, S. 268 ff.).

Eine Entwöhnung vom Beatmungsgerät sollte vor allem deshalb zeitnah erfolgen, da durch die zahlreichen Komplikationen wie Sepsis, systemische Entzündungsreaktionen und Multiorganversagen weitere schwerwiegende Sekundärkomplikationen wie die *Critical Illness* Polyneuropathie/ Myopathie auftreten können, welche den Entwöhnungsprozess sehr negativ beeinflussen (Hermans et al. 2008). Außerdem wird die Entwöhnung vom Beatmungsgerät mit voranschreitender Zeit durch die Dekonditionierung der Atemmuskulatur komplexer, anspruchsvoller und scheitert zunehmend.

Bei Erreichen der Entwöhnungskriterien wie zum Beispiel ausreichender Hustenstoß, keine exzessive Sekretbildung, eine ausreichende Oxygenierung und mentale Funktion wird mit den Patient*innen in der Regel eine diskontinuierliche Entwöhnung begonnen. Die Analgosedierung, die prinzipiell dazu dient, den Patient*innen eine Toleranz gegenüber der mechanischen Beatmung zu ermöglichen, wird für den Entwöhnungsprozess entsprechend der innerklinischen Vorgaben beendet, sodass eine Aufwachphase ermöglicht wird. Dies erfolgt meist täglich. Während dieser Wachphase kann überprüft werden, ob ein selbstständiges Atmen bereits möglich ist. Dies wird als Spontanatemversuch bezeichnet und kann bei den Betroffenen eine starke Stressreaktion auslösen. Bei zerebrovaskulär geschädigten Patient*innen kann dieses Standardverfahren problematisch sein, da die natürliche Stressreaktion die Ausschüttung von adrenocorticotropem Hormon und Cortisol erhöht. Dies steigert den intrakraniellen Druck, was aufgrund begrenzter Kompensationsmechanismen und vorgeschädigtem Gewebe zu einer zerebralen Einklemmung führen kann. (Skoglund et al. 2009; Skoglund et al. 2012). Nebstdem gilt im Allgemeinen, dass eine fehlgeschlagene Extubation für den weiteren Verlauf sehr kompromittierend sein kann.

1.15 Tracheotomie

Es lässt sich vermuten, dass speziell beim Patientenkollektiv der Schlaganfallpatient*innen bei Scheitern der Entwöhnung der endotrachealen Beatmung die Trachealkanüle eine geeignete Alternative darstellt, um eine erfolgreiche Entwöhnung zu erzielen. Vor allem, wenn andere Gründe als der beeinträchtigte neurologische Status vorliegen, die gegen eine Extubation sprechen, wie zum Beispiel ein unzureichender Hustenstoß, eine hohe Sekretmenge oder eine hohe Sekretviskosität. Hier kann eine Tracheotomie die bessere Wahl sein, Patient*innen von der künstlichen Beatmung zu entwöhnen (Coplin et al. 2000; Bösel et al. 2012).

Das *Weaning*-Protokoll Tracheotomierter unterscheidet sich von der Entwöhnung endotracheal Intubierter zum Beispiel darin, dass eine schrittweise und damit kontinuierliche Reduktion der Druckunterstützung möglich ist und weniger Sedierungsmittel erforderlich sind. Durch die Reduktion des Totraumes wird auch die Atemmechanik erleichtert. Zudem wird der Patientenkomfort gesteigert, denn durch die geringere Sedierung ist eine Kommunikation möglich, die Mundpflege wird vereinfacht und Komplikationen durch eine Langzeitbeatmung mittels endotrachealen Tubus können verringert werden (Bösel 2013). Außerdem fällt die Beurteilung des neurologischen Status aufgrund der gesteigerten Vigilanz und Kommunikationsfähigkeit deutlich leichter. Ferner gibt es Hinweise darauf, dass in einer gemischten Intensivpatientenpopulation die neurologischen Patient*innen jene sind, welche nach Tracheotomie am schnellsten entwöhnt werden können (van der Lely et al. 2006).

In den letzten Jahren befassten sich mehrere Studien mit dem optimalen Zeitpunkt der Tracheotomie. So haben Bösel et al. 2013 speziell das Patientenkollektiv der Schlaganfallpatient*innen hinsichtlich der Unterschiede einer frühen (drei Tage nach Intubation) versus einer späten Tracheotomie (7-14 Tage nach Intubation) untersucht und herausgefunden, dass eine frühe Tracheotomie nicht nur gut durchführbar und sicher ist, sondern auch, dass sie den Sedativabedarf, die Sterblichkeit auf der Intensivstation sowie die 6-Monatsmortalität senkt (2013). In der darauffolgenden prospektiven, multizentrischen und randomisierten Studie wurden die frühe Tracheotomie-Strategie (≤ 5 Tage nach Intubation) mit der Standard-Prozedur (*Weaning* und Tracheotomie ab dem 10. Tag) hinsichtlich des funktionellen *Outcomes*, gemessen am mRS, verglichen. Das suggerierte bessere *Outcome* nach frühzeitiger Tracheotomie wurde jedoch nicht bestätigt, sodass der Zeitpunkt der Tracheotomie zum aktuellen Stand keinen wegweisenden Effekt bei Patient*innen mit Schlaganfall zu haben scheint. Diese Daten verdeutlichen, dass die derzeit durchgeführte Praxis des *Weaning* und der Tracheotomie im Verlauf von 10-14 Tagen keine negativen Effekte für die betroffenen Patient*innen zu haben scheint (Bösel et al. 2022a).

1.15.1 Anlage eines Tracheostomas

Die Entscheidung zur Tracheotomie fällt im klinischen Alltag oft sehr schwer und ist von verschiedenen Gesichtspunkten abhängig. In Abbildung 7 ist beispielhaft ein Tracheostoma zu sehen.

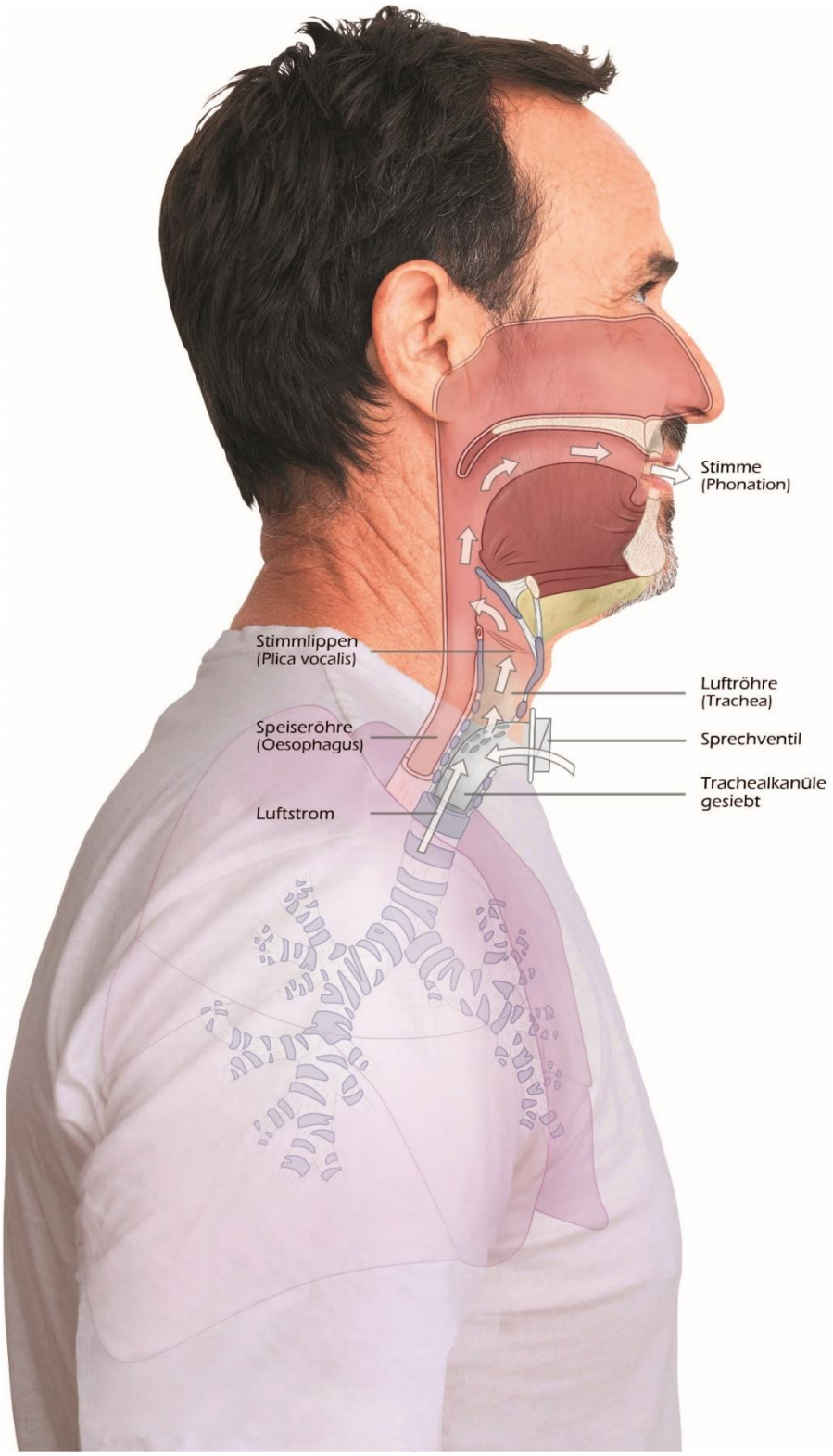


Abbildung 7 Darstellung Tracheostoma (mit freundlicher Genehmigung der Andreas Fahl Medizintechnik-Vertrieb GmbH)

Einerseits ist die Tracheotomie ein invasiver, operativer Eingriff und birgt Risiken, wie Blutungen, Verletzung umliegender Strukturen, Hypoxie/Hyperkapnie, subglottische/Trachealstenosen, Fisteln, Schluck- und Sprechprobleme. Andererseits verdeutlichen verschiedene Arbeiten, dass das Risiko für Komplikationen - abhängig vom gewählten Verfahren - sehr überschaubar und begrenzt ist.

Den Komplikationen und Risiken gegenüber stehen Vorteile wie Erleichterung des *Weaning*-Prozesses durch geringeren Atemwegswiderstand, kleineren Totraum und reduzierte Atemarbeit, erhöhter Patientenkomfort, leichteres Absaugen von hochviskosem Sekret, leichtere Mundpflege und ein niedrigeres Risiko für Ventilator-assoziierte Pneumonien. Durch den geringeren Sedierungsbedarf werden außerdem Husten und Atemantrieb erleichtert sowie Mobilität und Darmmobilität gesteigert (Mallick und Bodenham 2010). Gefensterte Tracheostomakanülen ermöglichen sogar die verbale Kommunikation der erkrankten Person.

Ist die Entscheidung zur Tracheotomie gefallen, bieten sich verschiedene Verfahren an, um den künstlichen Zugang in die Trachea herbeizuführen. Grundsätzlich werden perkutane Dilatationstechniken häufig angewendet, da diese Verfahren am Krankenbett durchführbar und durch routinemäßigen Einsatz von Ultraschalluntersuchung und Endoskopie wenig risikobehaftet sind. Die demgegenüber stehende chirurgische Technik zur Anlage einer Trachealkanüle bleibt oft den anatomischen Abweichungen und gescheiterten perkutanen Dilatationen vorbehalten, weshalb nachfolgend die perkutane dilatative Tracheotomie kurz beschrieben wird. Die *Single Dilatator* Technik ist sehr beliebt auf vielen Intensivstationen und wird von Intensivmediziner*innen verschiedener Fachrichtungen durchgeführt (Krishnan et al. 2005). Im Gegensatz zur chirurgischen Technik, bei der nach einem Hautschnitt die Trachea unterhalb des Kehlkopfes freipräpariert und anschließend inzidiert wird, passiert man bei der perkutanen Technik zunächst mittels Endoskops die obere Trachea und lokalisiert dann mit dem Endoskoplicht die korrekte Position auf der Haut, um dann mit Hilfe einer Kanüle die Trachea zu punktieren. Anschließend werden - abhängig vom gewählten Verfahren - über einen Führungsdraht eine oder mehrere Dilatationskanülen genutzt, um die Punktionsstelle auf das gewünschte Maß zu weiten, was bei der chirurgischen Technik nicht notwendig ist. Aufgrund der meist zuvor durchgeführten Sonographie der Halsregion können wichtige Strukturen wie Blutgefäße und Nerven identifiziert und geschont werden. Mit Hilfe der Endoskopie wird die Luftröhre direkt dargestellt, wodurch Schäden der Trachealhinterwand und Fehlplatzierungen vermieden werden können (Mallick und Bodenham 2010). Durch den geringeren personellen, materiellen und zeitlichen Einsatz ist die Methode außerdem kostengünstiger (Seder et al. 2009).

1.16 Fragestellung

Etwa ein Viertel aller Patient*innen mit ischämischen Schlaganfall benötigen eine intensivmedizinische Betreuung und in diesem Zusammenhang häufig eine mechanische Beatmung (Faigle et al. 2016). Die frühzeitige Entwöhnung vom Respirator mit anschließender Extubation wird im Allgemeinen sehr früh angestrebt, da jegliche Verzögerungen die Morbidität und Mortalität erhöhen (Coplin et al. 2000). Die Extubation bei Schlaganfallpatient*innen erweist sich oft als besonders erschwert, da die allgemeinen Extubationskriterien auf Grund der Erkrankung des zentralen Nervensystems nicht anwendbar sind. Gescheiterte Extubationen und prolongierte endotracheale Beatmungen erhöhen die ohnehin schon hohe Mortalität und bergen viele Komplikationen.

Eine Alternative, die am Intensivbett durchführbar, komplikationsarm und kostengünstig ist, ist die dilatative Tracheotomie (Mallick und Bodenham 2010). Über den richtigen Zeitpunkt für eine Tracheotomie wird in der Fachwelt weiterhin diskutiert, allerdings hat eine frühzeitige Tracheotomie vermutlich keine Vorteile in Bezug auf das funktionelle *Outcome* im Vergleich zu einer verzögerten Tracheotomie nach einer *Weaning* -Phase (Bösel et al. 2022a).

Allerdings weisen verschiedene Studien auf multiple vorteilhafte Effekte hin, wie z.B. niedrigere Ventilator-assoziierte Pneumonieraten (Siempos et al. 2015). Hierneben sind die untersuchten Patientenkollektive deutlich heterogen sowohl in der Qualität der zentralnervösen Schädigung, als auch in der Quantität (Schweregrad) der Schädigung.

Diese Studie zielt darauf ab, die Notwendigkeit einer Tracheotomie bei Patient*innen mit Schlaganfällen infolge eines zerebralen Großgefäßverschlusses (*large vessel occlusion strokes*, LVOS) nach einer mechanischen Thrombektomie zu evaluieren. Sie untersucht insbesondere, ob bestimmte Prädiktoren frühzeitig identifiziert werden können, um eine intensivmedizinische Behandlung gezielt in Richtung einer Tracheotomie zu steuern. Diese Vorgehensweise soll die Vorteile der Tracheotomie nutzen, darunter eine erleichterte Entwöhnung von der Beatmungsmaschine, verbesserte Mundhygiene, reduzierter Einsatz von Sedativa und eine Verringerung von Komplikationen. Zu diesem Zweck werden Risikofaktoren, klinische Befunde und aufgetretene Komplikationen während des Krankenhausaufenthalts analysiert, um die Wahrscheinlichkeit für die Notwendigkeit einer Trachealkanüle abzuschätzen. Abschließend sollen die identifizierten Prädiktoren dazu dienen, einen Tracheotomie-*Score* zu entwickeln, der in der klinischen Routine verwendet werden kann, um die Wahrscheinlichkeit einer erforderlichen Tracheotomie abzuschätzen. Des Weiteren wird der Einfluss des Zeitpunktes der Tracheotomie auf die Dauer des Krankenhausaufenthalts und das klinische Ergebnis untersucht.

2. Material und Methoden

2.1 Studienbeschreibung

In einem Zeitraum von 2013 bis 2019 wurden an der Universitätsmedizin Göttingen insgesamt 716 Patient*innen mit ischämischem Schlaganfall einer endovaskulären Rekanalisationstherapie unterzogen und auf einer Neurointensivstation behandelt. Bezüglich dieser Patient*innen wurde fortlaufend eine Datenbank von den Fachbereichen Neurologie, Anästhesie und Neuroradiologie unter anderem Informationen zur Anamnese, verschiedenen Risikofaktoren, über die anästhesiologische Betreuung während der mechanischen Rekanalisation sowie die radiologischen Befunde und Interventionsergebnisse gespeist. Zusätzlich wurden retrospektiv Daten zu Beatmungszeiträumen, erschwerten Extubationen und Tracheotomie-Zeitpunkten, sowie weitere pulmologische Komorbiditäten und Blutgasanalysen gesammelt. Hierfür wurden die Programme ICCA (IntelliSpace Critical Care and Anesthesia Informationssystem, Koninklijke Philips N.V., 2004–2017) und Ixserv (ixserv.4, ixmid GmbH, 2010-2023) verwendet, mit denen die (intensiv)medizinische Dokumentation inklusive Arztbriefen, Untersuchungsergebnissen und Visiteneinträge an der Universitätsmedizin Göttingen erfolgt. Die Ethik-Zustimmung wurde bei der Ethikkommission der Universitätsmedizin Göttingen (13.7.15) eingeholt und alle Patient*innen oder Angehörigen gaben nach Aufklärung ihr schriftliches Einverständnis zur anonymisierten Nutzung krankheitsbezogener Daten zum Krankenhausaufenthalt.

Eingeschlossen wurden Patient*innen mit Schlaganfall durch großen Gefäßverschluss (LVOS), die die Indikationen für eine MT mit oder ohne vorherige IVT erfüllten und dieser zugeführt und auf einer Neurointensivstation behandelt wurden. Es wurden unvollständige Datensätze sowie Patient*innen, deren Arterien nach IVT oder spontan reperfundierten ausgeschlossen, sodass insgesamt 635 Fälle für die verschiedenen Analysen verwendet wurden. Die Entscheidungen über die Therapien (IVT, MT, TK, Hemikraniektomie) wurden von erfahrenen Spezialisten der entsprechenden Fachrichtungen nach aktuellen Leitlinien getroffen.

2.2 Gruppierungen der Fälle

Von diesen 635 Fällen haben 40 Patient*innen eine Tracheotomie erhalten und wurden zur Tracheotomie-Gruppe (im Nachfolgenden „TK+“ bezeichnet) zusammengefasst, wohingegen die Fälle ohne Tracheostoma-Anlage zur Nicht-Tracheotomie-Gruppe gezählt wurden („TK-“). Außerdem wurde eine Sekundäranalysegruppe erstellt. Alle TK+ Fälle wurden noch um die Fälle erweitert, die einen mRS von 6 (Tod infolge des Schlaganfalles) aufzeigten, sodass diese „erweiterte TK+ Gruppe“ insgesamt 155 Patientendaten enthielt und mit der TK- Gruppe („TK-“ n=440) verglichen wurde. Die Analysegruppen einschließlich der Ein- und Ausschlusskriterien können Abbildung 8 entnommen werden.

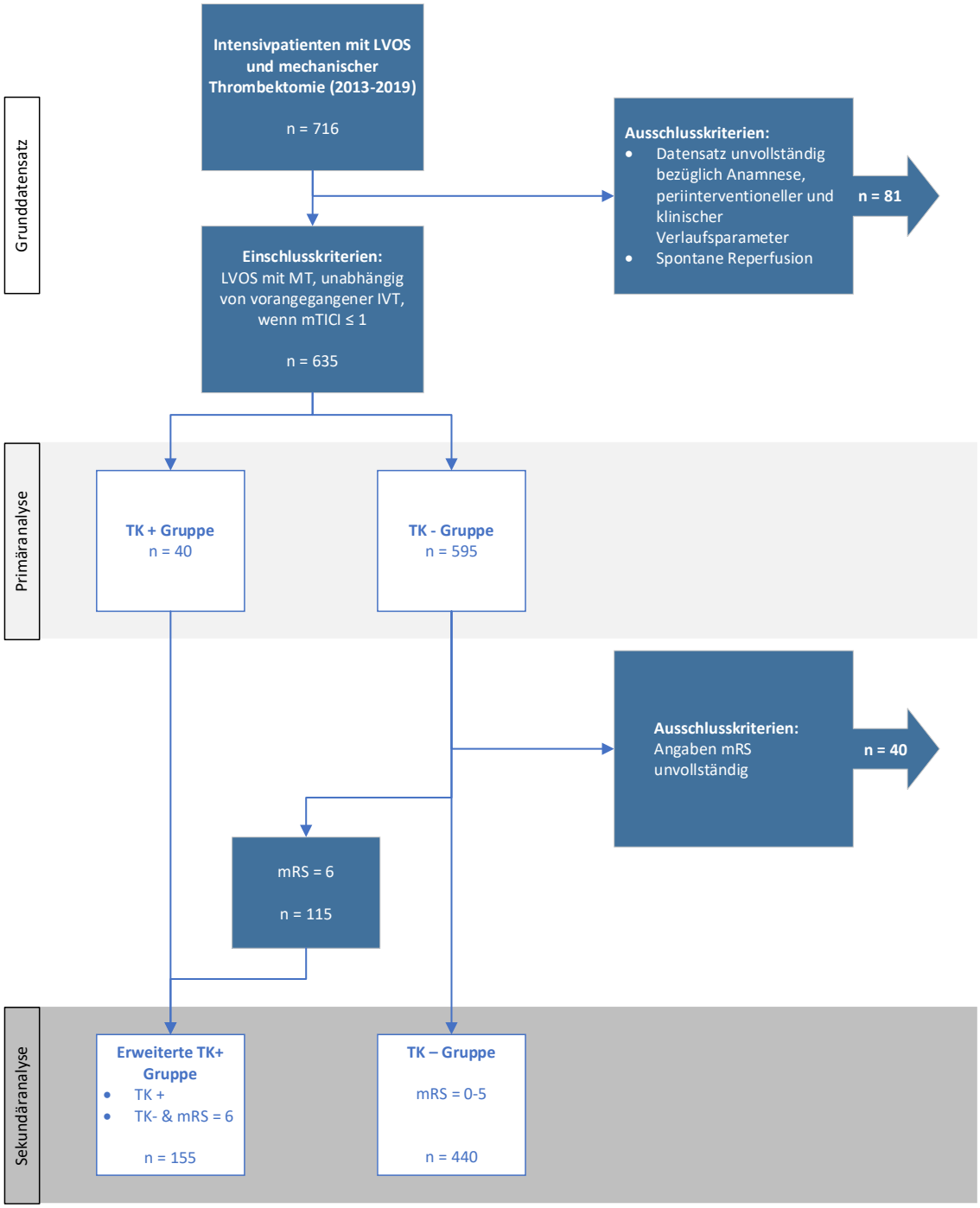


Abbildung 8 Ein- und Ausschlusskriterien der Analysegruppen

2.3 Statistische Analyse

Nach einer Vorauswahl möglicher Variablen für die Vorhersage einer Tracheotomie nach MT wurden diese mithilfe von t-Test, Mann-Whitney-U, Chi-Quadrat oder Fishers-Exact-Test analysiert. Die Nullhypothese (H0) sagt hierbei aus, dass es keine Unterschiede zwischen den beiden Analysegruppen TK+ und TK- gibt, die Alternativhypothese stellt die gegensätzliche Vermutung dar (H1). Entsprechend ihrer Kategorie wurden die Variablen bei Normalverteilung mit dem T-Test, bei nicht-normalverteilten, metrischen oder ordinal

skalierten Variablen mit dem Mann-Whitney-U-Test und kategorische Variablen mit Hilfe des Fishers Exact-Test auf Korrelation zur abhängigen Variable untersucht. Als signifikant wurden aus den über 30 Variablen diejenigen angesehen, die in den entsprechenden Tests einen p-Wert von < 0,05 aufwiesen. Anschließend wurden die Variablen Alter, Aufnahme- und Entlassungs-NIHSS, cCT ASPECTS nach MT, Zeitspanne von Symptombeginn bis Rekanalisation, mRS bei Entlassung, symptomatische intrakranielle Blutung, Pneumonie und Sepsis zunächst einer univariaten logistischen Regressionsanalyse unterzogen, um die Stärke des Einflusses genauer zu untersuchen. Die stärksten prädiktiven Variablen wurden in ein multivariates logistisches Regressionsmodell nach Wald (schrittweise rückwärts Auswahl, Prädiktoren mit p > 1 wurden ausgeschlossen) inkludiert. Die resultierenden Regressionskoeffizienten der gefundenen Prädiktoren wurden mittels ROC-Analyse (*Receiver Operating Characteristics*) weiter analysiert, um einen *Score* inklusive *Cutoff* zu erstellen. Eine schematische Darstellung des statistischen Arbeitsprozesses ist Abbildung 9 zu entnehmen.

Mit Hilfe einer Pearson-Korrelation wurde außerdem untersucht, ob und welche Korrelation zwischen dem Zeitpunkt der Tracheotomie beziehungsweise den Beatmungszeiträumen und dem funktionellen Ergebnis, gemessen am NIHSS bei Entlassung, dem mRS bei Entlassung und mRS nach 90 Tagen, besteht.

Die statistische Analyse erfolgte mit IBM *Corp. Released* 2022. IBM SPSS *Statistics for Windows*, Version 29.0. Armonk, NY: IBM Corp.

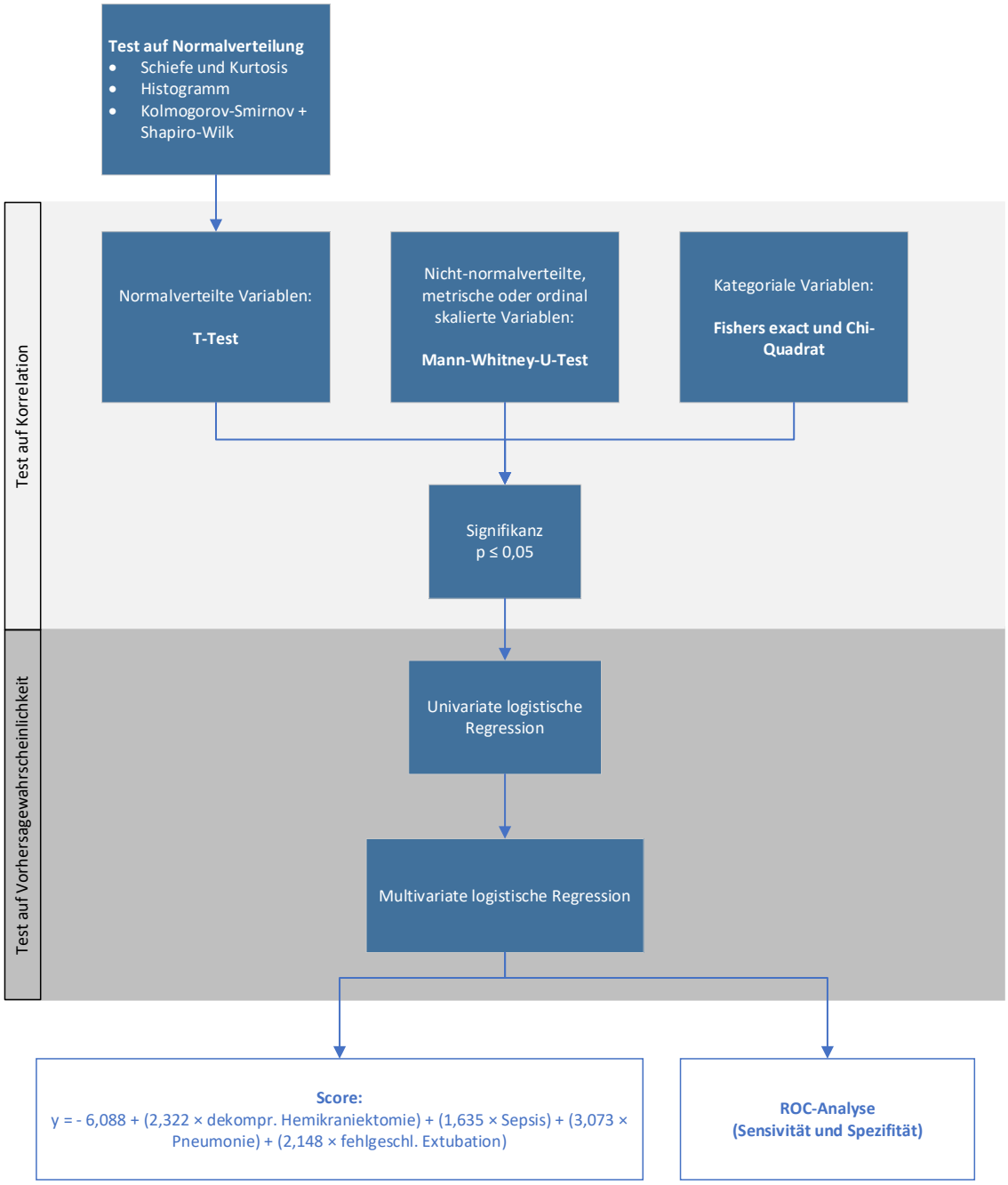


Abbildung 9 Schematische Darstellung des statistischen Arbeitsprozesses

3. Ergebnisse

3.1 Studienkollektiv TK+ versus TK-

Im Beobachtungszeitraum wurden insgesamt 635 Patient*innen mit LVOS und mechanischer Thrombektomie neurointensivmedizinisch behandelt, wovon 40 eine Trachealkanüle (TK+) erhielten. Die Angaben erfolgen bei Normalverteilung als Mittelwert ± Standardabweichung (MW ± SD), ansonsten als Median mit Interquartilbereich (IQR). Kategorische Variablen wurden in absoluten und relativen Häufigkeiten beschrieben.

3.1.1 Basischarakteristika und Anamneseparameter

Wie aus Tabelle 3 ersichtlich war die TK+ Gruppe signifikant jünger [71 (62-75) vs. 77 (66-83), p < 0,001], hatte einen höheren NIHSS [18 (15-20) vs. 15 (10-19), p = 0,009] und einen niedrigeren cCT-ASPECTS *Score* [7 (5-8) vs. 8 (7-9), p < 0,001] bei Aufnahme. In Bezug auf weitere Anamneseparameter wie Adipositas, Rauchen, Diabetes mellitus oder Lungenvorerkrankungen ergaben sich keine signifikanten Unterschiede. Im Hinblick auf die arteriellen Blutgasanalysen bei Aufnahme deutet die TK+ Gruppe, wie aus Tabelle 4 zu entnehmen, auf einen Trend zum höheren Laktat hin [1,5 ± 1,2 Standardabweichung vs. 1,3 ± 0,7 Standardabweichung, p = 0,062], bei den Gaspartialdrücken und dem Oxygenierungsindex nach Horovitz fanden sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen. Auch in Bezug auf die betroffene Seite des Schlaganfalles, das verschlossene Gefäß oder die Ätiologie ergaben sich keine wegweisenden Differenzen. Signifikant mehr Patient*innen in der TK- Gruppe erhielten eine IVT (22,5 % vs. 37,5 %, p = 0,019). Nachfolgend wurden die Schlaganfallparameter der untersuchten Gruppen in

Tabelle 5 zusammengefasst.

Tabelle 3 Basischarakteristika und Anamneseparameter TK+ versus TK-

	TK+ Gruppe (n = 40)	**TK – Gruppe (n = 595)**	**p-Werte**
Basischarakteristika und Anamneseparameter			
Alter (Median, IQR)	71 (62-75)	77 (66-83)	< 0,001
Geschlecht (n, % Männer)	19 (47,5)	268 (45)	0,870
Arterielle Hypertonie (n, %)	30 (78,9)	462 (80,8)	0,832
Hyperlipoproteinämie (n, %)	15 (40,5)	282 (49,7)	0,311
Diabetes mellitus (n, %)	16 (43,2)	160 (28,2)	0,061
Vorhofflimmer (n, %)	20 (54,1)	257 (45,5)	0,395
pAVK (n, %)	0 (0)	36 (6,4)	0,157
Adipositas (n, %)	14 (38,9)	150 (26,8)	0,125
Rauchen (n, %)	3 (8,3)	98 (17,5)	0,249
Koronare Herzkrankheit (n, %)	8 (21,6)	134 (23,8)	0,844
Herzinsuffizienz (n, %)	12 (30)	148 (25,3)	0,574
Chron. Niereninsuffizienz (n, %)	8 (22,9)	134 (23,9)	1,000
Lungenvorerkrankungen[1] (n, %)	15 (37,5)	134 (22,5)	0,106
COPD (n, %)	5 (12,5)	55 (9,2)	0,414
Asthma bronchiale (n, %)	1 (2,5)	11 (1,8)	0,545
Bronchial Karzinom (n, %)	0 (0)	14 (2,4)	1,000
Lungenemphysem (n, %)	0 (0)	8 (1,3)	1,000
Lungenarterienembolie (n, %)	6 (15)	21 (3,5)	0,005
Ambulant erworbene Pneumonie (n, %)	1 (2,5)	7 (1,2)	0,408
Lungenfibrose (n, %)	0 (0)	3 (0,5)	1,000
Pulmonale Hypertonie (n, %)	2 (5)	15 (2,5)	0,291

[1] Lungenvorerkrankungen: COPD, Asthma bronchiale, Bronchial Karzinom, Lungenemphysem, Lungenarterienembolie, ambulant erworbene Pneumonie, Lungenfibrose, pulmonale Hypertonie

Tabelle 4 Blutgasanalyse (früheste, arteriell) TK+ versus TK-

	TK+ Gruppe (n = 40)	**TK – Gruppe (n = 595)**	**p-Werte**
Blutgasanalyse (früheste, arteriell)			
pH-Wert (MW ± SD)	7,38 ± 0,08	7,38 ± 0,35	0,961
Kohlenstoffdioxidpartialdruck (MW ± SD)	41,6 ± 7,8	40,8 ± 8	0,553
Sauerstoffpartialdruck (MW ± SD)	140,3 ± 87,2	127,3 ± 71,4	0,277
Horovitzindex (MW ± SD)	383 ± 278	427 ± 216	0,242
Laktat (MW ± SD)	1,5 ± 1,2	1,3 ± 0,7	0,062
Sauerstoffsättigung (%)	98	97	0,331

Tabelle 5 Schlaganfallparameter TK+ versus TK-

	TK+ Gruppe (n = 40)	**TK – Gruppe (n = 595)**	**p-Werte**
Schlaganfallparameter			
Seite (n, % rechts)	18 (50)	243 (46,6)	0,960
IVT (%)	22,5	37,5	0,019
Gefäßverschluss			0,232
- Arteria cerebri media, M1 (n, %)	20 (50)	279 (48,2)	
- Arteria cerebri media, M2 (n, %)	0 (0)	85 (14,7)	
- Arteria carotis interna proximal (n, %)	2 (5)	19 (3,3)	
- Carotis-T (n, %)	14 (35)	117 (20,2)	
- Arteria basilaris (n, %)	4 (10)	56 (9,7)	
- Andere (n, %)	0 (0)	23 (4)	
- Fehlend (n, %)	0 (0)	16 (2,7)	
TOAST-Kriterien			0,752
- makroangiopathisch (n, %)	2 (5,7)	65 (11,7)	
- kardiogen-embolisch (n, %)	21 (60)	272 (49,1)	
- andere (n, %)	2 (5,7)	20 (3,6)	

- unklar (n, %)	8 (22,9)	131 (23,6)	
- *embolic stroke of undetermined source* (n, %)	2 (5,7)	65 (11,7)	
Wake up stroke (n, %)	5 (12,5)	63 (10,6)	0,907

3.1.2 Zeiten und Scores

Die Dauer vom Symptombeginn bis zur Rekanalisation war in der TK+ Gruppe signifikant länger [268 (202-360) min. vs. 211 (154-284) min., p = 0,005], wohingegen sich das Ergebnis der MT nicht wesentlich unterschied (mTICI ≥ 2b 72,5 % vs. 79,8 %, p = 0,311). Die Art der Anästhesie unterschied sich nicht signifikant [Allgemeinnarkose 29 (72,5 %) vs. 277 (46,5 %); Sedierung 4 (10 %) vs. 126 (21,2 %), p = 0,070]. Das funktionelle *Outcome*, gemessen am NIHSS und mRS bei Entlassung, war in der TK+ Gruppe signifikant schlechter als in der TK- Gruppe [NIHSS 19 (14-23) vs. 5 (2-11), p < 0,001; mRS 5 (5) vs. 3 (1-5), p < 0,001]. Die cCT-ASPECTS nach 24 Stunden, welche die Pflege- und Todeswahrscheinlichkeit nach Schlaganfall, aber vor allem auch den Therapieerfolg nach Rekanalisation anzeigen, waren mit 4 (2-6) vs. 7 (5-8) ebenfalls signifikant niedriger in der TK+ Gruppe (p < 0,001). Nachfolgend sind die Ergebnisse der *Scores* und Bildgebungsparameter in Tabelle 6 dargestellt. Die Dauer des Krankenhausaufenthaltes [Tage, 22 (14,25-29) vs. 9 (5-14), p < 0,001], die Beatmungsdauer insgesamt [Tage, 19,92 (16,38-24,94) vs. 0,04 (0-0,46), p < 0,001] sowie die Beatmungsdauer mit endotrachealem Tubus [Tage, 14,22 (12,42-17,36) vs. 0,04 (0-0,46), p < 0,001] waren in der TK+ Gruppe länger. Die Dauer bis zur Tracheotomie betrug im Median 15,54 Tage (12,95-18,85). Alle Zeiträume sind in Tabelle 7 aufgelistet.

Tabelle 6 Scores und Bildgebungsparameter TK+ versus TK-

	TK+ Gruppe (n = 40)	**TK – Gruppe (n = 595)**	**p-Werte**
Scores und Bildgebungsparameter			
NIHSS Aufnahme (Median, IQR)	18 (15-20)	15 (10-19)	0,009
NIHSS Entlassung (Median, IQR)	19 (14-23)	5 (2-11)	<0,001
mRS Aufnahme (Median, IQR)	5 (4-5)	5 (4-5)	0,259
mRS Entlassung (Median, IQR)	5 (5-5)	3 (1-5)	<0,001
mRS 90 Tage (Median, IQR)	5 (4-6)	4 (1-6)	0,062
cCT ASPECTS Aufnahme (Median, IQR)	7 (5-8)	8 (7-9)	<0,001
cCT ASPECTS 24 Std. follow up (Median, IQR)	4 (2-6)	7 (5-8)	<0,001
Symptom bis Rekanalisation in Std. (Median, IQR)	268 (202-360)	211 (154-284)	0,005
Erfolgreiche Rekanalisation (n, %)	29 (72,5)	459 (79,8)	0,311
mTICI post (Median, IQR)	3 (2-5)	3 (3-4)	0,532

Tabelle 7 Krankenhausaufenthalt und Beatmungszeiträume in Tagen TK+ versus TK-

	TK+ Gruppe (n = 40)	**TK – Gruppe (n = 595)**	**p-Werte**
Krankenhausaufenthalt und Beatmungszeiträume in Tagen			
Dauer des Krankenhausaufenthaltes (Median, IQR)	22 (14,25-29)	9 (5-14	p < 0,001
Beatmungsdauer insgesamt (Median, IQR)	19,92 (16,38-24,94)	0,04 (0-0,46)	p < 0,001
Beatmungsdauer mit endotrachealem Tubus (Median, IQR)	14,22 (12,42-17,36)	0,04 (0-0,46)	p < 0,001
Dauer bis zur Tracheotomie (Median, IQR)	15,54 (12,95-18,85)		

3.1.3 Komplikationen

Die Raten an fehlgeschlagenen Extubationen [15 (37,5 %) vs. 19 (3,2 %), p < 0,001], Pneumonien [39 (97,5 %) vs. 224 (37,5 %), p < 0,001], Septitiden [11 (27,5 %) vs. 16 (2,7 %), p < 0,001], symptomatischen intrakraniellen Blutungen [5 (12,5 %) vs. 22 (3,9 %), p = 0,026], Subarachnoidalblutungen [11 (27,5 %) vs. 64 (10,8 %), p = 0,003] und dekompressiven Hemikraniektomien [19 (51,4 %) vs. 21 (3,8 %), p < 0,001] waren in der TK+ Gruppe größer (Abbildung 10).

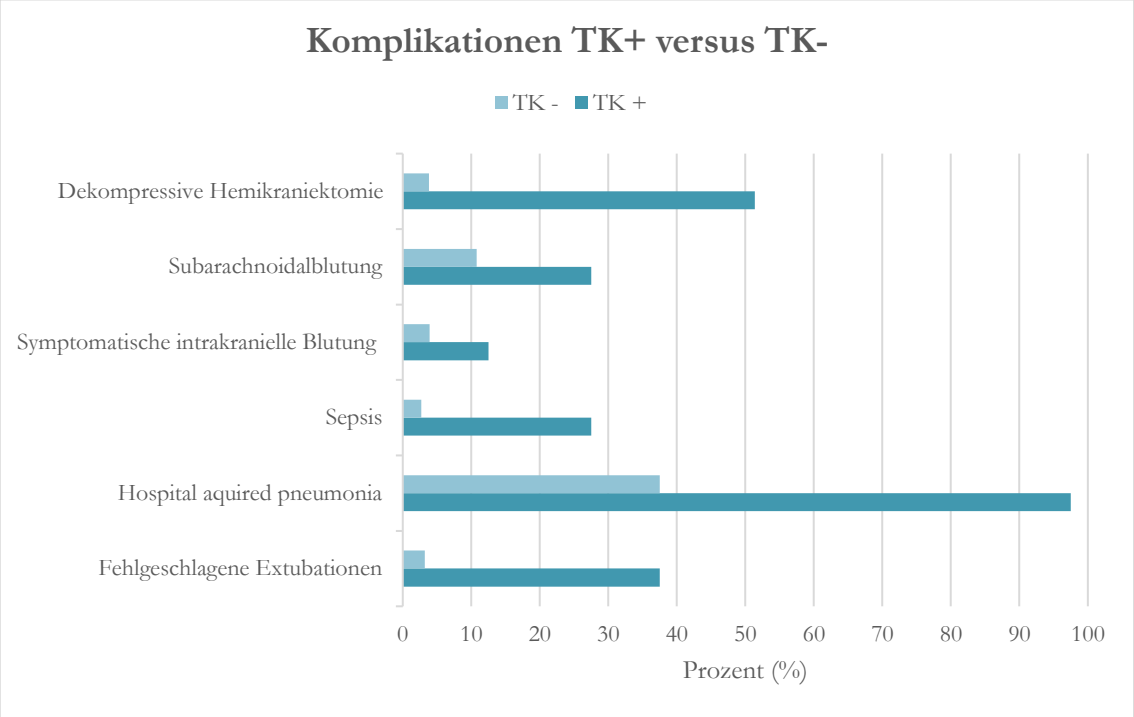


Abbildung 10 Komplikationen der Gruppen TK+ und TK- nach relativen Häufigkeiten

3.2 Regressionsanalysen

3.2.1 Univariate logistische Regression TK+ versus TK-

Die höchsten prädiktiven Werte für eine Tracheotomie ergaben sich für fehlgeschlagene Extubationen [OR 18,16 (95 % KI 8,27-39,9), p < 0,001], *Hospital aquired Pneumonia* [OR 64,6 (95 % KI 8,81-473,41), p < 0,001], Sepsis [OR 13,7 (95 % KI 5,84-32,17), p < 0,001], IVT-Behandlung [OR 0,32 (95 % KI 0,14-0,75), p = 0,009], symptomatische intrakranielle Blutung [OR 3,54 (95 % KI 1,26-9,91), p = 0,016] und dekompressive Hemikraniektomie [OR 27,1 (95 % KI 12,44-59), p < 0,001] und sind Tabelle 8 zu entnehmen.

Das Alter ergab ebenfalls signifikante Werte [OR 0,97 (95 % KI 0,95-0,99), p = 0,002], wurde jedoch bei Selektionsverzerrung aus dem multivariaten Modell exkludiert.

Tabelle 8 Univariate logistische Regression TK+ versus TK-

Variablen	Odds Ratio (95 % KI)	p-Werte
Fehlgeschlagene Extubation	18,16 (8,27-39,9)	<0,001
Nosokomial erworbene Pneumonie	64,6 (8,81-473,41)	<0,001
Sepsis	13,7 (5,84-32,17)	<0,001
Intravenöse Thrombolyse	0,32 (0,14-0,75)	0,009
Symptomatische intrakranielle Blutung	3,54 (1,26-9,91),	0,016
Dekompressive Hemikraniektomie	27,1 (12,44-59)	<0,001
Alter	0,97 (0,95-0,99)	0,002
Diabetes mellitus	1,94 (0,99-3,82)	0,054
Lungenarterienembolie	4,82 (1,83-12,74)	<0,001
NIHSS Aufnahme	1,053 (1-1,11)	0,038
cCT ASPECTS Aufnahme	0,7 (0,57-0,86)	<0,001
cCT ASPECTS 24 Std. follow up	0,73 (0,65-0,82)	<0,001
Symptombeginn bis Rekanalisierung	1 (1-1)	0,070
Vollnarkose bei MT	3,22 (1,12-9,27)	0,030
Subarachnoidalblutung	2,98 (1,42-6,26)	0,004

3.2.2 Multivariate logistische Regression TK+ versus TK-

Bei der multivariaten logistischen Regression nach Wald (schrittweise Rückwärtsselektion) erwiesen sich die fehlgeschlagenen Extubationen [OR 8,41 (95 % KI 3,09-22,93), p <0,001], *Hospital aquired Pneumonia* [OR 21,26 (95 % KI 2,76-163,56), p = 0,003], Sepsis [OR 5,39 (95 % KI 1,71-16,91), p = 0,004] und dekompressive Hemikraniektomie [OR 9,94 (95 % KI 3,92-25,21), p < 0,001] als die stärksten Prädiktoren für die TK (siehe Tabelle 9).

Tabelle 9 Multivariate logistische Regression TK+ versus TK-

Variablen	Odds Ratio (95 % KI)	p-Werte
Fehlgeschlagene Extubation	8,41 (3,09-22,93)	<0,001
Nosokomial erworbene Pneumonie	21,26 (2,76-163,56)	0,003
Sepsis	5,39 (1,71-16,91)	0,004
Dekompressive Hemikraniektomie	9,94 (3,92-25,21)	<0,001

3.3 Entwicklung des Scores und ROC-Kurve

Anschließend wurde auf Basis der Regressionsgleichung geprüft, ob mit Hilfe der Ergebnisse ein *Score* entwickelt werden kann, durch den die Wahrscheinlichkeit für eine Trachealkanüle vorhergesagt werden kann. In die Regressionsgleichung wurde zum einen die Konstante, die sich aus der multivariaten logistischen Regression ergibt und zum anderen die jeweiligen Regressionskoeffizienten der vier oben genannten Prädiktoren eingesetzt. Außerdem wurde für jeden untersuchten Fall der Regressionskoeffizient mit eins multipliziert, wenn der jeweilige Prädiktor eintrat und mit null, wenn die Komplikation nicht verzeichnet wurde. Die Entwicklung des *Scores* ist Abbildung zu entnehmen. Die sich daraus ergebende Punktzahl reichte von -7 bis 4 Punkte (siehe Abbildung 11) und konnte in einer ROC-Analyse (*receiver operating characteristic*) eine sehr gute Vorhersagbarkeit für die Notwendigkeit einer Trachealkanüle liefern (AUROC 0,929, 95 % KI 0,884-0,974, $p < 0{,}001$). Die medianen Werte lagen für TK+ bei -1 (IQR -1 bis 1) und für TK- bei -6 (IQR -6 bis -3, $p < 0{,}001$) Punkte. Ein *Cutoff-Score* wurde von -2 Punkten mit einer Sensitivität von 81 % und einer Spezifität von 94 % ermittelt (siehe Abbildung 12).

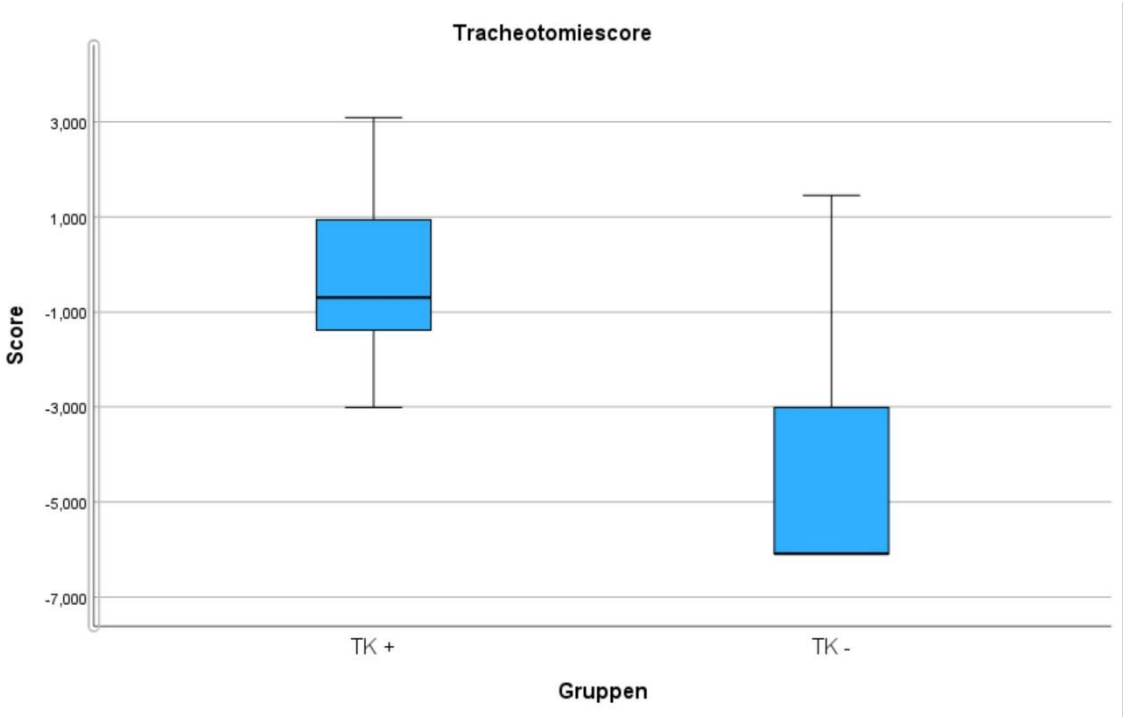
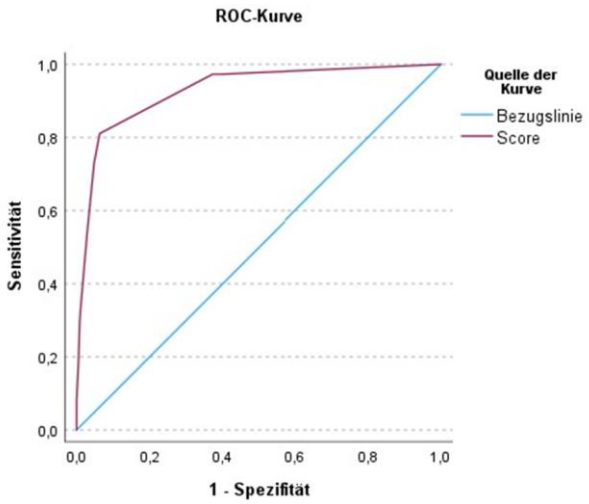


Abbildung 11 Verteilung der beiden Analysegruppen innerhalb des entwickelten Scores



Koordinaten der ROC-Kurve

Variable(n) für Testergebnis: Score

Positiv, wenn größer oder gleich[a]	Sensitivität	1 - Spezifität
-7,08800	1,000	1,000
-5,27050	,973	,396
-4,19650	,973	,391
-3,85300	,973	,384
-3,39050	,973	,372
-2,19750	,811	,063
-1,12350	,730	,048
-,78000	,541	,029
,03750	,324	,010
,85500	,297	,009
1,19850	,189	,005
2,27250	,081	,000
4,09000	,000	,000

Abbildung 12 ROC-Kurve und Koordinaten, SPSS

3.4 Sekundäranalyse Studienkollektiv erweiterte TK+ versus TK-

Unter der Annahme, dass Patient*innen mit schwerem neurologischem Defizit oder besonders komplikationsreichem Verlauf aufgrund dessen nicht der maximalen Therapie, beispielsweise einer Tracheotomie, zugeführt wurden, wurde eine weitere Analyse durchgeführt. Hierzu wurden der TK+ Gruppe die Patient*innen hinzugefügt, die einen mRS = 6 hatten, also jene, welche während des Klinikaufenthaltes an den Folgen des Schlaganfalles verstorben sind (z.B. im Rahmen einer Therapiezieländerung und palliativen Weiterbehandlung). Unter dieser Annahme konnte außerdem die Treffsicherheit des statistischen Modells überprüft beziehungsweise erhöht werden. Der erweiterten TK+ Gruppe (TK+ und mRS = 6) beinhaltete insgesamt 155 Fälle, die TK- Gruppe umfasste 440 Fälle.

In Bezug auf die erhobenen Anamneseparameter konnten hier einige signifikante Unterschiede festgestellt werden. Die Ergebnisse wurden dem Anhang beigefügt. Die erweiterte TK+ Gruppe war älter [77 (70-84) vs. 76 (64-82), $p = 0{,}022$] und litt häufiger an chronischer Niereninsuffizienz [44 (28,4 %) vs. 99 (20,5 %), $p = 0{,}032$] und COPD [26 (16,8 %) vs. 34 (7,1 %), $p < 0{,}001$]. Außerdem wies die erweiterte Gruppe einen höheren NIHSS bei Aufnahme [17 (13-21) vs. 14 (9-18), $p < 0{,}001$] und Entlassung auf [19 (13-22,25) vs. 5 (2-11), $p < 0{,}001$] und zeigte eine Verschlechterung der cCT ASPECTS im 24-stündlichen Intervall [7 (6-9) vs. 8 (7-9), $p < 0{,}001$] vs. [3 (1-6) vs. 7 (6-8), $p < 0{,}001$]. Auch die erfolgreiche Rekanalisation war mit 66,5 % im Vergleich zu 79,9 % deutlich seltener ($p < 0{,}001$). In der multivariaten logistischen Regression mit schrittweiser Rückwärtsselektion erwiesen sich die zuvor ermittelten Variablen ebenfalls als hoch prädiktiv für den kombinierten Endpunkt Tracheotomie und Tod bei Entlassung.

3.5 Korrelation zwischen Beatmungsart und Outcome

Die Korrelationsanalyse mittels Pearson zeigte keinen Zusammenhang zwischen dem Zeitpunkt der TK-Anlage und dem funktionellen *Outcome* bei Entlassung (NIHSS; r = 0,125, p = 0,461 (siehe Tabelle 10)).

Allerdings konnte eine signifikante, mittelstarke und positive Korrelation zwischen der Dauer der endotrachealen Beatmung und dem funktionellen Ergebnis (NIHSS bei Entlassung): r = 0,478, p < 0,001) sowie zwischen der Gesamtdauer der mechanischen Beatmung und dem funktionellen Ergebnis (NIHSS bei Entlassung; r = 0,448, p < 0,001) gezeigt werden.

Tabelle 10 Korrelation zwischen Beatmungsart und *Outcome*

Variablen	Pearson`s r	p-Werte
Zeitpunkt TK (Tage) und NIHSS Entlassung	0,125	0,461
Endotracheale Beatmung und NIHSS Entlassung	0,478	<0,001
Gesamtdauer mechanische Beatmung und NIHSS Entlassung	0,448	<0,001

4. Diskussion

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie identifizierten die nosokomiale Pneumonie, Sepsis, dekompressive Hemikraniektomie und fehlgeschlagene Extubationen als stärkste Prädiktoren für die Notwendigkeit einer Trachealkanüle bei Intensivpatient*innen mit LVOS und mechanischer Thrombektomie. Da die Etablierung einer Trachealkanüle Vorteile gegenüber einer endotrachealen Intubation hat, wurden bereits Studien mit gemischten Intensivpopulationen, Schlaganfallsubgruppen oder Patientengruppen mit akuten Hirnverletzungen diesbezüglich veröffentlicht. Die Subgruppe der Patient*innen mit LVOS und mechanischer Thrombektomie war bisher nicht ausreichend im Hinblick auf Prädiktoren für Trachealkanülen untersucht worden, wenngleich sie eine sehr wichtige Untergruppe darstellt.

Unter der Annahme, dass die Tracheotomie die Entwöhnung vom Beatmungsgerät bei Betroffenen mit reduziertem Bewusstseinsgrad, Dysphagie oder mit schlaganfallspezifischen Komplikationen erleichtert, wurden bereits viele positive Aspekte aufgedeckt. Zu diesen gehören im Hinblick auf die Atemmechanik der verminderte Totraum durch die kürzere Trachealkanüle, welcher von Patient*innen leichter überwunden werden kann, sodass weniger Atemarbeit für die Betroffenen anfällt. Ein weiterer Vorteil ist der geringere Bedarf an Sedierungsmitteln, denn die Trachealkanüle wird von den Erkrankten deutlich besser toleriert als ein im Rachen liegender Tubus. Durch die geringere Sedierung werden die Mobilisation und Kommunikation erheblich erleichtert, wodurch auch weniger Komplikationen wie Dekubitus oder Lungenentzündung entstehen. Zudem steigert die Trachealkanüle den Patientenkomfort durch eine erleichterte Mundhygiene. Bösel et al. untersuchten den Einfluss einer frühen versus späten Tracheotomie in einer Population mit ischämischen und hämorrhagischen Schlaganfällen und identifizierten eine reduzierte Mortalität und weniger Sedativaverbrauch im Zusammenhang mit einer frühzeitigen Tracheotomie (2013). Die multizentrische Folgestudie (2022) konnte jedoch keine wesentlichen Unterschiede im Hinblick auf die Überlebensrate nach sechs Monaten, das funktionelle Ergebnis und die mittlere Beatmungsdauer bei früher versus später Tracheotomie darstellen (Bösel et al. 2022a). In welchem Zeitraum und mit welcher Methode die Etablierung der Trachealkanüle optimal ist, wird aktuell weiterhin kontrovers diskutiert. In der Gesamtheit scheint aber der Zeitpunkt und die Methode relativ unwesentlich in Bezug auf das *Outcome* zu sein (Mallick und Bodenham 2010). Letztlich müssen die Vorteile den prozeduralen Risiken des Eingriffes individuell gegenübergestellt und einander abgewogen werden. Daher kann es von Vorteil für den klinischen Alltag sein, jene Patient*innen frühzeitig zu identifizieren, die für eine Tracheotomie infrage kommen.

Deshalb wurden in der vorliegenden Arbeit genau diese Patientengruppen (TK+ und TK-) gegenübergestellt und nach Unterschieden gesucht. Die beiden Gruppen unterschieden sich in einigen wichtigen Merkmalen. Patient*innen, die eine Trachealkanüle erhielten, waren jünger, hatten mehr Schlaganfallsymptome bei Aufnahme und Entlassung, einen höheren

Grad an Behinderung durch den Schlaganfall und zeigten mehr vom Schlaganfall betroffene Gehirnareale im Computertomogramm als die TK- Gruppe. Außerdem dauerte es in der TK+ Gruppe signifikant länger von Symptombeginn bis hin zur Rekanalisation, wohingegen sich das Thrombektomieergebnis nicht unterschied. Erklären lassen sich einige der Unterschiede folgendermaßen.

Bei einem schweren Schlaganfall dauert es länger vom Symptombeginn bis zur Rekanalisation, wodurch sich als Folge der progredienten Ischämie mehr Infarktgebiete demarkieren, was sich im niedrigeren ASPECT *Score* widerspiegelt. Da ein niedrigerer und somit schlechterer ASPECT *Score* mit mehr betroffenen Hirnarealen im direkten Zusammenhang steht, ist nicht überraschend, warum die TK+ Gruppe auch einen höheren NIHSS Wert aufweist, da hier mehr neurologische Zentren betroffen sind. Einhergehend mit der Schwere des neurologischen Ausfalles steigt die Komplikationsrate stetig an, wodurch es auch zu einem höheren Grad an Behinderung kommt.

In dieser Studie war die Dauer von Symptombeginn bis zur Rekanalisation in der TK+ Gruppe signifikant länger. In einer Metaanalyse der HERMES Studie wurde nachgewiesen, dass die Dauer von Symptombeginn bis zur Behandlung hinsichtlich des *Outcomes* (mRS) positiv korreliert (Goyal et al. 2016b), also verschlechtert sich das *Outcome* mit der Dauer der Behandlung. Dieser Effekt konnte in dieser Analyse ebenfalls nachgewiesen werden, da der mRS bei Entlassung in der TK+ Gruppe signifikant höher war als in der TK- Gruppe. Auch der mRS nach 90 Tagen verzeichnete eine ähnliche Tendenz, jedoch ohne ausreichende statistische Signifikanz (p 0,062).

Außerdem erhielt die TK+ Gruppe seltener eine intravenöse Thrombolyse vor der mechanischen Thrombektomie, was mit dem unzureichenden Zeitfenster erklärt werden kann. Viele Studien befassten sich mit der Fragestellung, ob die alleinige mechanische Thrombektomie (MT) der *bridging* Therapie (IVT + MT) unterlegen sei. Die aktuellste Metaanalyse verglich sechs randomisierte kontrollierte Studien (RCTs, n = 2333) und kam zu dem Schluss, dass es keine Benachteiligung hinsichtlich der funktionellen Unabhängigkeit oder der Mortalität gab, jedoch begünstigere die *bridging* Therapie eine erfolgreiche Reperfusion (Trifan et al. 2022). Diesen Unterschied in Bezug auf die erfolgreiche Perfusion konnte in dieser Studie nicht bestätigt werden. Allerdings lässt die Tendenz von 73 % in der TK+ Gruppe versus 80 % in der TK- Gruppe erfolgreichen Perfusionen mutmaßen, dass eine höhere Fallzahl diesen Unterschied besser und statistisch signifikanter herausarbeiten könnte. Auch die SWIFT-Studie untersuchte in diesem Zusammenhang, ob es Unterschiede zwischen *Bridging* und alleiniger MT hinsichtlich des primären Endpunktes funktionelles *Outcome* (mRS 90 Tage), des Reperfusionsergebnisses und der Komplikationsrate gibt. Die Studie belegte einen Vorteil der Kombinationstherapie bezugnehmend auf das klinische *Outcome* und das Reperfusionsergebnis, ohne jedoch mehr Blutungskomplikationen zu implizieren (Fischer et al. 2022). Daraus lässt sich schließen, dass die TK+ Patient*innen schwerer vom Schlaganfall betroffen zu sein scheinen, dadurch nicht die optimale

Behandlungsstrategie in Bezug auf das *bridging* zu erhalten und wiederum dadurch an mehr Komplikationen und einem schlechteren *outcome* zu leiden.

So überrascht es nicht, dass die TK+ Patient*innen längere Beatmungszeiträume in Anspruch nahmen und häufiger der Tracheotomie zugeführt wurden. Ferner zeigten die Ergebnisse, dass die TK+ Gruppe für die mechanische Thrombektomie häufiger intubiert wurde, was sich ebenfalls durch die schwerere Ischämie erklären lässt. Über die Auswahl der verschiedenen anästhesiologischen Verfahren existieren bis zu diesem Zeitpunkt viele Studien. Eine umfassende Metaanalyse von Campbell und Kollegen befasste sich erst jüngst mit der Frage nach dem besten und sichersten Anästhesieverfahren während der MT. Die Analyse inkludierte 980 Teilnehmer (GA (*general anesthesia)* n = 487, Nicht-GA n = 493) und kommt zu dem Ergebnis, die GA als erste Wahl für die MT bei akutem ischämischem Schlaganfall zu empfehlen. Gründe hierfür waren vor allem das bessere funktionelle klinische Ergebnis (gemessen am mRS nach 90 Tagen ≤ 2) sowie die effektivere Rekanalisierung (gemessen am mTICI 2b-3) bei der GA (Campbell et al. 2023). Es wurden zudem keine Unterschiede zwischen der GA und nicht-GA-Gruppe hinsichtlich hämorrhagischer Komplikationen oder der Mortalität nach 90 Tagen festgestellt (Campbell et al. 2023). Laut der Autoren seien diese Unterschiede auf die Immobilisation während der Vollnarkose, der damit einhergehenden verbesserten Bildgebung und der dadurch verbesserten Rekanalisation zurückzuführen. In dieser Studie erhielt zwar die TK+ Gruppe während der MT häufiger eine GA, jedoch spiegelte sich das bei Campbell und Kollegen bessere Reperfusionsergebnis nicht wider. Die liegt vermutlich an der großen Heterogenität der Analysegruppen TK+ und TK-. Weiterhin kann geschlussfolgert werden, dass die häufigeren Intubationen in der TK+ Gruppe möglicherweise einen Nachteil in Bezug auf das Aspirationsrisiko und somit auch ein erhöhtes Risiko für nosokomiale Pneumonien darstellt, wodurch die Wahrscheinlichkeit für eine Trachealkanüle deutlich gesteigert wird. Wissenschaftler der Universitätsmedizin Graz untersuchten bei Schlaganfallpatienten mit MT, welchen Einfluss die Intubationsdauer auf das klinisch-funktionelle *Outcome* (gemessen am mRS) und die Pneumonierate habe. Erwartungsgemäß zeigte sich eine starke positive Korrelation zwischen Intubationsdauer und *Outcome* beziehungsweise Pneumonien (Fandler-Höfler et al. 2020), was sich auch in dieser Studie widerspiegelt. Im Gegensatz dazu wurde bei der TK- Gruppe beobachtet, dass sie eine kürzere Dauer von Symptombeginn bis Rekanalisierung, niedrigere NIHSS, höhere ASPECTS Werte sowie weniger hämorrhagische Transformationen aufwiesen, wodurch ein milderer Schlaganfall mit einer früheren Extubation und damit der Vermeidung einer Trachealkanüle und Komplikationen assoziiert zu sein scheint.

Die vier ermittelten Prädiktoren zeigten die signifikantesten Unterschiede in den Analysegruppen und beeinflussen sich dabei gegenseitig. Die Prädiktoren sind entweder direkt dem kardiorespiratorischen System zugeordnet oder wirken darauf indirekt ein. Dies spiegelt den Befund wider, dass neben der Bewusstseinsstörung in etwa 35 % der Fälle kardiorespiratorische Komplikationen zu einer intensivmedizinischen Behandlung von Schlaganfallpatient*innen führen (Alonso et al. 2015).

Schlaganfallpatient*innen mit schweren Symptomen wie Dysphagie und Bewusstseinsstörungen haben ein erhöhtes Risiko für Schlaganfall assoziierte-Pneumonien (Walter et al. 2007), die häufig durch eine Aspiration verursacht werden. Da Septitiden in den meisten Fällen durch eine Pneumonie verursacht werden, korrelieren auch diese mit der Wahrscheinlichkeit für eine Trachealkanüle (Kalil et al. 2016). Auch das Risiko für raumfordernde Schlaganfälle, die eine entlastende Hemikraniektomie benötigen, steigt mit der Schwere des Schlaganfalles, sodass die Assoziation zwischen den schwerer betroffenen TK+ Patient*innen und einer Hemikraniektomie plausibel ist. Zudem finden sich fehlgeschlagene Extubationen bei schlaganfallinduzierter Dysphagie und reduziertem Bewusstseinszustand, was bei Erkrankten mit ischämischen Schlaganfall der Fall ist, vermehrt (Lioutas et al. 2016; Suntrup-Krueger et al. 2019). Die vier Hauptvorhersagefaktoren für eine Trachealkanüle zeigten sich zuvor schon in einem validierten *Score* zur Vorhersage von Intensiv-Aufenthaltsdauer, der Beatmungszeit und den Tracheotomiebedarf in einer gemischten Schlaganfallpopulation direkt oder indirekt (Schönenberger et al. 2016). Auch in einer Studie aus 2014 wurde der Zusammenhang zwischen einer dekompressiven Hemikraniektomie und Trachealkanülen untersucht. Hierbei wurde bestätigt, dass die Hemikraniektomie häufig mit Tracheotomie verbunden ist und, dass es zu einer höheren Wahrscheinlichkeit für Pneumonien in diesem Zusammenhang kommt (Walcott et al. 2014).

Interessanterweise waren es die Komplikationen im klinischen Verlauf, die die beste Vorhersage für die Notwendigkeit einer Trachealkanüle anzeigten. Wenngleich sich deutliche Unterschiede in den Analysegruppen im Hinblick auf die *Scores* wie NIHSS, mRS und ASPECTS zeigten, konnten sie keine ausreichende statistische Vorhersage für die Trachealkanüle liefern.

In dieser Analyse war unerwartet, dass keine Assoziation zwischen der Notwendigkeit einer Trachealkanüle und dem Verschluss der Arteria basilaris festzustellen war. Ein Verschluss der Arteria basilaris führt zur Ischämie des Hirnstammes und Teilen des Kleinhirns, was schwerwiegende Bewusstseins-, Schluck- und Atemstörungen verursachen kann. Daher ist die Mortalität einer Ischämie im hinteren Stromgebiet deutlich höher als im vorderen (Sparaco et al. 2019). Unter diesen Bedingungen wäre eine verlängerte mechanische Beatmung wahrscheinlicher als bei Verschlüssen im vorderen Kreislauf. Dass in der vorliegenden Population keine Unterschiede im betroffenen Gefäß festgestellt wurden, könnte darauf zurückzuführen sein, dass Patient*innen mit Verschluss der A. basilaris aufgrund der Schwere ihrer Symptome früh verstorben sind und somit keine verlängerte intensivmedizinische Behandlung erhielten. Zudem sind Verschlüsse im hinteren Stromgebiet mit einem deutlich schlechteren *Outcome* assoziiert, was häufig zu einer Anpassung der Therapiezielsetzung führt.

Aus diesem Grund wurde eine Subgruppenanalyse durchgeführt, bei der Patientinnen mit einem modifizierten Rankin-Skala von sechs (Tod infolge des Schlaganfalls) der TK+ Gruppe zugeordnet wurden (Abbildung 8). Unter der Annahme, dass sich in der erweiterten TK+ Gruppe jene Patient*innen befinden, die aufgrund von Bewusstseins- und Atemstörungen verstorben sind und die sonst ebenfalls der Trachealkanülengruppe zugeordnet worden wären, wurde statistisch in gleicher Weise verfahren wie in der ursprünglichen TK+ Gruppe. Hierbei zeigten dieselben Prädiktoren die Notwendigkeit einer Trachealkanüle und stützten diese Annahme. Zwar spielen auch andere Faktoren wie Komorbiditäten und das Alter eine bedeutende Rolle, jedoch ist davon auszugehen, dass ein Verschluss der A. basilaris zu einer höheren Wahrscheinlichkeit für eine Trachealkanüle führen würde, wenn die betroffene Patientengruppe nicht so früh an den Folgen des ischämischen Schlaganfalls versterben würden beziehungsweise das Therapieziel konsequent fortgeführt werden würde.

In dieser Studie war das Alter ebenfalls prädiktiv für die Wahrscheinlichkeit einer Trachealkanüle, wurde jedoch bei möglicher Selektionsverzerrung aus den weiteren Analysen ausgeschlossen. Denn die Entscheidung zur Therapieeskalation durch die Tracheostoma-Anlage fällt bei jüngeren Patient*innen häufiger als bei älteren. Dies kann einerseits daran liegen, dass jüngere Patient*innen, deren Angehörige und die behandelnden Ärzt*innen eher eine Tendenz zur Therapieeskalation durch einen weiteren Eingriff bei höherer Lebenserwartung haben, andererseits aber auch an weniger Komorbiditäten wie Diabetes mellitus oder Gerinnungsstörungen, die im höheren Alter vermehrt auftreten und die Komplikationsrate steigern könnten.

Ein weiteres Bestreben dieser Studie war es, den Zusammenhang zwischen dem Zeitpunkt der Tracheostoma-Anlage und dem *Outcome* sowie die Zusammenhänge zwischen den Beatmungszeiträumen mit und ohne Tubus bezugnehmend auf das *Outcome* zu untersuchen. Die Korrelationsanalyse nach Pearson erbrachte, dass es keine signifikante Korrelation ($r = 0{,}125$; $p = 0{,}461$) zwischen der Tracheostoma-Anlage und dem *Outcome* (gemessen am NIHSS bei Entlassung) gab. Dies deckt sich mit den Ergebnissen von (Bösel et al. 2022b). Denn hier wurde ebenfalls das klinische Ergebnis von prolongiert beatmeten Patienten mit und ohne Trachealkanüle untersucht und ebenfalls kein signifikanter Unterschied gefunden.

Passend zu dieser Feststellung zeigte sich eine positive Korrelation ($r = 0{,}478$; $p < 0{,}001$) zwischen der Dauer der endotrachealen Beatmung und dem *Outcome* (gemessen am NIHSS bei Entlassung). Da Patient*innen mit vermehrten Komplikationen und Komorbiditäten einer längeren Beatmungsunterstützung bedürfen und entsprechend das Risiko für eine beatmungsassoziierte Lungenschädigung steigt, führt dies in der Gesamtheit wahrscheinlich zu einem schlechteren funktionellen Ergebnis. Dies stützt die aktuelle Empfehlung, Schlaganfallpatient*innen frühzeitig vom Respirator zu entwöhnen und längere Beatmungszeiträume zu vermeiden (Coplin et al. 2000).

Zu den Stärken dieser Studie zählen die große Anzahl an LVOS Patient*innen mit prospektiv erhobenen Daten, die alle mit einer mechanischen Thrombektomie und auf einer spezialisierten Neuro-Intensivstation behandelt wurden. Limitationen stellen hingegen das retrospektive und monozentrische Studiendesign und lokale Vorgehensweisen im Zusammenhang mit der Trachealkanüle dar. Die relativ geringe Anzahl an TK+ Patient*innen ist eine weitere Einschränkung in Bezug auf die statistische Aussagekraft. Auch durch den altersbedingte Selektionsbias und die Therapielimitationen auf Basis des mutmaßlichen oder tatsächlichen Patientenwillens sind die erhobenen Daten mit Bedacht zu interpretieren. In Anbetracht dessen, dass sich die mechanische Thrombektomie zum Zeitpunkt der Datenanalyse erst in der Etablierung als Standardverfahren befand und im Rahmen dessen innerhalb der durchführenden Zentren mutmaßlich Variationen in der Durchführung auch im Hinblick auf die anästhesiologischen Vorgehensweisen existierten, sollten die Daten multizentrisch und Mithilfe von standardisierten Protokollen während der MT überprüft werden.

Durch die Identifikation von nosokomialen Pneumonien, Sepsis, fehlgeschlagenen Extubationen und dekompressiver Hemikraniektomie lässt sich der Bedarf für eine Trachealkanüle sicher anzeigen. Der entwickelte *Score* muss in externen Patientenkollektiven validiert werden und kann nur unter Berücksichtigung der oben genannten Einschränkungen zur Entscheidungsfindung für eine Trachealkanüle beitragen.

5. Zusammenfassung

Dem ischämischen Schlaganfall liegt aufgrund eines akuten Gefäßverschlusses eine Sauerstoffminderversorgung des vom betroffenen Gefäß versorgten Hirnareals zugrunde. In den letzten Jahren hat sich in der Therapie, die eine möglichst rasche Wiedereröffnung der entsprechenden Arterie anstrebt, sehr viel getan. Die mechanische Thrombektomie bietet die Möglichkeit, den ursächlichen Thrombembolus mit Hilfe eines Kathetersystems aus dem Gehirn zu entfernen. Trotz der großen therapeutischen Fortschritte bedürfen viele Schlaganfallpatient*innen unabhängig von der Therapieform einer intensivmedizinischen Behandlung aufgrund der Schwere des Schlaganfalles oder anderer Komplikationen. Angesichts schwerer Dysphagie oder tiefgreifender Bewusstseinsstörungen ist eine endotracheale Beatmung bei diesem Patientenkollektiv gehäuft nötig und birgt zeitgleich viele weitere Komplikationen und negative Folgen. Die Trachealkanüle ist eine einfache und gut verfügbare Alternative zur Dauerintubation, um Komplikationen zu minimieren und die Entwöhnung vom Beatmungsgerät zu erleichtern.

In der vorliegenden Arbeit wurden insgesamt 635 Patient*innen mit *large vessel occlusion stroke* im Zeitraum von 2013 bis 2019 analysiert, welche nach mechanischer Thrombektomie auf einer spezialisierten Neuro-Intensivstation behandelt wurden. Aus einer prospektiv geführten Datenbank wurden Informationen zu Anamnese, Schlaganfallparametern, Ergebnissen aus Labor und Bildgebung sowie retrospektiv über den gesamten intensivmedizinischen Verlauf inklusive Komplikationen und Beatmungszeiträumen erhoben. Insgesamt 40 dieser Betroffenen erhielten im Verlauf eine Trachealkanüle, sodass durch multivariate logistische Regression vier Prädiktoren erarbeitet wurden, welche den Bedarf für eine Trachealkanüle in der untersuchten Population anzeigen können.

Die vier Prädiktoren waren die nosokomiale Pneumonie, Sepsis, dekompressive Hemikraniektomie und fehlgeschlagene Extubationen. Mit der Regressionsgleichung konnte ein Punktesystem entworfen werden, welches bei einem *Cutoff* von -2 Punkten eine Sensitivität von 81 % und einer Spezifität von 94 % die Vorhersage für eine Trachealkanüle treffen konnte. Da die vier Prädiktoren allesamt Komplikationen des klinischen Verlaufs sind und sich gegenseitig beeinflussen, kann anhand der Analyse jene Patientengruppe, die von einer Trachealkanüle profitieren könnte, sehr gut eingegrenzt werden. Unter Berücksichtigung der Limitationen wie dem retrospektiven und monozentrischen Studiendesigns könnte der Tracheostomie*score* nach weiterer Validierung eine Entscheidungshilfe im klinischen Alltag in Bezug auf die Notwendigkeit einer Trachealkanüle darstellen.

6. Anhang

6.1 Basis- und Anamnesecharakteristika der Sekundäranalyse (erweiterte TK Gruppen)

Tabelle 11 Basis- und Anamnesecharakteristika der Sekundäranalyse

	Erweiterte TK+ Gruppe (n = 155)	**TK – Gruppe (n = 440)**	**p-Werte**
Basischarakteristika und Anamneseparameter			
Alter (Median, IQR)	77 (70-84)	76 (64-82)	0,022
Geschlecht (n, % Männer)	64 (41,3)	223 (50,7)	0,279
Arterielle Hypertonie (n, %)	127 (81,9)	364 (82,7)	0,224
Hyperlipoproteinämie (n, %)	61 (39,4)	237 (53,9)	0,040
Diabetes mellitus (n, %)	50 (32,3)	127 (28,9)	0,137
Vorhofflimmern (n, %)	76 (49)	202 (45,9)	0,135
pAVK (n, %)	11 (7,1)	26 (5,9)	0,422
Adipositas (n, %)	32 (20,6)	132 (30)	0,135
Rauchen (n, %)	16 (10,3)	85 (19,3)	0,036
Koronare Herzkrankheit (n, %)	41 (26,5)	102 (23,2)	0,171
Herzinsuffizienz (n, %)	42 (27,1)	118 (26,8)	0,414
Chron. Niereninsuffizienz (n, %)	44 (28,4)	99 (22,5)	0,024
Lungenvorerkrankungen[2] (n, %)	43 (27,7)	84 (19,1)	0,005
COPD (n, %)	26 (16,8)	34 (7,7)	<0,001
Asthma bronchiale (n, %)	3 (1,9)	9 (2)	0,951
Bronchial Karzinom (n, %)	2 (1,3)	12 (2,7)	0,379
Lungenemphysem (n, %)	1 (0,6)	7 (1,6)	0,435
Lungenarterienembolie (n, %)	15 (9,7)	12 (2,7)	<0,001

[2] Lungenvorerkrankungen: Chronisch obstruktive Lungenerkrankung (COPD), Asthma bronchiale, Bronchial Karzinom, Lungenemphysem, Lungenarterienembolie, ambulant erworbene Pneumonie, Lungenfibrose, pulmonale Hypertonie

Ambulant erworbene Pneumonie (n, %)	2 (1,3)	6 (1,4)	0,962
Lungenfibrose (n, %)	2 (1,3)	1 (0,2)	0,086
Pulmonale Hypertonie (n, %)	6 (3,9)	11 (2,5)	0,282

6.2 Schlaganfallparameter der Sekundäranalyse

Tabelle 12 Schlaganfallparameter der Sekundäranalyse

	Erweiterte TK+ Gruppe (n = 155)	**TK – Gruppe (n = 440)**	**p-Werte**
Schlaganfallparameter			
Seite (n, % rechts)	55 (35,5)	206 (46,8)	0,464
Gefäßverschluss			<0,001
- Arteria cerebri media, M1 (n, %)	63 (40,6)	237 (53,9)	
- Arteria cerebri media, M2 (n, %)	12 (7,7)	73 (16,6)	
- Arteria carotis interna proximal (n, %)	7 (4,5)	14 (3,2)	
- Carotis-T (n, %)	49 (31,6)	83 (18,9)	
- Arteria basilaris (n, %)	22 (14,2)	38 (8,6)	
- Andere (n, %)	2 (1,3)	21 (4,8)	
TOAST-Kriterien			0,129
- makroangiopathisch (n, %)	9 (5,8)	58 (13,2)	
- kardiogen-embolisch (n, %)	73 (47,1)	221 (50,2)	
- andere (n, %)	4 (2,6)	18 (4,1)	
- unklar (n, %)	56 (36,1)	151 (34,3)	
Wake up stroke (n, %)	19 (12,3)	49 (11,1)	0,416
Intravenöse Thrombolyse (n, %)	52 (33,5)	180 (40,9)	0,030
Anästhesieverfahren für MT			<0,001
Allgemeinnarkose (n, %)	106 (68,4)	201 (45,7)	
Sedierung (n, %)	22 (14,2)	108 (24,5)	
Wechsel Sedierung zu Allgemeinarkose	12 (7,7)	38 (8,6)	

6.3 Scores und Bildgebungsparameter der Sekundäranalyse

Tabelle 13 Scores und Bildgebungsparameter der Sekundäranalyse

	Erweiterte TK+ Gruppe (n = 155)	**TK – Gruppe (n = 440)**	**p-Werte**
Scores und Bildgebungsparameter			
NIHSS Aufnahme (Median, IQR)	17 (13-21)	14 (9-18)	<0,001
NIHSS Entlassung (Median, IQR)	19 (13-22,3)	5 (2-11)	<0,001
cCT ASPECTS Aufnahme (Median, IQR)	8 (7-9)	7 (6-9)	<0,001
cCT ASPECTS 24 Std. follow up (Median, IQR)	3 (1-6)	7 (6-8)	<0,001
Symptom bis Rekanalisation in Std. (Median, IQR)	242 (189,8-312,5)	203,5 (149-279)	<0,001
Erfolgreiche Rekanalisation (n, %)	103 (66,5)	385 (87,5)	<0,001
mTICI post Rekanalisierung (Median, IQR)			<0,001
mTICI 0	22 (14,2)	30 (6,8)	
mTICI 1	10 (6,5)	15 (3,4)	
mTICI 2a	19 (12,3)	33 (7,5)	
mTICI 2b	49 (31,6)	165 (37,5)	
mTICI 2c	27 (17,4)	96 (21,8)	
mTICI 3	27 (17,4)	123 (28)	
Oxygenierungsindex (Median, IQR)	343,5 (239,2-503,8)	380 (300-502)	0,034

6.4 Komplikationen der Sekundäranalyse

Tabelle 14 Komplikationen der Sekundäranalyse

	Erweiterte TK+ Gruppe (n = 155)	**TK – Gruppe (n = 440)**	**p-Werte**
Komplikationen			
Fehlgeschlagene Extubationen (n, %)	25 (16,1)	9 (2)	<0,001
Nosokomiale Pneumonie (n, %)	88 (56,8)	175 (39,8)	<0,001
Sepsis (n, %)	22 (14,2)	5 (1,1)	<0,001
Intrakranielle Blutungen (n, %)	47 (30,3)	51 (11,6)	<0,001
Symptomatische Blutungen (n, %)	20 (12,9)	7 (1,6)	<0,001
Subarachnoidalblutungen (n, %)	38 (24,5)	37 (8,4)	<0,001
Dekompressive Hemikraniektomie (n, %)	29 (18,7)	13 (3)	<0,001

6.5 Multivariate logistische Regression der Sekundäranalyse

Tabelle 15 Multivariate logistische Regression der Sekundäranalyse

Variablen	**Odds Ratio (95 % KI)**	**p-Werte**
Fehlgeschlagene Extubation	8,86 (2,65-29,58)	<0,001
Nosokomial erworbene Pneumonie	13,34 (1,65-107,83)	0,015
Sepsis	4,25 (1,13-16,08)	0,033
Dekompressive Hemikraniektomie	7,70 (2,54-23,30)	<0,001

6.6 Entwicklung des Tracheostomiescores

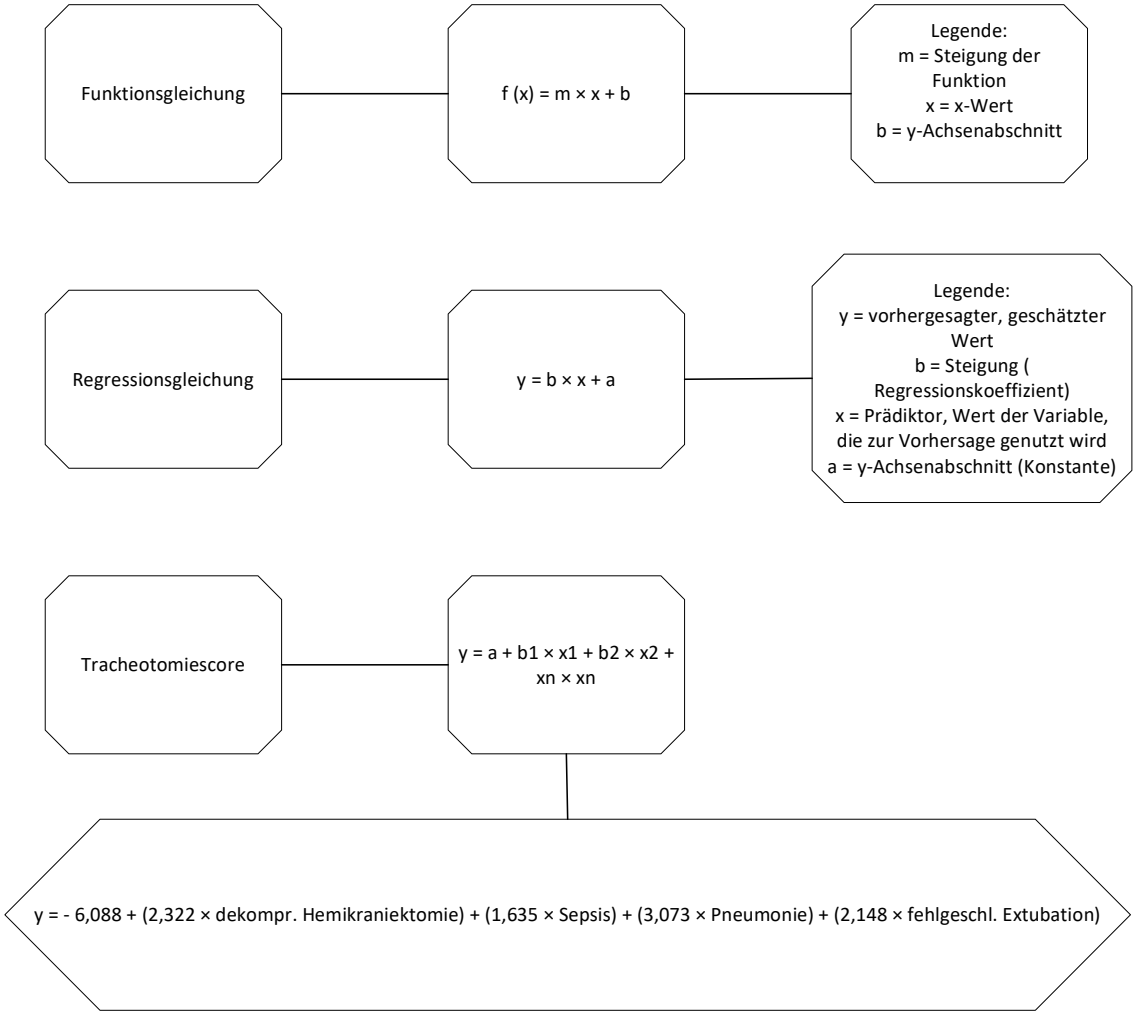


Abbildung A1 Entwicklung des Tracheostomiescores

7. Literaturverzeichnis

Adams H, Bendixen B, Kappelle L, Biller J, Love B, Gordon D, Marsh E (1993): Classification of subtype of acute ischemic stroke. Definitions for use in a multicenter clinical trial. TOAST. Trial of Org 10172 in Acute Stroke Treatment. Stroke 24, 35–41

Ärzteblatt DÄG Redaktion Deutsches. https://www.aerzteblatt.de/nachrichten/102980/Risikofaktoren-koennen-Schlaganfallgefahr-auf-90-Prozent-steigern; abgerufen am 17.02.2023a

Ärzteblatt DÄG Redaktion Deutsches. https://www.aerzteblatt.de/nachrichten/102980/Risikofaktoren-koennen-Schlaganfallgefahr-auf-90-Prozent-steigern; abgerufen am 17.02.2023b

Ärzteblatt DÄG Redaktion Deutsches. https://www.aerzteblatt.de/archiv/209625/Schlaganfall-Lyse-auch-nach-Zeitfenster-von-4-5-Stunden-moeglich; abgerufen am 22.05.2024c

Almekhlafi M, Goyal M, Dippel D, Majoie C, Campbell BCV, Muir K, Demchuk A, Bracard S, Guillemin F, Jovin T, et al. (2021): Healthy Life-Year Costs of Treatment Speed From Arrival to Endovascular Thrombectomy in Patients With Ischemic Stroke. JAMA Neurol 78, 1–9

Alonso A, Ebert AD, Kern R, Rapp S, Hennerici MG, Fatar M (2015): Outcome Predictors of Acute Stroke Patients in Need of Intensive Care Treatment. Cerebrovasc Dis Basel Switz 40, 10–17

Amiri-Nikpour MR, Nazarbaghi S, Hamdi-Holasou M, Rezaei Y (2015): An open-label evaluator-blinded clinical study of minocycline neuroprotection in ischemic stroke: gender-dependent effect. Acta Neurol Scand 131, 45–50

Aroor S, Singh R, Goldstein LB (2017): BE-FAST (Balance, Eyes, Face, Arm, Speech, Time): Reducing the Proportion of Strokes Missed Using the FAST Mnemonic. Stroke 48, 479–481

Böcker W. https://www.lehmanns.de/shop/medizin-pharmazie/8836151-9783437423826-pathologie; abgerufen am 10.06.2024

Bösel J (2013): Tracheostomy in Stroke Patients. Curr Treat Options Neurol 16, 274

Bösel J, Schiller P, Hacke W, Steiner T (2012): Benefits of early tracheostomy in ventilated stroke patients? Current evidence and study protocol of the randomized pilot trial SETPOINT (Stroke-related Early Tracheostomy vs. Prolonged Orotracheal Intubation in Neurocritical care Trial). Int J Stroke Off J Int Stroke Soc 7

Bösel J, Schiller P, Hook Y, Andes M, Neumann J, Poli S, Amiri H, Schönenberger S, Peng Z, Unterberg A, et al. (2013): Stroke-related Early Tracheostomy versus Prolonged Orotracheal Intubation in Neurocritical Care Trial (SETPOINT): a randomized pilot trial. Stroke 44

Bösel J, Niesen W-D, Salih F, Morris NA, Ragland JT, Gough B, Schneider H, Neumann J-O, Hwang DY, Kantamneni P, et al. (2022a): Effect of Early vs Standard Approach to Tracheostomy on Functional Outcome at 6 Months Among Patients With Severe Stroke Receiving Mechanical Ventilation. JAMA 327, 1899–1909

Bösel J, Niesen W-D, Salih F, Morris NA, Ragland JT, Gough B, Schneider H, Neumann J-O, Hwang DY, Kantamneni P, et al. (2022b): Effect of Early vs Standard Approach to Tracheostomy on Functional Outcome at 6 Months Among Patients With Severe Stroke Receiving Mechanical Ventilation. JAMA 327, 1899–1909

Brott T, Adams HP, Olinger CP, Marler JR, Barsan WG, Biller J, Spilker J, Holleran R, Eberle R, Hertzberg V (1989): Measurements of acute cerebral infarction: a clinical examination scale. Stroke 20, 864–870

Businger J, Fort AC, Vlisides PE, Cobas M, Akca O (2020): Management of Acute Ischemic Stroke–Specific Focus on Anesthetic Management for Mechanical Thrombectomy. Anesth Analg 131, 1124

Campbell D, Butler E, Campbell RB, Ho J, Barber PA (2023): General Anesthesia Compared With Non-GA in Endovascular Thrombectomy for Ischemic Stroke. Neurology 100, e1655–e1663

Cappellari M, Pracucci G, Forlivesi S, Saia V, Nappini S, Nencini P, Inzitari D, Greco L, Sallustio F, Vallone S, et al. (2020): General Anesthesia Versus Conscious Sedation and Local Anesthesia During Thrombectomy for Acute Ischemic Stroke. Stroke 51, 2036–2044

Coplin W, Pierson D, Cooley K, Newell D, Rubenfeld G (2000): Implications of extubation delay in brain-injured patients meeting standard weaning criteria. Am J Respir Crit Care Med 161

Dalhoff K, Abele-Horn M, Andreas S, Deja M, Ewig S, Gastmeier P, Gatermann S, Gerlach H, Grabein B, Heußel C, et al. (2018): Epidemiologie, Diagnostik und Therapie erwachsener Patienten mit nosokomialer Pneumonie – Update 2017: S3-Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin e.V., der Deutschen Gesellschaft für Infektiologie e.V., der Deutschen Gesellschaft für Hygiene und Mikrobiologie e.V., der Deutschen Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin e.V., der Paul-Ehrlich Gesellschaft für Chemotherapie e.V, der Deutschen Röntgengesellschaft und der Gesellschaft für Virologie. Pneumologie 72, 15–63

Dauchet L, Amouyel P, Dallongeville J (2005): Fruit and vegetable consumption and risk of stroke: a meta-analysis of cohort studies. Neurology 65, 1193–1197

Davenport R j., Dennis M s., Wellwood I, Warlow C p. (1996): Complications After Acute Stroke. Stroke 27, 415–420

Dietl R, Pohle R, Weingärtner M, Polgar R, Gräßel E, Schwab S, Kolominsky-Rabas P. https://www.thieme-connect.de/media/fdn/200912/lookinside/10.1055-s-0028-1109912-1.jpg; abgerufen am 05.06.2024

Easton D, Saver J, Albers G, Alberts M, Chaturvedi S, Feldmann E, Hatsukami T, Higashida R, Johnston S. https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/STROKEAHA.108.192218; abgerufen am 11.06.2024

Elke L, Swiaczny F, Genoni A, Sander N, Westermann R (2021): Globale Bevölkerungsentwicklung. Fakten und Trends. Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung. https://www.bib.bund.de/Publikation/2021/Globale-Bevoelkerungsentwicklung.html?nn=15207364; abgerufen am 16.01.2023

Epstein SK (2002): Decision to extubate. Intensive Care Med 28

Faigle R, Marsh E, Llinas R, Urrutia V, Gottesman R (2016): ICAT: a simple score predicting critical care needs after thrombolysis in stroke patients. Crit Care Lond Engl 20

Fandler-Höfler S, Heschl S, Kneihsl M, Argüelles-Delgado P, Niederkorn K, Pichler A, Deutschmann H, Fazekas F, Berghold A, Enzinger C, Gattringer T (2020): Ventilation time and prognosis after stroke thrombectomy: the shorter, the better! Eur J Neurol 27, 849–855

Feigin V, Stark B, Johnson C, Roth G, Bisignano K, Abady G, Abbasifard M, Abbasi-Kangevari M, Abd-Allah F, Abedi V, Abualhasan A (2021): Global, regional, and national burden of stroke and its risk factors, 1990-2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. Lancet Neurol 20, 795–820

Fischer U, Kaesmacher J, Strbian D, Eker O, Cognard C, Plattner PS, Bütikofer L, Mordasini P, Deppeler S, Pereira VM, et al. (2022): Thrombectomy alone versus intravenous alteplase plus thrombectomy in patients with stroke: an open-label, blinded-outcome, randomised non-inferiority trial. Lancet Lond Engl 400, 104–115

Gerischer LM, Flöel A, Endres M (2015): Schlaganfall – Lifestyle und Umwelt. Nervenarzt 86, 947–953

Gleixner C, Wirth S: Neurologie und Psychiatrie: Für Studium und Praxis. 11. Auflage; 2017

Goyal M, Demchuk AM, Menon BK, Eesa M, Rempel JL, Thornton J, Roy D, Jovin TG, Willinsky RA, Sapkota BL, et al. (2015): Randomized Assessment of Rapid Endovascular Treatment of Ischemic Stroke. N Engl J Med 372, 1019–1030

Goyal M, Menon BK, Zwam WH van, Dippel DWJ, Mitchell PJ, Demchuk AM, Dávalos A, Majoie CBLM, Lugt A van der, Miquel MA de, et al. (2016a): Endovascular thrombectomy after large-vessel ischaemic stroke: a meta-analysis of individual patient data from five randomised trials. The Lancet 387, 1723–1731

Goyal M, Menon BK, Zwam WH van, Dippel DWJ, Mitchell PJ, Demchuk AM, Dávalos A, Majoie CBLM, Lugt A van der, Miquel MA de, et al. (2016b): Endovascular thrombectomy after large-vessel ischaemic stroke: a meta-analysis of individual patient data from five randomised trials. The Lancet 387, 1723–1731

Günster C, Klose J, Schmacke N (2011): Versorgungs-Report 2011. 18

Hacke W (Hrsg.): Neurologie (Springer-Lehrbuch). Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg 2016

Hermans G, De Jonghe B, Bruyninckx F, Berghe GV den (2008): Clinical review: Critical illness polyneuropathy and myopathy. Crit Care 12, 238

Heuschmann P, Busse O, Wagner M, Endres M, Villringer A, Röther J, Kolominsky-Rabas P, Berger K (2010): Schlaganfallhäufigkeit und Versorgung von Schlaganfallpatienten in Deutschland. Aktuelle Neurol 37, 333–340

Höer A, Schiffhorst G, Berkemeier F. https://www.iges.com/sites/igesgroup/iges.de/myzms/content/e6666/e29693/e30652/e30653/e30655/attr_objs30675/2023-09-

29_IGES_Bericht_Routinedaten_Schlaganfall_clean_final_cov_ger.pdf; abgerufen am 22.05.2024

Hufschmidt A, Rauer S, Glocker F: Neurologie compact. 9. Auflage; 2022

Ilyas A, Chen C-J, Ding D, Foreman PM, Buell TJ, Ironside N, Taylor DG, Kalani MY, Park MS, Southerland AM, Worrall BB (2018): Endovascular Mechanical Thrombectomy for Acute Ischemic Stroke Under General Anesthesia Versus Conscious Sedation: A Systematic Review and Meta-Analysis. World Neurosurg 112, e355–e367

Jäger M (2008): Ischämischer Schlaganfall. Focus Neurogeriatr 2, 31–33

Johnston K, Li J, Lyden P, Hanson S, Feasby T, Adams R, Faught Jr. R, Haley E. https://www.ahajournals.org/doi/full/10.1161/01.STR.29.2.447; abgerufen am 17.06.2024

Kalil AC, Metersky ML, Klompas M, Muscedere J, Sweeney DA, Palmer LB, Napolitano LM, O'Grady NP, Bartlett JG, Carratalà J, et al. (2016): Management of Adults With Hospital-acquired and Ventilator-associated Pneumonia: 2016 Clinical Practice Guidelines by the Infectious Diseases Society of America and the American Thoracic Society. Clin Infect Dis Off Publ Infect Dis Soc Am 63, e61–e111

Katan M, Luft A (2018): Global Burden of Stroke. Semin Neurol 38, 208–211

Kirchoff-Torres KF, Bakradze E (2018): Cerebral Hyperperfusion Syndrome After Carotid Revascularization and Acute Ischemic Stroke. Curr Pain Headache Rep 22, 24

Krishnan K, Elliot SC, Mallick A (2005): The current practice of tracheostomy in the United Kingdom: a postal survey. Anaesthesia 60, 360–364

Kumar S, Selim MH, Caplan LR (2010): Medical complications after stroke. Lancet Neurol 9, 105–118

Langhorne P, Stott DJ, Robertson L, MacDonald J, Jones L, McAlpine C, Dick F, Taylor GS, Murray G (2000): Medical complications after stroke: a multicenter study. Stroke 31, 1223–1229

Liebeskind DS, Saber H, Xiang B, Jadhav AP, Jovin TG, Haussen DC, Budzik RF, Bonafe A, Bhuva P, Yavagal DR, et al. (2022): Collateral Circulation in Thrombectomy for Stroke After 6 to 24 Hours in the DAWN Trial. Stroke 53, 742–748

Lioutas V-A, Hanafy KA, Kumar S (2016): Predictors of extubation success in acute ischemic stroke patients. J Neurol Sci 368, 191–194

Luengo-Fernandez R, Paul NLM, Gray AM, Pendlebury ST, Bull LM, Welch SJV, Cuthbertson FC, Rothwell PM, Oxford Vascular Study (2013): Population-based study of disability and institutionalization after transient ischemic attack and stroke: 10-year results of the Oxford Vascular Study. Stroke 44, 2854–2861

Luengo-Fernandez R, Violato M, Candio P, Leal J (2020): Economic burden of stroke across Europe: A population-based cost analysis. Eur Stroke J 5, 17–25

Mallick A, Bodenham AR (2010): Tracheostomy in critically ill patients: Eur J Anaesthesiol 27, 676–682

Meinel TR, Wilson D, Gensicke H, Scheitz JF, Ringleb P, Goganau I, Kaesmacher J, Bae H-J, Kim DY, Kermer P, et al. (2023): Intravenous Thrombolysis in Patients With Ischemic Stroke and Recent Ingestion of Direct Oral Anticoagulants. JAMA Neurol 80, 233–243

Mozaffarian D. https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/CIR.0000000000000350?url_ver=Z39.88-2003&rfr_id=ori:rid:crossref.org&rfr_dat=cr_pub%20%200pubmed; abgerufen am 13.01.2023

Oczenski W: 5 Entwöhnung vom Respirator (Weaning). 10., überarbeitete und erweiterte Auflage; Thieme Verlag 2017

O'Donnell MJ, Xavier D, Liu L, Zhang H, Chin SL, Rao-Melacini P, Rangarajan S, Islam S, Pais P, McQueen MJ, et al. (2010): Risk factors for ischaemic and intracerebral haemorrhagic stroke in 22 countries (the INTERSTROKE study): a case-control study. The Lancet 376, 112–123

Olma DMC, Kurth T (2022): Sekundärprophylaxe ischämischer Schlaganfall und transitorische ischämische Attacke – Teil 2: Lebensstil, arterielle Stenosen, andere Antithrombotika-Indikationen, Hormone, Diabetes mellitus, Schlafapnoe. Leitlinien Für Diagn Ther Neurol

Pexman J, Barber P, Hill M, Sevick R, Demchuk A, Hudon M, Hill W, Buchan (2001): Use of the Alberta Stroke Program Early CT Score (ASPECTS) for assessing CT scans in patients with acute stroke. AJNR Am J Neuroradiol 22

Prakkamakul S, Yoo A (2017): ASPECTS CT in Acute Ischemia: Review of Current Data. Top Magn Reson Imaging TMRI 26

Rankin J (1957): Cerebral vascular accidents in patients over the age of 60. II. Prognosis. Scott Med J 2, 200–215

Ringleb P, Köhrmann M, Jansen O. https://dgn.org/leitlinie/178; abgerufen am 19.01.2023a

Ringleb P, Köhrmann M, Jansen O. https://dgn.org/leitlinie/178; abgerufen am 19.01.2023b

Robert-Koch-Institut: Wie steht es um unsere Gesundheit? Robert Koch-Institut, Epidemiologie und Gesundheitsberichterstattung 2015

Ropper AH (2014): Hemicraniectomy — To Halve or Halve Not. N Engl J Med 370, 1159–1160

Royl G, Ploner CJ, Möckel M, Leithner C (2010): Neurologische Leitsymptome in einer Notaufnahme. Nervenarzt 81, 1226–1230

Roy-O'Reilly M, McCullough LD (2018): Age and Sex Are Critical Factors in Ischemic Stroke Pathology. Endocrinology 159, 3120–3131

Rücker V, Heuschmann PU, O'Flaherty M, Weingärtner M, Hess M, Sedlak C, Schwab S, Kolominsky-Rabas PL (2020): Twenty-Year Time Trends in Long-Term Case-Fatality and Recurrence Rates After Ischemic Stroke Stratified by Etiology. Stroke 51, 2778–2785

Saini V, Guada L, Yavagal DR (2021): Global Epidemiology of Stroke and Access to Acute Ischemic Stroke Interventions. Neurology 97, S6–S16

Saver JL (2006): Time is brain--quantified. Stroke 37

Schell M, Thomalla G (2020): Intravenöse Lyse-Therapie beim ischämischen Schlaganfall – Schritt für Schritt. Neurol Up2date 03, 329–336

Schlegel D, Kolb S, Luciano Jm, Tovar J, Cucchiara B, Liebeskind D, Kasner S (2003): Utility of the NIH Stroke Scale as a predictor of hospital disposition. Stroke 34

Schönenberger S, Al-Suwaidan F, Kieser M, Uhlmann L, Bösel J (2016): The SETscore to Predict Tracheostomy Need in Cerebrovascular Neurocritical Care Patients. Neurocrit Care 25, 94–104

Schönhofer B, Geiseler J, Dellweg D, Moerer O, Barchfeld T, Fuchs H, Karg O, Rosseau S, Sitter H, Weber-Carstens S, et al. (2014): Prolongiertes Weaning. Pneumologie 68, 19–75

Schramm P. https://www.journalmed.de/news/lesen/zahl-mechanische-thrombektomien-erneut-gestiegen; abgerufen am 22.05.2024

Seder DB, Lee K, Rahman C, Rossan-Raghunath N, Fernandez L, Rincon F, Claassen J, Gordon E, Mayer SA, Badjatia N (2009): Safety and Feasibility of Percutaneous Tracheostomy Performed by Neurointensivists. Neurocrit Care 10, 264–268

Shen Y, Cao Q, Zhuo H, Hu M, Chen S (2022): Early Versus Late Tracheostomy in Stroke Patients: A Retrospective Analysis. Neuropsychiatr Dis Treat 18, 2713–2723

Siempos II, Ntaidou TK, Filippidis FT, Choi AMK (2015): Effect of early versus late or no tracheostomy on mortality and pneumonia of critically ill patients receiving mechanical ventilation: a systematic review and meta-analysis. Lancet Respir Med 3, 150–158

Silva GS, Nogueira RG (2020): Endovascular Treatment of Acute Ischemic Stroke. Contin Minneap Minn 26, 310–331

Skoglund K, Enblad P, Marklund N (2009): Effects of the neurological wake-up test on intracranial pressure and cerebral perfusion pressure in brain-injured patients. Neurocrit Care 11

Skoglund K, Enblad P, Hillered L, Marklund N (2012): The neurological wake-up test increases stress hormone levels in patients with severe traumatic brain injury. Crit Care Med 40

Sparaco M, Ciolli L, Zini A (2019): Posterior circulation ischaemic stroke—a review part I: anatomy, aetiology and clinical presentations. Neurol Sci 40, 1995–2006

Stroke Unit Trialists`Collaboration (2013): Organised inpatient (stroke unit) care for stroke. Cochrane Database Syst Rev 2013, CD000197

Suntrup-Krueger S, Schmidt S, Warnecke T, Steidl C, Muhle P, Schroeder JB, Labeit B, Minnerup J, Dziewas R (2019): Extubation Readiness in Critically Ill Stroke Patients. Stroke 50, 1981–1988

Trifan G, Biller J, Testai FD (2022): Mechanical Thrombectomy vs Bridging Therapy for Anterior Circulation Large Vessel Occlusion Stroke. Neurology 98, e1361–e1373

Tsao CW, Aday AW, Almarzooq ZI, Alonso A, Beaton AZ, Bittencourt MS, Boehme AK, Buxton AE, Carson AP, Commodore-Mensah Y, et al. (2022): Heart Disease and Stroke Statistics—2022 Update: A Report From the American Heart Association. Circulation 145, e153–e639

van der Lely AJ, Veelo D, Dongelmans D, Korevaar J, Vroom M, Schultz M (2006): Time to wean after tracheotomy differs among subgroups of critically ill patients: retrospective analysis in a mixed medical/surgical intensive care unit. Respir Care 51

van Swieten JC, Koudstaal PJ, Visser MC, Schouten HJ, van Gijn J (1988): Interobserver agreement for the assessment of handicap in stroke patients. Stroke 19, 604–607

Virani SS, Alonso A, Aparicio HJ, Benjamin EJ, Bittencourt MS, Callaway CW, Carson AP, Chamberlain AM, Cheng S, Delling FN, et al. (2021): Heart Disease and Stroke Statistics-2021 Update: A Report From the American Heart Association. Circulation 143, e254–e743

Walcott BP, Kamel H, Castro B, Kimberly WT, Sheth KN (2014): Tracheostomy after Severe Ischemic Stroke: A Population-based Study. J Stroke Cerebrovasc Dis 23, 1024–1029

Walter U, Knoblich R, Steinhagen V, Donat M, Benecke R, Kloth A (2007): Predictors of pneumonia in acute stroke patients admitted to a neurological intensive care unit. J Neurol 254, 1323–1329

Weltgesundheitsorganisation. https://www.who.int/data/gho/data/themes/theme-details/GHO/mortality-and-global-health-estimates; abgerufen am 16.01.2023

Zaidat OO, Yoo AJ, Khatri P, Tomsick TA, von Kummer R, Saver JL, Marks MP, Prabhakaran S, Kallmes DF, Fitzsimmons B-FM, et al. (2013): Recommendations on Angiographic Revascularization Grading Standards for Acute Ischemic Stroke. Stroke 44, 2650–2663

Danksagung

Hiermit möchte ich mich vor allem bei Herrn PD Dr. med. I. Maier, meinem Doktorvater, bedanken. Er war bei Fragen stets erreichbar und nahm sich viel Zeit, meine Arbeit im Rahmen von Korrekturen und Hilfestellungen bei der statistischen Auswertung zu unterstützen. Außerdem möchte ich Frau PD Dr. med. H. Haus, meiner Zweitbetreuerin, für die anregenden Ideen danken. Des Weiteren bedanke ich mich insbesondere bei Herrn Dr. Leha vom Institut für medizinische Statistik für die Unterstützung bei statistischen Fragestellungen.