



Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin und Schmerztherapie

**Evaluation des anästhesiologischen Managements bei elektiven
intrakraniellen Eingriffen in den USA**

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades

Doctor medicinae (Dr. med.)

der Universitätsmedizin Rostock

vorgelegt von

Christian Philipp Valentin Sies

geb. am 18. Juni 1990 in Hamburg

Berlin, 9. Dezember 2022

Universitätsmedizin Rostock

Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin und Schmerztherapie

Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Daniel A. Reuter

Gutachter 1:

Prof. Dr. med. Sebastian Haas

Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin und Schmerztherapie

Universitätsmedizin Rostock

Gutachter 2:

Priv.-Doz. Dr. med. Dr. med. habil. Florian Geßler

Klinik und Poliklinik für Neurochirurgie

Universitätsmedizin Rostock

Gutachter 3:

Priv.-Doz. Dr. med. Martin S. Winkler

Klinik für Anästhesiologie

Universitätsmedizin Göttingen

Einreichung: Berlin, 9. Dezember 2022

Verteidigung: Rostock, 10. Oktober 2023

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	5
1.1 Klinische Standards in der Neuroanästhesie	5
1.2 Die historische Entwicklung der Neuroanästhesie	6
1.3 Neurochirurgische Krankheitsbilder	8
1.4 Anästhesiologisches Vorgehen bei neurochirurgischen Eingriffen	10
2 Fragestellung	16
3 Material und Methoden	17
3.1 Studiendesign	17
3.2 Auswahl der TeilnehmerInnen	17
3.3 Durchführung der Studie	17
3.4 Aufbau des Fragebogens	18
3.5 Statistische Methodik	20
4 Ergebnisse	21
4.1 Rücklaufquote	21
4.2 Beruflicher Stand und Art der Klinik	21
4.3 Nationale Verteilung	22
4.4 Methode der Atemwegssicherung	23
4.5 Katheter	24
4.5.1 Die invasive Blutdruckmessung über einen arteriellen Katheter	24
4.5.2 Großlumige periphere Venenkatheter	25
4.5.3 Zentrale Venenkatheter (ZVK)	26
4.5.4 Blasenkatheter	26
4.6 Art der Narkose	26
4.7 Intraoperative Hypnotika und Opioide	27
4.7.1 Hypnotika	27
4.7.2 Opioide	27
4.8 Muskelrelaxation und Relaxometrie	29

4.8.1 Muskelrelaxation	29
4.8.2 Relaxometrie (TOF).....	30
4.9 Erweitertes intraoperatives Monitoring	30
4.9.1 Prozessiertes Elektroenzephalogramm (z.B. Bispectral Index)	30
4.9.2 Erweitertes hämodynamisches Monitoring.....	31
4.10 Bereitstellung gekreuzter Erythrozytenkonzentrate	31
4.11 Postoperatives Vorgehen	32
4.11.1 Postoperative Extubation	32
4.11.2 Postoperative Verlegung der PatientInnen	32
4.11.3 Postoperative kraniale Computertomographie (cCT)	33
4.12 Übersicht der statistischen Auswertung.....	34
5 Diskussion.....	38
5.1 Die TeilnehmerInnen	38
5.2 Das perioperative neuroanästhesiologische Management	39
5.2.1 Vergleich der endotrachealen Intubation und supraglottischer Verfahren	39
5.2.2 Einfluss der Eingriffsart auf den Beginn der invasiven Blutdruckmessung.....	40
5.2.3 Einsatz großlumiger peripherer und zentraler Venenkatheter	41
5.2.4 Verwendung von Blasenkathetern	42
5.2.5 Vergleich der balancierten und der totalintravenösen Anästhesie	42
5.2.6 Hypnotika: Die Anwendung von Propofol und Midazolam.....	45
5.2.7 Opioide: Remifentanyl, Fentanyl und Sufentanyl im Vergleich	46
5.2.8 Neuromuskuläre Blockade und neuromuskuläre Überwachung	47
5.2.9 Nutzen des prozessierten Elektroenzephalogramms	48
5.2.10 Erweitertes hämodynamisches Monitoring in der Neuroanästhesie.....	49
5.2.11 Bereitstellung gekreuzter Erythrozytenkonzentrate	50
5.2.12 Postoperatives Vorgehen	52
5.3 Das Für und Wider medizinischer Leitlinien	53
6 Limitationen der Studie	55

7 Schlussfolgerung	56
8 Zusammenfassung.....	58
9 Selbstständigkeitserklärung	59
10 Danksagung	60
11 Anhang	61
11.1 Elektronischer Fragebogen	61
11.2 Online-Fragebogen	63
12 Abkürzungsverzeichnis	69
13 Abbildungsverzeichnis.....	70
14 Tabellenverzeichnis	72
15 Literaturverzeichnis.....	74
16 Thesen	85
17 Lebenslauf	86

1 Einleitung

1.1 Klinische Standards in der Neuroanästhesie

Die Anwendung von Leitlinien ist ein elementarer Bestandteil der modernen medizinischen Versorgung geworden und führt in der klinischen Praxis zu einer Verbesserung von Behandlungsprozessen [1]. Während in verschiedenen Bereichen der Anästhesiologie bereits allgemein anerkannte Leitlinien veröffentlicht wurden [2, 3, 4, 5], finden sich im Fachbereich der Neuroanästhesie bisher nur wenige umfassende, national und international anerkannte Leitlinien für das perioperative anästhesiologische Management [6].

Eine Form standardisierter Handlungsempfehlungen bei chirurgischen Eingriffen stellen die Enhanced Recovery After Surgery (ERAS)-Protokolle dar. ERAS-Protokolle sind keine allgemein anerkannten Leitlinien, jedoch handelt es sich um Handlungsanweisungen in denen evidenzbasierte Empfehlungen zum interdisziplinären perioperativen Vorgehen gegeben werden. So auch zum anästhesiologischen Management. Sie wurden mit dem Ziel entwickelt die perioperative PatientInnen-Versorgung durch standardisierte Maßnahmen zu optimieren, medizinische Komplikationen zu verringern und eine schnellere postoperative Entlassung der PatientInnen zu ermöglichen [7]. Wissenschaftliche Evaluationen konnten zeigen, dass die genannten Ziele und eine Kostenreduktion durch die konsequente Umsetzung von ERAS-Empfehlungen erreicht werden können [7]. ERAS-Protokolle finden mittlerweile in verschiedenen chirurgischen Disziplinen Anwendung [7]. So auch in der Neurochirurgie [8, 9]. Nach ersten Erkenntnissen hatte die Implementierung des ersten ERAS-Protokolls für elektive Kraniotomien an einem Krankenhaus der Maximalversorgung in China eine größere Zufriedenheit sowie schnellere postoperative Entlassung der PatientInnen ohne einen Anstieg der perioperativen Komplikationen bei gleichzeitiger Kostenreduktion zur Folge [8, 10]. Demnach können PatientInnen bei intrakraniellen chirurgischen Eingriffen von einer standardisierten neurochirurgischen und neuroanästhesiologischen Behandlung profitieren.

Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, ob es trotz des Mangels an umfassenden nationalen und internationalen Leitlinien einen anerkannten Standard für das perioperative neuroanästhesiologische Management gibt, der an verschiedenen neurochirurgischen Zentren umgesetzt wird [6]. Um dieser Frage nachzugehen, wurden in der vorliegenden Arbeit leitende NeuroanästhesistInnen in den USA, die zum Teil in der US-amerikanischen

Fachgesellschaft *Society for Neuroscience in Anesthesiology and Critical Care (SNACC)* organisiert sind, zur anästhesiologischen Vorgehensweise bei elektiven intrakraniellen Eingriffen an ihren Kliniken befragt. Da die USA, ausgestattet mit dem weltweit höchsten Budget im Gesundheitswesen [11], eine führende Position in der medizinischen Forschung einnehmen [12], wurden sie als Untersuchungsregion ausgewählt.

1.2 Die historische Entwicklung der Neuroanästhesie

Archäologische Funde legen nahe, dass die ersten neurochirurgischen Operationen in Form einfacher Trepanationen schon während des späten Paläolithikums (ca. 12.000 – 10.000 v. Chr.) stattfanden [13, 14]. Später interessierten sich Gelehrte zu Zeiten des antiken Griechenlands (ca. 1600 v. Chr. – 27 v. Chr.) und des römischen Reiches (8. Jh. v. Chr. – 7. Jh. n. Chr.) für die Entstehung und Behandlung neurochirurgischer Erkrankungen. So wusste Hippokrates (460 – 370 v. Chr.) um die Bedeutung der Schädeltrepanation bei Hirnblutungen und Aretaios führte im zweiten Jahrhundert n. Chr. Schädeleröffnungen zur Therapie von Krampfanfällen durch [13]. Nachdem das Wissen um den menschlichen Körper und seine Behandlung im Mittelalter nachgelassen hatte, prägten Gelehrte wie Andreas Vesalius (1514 – 1564), Thomas Willis (1621 – 1675) und François Magendie (1783 – 1855) die neuroanatomische sowie neurophysiologische Forschung [13]. Die moderne Neurochirurgie entwickelte sich schließlich Ende des 19. Jahrhunderts vor dem Hintergrund der damaligen Erkenntnisse über intraoperative Hygienemaßnahmen und durch das Aufkommen der Allgemeinanästhesie [13].

Eine ähnlich lange Entwicklungsgeschichte findet sich bei der Betrachtung des menschlichen Bestrebens körperliche Schmerzen gezielt zu lindern. Südamerikanische Völker setzten schon früh Extrakte der Coca-Pflanze zur Verminderung des Schmerzempfindens ein [13]. Später wurde dazu die sedierende und analgetische Wirkung von Alkohol, Cannabis und Opium genutzt, wenn ein chirurgischer Eingriff bevorstand [13]. Hinweise auf die medizinische Verwendung von Opium führen zurück bis in die Zeit des alten Ägyptens (1600 – 1450 v. Chr.) [15]. Auch die Alkaloide der Alraune und des Bilsenkrautes, aus denen noch heute die Grundstoffe für die Herstellung der Parasympatholytika Atropin und Skopolamin extrahiert werden, wurden in der Vergangenheit als Analgetika und Sedativa eingesetzt [13]. Den Chirurgen standen somit schon früh Mittel zur Verfügung, um ihre Behandlungen für die Betroffenen erträglicher zu machen. Neben anderen schlug Sir Humphrey Davy (1778 – 1829)

in der Folge den Gebrauch von N₂O (Lachgas) und Äther in inhalativer Form zur Schmerzlinderung bei chirurgischen Eingriffen vor [13]. Der Durchbruch der inhalativen Anästhetika erfolgte schließlich Mitte des 19. Jahrhunderts, nachdem dem US-amerikanischen Chirurgen Dr. Crawford Long (1815 – 1878) im Jahr 1842 die erste Äthernarkose gelungen war und der Zahnarzt William Morton (1819 – 1868) 1846 am Massachusetts General Hospital eine öffentlichkeitswirksame Operation in Äthernarkose durchgeführt hatte [13]. Horace Wells (1815 – 1848), der zusammen mit William Morton eine zahnärztliche Praxis führte, war ein Jahr zuvor bei dem Versuch gescheitert eine wirksame Äthernarkose zu präsentieren. Mutmaßlich hatte er eine unzureichende Dosierung gewählt [16].

Die routinemäßige Operation von PatientInnen in Allgemeinanästhesie wurde möglich als Ärzte wie Charles A. Elsberg (1871 – 1948) Anfang des 20. Jahrhunderts die sichere Durchführbarkeit der endotrachealen Intubation bewiesen, welche in den 1930er Jahren zum Standard bei neurochirurgischen Eingriffen wurde [17]. Neurochirurgen wie Thierry de Martel (1875 – 1940) machten den Einsatz von Lokalanästhetika zur Infiltration der Haut bei neurochirurgischen Operationen populär, nachdem Albert Niemann (1834 – 1861) im Jahr 1860 das Lokalanästhetikum Cocain entdeckte und der Schweizer Augenarzt Carl Koller (1857 – 1944) die Lokalanästhesie bei augenchirurgischen Eingriffen eingeführt hatte [13, 18, 19].

Bedeutende medizinische Entwicklungen in den 1940er Jahren und in der Folgezeit bedingten schließlich die Entstehung des eigenständigen Fachbereiches der Neuroanästhesie. Entscheidend war dabei zum einen die Synthetisierung neuer Anästhetika wie Tribromoethanol und Thiopental, die eine hirndrucksenkende Wirkung aufweisen. Zum anderen wurden neue Systeme der neurophysiologischen und hämodynamischen Überwachung erforscht, die ein höheres Maß an Sicherheit während der Narkoseführung bei intrakraniellen Eingriffen ermöglichten. Albert Faulconer (1911 – 1985) und Reginald Bickford (1913 – 1998) erprobten 1949 erstmals den Einsatz des Elektroenzephalogramms (EEG) zur Feststellung der Narkosetiefe einer Barbiturat-basierten Narkose [14]. Bald darauf propagierten AnästhesistInnen wie John Michenfelder (1931 – 2004) den Namen des eigenständigen Fachbereiches der Neuroanästhesie. Im Jahr 1964 erschien das erste englischsprachige neuroanästhesiologische Lehrbuch, geschrieben von Andrew Hunter [14], und in den Jahren 1965 beziehungsweise 1973 gründeten sich zunächst in Europa (*Neuroanesthesia Travelling Club of Great Britain and Ireland*) und anschließend in den USA (*Neurosurgical Anesthesia Society*) die ersten neuroanästhesiologischen Fachgesellschaften.

Der deutsche *Wissenschaftliche Arbeitskreis Neuroanästhesie (WAKNA)* der *Deutschen Gesellschaft für Anästhesie und Intensivmedizin (DGAI)* folgte im Jahr 1991. Durch die Fachgesellschaften wurde der stete wissenschaftliche Austausch zwischen den forschenden AnästhesistInnen erleichtert und die Weiterentwicklung des Fachbereichs Neuroanästhesie beschleunigt.

1.3 Neurochirurgische Krankheitsbilder

Als elektive intrakranielle Eingriffe werden neurochirurgische Operationen bezeichnet deren Operationszeitpunkt frei gewählt werden kann und bei denen das Operationsgebiet innerhalb des Neurokraniums (Gehirnschädels) liegt. Erkrankungen des Gehirns lassen sich unter anderem nach der Lage einteilen. Sie können supratentoriell oder infratentoriell lokalisiert sein, also oberhalb oder unterhalb des Tentorium cerebelli (Kleinhirnzelt) liegen, welches in die Falx cerebri übergeht und die linke von der rechten Großhirnhemisphäre trennt. Supratentoriell sind die beiden Großhirnhemisphären, der Epithalamus, der Thalamus, der Hypothalamus und liquorgefüllte Räume gelegen. Infratentoriell finden sich, neben weiteren liquorgefüllten Räumen, das Kleinhirn und der Hirnstamm, welcher nach distal in das außerhalb des Neurokraniums gelegene Rückenmark übergeht.

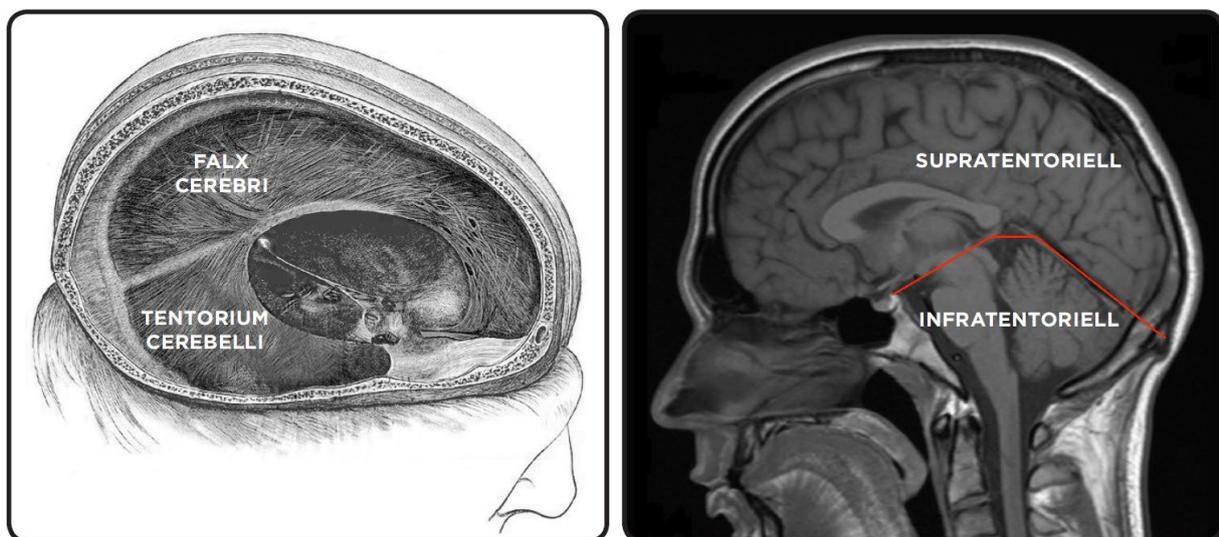


Abbildung 1: Spiegelbildliche Gegenüberstellung eines Gehirnschädels (links) und einer sagittalen Aufnahme eines menschlichen Kopfes (rechts). Links: Die Falx cerebri trennt die beiden Großhirnhemisphären voneinander, das Tentorium cerebelli trennt den supratentoriellen vom infratentoriellen Raum. Rechts: Die eingezeichnete Linie stellt die Grenze zwischen dem supratentoriellen und dem infratentoriellen Raum dar – Erneut abgebildet mit der Erlaubnis von Springer Nature Customer Service Centre GmbH: Springer, Der Anaesthetist, Postmortale Organspende, Goroll T, Gerresheim G, Schaffartzik W, Schwemmer U © 2015 [20].

Neben der Einteilung in supratentoriell und infratentoriell gelegene Erkrankungen lässt sich zwischen nicht-vaskulären und vaskulären Erkrankungen des Gehirns unterscheiden. Während sich die nicht-vaskulären Erkrankungen im Hirngewebe selbst manifestieren, betreffen die vaskulären Erkrankungen das Gefäßsystem des Gehirns. Zu den nicht-vaskulären Erkrankungen zählen die primären Hirntumoren, zu deren Einteilung die Weltgesundheitsorganisation (WHO) eine Graduierung und eine Klassifikation entwickelt hat [21]. Die Graduierung dient der Unterscheidung nach Malignitätskriterien. Dabei wird zwischen benignen (gutartigen) und malignen (bösartigen) Tumoren unterschieden. In der Klassifikation werden die Tumoren nach ihrem histologischen Ursprung unterteilt. Die Differenzierung ist dabei weitreichend. Grundsätzlich kann aber zwischen Tumoren unterschieden werden, die von den Gliazellen (Astrozytome, Glioblastome, Oligodendrogliome, Ependymome), den Nervenzellen (Neurinome, vor allem im Kleinhirnbrückenwinkel) oder den Zellen der Hirnhäute (Meningeome) ausgehen. Weitere Ursprünge der Hirntumoren können mesenchymaler (z.B. Hämangioblastom), embryonaler (z.B. Medulloblastom), glandulärer (z.B. Hypophysenadenom) sowie lymphatischer Art sein oder in den Stammzellen liegen.

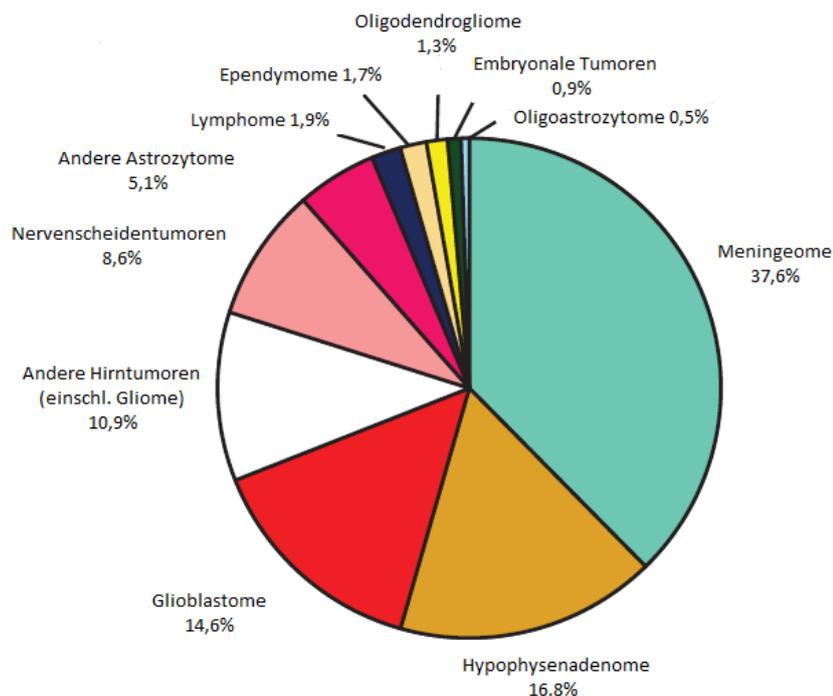


Abbildung 2: Häufigkeiten der einzelnen Entitäten primärer Hirntumoren US-amerikanischer PatientInnen für den Zeitraum 2012 bis 2016. Grafik nach Ostrom QT, Cioffi G, Gittleman H et al., CBTRUS Statistical Report, Neuro-Oncology, 2019 [22].

Generell sind die meisten Hirntumoren Hirnmetastasen, die sich am häufigsten aus Bronchialkarzinomen, Mammakarzinomen oder Melanomen bilden und bis zu zehn Mal häufiger auftreten als primäre Hirntumoren [23]. Die Häufigkeiten der einzelnen Entitäten primärer Hirntumoren von US-amerikanischen PatientInnen wurden für den Zeitraum von 2012 bis 2016 im *CBTRUS Statistical Report* aus dem Jahr 2019 veröffentlicht. Demnach waren 70% der primären Hirntumorerkrankungen benigner und 30% maligner Art. Meningeome (37,6%) wurden vor Hypophysenadenomen (16,8%), Glioblastomen (14,6%), Nervenscheidentumoren (8,6%) und weiteren Tumorentitäten am häufigsten diagnostiziert [22]. Für die Lokalisation der malignen primären Hirntumoren ergab sich folgende Verteilung in absteigender Reihenfolge: Frontaler Kortex 24%, temporaler Kortex 18%, parietaler Kortex 10%, Cerebellum 4%, Hirnstamm 4% und occipitaler Kortex 3% vor weiteren Regionen des zentralen Nervensystems [22]. Maligne primäre Hirntumoren manifestieren sich folglich deutlich häufiger supratentoriell als infratentoriell. In einer statistischen Analyse verglichen Leece et al. die weltweiten Inzidenzen maligner Hirntumoren im Zeitraum von 2003 bis 2007. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass die jährliche Inzidenz in den USA bei 5,74 (pro 100.000 Einwohner) und damit leicht über dem weltweiten Durchschnitt von 5,54 lag. Die niedrigste Inzidenz wurde in Südostasien festgestellt (2,55), während die meisten Neuerkrankungen in Nordeuropa auftraten (6,59) [24].

Zu den vaskulären Erkrankungen des Gehirns zählen die zerebralen Aneurysmen. Rupturieren sie, kann es zu folgenschweren Subarachnoidalblutungen kommen. Weitere vaskuläre Hirnerkrankungen sind die arteriovenösen Malformationen, die arteriovenösen Fisteln und die Kavernome. Sie alle stellen zerebrale Gefäßmissbildungen dar, die teilweise erblich bedingt sind und je nach Ausprägungsgrad ein Risiko für zerebrale Blutungen oder das Auslösen von Krampfanfällen bergen. Hinsichtlich der jährlichen Neuerkrankungen an vaskulären Hirnerkrankungen in der US-amerikanischen Bevölkerung ergibt sich ein gemischtes Bild. Während arteriovenöse Malformationen mit 0,69 bis 1,32 (pro 100.000 Einwohner) eine niedrige Inzidenz aufweisen [25], liegt sie für Hirnaneurysmen mit 15,6 (pro 100.000 Einwohner) deutlich höher [26].

1.4 Anästhesiologisches Vorgehen bei neurochirurgischen Eingriffen

Vor neurochirurgischen Operationen findet, abgesehen von Notfallsituationen, ein Prämedikationsgespräch zwischen AnästhesistIn und PatientIn statt. In diesem Gespräch wird

eine anästhesiespezifische Anamnese erhoben und zur Beurteilung der Komorbiditäten der PatientInnen üblicherweise der ASA-Status ermittelt. Die ASA-Klassifikation wurde von der *American Society of Anesthesiologists (ASA)* entwickelt und umfasst sechs Abstufungen.

- ASA I: Normale/r gesunde/r PatientIn
(Nichtraucher, kein Alkoholkonsum)
- ASA II: Leichte Allgemeinerkrankung
(z.B. gut eingestellter Diabetes mellitus/ gut eingestellte arterielle Hypertonie)
- ASA III: Schwere Allgemeinerkrankung
(z.B. Chronisch-obstruktive Lungenerkrankung oder Koronare Herzkrankheit)
- ASA IV: Schwere Allgemeinerkrankung, die eine ständige Lebensbedrohung darstellt
(z.B. akutes Herzversagen oder Sepsis)
- ASA V: Moribund, ohne Operation kein Überleben zu erwarten
(z.B. Polytrauma oder rupturiertes Aortenaneurysma)
- ASA VI: Hirntod

Die Zuordnung der PatientInnen zu einer der ASA-Klassen dient der präoperativen Risikoklassifizierung. Vor der Narkoseeinleitung wählen die AnästhesistInnen ein geeignetes Narkoseverfahren sowie eine passende Methode der Atemwegssicherung zur Beatmung der PatientInnen aus. Durch die Beatmung wird eine adäquate intraoperative Sauerstoffsättigung des Blutes zur Vermeidung von Hypoxie ermöglicht. Hypoxie ist schädlich für das menschliche Organsystem insgesamt und, aufgrund einer geringen Ischämie-Toleranz, im Speziellen für das Hirngewebe [27]. Zur Sicherung des Atemwegs während intrakranieller Eingriffe wenden AnästhesistInnen hauptsächlich die Methode der endotrachealen Intubation an, bei der ein Tubus durch die Stimmritze in die Luftröhre eingeführt und anschließend geblockt wird [6, 28]. Eine weniger invasive Alternative zur endotrachealen Intubation stellt die Insertion einer Larynxmaske dar. Larynxmasken werden oberhalb der Stimmritze platziert und zählen zu den supraglottischen Verfahren [29, 30].

Für die Versorgung des Hirngewebes mit sauerstoffreichem Blut ist eine adäquate Perfusion aller Hirnregionen grundlegend. Die dazu nötige intrakranielle Zirkulation des Blutes ist maßgeblich vom zerebralen Blutfluss (CBF) abhängig, welcher physiologischer Weise an den metabolischen Sauerstoffbedarf des Gehirns gekoppelt ist und autonomen Regulationsmechanismen der Hirngefäße unterliegt, zu denen die CO₂-Reaktivität zählt.

Nimmt der arterielle CO₂-Gehalt des Blutes zu (Hyperkapnie) und der O₂-Gehalt des Blutes ab (Hypoxie), kommt es zu einer Vasodilatation der intrakraniellen Gefäße, die eine Zunahme des zerebralen Blutflusses und des intrakraniellen Drucks (ICP) zur Folge hat [31]. Der zerebrale Blutfluss ist direkt abhängig vom zerebralen Gefäßwiderstand (CVR), vom mittleren arteriellen Druck (MAP) und vom intrakraniellen Druck:

$$CBF = (MAP - ICP) / CVR$$

Die Differenz zwischen dem mittleren arteriellen Druck – in dessen Berechnung neben dem totalen peripheren Widerstand (TPR) sowie dem Herzzeitvolumen (HZV) auch der zentralvenöse Druck (ZVD) eingeht – und dem intrakraniellen Druck, stellt dabei den zerebralen Perfusionsdruck (CPP) und den transmuralen Druck (TMP) dar:

$$CPP = TMP = MAP - ICP$$

Um Blutdruckveränderungen während intrakranieller Eingriffe rechtzeitig erkennen und Blutgasanalysen durchführen zu können, ist es üblich vor oder nach der Narkoseeinleitung einen arteriellen Zugang in eine periphere Arterie zu legen [6]. Zudem erhalten PatientInnen vor neurochirurgischen Eingriffen venöse Zugänge für die Gabe von Medikamenten sowie Infusionen, für Blutentnahmen und, je nach Eingriff, für hämodynamisches Monitoring. Dabei werden sowohl großlumige periphere Venenkatheter als auch zentrale Venenkatheter (ZVK) verwendet [27, 32]. Über ZVK lässt sich der zentralvenöse Druck zu messen, der in der Vergangenheit als wichtiger Parameter für das intraoperative Flüssigkeits-Management galt, in dieser Hinsicht jedoch an Bedeutung verloren hat [33]. Die ZVK-Anlage wird weiterhin im Rahmen des erweiterten hämodynamischen Monitorings mittels Pulse Contour Cardiac Output (PiCCO)-System vorgenommen, wofür auch ein arterieller Zugang notwendig ist. Durch das PiCCO-System können, nach initialer Kalibrierung mittels transpulmonaler Thermodilution, kontinuierlich das Herzzeitvolumen und weitere hämodynamische Parameter mittels Pulsconturanalyse dargestellt werden. Auf diese Weise kann der intraoperative Bedarf an Flüssigkeitsvolumen sowie an kardiovaskulär wirksamen Medikamenten ermittelt werden. Ob der Einsatz von ZVK bei intrakraniellen Eingriffen grundsätzlich zu empfehlen ist oder ob ihre Verwendung der Behandlung von Risikogruppen-PatientInnen vorbehalten bleiben sollte, wird diskutiert. Grund hierfür sind unter anderem die Komplikationsrisiken, die von einer ZVK-Anlage ausgehen [34]. Neben arteriellen und venösen

Kathetern kommen bei neurochirurgischen Eingriffen Blasenkateter zum Einsatz. Sie werden zur intraoperativen Harnableitung und im Rahmen der Flüssigkeitsbilanzierung verwendet.

Neurochirurgische Eingriffe können als Wachoperation oder in Allgemeinanästhesie geführt werden. Dabei wird der Kopf der PatientInnen häufig in einer Mayfield-Klemme fixiert [27]. Traditionell erfolgen die meisten intrakraniellen Eingriffe in Allgemeinanästhesie [35]. Diese Narkoseform fußt grundsätzlich auf den folgenden fünf Säulen: Bewusstseinsverlust (Hypnose), Schmerzverlust (Analgesie), Verlust der Reflexaktivität (Areflexie), Erinnerungsverlust (Amnesie) und Erschlaffung der Muskulatur (Muskelrelaxation). Zur Erzeugung des Bewusstseinsverlustes werden Anästhetika, entweder in Form von intravenösen Hypnotika, wie Propofol oder Midazolam, oder in Form inhalativer Narkotika eingesetzt. Zur Analgesie werden in der Regel Opioide wie Remifentanyl, Fentanyl oder Sufentanyl verwendet. Die Areflexie unterliegt der Wirkung von Anästhetika, Opioiden und Muskelrelaxantien, während die Amnesie primär durch Hypnotika und die Muskelrelaxation primär durch Muskelrelaxantien erzeugt wird. Eine Narkose in Allgemeinanästhesie kann als totalintravenöse Anästhesie (TIVA) geführt werden, wobei die ausschließlich intravenöse Applikation der Hypnotika, Opioide und Muskelrelaxantien erfolgt oder als balancierte Anästhesie, bei der sowohl intravenös applizierte Substanzen als auch inhalative Narkotika zum Einsatz kommen. Beide Narkoseformen werden bei intrakraniellen Eingriffen angewendet [6]. Die Vor- und Nachteile der beiden Methoden in der neuroanästhesiologischen Anwendung werden wissenschaftlich diskutiert [8, 36, 37, 38].

Auf die Narkoseinduktion folgt die Narkoseaufrechterhaltung, für die neben Hypnotika und Opioiden in der Regel Muskelrelaxanzien eingesetzt werden. Muskelrelaxanzien unterbrechen die neuromuskuläre Übertragung und führen so zu einer kontrollierten Paralyse der Muskulatur. Der Einsatz von Muskelrelaxanzien kann kontinuierlich oder diskontinuierlich erfolgen, um die mechanische Beatmung zu erleichtern und ruhige Operationsbedingungen zu schaffen. Für das Monitoring des Relaxationszustandes der PatientInnen und zur Vermeidung einer neuromuskulären Restblockade, die postoperativ zu respiratorischen Defiziten führen kann, wird die Überwachung der PatientInnen mittels Relaxometrie empfohlen [3, 6, 39]. Das dabei am häufigsten verwendete Stimulationsmuster nennt sich Train-of-Four (TOF). Bei der TOF-Messung liefert das Vorhandensein sowie das Ausmaß muskulärer Aktionen als Antwort auf vier hintereinander gesetzte elektrische Reize eine

Information über den Relaxationszustand der Muskulatur. Die Stimulation erfolgt dabei meist am Nervus ulnaris mit nachfolgender Beurteilung der Adduktion des Daumens durch Kontraktion des Musculus adductor pollicis. Es können jedoch auch andere Nerv-Muskel-Einheiten getestet werden [40]. Über einen Monitor wie den Bispectral Index™ (BIS) lassen sich mittels prozessiertem Elektroenzephalogramm (EEG) und eines errechneten Indexes Aussagen über den Sedierungszustand der PatientInnen treffen, was zur Dosierung der Anästhetika und zur Vermeidung intraoperativer Wachheit (Awareness) genutzt wird [41, 42]. Zudem lässt sich durch die Ableitung evozierter Potenziale intraoperativ überprüfen, ob Hirnareale und neuronale Leitungsbahnen intakt sind.

Um auf Blutverluste bei intrakraniellen Eingriffen vorbereitet zu sein und im Bedarfsfall zügig Blut transfundieren zu können, werden vor neurochirurgischen Operationen häufig gekreuzte Blutkonserven bereitgestellt [6, 43]. Die Blutgruppen-Kompatibilität zwischen Spenderblut und Empfängerblut wird dabei durch die Kreuzprobe sichergestellt. Alternativ kann durch das Type and Screen-Verfahren mittels Antikörper-Suchtest überprüft werden, ob passende Blutkonserven für die einzelnen PatientInnen in der Blutbank der Klinik vorrätig sind, die im Bedarfsfall abgerufen werden können. Vor dem Hintergrund der Komplikationen, die von Bluttransfusionen ausgehen können, werden Bluttransfusionen bei intrakraniellen Eingriffen und der Umgang mit bereitgestellten gekreuzten Blutkonserven derzeit kritisch diskutiert [43, 44, 45].

Auf die Narkoseaufrechterhaltung folgt die Narkoseausleitung, während der die Gabe von Anästhetika, Opioiden und Muskelrelaxantien reduziert und schließlich gestoppt wird, so dass die Extubation der PatientInnen, also die Entfernung des Beatmungstubus aus der Trachea, möglich wird. Die Extubation kann erfolgen, wenn die PatientInnen wach sind, spontan atmen und ausgeschlossen ist, dass wichtige Schutzreflexe aufgrund einer Restwirkung von Muskelrelaxantien fehlen. In der Regel werden neurochirurgische PatientInnen nach der Operation für 24 Stunden auf eine Intensivstation oder Intermediate Care-Station verlegt. Auch wenn dieses Vorgehen weit verbreitet ist [6, 46], variiert die Art der postoperativen Verlegung zwischen Ländern, neurochirurgischen Zentren und in den Zentren selbst [46]. Neben der neurologischen Untersuchung der wachen PatientInnen wird nach intrakraniellen Eingriffen zur Beurteilung des Operationsergebnisses und zum Ausschluss intrakranieller Blutungen häufig eine Bildgebung des Kopfes in Form einer Computertomografie (cCT) oder

Magnetresonanztomografie (cMRT) durchgeführt [47]. Da der Mehrwert für die Gesundheit der PatientInnen durch diese Handhabung jedoch umstritten ist [47, 48], empfehlen mittlerweile verschiedene AutorInnen einen restriktiveren Umgang mit cCT- und cMRT-Untersuchungen nach intrakraniellen Eingriffen [47, 48].

Die perioperative Versorgung neurochirurgischer PatientInnen bei elektiven intrakraniellen Eingriffen ist umfangreich und umfasst weitere Aspekte wie die Prämedikation, den perioperativen Einsatz weiterer medikamentöser Substanzen und die postoperative Schmerztherapie. Aufgrund des Schwerpunkts der vorliegenden Arbeit, der auf den grundlegenden perioperativen Maßnahmen bei elektiven intrakraniellen Eingriffen liegt, soll an dieser Stelle jedoch nicht auf weitere Aspekte eingegangen werden.

2 Fragestellung

Aufgrund des Mangels an allgemein anerkannten, umfassenden Leitlinien für das perioperative anästhesiologische Management bei intrakraniellen Eingriffen ist anzunehmen, dass AnästhesistInnen weltweit unterschiedliche neuroanästhesiologische Konzepte verfolgen und in klinikinternen Protokollen, den Standard Operating Procedures (SOP), verschiedene Vorgehensweisen empfohlen werden.

Vor diesem Hintergrund ist es das Ziel der vorliegenden Arbeit in einem der größten und wichtigsten Länder der medizinischen Versorgung, den USA, das perioperative neuroanästhesiologische Management abzubilden. Hierbei soll die Frage beantwortet werden, welche neuroanästhesiologischen Vorgehensweisen an den verschiedenen neurochirurgischen Zentren in den USA umgesetzt werden und ob dabei ein einheitliches Vorgehen besteht.

Ein weiteres Ziel dieser Arbeit ist es zu prüfen, welche Unterschiede im perioperativen neuroanästhesiologischen Management in Abhängigkeit von der Eingriffsart (supratentorielle, infratentorielle, nicht-vaskuläre oder vaskuläre Eingriffe) bestehen.

3 Material und Methoden

3.1 Studiendesign

Ausgehend von der Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie und Intensivtherapie der Universitätsmedizin Rostock wurde eine Querschnittsstudie mithilfe eines online-basierten Fragebogens zur Erfassung des anästhesiologischen Vorgehens bei elektiven intrakraniellen Eingriffen an US-amerikanischen Kliniken durchgeführt. Um ein möglichst repräsentatives Bild der neuroanästhesiologischen Praxis in den USA zeichnen zu können, wurde im Rahmen der Studie eine Zusammenarbeit mit der US-amerikanischen Fachgesellschaft *Society for Neuroscience in Anesthesiology and Critical Care (SNACC)* aufgenommen, in der viele US-amerikanische NeuroanästhesistInnen organisiert sind. Die Ethikkommission an der Medizinischen Fakultät der Universität Rostock bestätigte am 07. Juni 2018 unter der Registriernummer A 2018-0105 die rechtlich sowie ethisch unbedenkliche Durchführbarkeit der Studie.

3.2 Auswahl der TeilnehmerInnen

Vor Beginn der Erhebung erfolgte eine umfassende Online-Recherche, bei der in allen US-Bundesstaaten potenzielle KandidatInnen für die Teilnahme an der Umfrage ausfindig gemacht wurden. Als Kriterium für den Einschluss der TeilnehmerInnen in die Studie galt ihre leitende Position als Chefarzt/ärztin oder Oberarzt/ärztin in einer neuroanästhesiologischen Abteilung an einem Universitätsklinikum oder an einem neurochirurgischen Zentrum eines maximalversorgenden Krankenhauses. Diese Kriterien wurden auch bei der Einbeziehung der TeilnehmerInnen aus der Fachgesellschaft *SNACC* zugrunde gelegt.

3.3 Durchführung der Studie

Die Erhebung der Daten erfolgte zunächst über einen elektronischen Fragebogen (S. 61 – 62), der unter Verwendung von Microsoft© Excel erstellt und an die potenziellen TeilnehmerInnen versendet wurde. Zusätzlich wurde das Format eines Online-Fragebogens (S. 63 – 68) gewählt, der den Voraussetzungen für die Versendung der Umfrage an die Mitglieder der Fachgesellschaft *SNACC* über den gesellschaftsinternen Mailverteiler entsprach. Der Online-Fragebogen wurde über die Online-Plattform SurveyMonkey® erstellt. Die Umfrage fand in der Zeit zwischen April 2018 und April 2019 statt. Die Versendung des elektronischen Fragebogens und eines zugehörigen Anschreibens, in dem die Ziele der Studie erklärt wurden,

erfolgte per E-Mail an die TeilnehmerInnen. Dabei wurden bis zu vier Erinnerungsmails verschickt und telefonisch nachgefragt, wenn eine Beantwortung des Fragebogens ausblieb. Die Einladung zur Teilnahme an der Umfrage durch Beantwortung des Online-Fragebogens erfolgte ebenfalls per E-Mail. Auch in diesem Fall wurden vier Erinnerungsmails an die Befragten verschickt.

3.4 Aufbau des Fragebogens

Die Befragung der TeilnehmerInnen zu den verschiedenen Aspekten des perioperativen neuroanästhesiologischen Managements erfolgte unter Berücksichtigung unterschiedlicher intrakranieller Eingriffsarten. Es wurde zwischen supratentoriellen und infratentoriellen sowie zwischen nicht-vaskulären und vaskulären Eingriffen unterschieden. Daraus ergaben sich die folgenden vier Kategorien:

- I. Nicht-vaskulärer supratentorieller Eingriff (z.B. Gliom)
- II. Nicht-vaskulärer infratentoriell Eingriff (z.B. Kleinhirnbrückenwinkeltumor)
- III. Supratentorieller Gefäßeingriff (z.B. Aneurysma)
- IV. Infratentorieller Gefäßeingriff (z.B. Aneurysma)

Für jede dieser vier Eingriffsarten wurde ermittelt mit welcher Häufigkeit die Aspekte des perioperativen anästhesiologischen Managements Anwendung finden, welche in Tabelle 1 (S. 19) aufgelistet sind. Der elektronische Fragebogen bot dabei die Möglichkeit, die einzelnen Fragen mit *Ja* oder *Nein* zu beantworten oder keine Antwort zu geben (S. 61 – 62). Im Online-Fragebogen hatten die TeilnehmerInnen eine Auswahl an Antwortmöglichkeiten und die Option, eine Frage mit der Angabe *don't know* unbeantwortet zu lassen (S. 63 – 68). In beiden Fragebögen war es den TeilnehmerInnen möglich Anmerkungen zu den von ihnen gemachten Angaben zu machen.

Einzelne Fragen aus dem elektronischen Fragebogen und dem Online-Fragebogen unterschieden sich in der Formulierung oder in den Antwortmöglichkeiten voneinander, weshalb eine gemeinsame Auswertung der Ergebnisse in diesen Fällen nicht durchgeführt wurde. Auf diesen Aspekt wird in dem Kapitel 6 *Limitationen der Studie* eingegangen (S. 55).

1.	Endotracheale Intubation
2.	Supraglottisches Verfahren
3.	Invasive Blutdruckmessung nach Narkoseinduktion
4.	Invasive Blutdruckmessung vor Narkoseinduktion
5.	Zentraler Venenkatheter (ZVK)
6.	Großlumiger peripherer Venenkatheter
7.	Blasenkatheeter
8.	Erweitertes hämodynamisches Monitoring (z.B. transpulmonale Thermodilution, Pulskonturanalyse)
9.	Totalintravenöse Anästhesie (TIVA)
10.	Balancierte Anästhesie
11.	Intraoperatives Opioid Remifentanil
12.	Intraoperatives Opioid Sufentanil
13.	Intraoperatives Opioid Fentanyl
14.	Intraoperatives Hypnotikum Propofol
15.	Intraoperatives Hypnotikum Midazolam
16.	Intraoperative diskontinuierliche Muskelrelaxation
17.	Intraoperative kontinuierliche Muskelrelaxation
18.	Prozessiertes EEG (z.B. BIS)
19.	Relaxometrie (z.B. TOF)
20.	Postoperative Extubation im Operationssaal
21.	Postoperative Verlegung beatmeter PatientInnen auf Intensivstation
22.	Postoperative Verlegung extubierter PatientInnen auf die Überwachungsstation/ Intensivstation
23.	Routinemäßiges Bereitstellen gekreuzter Erythrozytenkonzentrate
24.	Routinemäßige postoperative kranielle Computertomographie (cCT)

Tabelle 1: Aspekte des perioperativen neuroanästhesiologischen Managements in der Befragung.

3.5 Statistische Methodik

Die erhobenen Daten wurden in Microsoft® Excel dargestellt und mit dem Programm IBM® SPSS Statistics 25.0 (IBM Deutschland GmbH, IBM-Allee 1, 71137 Ehningen) ausgewertet. Die Darstellung der absoluten und relativen Häufigkeiten erfolgte in Form von Tabellen, Balken- und Kreisdiagrammen unter der Verwendung von Microsoft® Excel. Zur Erstellung von Übersichtskarten der US-Bundesstaaten wurde eine Anwendung von Microsoft® Excel genutzt, welche von Bing® GeoNames, HERE, MFST unterstützt wird.

Es wurde eine Subgruppenanalyse hinsichtlich der neurochirurgischen Eingriffsarten durchgeführt. Dazu erfolgte eine Prüfung der Daten auf signifikante Unterschiede zwischen supratentoriellen, infratentoriellen, nicht-vaskulären und vaskulären intrakraniellen Eingriffen unter Anwendung des zweiseitigen χ^2 - Tests und des zweiseitigen exakten Tests nach Fisher. Das Signifikanzniveau wurde bei allen Tests auf $p < 0,05$ festgelegt.

4 Ergebnisse

In der Beantwortung einzelner Fragen finden sich relative Häufigkeiten, die, bezogen auf die Gesamtheit der gegebenen Antworten, die maximal mögliche Häufigkeit von 100% überschreiten. Ursächlich hierfür ist das Format der Fragebögen, das es den TeilnehmerInnen zum Teil möglich machte doppelte Antworten auf eine Frage zu geben. Auf diesen Aspekt der Datenerhebung wird in dem Kapitel 6 *Limitationen der Studie* (S. 55) eingegangen.

4.1 Rücklaufquote

Insgesamt wurden 1.008 Einladungen zur Teilnahme an der Studie versendet. Bei 105 Beantwortungen durch leitende NeuroanästhesistInnen ergab sich eine Rücklaufquote von 10,4%.

4.2 Beruflicher Stand und Art der Klinik

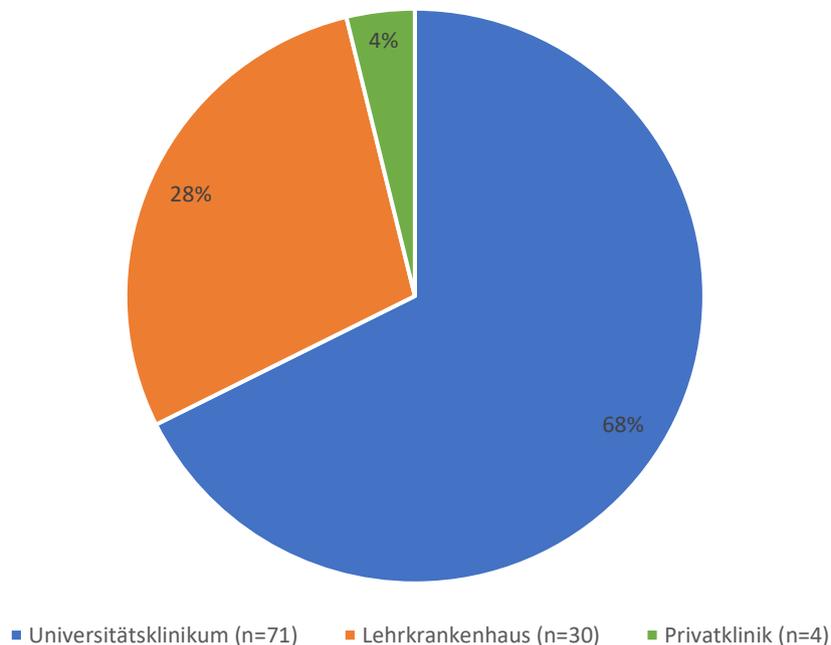


Abbildung 3: Verteilung der TeilnehmerInnen auf die verschiedenen Klinikarten. Angabe der relativen (%) und absoluten (n) Häufigkeiten.

Die TeilnehmerInnen der Studie waren zum Zeitpunkt der Datenerhebung als ChefärztInnen neuroanästhesiologischer Abteilungen (10,5%) oder als OberärztInnen in leitender Funktion neuroanästhesiologischer Abteilungen (89,5%) an US-amerikanischen Kliniken tätig. Mit 68% stellten NeuroanästhesistInnen an Universitätskliniken dabei die größte Gruppe an

TeilnehmerInnen, gefolgt von Angestellten an Lehrkrankenhäusern mit 28% und an Privatkliniken mit 4%.

4.3 Nationale Verteilung

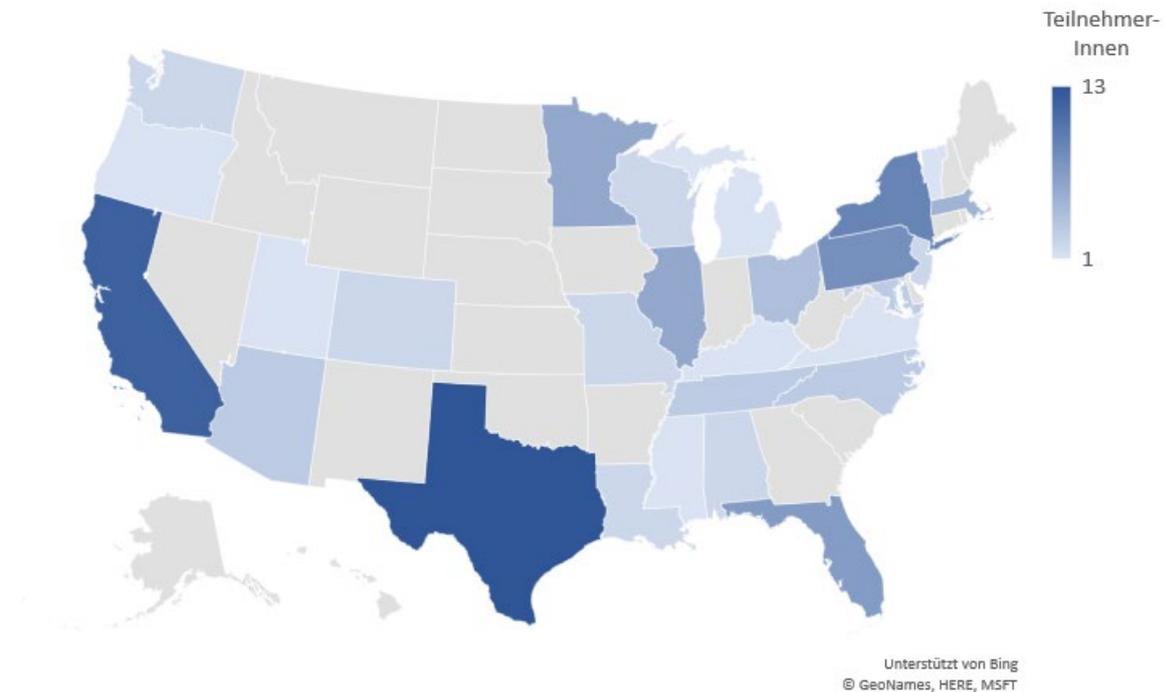


Abbildung 4: Verteilung der TeilnehmerInnen auf die US-Bundesstaaten. Angabe der absoluten Häufigkeiten (n).

Bundesstaat	(n)	(%)	Bundesstaat	(n)	(%)	Bundesstaat	(n)	(%)
Alabama	2	1,9	Michigan	1	1,0	Pennsylvania	8	7,6
Arizona	3	2,9	Minnesota	6	5,7	Tennessee	3	2,9
California	12	11,4	Mississippi	1	1,0	Texas	13	12,4
Colorado	2	1,9	Missouri	2	1,9	Utah	1	1,0
Florida	7	6,7	New Hampshire	1	1,0	Vermont	1	1,0
Illinois	6	5,7	New Jersey	2	1,9	Virginia	1	1,0
Kentucky	1	1,0	New York	9	8,6	Washington	2	1,9
Louisiana	2	1,9	North Carolina	3	2,9	Wisconsin	2	1,9
Maryland	3	2,9	Ohio	4	3,8	Puerto Rico	1	1,0
Massachusetts	5	4,8	Oregon	1	1,0			

Tabelle 2: Verteilung der TeilnehmerInnen auf die US-Bundesstaaten. Angabe der absoluten (n) und der relativen (%) Häufigkeiten; rundungsbedingtes Überschreiten der relativen Gesamthäufigkeit von 100%.

Es erfolgten Teilnahmen an der Studie aus 28 der 50 US-Bundesstaaten sowie aus dem unabhängigen Staat Puerto Rico. Die prozentuale Verteilung der Befragten auf die einzelnen US-Bundesstaaten geht aus Tabelle 2 (S. 22) hervor. Aus ihr wird ersichtlich, dass die meisten Teilnahmen aus den Bundesstaaten Texas (12,4%) und Kalifornien (11,4%), gefolgt von New York (8,6%), Pennsylvania (7,6%) und Florida (6,7%) erfolgten. Insgesamt ergab sich eine Verteilung zu Gunsten der Bundesstaaten der Ost- und Westküste sowie der südlichen und nordöstlichen Regionen des Landes. Eine fehlende Beteiligung stellte sich in mehreren Bundesstaaten des nördlichen, mittleren und südlichen Westens, der Ostküste sowie in den entfernteren Landesteilen Alaska und Hawaii dar.

4.4 Methode der Atemwegssicherung

Alle TeilnehmerInnen gaben an ihre PatientInnen für elektive intrakranielle Eingriffe endotracheal zu intubieren (100%). Die Anwendung supraglottischer Verfahren wurde signifikant seltener ($p < 0,001$) und insgesamt nur in 3,6% der Fälle angegeben. Signifikante Unterschiede in Abhängigkeit von der Art des intrakraniellen Eingriffs ließen sich weder für die endotracheale Intubation noch für supraglottische Verfahren nachweisen (Tabelle 14, S. 37). Einige Befragte verwiesen in einem Kommentar auf die Anwendung von Larynxmasken im Rahmen von Wachkraniotomien.

	(a) Endotracheale Intubation		(b) Supraglottisches Verfahren		p-Wert ¹
	Häufigkeit (n/n)	Häufigkeit (%)	Häufigkeit (n/n)	Häufigkeit (%)	
(1) Nicht-vaskulärer supratentorieller Eingriff	105/105	100	5/105	4,8	1a vs. 1b: < 0,001
(2) Nicht-vaskulärer infratentorieller Eingriff	105/105	100	4/105	3,8	2a vs. 2b: < 0,001
(3) Supratentorieller Gefäßeingriff	105/105	100	3/105	2,9	3a vs. 3b: < 0,001
(4) Infratentorieller Gefäßeingriff	104/104	100	3/104	2,9	4a vs. 4b: < 0,001
Durchschnittliche Häufigkeit (%)		100		3,6	

Tabelle 3: Methode der Atemwegssicherung. Die endotracheale Intubation und die Anwendung supraglottischer Verfahren im Vergleich. Die absoluten Häufigkeiten als Anteil an den gültigen Beantwortungen (n/n), relative Häufigkeiten (%), ¹Exakter Test nach Fischer, vs. = versus.

4.5 Katheter

4.5.1 Die invasive Blutdruckmessung über einen arteriellen Katheter

Insgesamt wurde der Beginn der invasiven Blutdruckmessung über einen arteriellen Zugang, unabhängig von der Art des intrakraniellen Eingriffs, signifikant häufiger nach Narkoseinduktion (81,1%) als vor der Narkoseinduktion (22,8%) angegeben ($p \leq 0,001$). Wie aus Abbildung 5 und Tabelle 4 (S. 25) hervorgeht, gaben für supratentorielle und infratentorielle Gefäßeingriffe signifikant mehr TeilnehmerInnen als für nicht-vaskuläre supratentorielle und nicht-vaskuläre infratentorielle Eingriffe an die invasive Blutdruckmessung vor der Narkoseinduktion zu beginnen ($p < 0,001$). Entsprechend gaben für supratentorielle und infratentorielle Gefäßeingriffe signifikant weniger TeilnehmerInnen als für nicht-vaskuläre supratentorielle und nicht-vaskuläre infratentorielle Eingriffe an, die invasive Blutdruckmessung nach der Narkoseinduktion zu beginnen ($p < 0,001$). Den Kommentaren der TeilnehmerInnen war zu entnehmen, dass vor allem ein erhöhtes kardiovaskuläres Risikoprofil der PatientInnen einen Grund für den Beginn der invasiven Blutdruckmessung vor der Narkoseinduktion darstellt.

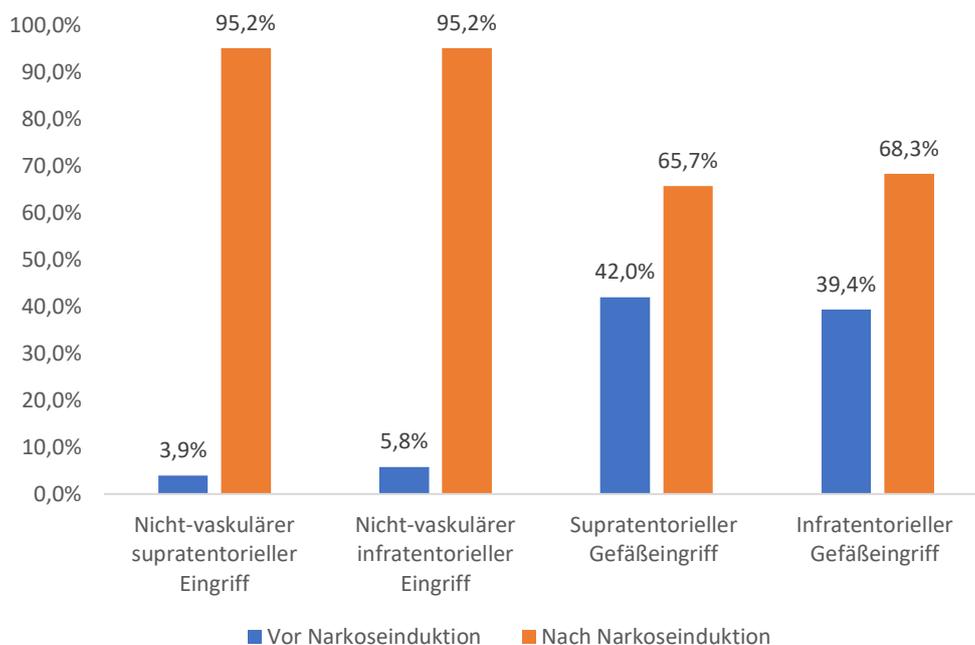


Abbildung 5: Der Zeitpunkt des Beginns der invasiven Blutdruckmessung über einen arteriellen Zugang. Vergleich der vier verschiedenen Eingriffsarten in Bezug auf den Beginn der Messung vor oder nach der Narkoseinduktion. Angabe der relativen Häufigkeiten (%).

	(a) Vor Narkoseinduktion		(b) Nach Narkoseinduktion		p-Wert ¹
	Häufigkeit (n/n)	Häufigkeit (%)	Häufigkeit (n/n)	Häufigkeit (%)	
(1) Nicht-vaskulärer supratentorieller Eingriff	4/103	3,9	99/104	95,2	1a vs. 1b: < 0,001
(2) Nicht-vaskulärer infratentorieller Eingriff	6/103	5,8	99/104	95,2	2a vs. 2b: < 0,001
(3) Supratentorieller Gefäßeingriff	42/100	42,0	67/102	65,7	3a vs. 3b: 0,001
(4) Infratentorieller Gefäßeingriff	39/99	39,4	69/101	68,3	4a vs. 4b: < 0,001
Durchschnittliche Häufigkeit (%)	22,8		81,1		

Tabelle 4: Zeitpunkt des Beginns der invasiven Blutdruckmessung über einen arteriellen Zugang. Der Beginn vor der Narkoseinduktion im Vergleich zum Beginn nach der Narkoseinduktion. Absolute Häufigkeiten als Anteil an den gültigen Beantwortungen (n/n), relative Häufigkeiten (%), ¹Exakter Test nach Fischer, vs. = versus.

4.5.2 Großlumige periphere Venenkatheter

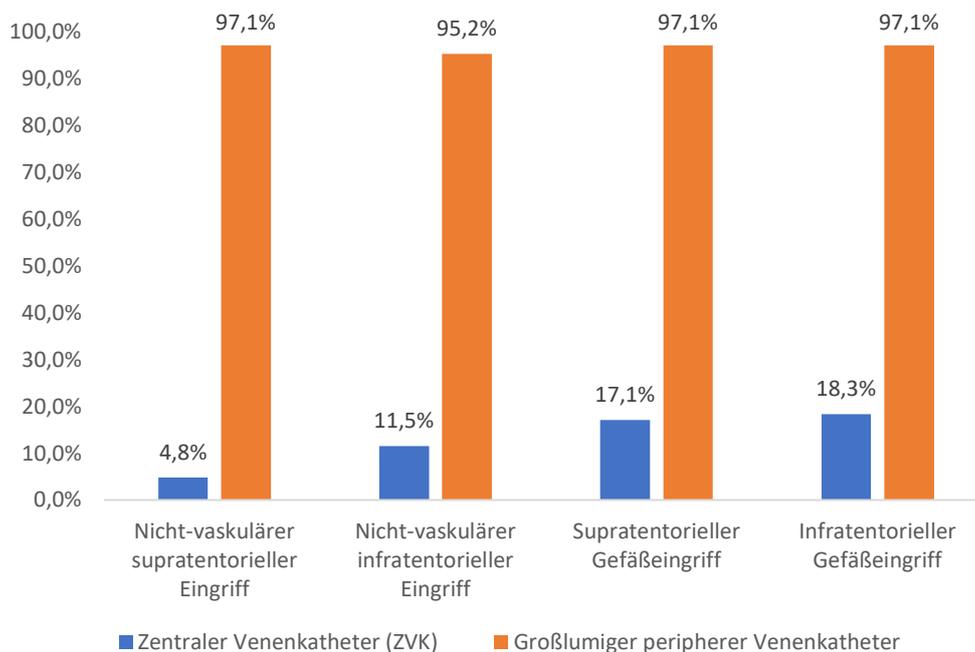


Abbildung 6: Die Verwendung von ZVK und großlumigen peripheren Venenkathetern. Vergleich der vier verschiedenen Eingriffsarten in Bezug auf die Auswahl der venösen Zugänge. Angabe der relativen Häufigkeiten (%).

Insgesamt gaben 96,6% der TeilnehmerInnen die Nutzung großlumiger peripherer Venenkatheter an. Dabei ließen sich keine signifikanten Unterschiede in Abhängigkeit von der Art des Eingriffs feststellen (Tabelle 14, S. 37). Einige Befragte verwiesen in Kommentaren auf

die Verwendung peripherer Venenkatheter kleineren Lumens in Fällen, in denen keine intraoperativen hämodynamischen Entgleisungen zu erwarten wären.

4.5.3 Zentrale Venenkatheter (ZVK)

Die Nutzung zentraler Venenkatheter wurde insgesamt in 12,9% der Fälle angegeben. Dabei zeigte sich eine häufigere ZVK-Anwendung bei intrakraniellen Gefäßeingriffen als bei nicht-vaskulären intrakraniellen Eingriffen. Dieser Unterschied stellte sich im Vergleich supratentorieller Gefäßeingriffe (17,1%) mit nicht-vaskulären supratentoriellen Eingriffen (4,8%; $p = 0,007$) sowie im Vergleich infratentorieller Gefäßeingriffe (18,3%) mit nicht-vaskulären supratentoriellen Eingriffen (4,8%; $p = 0,004$) signifikant dar (Tabelle 14, S. 37). Als Gründe für die Entscheidung zur ZVK-Nutzung gaben die TeilnehmerInnen vorwiegend schlechte periphere Venenverhältnisse der PatientInnen, eine sitzende Operationslagerung, das bestehende Risiko für intraoperativ auftretende venöse Luftembolien, große intrakranielle Raumforderungen, bekannte hämodynamische Instabilität sowie kardiopulmonale Grunderkrankungen der PatientInnen an.

4.5.4 Blasenkatheeter

Die urethrale Katheterisierung der PatientInnen wurde insgesamt von 98,3% der Befragten angegeben. Dabei zeigten sich keine signifikanten Unterschiede in Abhängigkeit von der Art des intrakraniellen Eingriffs (Tabelle 14, S. 37). Meist mehrstündige Operationszeiten und die Gabe von Osmodiuretika zur Hirndrucksenkung wurden in den Kommentaren als Gründe für die präoperative Applikation eines Blasenkatheeters zur Harnableitung durch die TeilnehmerInnen genannt.

4.6 Art der Narkose

Die balancierte Anästhesie (76,4%) stellte sich im Vergleich zur TIVA (30,8%) unabhängig von der Art des intrakraniellen Eingriffs als die signifikant häufiger ($p < 0,001$) angewendete Narkoseform dar. Für beide Arten der Narkoseführung bestanden keine signifikanten Unterschiede in den Anwendungshäufigkeiten in Abhängigkeit von den einzelnen Eingriffsarten (Tabelle 14, S. 37). Als Gründe für die Durchführung der TIVA wurden geplantes intraoperatives Neuromonitoring, ein präoperativ erhöhter intrakranieller Druck der PatientInnen sowie ein erhöhtes Risiko für postoperative Übelkeit und Erbrechen (PONV) genannt.

	(a) TIVA		(b) Balancierte Anästhesie		p-Wert ¹
	Häufigkeit (n/n)	Häufigkeit (%)	Häufigkeit (n/n)	Häufigkeit (%)	
(1) Nicht-vaskulärer supratentorieller Eingriff	25/102	24,5	84/102	82,4	1a vs. 1b: < 0,001
(2) Nicht-vaskulärer infratentorieller Eingriff	31/102	30,4	78/102	76,5	2a vs. 2b: < 0,001
(3) Supratentorieller Gefäßeingriff	34/102	33,3	76/102	74,5	3a vs. 3b: < 0,001
(4) Infratentorieller Gefäßeingriff	35/100	35,0	73/101	72,3	4a vs. 4b: < 0,001
Durchschnittliche Häufigkeit (%)	30,8		76,4		

Tabelle 5: Narkoseform. Vergleich der TIVA und der Balancierten Anästhesie für die vier verschiedenen Eingriffsarten. Absolute Häufigkeiten als Anteil an den gültigen Beantwortungen (n/n), relative Häufigkeiten (%), ¹Exakter Test nach Fischer, vs. = versus.

4.7 Intraoperative Hypnotika und Opiode

4.7.1 Hypnotika

Propofol stellte sich insgesamt als das überwiegend angewendete Hypnotikum dar (89,2%). Insgesamt gaben 6,8% der Befragten an Midazolam als intraoperatives Hypnotikum zu verwenden. Weder für Propofol noch für Midazolam zeigten sich signifikante Unterschiede in der Anwendungshäufigkeit in Abhängigkeit von der Art des intrakraniellen Eingriffs (Tabelle 14, S. 37).

4.7.2 Opiode

Insgesamt entschieden sich die TeilnehmerInnen bevorzugt für die intraoperative Gabe von Remifentanil (70,7%) vor Fentanyl (46,1%) und Sufentanil (11,7%), wie sich Abbildung 7 (S. 28) entnehmen lässt. Für alle Eingriffsarten stellte sich eine signifikant häufigere Applikation von Remifentanil als von Fentanyl oder Sufentanil ($p \leq 0,010$) und eine signifikant häufigere Anwendung von Fentanyl als von Sufentanil ($p < 0,001$) dar (Tabelle 6, S. 28). Signifikante Unterschiede der Anwendungshäufigkeiten in Abhängigkeit von der Art des Eingriffs ergaben sich für die einzelnen Opiode nicht (Tabelle 14, S. 37).

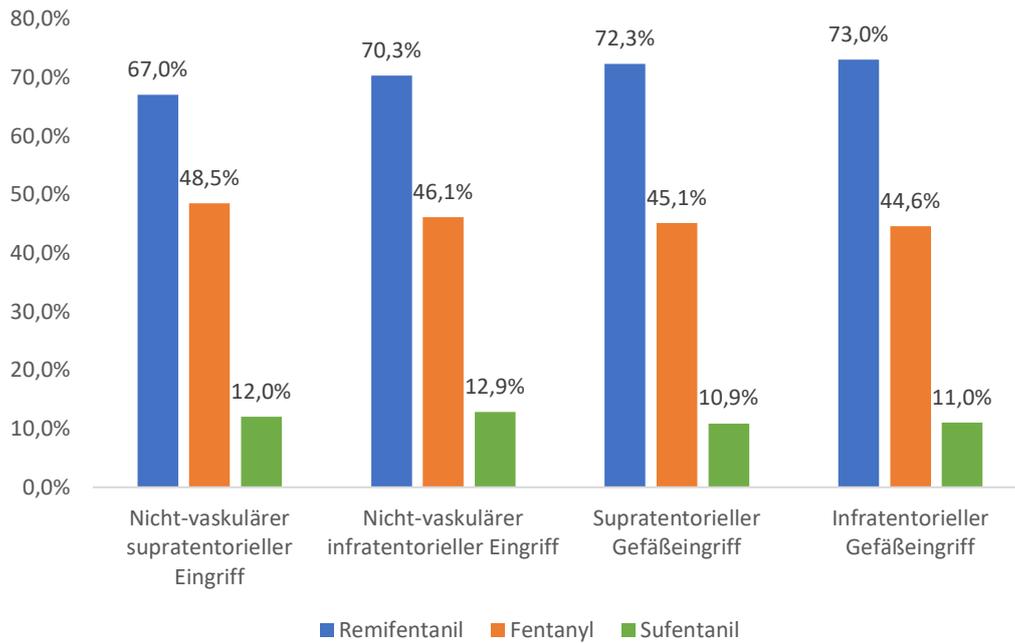


Abbildung 7: Die Auswahl der intraoperativ eingesetzten Opiode. Vergleich der vier verschiedenen Eingriffsarten hinsichtlich der Verwendung von Remifentanyl, Fentanyl und Sufentanyl. Angabe der relativen Häufigkeiten (%).

Verglichene Opiode	(a) Nicht-vaskulärer supratentorieller Eingriff		(b) Nicht-vaskulärer infratentorieller Eingriff		(c) Supratentorieller Gefäßeingriff		(d) Infratentorieller Gefäßeingriff	
	Häufigkeit	p-Wert ¹	Häufigkeit	p-Wert ¹	Häufigkeit	p-Wert ¹	Häufigkeit	p-Wert ¹
(1) Remifentanyl	67,0% (67/100)	<0,001	70,3% 71/101	<0,001	72,3% 73/101	<0,001	73,0% 73/100	<0,001
(2) Sufentanyl	12,0% (12/100)		12,9% 13/101		10,9% 11/101		11,0% 11/100	
(3) Remifentanyl	67,0% 67/100	0,010	70,3% 71/101	0,001	72,3% 73/101	<0,001	73,0% 73/100	<0,001
(4) Fentanyl	48,5% 49/101		46,1% 47/102		45,1% 46/102		44,6% 45/101	
(5) Sufentanyl	12,0% 12/100	<0,001	12,9% 13/101	<0,001	10,9% 11/101	<0,001	11,0% 11/100	<0,001
(6) Fentanyl	48,5% 49/101		46,1% 47/102		45,1% 46/102		44,6% 45/101	

Tabelle 6: Intraoperative Opiode. Vergleich der Anwendung von Remifentanyl, Sufentanyl und Fentanyl bei den vier verschiedenen Eingriffsarten. Angabe der relativen Häufigkeiten (%), der absoluten Häufigkeiten als Anteil an den gültigen Beantwortungen (n/n) und der p-Werte. Ermittelt mit dem ¹Exakten Test nach Fisher. Die Kodierung der p-Werte bezieht sich jeweils auf den Vergleich zweier Opiode (Nummern in der ersten Spalte) und die Art des Eingriffs (Buchstaben in der ersten Zeile), vs. = versus.

Laut den Kommentaren sahen einige TeilnehmerInnen Vorteile von Remifentanyl gegenüber Fentanyl und Sufentanyl in der guten Dosierbarkeit des Opioids. Ein Teil der Befragten verwies auf die kombinierte Gabe von Fentanyl zu Narkoseeinleitung und Remifentanyl zur Aufrechterhaltung der Narkose als häufig angewandte Methode. Als Grund für die Wahl von Sufentanyl wurde eine absehbar lange Operationszeit genannt.

4.8 Muskelrelaxation und Relaxometrie

4.8.1 Muskelrelaxation

Die Umfrage ergab unabhängig von der Art des intrakraniellen Eingriffs eine signifikant häufigere Durchführung der diskontinuierlichen (61,6%) als der kontinuierlichen (39,8%) Muskelrelaxation ($p \leq 0,049$, Tabelle 7, S. 30). Im Vergleich der einzelnen Eingriffsarten stellten sich weder für die diskontinuierliche noch für die kontinuierliche Muskelrelaxation signifikante Unterschiede in den Anwendungshäufigkeiten in Abhängigkeit von der Eingriffsart dar (Tabelle 14, S. 37). Einige TeilnehmerInnen gaben in den Kommentaren an sich nur dann für eine kontinuierliche neuromuskuläre Relaxation der PatientInnen zu entscheiden, wenn keine Ableitung motorisch evozierter Potentiale geplant sei.

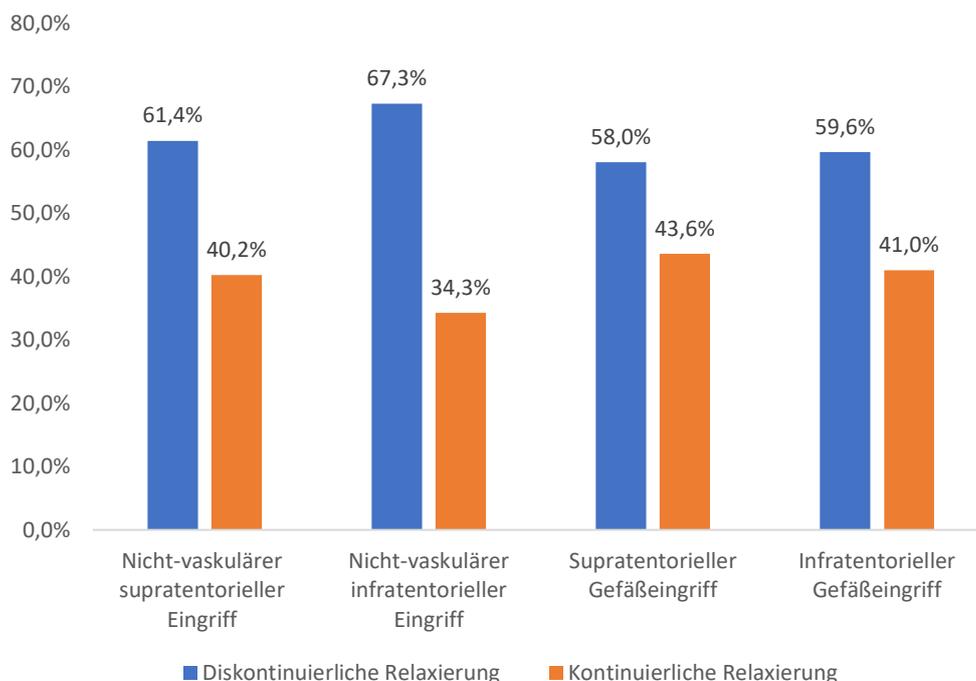


Abbildung 8: Muskelrelaxation. Vergleich der vier verschiedenen Eingriffsarten in Bezug auf die Durchführung der diskontinuierlichen oder kontinuierlichen Muskelrelaxation. Angabe der relativen Häufigkeiten (%).

	(a) Diskontinuierliche Muskelrelaxation		(b) Kontinuierliche Muskelrelaxation		p-Wert ¹
	Häufigkeit (n/n)	Häufigkeit (%)	Häufigkeit (n/n)	Häufigkeit (%)	
(1) Nicht-vaskulärer supratentorieller Eingriff	62/101	61,4	41/102	40,2	1a vs. 1b: 0,003
(2) Nicht-vaskulärer infratentorieller Eingriff	68/101	67,3	35/102	34,3	2a vs. 2b: <0,001
(3) Supratentorieller Gefäßeingriff	58/100	58,0	44/101	43,6	3a vs. 3b: 0,049
(4) Infratentorieller Gefäßeingriff	59/99	59,6	41/100	41,0	4a vs. 4b: 0,011
Durchschnittliche Häufigkeit (%)		61,6		39,8	

Tabelle 7: Muskelrelaxation. Vergleich der diskontinuierlichen und der kontinuierlichen Muskelrelaxation bei den vier verschiedenen Eingriffsarten. Absolute Häufigkeiten als Anteil an den gültigen Beantwortungen (n/n), relative Häufigkeiten (%), ¹Exakter Test nach Fischer, vs. = versus.

4.8.2 Relaxometrie (TOF)

Die Umfrage ergab insgesamt eine mehrheitliche Entscheidung zur intraoperativen Überwachung des Relaxationszustandes der PatientInnen mittels Relaxometrie von 72,7% (Tabelle 12, S. 36) ohne signifikante Unterschiede der Anwendungshäufigkeiten in Abhängigkeit von der Art des intrakraniellen Eingriffs (Tabelle 14, S. 37).

4.9 Erweitertes intraoperatives Monitoring

4.9.1 Prozessiertes Elektroenzephalogramm (z.B. Bispectral Index)

Insgesamt gaben 32,4% der TeilnehmerInnen an während der Operation ein prozessiertes Elektroenzephalogramm (EEG), wie den Bispectral Index (BIS), bei elektiven intrakraniellen Eingriffen abzuleiten (Tabelle 12, S. 36). Im Vergleich stellte sich eine signifikant häufigere Nutzung des prozessierten EEG bei supratentoriellen Gefäßeingriffen (40,6%) als bei nicht-vaskulären supratentoriellen Eingriffen (21,6%; $p = 0,004$) dar. Im Vergleich der infratentoriellen Eingriffe zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen vaskulären (40,0%) und nicht-vaskulären Eingriffen (27,5%, Tabelle 14, S. 37). Neben der Nutzung prozessierter EEG-Daten verwiesen einige Befragte in den Kommentaren auf die alternative Ableitung eines nicht-prozessierten EEG zur intraoperativen neurophysiologischen Überwachung der PatientInnen. Andere TeilnehmerInnen gaben zu bedenken, dass die

Platzierung der nötigen Elektroden für die Ableitung prozessierter EEG je nach neurochirurgischer Eingriffsart nicht oder nur erschwert möglich sein kann.

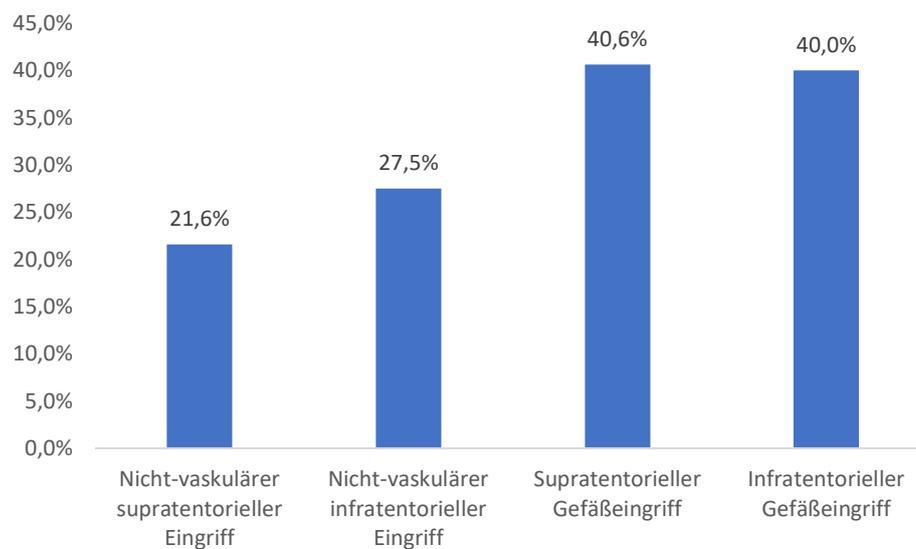


Abbildung 9: Die Anwendung prozessierter EEG (z.B. BIS-Monitoring). Vergleich der vier verschiedenen Eingriffsarten. Angabe der relativen Häufigkeiten (%).

4.9.2 Erweitertes hämodynamisches Monitoring

Insgesamt gaben 13,4% der TeilnehmerInnen an erweiterte Methoden des hämodynamischen Monitorings, wie die transpulmonale Thermodilution oder die Pulskonturanalyse, zur intraoperativen Überwachung bei elektiven intrakraniellen Eingriffen einzusetzen (Tabelle 12, S. 36). Dabei ließ sich kein signifikanter Unterschied in den Anwendungshäufigkeiten zwischen den einzelnen Eingriffsarten feststellen (Tabelle 14, S. 37). In den Kommentaren der TeilnehmerInnen wurden als Indikationen für die Durchführung der erweiterten hämodynamischen Überwachung Operationen mit erhöhtem Blutungsrisiko und ein hämodynamisch instabiler Zustand der PatientInnen genannt.

4.10 Bereitstellung gekreuzter Erythrozytenkonzentrate

Die häufigste Bereitstellung gekreuzter Erythrozytenkonzentrate ergab sich für supratentorielle Gefäßeingriffe (73,5%). Wie aus Abbildung 10 (S. 32) und Tabelle 14 (S. 37) hervorgeht, gaben für nicht-vaskuläre supratentorielle Eingriffe (33,3%) und nicht-vaskuläre infratentorielle Eingriffe (34,3%) signifikant weniger TeilnehmerInnen die Bereitstellung gekreuzter Blutkonserven an ($p < 0,001$). Nahezu identisch verhielt es sich mit den infratentoriellen Gefäßeingriffen (73,0%), für die die TeilnehmerInnen signifikant häufiger (p

< 0,001) angaben, gekreuzte Blutkonserven bereitzustellen als für nicht-vaskuläre infratentorielle Eingriffe (34,3%) und nicht-vaskuläre supratentorielle Eingriffe (33,3%).

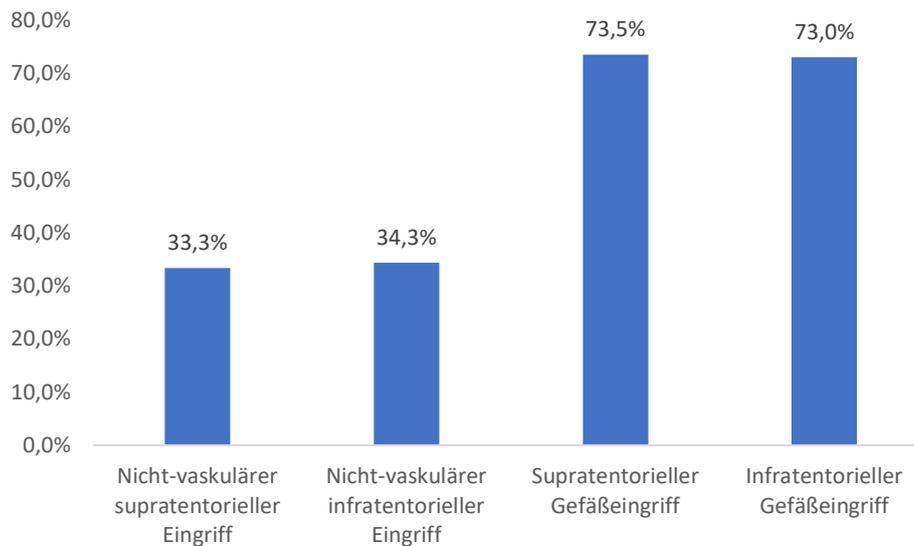


Abbildung 10: Die Bereitstellung gekreuzter Erythrozytenkonzentrate. Vergleich der vier verschiedenen Eingriffsarten. Angabe der relativen Häufigkeiten (%).

4.11 Postoperatives Vorgehen

4.11.1 Postoperative Extubation

Wie aus Abbildung 11 (S. 33) hervorgeht gaben die TeilnehmerInnen nahezu ausnahmslos (99,0%) und ohne signifikante Unterschiede in Abhängigkeit von der Eingriffsart (Tabelle 14, S. 37) an die PatientInnen direkt nach der Operation im Operationstrakt zu extubieren. Als Gründe dafür die Extubation nicht direkt nach der Operation im OP-Trakt durchführen zu können wurden in den Kommentaren eine unzureichende postoperative Vigilanz sowie kardiopulmonal instabile Zustände der PatientInnen genannt.

4.11.2 Postoperative Verlegung der PatientInnen

Es wurde in insgesamt 95,4% der Fälle eine extubierte Verlegung der PatientInnen auf eine Intensiv- oder Überwachungsstation angegeben. Dabei ergab sich eine Häufigkeit von 10,3% für eine Beatmung der PatientInnen bei Verlegung (Tabelle 13, S. 36). Ob die Beatmung dabei invasiv oder nicht-invasiv erfolge, wurde nicht genauer spezifiziert. Signifikante Unterschiede in Abhängigkeit von der Eingriffsart ließen sich für das Vorgehen nicht nachweisen (Tabelle 14, S. 37).

4.11.3 Postoperative kraniale Computertomographie (cCT)

Die Umfrage ergab, dass in insgesamt 45,6% der Fälle eine postoperative Bildgebung mittels kranialer Computertomographie (cCT) durchgeführt wird. Es stellten sich keine signifikanten Unterschiede der Durchführung in Abhängigkeit von der Art des Eingriffs dar (Tabelle 14, S. 37). Ein Teil der Befragten merkte in den Kommentaren an, dass die Veranlassung der postoperativen Bildgebung des Kopfes nicht in ihren, sondern in den Aufgabenbereich der postoperativ versorgenden IntensivmedizinerInnen oder der NeurochirurgInnen fallen würde. Als Indikation für die Durchführung einer postoperativen cCT wurden vor allem die akute Verschlechterung des neurologischen Status der PatientInnen nach der Operation genannt.

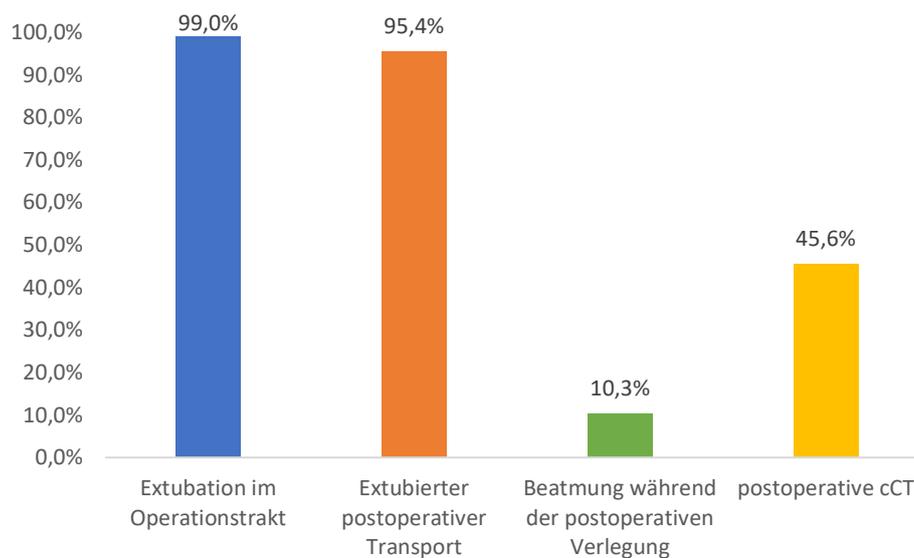


Abbildung 11: Postoperatives Vorgehen. Durchschnittswerte aus allen vier Eingriffsarten für die postoperative Extubation im OP-Trakt, die extubierte postoperative Verlegung, die Beatmung der PatientInnen bei der postoperativen Verlegung und die Durchführung einer postoperativen cCT. Angabe der relativen Häufigkeiten (%).

4.12 Übersicht der statistischen Auswertung

	Endotracheale Intubation	Supraglottisches Verfahren	Totalintravenöse Anästhesie (TIVA)	Balancierte Anästhesie
Nicht-vaskulärer supratentorieller Eingriff	100% 105/105	4,8% 5/105	24,5% 25/102	82,4% 84/102
Nicht-vaskulärer infratentorieller Eingriff	100% 105/105	3,8% 4/105	30,4% 31/102	76,5% 78/102
Supratentorieller Gefäßeingriff	100% 105/105	2,9% 3/105	33,3% 34/102	74,5% 76/102
Infratentorieller Gefäßeingriff	100% 104/104	2,9% 3/104	35,0% 35/100	72,3% 73/101
Durchschnittliche relative Häufigkeit	100%	3,6%	30,8%	76,4%

Tabelle 8: Methode der Atemwegssicherung und Narkoseform bei den vier verschiedenen Eingriffsarten. Angabe der absoluten Häufigkeiten als Anteil an den gültigen Beantwortungen (n/n) und der relativen Häufigkeiten (%).

	Invasive Blutdruckmessung nach Narkoseinduktion	Invasive Blutdruckmessung vor Narkoseinduktion	Zentraler Venenkatheter (ZVK)	Großlumiger peripher Venenkatheter
Nicht-vaskulärer supratentorieller Eingriff	95,2% 99/104	3,9% 4/103	4,8% 5/104	97,1% 101/104
Nicht-vaskulärer infratentorieller Eingriff	95,2% 99/104	5,8% 6/103	11,5% 12/104	95,2% 99/104
Supratentorieller Gefäßeingriff	65,7% 67/102	42,0% 42/100	17,1% 18/105	97,1% 102/105
Infratentorieller Gefäßeingriff	68,3% 69/101	39,4% 39/99	18,3% 19/104	97,1% 101/104
Durchschnittliche relative Häufigkeit	81,1%	22,8%	12,9%	96,6%

Tabelle 9: Zeitpunkt des Beginns der invasiven Blutdruckmessung und die Anwendung venöser Zugänge bei den vier verschiedenen Eingriffsarten. Angabe der absoluten Häufigkeiten als Anteil an den gültigen Beantwortungen (n/n) und der relativen Häufigkeiten (%).

	Blasenkatheter	Intraoperatives Opioid Remifentanil	Intraoperatives Opioid Sufentanil	Intraoperatives Opioid Fentanyl
Nicht-vaskulärer supratentorieller Eingriff	96,2% 100/104	67,0% 67/100	12,0% 12/100	48,5% 49/101
Nicht-vaskulärer infratentorieller Eingriff	99,0% 103/104	70,3% 71/101	12,9% 13/101	46,1% 47/102
Supratentorieller Gefäßeingriff	99,0% 103/104	72,3% 73/101	10,9% 11/101	45,1% 46/102
Infratentorieller Gefäßeingriff	99,0% 102/103	73,0% 73/100	11,0% 11/100	44,6% 45/101
Durchschnittliche Häufigkeit	98,3%	70,7%	11,7%	46,1%

Tabelle 10: Verwendung von Blasenkathetern und Auswahl der intraoperativen Opioide bei den vier verschiedenen Eingriffsarten. Angabe der absoluten Häufigkeiten als Anteil an den gültigen Beantwortungen (n/n) und der relativen Häufigkeiten (%).

	Intraoperatives Hypnotikum Propofol	Intraoperatives Hypnotikum Midazolam	Diskontinuierliche intraoperative Relaxation	Kontinuierliche intraoperative Relaxation
Nicht-vaskulärer supratentorieller Eingriff	87,0% 87/100	6,8% 7/103	61,4% 62/101	40,2% 41/102
Nicht-vaskulärer infratentorieller Eingriff	89,0% 89/100	6,8% 7/103	67,3% 68/101	34,3% 35/102
Supratentorieller Gefäßeingriff	89,9% 89/99	6,8% 7/103	58,0% 58/100	43,6% 44/101
Infratentorieller Gefäßeingriff	90,8% 89/98	6,9% 7/102	59,6% 59/99	41,0% 41/100
Durchschnittliche relative Häufigkeit	89,2%	6,8%	61,6%	39,8%

Tabelle 11: Die Auswahl der intraoperativen Hypnotika und die Art der Muskelrelaxation bei den vier verschiedenen Eingriffsarten. Angabe der absoluten Häufigkeiten als Anteil an den gültigen Beantwortungen (n/n) und der relativen Häufigkeiten (%).

	Relaxometrie (TOF)	Erweitertes hämodynamisches Monitoring (z.B. transpulmonale Thermodilution, Pulskonturanalyse)	Prozessiertes EEG (BIS)	Bereitstellung gekreuzter Erythrozytenkonzentrate
Nicht-vaskulärer supratentorieller Eingriff	73,5% 75/102	10,8% 11/102	21,6% 22/102	33,3% 34/102
Nicht-vaskulärer infratentorieller Eingriff	72,5% 74/102	11,8% 12/102	27,5% 28/102	34,3% 35/102
Supratentorieller Gefäßeingriff	72,5% 74/102	15,8% 16/101	40,6% 41/101	73,5% 75/102
Infratentorieller Gefäßeingriff	72,3% 73/101	15,0% 15/100	40,0% 40/100	73,0% 73/100
Durchschnittliche relative Häufigkeit	72,7%	13,4%	32,4%	53,5%

Tabelle 12: Die Anwendung von Relaxometrie, erweitertem hämodynamischen Monitoring, prozessiertem EEG und die Bereitstellung gekreuzter Erythrozytenkonzentrate bei den vier verschiedenen Eingriffsarten. Angabe der absoluten Häufigkeiten als Anteil an den gültigen Beantwortungen (n/n) und der relativen Häufigkeiten (%).

	Postoperative Extubation im OP-Trakt	Postoperative extubierte Verlegung auf Überwachungs-/ Intensivstation	Postoperative beatmete Verlegung auf Intensivstation	Postoperative kranielle Computertomografie (cCT)
Nicht-vaskulärer supratentorieller Eingriff	99,0% 103/104	94,2% 97/103	9,7% 10/103	46,4% 39/84
Nicht-vaskulärer infratentorieller Eingriff	99,0% 103/104	95,1% 98/103	10,7% 11/103	45,2% 38/84
Supratentorieller Gefäßeingriff	99,0% 102/103	96,1% 98/102	10,8% 11/102	45,0% 36/80
Infratentorieller Gefäßeingriff	99,0% 102/103	96,0% 97/101	9,9% 10/101	45,6% 36/79
Durchschnittliche relative Häufigkeit	99,0%	95,4%	10,3%	45,6%

Tabelle 13: Die postoperative Extubation und die postoperative Verlegung der PatientInnen sowie die Durchführung einer postoperativen cCT bei den vier verschiedenen Eingriffsarten. Angabe der absoluten Häufigkeiten als Anteil an den gültigen Beantwortungen (n/n) und der relativen Häufigkeiten (%).

	P (a vs. b)	P (a vs. c)	P (a vs. d)	P (b vs. c)	P (b vs. d)	P (c vs. d)
Endotracheale Intubation	x	x	x	x	x	x
Supraglottisches Verfahren	0,721	1,000	0,721	1,000	1,000	1,000
Total intravenöse Anästhesie (TIVA)	0,217	0,433	0,124	0,764	0,882	0,549
Balancierte Anästhesie	0,233	0,387	0,096	0,871	0,753	0,523
Invasive Blutdruckmessung nach Narkoseinduktion	<0,001	1,000	<0,001	<0,001	0,766	<0,001
Invasive Blutdruckmessung vor Narkoseinduktion	<0,001	0,748	<0,001	<0,001	0,773	<0,001
Zentraler Venenkatheter (ZVK)	0,007	0,127	0,004	0,324	0,858	0,242
Großlumiger peripherer Venenkatheter	1,000	0,721	1,000	0,498	1,000	0,721
Blasenkatheter	0,369	0,369	0,369	1,000	1,000	1,000
Intraoperatives Opioid Remifentanyl	0,446	0,650	0,441	0,877	1,000	0,755
Intraoperatives Opioid Sufentanyl	0,828	1,000	1,000	0,828	1,000	0,828
Intraoperatives Opioid Fentanyl	0,674	0,779	0,672	1,000	1,000	0,888
Intraoperatives Hypnotikum Propofol	0,658	0,828	0,499	1,000	1,000	0,814
Intraoperatives Hypnotikum Midazolam	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Diskontinuierliche intraoperative Relaxation	0,667	0,463	0,885	0,191	0,886	0,304
Kontinuierliche intraoperative Relaxation	0,671	0,469	1,000	0,197	0,776	0,384
Relaxometrie/ Train Of Four (TOF)	1,000	1,000	0,875	1,000	1,000	1,000
Erweitertes hämodynamisches Monitoring (z.B. Transpulmonale Thermodilution, Pulskonturanalyse)	0,309	1,000	0,407	0,423	1,000	0,540
Neuromonitoring (z.B. BIS-Monitoring)	0,004	0,416	0,006	0,055	1,000	0,074
Bereitstellung gekreuzter Erythrozytenkonzentrate	<0,001	1,000	<0,001	<0,001	1,000	<0,001
Postoperative Extubation im OP-Trakt	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Postoperative Verlegung beatmeter Patient auf Intensivstation	0,822	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Postoperative Verlegung extubierter Patient auf Überwachungsstation/ Intensivstation	0,748	1,000	0,748	1,000	1,000	1,000
Postoperative kraniale Computertomographie (cCT)	0,877	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Tabelle 14: Statistischer Vergleich des neuroanästhesiologischen Vorgehens zwischen den vier verschiedenen Eingriffsarten. Berechnung der p-Werte mit dem exakten Test nach Fisher. a: nicht-vaskulärer supratentorieller Eingriff; b: supratentorieller Gefäßeingriff; c: nicht-vaskulärer infratentorieller Eingriff; d: infratentorieller Gefäßeingriff; x: keine statistische Berechnung möglich, vs. = versus.

5 Diskussion

Durch die vorliegende, in den USA durchgeführte, online-basierte Umfrage konnte eine Übersicht über das neuroanästhesiologische Vorgehen bei intrakraniellen Eingriffen in den USA gewonnen werden. Dabei zeigte sich führend, dass zwar in den Bereichen der Atemwegssicherung, der Narkoseführung, der Katheterisierung der PatientInnen, der Hypnotika-Anwendung und des postoperativen Managements ein einheitliches Vorgehen besteht, in den Bereichen der Opioid-Auswahl, des perioperativen Blutdruck-Monitorings, der intraoperativen Muskelrelaxation, der Bereitstellung von Blutkonserven und in der postoperativen Bildgebung des Kopfes jedoch zum Teil deutliche Unterschiede existieren. Vor dem Hintergrund der teilweise heterogenen Vorgehensweisen der Befragten, die sich im Vergleich mit einer europäischen Erhebung widerspiegeln [6], und der Erkenntnis, dass sich die PatientInnen-Versorgung durch standardisierte Behandlungsprozesse verbessern lässt [1, 8, 10], würde sich die Implementierung einer allgemein anerkannten anästhesiologischen Leitlinie für neurochirurgische Eingriffe in den USA empfehlen.

5.1 Die TeilnehmerInnen



Abbildung 12: Links - graphische Darstellung der US-Bundesstaaten nach Einwohnerzahlen, US Census Bureau 2019 [49] (Hellblau 580.000 Einwohner in Wyoming bis Dunkelblau 39.510.000 Einwohner in California). Rechts - graphische Darstellung der US-Bundesstaaten nach Anzahl der TeilnehmerInnen (Hellblau 1 bis Dunkelblau 13 TeilnehmerInnen).

Nach einer Schätzung des *United States Census Bureau* ergaben sich bezogen auf das Jahr 2019 folgende Bevölkerungszahlen für die einzelnen US-Bundesstaaten: 1. California 39,5 Mio., 2. Texas 29 Mio., 3. Florida 21,5 Mio., 4. New York 19,5 Mio., 5. Pennsylvania 12,8 Mio., 6. Illinois 12,7 Mio. und weitere [49]. Gemessen an den Teilnahmehäufigkeiten der vorliegenden Studie ergab sich eine ähnliche Abstufung im Hinblick auf die einzelnen US-Bundesstaaten: 1. Texas 12,4%, 2. California 11,4%, 3. New York 8,6%, 4. Pennsylvania 7,6%, 5. Florida 6,7%, 6. Illinois 5,7% und weitere. Folglich zeigte sich, dass aus den bevölkerungsreichen US-Bundesstaaten

die meisten Teilnahmen an der Umfrage erfolgten und diese Staaten besser in der vorliegenden Studie abgebildet sind als bevölkerungsarme.

10,5% der TeilnehmerInnen waren zum Zeitpunkt der Erhebung als neuroanästhesiologische ChefärztInnen und 89,5% als neuroanästhesiologische OberärztInnen in leitender Funktion tätig. Aufgrund der klinischen Position der TeilnehmerInnen darf angenommen werden, dass ihr Antwortverhalten als repräsentativ für ihre neuroanästhesiologischen Abteilungen angesehen werden kann, auch wenn eine Variabilität durch die in einer Abteilung angestellten AnästhesistInnen nicht auszuschließen ist. Die Tatsache, dass die TeilnehmerInnen hauptsächlich an Universitätskliniken und Lehrkrankenhäusern arbeiteten, könnte dadurch bedingt sein, dass an diesen Institutionen ein größeres Interesse als an Privatkliniken besteht Forschung mitzugestalten.

5.2 Das perioperative neuroanästhesiologische Management

5.2.1 Vergleich der endotrachealen Intubation und supraglottischer Verfahren

Während die Verwendung von Larynxmasken bei neurochirurgischen Wachoperationen, mit intraoperativer Extubation, bereits eine sichere Alternative zur reinen endotrachealen Intubation darstellt und bei stereotaktischen Operationen oder chirurgischen Sonden-Platzierungen für die tiefe Hirnstimulation zum Einsatz kommt [28, 30], konnte sich die Anwendung supraglottischer Verfahren bei intrakraniellen Eingriffen in Allgemeinanästhesie noch nicht durchsetzen [6], wie die vorliegende Studie bestätigt. Fan et al. beobachteten eine geringere Häufigkeit postoperativer kognitiver Dysfunktionen (POCD) nach neurochirurgischen Eingriffen bei Kindern, wenn diese über eine Larynxmaske und nicht endotracheal beatmet wurden. Als Grund hierfür identifizierten die AutorInnen ein geringeres Ausmaß an neuronalen Entzündungsprozessen und zerebralen Ischämien in Folge von Komplikationen bei der invasiven Beatmung und bei der Extubation [29]. Zudem stellten Kang et al. in einer prospektiven randomisierten Studie dar, dass die Anwendung supraglottischer Verfahren aufgrund der geringeren Invasivität und einer verminderten Stressreaktion des Körpers, im Vergleich zur endotrachealen Intubation, seltener Komplikationen wie postoperative Übelkeit und Erbrechen zur Folge haben könnte [50]. Zhang et al. fanden heraus, dass Larynxmasken bei supratentoriellen neuroonkologischen Eingriffen eine vertretbare Alternative zur endotrachealen Intubation darstellen [28]. Trotz dieser Erkenntnisse bleibt die endotracheale Intubation die Methode der Wahl bei elektiven

intrakraniellen Eingriffen in Allgemeinanästhesie. Am ehesten, da AnästhesistInnen durch die Lage des Operationsgebietes bei solchen Eingriffen nur einen eingeschränkten intraoperativen Zugriff auf den Kopf der PatientInnen haben – insbesondere bei Einspannen des Kopfes in die Mayfield-Klemme [27]. Während der laufenden Operation ist eine Lagekorrektur der Larynxmaske oder eine intraoperative endotracheale Intubation bei Komplikationen somit nur erschwert möglich. Um das daraus resultierende Risiko einer verminderten Oxygenierung des Blutes zu vermeiden, bietet es sich an präoperativ das sicherere Verfahren der endotrachealen Intubation zu wählen.

5.2.2 Einfluss der Eingriffsart auf den Beginn der invasiven Blutdruckmessung

Die Anlage eines arteriellen Zugangs für die intraoperative Blutgasanalyse und zur invasiven Blutdruckmessung gehört bei intrakraniellen Eingriffen zum klinischen Standard [6]. Für intrakranielle Gefäßeingriffe gab dabei ein signifikant größerer Teil der Befragten als für nicht-vaskuläre intrakranielle Eingriffe an die invasive Blutdruckmessung bereits vor der Narkoseinduktion zu beginnen. Diese Verteilung unterstreicht die Bedeutung eines engmaschigen hämodynamischen Monitorings zur Vermeidung perioperativer Hypotonien und Komplikationen bei intrakraniellen Gefäßeingriffen. Die Ruptur eines Hirnaneurysmas während der Narkoseinduktion stellt eine solche Komplikation dar und kann eine Letalität von bis zu 75% aufweisen [51]. Sie kann durch eine Zunahme des transmuralen Drucks (TMP) der intrakraniellen Gefäße in Folge einer plötzlichen Zunahme des mittleren arteriellen Drucks (MAP) oder einer plötzlichen Abnahme des intrakraniellen Drucks (ICP) entstehen [51]. Der MAP kann bei der endotrachealen Intubation ansteigen [28] und unterliegt Schwankungen durch die Applikation von Hypnotika und Analgetika während der Narkoseinduktion [52]. Vor diesem Hintergrund empfiehlt sich bei neurovaskulären Eingriffen eine frühzeitige Anlage eines arteriellen Zugangs, um Blutdruckschwankungen durch die invasive Blutdruckmessung schnell erkennen [51, 53] und therapeutische Schritte einleiten zu können. In diesem Zusammenhang ist es auffällig, dass über 65% der TeilnehmerInnen angaben, arterielle Zugänge bei vaskulären Eingriffen erst nach der Narkoseinduktion zu platzieren. Jedoch ist anzunehmen, dass die Entscheidung der TeilnehmerInnen jeweils vom individuellen Risikoprofil der PatientInnen abhängig ist und unter Berücksichtigung der Tatsache getroffen wird, dass bestehende kardiovaskuläre Risikofaktoren wie arterielle Hypertonie, Diabetes

mellitus, Hyperlipidämie und Nikotinkonsum mit einem erhöhten Risiko für hämodynamische Schwankungen während der Narkoseinduktion einhergehen [52].

5.2.3 Einsatz großlumiger peripherer und zentraler Venenkatheter

Wie Rubin et al. in einer Analyse der US-amerikanischen *Medicare Physician Supplier Procedure Summary* zeigten, ging die anästhesiologische Nachfrage für ZVK in den USA zwischen den Jahren 2007 und 2016 um 38,3% zurück [54]. In der vorliegenden Arbeit gaben insgesamt lediglich 12,9% der Befragten die Verwendung von ZVK bei elektiven intrakraniellen Eingriffen an. Somit deutet die vorliegende Erhebung auf eine seltene Verwendung von ZVK bei neurochirurgischen Eingriffen in den USA hin. In einer von Löser et al. veröffentlichten Studie wurde das anästhesiologische Vorgehen bei elektiven intrakraniellen Eingriffen an europäischen Kliniken untersucht [6]. 109 neurochirurgische Zentren aus 19 europäischen Ländern nahmen an der Erhebung teil. Dabei lagen die meisten teilnehmenden Zentren in Deutschland, Großbritannien und Frankreich. Die Studie zeigte auf, dass bei elektiven intrakraniellen Eingriffen in Europa in 63,3% der Fälle ZVK verwendet werden [6]. Folglich deutet sich eine unterschiedliche Anwendungshäufigkeit von ZVK zwischen den befragten US-amerikanischen NeuroanästhesistInnen und ihren europäischen KollegInnen an. Ein Grund für die seltene Anwendung durch die TeilnehmerInnen der vorliegenden Studie könnte in den Risiken liegen, die mit einer ZVK-Anlage einhergehen. Durch die sonographisch gesteuerte Insertion ließen sich zwar die Häufigkeiten mechanischer Komplikationen und von Fehlpunktionen bei der Anlage reduzieren [55, 56]. Es bleiben jedoch weitere Risiken bestehen, zu denen Arrhythmien, Pneumothoraces sowie insbesondere katheterassoziierte Infektionen zählen [6, 55]. In einer weiteren Studie von Löser et al. ließen sich, abgesehen von speziellen Indikationen, keine Vorteile eruieren, die sich aus der ZVK-Anlage gegenüber der ausschließlichen Nutzung peripherer Venenkatheter bei elektiven supratentoriellen Eingriffen ergäben. Im Gegenteil. Es konnte eine Assoziation der ZVK-Anlage mit einer längeren Dauer der Narkoseinduktion, längeren Beatmungszeiten und vermehrten postoperativen Komplikationen festgestellt werden. Daher empfahlen die AutorInnen den Einsatz zentralvenöser Katheter nur nach sorgfältiger Abwägung der Indikationsstellung [34]. Die vorliegende Erhebung ergab für supratentorielle Gefäßeingriffe (17,1%) eine signifikant häufigere ZVK-Nutzung als für nicht-vaskuläre supratentorielle Eingriffe (4,8%). Hieraus

könnte sich ableiten lassen, dass die Entscheidung zur präoperativen ZVK-Anlage bei supratentoriellen Eingriffen von der Eingriffsart abhängig ist.

Insgesamt gaben 96,6% der Befragten an großlumige periphere Venenkatheter bei elektiven intrakraniellen Eingriffen einzusetzen. Dieses Ergebnis könnte bedeuten, dass der überwiegende Teil US-amerikanischer NeuroanästhesistInnen großlumige periphere Venenkatheter bei neurochirurgischen Eingriffen verwendet. Vincent et al. stellten in einer Analyse der möglichen venösen Zugangswege die Hypothese auf, dass den peripheren Venenkathetern durch neue Entwicklungen in der Medizintechnik eine noch größere Bedeutung zukommen könnte als bisher. Demnach könnte die Medikamentengabe sowie das hämodynamische Monitoring in Zukunft auch intensivmedizinisch gänzlich ohne die Nutzung von ZVK möglich werden [57].

5.2.4 Verwendung von Blasenkathetern

Insgesamt gaben 98,3% der TeilnehmerInnen an Blasenkatheeter zu verwenden. Folglich kann angenommen werden, dass die Anlage eines Blasenkatheeters zu den Basisinstrumentierungen bei elektiven intrakraniellen Eingriffen in den USA zählt. Oft mehrstündige Operationszeiten sowie die intraoperative Diuretika-Gabe zur Hirndrucksenkung machen den Einsatz von Blasenkatheetern bei neurochirurgischen Eingriffen erforderlich. Zudem lässt sich durch ihren Einsatz eine Flüssigkeitsbilanzierung durchführen und über eine Temperatursonde an der Katheterspitze die Körpertemperatur genau messen. Wang et al. empfahlen in ihrem ERAS-Protokoll für Kraniotomien die Entfernung des Blasenkatheeters am ersten postoperativen Tag [8]. Im Rahmen der Umsetzung des Protokolls konnten die Blasenkatheeter der PatientInnen in 74% der Fälle bereits in den ersten sechs Stunden nach der Operation gezogen werden [8]. Verlängerte Anlagedauern von Blasenkatheetern stellen ein Risiko für Katheter-assoziierte Harnwegsinfektionen dar [58]. Vor diesem Hintergrund ist eine frühzeitige Entfernung sinnvoll, auch wenn Wang et al. im Vergleich ihrer Untersuchungsgruppe mit einer Kontrollgruppe keinen signifikanten Unterschied bezüglich des Auftretens urogenitaler Komplikationen durch die frühzeitige Katheter-Entfernung feststellen konnten [8].

5.2.5 Vergleich der balancierten und der totalintravenösen Anästhesie

Bei verschiedenen intrakraniellen Eingriffen stellt die Wachoperation, bei der die PatientInnen durch die Art der Narkoseführung zeitweise ihr Bewusstsein für Hirnfunktionstests erlangen,

eine sichere Alternative zur traditionellen Allgemeinanästhesie dar [35, 59, 60]. Wachoperationen erlauben Tumorsektionen größeren Ausmaßes, ermöglichen bessere postoperative neurologische Ergebnisse und haben kürzere Krankenhausaufenthalte der PatientInnen zur Folge [35, 59]. Sie werden bisher hauptsächlich bei der Resektion von epileptogenen Hirnarealen oder von Hirntumoren, die in räumlicher Nähe zu sprachbildenden oder sensomotorischen Hirnregionen gelegen sind, durchgeführt [59]. Für die übrigen intrakraniellen Eingriffe wird nach wie vor die Allgemeinanästhesie bevorzugt. Die Umfrage ergab eine signifikant häufigere Anwendung der balancierten Anästhesie (76,4%) als der TIVA (30,8%) durch die TeilnehmerInnen. Eine so deutliche Verteilung zu Gunsten der balancierten Anästhesie ist überraschend, da es bezüglich der Narkoseführung und des postoperativen Ergebnisses bisher keinen generellen wissenschaftlichen Konsens bezüglich der Überlegenheit einer der beiden Methoden bei elektiven intrakraniellen Eingriffen gibt [8, 36, 37, 38]. Vor diesem Hintergrund lohnt ein Vergleich der jeweils eingesetzten Anästhetika.

Engelhard und Werner konnten sowohl für die Insufflation volatiler Anästhetika bei der balancierten Anästhesie als auch für die intravenöse Gabe von Propofol bei der TIVA nachweisen, dass die applizierten Substanzen den zerebralen Metabolismus reduzieren und dessen Kopplung an den zerebralen Blutfluss nicht beeinträchtigen, was wichtige pharmakologische Eigenschaften der Anästhetika sind, da andernfalls neuronale Schädigungen auftreten können [61]. Die verwendeten Anästhetika sollten für die Aufrechterhaltung des zerebralen Blutflusses keine Störung der zerebrovaskulären Autoregulationsmechanismen zur Folge haben [61]. Propofol als intravenöses Anästhetikum und die volatilen Anästhetika erzielen diesen gewünschten Effekt [61, 62]. Dabei darf eine minimale alveoläre Konzentration (MAC) der volatilen Anästhetika von 1.0 nicht überschritten werden [62], während bei der Verwendung von Propofol, unabhängig von der Dosierung, keine Beeinträchtigungen der zerebrovaskulären Autoregulationsmechanismen beobachtet wurden [63]. Unter den volatilen Anästhetika weist Sevofluran aufgrund der geringsten vasodilatierenden Wirkung das geeignetste pharmakologische Profil auf [62], während der Einsatz von N₂O bei intrakraniellen Eingriffen unterbleiben sollte, da N₂O steigernd auf den zerebralen Metabolismus, die zerebrale Durchblutung und den intrakraniellen Druck wirken kann [64]. Eine vorteilhafte Eigenschaft von Propofol ist seine hirndrucksenkende Wirkung [61, 65], die von Nutzen ist, wenn PatientInnen behandelt werden, die eine verminderte

intrakranielle Compliance aufweisen. Beispielsweise hervorgerufen durch eine intrakranielle Raumforderung.

In einer Übersichtsarbeit kamen Schifilliti et al. zu dem Ergebnis, dass sowohl inhalativ als auch intravenös applizierte Anästhetika neuroprotektiv wirken, indem sie apoptotische, degenerative und entzündliche Prozesse vermindern, die in Folge von Ischämien und Hirntraumata auftreten können. Eine Überlegenheit einer der beiden Anästhetika-Formen im Hinblick auf die neuroprotektive Wirkung konnten die AutorInnen nicht feststellen [66]. Citero et al. untersuchten in einer randomisierten kontrollierten Multicenter-Studie, ob sich die balancierte Anästhesie und die TIVA bezüglich der Dauer bis zum postoperativen Erwachen nach elektiven Kraniotomien unterscheiden. Sie fanden keinen Unterschied zwischen den beiden Methoden [67]. Auch in der Dauer bis zur postoperativen Extubation und der Wiedererlangung der kognitiven Funktionen durch die PatientInnen zeigte sich in verschiedenen Studien keines der beiden Verfahren überlegen [68, 69]. In Bezug auf das intraoperative Neuromonitoring wurde von verschiedenen AutorInnen eine geringere Beeinträchtigung der neurophysiologischen Messungen durch Propofol als durch volatile Anästhetika beschrieben [61, 70].

Postoperative Übelkeit und Erbrechen (PONV) gilt es bei intrakraniellen Eingriffen zu vermeiden, um eine Steigerung des intrakraniellen Drucks zu verhindern und die PatientInnen keinem erhöhten Risiko für Blutungen, Hirnödeme oder Aspirationen auszusetzen [8]. Diesbezüglich kann die TIVA gegenüber der balancierten Anästhesie einen Vorteil bieten, da intravenös appliziertes Propofol das PONV-Risiko senkt [37, 71]. Das PONV-Risiko lässt sich präoperativ durch Schemata wie den Apfel-Score ermitteln, in dem die Hauptrisikofaktoren für PONV (weibliches Geschlecht, Kinetosen oder PONV in der Vorgeschichte, Nichtraucherstatus und geplante postoperative Opioid-Therapie) abgefragt werden [72]. In ihrem ERAS-Protokoll für elektive Kraniotomien empfehlen Wang et al. die Anwendung eines solchen Schemas und die Gabe von antiemetischen Substanzen, wie Dexamethason und Serotonin-Rezeptor-Antagonisten, in Abhängigkeit von dem ermittelten Risiko [8]. In einer Übersichtsarbeit kamen Uribe et al. zu dem Ergebnis, dass die Verwendung von Dexamethason und eines Serotonin-Rezeptor-Antagonisten das PONV-Risiko bei intrakraniellen Eingriffen effektiv senken kann. Serotonin-Rezeptor-Antagonisten eigneten sich dabei besonders, da sie die postoperative neurologische Untersuchung der PatientInnen

aufgrund des fehlenden sedierenden Effektes nicht beeinträchtigen würden [72]. Wang et al. konnten durch die Anwendung ihres ERAS-Protokolls zeigen, dass sich eine Reduktion von PONV und der Beginn einer festen Nahrungsaufnahme am ersten postoperativen Tag nach intrakraniellen Eingriffen positiv auf eine Verkürzung des postoperativen Klinikaufenthaltes auswirkten [8] und eine größere Zufriedenheit der PatientInnen zur Folge hatten [10].

Gegenüber der balancierten Anästhesie bietet die TIVA somit partielle Vorteile, zu denen neben der PONV-Risiko-Reduktion die Hirndrucksenkung und die unbeeinträchtigte Durchführbarkeit des intraoperativen Neuromonitorings zählen. Löser et al. stellten in ihrer europaweiten Erhebung dar, dass an europäischen neurochirurgischen Zentren bei elektiven intrakraniellen Eingriffen, anders als durch die US-amerikanischen TeilnehmerInnen der vorliegenden Studie, bevorzugt die TIVA (83,8%) zur Anwendung kommt [6]. Dieser Gegensatz unterstreicht die international bestehenden Unterschiede im perioperativen neuroanästhesiologischen Management. Ein Grund für die Präferenz der balancierten Anästhesie durch die TeilnehmerInnen der vorliegenden Studie könnte ökonomischer Natur sein: Wie Rinehardt und Sivarajan erarbeiteten belaufen sich die Kosten für eine Narkose in TIVA auf ein Vielfaches der Kosten einer Narkose in balancierter Anästhesie [73]. Somit lassen sich die Gesamtkosten für neurochirurgische Eingriffe durch die Anwendung der balancierten Anästhesie senken.

5.2.6 Hypnotika: Die Anwendung von Propofol und Midazolam

Neben Propofol werden weitere Hypnotika für die Narkoseinduktion und Narkoseführung genutzt. Unter anderem Benzodiazepine, die jedoch aufgrund ihrer vergleichsweise schlechten Steuerbarkeit nur noch selten für die Narkoseführung eingesetzt werden [74] wie das Beispiel von Midazolam in der vorliegenden Studie bestätigte. 89,2% der Befragten gaben die Verwendung von Propofol zur Narkoseführung an. Eine ähnlich hohe Anwendungshäufigkeit von 90,5% ermittelten Löser et al. für die Anwendung von Propofol in ihrer Studie zu elektiven intrakraniellen Eingriffen an neurochirurgischen Zentren in Europa [6]. Midazolam wirkt stabilisierend auf die zerebrale Hämodynamik und beeinträchtigt die zerebrovaskulären Autoregulationsmechanismen nach neueren Erkenntnissen sogar weniger als Propofol [75, 76]. Trotzdem gilt Letzteres als Hypnotikum der Wahl bei intrakraniellen Eingriffen [70]. Der Grund dafür findet sich in der kurzen kontextsensitiven Halbwertszeit von Propofol. Bei der Bestimmung der kontextsensitiven Halbwertszeit wird, anders als bei der

Bestimmung der Plasmahalbwertszeit, die Infusionsdauer eines Wirkstoffes sowie die daraus resultierende mögliche Akkumulation und Verstoffwechslung des Wirkstoffs in den Kompartimenten des Körpers berücksichtigt. Die kontextsensitiven Halbwertszeiten zweier vergleichener Arzneimittel können in Abhängigkeit von der Infusionsdauer sehr unterschiedlich ausfallen. Im Vergleich zu Midazolam (Plasmahalbwertszeit 173 Minuten) hat Propofol zwar eine längere Plasmahalbwertszeit (400 Minuten), jedoch eine signifikant kürzere kontextsensitive Halbwertszeit [77], woraus sich eine bessere Steuerbarkeit von Propofol ergibt [78].

5.2.7 Opioide: Remifentanyl, Fentanyl und Sufentanyl im Vergleich

Mittlerweile gibt es Versuche auf die Verwendung von Opioid-Analgetika bei intrakraniellen Eingriffen zu verzichten [79]. Im Regelfall wird zur neuroanästhesiologischen Narkoseführung jedoch ein Opioid in Kombination mit einem intravenösen oder volatilen Anästhetikum eingesetzt. Prominente Vertreter der hierzu verwendeten Opioide sind Remifentanyl, Fentanyl und Sufentanyl. Vivand et al. konnten zeigen, dass die drei Opioide die zerebrale Hämodynamik, die CO₂-Reaktivität und den intrakraniellen Druck gleichermaßen beeinflussen [80]. Sie senken dosisabhängig den zerebralen Blutfluss [81, 82, 83], beeinträchtigen die Autoregulationsmechanismen des Gehirns nicht [84, 85] und führen bei PatientInnen ohne vorbestehende Hirnschädigungen zu keiner Steigerung des intrakraniellen Drucks [86]. Mit einem Wirkungseintritt nach 60 - 90 Sekunden und einer kontextsensitiven Halbwertszeit von 3-5 Minuten [87] ist Remifentanyl gegenüber Fentanyl und Sufentanyl, welche zwar ähnlich schnell, aber deutlich länger wirken, besser zu dosieren [88]. Remifentanyl wird von unspezifischen Esterasen im Blut und im Gewebe abgebaut und kann daher, anders als Fentanyl oder Sufentanyl, unabhängig von der Leber- und Nierenfunktion eliminiert werden. Die resultierende gute Steuerbarkeit ermöglicht ein schnelleres postoperatives Erwachen und folglich eine schnellere neurologische Beurteilung der PatientInnen [89]. Uchida et al. untersuchten die Abhängigkeit der postoperativen Letalität von der Art des intraoperativ verwendeten Opioids. Hierbei zeigten sich nach Hirntumor- und Hirnaneurysma-Behandlungen signifikant weniger stationäre Todesfälle, wenn die Narkose mit Remifentanyl statt mit Fentanyl geführt wurde. Im Fall der Hirnaneurysma-Behandlungen reduzierte sich zudem die Krankenhausaufenthaltsdauer [86, 90]. Unter Berücksichtigung der individuellen Präferenzen der AnästhesistInnen nutzten Wang et al. bei der Implementierung ihres

evidenzbasierten ERAS-Protokolls für elektive Kraniotomien interessanterweise Sufentanil für die Narkoseinduktion und Fentanyl für die Narkoseführung [8]. Diese Auswahl könnte unter anderem durch ökonomische Faktoren beeinflusst sein, da Engoren et al. für kardiochirurgische Eingriffe in Allgemeinanästhesie aufzeigen konnten, dass die Kosten für den Einsatz von Sufentanil und Fentanyl signifikant geringer sind als für den Einsatz von Remifentanil [91]. Im Zuge der Umsetzung des ERAS-Protokolls von Wang et al. erhielten die PatientInnen eine Infiltration der Kopfhaut mit dem Lokalanästhetikum Ropivacain als Skalp-Block unmittelbar vor dem chirurgischen Hautschnitt. Im Vergleich zur Kontrollgruppe stellten die AutorInnen durch diese Praxis eine Abnahme der Intensität sowie der Dauer des postoperativen Schmerzes bei den PatientInnen der Untersuchungsgruppe fest [8]. Uribe et al. beschrieben eine Abnahme des intraoperativen Opioid-Bedarfs sowie eine geringere Inzidenz von PONV durch das Setzen eines Skalp-Blocks bei Kraniotomien [72].

Remifentanil kann im Vergleich zu anderen Opioiden zum verstärkten Auftreten postoperativer Schmerzen führen [84]. Bei Ratten wurde eine neurotoxische Wirkung durch seine Anwendung festgestellt [92]. Trotzdem bleibt es, aufgrund der zuvor dargestellten Eigenschaften, ein geeignetes Analgetikum für die anästhesiologische Anwendung, welches nach Erkenntnissen von Löser et al. auch an neurochirurgischen Zentren in Europa am häufigsten bei elektiven intrakraniellen Eingriffen Anwendung findet [6].

5.2.8 Neuromuskuläre Blockade und neuromuskuläre Überwachung

Grundsätzlich werden Muskelrelaxantien während der Narkoseeinleitung zur Intubation sowie zur Erleichterung der chirurgischen Präparation verabreicht [17]. Die Ergebnisse der vorliegenden Erhebung deuten an, dass die diskontinuierliche der kontinuierlichen intraoperativen Muskelrelaxantien-Gabe bei elektiven intrakraniellen Eingriffen in den USA vorgezogen wird. Die Unterbrechung der Muskelrelaxation kann für die Ableitung motorisch evozierter Potenziale (MEP) nötig sein, die bei neurochirurgischen Eingriffen zur Detektion zerebraler Ischämien gemessen werden können und die in der Qualität ihrer Ableitung durch Muskelrelaxantien beeinträchtigt werden [93, 94].

Die Muskelrelaxation erhöht das Risiko für unerkannte intraoperative Wachheit (Awareness), da unzureichend sedierte PatientInnen unter der Gabe von Muskelrelaxantien keine adäquaten Regungen ausführen können, die dem anästhesiologischen Personal einen

höheren Anästhetika-Bedarf anzeigen würden. In diesem Fall können lediglich Veränderungen der Vitalparameter, wie ein Anstieg der Herzfrequenz oder des Blutdrucks, auf eine intraoperative Awareness hindeuten. Durch eine Überdosierung von Muskelrelaxantien oder eine inadäquate Arzneimittel-Verstoffwechslung kann es zu einem Relaxantienüberhang und zu einer vorübergehenden postoperativen Paralyse der Muskulatur kommen [95, 96]. Daraus resultieren erhöhte Risiken für Komplikationen bei der Extubation, für Aspirationen und für respiratorische Insuffizienzen nach der Operation [95, 96]. Wie Murphy und Brull beschrieben können eine erhöhte postoperative Morbidität und Mortalität die Folge dieser Komplikationen sein [96]. Somit ist ein bedachter Umgang mit Muskelrelaxantien notwendig. Vor der Extubation ist zu prüfen, ob die PatientInnen spontan atmen und ob ihre Schutzreflexe intakt sind. Zudem ist ein engmaschiges neuromuskuläres Monitoring mittels Train-of-Four (TOF)-Messung ratsam (S. 13 – 14), um Relaxantienüberhänge zu vermeiden und die intraoperative Dosierung der Muskelrelaxantien zu steuern [6, 39]. Ein Großteil der Befragten (72,7%) gab an TOF-Messungen während elektiver intrakranieller Eingriffe durchzuführen. Somit ist anzunehmen, dass die neuromuskuläre Blockade bei der Behandlung neurochirurgischer PatientInnen in den USA bereits vielfach mittels TOF überwacht wird.

5.2.9 Nutzen des prozessierten Elektroenzephalogramms

In einer Praxisanweisung der *American Society of Anesthesiologists* wird empfohlen den intraoperativen Einsatz eines Monitoring-Systems, wie den Bispectral Index™ (BIS), zur Ableitung eines prozessierten Elektroenzephalogramms (EEG) vom klinischen Zustand der PatientInnen und der Art des geplanten Eingriffs abhängig zu machen [97]. Vor dem Hintergrund fehlender spezifischer Leitlinien zum perioperativen neuroanästhesiologischen Management ist es daher verständlich, dass sich kein einheitliches Vorgehen der TeilnehmerInnen im Umgang mit prozessierten EEG abzeichnete und lediglich 32,4% der Befragten deren Verwendung angaben. Im europäischen Vergleich stellte sich in der Erhebung von Löser et al. eine ähnliche Anwendungshäufigkeit von 37,7% bei elektiven intrakraniellen Eingriffen an neurochirurgischen Zentren dar [6]. Wie aus Abbildung 9 (S. 31) hervorgeht wurde die Ableitung eines prozessierten EEG durch die TeilnehmerInnen der vorliegenden Studie häufiger für vaskuläre als für nicht-vaskuläre Eingriffe angegeben.

Prozessierte EEG wurden ursprünglich entwickelt, um eine intraoperative Beurteilung der Narkosetiefe zu ermöglichen. Ihre Eignung dazu wird mittlerweile in Frage gestellt, da die

generierten Werte, die der Tiefe der Narkose zugeordnet werden sollen, je nach Anästhetika-Kombination und angewendetem Programm zur Errechnung des jeweiligen Index, variieren können und somit keine einheitlichen Werte für die Tiefe einer Narkose existieren [42, 97, 98]. Es finden sich weitere Kritikpunkte bezüglich des Neuromonitorings mittels prozessiertem EEG während der Allgemeinanästhesie. So ergaben Fallstudien, dass intraoperative Awareness durch den Einsatz prozessierter EEG nicht endgültig ausgeschlossen werden kann [97]. Zudem bestehe unabhängig von der Anästhetika-Konzentration ein Risiko für schnelle Änderungen der Index-Werte. Beispielsweise ausgelöst durch zerebrale Ischämie, Hypoperfusion oder unbeobachtete Blutungen [97]. Auch die intraoperative Anwendung depolarisierender Muskelrelaxantien, elektromagnetischer Geräte, Wärme-Applikation oder Hypothermie können die errechneten Index-Werte verfälschen [97]. Trotzdem kann die Verwendung prozessierter EEG zur Dosierung der Anästhetika nützlich sein und bei der Gabe von Muskelrelaxantien dem möglichst seltenen Auftreten intraoperativer Awareness dienen, welche durch unzureichende Anästhetika-Konzentrationen entstehen kann [97]. Die Vermeidung zu hoher Anästhetika-Dosierungen ermöglicht eine schnellere postoperative Extubation und Verlegung der PatientInnen aus dem Operationstrakt. Sie trägt zur Reduktion des PONV-Risikos sowie zu einer besseren postoperativen kognitiven Leistungsfähigkeit der PatientInnen bei [41, 42, 99]. Die Beurteilung des Sedierungszustandes mittels prozessiertem EEG wird vom britischen *National Institute for Health and Care Excellence (NICE)* empfohlen, wenn die Narkose als TIVA geführt wird [100]. Denn anders als bei der balancierten Anästhesie kann während der TIVA nicht die endexpiratorische Konzentration der Anästhetika in den Atemgasen der PatientInnen als Referenz für die Anästhetika-Dosierung herangezogen werden [101].

Die Platzierung der Elektroden zur Ableitung prozessierter EEG kann bei frontalen intrakraniellen Eingriffen sowie bei der Lagerung der PatientInnen in der lateralen oder Prone Position erschwert sein. Verschiedene AutorInnen konnten darstellen, dass die postaurikuläre und okzipitale Platzierung der Elektroden in diesen Fällen eine qualitativ ebenbürtige Ableitung ermöglicht [102, 103].

5.2.10 Erweitertes hämodynamisches Monitoring in der Neuroanästhesie

Die kontinuierliche invasive Blutdruckmessung gehört bei elektiven intrakraniellen Eingriffen zum klinischen Standard [6], während erweitertes hämodynamisches Monitoring bei solchen

Eingriffen selten angewendet wird [104] wie sich in der vorliegenden Erhebung für die Behandlung von ASA I und ASA II-PatientInnen bestätigte (13,4%). Eine noch seltenere Durchführung des erweiterten hämodynamischen Monitorings bei elektiven intrakraniellen Eingriffen ermittelten Löser et al. an neurochirurgische Zentren in Europa (insgesamt 4,9%) [6]. Erweitertes hämodynamisches Monitoring ermöglicht unter anderem die Bestimmung des Herzzeitvolumens (HZV), der Schlagvolumenvariation (SSV) und der Pulsdruckvariation (PPV) [33]. Diese Parameter dienen der intraoperativen Bestimmung der Organperfusion und des Volumenbedarfs, welcher im Rahmen der Goal Directed Fluid Therapy (GDT) unter Berücksichtigung der Volumenreagibilität ermittelt wird. Die Volumenreagibilität lässt sich dabei über die SSV oder PPV annähernd voraussagen und gibt einen Anhalt dafür, in welchem Ausmaß intraoperative Volumensubstitutionen indiziert sind [33]. GDT hat eine große Bedeutung bei der Umsetzung von ERAS-Protokollen erlangt [105] und führt, durch eine Vermeidung von perioperativer Hypo- und Hypervolämie [105], nachweislich zu einer Senkung der postoperativen Intensivstationsaufenthaltsdauer, der postoperativen Komplikationen und der Behandlungskosten [8]. Vor diesem Hintergrund nahmen Wang et al. die intraoperative HZV-Messung und GDT in ihr ERAS-Protokoll für elektive Kraniotomien auf [8]. Hierzu könnten in der Zukunft neben invasiven Methoden wie der transpulmonalen Thermodilution mittels PiCCO-System (S. 12) alternative, nicht-invasive Verfahren wie die thorakale Impedanz-Plethysmographie genutzt werden, deren Tauglichkeit zur Bestimmung des HZV bei elektiven supratentoriellen Tumoroperationen von ASA I und ASA II-PatientInnen Ali et al. in einer Untersuchung aufzeigten [104].

5.2.11 Bereitstellung gekreuzter Erythrozytenkonzentrate

Es gibt nicht viele Studien, in denen der intraoperative Bedarf an Erythrozytenkonzentraten während neurochirurgischer Operationen untersucht wurde [43]. In einer retrospektiven Studie konnten Barth et al. allerdings zeigen, dass an ihrem neurochirurgischen Zentrum nur in 14,3% der Behandlungen arteriovenöser Malformationen, 1,9% der Aneurysma-Behandlungen und in 1,9% der intrakraniellen Tumoroperationen intraoperativ Blut transfundiert wurde [43]. Bei der Umsetzung des ersten ERAS-Protokolls für elektive Kraniotomien durch Wang et al. wurde eine intraoperative Transfusionshäufigkeit von 13% ermittelt [8]. Die TeilnehmerInnen der vorliegenden Studie gaben an, vor elektiven intrakraniellen Eingriffen insgesamt in 53,3% der Fälle gekreuzte Erythrozytenkonzentrate

bereitzustellen. Dabei zeichnete sich eine signifikant häufigere Bereitstellung vor intrakraniellen Gefäßeingriffen als vor nicht-vaskulären intrakraniellen Eingriffen ab. An neurochirurgischen Zentren in Europa ermittelten Löser et al. mit 60,4% eine geringfügig häufigere Bereitstellung gekreuzter Erythrozytenkonzentrate vor elektiven intrakraniellen Eingriffen [6]. In Anbetracht der Transfusionshäufigkeiten, die Barth et al. sowie Wang et al. aufzeigten, ergibt sich sowohl bei der Betrachtung der Häufigkeiten mit denen die TeilnehmerInnen der vorliegenden Studie als auch NeuroanästhesistInnen an neurochirurgischen Zentren in Europa Blutkonserven bereitstellen eine Differenz zwischen bereitgestellten und benötigten Blutkonserven, die auf eine ineffiziente Bereitstellung hindeutet. Die Effizienz der Blutkonservenbereitstellung lässt sich mit der Cross-match/Transfusion-Ratio ermitteln. Sie setzt die Anzahl gekreuzter und damit bereitgestellter Blutkonserven in ein Verhältnis zu den tatsächlich benötigten Blutkonserven und zeigt bei einer Ratio von 2,5 oder weniger ein effizientes Transfusionsverhältnis an. Barth et al. errechneten eine durchschnittliche Ratio von 10,7 für die Bluttransfusionen an ihrer Klinik [43]. Das Ergebnis legt die Annahme nahe, dass bei intrakraniellen Eingriffen zu häufig Blutkonserven bereitgestellt werden.

Durch die Vermeidung perioperativer Anämien lassen sich bei intrakraniellen Eingriffen sekundäre Hirn- und weitere Organschäden abwenden und die Krankenhausaufenthaltsdauer der PatientInnen verkürzen [45, 106]. Somit können perioperative Bluttransfusionen einen Beitrag zu einem besseren Behandlungsergebnis leisten. Auf der anderen Seite sind Bluttransfusionen selbst mit einer erhöhten Morbidität und erhöhten Letalität verbunden [106]. Sie gehen mit einem Risiko für allergische Reaktionen, Hämolyse, transfusionsassoziierte Lungeninsuffizienz (TRALI), Infektionen, Sepsis und Immunmodulationen einher [106, 107]. Einer Bluttransfusion sollte somit immer eine genaue Abwägung des Nutzens für die PatientInnen vorausgehen. Da Blutkonserven ein limitiertes Gut darstellen [43], schlugen Barth et al. unter Berücksichtigung der Blutungsrisiken aus ihrer Studie folgende Handhabung für eine ressourcenschonende Verwendung von Blutkonserven bei neurochirurgischen Eingriffen vor: Vorausgesetzt dass gekreuzte Blutkonserven innerhalb von 45 Minuten verfügbar sein können, Konserven der Blutgruppe 0 Rh negativ an der betreffenden Klinik vorrätig sind und eine negative Blutkoagulationsanamnese der PatientInnen vorliegt, soll bei einem intraoperativen Blutungsrisiko von < 5% weder ein Type and Screen-Test, welcher die Blutgruppenkompatibilität nachweist, durchgeführt werden,

noch soll die Bereitstellung gekreuzter Blutkonserven erfolgen. Beträgt das Risiko 5 – 10% schlagen die AutorInnen vor einen Type and Screen-Test vor der Operation zu machen und bei einem höheren Blutungsrisiko empfehlen sie den Type and Screen-Test sowie das Kreuzen von Blutkonserven vor der Operation [43]. Die Voraussetzungen für ein solches Vorgehen sind nicht an jeder Klinik gegeben. Vor dem Hintergrund einer offenbar zu häufigen Bereitstellung gekreuzter Blutkonserven vor neurochirurgischen Eingriffen, könnte die Umsetzung der Empfehlungen an geeigneten Kliniken jedoch einen Beitrag zur effizienteren Nutzung von Erythrozytenkonzentraten leisten ohne ein erhöhtes Risiko für die Gesundheit der PatientInnen einzugehen [43].

5.2.12 Postoperatives Vorgehen

Die Umfrage zeigte, dass die postoperative Extubation im OP-Trakt (99,0%) das übliche Vorgehen der TeilnehmerInnen ist. Zwar kann eine verzögerte Extubation nach langen Operationen, nach der Behandlung großer Hirntumoren, nach intraoperativen Blutungen oder nach komplizierten intrakraniellen Eingriffen nötig sein [108]. Generell wird aber eine rasche Extubation empfohlen, um zum Ausschluss kognitiver Defizite zügig die neurologische Untersuchung der PatientInnen durchführen zu können [6, 47, 108]. Schär et al. konnten zeigen, dass sich postoperative Komplikationen häufig für die neurochirurgischen PatientInnen ergeben, die nicht innerhalb der ersten Stunde nach Operationsende extubiert werden können. In diesen Fällen raten die AutorInnen zur Durchführung einer Computertomographie des Kopfes (cCT), um Hirnblutungen oder Hirnödeme auszuschließen [47]. Ist die Extubation hingegen problemlos möglich, empfehlen sie nur die klinische Untersuchung der wachen PatientInnen zum Ausschluss neurologischer Defizite [47]. Etwas weniger als die Hälfte der TeilnehmerInnen (45,6%) gab an eine routinemäßige postoperative cCT nach elektiven intrakraniellen Eingriffen durchzuführen, woraus sich ein uneinheitliches Vorgehen unter US-amerikanischen NeuroanästhesistInnen ableiten lassen kann, welches sich im europäischen Vergleich widerspiegelt. Löser et al. zeigten auf, dass an neurochirurgischen Zentren in Europa in etwas weniger als der Hälfte der Fälle eine routinemäßige postoperative cCT nach elektiven intrakraniellen Eingriffen durchgeführt wird [6]. Einige TeilnehmerInnen der vorliegenden Erhebung merkten an, dass an ihren Kliniken keine klaren Regelungen hinsichtlich der Frage existieren würden, ob die AnästhesistInnen, ChirurgInnen oder IntensivmedizinerInnen für die Indikationsstellung zur postoperativen Bildgebung des Kopfes

zuständig seien. Es bedarf in diesem Fall einer allgemeinen Empfehlung an neurochirurgischen Zentren in den USA. Obwohl 99,0% der TeilnehmerInnen die postoperative Extubation der PatientInnen im OP-Trakt angaben, ergab sich für die extubierte Verlegung auf die Intensiv- oder Überwachungsstationen nur eine Häufigkeit von 95,4% und für die Beatmung der PatientInnen während der Verlegung eine Häufigkeit von 10,3%. Eine Erklärung für diese Differenzen könnte sein, dass TeilnehmerInnen eine eventuelle postoperative Re-Intubation und nicht-invasive Beatmung bei Verlegung mitberücksichtigten.

5.3 Das Für und Wider medizinischer Leitlinien

Weltweit variiert die Behandlung identischer Erkrankungen [109], was zu einer Überversorgung der PatientInnen aber auch zu Behandlungsdefiziten führen kann. Unter Berücksichtigung dieser Tatsache lassen sich die Gründe für eine leitlinienorientierte Medizin vor allem in dem Streben nach Verbesserungen in der klinischen Praxis finden [1]. Die Orientierung an Leitlinien birgt jedoch auch Risiken. Leitlinien können Empfehlungen enthalten, die trotz fehlender oder aufgrund missverstandener wissenschaftlicher Erkenntnisse gegeben werden, woraus eine inadäquate Behandlung resultieren kann [109]. Zudem können die AutorInnen von Leitlinien finanziellen Interessenkonflikten unterliegen, die kenntlich gemacht werden müssen [110]. Für PatientInnen kann die leitlinienorientierte Medizin Nachteile mit sich bringen, wenn eine individuelle Anpassung der Empfehlungen aus Leitlinien an die individuellen Bedürfnisse der PatientInnen und an die Komplexität einer Erkrankung durch die AnwenderInnen ausbleibt. Des Weiteren kann die professionelle Qualifikation der klinischen AnwenderInnen durch Vorgaben aus Leitlinien in Frage gestellt werden [109]. Dem gegenüber stehen die Vorteile, die sich aus der Anwendung von Leitlinien ergeben. Das klinische Personal kann sich bei der Auswahl diagnostischer oder therapeutischer Maßnahmen an evidenzbasierten Empfehlungen aus Leitlinien orientieren und ihre PatientInnen auf diese Weise adäquat behandeln. Darüber hinaus können medizinische Maßnahmen, die in Leitlinien empfohlen werden, einem größeren Teil der PatientInnen zugänglich gemacht werden. Erfahrungen aus der Anwendung von Leitlinien können Forschungslücken aufzeigen, wodurch der wissenschaftliche Fortschritt einer medizinischen Disziplin gefördert werden kann. Nicht zuletzt kann durch die Umsetzung evidenzbasierter Empfehlungen die Morbidität sowie Letalität gesenkt und die Lebensqualität der PatientInnen gesteigert werden, während sich gleichzeitig Ressourcen einsparen und Behandlungskosten senken lassen [109].

Während der Entwicklung einer international anerkannten klinischen Leitlinie für das neuroanästhesiologische Vorgehen bei intrakraniellen Eingriffen sollten insbesondere randomisierte kontrollierte multizentrische Studien berücksichtigt werden, da sie ein hohes Maß an wissenschaftlicher Evidenz aufweisen. Die berücksichtigten Erkenntnisse sollten international von neuroanästhesiologischen ExpertInnen geprüft und anerkannt sein, bevor sie als Praxis-Empfehlungen festgehalten werden. Dabei kann die Entwicklung von Leitlinien auf nationaler Ebene, durch Fachgesellschaften wie der US-amerikanischen *Society for Neuroscience in Anesthesiology and Critical Care (SNACC)* oder den *Wissenschaftlichen Arbeitskreis Neuroanästhesie (WAKNA)* der *Deutschen Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin (DGAI)*, ein Mittel darstellen, um den internationalen Diskurs über das perioperative neuroanästhesiologische Management anzuregen und den wissenschaftlichen Austausch zwischen den Ländern zu fördern.

6 Limitationen der Studie

Die Rücklaufquote betrug 10,4%. Somit ist die Stichprobe aus der Grundgesamtheit der NeuroanästhesistInnen, die in leitenden Positionen an US-amerikanischen Kliniken tätig sind, klein. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie sind folglich eingeschränkt auf das anästhesiologische Vorgehen US-amerikanischer NeuroanästhesistInnen insgesamt übertragbar. Je nach Frage kann der Stichprobenumfang aufgrund unbeantworteter Fragen durch die TeilnehmerInnen kleiner sein. Dennoch geben die Ergebnisse in Punkten, die weitestgehend übereinstimmend beantwortet worden sind, wie z.B. die unmittelbare postoperative Extubation oder die Häufigkeit der ZVK-Anwendungen, starke Hinweise darauf, wie das US-amerikanische Vorgehen in der Neuroanästhesie ist. Eine weitere Einschränkung der Repräsentativität ergibt sich aus der unterschiedlichen Verteilung der TeilnehmerInnen auf die Bundesstaaten und ihre überwiegende Tätigkeit an Universitäts- und Lehrkrankenhäusern.

Aufgrund des Schwerpunktes der Befragung kann kein Anspruch auf Vollständigkeit in der Abbildung des neuroanästhesiologischen Managements in den USA erhoben werden. Durch Unterschiede in den Fragestellungen im elektronischen Fragebogen und im Online-Fragebogen konnten die folgenden Aspekte der Befragung nicht in die Endauswertung mit einbezogen werden: Berufserfahrung der TeilnehmerInnen in Jahren, Vorliegen einer hausinternen anästhesiologischen SOP für elektive intrakranielle Eingriffe, nicht-invasive Blutdruckmessung, Verwendung von Dexmedetomidin, Electronic Crossmatching und Type and Screen bei der Bereitstellung von Blutkonserven, Anwendung moderater intraoperativer Hypothermie, Burst suppression, lokalanästhesiologische Verfahren, Unterstützung der NeurochirurgInnen beim Clipping von Aneurysmen.

Der elektronische Fragebogen bot den TeilnehmerInnen die Möglichkeit mehrere, sich zum Teil gegenseitig ausschließende Anwendungen, für einen Eingriff auszuwählen. Beispielsweise konnte sowohl die endotracheale Intubation als auch die Verwendung supraglottischer Verfahren für einen Eingriff angegeben werden. In der statistischen Auswertung resultierten daraus maximale Häufigkeiten, die in der Summe der gegebenen Antworten teilweise 100% überschritten. Im Online-Fragebogen war eine solche Auswahl nicht möglich. Die gleichzeitige Auswahl sich gegenseitig ausschließender Verfahren könnte darauf zurückzuführen sein, dass den TeilnehmerInnen verschiedene Vorgehensweisen in ihren Abteilungen bekannt waren.

7 Schlussfolgerung

In der vorliegenden Arbeit konnte gezeigt werden, dass die perioperative neuroanästhesiologische Versorgung durch die befragten leitenden NeuroanästhesistInnen an US-amerikanischen neurochirurgischen Zentren teils heterogen gehandhabt wird und sich die Umsetzung eines allgemein anerkannten neuroanästhesiologischen Standards bei elektiven intrakraniellen Eingriffen in den USA nur in Teilaspekten darstellt.

Die Atemwegssicherung mittels endotrachealer Intubation, die Narkoseführung in balancierter Anästhesie unter Verwendung von Propofol und Remifentanyl, die Anlage von Blasenkathetern und großlumigen peripheren Venenkathetern sowie die postoperative Extubation im Operations-Trakt und anschließende extubierte, nicht beatmete Verlegung der PatientInnen auf eine Intensiv- oder Überwachungsstation erfuhr eine umfassende Zustimmung. Hingegen zeigte sich, dass die Atemwegssicherung mittels supraglottischer Verfahren, die Anwendung von ZVK und des erweiterten hämodynamischen Monitorings sowie die Nutzung von Midazolam und Sufentanyl nur in Einzelfällen erfolgt.

Für andere Aspekte der perioperativen anästhesiologischen Versorgung stellte sich ein weniger einheitliches Bild dar. Es zeichneten sich jedoch Tendenzen ab. Mehrheitlich wurden der Beginn der invasiven Blutdruckmessung nach statt vor der Narkoseinduktion, die diskontinuierliche intraoperative Muskelrelaxation und die Anwendung der Relaxometrie sowie die Bereitstellung gekreuzter Erythrozytenkonzentrate vor intrakraniellen Gefäßeingriffen angegeben. Mehrheitlich verneint wurden die intraoperative Ableitung eines prozessierten Elektroenzephalogramms (z.B. BIS), die Gabe von Fentanyl, die Bereitstellung gekreuzter Erythrozytenkonzentrate vor nicht-vaskulären Eingriffen sowie die Durchführung einer postoperativen Computertomographie des Schädels. Im Vergleich mit einer zuletzt durchgeführten europäischen Erhebung zeichnete sich ab, dass bei elektiven intrakraniellen Eingriffen in Europa die TIVA statt der balancierten Anästhesie bevorzugt wird und in Europa deutlich häufiger ZVK bei neurochirurgischen Eingriffen genutzt werden.

Es zeigte sich eine Abhängigkeit des perioperativen Managements von der Art des Eingriffs dergestalt, dass bei intrakraniellen Gefäßeingriffen häufiger bereits vor der Narkoseinduktion mit der invasiven Blutdruckmessung begonnen wird, häufiger zentrale Venenkatheter platziert werden, häufiger intraoperatives Neuromonitoring erfolgt und häufiger gekreuzte

Erythrozytenkonzentrate präoperativ bereitgestellt werden als bei nicht-vaskulären intrakraniellen Eingriffen.

Die beobachteten Unterschiede in der perioperativen Handhabung durch die TeilnehmerInnen und ihre neuroanästhesiologischen Abteilungen, die sich im Vergleich mit in Europa erhobenen Daten widerspiegeln, könnten, neben individuellen Präferenzen der AnästhesistInnen, durch den Mangel an allgemein anerkannten fachspezifischen Leitlinien zum Erhebungszeitpunkt erklärt werden. Unter der Annahme, dass sich Behandlungsprozesse durch standardisierte, evidenzbasierte Vorgehensweisen verbessern lassen, geben die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit Anlass dazu die Formulierung von Empfehlungen für ein standardisiertes neuroanästhesiologisches Management bei elektiven intrakraniellen Eingriffen in den USA und international voranzutreiben.

8 Zusammenfassung

Es mangelt an umfassenden allgemein anerkannten Leitlinien für das anästhesiologische Management bei intrakraniellen Eingriffen, weshalb anzunehmen ist, dass an neurochirurgischen Zentren unterschiedliche anästhesiologische Konzepte verfolgt werden und die perioperative neuroanästhesiologische Versorgung variiert. Ausgehend von der Klinik für Anästhesiologie und Intensivtherapie der Universitätsmedizin Rostock wurde in Zusammenarbeit mit der US-amerikanischen *Society for Neuroscience in Anesthesiology and Critical Care (SNACC)* zwischen April 2018 und April 2019 eine online-basierte Umfrage durchgeführt, um herauszufinden, ob sich an US-amerikanischen Kliniken trotzdem ein neuroanästhesiologischer Standard etabliert hat. Die Antworten von 105 leitenden US-amerikanischen NeuroanästhesistInnen (Rücklaufquote 10,4%) wurden anschließend mit Microsoft© Excel aufbereitet und mit dem Programm IBM SPSS Statistics 25.0 statistisch ausgewertet.

Als zentrale Aspekte der neuroanästhesiologischen Versorgung zeigten sich die endotracheale Intubation (100%), die Verwendung großlumiger peripherer Venenkatheter (96,6%), die Narkoseführung in balancierter Anästhesie (76,4%), die Anwendung von Propofol (89,2%) und Remifentanyl (70,7%) sowie die postoperative Extubation im OP-Saal (99%) mit anschließender Verlegung auf eine Intensiv- oder Überwachungsstation (95,4%). Die Nutzung von ZVK (12,9%) und des erweiterten hämodynamischen Monitorings (13,4%) hingegen fanden keine Mehrheiten. Für weitere Aspekte der perioperativen Versorgung wie die invasive Blutdruckmessung, die Anwendung weiterer Opiode, die intraoperative Muskelrelaxation, die Nutzung prozessierter EEG, die Bereitstellung von Erythrozytenkonzentraten sowie die postoperative Bildgebung mittels cCT zeigten sich hingegen teils heterogene Verteilungen. Es stellten sich partiell statistisch signifikante Unterschiede des Vorgehens in Abhängigkeit von der Eingriffsart dar.

Die Umsetzung eines allgemein anerkannten neuroanästhesiologischen Standards bei elektiven intrakraniellen Eingriffen in den USA zeichnete sich nur in Teilaspekten ab. Unter der Annahme, dass sich die PatientInnen-Versorgung durch standardisierte, evidenzbasierte Behandlungsprozesse verbessern lässt, geben die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit Anlass dazu die Formulierung von Empfehlungen für ein standardisiertes perioperatives neuroanästhesiologisches Management in den USA und international voranzutreiben.

9 Selbstständigkeitserklärung

Ich versichere hiermit an Eides statt, dass ich die eingereichte Promotionsschrift selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt und die den genutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen sowie anderweitige Hilfsmittel als solche kenntlich gemacht habe.

10 Danksagung

Ich möchte mich herzlichst bei Prof. Dr. med. Sebastian Haas für die Überlassung des Promotionsthemas sowie die ausgezeichnete fachliche und persönliche Betreuung in der wissenschaftlichen Arbeit bedanken.

Ein außerordentlicher Dank gilt Dr. med. Benjamin Löser, welcher mir von der Entwicklung der wissenschaftlichen Fragestellung bis zur Fertigstellung der Promotionsschrift zu jeder Zeit mit theoretischen und praktischen Ratschlägen zur Seite stand. Vielen Dank für die exzellente umfassende Betreuung.

Des Weiteren bedanke ich mich bei Frau Theresa Lattau für die kollegiale Zusammenarbeit bei der Erarbeitung der Promotion.

Frau Dr. med. Nina Schloemerkerper, MD möchte ich herzlichst für die theoretische Unterstützung, den Aufbau der Verbindung zur *Society for Neuroscience in Anesthesiology and Critical Care* und die Begleitung der Datenerhebung danken. In diesem Rahmen gilt ein weiterer Dank Frau Dr. Alana Flexman, MD und der gesamten *Society for Neuroscience in Anesthesiology and Critical Care* für die Mitwirkung bei der Datenerhebung.

11 Anhang

11.1 Elektronischer Fragebogen



University Medicine Rostock · PF 10 08 88 · 18055 Rostock

**Department of
Anesthesiology and
Intensive Care Medicine**
Schillingallee 35 · 18057 Rostock

Univ.-Prof. Dr. med. Daniel A. Reuter
Head of Department

Secretariat:
kai-dir@med.uni-rostock.de
Telephone: +49 381 494-6401
Telefax: +49 381 494-6402

Consultant Secretariat:
kai-oa@med.uni-rostock.de
Telephone: +49 381 494-6411
Telefax: +49 381 494-6412

Website:
www.kpai.med.uni-rostock.de

PD Dr. med. Sebastian Haas
Vice Chair
sebastian.haas@med.uni-rostock.de

Dr. med. Benjamin Löser
Research Assistant
benjamin.loeser@med.uni-rostock.de

Valentin Sies
Research Assistant
i-sonata-us@med.uni-rostock.de

i-Sonata - Survey of Neurosurgical Anesthesia

Dear

With this letter we would like to request your participation in our project of the Department of Anesthesiology and Intensive Care Medicine located at the University Hospital of Rostock, Germany.

Until now there are no guidelines concerning the anesthesiological management of patients with elective intracranial surgery. In our brief survey, which is attached to this letter, we aim to evaluate which anesthesiological standards are used during elective intracranial surgery across the USA. The target group of our examination is supposed to consist of adults, who can be classified in ASA I and II.

Your participation in the survey would enable us to form a US-wide data collection on anesthesiological approaches during intracranial surgery.

We would appreciate your cooperation consisting of completing the attached questionnaire by using either the Excel-file or the printable PDF-file. Please send it back to us via email or fax:"

E-mail: i-sonata-us@med.uni-rostock.de

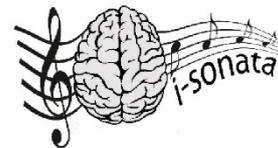
Fax: +49 381 494 6412

Thank you in advance.

Yours sincerely,

PD Dr. med. Sebastian Haas
Vice Chair

Univ.-Prof. Dr. med. Daniel A. Reuter
Head of Department



I-Sonata - Survey of Neurosurgical Anesthesia
Please fill in the table below using the answer options "Yes" and "No".

Name of hospital:	Non-vascular supratentorial surgery (e.g. glioma)	Non-vascular infratentorial surgery (e.g. cerebello-pontine angle tumor)	Supratentorial vascular surgery (e.g. aneurysm)	Infratentorial vascular surgery (e.g. aneurysm)
Endotracheal intubation				
Supraglottic procedure				
Invasive blood pressure monitoring after anesthesia induction				
Invasive blood pressure monitoring before anesthesia induction				
Noninvasive blood pressure monitoring (RR)				
Central venous catheter				
Large-bore peripheral venous catheter				
Foley catheter				
Extended hemodynamic monitoring (e.g. transpulmonary hemodilution, pulse contour analysis)				
Total intravenous anesthesia				
Balanced anesthesia				
Intraoperative opioid Remifentanyl				
Intraoperative opioid Sufentanyl				
Intraoperative opioid Fentanyl				
Intraoperative hypnotic Propofol				
Intraoperative hypnotic Midazolam				
Intraoperative discontinuous relaxation				
Intraoperative continuous relaxation				
BIS monitoring				
Relaxometry				
Postoperative extubation in the operating room				
Postoperative transfer of the ventilated patient to the intensive care unit.				
Postoperative transfer of the extubated patient to the monitoring station/ intensive care unit.				
Routine supply of crossed red cell concentrates				
Routine postoperative cCT				
Moderate intraoperative hypothermia				
Comments				

We would like to thank you for your participation.
Please send back the filled table:
e-mail: i-sonata-us@med.uni-rostock.de, fax: +49 381 494-6412

11.2 Online-Fragebogen



Why do we invite you to participate in our survey?

Currently, there are no guidelines concerning the anesthetic management of patients undergoing elective intracranial surgery.

The aim of our research group from the Department of Anesthesiology and Intensive Care Medicine located at the University Hospital of Rostock, Germany is to get an impression about anesthetic standards and preferences during elective intracranial surgery in the United States. The focus of our survey is patients that would be ASA I or II if it was not for their neurosurgical diagnosis.

Your participation in our survey is anonymous and voluntary and should not take you more than 10 minutes.

Please give an answer to every question and in each row of the tables. Otherwise the survey cannot be finished. When in doubt, please select "don't know".

Thank you in advance for your participation in our survey!

1. What is your position?

- Attending
- Resident
- Fellow in neuroanesthesia
- CRNA (Certified Registered Nurse Anesthetist)
- Other (please describe below)

2. For how many years, including training, have you been working as an anesthesiologist?

- 1-5 years
- 6-10 years
- 11-15 years
- 16-25 years
- 26-35 years
- >35 years

3. What type of institution do you work at?

- University Hospital
- Teaching Hospital
- Other (please describe below)
- Private Hospital
- Veterans Affairs Hospital

4. In which federal state do you work?

(If you do not work in the USA, please select "Other" and name the country/ state you work in).

5. Do you have a protocol for the anesthetic management during intracranial procedures at your institution?

- Yes
- No
- don't know

6. Which airway device do you routinely use for the following elective procedures?

	Endotracheal intubation	Supraglottic device	don't know
Non-vascular supratentorial surgery (e.g. glioma)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Non-vascular infratentorial surgery (e.g. cerebellopontine angle tumor)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Supratentorial vascular surgery (e.g. aneurysm)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Infratentorial vascular surgery (e.g. aneurysm)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Comments on this practice:

9. What venous access do you use for the following elective procedures?

	Central venous catheter only	Large-bore peripheral venous catheter (16G, 14G) only	Central venous catheter + Large-bore peripheral venous catheter (16G, 14G)	don't know
Non-vascular supratentorial surgery (e.g. glioma)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Non-vascular infratentorial surgery (e.g. cerebellopontine angle tumor)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Supratentorial vascular surgery (e.g. aneurysm)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Infratentorial vascular surgery (e.g. aneurysm)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Comments on this practice:

10. During which surgical intervention do you routinely place a urinary catheter?

	Foley catheter placement	No placement	don't know
Non-vascular supratentorial surgery (e.g. glioma)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Non-vascular infratentorial surgery (e.g. cerebellopontine angle tumor)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Supratentorial vascular surgery (e.g. aneurysm)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Infratentorial vascular surgery (e.g. aneurysm)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Comments on this practice:

7. If you use non-invasive blood pressure monitoring for the following elective procedures, do you use it on its own or in addition to an arterial line?

	Non-invasive blood pressure monitoring only	Non-invasive blood pressure monitoring <u>in addition</u> to an arterial line	don't know
Non-vascular supratentorial surgery (e.g. glioma)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Non-vascular infratentorial surgery (e.g. cerebellopontine angle tumor)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Supratentorial vascular surgery (e.g. aneurysm)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Infratentorial vascular surgery (e.g. aneurysm)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Comments on this practice:

8. If you use invasive blood pressure monitoring for the following elective procedures, do you place the arterial line before or after induction of anesthesia?

	Invasive blood pressure monitoring <u>before</u> induction of anesthesia	Invasive blood pressure monitoring <u>after</u> induction of anesthesia	don't know
Non-vascular supratentorial surgery (e.g. glioma)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Non-vascular infratentorial surgery (e.g. cerebellopontine angle tumor)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Supratentorial vascular surgery (e.g. aneurysm)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Infratentorial vascular surgery (e.g. aneurysm)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Comments on this practice:

11. During which surgical intervention do you use extended hemodynamic monitoring (e.g. transpulmonary thermodilution, pulse contour analysis etc.)?

	Extended hemodynamic monitoring	No extended hemodynamic monitoring	don't know
Non-vascular supratentorial surgery (e.g. glioma)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Non-vascular infratentorial surgery (e.g. cerebellopontine angle tumor)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Supratentorial vascular surgery (e.g. aneurysm)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Infratentorial vascular surgery (e.g. aneurysm)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Which extended hemodynamic monitoring do you apply?

12. Which type of anesthesia do you usually perform during the following elective procedures?

	Total Intravenous Anesthesia (TIVA)	Balanced anesthesia	don't know
Non-vascular supratentorial surgery (e.g. glioma)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Non-vascular infratentorial surgery (e.g. cerebellopontine angle tumor)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Supratentorial vascular surgery (e.g. aneurysm)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Infratentorial vascular surgery (e.g. aneurysm)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Comments on this practice

13. If you perform Total Intravenous Anesthesia (TIVA) during the following elective procedures, what is your main intraoperative hypnotic?

	Propofol	Midazolam	Dexmedetomidine	don't know
Non-vascular supratentorial surgery (e.g. glioma)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Non-vascular infratentorial surgery (e.g. cerebellopontine angle tumor)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Supratentorial vascular surgery (e.g. aneurysm)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Infratentorial vascular surgery (e.g. aneurysm)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Comments on the use of these drugs (e.g. Dexmedetomidine is not yet available at your institution):

14. Which opioid do you mainly use during the following elective procedures?

	Remifentanyl	Sufentanyl	Fentanyl	don't know
Non-vascular supratentorial surgery (e.g. glioma)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Non-vascular infratentorial surgery (e.g. cerebellopontine angle tumor)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Supratentorial vascular surgery (e.g. aneurysm)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Infratentorial vascular surgery (e.g. aneurysm)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Comments on the use of these drugs:

17. During which surgical intervention do you use neuromonitoring to measure the level of consciousness (e.g. BIS monitoring)?

	Neuromonitoring	No neuromonitoring	don't know
Non-vascular supratentorial surgery (e.g. glioma)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Non-vascular infratentorial surgery (e.g. cerebellopontine angle tumor)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Supratentorial vascular surgery (e.g. aneurysm)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Infratentorial vascular surgery (e.g. aneurysm)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Comments on this practice:

18. Which kind of postoperative management do you perform after elective intracranial surgery?

	Postoperative transfer of the <u>extubated</u> patient to the recovery room or intensive care unit (ICU)	Postoperative transfer of the <u>ventilated</u> patient to the recovery room or intensive care unit (ICU)	don't know
Non-vascular supratentorial surgery (e.g. glioma)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Non-vascular infratentorial surgery (e.g. cerebellopontine angle tumor)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Supratentorial vascular surgery (e.g. aneurysm)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Infratentorial vascular surgery (e.g. aneurysm)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Comments on this practice:

15. How do you perform relaxation during surgery?

	Discontinuous neuromuscular blockade only for induction/intubation	Discontinuous neuromuscular blockade for induction/intubation + specific intraoperative occasions	Continuous neuromuscular blockade	don't know
Non-vascular supratentorial surgery (e.g. glioma)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Non-vascular infratentorial surgery (e.g. cerebellopontine angle tumor)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Supratentorial vascular surgery (e.g. aneurysm)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Infratentorial vascular surgery (e.g. aneurysm)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Comments on this practice (e.g. which specific intraoperative occasions):

16. Do you use continuous intraoperative Train-of-Four (TOF) to guide the administration of neuromuscular blocking agents?

	Continuous intraoperative TOF to guide Neuromuscular Blocking Agents administration	TOF only prior to emergence	No intraoperative TOF or equivalent	don't know
Non-vascular supratentorial surgery (e.g. glioma)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Non-vascular infratentorial surgery (e.g. cerebellopontine angle tumor)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Supratentorial vascular surgery (e.g. aneurysm)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Infratentorial vascular surgery (e.g. aneurysm)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Comments on this practice:

19. During which surgical intervention do you have cross-matched blood available in the operating room or in the blood bank?

	Cross-matched blood available in the <u>operating room</u>	Cross-matched blood available in the <u>blood bank</u>	<u>Electronic cross-match available</u> , therefore blood immediately available from blood bank	Type and Screen only	don't know
Non-vascular supratentorial surgery (e.g. glioma)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Non-vascular infratentorial surgery (e.g. cerebellopontine angle tumor)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Supratentorial vascular surgery (e.g. aneurysm)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Infratentorial vascular surgery (e.g. aneurysm)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Comments on this practice:

20. After which surgical intervention does the patient get a routine postoperative cranial computed tomography (cCT)?

	Routine postoperative cCT	No routine postoperative cCT	don't know
Non-vascular supratentorial surgery (e.g. glioma)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Non-vascular infratentorial surgery (e.g. cerebellopontine angle tumor)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Supratentorial vascular surgery (e.g. aneurysm)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Infratentorial vascular surgery (e.g. aneurysm)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Comments on this practice:

21. How often do you apply moderate intraoperative hypothermia to the patient during the following surgical interventions?

	Never (0%)	Rarely (<20%)	Sometimes (20-50%)	Often (51-80%)	Usually (>80%)	Always (100%)	don't know
Non-vascular supratentorial surgery (e.g. glioma)	<input type="radio"/>						
Non-vascular infratentorial surgery (e.g. cerebellopontine angle tumor)	<input type="radio"/>						
Supratentorial vascular surgery (e.g. aneurysm)	<input type="radio"/>						
Infratentorial vascular surgery (e.g. aneurysm)	<input type="radio"/>						

Comments on this practice:

22. How often do you use burst suppression during the following surgical interventions?

	Never (0%)	Rarely (<20%)	Sometimes (20-50%)	Often (51-80%)	Usually (>80%)	Always (100%)	don't know
Non-vascular supratentorial surgery (e.g. glioma)	<input type="radio"/>						
Non-vascular infratentorial surgery (e.g. cerebellopontine angle tumor)	<input type="radio"/>						
Supratentorial vascular surgery (e.g. aneurysm)	<input type="radio"/>						
Infratentorial vascular surgery (e.g. aneurysm)	<input type="radio"/>						

Comments on this practice:

23. If you use local anesthesia for elective intracranial surgery, please check all that apply:

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Local anesthesia pre-incision | <input type="checkbox"/> As a scalp block |
| <input type="checkbox"/> Local anesthesia after closure | <input type="checkbox"/> In the area of incision only |
| <input type="checkbox"/> Local anesthesia placed by surgeon | <input type="checkbox"/> No local anesthesia |
| <input type="checkbox"/> Local anesthesia placed by anesthesiologist | <input type="checkbox"/> don't know |
| <input type="checkbox"/> As a ring block | |

Comments on this practice:

24. Aneurysm clipping: How do you aid your surgeon with clip placement?

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Adenosine | <input type="checkbox"/> Propofol bolus |
| <input type="checkbox"/> Rapid ventricular pacing | <input type="checkbox"/> don't know |
| <input type="checkbox"/> Other: | |

25. Thank you very much for your participation!

Please click "Done" to complete the survey.

If you have any comments concerning the questionnaire or the practices mentioned above, please feel free to write them down:

12 Abkürzungsverzeichnis

ASA	American Society of Anesthesiologists
BIS	Bispectral Index
CBF	Zerebraler Blutfluss
CBTRUS	Central Brain Tumor Registry of the United States
cCT	Kranielle Computertomographie
cMRT	Kranielle Magnetresonanztomographie
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CPP	Zerebraler Perfusionsdruck
CVR	Zerebraler Gefäßwiderstand
DGAI	Deutsche Gesellschaft für Anästhesie und Intensivmedizin
EEG	Elektroenzephalogramm
ERAS	Enhanced Recovery After Surgery
GDT	Goal Directed Therapy
HZV	Herzzeitvolumen
IBM	International Business Machines Corporation
ICP	Intrakranieller Druck
MAC	Minimale Alveoläre Konzentration
MAP	Mittlerer arterieller Druck
MEP	Motorisch Evozierte Potenziale
N ₂ O	Lachgas
NICE	National Institute for Health and Care Excellence
O ₂	Sauerstoff
PiCCO	Pulse Contour Cardiac Output
POCD	Postoperative kognitive Dysfunktion
PONV	Postoperative Übelkeit und Erbrechen
PPV	Pulsdruckvariation
SNACC	Society for Neuroscience in Anesthesiology and Critical Care
SOP	Standard Operating Procedure
TIVA	Totalintravenöse Anästhesie
TMP	Transmuraler Druck
TPR	Totaler peripherer Widerstand
TRALI	Transfusionsassoziierte Lungeninsuffizienz
TOF	Train-of-Four
WAKNA	Wissenschaftlicher Arbeitskreis Neuroanästhesie
WHO	Weltgesundheitsorganisation
ZVD	Zentralvenöser Druck
ZVK	Zentraler Venenkatheter

13 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Spiegelbildliche Gegenüberstellung eines Gehirnschädels (links) und einer sagittalen Aufnahme eines menschlichen Kopfes (rechts). Links: Die Falx cerebri trennt die beiden Großhirnhemisphären voneinander, das Tentorium cerebelli trennt den supratentoriellen vom infratentoriellen Raum. Rechts: Die eingezeichnete Linie stellt die Grenze zwischen dem supratentoriellen und dem infratentoriellen Raum dar – Erneut abgebildet mit der Erlaubnis von Springer Nature Customer Service Centre GmbH: Springer, Der Anaesthesist, Postmortale Organspende, Goroll T, Gerresheim G, Schaffartzik W, Schwemmer U © 2015 [20].	8
Abbildung 2: Häufigkeiten der einzelnen Entitäten primärer Hirntumoren US-amerikanischer PatientInnen für den Zeitraum 2012 bis 2016. Grafik nach Ostrom QT, Cioffi G, Gittleman H et al., CBTRUS Statistical Report, Neuro-Oncology, 2019 [22].	9
Abbildung 3: Verteilung der TeilnehmerInnen auf die verschiedenen Klinikarten. Angabe der relativen (%) und absoluten (n) Häufigkeiten.	21
Abbildung 4: Verteilung der TeilnehmerInnen auf die US-Bundesstaaten. Angabe der absoluten Häufigkeiten (n).	22
Abbildung 5: Der Zeitpunkt des Beginns der invasiven Blutdruckmessung über einen arteriellen Zugang. Vergleich der vier verschiedenen Eingriffsarten in Bezug auf den Beginn der Messung vor oder nach der Narkoseinduktion. Angabe der relativen Häufigkeiten (%).	24
Abbildung 6: Die Verwendung von ZVK und großlumigen peripheren Venenkathetern. Vergleich der vier verschiedenen Eingriffsarten in Bezug auf die Auswahl der venösen Zugänge. Angabe der relativen Häufigkeiten (%).	25
Abbildung 7: Die Auswahl der intraoperativ eingesetzten Opiode. Vergleich der vier verschiedenen Eingriffsarten hinsichtlich der Verwendung von Remifentanyl, Fentanyl und Sufentanyl. Angabe der relativen Häufigkeiten (%).	28
Abbildung 8: Muskelrelaxation. Vergleich der vier verschiedenen Eingriffsarten in Bezug auf die Durchführung der diskontinuierlichen oder kontinuierlichen Muskelrelaxation. Angabe der relativen Häufigkeiten (%).	29
Abbildung 9: Die Anwendung prozessierter EEG (z.B. BIS-Monitoring). Vergleich der vier verschiedenen Eingriffsarten. Angabe der relativen Häufigkeiten (%).	31
Abbildung 10: Die Bereitstellung gekreuzter Erythrozytenkonzentrate. Vergleich der vier verschiedenen Eingriffsarten. Angabe der relativen Häufigkeiten (%).	32
Abbildung 11: Postoperatives Vorgehen. Durchschnittswerte aus allen vier Eingriffsarten für die postoperative Extubation im OP-Trakt, die extubierte postoperative Verlegung, die Beatmung der PatientInnen bei der postoperativen Verlegung und die Durchführung einer postoperativen cCT. Angabe der relativen Häufigkeiten (%).	33

Abbildung 12: Links - graphische Darstellung der US-Bundesstaaten nach Einwohnerzahlen, US Census Bureau 2019 [49] (Hellblau 580.000 Einwohner in Wyoming bis Dunkelblau 39.510.000 Einwohner in California). Rechts - graphische Darstellung der US-Bundesstaaten nach Anzahl der TeilnehmerInnen (Hellblau 1 bis Dunkelblau 13 TeilnehmerInnen).**38**

14 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Aspekte des perioperativen neuroanästhesiologischen Managements in der Befragung.....	19
Tabelle 2: Verteilung der TeilnehmerInnen auf die US-Bundesstaaten. Angabe der absoluten (n) und der relativen (%) Häufigkeiten; rundungsbedingtes Überschreiten der relativen Gesamthäufigkeit von 100%.	22
Tabelle 3: Methode der Atemwegssicherung. Die endotracheale Intubation und die Anwendung supraglottischer Verfahren im Vergleich. Die absoluten Häufigkeiten als Anteil an den gültigen Beantwortungen (n/n), relative Häufigkeiten (%), ¹ Exakter Test nach Fischer, vs. = versus.	23
Tabelle 4: Zeitpunkt des Beginns der invasiven Blutdruckmessung über einen arteriellen Zugang. Der Beginn vor der Narkoseinduktion im Vergleich zum Beginn nach der Narkoseinduktion. Absolute Häufigkeiten als Anteil an den gültigen Beantwortungen (n/n), relative Häufigkeiten (%), ¹ Exakter Test nach Fischer, vs. = versus.....	25
Tabelle 5: Narkoseform. Vergleich der TIVA und der Balancierten Anästhesie für die vier verschiedenen Eingriffsarten. Absolute Häufigkeiten als Anteil an den gültigen Beantwortungen (n/n), relative Häufigkeiten (%), ¹ Exakter Test nach Fischer, vs. = versus.	27
Tabelle 6: Intraoperative Opiode. Vergleich der Anwendung von Remifentanyl, Sufentanyl und Fentanyl bei den vier verschiedenen Eingriffsarten. Angabe der relativen Häufigkeiten (%), der absoluten Häufigkeiten als Anteil an den gültigen Beantwortungen (n/n) und der p-Werte. Ermittelt mit dem ¹ Exakten Test nach Fisher. Die Kodierung der p-Werte bezieht sich jeweils auf den Vergleich zweier Opiode (Nummern in der ersten Spalte) und die Art des Eingriffs (Buchstaben in der ersten Zeile), vs. = versus.	28
Tabelle 7: Muskelrelaxation. Vergleich der diskontinuierlichen und der kontinuierlichen Muskelrelaxation bei den vier verschiedenen Eingriffsarten. Absolute Häufigkeiten als Anteil an den gültigen Beantwortungen (n/n), relative Häufigkeiten (%), ¹ Exakter Test nach Fischer, vs. = versus.....	30
Tabelle 8: Methode der Atemwegssicherung und Narkoseform bei den vier verschiedenen Eingriffsarten. Angabe der absoluten Häufigkeiten als Anteil an den gültigen Beantwortungen (n/n) und der relativen Häufigkeiten (%).	34
Tabelle 9: Zeitpunkt des Beginns der invasiven Blutdruckmessung und die Anwendung venöser Zugänge bei den vier verschiedenen Eingriffsarten. Angabe der absoluten Häufigkeiten als Anteil an den gültigen Beantwortungen (n/n) und der relativen Häufigkeiten (%).	34
Tabelle 10: Verwendung von Blasenkathetern und Auswahl der intraoperativen Opiode bei den vier verschiedenen Eingriffsarten. Angabe der absoluten Häufigkeiten als Anteil an den gültigen Beantwortungen (n/n) und der relativen Häufigkeiten (%).	35

Tabelle 11: Die Auswahl der intraoperativen Hypnotika und die Art der Muskelrelaxation bei den vier verschiedenen Eingriffsarten. Angabe der absoluten Häufigkeiten als Anteil an den gültigen Beantwortungen (n/n) und der relativen Häufigkeiten (%).	35
Tabelle 12: Die Anwendung von Relaxometrie, erweitertem hämodynamischen Monitoring, prozessierten EEG und die Bereitstellung gekreuzter Erythrozytenkonzentrate bei den vier verschiedenen Eingriffsarten. Angabe der absoluten Häufigkeiten als Anteil an den gültigen Beantwortungen (n/n) und der relativen Häufigkeiten (%).	36
Tabelle 13: Die postoperative Extubation und die postoperative Verlegung der PatientInnen sowie die Durchführung einer postoperativen cCT bei den vier verschiedenen Eingriffsarten. Angabe der absoluten Häufigkeiten als Anteil an den gültigen Beantwortungen (n/n) und der relativen Häufigkeiten (%).	36
Tabelle 14: Statistischer Vergleich des neuroanästhesiologischen Vorgehens zwischen den vier verschiedenen Eingriffsarten. Berechnung der p-Werte mit dem exakten Test nach Fisher. a: nicht-vaskulärer supratentorieller Eingriff; b: supratentorieller Gefäßeingriff; c: nicht-vaskulärer infratentorieller Eingriff; d: infratentorieller Gefäßeingriff; x: keine statistische Berechnung möglich, vs. = versus	37

15 Literaturverzeichnis

1. Grimshaw J, Russell I. Effect of clinical guidelines on medical practice: a systematic review of rigorous evaluations. *Lancet*. 1993; 342(8883): 1317–1322.
2. Kristensen S, Knuuti J, Saraste A, Anker S, Bøtker H, De Hert S, et al. 2014 ESC/ESA Guidelines on non-cardiac surgery: cardiovascular assessment and management. *European Heart Journal*. 2014; 35(35): 2383–2431.
3. Merry A, Cooper J, Soyannwo O, Wilson I, Eichhorn J. International Standards for a Safe Practice of Anesthesia 2010. *Canadian Journal of Anaesthesia*. 2010; 57(11): 1027-1034.
4. American Society of Anesthesiologists Task Force on Obstetric Anesthesia and the Society for Obstetric Anesthesia and Perinatology. Practice Guidelines for Obstetric Anesthesia: An Updated Report by the American Society of Anesthesiologists Task Force on Obstetric Anesthesia and the Society for Obstetric Anesthesia and Perinatology. *Anesthesiology*. 2016; 124(2): 270-300.
5. Hackel A, Badgwell J, Binding R, Dahm L, Dunbar B, Fischer C, et al. Guidelines for the Pediatric Perioperative Anesthesia Environment. *Pediatrics*. 1999; 103(2): 512-515.
6. Löser B, Lattau T, Sies V, Recio Ariza O, Reuter D, Schlömerkemper N, et al. International survey of neurosurgical anesthesia (iSonata): An international survey of current practices in neurosurgical anesthesia. *Der Anästhesist*. 2020; 69(3): 183-191.
7. Ljungqvist O, Scott M, Fearon K. Enhanced Recovery After Surgery: A Review. *JAMA Surgery*. 2017; 152(3): 292-298.
8. Wang Y, Liu B, Zhao T, Zhao B, Yu D, Jiang X, et al. Safety and efficacy of a novel neurosurgical enhanced recovery after surgery protocol for elective craniotomy: a prospective randomized controlled trial. *Journal of Neurosurgery*. 2018: <https://doi.org/10.3171/2018.1.JNS171552>.
9. Mishra R, Kapoor I, Mahajan C, Prabhakar H. Enhanced recovery after surgery: Neuroanaesthetic perspective. *Journal of Neuroanaesthesiology and Critical Care*. 2018; 04(01): 17–22.
10. Liu B, Liu S, Wang Y, Zhao B, Zhao T, Zhao L, et al. Neurosurgical enhanced recovery after surgery (ERAS) programme for elective craniotomies: are patients satisfied with their experiences? A quantitative and qualitative analysis. *BMJ Open*. 2019; 9(11): e028706.

11. Papanicolas I, Woskie L, Jha A. Health Care Spending in the United States and Other High-Income Countries. *Journal of the American Medical Association*. 2018; 319(10): 1024–1039.
12. Moses H, Matheson D, Cairns-Smith S, George B, Palisch C, Dorsey E. The Anatomy of Medical Research: US and International Comparisons. *Journal of the American Medical Association*. 2015; 313(2): 174–189.
13. Chivukula S, Grandhi R, Friedlander R. A brief history of early neuroanesthesia. *Neurosurgical Focus*. 2014; 36(4): E2.
14. Lanier W. The History of Neuroanesthesiology: The People, Pursuits, and Practices. *Journal of Neurosurgical Anesthesiology*. 2012; 24(4): 281-299.
15. Koschel K. Opium Alkaloids in a Cypriote Base Ring I Vessel (Bilbil) of the Middle Bronze Age from Egypt. *Ägypten und Levante / Egypt and the Levant*. 1996; 6: 159–166.
16. Haridas R. Horace Wells' Demonstration of Nitrous Oxide in Boston. *Anesthesiology*. 2013; 119(5): 1014–1022.
17. Jellish W, Edelstein S. Neuroanaesthesia. In *Handbook of Clinical Neurology*.; 2014; 121. 1623-1633.
18. Ruetsch Y, Boni T, Borgeat A. From Cocaine to Ropivacaine: The History of Local Anesthetic Drugs. *Current Topics in Medicinal Chemistry*. 2001; 1(3): 175-182.
19. Ball C WR. Local Anaesthesia — Freud, Koller and Cocaine. *Anaesthesia and Intensive Care*. 2003; 31(3): 247.
20. Goroll T, Gerresheim G, Schaffartzik W, Schwemmer U. Postmortale Organspende. *Der Anaesthesist*. 2015; 64(7): 543-556.
21. Louis D, Perry A, Reifenberger G, Von Deimling A, Figarella-Branger D, Cavenee W, et al. The 2016 World Health Organization Classification of Tumors of the Central Nervous System: a summary. *Acta Neuropathologica*. 2006; 131(6): 803–820.
22. Ostrom Q, Cioffi G, Gittleman H, Patil N, Waite K, Kruchko C, et al. CBTRUS Statistical Report: Primary Brain and Other Central Nervous System Tumors Diagnosed in the United States in 2012-2016. *Neuro-Oncology*. 2019; 21(Suppl 5): v1-v100.

23. Pérez-Larraya J, Hildebrand J. Brain metastases. In Biller J, Ferro J, editors. Handbook of Clinical Neurology.: Elsevier; 2014; 121. 1143–1157.
24. Leece R, Xu J, Ostrom Q, Chen Y, Kruchko C, Barnholtz-Sloan J. Global incidence of malignant brain and other central nervous system tumors by histology, 2003-2007. Neuro-Oncology. 2017; 19(11): 1553–1564.
25. Osbun J, Reynolds M, Barrow D. Arteriovenous malformations: epidemiology, clinical presentation, and diagnostic evaluation. In Handbook of Clinical Neurology.: Elsevier; 2017; 143. 25-29.
26. Asaithambi G, Adil M, Chaudhry S, Qureshi A. Incidences of unruptured intracranial aneurysms and subarachnoid hemorrhage: results of a statewide study. Journal of Vascular and Interventional Neurology. 2014; 7(3): 14-17.
27. Engelhard K. Neuroanästhesie. Der Anästhesist. 2016; 2: 151-162.
28. Zhang Q, Sun Y, Wang B, Wang S, Mu F, Zhang Y. Comparative study of the Ambu® AuraOnce™ laryngeal mask and endotracheal intubation in anesthesia airway management during neurosurgery. The Journal of International Medical Research. 2020; 48(2): 1-12.
29. Fan CH, Peng B, Zhang FC. Influence of laryngeal mask airway (LMA) insertion anesthesia on cognitive function after microsurgery in pediatric neurosurgery. European Review for Medical and Pharmacological Sciences. 2017; 21(4 Suppl): 37-42.
30. Grabert J, Klaschik S, Güresir A, Jakobs P, Soehle M, Vatter H, et al. Supraglottic devices for airway management in awake craniotomy. Medicine (Baltimore). 2019; 98(40): e17473.
31. Sethuram I. Neurophysiology. In Prabhakar H, editor. Essentials of Neuroanesthesia. London: Elsevier Inc; 2017. 66-72.
32. Mills S, Tomlinson A. The use of central venous cannulae in neuroanaesthesia: A survey of current practice in the UK. Anaesthesia. 2001; 56(5): 465-470.
33. Lazaridis C. Advanced hemodynamic monitoring: principles and practice in neurocritical care. Neurocritical Care. 2012; 16(1): 163–169.

34. Löser B, Recio Ariza O, März A, Löser A, Grensemann J, Petzoldt M, et al. Retrospective analysis of central venous catheters in elective intracranial surgery - Is there any benefit? *PLOS One*. 2019; 14(12): e0226641.
35. Brown T, Shah A, Bregy A, Shah N, Thambuswamy M, Barbarite E, et al. Awake Craniotomy for Brain Tumor Resection: The Rule Rather Than the Exception? *Journal of Neurosurgical Anesthesiology*. 2013; 25(3): 240–247.
36. Flexman A, Meng L, Gelb A. Outcomes in neuroanesthesia: What matters most? *Canadian Journal of Anaesthesia*. 2016; 63(2): 205–211.
37. Chui J, Mariappan R, Mehta J, Manninen P, Venkatraghavan L. Comparison of propofol and volatile agents for maintenance of anesthesia during elective craniotomy procedures: systematic review and meta-analysis. *Canadian Journal of Anaesthesia*. 2014; 61(4): 347–356.
38. Parbhakar H, Singh G, Mahajan C, Kapoor I, Kalaivani M, Anand V. Intravenous versus inhalational techniques for rapid emergence from anaesthesia in patients undergoing brain tumour surgery. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2016; 9(9): CD010467.
39. Brull S, Kopman A. Current Status of Neuromuscular Reversal and Monitoring: Challenges and Opportunities. *Anesthesiology*. 2017; 126(1): 173–190.
40. Schreiber JU, Fuchs-Buder T. Muskelrelaxanzien und Relaxometrie. In Wilhelm W, editor. *Praxis der Anästhesiologie*. Berlin: Springer-Verlag GmbH Deutschland; 2018.
41. Boztuğ N, Bigat Z, Akyuz M, Demir S, Ertok E. Does using the bispectral index (BIS) during craniotomy affect the quality of recovery? *Journal of Neurosurgical Anesthesiology*. 2006; 18(1): 1-4.
42. Escallier K, Nadelson M, Zhou D, Avidan M. Monitoring the brain: processed electroencephalogram and peri-operative outcomes. *Anesthesia*. 2014; 69(8): 899–910.
43. Barth M, Weiss C, Schmieder K. Red blood cell transfusion probability and associated costs in neurosurgical procedures. *Acta Neurochirurgica*. 2018; 160(7): 1483–1489.
44. Seicean A, Alan N, Seicean S, Neuhauser D, Selman W, Bambakidis N. Risks associated with preoperative anemia and perioperative blood transfusion in open surgery for intracranial aneurysms. *Journal of Neurosurgery*. 2015; 123(1): 91-100.

45. Gruenbaum S, Ruskin K. Red blood cell transfusion in neurosurgical patients. *Current Opinion in Anaesthesiology*. 2014; 27(5): 470–473.
46. Badenes R, Prisco L, Maruenda A, Taccone F. Criteria for Intensive Care admission and monitoring after elective craniotomy. *Current Opinion in Anaesthesiology*. 2017; 30(5): 540–545.
47. Schär R, Fiechter M, Z'Graggen W, Söll N, Krejci V, Wiest R, et al. No Routine Postoperative Head CT following Elective Craniotomy - A Paradigm Shift? *PLOS One*. 2016; 11(4): e0153499.
48. Alkhalili K, Zenonos G, Tataryn Z, Amankulor N, Engh J. The Utility of Early Postoperative Head Computed Tomography in Brain Tumor Surgery: A Retrospective Analysis of 755 Cases. *World Neurosurgery*. 2018; 111: e206-e2012.
49. United States Census Bureau - Population Division. Annual Estimates of the Resident population for the United States, Regions, States and Puerto Rico: April 1, 2010 to July 1, 2019 [Excel-Tabelle]. USA; 2019 [cited 2020 03 15. Available from: <https://www.census.gov/newsroom/press-kits/2019/national-state-estimates.html>.
50. Kang S, Park M. Comparison of early postoperative recovery between laryngeal mask airway and endotracheal tube in laparoscopic cholecystectomy: A randomized trial. *Medicine*. 2019; 98(25): e16022.
51. Mahajan C. Aneurysmal Subarachnoid Hemorrhage. In Prabhakar H. *Essentials of Neuroanesthesia*. London: Elsevier Inc; 2017. 328.
52. Chaix I, Manquat E, Liu N, Casadio M, Ludes PO, Tantot A, et al. Impact of hypotension on cerebral perfusion during general anesthesia induction: A prospective observational study in adults. *Acta Anaesthesiologica Scandinavica*. 2020; 64(5): 592-601.
53. Sinha P, Neema P, Rathod R. Anesthesia and intracranial arteriovenous malformation. *Neurology India*. 2004; 52(2): 163-170.
54. Rubin D, Apfelbaum J, Tung A. Trends in Central Venous Catheter Insertions by Anesthesia Providers: An Analysis of the Medicare Physician Supplier Procedure Summary From 2007 to 2016. *Anesthesia and Analgesia*. 2020; 130(4): p. 1026-1034.
55. Patel A, Patel A, Singh S, Singh S, Khawaja I. Central Line Catheters and Associated Complications: A Review. *Cureus*. 2019; 11(5): e4717.

56. McGee D, Gould M. Preventing complications of central venous catheterization. *The New England Journal of Medicine*. 2003; 348(12): 1123-1133.
57. Vincent J, Michard F, Saugel B. Intensive care medicine in 2050: towards critical care without central lines. *Intensive Care Medicine*. 2018; 44(6): 922–924.
58. Djordjevic Z, Jankovic S, Gajovic O, Djonovic N, Folic N, Bukumiric Z. Hospital infections in a neurological intensive care unit: incidence, causative agents and risk factors. *Journal of Infection ind Developing Countries*. 2012; 6(11); 6(11): 798–805.
59. Sacko O, Lauwers-Cances V, Brauge D, Sesay M, Brenner A, Roux FE. Awake craniotomy vs surgery under general anesthesia for resection of supratentorial lesions. *Neurosurgery*. 2011; 68(5): 1192-1198.
60. Hervey-Jumper S, Li J, Lau D, Molinaro A, Perry D, Meng L, et al. Awake craniotomy to maximize glioma resection: methods and technical nuances over a 27-year period. *Journal of Neurosurgery*. 2015; 123(2): 325–339.
61. Engelhard K, Werner C. Inhalational or intravenous anesthetics for craniotomies? Pro inhalational. *Current Opinion in Anaesthesiology*. 2006; 19(5): 504–508.
62. Zuleta-Alarcón A, Castellón-Larios K, Mejía M, Bergese S. Total intravenous anaesthesia versus inhaled anaesthetics in neurosurgery. *Colombian Journal of Anesthesiology*. 2015; 43(suppl1): 9-14.
63. Strebel S, Lam A, Matta B, Mayberg T, Aaslid R, Newell D. Dynamic and static cerebral autoregulation during isoflurane, desflurane, and propofol anesthesia. *Anesthesiology*. 1995; 83(1): 66–76.
64. Hagan K, Bhavsar S, Raza S, Arnold B, Arunkumar R, Dang A, et al. Enhanced recovery after surgery for oncological craniotomies. *Journal of Clinical Neuroscience : Official Journal of the Neurosurgical Society of Australasia*. 2016; 24: 10–16.
65. Petersen K, Landsfeldt U, Cold G, Petersen C, Mau S, Hauerberg J, et al. Intracranial Pressure and Cerebral Hemodynamic in Patients with Cerebral Tumors: A randomized prospective study of patients subjected to craniotomy in propofol-fentanyl, isoflurane-fentanyl, or sevoflurane-fentanyl anesthesia. *Anesthesiology*. 2003; 98(2): 329–336.

66. Schifilliti D, Grasso G, Conti A, Fodale V. Anaesthetic-Related Neuroprotection: Intravenous or Inhalational Agents? *CNS Drugs*. 2010; 24(11): 893–907.
67. Citerio G, Pesenti A, Latini R, Masson S, Barlera S, Gaspari F, et al. A multicentre, randomised, open-label, controlled trial evaluating equivalence of inhalational and intravenous anaesthesia during elective craniotomy. *European Journal of Anaesthesiology*. 2012; 29(8): 371–379.
68. Necib S, Tubach F, Peuch C, LeBihan E, SAmain E, Mantz J, et al. Recovery from anesthesia after craniotomy for supratentorial tumors: comparison of propofol-remifentanil and sevoflurane-sufentanil (the PROMIFLUNIL trial). *Journal of Neurosurgical Anesthesiology*. 2014; 26(1): 37–44.
69. Magni G, Baisi F, La Rosa I, Imperiale C, Fabbrini V, Pennacchiotti M, et al. No difference in emergence time and early cognitive function between sevoflurane-fentanyl and propofol-remifentanil in patients undergoing craniotomy for supratentorial intracranial surgery. *Journal of Neurosurgical Anesthesiology*. 2005; 17(3): 134–138.
70. Hans P, Bonhomme V. Why we still use intravenous drugs as the basic regimen for neurosurgical anaesthesia neurosurgical anesthesia. *Current Opinion in Anesthesiology*. 2006; 19(5): 498-503.
71. Schraag S, Pradelli L, Alsaleh A, Bellone M, Ghetti G, Chung T, et al. Propofol vs. inhalational agents to maintain general anaesthesia in ambulatory and in-patient surgery: A systematic review and meta-analysis. *BMC Anesthesiology*. 2018; 18(1): 162.
72. Uribe A, Stoicea N, Echeverria-Villalobos M, Todeschini A, Esparza Gutierrez A, Folea A, et al. Postoperative Nausea and Vomiting After Craniotomy: An Evidence-based Review of General Considerations, Risk Factors, and Management. *Journal of Neurosurgical Anesthesiology*. 2019; 33(3): 381-386.
73. Rinehardt E, Sivarajan M. Costs and wastes in anesthesia care. *Current Opinion in Anaesthesiology*. 2012; 25(2): 221–225.
74. Wilhelm W, Bruhn J. Intravenöse Anästhetika, TIVA und TCI. In Wilhelm W, editor. *Praxis der Anästhesiologie*. Berlin: Springer; 2018. 75-76.
75. Forster A, Juge O, Morel D. Effects of midazolam on cerebral hemodynamics and cerebral vasomotor responsiveness to carbon dioxide. *Journal of Cerebral Blood Flow and Metabolism*. 1983; 3(2): 246-249.

76. Ogawa Y, Iwasaki K, Aoki K, Gokan D, Noriya H, Jitsu K, et al. The different effects of midazolam and propofol sedation on dynamic cerebral autoregulation. *Anesthesia and Analgesia*. 2010; 111(5): 1279–1284.
77. Bailey J. Context-Sensitive Half-Times - What Are They and How Valuable Are They in Anaesthesiology? *Clinical Pharmacokinetics*. 2002; 41(11): 793–799.
78. Bauer C, Kreuer S, Ketter R, Grundmann U, Wilhelm W. Remifentanil-Propofol- versus Fentanyl-Midazolam-Kombination bei intrakraniellen Eingriffen: Einfluss von Anästhesietechnik und Intensivanalgesiedierung auf Beatmungszeiten und Dauer des Intensivaufenthalts. *Der Anaesthesist*. 2007; 56(2): 128–132.
79. Darmawikarta D, Sourour M, Couban R, Kamath S, Reddy K, Shanthanna H. Opioid-Free Analgesia for Supratentorial Craniotomies: A Systematic Review. *Canadian Journal of Neurological Sciences*. 2019; 46(4): 415–422.
80. Viviani X, Garnier F. Les morphiniques (sufentanil et rémifentanil) en neuro-anesthésie. *Annales Francaises d'Anesthesie et de Reanimation*. 2004; 23(4): 383–388.
81. Werner C, Hoffman W, Baughman V, Albrecht R, Schulte J. Effects of sufentanil on cerebral blood flow, cerebral blood flow velocity, and metabolism in dogs. *Anesthesia and Analgesia*. 1991; 72(2): 177–181.
82. Hänel F, Werner C, von Knobelsdorff G, Schulte am Esch J. The Effects of Fentanyl and Sufentanil on Cerebral Hemodynamics. *Journal of Neurosurgical Anesthesiology*. 1997; 9(3): 223–227.
83. Paris A, Scholz J, von Knobelsdorff G, Tonner P, Schulte am Esch J. The effect of remifentanil on cerebral blood flow velocity. *Journal of Neurosurgical Anesthesiology*. 1998; ;87(3): 569–573.
84. Fodale V, Schifilliti D, Praticò C, Santamaria L. Remifentanil and the brain. *Acta Anaesthesiologica Scandivavica*. 2008; 52(3): 319–326.
85. Ostapkovich N, Baker K, Fogarty-Mack P, Sisti M, Young W. Cerebral blood flow and CO₂ reactivity is similar during remifentanil N₂O and fentanyl N₂O anesthesia. *Anesthesiology*. 1998; 89(2): 358–363.
86. Uchida K, Yasunaga H, Sumitani M, Horiguchi H, Fushimi K, Yamada Y. Effects of remifentanil on in-hospital mortality and length of stay following clipping of intracranial aneurysm: a propensity score-matched analysis. *Journal of Neurosurgical Anesthesiology*. 2014; 26(4): 291–298.

87. Djian M, Blanchet B, Pesce F, Sermet A, Disdet M, Vazquez V, et al. Comparison of the time to extubation after use of remifentanyl or sufentanyl in combination with propofol as anesthesia in adults undergoing nonemergency intracranial surgery: a prospective, randomized, double-blind trial. *Clinical Therapeutics*. 2006; 28(4): 560–568.
88. Freissmuth M, Offermanns S, Böhm S. *Pharmakologie und Toxikologie: Von den molekularen Grundlagen zur Phramakotherapie*; 2. Auflage Berlin, Heidelberg: Springer; 2012, 2016.
89. Del Gaudio A, Ciritella P, Perrotta F, Puopolo M, Lauti E, Mastronardi P, et al. Remifentanyl vs fentanyl with a target controlled propofol infusion in patients undergoing craniotomy for supratentorial lesions. *Minerva Anesthesiologica*. 2006; 72(5): 309–319.
90. Uchida K, Yasunaga H, Miyata H, Sumitani M, Horiguchi H, Matsuda S, et al. Impact of remifentanyl use on early postoperative outcomes following brain tumor resection or rectal cancer surgery. *Journal of Anesthesia*. 2012; 26(5): 711–720.
91. Engoren M, Luther G, Fenn-Buderer N. A Comparison of Fentanyl, Sufentanyl, and Remifentanyl for Fast-Track Cardiac Anesthesia. *Anesthesia & Analgesia*. 2001; 93(4): 859–864.
92. Kofke W, Attaallah A, Kuwabara H, Garman R, Sinz E, Barbaccia J, et al. The neuropathologic effects in rats and neurometabolic effects in humans of large-dose remifentanyl. *Anesthesia and Analgesia*. 2002; 94(5): 1229–1236.
93. Kim SH, Jin SJ, Karm MH, Moon YJ, Jeong HW, Kim JW, et al. Comparison of false-negative/positive results of intraoperative evoked potential monitoring between no and partial neuromuscular blockade in patients receiving propofol/remifentanyl-based anesthesia during cerebral aneurysm clipping surgery. *Medicine (Baltimore)*. 2016; 95(34): e4725.
94. Murtua M, Deogaonkar A, Bakri M, Mascha E, Na J, Foss J, et al. Dosing of remifentanyl to prevent movement during craniotomy in the absence of neuromuscular blockade. *Journal of Neurosurgical Anesthesiology*. 2008; 20(4): 221–225.
95. McLean D, Diaz-Gil D, Farhan H, Ladha K, Kurth T, Eikermann M. Dose-dependent Association between Intermediate-acting Neuromuscular-blocking Agents and Postoperative Respiratory Complications. *Anesthesiology*. 2015; 122(6): 1201–1213.
96. Murphy G, Brull S. Residual neuromuscular block: lessons unlearned. Part I: definitions, incidence, and adverse physiologic effects of residual neuromuscular block. *Anesthesia and Analgesia*. 2010; 111(1): 120–128.

97. American Society of Anesthesiologists Task Force on Intraoperative Awareness. Practice advisory for intraoperative awareness and brain function monitoring: a report by the american society of anesthesiologists task force on intraoperative awareness. *Anesthesiology*. 2006; 104(4): 847–864.
98. Fahy B, Chau D. The Technology of Processed Electroencephalogram Monitoring Devices for Assessment of Depth of Anesthesia. *Anesthesia and Analgesia*. 2018; 126(1): 111–117.
99. Oliveira C, Bernardo W, Nunes V. Benefit of general anesthesia monitored by bispectral index compared with monitoring guided only by clinical parameters. Systematic review and meta-analysis. *Brazilian Journal of Anesthesiology*. 2017; 67 (1): 72–84.
100. National Institute for Health and Care Excellence. Depth of anaesthesia monitors – Bispectral Index (BIS), E-Entropy and Narcotrend-Compact M [PDF-Dokument].; 2012 [cited 2021 08 11. Available from: <https://www.nice.org.uk/guidance/dg6>.
101. Sudhakaran R, Makkar J, Jain D, Wig J, Chabra R. Comparison of bispectral index and end-tidal anaesthetic concentration monitoring on recovery profile of desflurane in patients undergoing lumbar spine surgery. *Indian Journal of Anaesthesia*. 2018; 62(7): 516-523.
102. Akavipat P, Hungsawanich N, Jansin R. Alternative placement of bispectral index electrode for monitoring depth of anesthesia during neurosurgery. *Acta Medica Okayama*. 2014; 68(3): 151–155.
103. Shiraishi T, Uchino H, Sagara T, Ishii N. A Comparison of Frontal and Occipital Bispectral Index Values Obtained During Neurosurgical Procedures. *Anesthesia & Analgesia*. 2004; 98(6): 1773–1775.
104. Ali Z, Umamaheswara Rao G, Jaganath A. Haemodynamic Changes During Craniotomy Monitored By A Bioimpedance Plethysmographic Noninvasive Cardiac Output Monitor. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*. 2009; 23(3); 23(3): 157–161.
105. Kendrick J, Kaye A, Tong Y, Belani K, Urman R, Hoffman C, et al. Goal-directed fluid therapy in the perioperative setting. *Journal of Anaesthesiology Clinical Pharmacology*. 2019; 35(Suppl 1): 29–34.
106. Kisilevsky A, Gelb A, Bustillo M, Flexman A. Anaemia and red blood cell transfusion in intracranial neurosurgery: a comprehensive review. *British Journal of Anaesthesia*. 2018; 120(5): 988–998.

107. Goodnough L, Shander A. Patient Blood Management. *Anesthesiology*. 2012; 116(6): 1367–1376.
108. Fàbregas N, Bruder N. Recovery and neurological evaluation. In *Best practice & Research: Clinical Anesthesiology*.; 2007; 21(4). 431–447.
109. Woolf S, Grol R, Hutchinson A, Eccles M, Grimshaw J. Clinical guidelines: potential benefits, limitations, and harms of clinical guidelines. *British Medical Journal*. 1999; 318(7182): 527–530.
110. Napierala H, Schäfer L, Schott G, Schurig N, Lempert T. Management of financial conflicts of interests in clinical practice guidelines in Germany: results from the public database Guideline Watch. *BMC Medical Ethics*. 2018; 19(1): 65.

16 Thesen

Es mangelt an umfassenden, allgemein anerkannten Leitlinien für das perioperative neuroanästhesiologische Management in den USA.

Die Umsetzung eines allgemein anerkannten neuroanästhesiologischen Standards unter US-amerikanischen AnästhesistInnen bei elektiven intrakraniellen Eingriffen zeichnet sich nur in Teilaspekten ab.

Übereinstimmende anästhesiologische Vorgehensweisen bei elektiven intrakraniellen Eingriffen in den USA zeigen sich für die Art der Atemwegssicherung, die Narkoseführung, die Verwendung von Venen- und Blasenkathetern, die überwiegend verwendeten Opioide und Hypnotika sowie die postoperative Versorgung.

Heterogene anästhesiologische Vorgehensweisen bei elektiven intrakraniellen Eingriffen in den USA stellen sich in den folgenden Bereichen dar: Perioperatives Blutdruckmonitoring, Muskelrelaxation und perioperatives Neuromonitoring, perioperative Bereitstellung von Blutkonserven sowie postoperative Bildgebung des Kopfes.

In den USA zeigt sich bei elektiven intrakraniellen Eingriffen in den Bereichen Blutdruckmonitoring, Anlage zentraler Venenkatheter, Neuromonitoring und Bereitstellung von Blutkonserven eine Abhängigkeit des neuroanästhesiologischen Vorgehens von der Eingriffsart (vaskulär vs. nicht-vaskulär).

Da sich die medizinische Versorgung von PatientInnen durch die Anwendung fundierter Leitlinien verbessern lässt, sollte die Formulierung einer allgemein anerkannten Leitlinie für die perioperative neuroanästhesiologische Versorgung in den USA vorangetrieben werden.

17 Lebenslauf

Christian Philipp Valentin Sies, geb. 18. Juni 1990 in Hamburg

Klinische Tätigkeit:

03/2023	Assistenzarzt Innere Medizin St. Joseph Krankenhaus Berlin Tempelhof
08/2021 – 03/2023	Assistenzarzt Innere Medizin Park-Klinik Weißensee, Berlin
05/2020 – 04/2021	Assistenzarzt Innere Medizin GLG Werner Forßmann Klinikum, Eberswalde
02/2019 – 01/2020	Arzt in der mobilen Blutspende DRK-Blutspendedienst Nord-Ost, Lütjensee

Ausbildung:

10/2012 – 11/2018	Humanmedizin – Universitätsmedizin Rostock Staatsexamen (Gesamtnote 2,0)
10/2011 – 03/2012	Energie- und Ressourcenmanagement Hochschule für Wirtschaft und Umwelt, Geislingen
08/1997 – 06/2010	Rudolf Steiner Schule Hamburg-Wandsbek Allgemeine Hochschulreife (Gesamtnote 1,4)

Auslandsaufenthalte:

02/2016 – 06/2016	Erasmus-Semester Türkei Capa Tip Fakültesi – Universitätsmedizin Istanbul
09/2010 – 08/2011	Anderer Dienst im Ausland (ADIA) Rumphi, Malawi

Fremdsprachen:

Englisch fließend
Französisch in Grundlagen