

Diplomarbeit

**Schlaf-Wach-Technik bei Kraniotomien -
eine Herausforderung für die
Anästhesie**

eingereicht von
Astrid Venningdorf

Zur Erlangung des akademischen Grades
**Doktorin der gesamten Heilkunde
(Dr. med. univ.)**

an der
Medizinischen Universität Graz

ausgeführt an der
Klinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin

unter der Leitung von
Ass.-Prof. Dr. med. univ. Henrika Voit-Augustin
und
ao. Univ-Prof. Dr. Gottfried Fuchs

Graz, am 26.02.2015

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am 26. Februar 2015

Astrid Venningdorf eh.

Gender Erklärung

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird in dieser Diplomarbeit die Sprachform des generischen Maskulinums angewendet. Es wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die ausschließliche Verwendung der männlichen Form geschlechtsunabhängig verstanden werden soll.

Danksagung

Zunächst möchte ich mich bei Frau *Ass.-Prof. Dr. Henrika Voit-Augustin* für die hervorragende Betreuung, die Beantwortung all meiner Fragen und die Ratschläge von der Planung bis zur Fertigstellung dieser Diplomarbeit bedanken.

Ein besonderer Dank gilt Herrn *ao. Univ-Prof. Dr. Gottfried Fuchs* für die großzügige Unterstützung, sowie für sämtliche Anregungen und Korrekturen. Ebenso möchte ich mich für die zur Verfügung gestellten Wachkraniotomie-Fotos bedanken.

Der größte Dank gilt meiner Familie, insbesondere meinen Eltern, die mich durch alle Höhen und Tiefen des Studiums hindurch begleitet haben, mir immer mit ihrem Rat zur Seite gestanden sind und auf deren Unterstützung ich immer zählen konnte. Danke.

Zusammenfassung

Hintergrund: Die Wachkraniotomie ist die bevorzugte Operationsmethode, um Läsionen, die sich in der Nähe oder im Bereich von funktionellen Kortexarealen befinden, zu entfernen.

Für das anästhesiologische Management stehen verschiedene Techniken zur Verfügung, die sich sowohl in der Art der Sedierung, den angewandten Medikamenten und dem Atemwegsmanagement unterscheiden.

Das Ziel dieser Diplomarbeit ist es, ein einheitliches Narkoseprotokoll für zukünftige Wachkraniotomien zu erstellen, ohne postulieren zu wollen, dass es sich dabei um die beste Methode handelt.

Methoden: Der erste Teil der Arbeit bestand aus einer Literaturrecherche, um den aktuellen Stand der verschiedenen Methoden aufzuzeigen.

Im zweiten Teil erfolgte die Auswertung der Narkoseprotokolle von 30 Patienten, die im Zeitraum zwischen November 2008 und Juli 2014 an einer Wachkraniotomie am Grazer Universitätsklinikum teilnahmen. Ein spezielles Augenmerk wurde dabei auf die Analyse verschiedener hämodynamischer (RR, Hf) und respiratorischer (etCO₂, SpO₂) Parameter, sowie den Medikamentenverbrauch, das Atemwegsmanagement und Komplikationen während und nach der OP gelegt.

Ergebnisse: Von den 30 Operationen wurden 19 Patienten als „Monitored Anaesthesia Care = MAC“ geführt, bei den restlichen 11 Patienten wurde eine „Asleep-Awake-Asleep = AAA“-Technik angewandt. Interessanterweise zeigte sich in der ersten Gruppe während der gesamten Operation ein etwas höherer Verbrauch an Propofol (5,42 mg/kg/h in der 2. Schlafphase und 4,49 mg/kg/h in der 3. Schlafphase) gegenüber der 2. Gruppe (4,77 mg/kg/h und 3,73 mg/kg/h). Der Remifentanil-Verbrauch war in beiden Gruppen, bis auf zwei Ausnahmen im AAA-Kollektiv, über die gesamte OP-Dauer annähernd gleich (MAC: 0,033 µg/kg/min., AAA: 0,031 µg/kg/min.).

Als häufigste Komplikation wurde ein erhöhtes etCO₂ beobachtet. In der MAC-Gruppe (n=16) kam es bei 11 Patienten (68,75%) zu einem Überschreiten des endtidalen CO₂-Grenzwerts von 45 mmHg, in der AAA-Gruppe (n=8) bei 6 Patienten (75%).

Schlussfolgerung: Für zukünftige Wachkraniotomien soll in Graz die MAC-Methode als bevorzugte Technik angewandt werden, da die AAA-Methode nur bei beatmeten Patienten überlegen ist. Allerdings gilt es den Propofolverbrauch während der Operation zu reduzieren, um eine Hyperkapnie zu vermeiden. Als initiale Dosis zur Sedierung wird eine Spannweite zwischen 6-9 mg/kg/h, zur Aufrechterhaltung 1-3 mg/kg/h empfohlen. Der BIS-Wert sollte zwischen 70 und 80 liegen.

Durch die Anlage eines Skalpblocks kann auch der Verbrauch an Remifentanyl verringert werden.

Dieses Vorgehen soll eine adäquate Sedierung und Analgesie gewährleisten, gleichzeitig aber ein schnelles Erwachen ermöglichen.

Abstract

Background: Awake craniotomy is the preferred method for the removal of brain tumors, if the lesion is located near or within the range of functional areas of the cortex. Several anesthetic techniques have been reported, which differ in their type of sedation, the used drugs as well as in the airway management. The target of this thesis is to establish a standard protocol for anesthesia for future awake craniotomies without stating this would be the best method.

Methods: At first a literature research was performed to compare the different techniques. Then the anesthetic charts of 30 patients, who underwent awake craniotomy between November 2008 and July 2014 at the University Hospital of Graz, were reviewed. Data of interest included different hemodynamic (BP, HR) and respiratory (etCO₂, oxygen saturation) parameters as well as drug requirement, airway management and complications during and after surgery.

Results: From 30 procedures, 19 patients received a “Monitored Anaesthesia Care = MAC”, for the other 11 patients “Asleep-Awake-Asleep = AAA” technique was used. Surprisingly the requirement of propofol was slightly higher in the first group (5,42 mg/kg/h during the second asleep phase and 4,49 mg/kg/h during the third asleep phase) than it was in the second group (4,77 mg/kg/h and 3,73 mg/kg/h). The requirement of remifentanyl was almost equal in both groups during the procedure, except for two patients from the AAA-group (MAC: 0,033 µg/kg/min., AAA: 0,031 µg/kg/min.). Hypercapnia was observed as the most frequent complication. Within the MAC-group (n=16) the critical value of 45 mmHg etCO₂ was exceeded by 11 patients (68,75%), within the AAA-group (n=8) by 6 patients (75%).

Conclusions: For future awake craniotomy procedures “Monitored Anaesthesia Care” is the preferred method, because AAA is only superior if the patients are ventilated. The dosage of propofol should be reduced though, to avoid hypercapnia. For induction of the sedation an infusion rate between 6-9 mg/kg/h is recommended, for maintenance 1-3 mg/kg/h. Target BIS value lies between 70 and 80. After performing a scalp block, the dosage of remifentanyl can be reduced as well.

Inhaltsverzeichnis

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG	ii
GENDER ERKLÄRUNG	iii
DANKSAGUNG	iv
ZUSAMMENFASSUNG	v
ABSTRACT	vii
INHALTSVERZEICHNIS	viii
GLOSSAR UND ABKÜRZUNGEN	x
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	xi
TABELLENVERZEICHNIS	xii
1 Einleitung	2
1.1 Die Wachkraniotomie – eine Herausforderung für die Anästhesie	2
1.2 Ein kurzer historischer Überblick	2
1.3 Anwendungsgebiete	6
1.3.1 „brain mapping“	7
1.3.2 Elektrokortikographie	10
2 Anästhesiologisches Management	11
2.1 Präoperative Patientenevaluierung	11
2.2 Sedierung und Analgesie im Wandel der Zeit	14
2.2.1 Die Ära der Neuroleptanalgesie	14
2.2.2 Propofol und Opioide	15
2.2.3 Dexmedetomidine	17
2.2.4 Lokalanästhesie und Skalpblock	18
2.3 Techniken	21
2.3.1 Monitored Anaesthesia Care	22
2.3.2 Asleep-Awake-Asleep Technik	24
2.3.3 Awake-Awake Technik	28
2.4 Prämedikation	29
2.5 Monitoring	30
2.6 Komplikationen	32
2.7 Wachkraniotomien im Vergleich zu Tumoroperationen in Allgemeinnarkose	34
2.8 Die Patientenzufriedenheit bei Wachkraniotomien	36
3 Retrospektive Datenauswertung und Analyse der Wachkraniotomien am Universitätsklinikum Graz	40
3.1 Patienten und Methoden	40
3.2 Prämedikation	42
3.3 Monitoring und OP-Vorbereitung	43

3.4 Intraoperatives Management	48
3.5 Komplikationen und neurologisches Outcome	54
4 Erstellung eines Narkoseprotokolls	60
4.1 Prämedikation	60
4.2 OP-Vorbereitung	61
4.3 Intraoperatives Management	65
4.4 Zusammenfassung: Narkoseprotokoll Wachkraniotomie	70
LITERATURVERZEICHNIS	72

Glossar und Abkürzungen

AAA	Asleep-Awake-Asleep
Abb.	Abbildung
BIS	Bispectral Index
BP	Blood pressure
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CRP	C-reaktives Protein
Ebda.	ebenda
ECoG	Elektrocorticographie
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
EKG	Elektrokardiographie
et al.	et altera
etCO₂	endtidales CO ₂ , end tidal CO ₂
fMRT	funktionelle Magnetresonanztomographie
HDK	Harndauerkatheter
HR	Heart rate
ICP	intracranial pressure
ICU	Intensive Care Unit
IL	Interleukin
i.v.	intravenös
KI	Kurzinfusion
LMA	laryngeal mask airway
MAC	Monitored Anaesthesia Care
MAP	mean arterial pressure
N.	Nervus
NIBP	non-invasive blood pressure
OP	Operation
p.o.	per os
PONV	postoperative nausea and vomiting
RR	Riva Rocci
SpO₂	Sauerstoffsättigung
TCI	Target Controlled Infusion
TIVA	total intravenöse Anästhesie
z.B.	zum Beispiel
ZNS	Zentralnervensystem
ZVK	Zentralvenöser Katheter

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Homunculus http://brainmind.com/BrainLecture8.html (Stand: 11.02.2014)	4
Abb. 2: Brodmann: Funktionen kortikaler Areale http://en.wikipedia.org/wiki/Brodmann_area (Stand: 04.08.2014)	8
Abb. 3: brain mapping http://www.ajnr.org/content/27/3/493/F3.expansion.html (Stand: 24.02.2014)	10
Abb. 4: Die Kopfhaut versorgende Nerven Sahjpaul RL. Awake Craniotomy: Controversies, Indications and Techniques in the Surgical Treatment of Temporal Lobe Epilepsy. Can J Neurol Sci. 2000 May;27 Suppl 1:58	20
Abb. 5: Bispectral Index Olson DM, Chioffi SM, Macy GE. Potential Benefits of Bispectral Index Monitoring in Critical Care. A Case Study. Crit Care Nurse. 2003 Aug;23(4):45-52	31
Abb. 6: OP-Vorbereitung (zur Verfügung gestellt von Ao. Univ.-Prof. Dr. Gottfried Fuchs)	43
Abb. 7: Monitoring (zur Verfügung gestellt von Ao. Univ.-Prof. Dr. Gottfried Fuchs)	45
Abb. 8: Blockade des Nervus supraorbitalis (Bild: Astrid Venningdorf)	47
Abb. 9: Wachphase: der Patient telefoniert (zur Verfügung gestellt von Ao. Univ.-Prof. Dr. Gottfried Fuchs)	49
Abb. 10: Durchführung einer motorischen Übung (Bild: Astrid Venningdorf)	49
Abb. 11: AAA-Technik: Wendel und Guedel-Tubus (zur Verfügung gestellt von Ao. Univ.-Prof. Dr. Gottfried Fuchs)	52

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Altersverteilung	40
Tab. 2: Symptome bei der Erstmanifestation des Tumors	41
Tab. 3: Tumorhistologie	41
Tab. 4: Medikamente und Dosierungen zur Einleitung der 1. Schlafphase	44
Tab. 5: Antiemetika	46
Tab. 6: Durchschnittlicher Medikamentenverbrauch der einzelnen MAC-Patienten	50
Tab. 7: Durchschnittlicher Medikamentenverbrauch der einzelnen AAA-Patienten	53
Tab. 8: Durchschnittlicher Narkosemittelverbrauch in den einzelnen OP-Phasen	54
Tab. 9: respiratorische Komplikationsraten während der Schlafphasen im OP	56
Tab. 10: hämodynamische Komplikationsraten während der Schlafphasen im OP	57
Tab. 11: Neurologische Komplikationen	59

*„There are many brain areas that can be removed
with little or no detectable functional loss.
During such surgical procedures, the skull is opened
and the brain exposed under local anesthesia,
while the patient lies on the operating table fully conscious.
(...) The patient talks and answers
the surgeon`s questions while he maps out the various functional
areas by applying a gentle electrical stimulus
here and there on the cortex.“¹*

Wilder Penfield

¹ Conte V, Baratta P, Tomaselli V. Awake surgery: an update. *Minerva Anestesiol* 2008 Jun;74(6)290.

1 Einleitung

1.1 Die Wachkraniotomie – eine Herausforderung für die Anästhesie

Ursprünglich aus der Epilepsiechirurgie kommend, wird die Wachkraniotomie heutzutage bei zahlreichen Indikationen angewendet, sei es bei der Tumorentfernung in eloquenten Hirnarealen oder bei der tiefen Hirnstimulation. Es gibt mittlerweile verschiedene anästhesiologische Techniken eine Wachkraniotomie durchzuführen, sie unterscheiden sich sowohl in der Art der Anästhesie, den verwendeten Medikamenten als auch dem Atemwegsmanagement. Allen Methoden gemein ist, dass der Patient eine adäquate Sedierung und Analgesie erhalten muss, um den schmerzhaften Teil der Prozedur zu überstehen, während den Testungen am Kortex nach funktionellen Arealen aber wach und kooperativ sein muss, um z.B. in der Tumorchirurgie zu gewährleisten, dass ein Maximum an Tumorgewebe ohne neurologisches Defizit entfernt werden kann. Diesen Spagat zu meistern, stellt für jeden Anästhesisten eine große Herausforderung dar.

Der erste Teil dieser Arbeit stellt eine Literaturrecherche bezüglich der Anwendungsgebiete, der verschiedenen Methoden und des anästhesiologischen Managements dar.

Im zweiten Teil werden die Narkoseprotokolle von 30 Wachkraniotomien an der Grazer Universitätsklinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin ausgewertet, sowie mit den Ergebnissen der Literaturrecherche verglichen und anhand der Resultate ein Narkoseprotokoll für zukünftige Wachkraniotomien erstellt, ohne dabei postulieren zu wollen, dass es sich dabei um die beste Methode handelt.

1.2 Ein kurzer historischer Überblick

Archäologische Funde belegen, dass die ersten Wachkraniotomien mittels Trepanation bereits vor 10 000 Jahren durchgeführt wurden, weit bevor es zur Entwicklung der Allgemeinanästhesie kam. Besonders die indigenen Völker in Peru und Bolivien beherrschten diese Technik ausgezeichnet, man fand in Gräbern Schädelknochen, die Anzeichen eines vollständigen Heilungsprozesses nach Operation aufwiesen.

Die Trepanation wurde damals vermutlich unter Lokalanästhesie durchgeführt, indem man den Wirkstoff Kokain aus Coca-Blättern verwendete.²

Der Ursprung der heutzutage durchgeführten Kraniotomien liegt in der Epilepsiechirurgie. Der damals 29-jährige Arzt Victor Horsley praktizierte die ersten Operationen am Gehirn, indem er Chloroform und Morphinum für die Narkose verwendete.

Bei Horsley's erstem Patienten James B. handelte es sich um einen 22-jährigen Mann, der seit seinem 7. Lebensjahr aufgrund eines Verkehrsunfalls an Epilepsie litt. Er zog sich eine Impressionsfraktur des Schädels zu und es kam zu einer zerebralen Hernie. Im Alter von 15 Jahren begannen die epileptischen Anfälle, 1885 kam es zu mehreren Status epileptici, sodass man sich für eine Operation entschied.

Horsley resezierte die kortikale Narbe, die den Ursprung der epileptischen Anfälle darstellte, zusammen mit einem halben Zentimeter umgebendem Hirngewebe - der Patient war daraufhin frei von Krampfanfällen.³

In weiterer Folge vollführte Horsley unzählige Operationen an Patienten mit Epilepsie, konnte aber nie den Zusammenhang zwischen der Wichtigkeit dieser Operation mit der Tumorchirurgie herstellen. Er ahnte jedoch, dass es noch mehr Möglichkeiten geben könnte, da keine Komplikationen auftraten, auch wenn er einen Teil des Gehirns entfernte⁴:

*„In conclusion I think the details of the cases contained in the accompanying table show that the operation of exposing and removing considerable quantity of brain is not to be ranked among the "dangerous" procedures of surgery“.*⁵

Zu diesem Zeitpunkt wusste man bereits von verschiedenen kortikalen Arealen, die für bestimmte Funktionen zuständig waren. Vor allem der kanadische Neurochirurg Wilder Penfield trug mit seinen „brain mapping“-Experimenten entscheidend zu diesem Wissen bei.

² Vgl. Bulsara KR, Johnson J, Villavicencio AT. Improvements in Brain Tumor Surgery: the Modern History of Awake Craniotomies. Neurosurg Focus 2005 Apr 15;18(4)e5.

³ Vgl. Hosley V. Brain Surgery. Br Med J 1886;2:670-5.

⁴ Vgl. Taylor DC. One hundred years of epilepsy surgery: Sir Victor Horsley's contribution. J Neurol Neurosurg Psychiatry 1986;49:485-88.

⁵ Horsley V. Remarks on ten consecutive cases of operations upon the brain and cranial cavity to illustrate the details and safety of the method employed. Br Med J 1887;1:S 865.

Er stimulierte Kortextareale, beobachtete die entsprechende Reaktion und entwickelte so eine „Karte“ von bestimmten Funktionsgebieten in der Hirnrinde, den Homunculus, der bis heute noch Gültigkeit besitzt.⁶

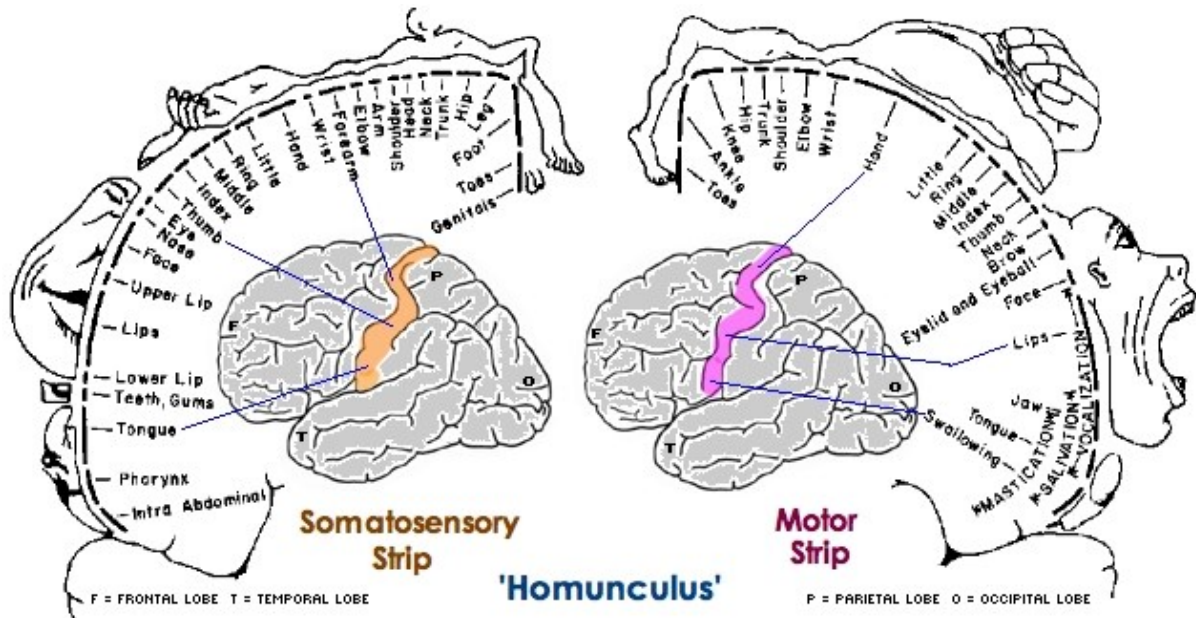


Abb. 1: Homunculus

Bis man zu diesen Erkenntnissen gelangte war es jedoch ein langer Weg.

Dass es einen Zusammenhang zwischen bestimmten kortikalen Regionen und dazugehörigen Funktionen gab, wurde Schritt für Schritt durch zahlreiche Beobachtungen und Experimente herausgefunden.

In der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts entdecken Pierre Paul Broca und Carl Wernicke 2 unterschiedliche Formen der Aphasie, hervorgerufen durch Läsionen in speziellen Hirnarealen, die für die Sprache verantwortlich sind und später nach den beiden Ärzten benannt wurden.

Gustav Fritsch und Eduard Hitzig entdeckten 1870 als Erste mit Experimenten an Hunden, dass durch elektrische Stimulation des Kortex bestimmte motorische Antworten an den kontralateralen Extremitäten erzeugt werden können. Damit bewiesen sie nicht nur, dass das Gehirn durch elektrische Stimuli gereizt werden kann, sondern auch, dass gewisse Areale für bestimmte Bewegungen verantwortlich waren.⁷

⁶ Vgl. Snyder PJ, Whitaker HA. Neurologic heuristics and artistic whimsy: the cerebral cartography of wilder penfield. J Hist Neurosci 2013;22(3):Abstract.

⁷ Vgl. Berger MS, Hadjipanayis CG. Surgery Of Intrinsic Cerebral Tumors. Neurosurgery. 2007 July;61 (1 Suppl.):279-304.

Der britische Neurologe John Hughlings Jackson bemerkte bei seinen Patienten mit Hemiplegie nach Schlaganfall oder Epilepsie, dass bestimmte Muskelfunktionen noch erhalten waren.⁸

Des Weiteren beobachtete er, dass bei fokalen Anfällen zunächst nur ein kleiner Bereich betroffen war, die Erregungen sich im Verlauf aber auf weitere Regionen in einer bestimmten Reihenfolge ausbreiteten. Diese Ausbreitung stimmte mit dem später von Penfield skizzierten Homunculus überein, allerdings konnte Jackson seine Theorien über eine sensomotorische Funktion des Kortex nicht beweisen.⁹

Jackson nahm an einem von Horsley's Experimenten teil, bei dem Horsley versuchte, ein Affengehirn durch einen Stimulus zu reizen und eine motorische Antwort zu erzeugen. Dabei bemerkte Jackson eine Ähnlichkeit zwischen den motorischen Bewegungen des Affen und einem seiner Patienten während eines epileptischen Anfalls und sagte eine Läsion in diesem Teil des Gehirns voraus. Der Mann litt an Tuberkulose und als Horsley ihn operierte, fand er an der exakten Stelle ein Tuberkulom.¹⁰

Den Durchbruch erzielte jedoch Wilder Penfield, indem er die Technik eines anderen Arztes übernahm, der Narbengewebe im Gehirn stimulierte, das durch Schusswaffen verursacht wurde.¹¹ Penfield verwendete diese Technik an seinen Epilepsiepatienten, mit dem Hintergedanken, die Aura eines epileptischen Anfalles auszulösen und somit das betroffene Gewebe zu identifizieren und gegebenenfalls zu entfernen.¹² Die Patienten waren während der Operation wach, er verwendete dabei nur ein Lokalanästhetikum.¹³ Die Notwendigkeit dieser Methode beschrieb er mit den folgenden Worten:

„Regional anesthesia is necessary for best results in craniotomies for the radical treatment of focal epilepsy. The patient must be conscious and alert while electrical stimulation is being carried out. He must often aid the surgeon by saying what

⁸ Vgl. Taylor DC. One hundred years of epilepsy surgery: Sir Victor Horsley's contribution. J Neurol Neurosurg Psychiatry 1986;49:485-88.

⁹ Vgl. Berger MS, Hadjipanayis CG. Surgery Of Intrinsic Cerebral Tumors. Neurosurgery. 2007 July;61 (1 Suppl.):279-304.

¹⁰ Vgl. Taylor DC. One hundred years of epilepsy surgery: Sir Victor Horsley's contribution. J Neurol Neurosurg Psychiatry 1986;49:485-88.

¹¹ Vgl. Bulsara KR, Johnson J, Villavicencio AT. Improvements in Brain Tumor Surgery: the Modern History of Awake Craniotomies. Neurosurg Focus 2005 Apr 15;18(4)e5.

¹² Vgl. July J, Manninen P, Lai J. The history of awake craniotomy for brain tumor and its spread into Asia. Surg Neurol. 2009 May;71(5):621-4.

¹³ Vgl. Bulsara KR, Johnson J, Villavicencio AT. Improvements in Brain Tumor Surgery: the Modern History of Awake Craniotomies.) Neurosurg Focus 2005 Apr 15;18(4)e5.

sensations he may have. He must warn quickly if the operator should produce the aura of the attack.

When cortical excision is planned in the dominant hemisphere, the patient must read or talk or sometimes write while the surgeon is tentatively interfering with areas of cortex essential to speech.

Thus he may outline the extent of speech representation or may simply prove speech to be in the hemisphere exposed rather than in the opposite side.

*The surgery of brain tumors is also greatly aided by such procedures. They make possible more complete removal.*¹⁴

In seiner Arbeit „Combined Regional and General Anesthesia for Craniotomy and Cortical Exploration“ berichtete Penfield von einer kombinierten Anästhesie und stellte zwei verschiedene Verfahren vor. Es gäbe zum einen die Möglichkeit, zu Beginn der Operation eine Lokalanästhesie zu verwenden und abschließend in eine Allgemeinanästhesie überzugehen; als zweite Variante könne man die Allgemeinanästhesie unterbrechen und in den Wachphasen eine Lokalanästhesie durchführen.¹⁵ Mit dieser Arbeit läutete Penfield die moderne Ära der Wachkraniotomie ein.

1.3 Anwendungsgebiete

Zu den klassischen Indikationen von Wachkraniotomien gehören Eingriffe, deren OP-Gebiet im Bereich oder in der Nähe von funktionell wichtigen Kortexarealen (= eloquenten Arealen) liegt. Das ist vor allem in der Tumor- und Epilepsiechirurgie häufig der Fall. Um diese funktionellen Areale zu bestimmen, muss der Patient während der Operation bei Bewusstsein sein und verschiedene neurologische Tests absolvieren, sowie seine Empfindungen mitteilen. Damit lassen sich die eloquenten Bereiche von den erkrankten Anteilen abgrenzen und das Resektionsgebiet vergrößern.

Mittlerweile gibt es Studien, welche die Anwendung der Wachkraniotomie bei allen supratentoriellen Tumoren empfehlen, da sich daraus zahlreiche Vorteile ergeben. Als Argument geben die Autoren an, dass es sich bei dieser Operation um einen relativ komplikationslosen Eingriff handelt, eine Allgemeinnarkose vermieden werden kann, die

¹⁴ Penfield W: Combined Regional and General Anesthesia for Craniotomy and Cortical Exploration. Part 1. Neurosurgical Considerations. *Curr Res Anesth Analg.* 1954 May-Jun;33(3): S 146.

¹⁵ Vgl. Ebda S 147.

Möglichkeit eines „brain mappings“ besteht und sich der Krankenhausaufenthalt verkürzt, wodurch Ressourcen und Kosten gespart werden können. Diese Angaben beziehen sich allerdings nur auf die Technik der Monitored Anesthesia Care bzw. Conscious Sedation^{16,17}, bei der die Patienten nur oberflächlich sediert werden und spontan ohne Atemwegsdevice atmen.

Ein weiteres Anwendungsgebiet stellt die Implantation von Elektroden zur tiefen Hirnstimulation dar. Auch bei dieser Eingriffsart kann beim wachen Patienten durch motorische Tests und Änderungen in den Empfindungen die richtige Position der Elektroden überprüft werden. Diese Therapiemaßnahme wird häufig bei Bewegungsstörungen angewandt, allen voran bei Parkinson-Patienten.

Weitere Indikationsgebiete der tiefen Hirnstimulation befinden sich noch im experimentellen Stadium: die Anwendung bei Phantomschmerzen nach Amputation, bei Thalamusschmerzen nach Insult oder bei therapierefraktären Depressionen. Sollte sich diese Therapiemaßnahme hierbei als erfolgreich erweisen, wird der Anästhesist in Zukunft noch häufiger Wachkraniotomien durchführen.¹⁸

1.3.1 „brain mapping“

Betrachtet man die Lokalisation aller Hirntumore, findet man 10-15% in eloquenten Arealen wie dem sensomotorischen Kortex oder dem Sprachzentrum. Auch bei Epilepsiepatienten befinden sich die epileptischen Foci häufig in der Nähe von kortikalen Bereichen, die für das Sprechen und die Sprache von Bedeutung sind.¹⁹

Indem man diese funktionellen Areale identifiziert, kann mehr Tumorgewebe entfernt werden, was den intrakraniellen Druck verringert, die Rezidiv-Wahrscheinlichkeit reduziert und das Überleben verlängert. Allerdings besteht bei einem größeren Resektionsgebiet auch immer die Gefahr, dass iatrogen verursachte neurologische Defizite auftreten.

¹⁶ Vgl. Taylor MD, Bernstein M. Awake craniotomy with brain mapping as the routine surgical approach to treating patients with supratentorial intraaxial tumors: a prospective trial of 200 cases. J Neurosurg. 1999 Jan;90(1):35-41.

¹⁷ Vgl. Serletis D, Bernstein M. Prospective study of awake craniotomy used routinely and nonselectively for supratentorial tumors. J Neurosurg. 2007 Jul;107(1):1-6.

¹⁸ Vgl. Schulz U, Keh D, Fritz G. „Schlaf-Wach-Schlaf“-Technik zur Wachkraniotomie. Anaesthesist 2006 May;55(5):585-98.

¹⁹ Vgl. Dreier JD, Williams B, Mangar D. Patients selection for awake neurosurgery. HSR Proc Intensive Care Cardiovasc Anesth. 2009;1(4):19-27.

Präoperativ kann man mittels funktioneller Magnetresonanztomographie die Nähe der Läsionen zu eloquenten Arealen feststellen, allerdings haben Studien gezeigt, dass in ca. der Hälfte der Fälle die Sprachregion bei der direkten, kortikalen Stimulation nicht mit den Ergebnissen des fMRT in ein und dem selben Patienten übereinstimmen.²⁰

Dieses Ergebnis hat seinen Ursprung in der hohen individuellen Variabilität bezüglich der Lage der kortikalen Sprachareale.

In mehr als zwei Drittel der Bevölkerung ist die linke Hemisphäre die sprachdominante Hälfte.

Paul Broca beobachtete, dass der hintere Anteil des Frontallappens wichtig für das flüssige Sprechen sei. Eine Läsion an dieser Stelle führt dazu, dass das Sprachverständnis zwar noch erhalten ist, die betroffene Person aber nicht in der Lage ist, einen vollständigen Satz zu sprechen und häufig Wortfindungsstörungen auftreten. Diese Pathologie wird daher auch als Broca-Aphasie bezeichnet.

Ein bestimmter Teil des Temporoparietallappens ist ebenfalls beim Sprechen involviert und wird als Wernicke-Areal bezeichnet.

Carl Wernicke fand heraus, dass Patienten mit einer Läsion in diesem Bereich zwar flüssig sprechen und schreiben können, der Inhalt aber keinen Sinn ergibt.

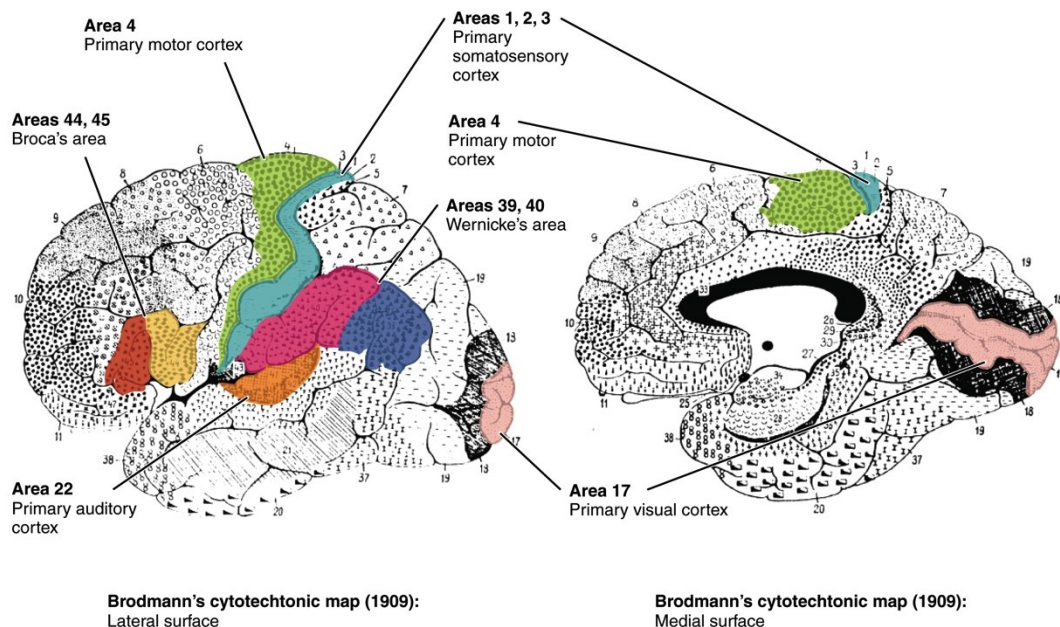


Abb. 2: Brodmann: Funktionen kortikaler Areale

²⁰ Vgl. Tonn JC. Awake craniotomy for monitoring of language function: benefits and limits. Acta Neurochir (Wien). 2007 Dec;149(12):1197-8.

Diese beiden eloquenten Bereiche des Kortex sind seit über 100 Jahren bekannt. Mittlerweile wurde aber von Ojemann et al.²¹ in einer Studie bewiesen, dass es zwischen Patienten große individuelle Unterschiede bezüglich ihrer kortikalen Sprachareale gibt. In ihren Arbeiten fanden sich Sprachregionen zum Teil außerhalb der Grenzen des Wernicke-Areals und weit entfernt vom Broca-Areal.

Auch der sensomotorische Kortex besitzt größere Ausdehnungen als lange vermutet. Der Sulcus centralis dient als anatomische Struktur, um den Gyrus praecentralis und den Gyrus postcentralis zu identifizieren. Am Gyrus praecentralis liegt der primäre motorische Kortex, während der Gyrus postcentralis den schmalen Streifen darstellt, der als somatosensorischer Kortex dient.

Uematsu et al.²² haben durch subdurale Stimulationen herausgefunden, dass sich der motorische Kortex auch posterior des Sulcus centralis ausbreitet und dass sensorische Funktionen auch im Gyrus praecentralis anzutreffen sind.

Wegen dieser großen, individuellen Variabilität der motorischen, sensorischen und sprachlichen Areale ist es nicht möglich, das Resektionsgebiet aufgrund von anatomischen Strukturen zu bestimmen.

Um sicher zu gehen, dass bei der Entfernung des Tumors oder des epileptischen Fokus kein funktionelles Gewebe mitentfernt wird, bedient man sich der Technik des „brain mappings“.

Dabei wird die Gehirnrinde mit schwachen, elektrischen Stimuli gereizt und auf eine mögliche Reaktion geachtet. Eine direkte Stimulation des Motorkortex führt zu einer motorischen Antwort der kontralateralen Extremitäten oder der Gesichtsmuskulatur. Diese Bewegungen können vom OP-Team beobachtet oder vom Patienten angegeben werden. Wird der somatosensorische Kortex gereizt, berichtet der Patient von kontralateralen Empfindungsstörungen.²³

Bei der Stimulation von Arealen, die für die Sprachproduktion zuständig sind, kommt es durch den elektrischen Reiz zu einer Hemmung der jeweiligen Region. Diese Inhibition führt dazu, dass der Patient bei den von ihm verlangten Sprachtests ins Stocken gerät.

²¹ Vgl. Ojemann G, Ojemann J, Lettich E. Cortical language localization in the left, dominant hemisphere. An electrical stimulation mapping investigation in 117 patients. 1989. J Neurosurg. 2008 Feb;108(2):411-21.

²² Vgl. Uematsu S, Lesser R, Fisher R. Motor and Sensory Cortex in Humans: Topography Studied with Chronic Subdural Stimulation. Neurosurgery. 1992 Jul;31(1):59-71.

²³ Vgl. Berger MS, Hadjipanayis CG. Surgery Of Intrinsic Cerebral Tumors. Neurosurgery. 2007 July;61 (1 Suppl):279-304.

Es gibt zahlreiche Möglichkeiten, die Sprachregion auszutesten. Man kann den Patienten bitten, einfache Objekte zu benennen, immer mit der Einleitungsphrase „Das ist ein....“ Haus, Auto oder Baum. Des weiteren müssen kurze Sätze langsam vorgelesen werden oder Zahlenreihen vorwärts oder rückwärts aufgesagt werden. Auch Farben benennen oder einfache Additionen und Subtraktionen können zu den Aufgaben gehören. Jedes kortikale Areal wird mehrmals ausgetestet; kommt es zu einem wiederholten Fehler seitens des Patienten, wird dieser Bereich als Teil der Sprachregion gekennzeichnet.²⁴

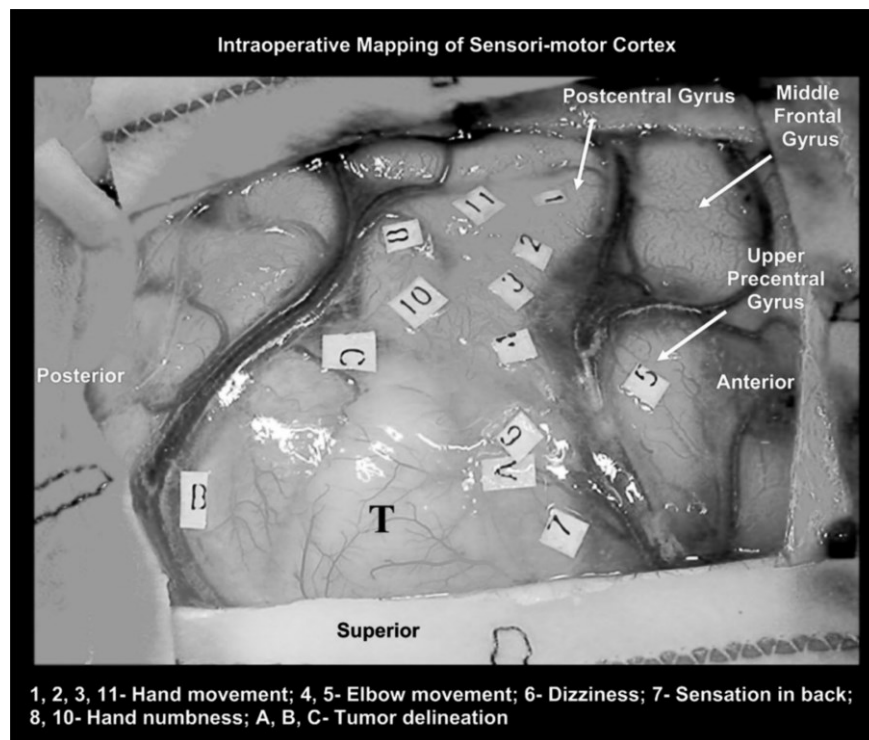


Abb. 3: brain mapping

Indem man die funktionellen Areale durch „brain mapping“ identifiziert, können auch Tumore entfernt werden, die unter normalen Bedingungen als inoperabel gelten.

1.3.2 Elektrokortikographie

Intraoperative Elektrokortikographie wird vor allem in der Epilepsiechirurgie verwendet. Es handelt sich dabei um eine Methode, bei der spezielle Elektroden entweder an der Oberfläche der Hirnrinde oder in der Tiefe des Hirngewebes angebracht werden und mit

²⁴ Vgl. Talacchi A, Santini B, Casartelli M. Awake surgery between art and science. Part II: language and cognitive mapping. *Funct Neurol.* 2013 Jul-Sep;28(3):223-39.

denen elektrische Potentiale abgeleitet werden können. Dadurch ist es möglich, den epileptischen Fokus genau zu lokalisieren und zu entfernen.

Da von einigen Medikamenten, die in der Anästhesie verwendet werden, bekannt ist, dass sie die elektrische Aktivität der Hirnrinde beeinflussen und so die Aufzeichnungen verfälschen können, wird auch die Elektrokortikographie idealerweise bei einem wachen Patienten durchgeführt. Falls eine Allgemeinanästhesie notwendig sein sollte, muss sich der Anästhesist genauestens überlegen, welche Arzneimittel am wenigsten mit der ECoG interagieren.²⁵

Zusätzlich wird die ECoG häufig mit einem brain mapping kombiniert, um festzustellen, ob es sich bei der betroffenen Stelle um ein funktionelles Kortexareal handelt.

2 Anästhesiologisches Management

2.1 Präoperative Patientenevaluierung

Wie bei jedem anderen Eingriff, bei dem eine Regional- oder Allgemeinanästhesie durchgeführt werden soll, findet auch im Vorfeld der Wachkraniotomie ein präoperatives Narkosegespräch statt, um den Gesundheitszustand des Patienten zu beurteilen.

Allerdings gibt es einige Besonderheiten und spezielle Anforderungen, die der Patient erfüllen muss bzw. Probleme oder gar Kontraindikationen, die vor der OP erhoben werden müssen, um zu entscheiden, ob die betroffene Person als Kandidat für eine Wachkraniotomie in Erwägung gezogen werden kann oder nicht.

Bonhomme et al.²⁶ haben die wichtigsten Evaluierungspunkte in ihrer Arbeit „Awake craniotomy“ zusammengefasst:

1.) *der obere Atemweg:*

Gibt es Anzeichen für eine schwierige Intubation, wie eine große Zunge, einen kurzen, dicken Hals, lange Vorderzähne, eine geringe Mundöffnung oder eine Verkrümmung/Versteifung der Halswirbelsäule? Welchen Grad erreicht der Patient bei der Mallampati-Klassifikation?

²⁵ Vgl. Chui J, Manninen P, Valiante T. The Anesthetic Considerations of Intraoperative Electroencephalography During Epilepsy Surgery. *Anesth Analg.* 2013 Aug;117(2):479-86.

²⁶ Vgl. Bonhomme V, Franssen C, Hans P. Awake craniotomy. *Eur J Anaesthesiol.* 2009 Nov;26(11):906-12.

Diese Punkte spielen eine wichtige Rolle, da der Zugang zum Patienten aufgrund der Lagerung und der Kopffixierung während der Operation oftmals erschwert ist und somit eine im Notfall durchgeführte Intubation bereits unter schwierigen Bedingungen stattfindet.

Ist nun aufgrund der Anatomie des Patienten mit weiteren Schwierigkeiten zu rechnen, sollte man sich überlegen, den Eingriff von vornherein mittels herkömmlicher Kraniotomie unter Allgemeinnarkose durchzuführen.

Des Weiteren gilt es Risikofaktoren zu evaluieren, die während der Operation zu einer Atemdepression oder Atemwegsobstruktion führen können.

Dazu gehört ein Schlaf-Apnoe-Syndrom, welches als Ausschlusskriterium für eine Wachkraniotomie gelten kann, obstruktive Lungenerkrankungen sowie starkes Übergewicht des Patienten, welches ebenfalls die Atmung im sedierten Zustand beeinträchtigen kann.

2.) Krampfanfälle:

In der Epilepsiechirurgie, aber auch bei der Tumorentfernung, zählen intraoperative Krampfanfälle zu den häufigsten Komplikationen. Daher ist es wichtig, sich über die Art und Anzahl der Krampfanfälle des Patienten zu informieren und den Medikamentenspiegel der Antikonvulsiva zu überprüfen. Auch am OP-Tag sollten die Patienten wie gewohnt ein Antiepileptikum erhalten, um das Risiko intraoperativer Krampfanfälle zu minimieren.

3.) Übelkeit und Erbrechen:

Da je nach angewandter Technik der Atemweg während der initialen Phase der Operation, spätestens aber während der Wachphase ungesichert ist, muss evaluiert werden, ob der Patient früher Probleme mit Übelkeit und Erbrechen nach einer Narkose hatte, oder ob er generell anfällig ist, wie z.B. Personen, die an der Reisekrankheit leiden und somit das Risiko intraoperativer Nausea und Emesis und damit die Gefahr einer Aspiration erhöht sind. Die Patienten erhalten zwar sowohl vor als auch während der OP meist eine Kombination unterschiedlicher Antiemetika, trotzdem stellen die Opioidgabe und der Zug an der Dura starke emetogene Reize dar.

4.) Intrakranieller Druck:

Gerade bei Tumorpatienten kann es aufgrund der Massenzunahme durch Verdrängung der umliegenden Strukturen zu einem Anstieg des ICP kommen. Vor der Operation sollte auf klinische oder radiologische Anzeichen eines erhöhten Hirndrucks geachtet werden, da es im Gegensatz zur kontrollierten Beatmung bei spontan atmenden Patienten nicht möglich ist, diesen durch eine kurzzeitige Hyperventilation auszugleichen.

5.) *Kooperationsbereitschaft des Patienten:*

Um die neurologischen Tests während der Wachphase durchführen zu können, muss der Patient uneingeschränkt kooperativ sein.

Dazu zählt, dass er weder an großer Ängstlichkeit oder Verwirrtheit leidet oder sonst irgendwelche schwerwiegenden, psychischen Probleme vorhanden sind. Auch neurologische Defizite können die Testsituation erschweren.

Es darf keine Kommunikationsschwierigkeiten geben, der Patient muss in der Lage sein, sich klar und verständlich auszudrücken, um Rückmeldungen über die Wirkung der Hirnstimulation zu geben, ebenso muss er sämtlichen Aufforderungen Folge leisten können.

Klimek et al.²⁷ empfehlen daher, darauf zu achten, dem Patienten sämtliche Hilfsmittel, sei es das Gebiss, die Brille oder das Hörgerät, die er benötigt um eine reibungslose Kommunikation zu gewährleisten, in den OP mitzugeben.

Der Ablauf der Operation sollte genauestens durchbesprochen werden. Der Patient muss darauf aufmerksam gemacht werden, dass es zu unangenehmen Geräuschen wie Gerätealarmen oder dem Lärm des Bohrers kommen wird. Allerdings sollte sich auch das Krankenhauspersonal der Tatsache bewusst sein, dass es sich um einen wachen Patienten handelt, der sämtliche Gespräche mithören kann.

Ebenso muss die Möglichkeit kurzfristiger neurologischer Ausfälle aufgrund der Stimulation erwähnt werden, damit sich der Patient beim Auftreten solcher nicht ängstigt. Des Weiteren ist es wichtig, dass die Patienten die Fähigkeit besitzen, lange still zu liegen, ungeachtet der oft unkomfortablen Operationsposition.

Zur Vorbereitung kann man das längere Liegen in der OP-Haltung üben.

Klimek et al. erwähnen in ihrer Arbeit, dass sie mit 3 mal 4 Stunden sehr gute Erfahrungen gemacht haben.

Piccioni et al.²⁸ empfehlen den Operationsraum zuvor zu besichtigen, damit die Möglichkeit besteht sich genau umzuschauen und sich an die Umgebung zu gewöhnen. Schlussendlich zählt auch der Aufbau eines Vertrauensverhältnisses zwischen Patient und Anästhesisten zu einem der wichtigsten Punkte. Die Wachkraniotomie stellt eine

²⁷ Vgl. Klimek M., Vincent AJ. Wachkraniotomie in der Tumorchirurgie - Was macht der Anästhesist ?. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther.* 2011 Jun;46(6):386-91.

²⁸ Vgl. Piccioni F, Fanzio M. Management of anesthesia in awake craniotomy. *Minerva Anestesiol.* 2008 Jul-Aug;74(7-8):393-408.

Ausnahmesituation für den Betroffenen dar und er benötigt eine Person, die ihn durch diese schwierige Situation begleitet und ihm die Angst nimmt.

Je besser der Patient auf die Situation und mögliche auftretende Probleme vorbereitet wurde, desto eher ist mit seiner Compliance und damit einem guten Gelingen der Prozedur zu rechnen.

2.2 Sedierung und Analgesie im Wandel der Zeit

Da die Wachkraniotomie eine spezielle Art der Operation darstellt, müssen die verwendeten Medikamente auch gewisse Anforderungen erfüllen.

Es sollte sich um Arzneimittel handeln, die eine ausreichende Sedierung und Analgesie während der Kraniotomie und dem Verschluss des Operationsgebietes gewährleisten, gleichzeitig muss die Wirkung rasch nachlassen und zu einer vollständigen

Wiederherstellung des Bewusstseins führen, um die verschiedenen Tests in der Wachphase durchführen zu können.

Der Übergang von der Schlaf- in die Wachphase sollte so sanft wie möglich geschehen, da jedes Husten oder Pressen den intrakraniellen Druck erhöhen kann und Bewegungen des Patienten zu Verletzungen des fixierten Kopfes führen können. Außerdem muss darauf geachtet werden, dass die Medikamente die durchgeführten Untersuchungen so wenig wie möglich beeinflussen.

Um all die Punkte gewährleisten zu können, wurden im Laufe der Zeit zahlreiche Medikamente und unterschiedliche Arzneimittelkombinationen ausprobiert.

2.2.1 Die Ära der Neuroleptanalgesie

Die ersten Wachkraniotomien wurden häufig in reiner Lokal- oder Regionalanästhesie durchgeführt, v.a. um intraoperative Komplikationen zu vermeiden, jedoch war diese Prozedur oftmals sehr unangenehm für die Patienten.

Auch Horsley schrieb in „Brain surgery“²⁹ über seine ersten drei Kraniotomien, dass es möglich wäre, die Operation mithilfe von Kokain in Lokalanästhesie durchzuführen, allerdings würde man eine große Menge davon benötigen, da Manipulationen an der Dura als sehr schmerzhaft empfunden wurden. Eine Tatsache, die bis zu diesem Zeitpunkt nicht

²⁹ Vgl. Horsley V. Brain Surgery. Br Med J 1886;2:670-5.

bekannt war. Er entschied sich dafür, bei seinen Operationen Chloroform zu verwenden, ein damals gängiges Allgemeinanästhetikum.

1959 beschrieben De Castro und Mundeleer mit dem von ihnen eingeführten Begriff der Neuroleptanalgesie eine neue Möglichkeit der Anästhesie, bestehend aus dem Neuroleptikum Haloperidol und dem Opioid Phenoperidine. Nachdem man in weiterer Folge zahlreiche Neuroleptika und Opioide ausprobiert hatte, wurde Innovar, eine Kombination aus Droperidol und Fentanyl, zum gängigsten Medikament.³⁰

Droperidol führte zu einer starken Sedierung inklusive Amnesie, trotzdem waren die Patienten in der Lage, einfachen Kommandos Folge zu leisten. Fentanyl sorgte zusätzlich für die notwendige Analgesie.

Die anfängliche Euphorie gegenüber dieser Kombination verschwand allerdings wieder, als zahlreiche Nebenwirkungen beobachtet wurden, die vor allem auf das Droperidol zurückzuführen waren. Es traten extrapyramidale Störungen und anticholinerge Symptome auf, zusätzlich kam es bei höheren Dosen zu starken Hypotonien. Ein weiterer Schwachpunkt war die lange Wirkdauer des Neuroleptikums.³¹

2.2.2 Propofol und Opioide

Mit Propofol kam in den 1990er Jahren ein neues Medikament auf den Markt, welches sehr schnell das in Verruf geratene Droperidol verdrängte. Dieser Umschwung war vor allem auf die vielen positiven Eigenschaften des Arzneimittels zurückzuführen.

Silbergeld et al.³² waren die Ersten, welche die Anwendung von Propofol bei der Wachkraniotomie beschrieben und betonten vor allem das rasche und komplikationslose Erwachen des Patienten, sobald man die Medikamentengabe beendete.

Diesen Vorteil verdankt das Medikament der schnellen Umverteilung vom ZNS ins Fettgewebe. Zusätzlich hat es einen kurzen Wirkeintritt, da es sehr schnell vom Hirngewebe aufgenommen wird, das Dosis-Wirkungsverhältnis ist leicht steuerbar, bei Komplikationen kann man mittels Propofol auch eine Allgemeinanästhesie induzieren und

³⁰ Vgl. Sahjpaul RL. Awake Craniotomy: Controversies, Indications and Techniques in the Surgical Treatment of Temporal Lobe Epilepsy. Can J Neurol Sci. 2000 May;27 Suppl 1:55-63.

³¹ Vgl. Bulsara KR, Johnson J, Villavicencio AT. Improvements in Brain Tumor Surgery: the Modern History of Awake Craniotomies. Neurosurg Focus 2005 Apr 15;18(4)e5.

³² Vgl. Silbergeld DL, Mueller WM, Colley PS. Use of Propofol (Diprivan) for Awake Craniotomies: Technical Note. Surg Neurol. 1992 Oct;38(4):271-2.

dem Arzneimittel werden antiemetische, hirndrucksenkende und antiepileptische Eigenschaften nachgesagt.

Wie bereits erwähnt sind erstere generell bei Kraniotomien von enormer Bedeutung, da besonders der Zug an der Dura schwere Übelkeit und Erbrechen auslösen kann. Durch eine Kombination von mehreren Medikamenten mit antiemetischen Effekten lässt sich dieses Risiko reduzieren.

Die antiepileptischen Eigenschaften spielen vor allem in der Epilepsiechirurgie eine wichtige Rolle, sind aber auch in der Tumorchirurgie von Bedeutung. Da es bei diesen beiden Patientengruppen intraoperativ sehr häufig, vor allem während des brain mappings, zu fokalen und generalisierten Krampfanfällen kommen kann, ist es von Vorteil, wenn das Hypnotikum bereits antiepileptische Merkmale besitzt.

Herrick et al.³³ verglichen in einer Studie die Sedierung mit Propofol und Fentanyl gegenüber einer Neuroleptanalgesie mit Droperidol und Fentanyl. Beide Patientengruppen erreichten ausreichende Sedierungslevel, die Zufriedenheit war in beiden Gruppen gleich groß und auch die neurologischen Tests funktionierten gleichermaßen gut.

Unterschiede gab es allerdings bezüglich der Häufigkeit des Auftretens von intraoperativen Krampfanfällen. Diese lag in der Droperidol-Gruppe deutlich höher als bei Patienten, welche Propofol erhielten, 7 von 17 Patienten erfuhren eine fokale oder generalisierte Episode gegenüber keinem der 20 Patienten aus der Propofol Gruppe.

Allerdings sind diese antiepileptischen Eigenschaften nicht immer gewollt.

In der Epilepsiechirurgie versucht man mittels Elektrokortikographie die epileptischen Foci aufzuspüren, um sie entfernen zu können. Bei der Anwendung von Propofol kann es zu einer Unterdrückung dieser Aktivität kommen und so die Identifizierung solcher Areale erschwert werden.

Silbergeld et al.³⁴ empfehlen daher, die Anwendung von Propofol 20 Minuten vor der EcOG zu beenden. Eine Studie von Herrick et al.³⁵, welche die Auswirkungen auf das EcOG von Propofol gegenüber Droperidol verglich und die Propofolinfusion 15 min. vor der Aufzeichnung ausschaltete, stellte keine Unterschiede in der elektrischen Aktivität fest.

³³ Vgl. Herrick IA, Craen RA, Gelb AW. Propofol Sedation During Awake Craniotomy for Seizures: Patient-Controlled Administration Versus Neurolept Analgesia. *Anesth Analg.* 1997 Jun;84(6):1285-91.

³⁴ Vgl. Silbergeld DL, Mueller WM, Colley PS. Use of Propofol (Diprivan) for Awake Craniotomies: Technical Note. *Surg Neurol.* 1992 Oct;38(4):271-2.

³⁵ Vgl. Herrick IA, Craen RA, Gelb AW. Propofol Sedation During Awake Craniotomy for Seizures: Electrographic and Epileptogenic Effects. *Anesth Analg.* 1997 Jun;84(6):1280-4.

Da Propofol keine analgetischen Eigenschaften besitzt, wird es häufig mit einem Opioid kombiniert.

Eine Studie von Gignac et al.³⁶, welche die drei am häufigsten verwendeten, synthetischen Opioide Fentanyl, Alfentanil und Sufentanil hinsichtlich des Auftretens von intraoperativen Komplikationen und der Zufriedenheit mit den OP-Bedingungen verglich, konnte keine gravierenden Unterschiede zwischen den drei Medikamenten feststellen.

Erst der Einsatz von Remifentanil brachte entscheidende Vorteile. Aufgrund seiner einzigartigen Esterstruktur wird das Medikament von unspezifischen Gewebe-Esterasen abgebaut und kann daher auch bei leber- und niereninsuffizienten Patienten angewandt werden. Die kontextsensitive Halbwertszeit beträgt nur 3-4 Minuten, was bedeutet, dass nach dieser Zeit die Plasmakonzentration um 50% abgesunken ist, unabhängig von der Dauer der Infusion.³⁷ Daraus resultiert die ultra-kurze Wirkdauer des Medikaments.

Wie bei allen Opioiden kann es während der Anwendung zu respiratorischen Komplikationen wie Atemdepression, Sättigungsabfall oder Atemwegsobstruktion kommen. Aufgrund der sehr kurzen Wirkdauer genügt es meistens die Infusion zu beenden und die Zeit bis zum völligen Abbau des Medikaments mittels Esmarch-Handgriff zu überbrücken.

Die Kombination aus Propofol und Remifentanil stellt heutzutage eine der am häufigsten angewandten Methoden dar. Beide Medikamente besitzen einen schnellen Wirkeintritt, sind gut steuerbar, man kann in Notfällen rasch in eine Allgemeinnarkose übergehen und nach Beendigung der Infusion kommt es zu einem raschen und vollständigen Erwachen der Patienten, alle Eigenschaften, die für die Durchführung einer Wachkraniotomie von enormer Bedeutung sind.

2.2.3 Dexmedetomidine

Dexmedetomidine wird erst seit kurzem für Wachkraniotomien verwendet. Die Zulassung in Österreich und Deutschland erfolgte 2011, in einigen Studien wird das Medikament

³⁶ Vgl. Gignac E, Manninen PH, Gelb AW. Comparison of fentanyl, sufentanil and alfentanil during awake craniotomy for epilepsy. *Can J Anaesth.* 1993 May;40(5 Pt 1):421-4.

³⁷ Vgl. Johnson KB, Egan TD. Remifentanil and Propofol Combination for Awake Craniotomy: Case Report With Pharmacokinetic Simulations. *J Neurosurg Anesthesiol.* 1998 Jan;10(1):25-9.

allerdings als vielversprechende Alternative zu Propofol/Remifentanil bzw. in Kombination mit anderen Anästhetika und Schmerzmitteln erwähnt.^{38,39, 40}

Es handelt sich dabei um einen selektiven α_2 -Agonisten, der einerseits zu einer leichten Sedierung führt (die Patienten scheinen zu schlafen, sind aber auf äußere Reize hin sofort erweckbar und in der Lage, die neurologischen Tests durchzuführen), andererseits besitzt das Medikament auch eine analgetische Wirkung, die aber im Gegensatz zu Opioiden zu keiner Atemdepression führt. Aufgrund dieser Eigenschaften kann man in Kombination mit Dexmedetomidine andere Anästhetika und Analgetika sparen, was ebenfalls die Wahrscheinlichkeit einer Hypoxämie verringert.⁴¹

Moore et al.⁴² publizierten einen interessanten Fallbericht, bei dem sie Dexmedetomidine als Notfallmedikament bei einer 57-jährigen Patientin verwendeten, die nach 45min. während des brain mappings unruhig geworden war und auf die Erhöhung der Remifentanil-Infusion mit einer verringerten Atemfrequenz und in weiterer Folge einem erhöhten endtitalen CO₂ reagierte. Daraufhin wurde eine Infusion mit Dexmedetomidine gestartet, die es erlaubte, das brain mapping fortzusetzen und die Induktion einer Allgemeinanästhesie verhinderte.

Ein klarer Vorteil für Dexmedetomidine findet sich in der Epilepsiechirurgie, da es, im Gegensatz zu Propofol, keinen Effekt auf die Elektrokortikographie hat und die elektrische Aktivität des Gehirns nicht beeinflusst.⁴³

2.2.4 Lokalanästhesie und Skalpblock

Das Anbringen der Mayfield-Klemme sowie die Inzision der Kopfhaut gehören mitunter zu den schmerzhaftesten Schritten der Operation. Um diesen nozizeptiven Reizen entgegen zu wirken und damit einen Blutdruckanstieg und eine Tachykardie zu verhindern, kann

³⁸ Vgl. Ard JL Jr, Bekker AY, Doyle WK. Dexmedetomidine in awake craniotomy: a technical note. *Surg Neurol.* 2005 Feb;63(2):114-6.

³⁹ Vgl. Mack PF, Perrine K, Kobylarz E, Schwartz TH. Dexmedetomidine and Neurocognitive Testing in Awake Craniotomy. *J Neurosurg Anesthesiol.* 2004 Jan;16(1):20-5.

⁴⁰ Vgl. Arain SR, Ebert TJ. The Efficacy, Side Effects, and Recovery Characteristics of Dexmedetomidine Versus Propofol When Used for Intraoperative Sedation. *Anesth Analg.* 2002 Aug;95(2):461-6.

⁴¹ Vgl. Schulz U, Keh D, Fritz G. „Schlaf-Wach-Schlaf“-Technik zur Wachkraniotomie. *Anaesthesist* 2006 May;55(5):585-98.

⁴² Vgl. Moore TA 2nd, Markert JM, Knowlton RC. Dexmedetomidine as Rescue Drug During Awake Craniotomy for Cortical Motor Mapping and Tumor Resection. *Anesth Analg.* 2006 May;102(5):1556-8.

⁴³ Vgl. Chui J, Manninen P, Valiante T. The Anesthetic Considerations of Intraoperative Electroencephalography During Epilepsy Surgery. *Anesth Analg.* 2013 Aug;117(2):479-86.

man die betroffenen Regionen mit Lokalanästhetikum unterspritzen. In der Literatur wird dabei die Kombination Bupivacain und Adrenalin am häufigsten verwendet.

Der Zusatz von Adrenalin soll an der gut vaskularisierten Kopfhaut die systemische Aufnahme des Lokalanästhetikums verzögern und dessen Wirkdauer verlängern.⁴⁴

Unter einem Skalpblock versteht man die örtliche Betäubung der Nerven, welche die Kopfhaut versorgen. Es handelt sich dabei um terminale, sensorische Nervenendigungen, die sehr oberflächlich liegen, wodurch das Risiko einer Nervenschädigung geringer ist, als bei tiefliegenden motorischen Nerven.

Die Skalpblockade inkludiert 6 Nerven:

- *Nervus supraorbitalis*: ein Ast des Nervus frontalis, der aus dem Nervus ophthalmicus entspringt, dem ersten Ast des Nervus trigeminus. Die Injektionsstelle ist am Oberrand der Orbita an der Stelle des 1. Trigeminusdruckpunktes und wird durch Palpation des Foramen supraorbitale, durch welches der Nerv hindurch tritt, gefunden.
- *Nervus supratrochlearis*: der zweite Ast des Nervus frontalis, welcher am oberen, inneren Orbitawinkel hervortritt und auch dort blockiert werden kann.
- *Nervus auriculotemporalis*: entspringt in der Fossa infratemporalis aus dem Nervus mandibularis, dem dritten Ast des Nervus trigeminus. Die Einstichstelle zur Blockade findet sich über dem Processus zygomaticus.
- *Nervus zygomaticotemporalis*: der terminale Ast des Nervus zygomaticus, der sich im hinteren Teil der Orbita abspaltet. Die Infiltration erfolgt vom Arcus superciliaris zum hinteren Teil des Arcus zygomaticus.
- *Nervus occipitalis major*: dieser Nerv entspringt aus dem Segment C2 und kann auf halbem Weg zwischen der Protuberantia occipitalis externa und dem Processus mastoideus geblockt werden.
- *Nervus occipitalis minor*: ebenfalls aus dem Segment C2 und zusätzlich aus C3 kommend, kann der N. occipitalis minor 2,5 cm seitlich der Nervenblockade des N. occipitalis major entlang der Linea nuchalis superior geblockt werden.⁴⁵

⁴⁴ Vgl. Schulz U, Keh D, Fritz G. „Schlaf-Wach-Schlaf“-Technik zur Wachkraniotomie. Anaesthesist 2006 May;55(5):585-98.

⁴⁵ Vgl. Osborn I, Sebeo J. „Scalp Block“ During Craniotomy: A Classic Technique Revisited. J Neurosurg Anesthesiol. 2010 Jul;22(3):187-94.

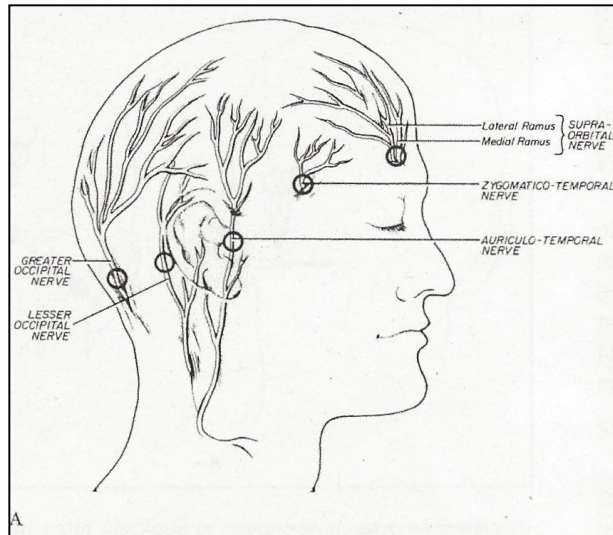


Abb. 4: Die Kopfhaut versorgende Nerven

Die Nervenblockade hat nicht nur den Vorteil, dass intraoperativ weniger Analgesie benötigt wird und damit das Risiko von Nebenwirkungen wie Atemdepression oder Sättigungsabfall reduziert wird, die Patienten tolerieren auch das Anbringen der Kopffixierung und die Hautinzision besser. Sie reagieren auf den Schmerzreiz nicht mit einer Tachykardie oder einem Blutdruckanstieg, was gerade bei einem bereits vorhandenen, erhöhten ICP, wie es bei Tumorpatienten häufig der Fall ist, absolut zu vermeiden ist.

Ein Skalpblock kann diese Schmerzantworten erheblich reduzieren, wie eine Studie von Geze et al.⁴⁶ beweist und ist dabei der Lokalanästhesie deutlich überlegen.

In dieser prospektiven Arbeit wurden 45 Patienten, die sich einer elektiven Kraniotomie unterzogen, randomisiert in drei Gruppen eingeteilt. Gruppe 1 erhielt sofort nach Narkoseeinleitung einen Skalpblock mittels Bupivacain, Gruppe 2 eine Lokalanästhesie mittels Bupivacain, aber ohne Adrenalinzusatz, um die Werte nicht zu verfälschen und Gruppe 3 keines von beiden. Bei allen Patienten wurden die Herzfrequenz und der mittlere arterielle Blutdruck vor und nach Narkoseeinleitung, sowie in Minutenabständen nach Anbringen der Bolzen für die Kopffixierung gemessen und ausgewertet.

Während es in der Skalpblock-Gruppe zu keinem signifikanten Anstieg der beiden Parameter kam, zeigte sich eine deutliche Erhöhung der Herzfrequenz und des MAPs nach Bolzeninsertion, sowie in den darauf folgenden Minuten in Gruppe 3.

⁴⁶ Vgl. Geze S, Yilmaz AA, Tuzuner F. The effect of scalp block and local infiltration on the haemodynamic and stress response to skull-pin placement for craniotomy. *Eur J Anaesthesiol.* 2009 Apr;26(4):298-303.

Auch in der Lokalanästhesiegruppe kam es zu einem Anstieg beider Parameter, allerdings weitaus geringer als in der Gruppe ohne Regional- oder Lokalanästhesie.

Die Autoren kamen daher zu dem Schluss, dass eine Lokalanästhesie zwar geeignet ist, um den Opioidverbrauch während der OP zu reduzieren, der Skalpblock allerdings die effektivste Maßnahme darstellt, um hämodynamische Antworten auf Schmerzreize zu kontrollieren.

Ein weiterer Vorteil der Nervenblockade liegt in der Möglichkeit, postoperative Schmerzen zu reduzieren.

Eine Studie von Nguyen et al.⁴⁷ untersuchte den Schweregrad von postoperativen Schmerzen an 30 Patienten, die sich einer Kraniotomie unterzogen und randomisiert in zwei Gruppen eingeteilt wurden, von denen die eine einen Skalpblock mit Ropivacaine erhielt, die zweite nur Kochsalzlösung. Mittels Visueller Analogskala wurden die postoperativen Schmerzen im 4-Stunden Takt nach der Operation evaluiert. Dabei wurde ein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen festgestellt, wonach nur etwa 20% der Ropivacaine-Gruppe moderate bis starke Schmerzen zu den erfragten Zeitpunkten angaben, wohingegen der Anteil in der Kochsalz-Gruppe bei 70% lag.

Um sämtliche Vorteile der Nervenblockade nutzen zu können, wird empfohlen, den Block mindestens 20 Minuten vor dem Hautschnitt oder der Bolzeninsertion zu stechen, um eine maximale Wirksamkeit zu gewährleisten.

Dabei sollte der Patient bereits eine laufende i.v. Analgesie besitzen, da auch das Stechen des Blocks Schmerzen verursacht. Die Regionalanästhesie selbst ist für 6-8 Stunden wirksam.⁴⁸

2.3 Techniken

Grundsätzlich lassen sich zwei Techniken unterscheiden, die „Monitored Anaesthesia Care“ (= MAC), bei der der Patient nur sediert wird und die „Asleep-Awake-Asleep“-Technik (= AAA), mittels welcher der Patient zunächst in eine Allgemeinnarkose versetzt und anschließend für die Durchführung der neurologischen Tests aufgeweckt wird.

⁴⁷ Vgl. Nguyen A, Girard F, Boudreault D. Scalp Nerve Blocks Decrease the Severity of Pain After Craniotomy. Scalp Nerve Block Decrease the Severity of Pain After Craniotomy. *Anesth Analg.* 2001 Nov;93(5):1272-6.

⁴⁸ Vgl. Sahjpaul RL. Awake Craniotomy: Controversies, Indications and Techniques in the Surgical Treatment of Temporal Lobe Epilepsy. *Can J Neurol Sci.* 2000 May;27 Suppl 1:55-63.

Gerade bei Ersterer gibt es allerdings zahlreiche Abstufungen, vor allem die Sedierungstiefe betreffend. Ebenso ist weder bei der einen noch bei der anderen Methode ein einheitliches Protokoll vorhanden, welche Medikamente verwendet werden sollen oder wie der Atemweg zu sichern ist. Jeder Anästhesist verwendet das Verfahren, mit dem er am meisten vertraut ist, und die Arzneimittel, mit denen er die meiste Erfahrung hat. Eine Sonderform stellt die „Awake-Awake-Awake“-Technik dar, bei der die Patienten sogar nur eine Lokal- und Regionalanästhesie erhalten.

Auch Mischformen aus den beiden erstgenannten Methoden sind möglich, zum Beispiel wird die Schädelöffnung in Sedierung durchgeführt, im Anschluss an die neurologische Testung der Patient jedoch in eine Allgemeinnarkose versetzt.

2.3.1 Monitored Anaesthesia Care

Viele Autoren setzten die Technik der „Monitored Anaesthesia Care“ mit dem Begriff der „Conscious Sedation“ gleich. Die American Society of Anesthesiologists (ASA) weist aber darauf hin, dass es sehr wohl Unterschiede zwischen diesen beiden Methoden gibt.

Unter „Conscious Sedation“ wird eine Sedierungstiefe verstanden, die als „moderat“ bezeichnet wird. Die Dosis des Sedativums und/oder Analgetikums soll so angepasst werden, dass der Patient frei von Angst ist und keine Schmerzen verspürt, allerdings sollte er in der Lage sein, auf Ansprache sofort adäquat zu reagieren und der Atemweg darf zu keinem Zeitpunkt bedroht sein. Dieses Technik kann von jedem Arzt durchgeführt werden, der dazu im Stande ist und die nötigen Kenntnisse besitzt, die Sedierungstiefe genauestens zu kontrollieren und sie gegebenenfalls zu minimieren.

Bei der „Monitored Anaesthesia Care“ werden andere Anforderungen an den Ausübenden gestellt. Unter diesem Begriff wird eine tiefere Sedierung des Patienten verstanden, er atmet weiterhin spontan und erhält nur Sauerstoff über eine Nasenbrille oder Sauerstoffmaske, allerdings kann es durchaus zu Komplikationen wie einer Atemdepression kommen.

In diesem Fall muss der Durchführende die nötigen Fähigkeiten besitzen, das Problem zu beheben oder den Patienten so rasch wie möglich in eine Allgemeinnarkose zu versetzen,

was einen Anästhesisten zwingend erforderlich macht.⁴⁹

Piccioni et al.⁵⁰ definieren die Sedierungstiefe mit einem Bispectral-Index-Wert (= BIS) > 60 oder dass der Patient erst auf sehr laute und mehrmalige Ansprache reagiert.

In der Literatur der letzten Jahre wurde zur Sedierung hauptsächlich Propofol, meist in Kombination mit Remifentanyl und/oder einer Lokal-/Regionalanästhesie verwendet. Auch Dexmedetomidine, entweder alleine oder in Kombination, findet immer häufiger Gebrauch.

Die Vorteile der MAC-Methode ergeben sich aus der Vermeidung einer Allgemeinnarkose, die Patienten sind nach Wirkverlust der Sedierung sofort vollständig wach und uneingeschränkt kooperativ.

Auch postoperativ benötigen die Patienten kürzere Überwachungszeiträume und können das Krankenhaus schneller verlassen, was Kosten und Ressourcen spart.

In einer kanadische Studie⁵¹ wurden 15 von 241 Patienten, die sich einer Wachkraniotomie zur Tumorentfernung in Sedierung unterzogen, ambulant operiert, 76 innerhalb von 23 Stunden entlassen.

Wie oben bereits erwähnt, sollte die Sedierung nie eine solche Tiefe erreichen, dass der Atemweg in Gefahr ist. Bei starken Schmerzen des Patienten und darauf folgender Nachdosierung des Opioids kann es allerdings passieren, dass eine Atemdepression eintritt. Der Anstieg des pCO₂ führt zu einer Zunahme des Hirndrucks, ein Problem, das bei diesen Operationen unbedingt vermieden werden sollte, beim spontan atmenden Patienten aber schwer zu kontrollieren ist und eine der häufigsten Komplikationen unter MAC darstellt. Zusätzlich schränkt die zu starke Sedierung des Patienten auch dessen Kooperationsbereitschaft bei den neurologischen Tests ein.

Ein weiterer Nachteil ist das lange Stillliegen in einer unangenehmen Position. Auch dieser Punkt kann dazu führen, dass die Patienten nach einer gewissen Zeit unruhig und unkooperativ werden.

⁴⁹ Vgl. Distinguishing Monitored Anesthesia Care („MAC“) from Moderate Sedation/Analgesia (Conscious Sedation). Online im Internet: <https://www.asahq.org/~media/For%20Members/Standards%20and%20Guidelines/DISTINGUISHING%20MONITORED%20ANESTHESIA%20CARE.pdf> (Stand: 10.07.2014)

⁵⁰ Vgl. Piccioni F, Fanzio M. Management of anesthesia in awake craniotomy. *Minerva Anestesiol.* 2008 Jul-Aug;74(7-8):393-408.

⁵¹ Vgl. Blanshard HJ, Chung F, Manninen PH. Awake Craniotomy for Removal of Intracranial Tumor: Considerations for Early Discharge. *Anesth Analg.* 2001 Jan;92(1):89-94.

Picht et al.⁵² haben ein Protokoll entwickelt, mit dem sie aufgrund verschiedener Parameter nach dem brain mapping entscheiden, ob sie die Operation mittels MAC weiterführen oder eine Allgemeinnarkose einleiten. Dabei spielt zum einen die Entfernung der Läsion zum funktionellen Areal eine wichtige Rolle: unterschreitet diese 1 cm, wird die Tumorresektion beim sedierten Patienten durchgeführt, um die neurologischen Funktionen im Auge behalten zu können. Zum anderen wird speziell auf Risikofaktoren geachtet, die anzeigen, dass der Patient nicht mehr in der Lage sein wird, die Operation im wachen Zustand zu beenden. Dazu gehören ein Sättigungsabfall unter 90%, generalisierte Krampfanfälle, eine verminderte Compliance oder eine ernstzunehmende Hirnschwellung. Treten eines oder mehrere dieser Anzeichen auf, wird der Patient narkotisiert und intubiert.

2.3.2 Asleep-Awake-Asleep Technik

Die Asleep-Awake-Asleep Technik ist dadurch gekennzeichnet, dass der Patient zu Beginn der Operation, während der Schädelöffnung, tief sediert ist oder sogar in Allgemeinnarkose versetzt wird. Der BIS-Wert liegt dabei <60, in Sedierung erfolgt eine Reaktion nur mehr auf starkes Schütteln oder auf Schmerzreiz.⁵³

Das Atemwegsmanagement hängt von der angewandten Methode ab, der Patient atmet entweder spontan oder er wird maschinell beatmet. Allerdings wird auch im ersteren Fall ein invasives Device verwendet.

Wie bei jeder Narkose bietet nur die endotracheale Intubation einen 100 prozentigen Aspirationsschutz. Dazu bedarf es allerdings eines sehr tiefen Schlafes, damit die Patienten den Tubus auch tolerieren, was vor allem in der Aufweckphase zu Problemen führen kann. Diese wird häufig verlängert, eine Extubation ist für die sprachlichen Tests zwingend erforderlich und durch einen Überhang der Narkosemittel kann es zu einer verminderten Mitarbeit kommen.

Der Tubus stellt außerdem einen starken Fremdkörperreiz dar und bewirkt beim aufklarenden Patienten oftmals ein Husten, Pressen oder Würgen mit negativen Auswirkungen auf den Hirndruck sowie gefährlichen Kopfbewegungen in der Fixierung.

⁵² Vgl. Picht T, Kombos T, Gramm HJ. Multimodal protocol for awake craniotomy in language cortex tumor surgery. *Acta Neurochir (Wien)*. 2006 Feb;148(2):127-37.

⁵³ Vgl. Piccioni F, Fanzio M. Management of anesthesia in awake craniotomy. *Minerva Anestesiol*. 2008 Jul-Aug;74(7-8):393-408.

In einer älteren Studie von Huncke et al.⁵⁴ versuchten die Autoren diese Nachteile zu umgehen, indem sie über einen spiralförmig um den Tubus gewickelten Katheter ein Lokalanästhetikum applizierten, die Atemwege betäubten und die Intubation beim wachen Patienten durchführten. Zwar kam es in der genannten Arbeit zu keinen Komplikationen von Seiten des Atemwegs, allerdings führt die topische Anwendung von Lidocain zu einem Erlöschen der Schutzreflexe, wodurch eine erhöhte Aspirationsgefahr während der Wachphase besteht. Ebenso kann sich die Reintubation nach erfolgtem brain mapping durch die Kopffixierung als äußerst schwierig erweisen.

Mittlerweile stehen dem Anästhesisten zahlreiche andere Alternativen zur Verfügung, sodass die endotracheale Intubation nur mehr im äußersten Notfall angewandt werden muss, da die Nachteile bei dieser Art von Anästhesie überwiegen.

Tongier et al.⁵⁵ waren eine der Ersten, welche die Anwendung der Larynxmaske (= LMA) für die Wachkraniotomie beschrieben, allerdings verwendeten sie das Device beim wachen Patienten. Dazu wurde der Oropharynx mit Lokalanästhetikum betäubt und die Person während der Platzierung angewiesen zu schlucken, um die Maske leichter in Position zu bringen. Erst danach erfolgte die tiefe Sedierung mittels Propofol und 50% N₂O, die Patienten atmeten spontan. Die Autoren beschrieben keinerlei Atemwegskomplikationen während der Operation, auch kein Husten oder Pressen beim Entfernen während der Aufwachphase.

Die Vorteile der LMA bestehen vor allem in der einfachen Anwendung, speziell wenn der Zugang durch die Kopffixierung und die Lagerung erschwert ist, sowie einer verminderten Inzidenz von Husten oder Pressen gegenüber der Intubation, wie Tongier et al. betonen. Ebenso benötigen die Patienten nur eine geringere Sedierungstiefe, um die Larynxmaske zu tolerieren.

Falls es beim spontan Atmen zu einer Atemdepression und einem nachfolgenden Anstieg des CO₂ kommen sollte, besteht zusätzlich die Möglichkeit der kurzzeitigen Atemunterstützung mittels Beatmungsbeutel oder, wenn sich die Situation so nicht beherrschen lässt, der maschinellen Beatmung. Einzige Voraussetzung dafür ist ein vollständig dichter Cuff.

⁵⁴ Vgl. Huncke K, Van de Wiele B, Fried I. The Asleep-Awake-Asleep Anesthetic Technique for Intraoperative Language Mapping. *Neurosurgery*. 1998 Jun;42(6):1312-6

⁵⁵ Vgl. Tongier WK, Joshi GP, Landers DF. Use of the laryngeal mask airway during awake craniotomy for tumor resection. *J Clin Anesth*. 2000 Dec;12(8):592-4.

Selbstverständlich lässt sich die Larynxmaske auch von vornherein als Atemwegsdevice bei der Allgemeinnarkose verwenden.

Diese Methode bietet den Vorteil der kontrollierten Beatmung, wodurch der CO₂-Wert im Normbereich gehalten werden kann und eine optimale Oxygenierung gewährleistet ist.

Sarang et al.⁵⁶ verglichen in einer Studie das Auftreten von Komplikationen bei der Anwendung einer LMA und einer TIVA bei spontan atmenden und beatmeten Patienten. Dabei zeigte sich vor allem ein deutlicher Unterschied bei der Inzidenz der Hyperkapnie, die bei der Spontanatem-Gruppe 100% betrug, wohingegen keiner in der Beatmungsgruppe ein erhöhtes CO₂ aufwies.

Auch in einer anderen Arbeit⁵⁷ traten deutlich mehr respiratorische Komplikationen wie Sättigungsabfall oder ein CO₂-Anstieg in der Asleep-Awake-Asleep Gruppe mit Spontanatmung als in Allgemeinnarkose mit Beatmung auf.

Bei der Anwendung der Larynxmaske ist allerdings zu beachten, dass sie, was die Atemwegssicherung betrifft, der Intubation unterlegen ist. Daher sollte man bei möglichen Kandidaten vor allem auf die Anamnese einer gastroösophagealen Refluxkrankheit oder starkem Übergewicht achten, beides Punkte, welche die Aspirationsgefahr erhöhen.

Ebenso ist eine komplette antiemetische Abschirmung unumgänglich.⁵⁸

Ähnliches gilt für den Larynxtrachealtubus, der heutzutage ebenfalls zunehmend mehr Verwendung findet.

Neben der besseren respiratorischen Steuerbarkeit ist die Allgemeinnarkose der Sedierung in wenigen weiteren Punkten überlegen.

Zum einen schlafen die Patienten während der ersten, unangenehmen Phase der Operation, der Schädelöffnung, spüren dadurch weder Unruhe noch Angst und versuchen sich auch nicht in eine bequemere Position zu bringen.

Nach der Aufwachphase können sie sich ganz und gar auf die neurologischen Tests konzentrieren, ohne sich erst mit den vorangegangenen Empfindungen und dem Stress abfinden zu müssen.

Auch die Dauer der Operation erfährt keine Einschränkungen. Nach erfolgtem brain mapping und einer gewissen Distanz der Läsion zu funktionellen Arealen, ist die

⁵⁶ Vgl. Sarang A, Dinsmore J. Anaesthesia for awake craniotomy – evolution of a technique that facilitates awake neurological testing. *Br J Anaesth.* 2003 Feb;90(2):161-5.

⁵⁷ Vgl. Skucas AP, Artru AA. Anesthetic complications of awake craniotomies for epilepsy surgery. *Anesth Analg.* 2006 Mar;102(3):882-7.

⁵⁸ Vgl. Deras P, Moulinié G, Maldonado IL. Intermittent general anesthesia with controlled ventilation for asleep-awake-asleep brain surgery: a prospective series of 140 gliomas in eloquent areas. *Neurosurgery.* 2012 Oct;71(4):764-71.

Kooperation des Patienten nicht mehr länger notwendig. Daher kann die Entfernung des Tumors und das Wiederverschließen in aller Ruhe in Allgemeinnarkose durchgeführt werden, ohne auf die Ungeduld des Kranken Rücksicht nehmen zu müssen.⁵⁹

Sollte der Tumor jedoch zu nahe an einem eloquenten Areal liegen, empfiehlt es sich, die Resektion im wachen Zustand durchzuführen, da dann die Möglichkeit eines wiederholten brain mappings besteht und neu auftretende neurologische Defizite sofort erkannt werden. Diese Methode wird dann als Asleep-Awake-Technik bezeichnet.

Nachteile der Allgemeinnarkose ergeben sich auch durch das Aufwecken des Patienten, es kann zu Kältezittern oder Übelkeit und Erbrechen kommen, alles Situationen, die zu einem erhöhten Hirndruck führen können. Des Weiteren kann das Narkosemittel noch eine Zeit lang nachwirken, sodass die Mitarbeit des Patienten eingeschränkt ist.⁶⁰

Eine andere Methode des Atemwegsmanagements besteht in der Anwendung eines Nasopharyngealtubus, dem so genannten Wendl-Tubus. Dieses Device ist leicht und schnell über ein Nasenloch einzuführen, die Spitze kommt oberhalb der Epiglottis zu liegen und führt beim sedierten Patienten zum Offenhalten des Atemwegs trotz relaxierter Schlundmuskulatur.

Zusätzlich kann durch Verwendung eines Guedel-Tubus das Zurückfallen der Zunge verhindert werden.

Keifer et al.⁶¹ beschreiben die Möglichkeit, den Konnektor von einem normalen Magill-Tubus auf den Nasopharyngealtubus zu stecken und dann das Device mit einem Beatmungsgerät zu verbinden, sodass eine Beatmung mit geringen Beatmungsdrücken im Notfall möglich ist.

Eine andere Studie von Schulz et al.⁶² verwendet einen normalen endotrachealen Tubus transnasal, wobei die Spitze unter der Epiglottis, aber oberhalb der Stimmritze platziert wird. Während den neurologischen Tests kann der Tubus belassen werden, da er die Sprechfähigkeit des Patienten nicht beeinflusst. Falls es während der Operation zu respiratorischen Komplikationen kommen sollte, besteht die Möglichkeit, den Tubus

⁵⁹ Vgl. Deras P, Moulinié G, Maldonado IL. Intermittent general anesthesia with controlled ventilation for asleep-awake-asleep brain surgery: a prospective series of 140 gliomas in eloquent areas. *Neurosurgery*. 2012 Oct;71(4):764-71.

⁶⁰ Vgl. Olsen KS. The asleep-awake technique using propofol-remifentanyl anaesthesia for awake craniotomy for cerebral tumours. *Eur J Anaesthesiol*. 2008 Aug;25(8):662-9.

⁶¹ Vgl. Keifer JC, Dentchev D, Little K. A Retrospective Analysis of a Remifentanyl/Propofol General Anesthetic for Craniotomy Before Awake Functional Brain Mapping. *Anesth Analg*. 2005 Aug;101(2):502-8.

⁶² Vgl. Schulz U, Keh D, Fritz G. „Schlaf-Wach-Schlaf“-Technik zur Wachkraniotomie. *Anaesthesist* 2006 May;55(5):585-98.

fiberoptisch in die Trachea vorzuschieben und so eine Beatmung durchzuführen, wobei in diesem Fall sogar ein vollständiger Aspirationsschutz gewährleistet ist.

2.3.3 Awake-Awake-Awake Technik

Hansen et al.⁶³ stellen eine einzigartige Technik in ihrer Studie vor, bei der die Patienten zwar eine Lokal- und Regionalanästhesie erhalten, ansonsten aber nur psychologisch betreut werden. Durch Suggestion und Körperkontakt soll den Patienten durch die Operation geholfen werden, der Skalpblock und die Infiltration der Kopfhaut an den Bolzenstellen sorgen für die nötige Analgesie.

Eine während der gesamten OP anwesende Person steht in fortwährender Berührung mit dem Patienten, indem er Kontakt zur Hand oder Schulter des Kranken hält. Dadurch wird einerseits das Gefühl der Geborgenheit und der absoluten Betreuung vermittelt, zum anderen kann man die Atmung und den Stressfaktor des Patienten überwachen.

Durch vor der OP besprochene Suggestionen soll der Patient unangenehme Geräusche ausblenden, wie z.B. beim Lärm des Bohrers an ein Motorrad denken, sowie die Augen schließen und an einen „sicheren Ort“ reisen. Zusätzlich bekommt er Kopfhörer, über die entspannende Musik gespielt wird.

50 Operationen wurden mittel dieser Technik durchgeführt. Propofol wurde für Notfallsituationen bereitgestellt, allerdings nur bei 8 Patienten wirklich verabreicht, um einen intraoperativen Krampfanfall zu durchbrechen.

Ebenso wurde Remifentanyl für den Fall von auftretenden Schmerzen zur schnellen Verfügung vorbereitet, jedoch benötigten ein Drittel der Patienten überhaupt keine Gabe des Opioids, ein Viertel nur gegen Ende der Operation.

Die Autoren betonen, dass sich der Anästhesist normalerweise zu stark auf die Vitalparameter, das Atemwegsmanagement und die Schmerzwahrnehmung konzentriert und dabei die Kommunikation mit dem Patienten vernachlässigt.

Durch diese Technik wird stärker auf die Angst und die Hilflosigkeit der am OP-Tisch liegenden Person eingegangen.

Zusätzlich bietet diese Methode den Vorteil, dass es zu keinen Komplikationen aufgrund der Sedierung und der Analgesie, wie Atemdepression oder Übelkeit und Erbrechen, kommen kann. Auch ein Narkosemittelüberhang wird vermieden, was die Durchführung

⁶³ Vgl. Hansen E, Seemann M, Zech N. Awake craniotomy without any sedation: the awake-awake-awake technique. Acta Neurochir (Wien). 2013 Aug;155(8):1417-24.

der neurologischen Tests ohne Verzögerung und ohne Beeinträchtigung des Patienten ermöglicht.

2.4 Prämedikation

Einige Autoren entscheiden sich bewusst gegen Benzodiazepine vor der Operation, da sie einerseits aufgrund ihrer muskelrelaxierenden Wirkung die Atmung beeinträchtigen und somit zu Komplikationen führen können, andererseits die Wirkdauer schlecht abschätzbar ist und damit die Leistung des Patienten bei den neurologischen Tests negativ beeinflusst werden kann.^{64,65}

In der Epilepsiechirurgie sollte diese Arzneimittelgruppe vermieden werden, da sie zu einer Unterdrückung der elektrischen Potentiale im Gehirn führt und damit die Elektrokortikographie erschwert.⁶⁶

Clonidin stellt eine gute Alternative bei sehr ängstlichen Patienten dar. Es hat sowohl eine sedierende wie auch analgetische Komponente und man kann damit Blutdruckspitzen und Tachykardien in der Anfangsphase entgegenwirken.⁶⁷

Ansonsten gibt es noch die Möglichkeit, gänzlich auf eine präoperative Sedierung zu verzichten.

Eine antiemetische Prophylaxe ist unbedingt erforderlich, meist wird eine Kombination aus mehreren Präparaten verwendet. Dazu zählen z.B. Metoclopramid oder Ondansetron, aber auch Medikamente deren Wirksamkeit gegen Übelkeit und Erbrechen nur einen Teil ihres Wirkspektrums darstellt, wie Propofol, Clonidin oder Dexamethason.

Letzteres hat den Vorteil, dass es zusätzlich das häufig bei Tumorkranken vorhandene Hirnödem reduziert, wozu in manchen Arbeiten auch Mannitol verwendet wird.

Breitspektrumantibiotika werden in vielen Studien zur Prophylaxe von postoperativen Wundinfektionen angewandt.

⁶⁴ Vgl. Klimek M., Vincent AJ. Wachkraniotomie in der Tumorchirurgie - Was macht der Anästhesist ?. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther.* 2011 Jun;46(6):386-91.

⁶⁵ Vgl. Schulz U, Keh D, Fritz G. „Schlaf-Wach-Schlaf“-Technik zur Wachkraniotomie. *Anaesthesist* 2006 May;55(5):585-98.

⁶⁶ Vgl. Chui J, Manninen P, Valiante T. The Anesthetic Considerations of Intraoperative Electroencephalography During Epilepsy Surgery. *Anesth Analg.* 2013 Aug;117(2):479-86.

⁶⁷ Vgl. Berkenstadt H, Ram Z. Monitored Anesthesia Care in Awake Craniotomy for Tumor Surgery. *J Neurosurg Anesthesiol.* 2001 Jul;13(3):246-9.

Ebenso gehören Antikonvulsiva bei den meisten Anästhesisten zur Standard-Prämedikation, um, wie früher bereits erwähnt, das Risiko intraoperativer Krampfanfälle zu reduzieren.

2.5 Monitoring

In der Regel besteht das Monitoring in der Literatur aus einem EKG, einem Pulsoxymeter für die Sauerstoffsättigung, einer Kapnometrie/-graphie für das endtidale CO₂ und einer Blutdruckmessung. Diese wird meist während der gesamten Operation nicht-invasiv mittels Blutdruckmanschette durchgeführt. Andernfalls besteht die Möglichkeit, nach der Narkoseeinleitung oder wenn der Patient bereits sediert ist, eine arterielle Leitung zu legen und über diese den arteriellen Druck zu bestimmen. Ein weiterer Parameter, der häufig ebenfalls überwacht wird, ist die Atemfrequenz.

Die oben genannten Überwachungsgeräte gehören zum Standard-Monitoring und werden sowohl bei der MAC-Technik als auch bei der Asleep-Awake Technik ohne Unterschied gleichermaßen verwendet.

Einige wenige Studien erwähnen die Messung der Körpertemperatur.^{68,69,70,71}

Schulz et al.⁷² geben als Grund die lange OP-Dauer an und wollen damit eine Hypothermie rechtzeitig erkennen bzw. verhindern.

Ein Zentralvenöser Katheter und/oder ein Harnkatheter zur Überwachung des Flüssigkeitshaushaltes des Patienten werden ebenfalls nur in sehr wenigen Fällen angeführt.

Noch seltener wird die Anwendung eines Bispectral Index (= BIS) zur Überwachung der Narkosetiefe erwähnt.^{73,74} Es handelt sich dabei um einen numerischen Wert, der sich aus

⁶⁸ Vgl. Deras P, Moulinié G, Maldonado IL. Intermittent general anesthesia with controlled ventilation for asleep-awake-asleep brain surgery: a prospective series of 140 gliomas in eloquent areas. *Neurosurgery*. 2012 Oct;71(4):764-71.

⁶⁹ Vgl. Picht T, Kombos T, Gramm HJ. Multimodal protocol for awake craniotomy in language cortex tumor surgery. *Acta Neurochir (Wien)*. 2006 Feb;148(2):127-37.

⁷⁰ Vgl. Olsen KS. The asleep-awake technique using propofol-remifentanyl anaesthesia for awake craniotomy for cerebral tumours. *Eur J Anaesthesiol*. 2008 Aug;25(8):662-9.

⁷¹ Vgl. Schulz U, Keh D, Barner C. Anästhesiologisches Management bei Wachkraniotomien. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther*. 2004 Feb;39(2):112-4.

⁷² Vgl. Ebda S 114.

⁷³ Vgl. Hans P, Bonhomme V. Anesthetic management for neurosurgery in awake patients. *Minerva Anesthesiol*. 2007 Oct;73(10):507-12.

⁷⁴ Vgl. Conte V, L'Acqua C, Rotelli S. Bispectral Index During Asleep-Awake Craniotomies. *J Neurosurg Anesthesiol*. 2013 Jul;25(3):279-84.

verschiedenen, gemessenen Parametern des Elektroenzephalogramms ergibt und einen Wert zwischen 0 und 100 besitzt, wobei 0 keine messbare Hirnaktivität darstellt und 100 für den vollständig wachen Patienten steht. Der Vorteil dieses Monitorings besteht darin, das Auftreten von „awareness“-Episoden während der Operation zu vermeiden.

Für die Aufrechterhaltung einer Allgemeinanästhesie sollte ein Bereich zwischen 40 und 60 angestrebt werden. Dies gewährleistet eine adäquate Narkosetiefe, bei der die Patienten schmerzfrei sind, nicht auf Ansprache reagieren und sich nicht an die Operation erinnern können. Trotzdem ist ein rasches und angenehmes Erwachen möglich.

Bei einem BIS-Wert zwischen 70 und 80 kann man von einer oberflächlichen bis mittelstarken Sedierung ausgehen, zwischen 60 und 70 von einer tiefen Sedierung.⁷⁵

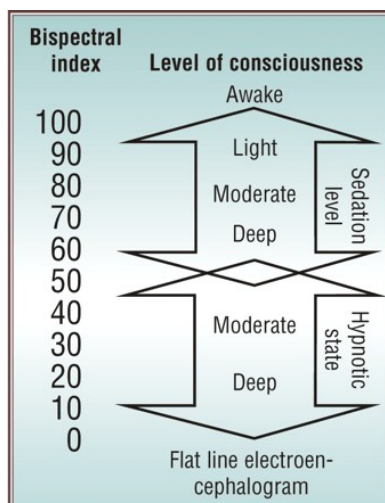


Abb. 5: Bispectral Index

Conte et al.⁷⁶ betonen die einfache Anwendung des BIS (die Elektroden werden einfach an der Stirn aufgeklebt) und erwähnen als Vorteil die Verwendung von geringeren Dosen des Hypnotikums, was in weiterer Folge zu einem schnelleren Erwachen des Patienten führt. Wird bei Verwendung der Asleep-Awake-Methode der BIS-Wert gegen Ende der ersten Asleep-Phase aufgrund einer Reduktion der Narkosemittel eher höher gehalten, kann die Extubation bzw. das Entfernen der Larynxmaske rascher erfolgen. Ebenso sind die Patienten schneller in der Lage die neurologischen Tests durchzuführen.

⁷⁵ Vgl. Überwachung des Bewusstseinszustands mit dem Bispectral Index™ während der Anästhesie. Eine Kurzanleitung für Kliniker. Online im Internet: <http://www.anandic.com/bausteine.net/f/9669/BIS-Monitoring.pdf?fd=2> (Stand: 15.01.2015)

⁷⁶ Vgl. Conte V, L'Acqua C, Rotelli S. Bispectral Index During Asleep-Awake Craniotomies. J Neurosurg Anesthesiol. 2013 Jul;25(3):279-84.

2.6 Komplikationen

Generell kann man die Komplikationen während einer Wachkraniotomie in vier große Gruppen einteilen: *respiratorische, hämodynamische, neurologische* und *anästhesiologische*.

1.) *respiratorische Komplikationen:*

Zu respiratorischen Problemen kommt es vor allem auf Grund einer zu starken Sedierung bei spontan atmenden Patienten. Die Atemdepression oder Atemwegsobstruktion hat einen Sättigungsabfall, eine Hyperkapnie und eine Zunahme des Hirndrucks zur Folge. Die größere Gefahr von respiratorischen Komplikationen besteht bei der Asleep-Awake Technik, da der Patient tiefer sediert werden muss, um das Atemwegsdevice zu tolerieren. Ebenso steigt mit höherer Opioiddosierung die Wahrscheinlichkeit einer Atemdepression. Daher ist es ratsam, von Beginn an einen Skalpblock zu setzen und die Fixationspunkte mit einem Lokalanästhetikum zu infiltrieren, um den intraoperativen Schmerzmittelverbrauch zu reduzieren.

Ein engmaschiges Monitoring mittels Sättigung, endtidalem CO₂ und wenn möglich Kontrolle der Atemfrequenz ist unumgänglich, um respiratorische Komplikationen frühzeitig zu erkennen.

2.) *hämodynamische Komplikationen:*

Hierbei spielen sowohl Hypertonie und Tachykardie als auch Hypotonie und Bradykardie eine wichtige Rolle. Die beiden Erstgenannten treten vor allem beim Anbringen der Mayfield-Klemme und bei der Inzision der Kopfhaut auf. Dabei gilt es gerade krisenhafte Blutdruckanstiege zu vermeiden, da aufgrund des vermehrten Blutvolumens der Hirndruck ansteigt. In der Literatur wird das Auftreten einer Hypertonie als Komplikation bei einer MAC-Operation zwischen 0% und 24% angegeben, bei der Asleep-Awake-(Asleep)-Technik mit Werten zwischen 0% und 27%.⁷⁷

Wie bereits im Kapitel „Lokalanästhesie und Skalpblock“ erwähnt, schafft bei diesem Problem eine Infiltration der Schnittstellen sowie eine Blockierung der Kopfhaut versorgenden Nerven Abhilfe, um die Schmerzantwort zu minimieren.

Eine Hypotension und Bradykardie kann wiederum bei einer Überdosierung des Opioids auftreten. Ebenso ist eine massive Verlangsamung der Herzfrequenz und ein Abfall des

⁷⁷ Vgl. Andersen JH, Olsen KS. Anaesthesia for awake craniotomy is safe and well-tolerated. Dan Med Bull. 2010 Oct;57(10):A4194.

Blutdrucks mit dem Zug an der Dura mater aufgrund eines trigeminokardialen Reflexes vergesellschaftet. Auch hier könnte die Lokalanästhesie der harten Hirnhaut den Komplikationen vorbeugen. Ansonsten sollte der Reiz sofort beendet und gegebenenfalls Atropin in Erwägung gezogen werden.⁷⁸

3.) *neurologische Komplikationen:*

Intraoperative Krampfanfälle als häufigste neurologische Komplikation werden in der Literatur mit einem Auftreten zwischen 0% und 24% angegeben.⁷⁹ Dabei handelt es sich meistens um fokale Krampfanfälle, die hauptsächlich während der Wachphase aufgrund des brain mappings zu beobachten sind. Eine Prophylaxe in Form von Antiepileptika und antikonvulsiv wirkenden Medikamenten hilft die Auftrittswahrscheinlichkeit zu reduzieren. Während der Operation kann mit Hilfe einer gekühlten Kochsalzlösung, die der Chirurg direkt auf das offenliegende Gehirn aufbringt, der Krampfanfall durchbrochen werden.

Auch Propofolboli können zu einem Sistieren des epileptischen Anfalls führen.

Kann mit keiner der genannten Methoden der Krampf durchbrochen werden, sollte der Patient in eine Allgemeinnarkose versetzt werden.

Ein erhöhter Hirndruck ist bei Tumorpatienten oftmals auf die Massenzunahme bzw. das begleitende Ödem im Gehirn zurückzuführen. Um ein weiteres Ansteigen zu verhindern, ist auf einen etCO₂-Wert im unteren Normbereich zu achten. Zusätzlich kann versucht werden, mittels Mannitol oder Glukokortikoiden den Hirndruck etwas zu verringern. Selbstverständlich kann es auch bei der Wachkraniotomie zu neuen neurologischen Defiziten kommen. Allerdings ist die Wahrscheinlichkeit deutlich geringer, als bei Operationen in Allgemeinnarkose. Auf diesen Punkt wird im nächsten Kapitel noch genauer eingegangen.

Häufig handelt es sich dabei nicht um dauerhafte neurologische Defizite, sondern um transiente Ausfälle, die aufgrund eines Ödems oder einer Entzündung rund um das Operationsgebiet entstehen und sich im Laufe der Zeit wieder zurückbilden.⁸⁰

⁷⁸ Vgl. Bonhomme V, Franssen C, Hans P. Awake craniotomy. Eur J Anaesthesiol. 2009 Nov;26(11):906-12.

⁷⁹ Vgl. Conte V, Baratta P, Tomaselli P. Awake neurosurgery: an update. Minerva Anestesiol. 2008 Jun;74(6):289-92.

⁸⁰ Vgl. See JJ, Lew TW, Kwek TK. Anaesthetic management of awake craniotomy for tumour resection. Ann Acad Med Singapore. 2007 May;36(5):319-25.

4.) *anästhesiologische Komplikationen:*

Die anästhesiologischen Komplikationen betreffen eine zu geringe Sedierung mit daraus resultierenden Schmerzen, Unruhe oder Angst, oder eine Überdosierung, die dann in weiterer Folge vor allem respiratorische Komplikationen nach sich zieht.

Ein weiterer wichtiger Punkt, der in diese Gruppe fällt, ist das Auftreten von Übelkeit und Erbrechen. Schulz et al.⁸¹ erwähnen zwei Gründe, wieso diese Komplikation gerade bei der Wachkraniotomie eine so entscheidende Rolle spielt: zum einen sind die Atemwege selbst bei der Anwendung einer Larynxmaske nie zu 100 Prozent gesichert, erst recht nicht bei der Verwendung eines anderen Device oder beim sedierten Patienten. Zum anderen kann diese Komplikation bereits während der Operation auftreten (da die Betroffenen aufgrund der neurologischen Tests aufwachen müssen oder gar nicht voll narkotisiert sind) und nicht erst wie üblich im Aufwachraum nach dem Beenden der Allgemeinnarkose.

Zusätzlich handelt es sich um eine Symptomatik, die nicht wie herkömmlich über die Area postrema ausgelöst wird, sondern durch den Zug an der Dura entsteht. Daher zeigen die normalerweise in solchen Situationen verwendeten Antiemetika nur eine verringerte Wirkung.

Trotzdem kann durch die Gabe solcher Medikamente die Wahrscheinlichkeit reduziert werden, vor allem wenn man eine Kombination aus mehreren antiemetisch wirkenden Substanzen verwendet, wie zum Beispiel Propofol, Ondansetron, Metoclopramid und Glukokortikoiden. Auch wenn es sich dabei um gefürchtete Komplikationen handelt, da sie zu einem erhöhten Aspirationsrisiko und einem Anstieg des Hirndrucks führen, wird das Auftreten in der Literatur nur mit Werten zwischen 0% und 6% angegeben.⁸²

2.7 Wachkraniotomien im Vergleich zu Tumoroperationen in Allgemeinnarkose

Die Vorteile, die eine Wachkraniotomie gegenüber einer herkömmlichen Tumorentfernung hat, wurden schon mehrmals erwähnt: ein größeres Resektionsgebiet mit einer geringeren Wahrscheinlichkeit neuer neurologischer Defizite aufgrund des brain mappings, eine geringere Komplikationsrate und kürzere Krankenhausaufenthalte.

⁸¹ Vgl. Schulz U, Keh D, Barner C. Anästhesiologisches Management bei Wachkraniotomien. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther.* 2004 Feb;39(2):112-4.

⁸² Vgl. Andersen JH, Olsen KS. Anaesthesia for awake craniotomy is safe and well-tolerated. *Dan Med Bull.* 2010 Oct;57(10):A4194

Viele Studien bestätigen die Überlegenheit der Wachkraniotomie bezüglich dieser Punkte im Vergleich zur Operation in Allgemeinnarkose.

Eine prospektive Arbeit von Sacko et al.⁸³ mit 575 Patienten konnte eine komplette oder subtotale Tumorentfernung zu 82% in der MAC-Gruppe erreichen, in der Allgemeinnarkosegruppe nur bei 40%. Auch bei der Dauer des Aufenthaltes auf der Intensivstation gab es deutliche Differenzen. Patienten, die einer Wachkraniotomie unterzogen wurden, konnten im Mittel die ICU bereits nach einem Tag wieder verlassen, wohingegen die Anwesenheit in der anderen Gruppe 3.8 Tage betrug.

Schlussendlich gab es auch beim Auftreten neuer neurologischer Defizite signifikante Unterschiede, der Wert betrug 3.3% in der MAC-Gruppe gegenüber 58% in der Allgemeinanästhesie-Gruppe. Diese deutliche Differenz zwischen den beiden Resultaten ist vor allem auf die Möglichkeit der Anwendung eines brain mappings zurückzuführen. Ali et al.⁸⁴ kamen zu ähnlichen Ergebnissen bei einer kleineren Studie mit 40 Patienten, obwohl sie in der Wachkraniotomie-Gruppe kein brain mapping durchführten, sondern die neurologischen Funktionen nur durch Beobachtung von Veränderungen beim Patienten überwachten. 14 Personen aus der Allgemeinnarkose-Gruppe benötigten eine Aufnahme auf die Intensivstation, die mittlere Aufenthaltsdauer im Krankenhaus betrug 8.15 ± 6.5 Tage.

In der Wachkraniotomie-Gruppe, wobei die Operation mittels MAC-Technik durchgeführt wurde, benötigten nur 2 Patienten eine intensivmedizinische Betreuung, im Mittel konnten die betroffenen Personen das Krankenhaus nach 3.8 ± 4.15 Tagen wieder verlassen.

Eine weitere Arbeit⁸⁵ verglich das Auftreten von PONV zwischen Operationen durchgeführt am wachen Patienten, ebenfalls mit MAC-Technik, und herkömmlichen Kraniotomien. Die Wachgruppe erhielt Midazolam, Fentanyl oder Remifentanyl und Propofol, 5 der 50 Patienten erhielten zusätzlich Droperidol.

Den 57 Patienten der Vollnarkose-Gruppe wurde Thiopental oder Propofol, Isofluran oder Desfluran, Lachgas und Fentanyl verabreicht. Zusätzlich erhielten sie Rocuronium oder Pancuronium zur Muskelrelaxation.

⁸³ Vgl. Sacko O, Lauwer-Cances V, Brauge D. Awake craniotomy vs surgery under general anesthesia for resection of supratentorial lesions. *Neurosurgery*. 2011 May;68(5):1192-8

⁸⁴ Vgl. Ali MZ, Fadel NA, Abouldahab HA. Awake craniotomy versus general anesthesia for managing eloquent cortex low-grade gliomas. *Neurosciences (Riyadh)*. 2009 Jul;14(3):263-72.

⁸⁵ Vgl. Manninen PH, Tan TK. Postoperative nausea and vomiting after craniotomy for tumor surgery: a comparison between awake craniotomy and general anesthesia. *J Clin Anesth*. 2002 Jun;14(4):279-83.

Während der Wachkraniotomie kam es zu keinem Auftreten von Übelkeit und Erbrechen, wohingegen 2 Patienten aus der anderen Gruppe im Laufe der Extubation erbrechen mussten.

Auch in den ersten 4 Stunden postoperativ benötigten die Patienten aus der Wachgruppe weniger Antiemetika und es kam zu einem geringeren Auftreten von PONV als in der Allgemeinnarkose-Gruppe.

Klimek et al.⁸⁶ beschäftigten sich in ihrer Studie mit einem anderen Aspekt der Operation, sie untersuchten, ob es Unterschiede bezüglich der Entzündungsreaktion nach einer Wachkraniotomie oder einer Standard-Kraniotomie gibt. Die Autoren vermuteten, dass es bei einer Operation im wachen Zustand aufgrund der größeren emotionalen und psychischen Belastung zu höheren Entzündungswerten kommen würde.

Um dies zu beweisen, wurde die Zytokinkonzentration von IL-6, IL-8 und IL-10 im Plasma vor, während und nach der OP gemessen. Zytokine gehören zu den Akut-Phase Proteinen und sind sowohl bei der zellulären als auch bei der humoralen Immunantwort beteiligt.

Interessanterweise konnten die Autoren keinen Unterschied bezüglich des Plasmaprofiles zwischen den beiden Gruppen feststellen. Nur bei IL-6 kam es zu einem signifikanten Anstieg, allerdings in beiden Patientenkollektiven. Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass mit Hilfe psychologischer Unterstützung und einer guten Vorbereitung des Patienten der Stress deutlich reduziert werden kann.

2.8 Die Patientenzufriedenheit bei Wachkraniotomien

Danks et al.⁸⁷ haben in einer Studie die Patientenzufriedenheit in Zusammenhang mit der an ihnen durchgeführten Wachkraniotomie in Sedierung beschrieben.

Die Operation wurde mittel MAC Technik durchgeführt, die 2 Gruppen erhielten entweder Midazolam, Fentanyl und Sufentanil oder die drei eben genannten Medikamente in Kombination mit Propofol.

Zusätzlich wurden die Befestigungspunkte der Mayfield-Klemme, die Hautinzisionsstelle und die dieses Areal versorgenden Nerven lokal betäubt.

⁸⁶ Vgl. Klimek M, Hol JW, Wens S. Inflammatory profile of awake function-controlled craniotomy and craniotomy under general anesthesia. *Mediators Inflamm.* 2009;2009:670480. doi: 10.1155/2009/670480. Epub 2009 Jun 8.

⁸⁷ Vgl. Danks RA, Rogers M, Aglio LS. Patient Tolerance of Craniotomy Performed with the Patient under Local Anesthesia and Monitored Conscious Sedation. *Neurosurgery* 1998 Jan;42(1):28-34.

Insgesamt nahmen 21 Patienten an dieser Studie teil. Sie wurden am 2. und 3. postoperativen Tag bezüglich ihrer Erinnerungen an die Operation interviewt. Ein spezielles Augenmerk wurde auf die Fragen gelegt, ob die Patienten während der Prozedur Schmerzen, Angst oder Unbehagen verspürten, wie zufrieden sie mit der gesamten Operation waren und ob sie, wenn nötig, noch einmal eine Wachkraniotomie durchführen lassen würden.

Ein Viertel der Patienten konnte sich nur daran erinnern, kurz wach gewesen zu sein, die Hälfte konnte noch bestimmte Momente des brain mappings rekonstruieren. Nur vier Patienten gaben an, sich an den Großteil der Operation erinnern zu können.

50% der Befragten verspürten keine Schmerzen während der gesamten Prozedur, der Rest gab die Schmerzintensität als gering bis moderat an. Dabei kam es vor allem bei der Anlage der Mayfield-Klemme, Manipulationen an der Dura und beim Verschluss des Operationsgebietes zu den intensivsten Wahrnehmungen.

Als unangenehm und beängstigend wurde vor allem das Geräusch des Bohrers während der Schädelöffnung empfunden, sowie die Auswirkungen des brain mappings.

Dabei handelte es sich einmal um einen fokalen, epileptischen Anfall, der zum ersten Mal auftrat und um eine kurze Sprachstörung bei der Austestung des Sprachareals. Obwohl alle Patienten zuvor über solche möglichen Komplikationen genauestens informiert wurden, empfanden beide diese Situationen während der Operation als äußerst angsteinflößend.

Insgesamt gaben 18 der 21 Patienten an, dass sie sich, wenn nötig, noch einmal der gleichen Prozedur unterziehen würden.

Eine zweite Studie⁸⁸, die sich ebenfalls mit der Zufriedenheit der durchgeführten Wachkraniotomie unter conscious sedation beschäftigt, interviewte 27 Patienten 1-2 Wochen nach der Operation.

Das Besondere an der Studie war, dass ein Teil der Eingriffe ambulant durchgeführt wurde. Dieses Vorgehen wurde von den betroffenen Patienten als besonders positiv hervorgehoben. Sie empfanden dadurch ihre Erkrankung als weniger ernst und hatten das Gefühl, dass sie sich zu Hause schneller und besser erholen könnten.

Ein Kommentar war besonders eindrucksvoll:

„I was surprisingly [sic] shocked that it was that simple, that easy. I didn't expect that.“⁸⁹

⁸⁸ Vgl. Khu KJ, Doglietto F, Radovanovic I. Patients' perceptions of awake and outpatient craniotomy for brain tumor: a qualitative study. J Neurosurg 2010 May;112(5):1056-60.

Wrede et al.⁹⁰ haben einen vorgefertigten Fragebogen an 46 Patienten ausgegeben, die eine Wachkraniotomie in conscious sedation hatten und verglichen die Resultate mit einer zweiten Gruppe von 41 Patienten, die eine supratentorielle Tumorentfernung in Allgemeinanästhesie hatten. Die Wachkraniotomie wurde unter Midazolam, Piritramid und Lokalanästhesie an den Fixierungspunkten durchgeführt.

Der Fragebogen wurde von beiden Patientengruppen zwischen dem 2. und 4. postoperativen Tag ausgefüllt und beinhaltete Punkte wie Autonomie, Kommunikation, Schmerzen und Angst.

Bei der Auswertung zeigte sich, dass die Wachkraniotomie bessere oder gleich gute Resultate in allen Kategorien erzielte wie die Allgemeinanästhesie. Besonders zufrieden waren die Patienten mit den Punkten Schmerzen, körperliche Beschwerden und Information.

Die Autoren führen diese guten Resultate darauf zurück, dass die Patienten nach der Operation in Sedierung nicht an den Nebenwirkungen einer Allgemeinanästhesie litten, wie zum Beispiel Übelkeit oder Schwindel. Dadurch war es möglich, die Patienten rascher zum Aufstehen zu bewegen, was die Stimmung enorm verbesserte.

Zusätzlich gab es einige Betroffene, die zum ersten Mal von der Möglichkeit einer Wachkraniotomie hörten, wodurch häufigere und intensivere präoperative Gespräche nötig waren als vor einer Allgemeinnarkose. Dies führte zu einem engeren Kontakt zwischen dem Ärzte- und Pflegepersonal und dem Patienten und stärkte vor allem das Vertrauensverhältnis.

Whittle et al.⁹¹ beschäftigten sich mit den Wahrnehmungen der Betroffenen während einer Wachkraniotomie in Asleep-Awake-Technik.

Die Operationen wurden mittels TIVA durchgeführt, die Patienten erhielten eine Larynxmaske und wurden IPPV beatmet. Zusätzlich wurden die Fixierpunkte der Mayfield-Klemme mit einem Lokalanästhetikum infiltriert und eine regionale Nervenblockade durchgeführt. Der Verschluss der Kraniotomie fand entweder in Sedierung oder in erneuter Allgemeinanästhesie statt.

⁸⁹ Vgl. Khu KJ, Doglietto F, Radovanovic I. Patients' perceptions of awake and outpatient craniotomy for brain tumor: a qualitative study. *J Neurosurg* 2010 May;112(5):1056-60.

⁹⁰ Vgl. Wrede KH, Stieglitz LH, Fiferna A. Patient acceptance of awake craniotomy. *Clin Neurol Neurosurg*. 2011 Dec;113(10):880-4.

⁹¹ Vgl. Whittle IR, Midgley S, Georges H. Patient perceptions of „awake“ brain tumor surgery. *Acta Neurochir. (Wien)* 2005 March;147(3):275-7.

Bei dieser Studie nahmen 15 Patienten teil, sie mussten vor ihrer Entlassung einen Fragebogen mit 10 Fragen bezüglich ihrer Erfahrungen und Gefühle in Zusammenhang mit der Wachkraniotomie beantworten.

Zwar konnten sich nur ca. 2/3 konkret an das brain mapping erinnern, trotzdem gab der Großteil der Patienten an, sich während der Operation wohl gefühlt und kaum bis keine Angst empfunden zu haben.

Das größte Unwohlsein und die meisten Schmerzen rief wiederum die Kopffixierung hervor.

Eine einzige Studie⁹² äußerte sich negativ über die psychischen Auswirkungen einer Wachkraniotomie.

Dabei wurden 16 Patienten mit Hilfe eines Fragebogens interviewt, die sich zuvor einer Wachkraniotomie in Analgosedierung mit Propofol und Remifentanyl unterzogen hatten. Die Fragen zielten vor allem darauf ab, Symptome einer posttraumatischen Belastungsstörung zu erkennen.

2 der Patienten gaben an, bereits während der Prozedur unter extremen Angstgefühlen gelitten zu haben, ungefähr die Hälfte berichtete über wiederkehrende, bedrückende Erinnerungen an die Operation. Insgesamt kamen sie zu dem Ergebnis, dass 2 der 16 Patienten psychologische Symptome ähnlich einem PTSD zeigten, bei einem der beiden verschwanden sie innerhalb von 3 Monaten nach der OP wieder.

Generell kann man aber durchaus sagen, dass Wachkraniotomien von Patienten sehr gut toleriert werden. Mehr noch, Patienten profitieren nicht nur von der Möglichkeit eines größeren Resektionsgebietes, die Wachphase gibt ihnen auch das Gefühl der Kontrolle über ihre Erkrankung. Sie können aktiv an der Operation teilnehmen und haben dadurch selbst die Möglichkeit, den Ausgang der OP zu verbessern und zu beeinflussen.

In einer Studie gaben Patienten an, dass es sehr angenehm war, während der Prozedur mit dem Chirurgen zu sprechen und somit über den Fortschritt der Operation informiert zu werden. Sie wussten gegen Ende der Wachphase bereits, ob der Eingriff gut gelungen ist und ob neue neurologische Defizite aufgetreten sind oder nicht.⁹³

⁹² Vgl. Milian M, Luerding R, Ploppa A. „Imagine your neighbor mows the lawn“: a pilot study of psychological sequelae due to awake craniotomy. J Neurosurg. 2013 Jun;118(6):1288-95.

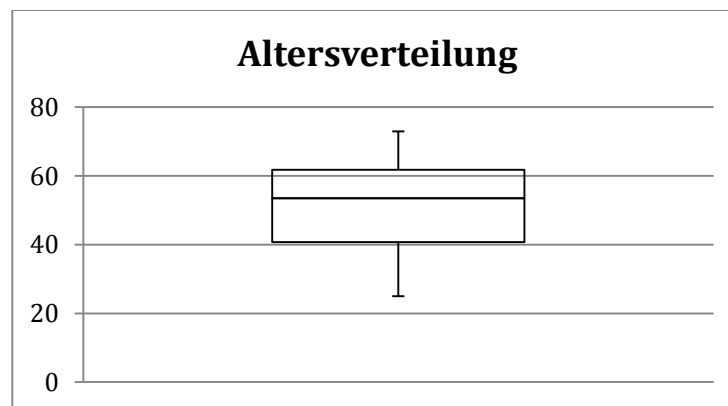
⁹³ Vgl. Wrede KH, Stieglitz LH, Fiferna A. Patient acceptance of awake craniotomy. Clin Neurol Neurosurg. 2011 Dec;113(10):880-4.

3 Retrospektive Datenauswertung und Analyse der Wachkraniotomien am Universitätsklinikum Graz

3.1 Patienten und Methoden

Im Zeitraum zwischen November 2008 und Juli 2014 fanden am Grazer Universitätsklinikum 30 Wachkraniotomien statt, wobei sich 2 der eingeschlossenen Patienten einer zweimaligen Prozedur unterzogen. Es handelte sich dabei um 13 weibliche und 17 männliche Patienten im Alter zwischen 25 und 73 Jahren, das Medianalter betrug 53,5 Jahre.

Tab. 1: Altersverteilung



Die Indikationsstellung zur Durchführung einer Wachkraniotomie wurde bei sämtlichen Patienten aufgrund der Nähe der malignen Läsionen zu sprachlich und/oder motorisch wichtigen Hirnarealen im präoperativen MRT gestellt.

Dabei befand sich der Tumor in 29 von 30 Fällen in der linken Hemisphäre, entweder frontal, temporal, parietal oder über zwei dieser Regionen übergreifend.

Bei den Operationen handelte es sich um 21 Eingriffe, um einen neu entdeckten Tumor zu resezieren, 8 Rezidiveingriffe und 1 Prozedur, die einen aus einer Vor-Kraniotomie zurückgebliebenen Tumorrest gänzlich entfernen sollte.

10 der 21 Patienten mit einer erstmalig diagnostizierten Läsion wurden aufgrund von neu aufgetretenen Sprachstörungen oder Wortfindungsstörungen vorstellig, einer davon hatte zusätzlich einen fokalen Krampfanfall, ein weiterer Absencen und eine Hypästhesie der rechten Gesichtshälfte.

6 Personen suchten die Notaufnahme aufgrund eines generalisierten Krampfanfalls auf, 1 Person wegen eines fokalen Krampfes.

Ein Patient kam wegen eines Schwächegefühls in den Beinen ins Krankenhaus, ein weiterer aufgrund von Gedächtnisstörungen und ein Dritter verspürte eine Schwäche in der gesamten rechten Halbseite. Beim letzten der 21 Patienten wurden zerebrale Metastasen im Rahmen eines Stagings aufgrund eines Hodenchorionkarzinoms entdeckt.

Tab. 2: Symptome bei der Erstmanifestation des Tumors

	n=21
Neu aufgetretene Sprachstörung	10
+ fokaler Krampfanfall	1
+ Absencen, Hypästhesie rechte Gesichtshälfte	1
Generalisierter Krampfanfall	6
Fokaler Krampfanfall	1
Schwächegefühl in den Beinen	1
Gedächtnisstörungen	1
Schwäche rechte Halbseite	1
Metastasen im Rahmen eines Stagings	1

Die Histologie ergab in 13 Fällen ein multiformes Glioblastom als Ursache, ein Patient wurde zweimal operiert, in 4 Fällen ein Astrozytom und in 2 Fällen eine Mischform aus beiden Tumorarten.

Eine Rekraniotomie aufgrund eines Glioblastoms ergab kein Tumormaterial, sondern nur gliotisches Hirngewebe.

Tab. 3: Tumorhistologie

	n=28*
Multiformes Glioblastom	13
Astrozytom	4
Mischform Glioblastom/Astrozytom	2
Gliotisches Hirngewebe	1
Oligoastrozytom	2
Gliosarkom	1
Gangliogliom	1
Oligodendrogliom	1
Prim. neuroektodermaler Tumor	1
Hamartöse Läsion	1
Chorionkarzinommetastasen	1

* 2 Patienten wurden zweimal operiert

Zu den Läsionen mit einer geringeren Häufigkeit zählten zweimal ein Oligoastrozytom, einmal ein Gliosarkom, einmal ein Gangliogliom und einmal ein Oligodendrogliom. Schließlich litt 1 Patient unter einem primitiven neuroektodermalen Tumor, einer unter einer hamartösen Läsion und der letzte Patient unter Chorionkarzinometastasen, welcher ebenfalls zweimal operiert wurde.

Die retrospektive Datenauswertung erfolgte anhand der präoperativen Durchuntersuchung, den Narkoseprotokollen und den postoperativen Dekursen auf der Intensivstation.

Ein besonderes Augenmerk wurde auf hämodynamische und respiratorische Parameter während der Operation gelegt. Ein BIS-Monitoring war bei allen Patienten bis auf drei vorhanden, leider konnten die genauen Werte nachträglich nicht mehr evaluiert werden.

Da sowohl die MAC als auch die AAA-Technik angewandt wurde, konnten der Narkosemittelverbrauch und die Komplikationsrate bei beiden Methoden verglichen werden.

Ein weiterer wichtiger Punkt war das Auftreten neuer neurologischer Defizite nach der OP. Aus diesen Daten und dem Vergleich mit den Erkenntnissen aus der Literaturrecherche wurde ein einheitliches Narkoseprotokoll für zukünftige Wachkraniotomien am Grazer Universitätsklinikum erstellt, welches im nächsten Kapitel vorgestellt wird.

3.2 Prämedikation

Prinzipiell wurden für die Auswertung der Prämedikation die am präoperativen Durchuntersuchungsbogen verordneten Medikamente verwendet.

Allerdings gab es bei einigen Patienten Diskrepanzen zwischen diesen Angaben und den laut Narkoseprotokoll tatsächlich verabreichten Präparaten.

Am präoperativen Durchuntersuchungsblatt wurde für 15 von den 30 Betroffenen Midazolam 7,5 mg p.o. 1 Stunde vor der OP und für 2 Patienten Midazolam i.v. im Operationssaal vermerkt. Laut Narkoseprotokoll erhielt einer der beiden jedoch Clonidin 0,15 mg p.o. anstelle von intravenösem Midazolam.

2 der 15 Personen benötigten aufgrund der oralen Midazolamgabe während der Wachphase 0,1 mg bzw. 0,2 mg Flumazenil, um bei den neurologischen Tests eine adäquate Leistung erbringen zu können.

3 Patienten erhielten keine Prämedikation, den restlichen 10 wurde bei der Durchuntersuchung Clonidin 0,15 mg p.o. verordnet, allerdings wurde die Gabe bei 7 nicht

am Narkoseprotokoll vermerkt und zwei Kandidaten stattdessen Midazolam 7,5 mg p.o. verabreicht.

Des Weiteren wurde darauf geachtet, dass die von einigen Personen benötigten Antiepileptika auch am OP-Tag eingenommen wurden, um das Risiko intraoperativer Krampfanfällen zu minimieren. Davon betroffen waren 7 Patienten, die vor der Operation ihre tägliche Medikation an Levetiracetam erhielten, 2 Valproinsäure und 1 Patient, der eine Kombinationstherapie aus Lamotrigin und Levetiracetam benötigte.

Zwei Personen litten unter Asthma bronchiale und bekamen präoperativ Symbicort®, um einen möglichen Anfall zu verhindern, bei einem Patienten mit bekannter Parkinson-Krankheit wurde seine tägliche Dosis an Pramipexol auch am OP-Tag verschrieben.

3.3 Monitoring und OP-Vorbereitung

Das Basismonitoring bestand bei jedem der 30 Patienten aus einem EKG, einer nicht-invasiven Blutdruckmessung (=NIBP) und einem Pulsoxymeter. Im OP-Vorraum erfolgte zunächst die Einleitung der ersten Schlafphase, wobei die Tiefe der Sedierung von Patient zu Patient unterschiedlich war.

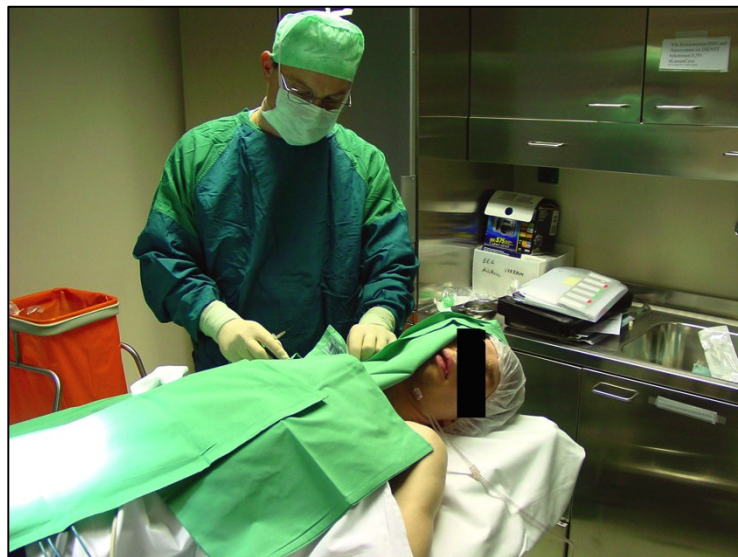


Abb. 6: OP-Vorbereitung

Bei etwas mehr als der Hälfte (16 von 30) wurde eine Kombination aus Fentanyl und Propofol verwendet. 11 Personen erhielten 50 µg Fentanyl, die restlichen fünf 100 µg des Opioids.

Die Propofoldosierung schwankte zwischen 2,00 – 10,95 mg/kg/h. Einem der 16 Patienten wurde zusätzlich 1 mg Midazolam i.v. zur Einleitung der ersten Schlafphase verabreicht. 6 Personen erhielten an Stelle von Fentanyl Remifentanyl als Analgetikum, die Propofoldosierungen lagen dabei zwischen 3,00 - 7,50 mg/kg/h, die Remifentanyl-Perfusoren wurden auf 0,01 – 0,03 µg/kg/min eingestellt.

Bei 1 Person wurde eine Kombination aus Propofol, 100 µg Fentanyl und einem Remifentanyl-Perfusor mit einer Dosierung von 0,04 µg/kg/min verwendet.

Das Propofol wurde dabei als „target controlled infusion“ (=TCI) infundiert, es handelt sich dabei um eine computergesteuerte Verabreichungsform, bei der eine zuvor definierte Zielkonzentration des Medikaments im Plasma oder im Gewebe erreicht werden soll, indem das Gerät die Laufraten entsprechend anpasst und sich dabei auf patientenbezogene Daten wie z.B. das Gewicht, das Alter, die Größe und das Geschlecht bezieht.

Die Vorgabe bei dieser Person lautete 4 µg/ml zur initialen Sedierung mit einer Reduktion auf 3 µg/ml innerhalb der ersten Schlafphase.

7 Patienten wurden nur mittels Propofol sediert, einer erhielt ebenfalls eine TCI mit einem Zielwert zwischen 1,8 und 2,2 µg/ml im Gehirn, bei den restlichen 6 Patienten lagen die Einstellungen zwischen 2,94 – 10 mg/kg/h. 1 Person bekam zusätzlich zu dem Propofol 2 mg Midazolam i.v. verabreicht.

Tab. 4: Medikamente und Dosierungen zur Einleitung der 1. Schlafphase

	Dosierungsspannweite/ Zielkonzentration	n=30
Propofol alleine Perfusor	2,94-10,00 mg/kg/h	6 ¹
Propofol alleine TCI	1,8-2,2 µg/ml	1
Propofol + Fentanyl 50 µg	2,00-10,95 mg/kg/h	11 ²
Propofol + Fentanyl 100 µg	2,00-10,95 mg/kg/h	5
Propofol + Remifentanyl	3,00-7,50 mg/kg/h 0,01-0,03 µg/kg/min.	6
Propofol als TCI + Fentanyl 100 µg + Remifentanyl	3-4 µg/ml 0,04 µg/kg/min.	1

¹: ein Patient erhielt zusätzlich Midazolam 2mg

²: ein Patient erhielt zusätzlich Midazolam 1mg

Zu diesem Zeitpunkt atmeten alle 30 Patienten spontan und ohne Einsatz eines Atemwegsdevices, sie wurden lediglich zum Teil mit einer Sauerstoffmaske versorgt. Im Anschluss wurden weitere Vorbereitungen für die Operation getroffen. Dazu zählten das Versorgen des OP-Kandidaten mit weiteren Zugängen: grundsätzlich erhielt jeder Patient zwei großlumige, periphere Venenkatheter an den Füßen, eine arterielle Leitung, um eine invasive Blutdruckmessung durchführen zu können und die Anlage eines ZVK.



Abb. 7: Monitoring

Der zentralvenöse Katheter sollte einerseits einen schnellen, herznahen Zugang darstellen, um im Notfall Medikamente verabreichen zu können, andererseits bietet er die Möglichkeit, den zentralvenösen Druck zu messen und damit den Flüssigkeitshaushalt des Patienten zu überwachen.

Ebenso wurden alle 30 Personen mit einem Harndauerkatheter mit Temperaturmeßmöglichkeit versorgt.

Um eine Reduktion des perifokalen Ödems herbeizuführen, das üblicherweise um den Tumor herum entsteht, bekamen 27 der 30 Patienten Dexamethason verabreicht. Bei 22 Personen handelte es sich dabei um eine Einmalgabe von 80 mg, 1 Patient erhielt diese Dosis ein zweites Mal. Den restlichen vier wurde 60 mg des Glukokortikoids appliziert. Zusätzlich zu seiner antiödematösen Wirkung, weist das Medikament schon bei geringen Dosierungen, ab 4 mg, eine antiemetische Komponente auf, die für die Patienten ebenfalls von Vorteil ist.

Als Antiemetika wurden hauptsächlich Metoclopramid und/oder Ondansetron verwendet. 15 Patienten erhielten eines der beiden Medikamente, es handelte sich dabei bei 10 Personen um Metoclopramid 10 mg, in dieser Gruppe befand sich ein Patient mit bekannter PONV, 4 Personen bekamen Ondansetron 8 mg und 1 Person Ondansetron 4 mg verabreicht.

Tab. 5: Antiemetika

Wirkstoff und Dosierung	n=27*
Metoclopramid 10 mg	10
Ondansetron 8 mg	4
Ondansetron 4 mg	1
Metoclopramid 10 mg + Ondansetron 12 mg	1
Metoclopramid 10 mg + Ondansetron 8 mg	8
Metoclopramid 10 mg + Ondansetron 4 mg	2
Ondansetron 4 mg + Dehydrobenzperidol 1,25 mg	1

*drei Patienten haben kein Antiemetikum erhalten

Auch in der 8 mg Ondansetron-Gruppe gab es einen Patienten, bei dem zuvor schon einmal postoperative Übelkeit und Erbrechen aufgetreten war.

Bei 11 Personen erfolgte eine kombinierte Prophylaxe aus beiden Medikamenten, wobei alle Metoclopramid 10 mg appliziert bekamen. Zusätzlich erhielten 8 Patienten Ondansetron 8 mg, 2 Ondansetron 4 mg, einer davon mit einer PONV in der Anamnese und 1 Person Ondansetron 12 mg.

Bei einem der 27 Patienten kam eine Zweifachabdeckung mittels Ondansetron 4 mg und Dehydrobenzperidol 1,25 mg zur Anwendung.

Die erste Schlafphase diente ebenfalls dazu, eine antibiotische Prophylaxe bei sämtlichen Personen durchzuführen. Als Standard wurde das Breitspektrumantibiotikum Cefazolin 2g verwendet, bei Patienten mit einer bekannten Penicillinallergie musste auf das Tetracyclin Vibravenös 100 mg ausgewichen werden.

Eine weitere Maßnahme stellte die Gabe von Glycopyrronium 0,2 mg bei 20 Personen dar. Dieses Medikament sollte zum einen die Sekretsekretion im gesamten oropharyngealen und respiratorischen Trakt vermindern und zum anderen möglichen intraoperativen Bradykardien, als Nebenwirkung der Remifentanyl-Gabe, entgegenwirken.

Des Weiteren erhielten 18 der 30 Patienten 50 mg Ranitidin als Zusatz in 500 ml Elomel isoton oder Ringer, um die Produktion an Magensäure zu reduzieren und somit in weiterer Folge eine Säureaspiration zu verhindern.

Nachdem sämtliche Vorkehrungen im OP-Vorraum getroffen wurden, erfolgte die Anästhesie-Freigabe mit anschließendem Transfer des Patienten in den Operationsaal. Dort wurde die Sedierung entweder gestoppt oder soweit reduziert, dass die Kandidaten aufwachten.

Diejenigen Patienten, die initial Fentanyl als Analgetikum verabreicht bekamen (16 von 30), erhielten nun einen Remifentanyl-Perfusor, bei den anderen lief die Dauerinfusion des Schmerzmittels einfach weiter. Die Dosierungsspannweite belief sich auf 0,01-0,35 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$, wobei die hohen Dosierungen meist kurz vor dem Hautschnitt zur Anwendung kamen. Ein Patient benötigte, vermutlich aufgrund von Schmerzen in der Wachphase, sogar eine Erhöhung des Analgetikums auf 1,96 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$.

Im wachen Zustand erfolgte zunächst die Lagerung des Patienten, erst wenn er angab bequem zu liegen und keine Druckstellen mehr zu verspüren, wurde mit der Kopffixierung begonnen.

Dabei erhielten 3 der 30 Personen einen Skalpblock, allerdings wurden bei 27 von 30 Patienten die Fixationspunkte mit Lokalanästhetikum unterspritzt, bei den übrigen drei enthielt das OP-Protokoll keine Angaben bezüglich der Verwendung einer lokalen Infiltration.

Das bevorzugte Medikament in Graz ist hierfür Ropivacain, mit Handelsnamen Naropin®.

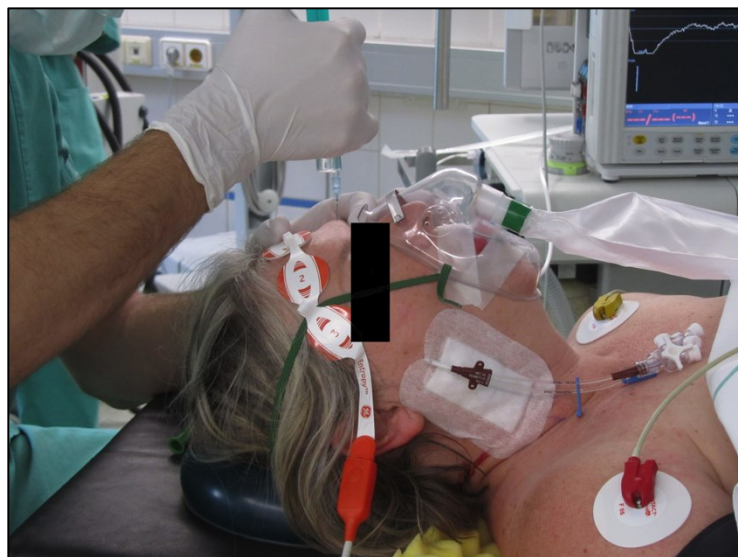


Abb. 8: Blockade des Nervus supraorbitalis

Ebenso wie bei Bupivacain handelt es sich bei Ropivacain um ein hochpotentes und langwirksames Lokalanästhetikum, allerdings besitzt es eine größere therapeutische Breite und eine geringere Kardiotoxizität.^{94,95}

Nach der Betäubung der Haut an den Fixierungspunkten wurden die Pins angebracht und der Kopf in der Klemme fixiert. Auch hier spielte die bequeme Lage des Patienten eine wichtige Rolle.

Danach wurde der OP-Kandidat erneut sediert, um mit der Operation beginnen zu können.

3.4 Intraoperatives Management

Nicht ganz zwei Drittel der Patienten, 19 von 30, wurden als Monitored Anaesthesia Care geführt, der Rest erhielt ein invasives Atemwegsdevice und fiel damit in die Gruppe der Asleep-Awake-Asleep Technik.

MAC bedeutete eine Sedierung mittels Propofol-Perfusor sowie eine Analgesie durch eine Remifentanyl-Dauerinfusion. Die Patienten atmeten alle spontan und erhielten nur eine Sauerstoffmaske mit Reservoir oder eine Nasenbrille. Zusätzlich wurde eine Kapnometrie/-graphie befestigt, um das endtidale CO₂ überwachen zu können.

Während der zweiten Schlafphase betrug der Propofolverbrauch im Mittel 5,42 mg/kg/h, mit einer Dosierungsspannweite von 2-10 mg/kg/h.

Um diesen Wert zu erhalten, wurde zunächst der mittlere Verbrauch des einzelnen Patienten berechnet, um danach aus diesen Ergebnissen den Mittelwert für die gesamte Gruppe zu erhalten.

In diese Rechnung flossen 17 der 19 Patienten mit ein, da zwei eine Target Controlled Propofol-Infusion erhielten. Bei einem der beiden wurde eine Zielkonzentration zwischen 1,8 und 2,2 µg/ml während der gesamten Operation eingegeben, bei dem anderen richtete sich die Dosierung nach BIS und Atmungsverhalten, daher war nachträglich keine genaue Datenerhebung möglich.

⁹⁴ Vgl. Ahrens J, Leffler A. Update zu Pharmakologie und Wirkung von Lokalanästhetika. *Anaesthesist*. 2014 May;63(5):376-86.

⁹⁵ Vgl. Kerscher C, Zimmermann M, Graf BM. Kraniale Leitungsanästhesien. Hilfreiche Techniken für Neurochirurgie, Dermatologie, plastische Chirurgie und Schmerztherapie. *Anaesthesist*. 2009 Sep;58(9):949-58.



Abb. 9: Wachphase: Der Patient telefoniert

Der Remifentanyl-Verbrauch belief sich im Mittel auf $0,033 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$, wobei die Dosierung zwischen $0,01$ - $0,11 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$ schwankte.

Zusätzlich zur intravenösen Analgesie erfolgte die Infiltration der Hautinzisionsstelle, der Muskulatur, der Galea sowie der Dura mit Lokalanästhetikum.

Sobald der Neurochirurg den Tumor erreicht hatte, gab er dem Anästhesisten ein Zeichen, woraufhin dieser die Sedierung stoppte und den Patienten aufwachen ließ.

Ein Psychologe führte die neurologischen Tests durch, während der Neurochirurg durch „brain mapping“ die eloquenten Areale abzugrenzen versuchte.



Abb. 10: Durchführung einer motorischen Übung

Zu den Aufgaben gehörte unter anderem Objekte zu benennen, Sätze zu vervollständigen, Zählen, motorische Übungen oder über sich selbst zu erzählen. Zwischendurch wurde der Patient immer wieder über seine Empfindungen befragt.

Während dieser Phase erhielten die Kandidaten nur eine i.v.-Analogie mittels Remifentanyl Perfusor. Die Dosierungen betragen bei 16 Patienten zwischen 0,01-0,03 µg/kg/min, 2 Patienten benötigten etwas höhere Raten von bis zu 0,05 µg/kg/min.

Eine Person hatte während der Wachphase eine Blutdruckspitze von 160 mmHg systolisch, vermutlich aufgrund von bestehenden Schmerzen und erhielt bis zu 0,12 µg/kg/min an Remifentanyl.

Nachdem das brain mapping beendet war, wurden die Patienten zur Tumorentfernung erneut sediert und die Analgesie verstärkt.

Tab.6: Durchschnittlicher Medikamentenverbrauch der einzelnen MAC-Patienten

	Propofol 2. Schlafphase mg/kg/h	Remifentanyl 2. Schlafphase µg/kg/min	Remifentanyl Wachphase µg/kg/min	Propofol 3. Schlafphase mg/kg/h	Remifentanyl 3. Schlafphase µg/kg/min
1	5,50	0,04	0,029	4,00	0,07
2	TCI	0,05	0,01	TCI	0,02
3	5,00	0,02	0,01	2,84	0,02
4	5,45	0,01	0,01	4,85	0,01
5	5,25	0,03	0,03	5,25	0,02
6	3,49	0,01	0,015	3,49	0,01
7	3,77	0,01	0,015	3,77	0,02
8	4,00	0,01	0,01	4,00	0,01
9	3,85	0,03	0,03	3,16	0,02
10	TCI	0,02	0,01	TCI	0,02
11	3,55	0,06	0,03	3,70	0,13
12	10,00	0,08	0,039	10,00	0,02
13	6,34	0,09	0,01	3,45	0,03
14	3,29	0,04	0,07	3,00	0,09
15	6,00	0,01	0,01	6,00	0,01
16	4,16	0,02	0,03	3,79	0,02
17	9,00	0,02	0,02	6,60	0,02
18	6,00	0,03	0,02	4,00	0,03
19	7,50	0,04	0,03	TCI	0,02

Die Propofoldosierungen betragen in dieser dritten Schlafphase im Mittel 4,49 mg/kg/h, mit einer Dosierungsbreite von 1,80-10,0 mg/kg/h, der Remifentanil-Perfusor wurde zwischen 0,01-0,21 µg/kg/min eingestellt, der Mittelwert betrug wie in der ersten Phase 0,33 µg/kg/min.

Hierbei musste ein weiterer Patient aus der Propofol-Gruppe ausgeschlossen werden, da die Sedierung nun mittels TCI durchgeführt wurde, mit einer Zielkonzentration von 2,4 µg/ml.

Gegen Ende der Operation wurde in 18 von 19 Fällen eine Schmerzmittel-Infusion verabreicht, wobei es sich bei 16 Patienten um Neodolpasse 250 ml und bei 2 Kandidaten um Metamizol 1g in einer Infusionslösung handelte.

Bei den verbleibenden 11 Personen wurde als Verfahren die Asleep-Awake-Asleep Technik angewandt. Die Sedierung erfolgte ebenfalls mittels Propofol und Remifentanil. Auch bei dieser Methode atmeten die Patienten spontan, im Gegensatz zu MAC-Technik wurde allerdings ein invasives Atemwegsdevice zur Schienung und zum Offenhalten der Atemwege gesetzt. Dabei wurde in 8 Fällen ein Nasopharyngealtubus verwendet, 3 mal in Kombination mit einer Sauerstoffbrille, 1 mal in Kombination mit einer Sauerstoffmaske und 4 mal wurde zusätzlich ein Guedel-Tubus platziert.

Bei einer Person handelte es sich nur um einen Guedel-Tubus, während bei zwei weiteren eine Larynxmaske zur Anwendung kam.

Auch bei diesem Patientenkollektiv wurden sämtliche Präparationsschichten mit einem Lokalanästhetikum infiltriert.

Die Propofoldosierungen während der 2. Schlafphase lagen im Durchschnitt sowohl in der Nasopharyngeal/Guedel-Tubus Gruppe mit 4,50 mg/kg/h als auch in der Gruppe mit der Larynxmaske mit 4,41 mg/kg/h ähnlich wie in der MAC-Gruppe, interessanterweise sogar ein wenig darunter.

Die Spannweiten betragen 0,82-10,00 mg/kg/h im ersten Patientenkollektiv und 2,82-6,00 mg/kg/h im zweiten.

Bei der Auswertung des Remifentanil-Verbrauchs zeigte sich ein fast identisches Ergebnis in der Wendl-Gruppe wie in der MAC-Gruppe, der Durchschnitt lag bei 0,032 µg/kg/min, mit Perfusor-Einstellungen zwischen 0,01-0,08 µg/kg/min.



Abb. 11: AAA-Technik: Wendl und Guedel-Tubus

Von den beiden Personen mit der Larynxmaske benötigte einer hohe Remifentanyl Dosierungen, um das Device zu tolerieren, dabei handelte es sich im Mittel um $0,2 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$, mit einer Dosierungsbreite von $0,1-0,3 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$. Der zweite Patient kam mit einem deutlich geringeren Verbrauch aus, er benötigte im Durchschnitt $0,02 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$, mit einer Spannweite von $0,01-0,03 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$.

Die Wachphase gestaltete sich ähnlich wie bei der MAC-Gruppe, allerdings musste das Atemwegsdevice vor dem vollständigen Erwachen des Patienten entfernt werden, um ihm das Sprechen zu ermöglichen. Auch die AAA-Kandidaten bekamen während der neurologischen Tests nur Remifentanyl verabreicht, 8 Personen aus der Gruppe mit dem Wendl Tubus erhielten Dosierungen zwischen $0,01-0,08 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$ und einer der beiden Patienten mit der Larynxmaske durchgehend $0,01 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$.

Eine Ausnahme bildete der andere Patient mit der Larynxmaske, er benötigte auch in der Wachphase hohe Remifentanyl Gaben mit Werten zwischen $0,1-0,2 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$.

Bei sämtlichen, eben genannten Berechnungen wurde eine Person, der Patient unter der Nummer 2 in Tabelle 7, nicht miteinbezogen. Bei ihm traten über die gesamte Operationsdauer, vermutlich aufgrund von Schmerzen, kontinuierlich erhöhte Blutdruckwerte und tachykarde Episoden auf. Sein Bedarf an Analgetika war deutlich höher als bei den anderen Patienten und würde somit den Mittelwert verfälschen. Auch bei den folgenden Auswertungen wurde so verfahren.

Nach Beendigung des brain mappings wurden die Patienten erneut sediert und die jeweilige Atemhilfe ein zweites Mal gesetzt.

Tab. 7: Durchschnittlicher Medikamentenverbrauch der einzelnen AAA-Patienten

Wendl	Propofol 2. Schlafphase mg/kg/h	Remifentanyl 2. Schlafphase µg/kg/min	Remifentanyl Wachphase µg/kg/min	Propofol 3. Schlafphase mg/kg/h	Remifentanyl 3. Schlafphase µg/kg/min
1	4,14	0,01	0,01	4,14	0,01
2	1,69	0,18	0,29	0,66	0,23
3	4,80	0,08	0,06	5,16	0,12
4	6,67	0,03	0,02	1,11	0,03
5	2,65	0,02	0,02	3,33	0,02
6	4,70	0,01	0,02	2,00	0,01
7	6,24	0,02	0,02	5,71	0,02
8	4,68	0,02	0,02	4,68	0,02
9	5,00	0,05	0,02	5,00	0,03
LMA					
10	2,82	0,2	0,15	1,59	0,2
11	6,00	0,02	0,01	4,62	0,02

Auch in der 3. Schlafphase, während der Tumorentfernung und dem Verschließen des Operationsgebietes, lag der Verbrauch an Propofol in der AAA-Gruppe unter dem Wert der MAC-Gruppe.

Bei den Patienten mit Nasopharyngealtubus betrug die Propofol-Dosierung im Mittel 3,53 mg/kg/h, die beiden Personen mit Larynxmaske erhielten im Durchschnitt 3,10 mg/kg/h. Die Spannweite reichte von 0,63-6,00 mg/kg/h in Gruppe 1 und 1,18-6,10 mg/kg/h in Gruppe 2.

Der Remifentanyl-Verbrauch wurde in der letzten Phase der Operation wieder etwas erhöht, im Wendl/Guedel-Tubus-Kollektiv betrug er im Mittel 0,03 µg/kg/min.

Bei den beiden Personen mit den LMAs ließ sich erneut ein großer Unterschied feststellen, einmal kamen 0,20 µg/kg/min zur Anwendung, bei dem anderen Patienten betrug die Dosierung im Mittel 0,02 µg/kg/min.

Auch im AAA-Kollektiv wurde in der letzten Phase der Operation gegen Ende zusätzlich eine Schmerzmittel-Infusion verabreicht, vor allem um postoperativ eine Analgesie aufrecht zu erhalten. Dabei handelte es sich in 8 Fällen um Neodolpasse 250 ml, zweimal um Paracetamol 1000 mg und einmal um 1g Metamizol in einer Infusionslösung.

Tab. 8: Durchschnittlicher Narkosemittelverbrauch in den einzelnen OP-Phasen

	MAC (n=19)	AAA (n=11)	
		Wendl/Guedel (n=8)	LMA (n=2)
2. Schlafphase			
Propofol	5,42 mg/kg/h ¹	4,50 mg/kg/h	4,41 mg/kg/h
Remifentanil	0,033 µg/kg/min	0,032 µg/kg/min ³	0,25 µg/kg/min ⁴ 0,02 µg/kg/min ⁵
Wachphase			
Remifentanil	0,02 µg/kg/min	0,02 µg/kg/min ³	0,15 µg/kg/min ⁶ 0,01 µg/kg/min ⁷
3. Schlafphase			
Propofol	4,49 mg/kg/h ²	3,53 mg/kg/h	3,10 mg/kg/h
Remifentanil	0,033 µg/kg/min	0,03 µg/kg/min ³	0,20 µg/kg/min ⁸ 0,02 µg/kg/min ⁹

¹ n=17: Ausschluss zweier Patienten aufgrund Verwendung einer TCI

² n= 16: Ausschluss dreier Patienten aufgrund Verwendung einer TCI

³ n= 7: Ausschluss eines Patienten aufgrund eines hohen Bedarfs an Remifentanil

^{4,6,8} Durchschnittswert von Kandidat 1 mit LMA

^{5,7,9} Durchschnittswert von Kandidat 2 mit LMA

3.5 Komplikationen und neurologisches Outcome

Wie in der Literaturrecherche wurden die Komplikationen bei der Auswertung in 4 große Kategorien eingeteilt: respiratorische, hämodynamische, neurologische und anästhesiologische.

Das Augenmerk bei der Gruppe der respiratorischen Komplikationen wurde auf einen Sättigungsabfall < 90 % und auf eine Hyperkapnie, zu verstehen als Werte über 45 mmHg, gerichtet.

Während der OP-Vorbereitung im Vorraum des Operationssaales wurde noch keine Unterscheidung zwischen der MAC- und der AAA-Gruppe getroffen.

In dieser Phase kam es bei 12 der 30 Patienten zu einem Abfall der arteriellen Sauerstoffsättigung auf Werte unter 90%, bei drei dieser Personen über einen längeren Zeitraum, d.h. über mehrere Messwerte. Allerdings muss erwähnt werden, dass bei 3 der 12 Kandidaten nur der 1. Wert betroffen war, sodass die Frage aufkommt, ob es sich um einen tatsächlichen Messwert handelte oder ob das Pulsoxymeter noch nicht richtig positioniert war.

Ebenso fraglich sind die Werte von 8 Patienten, die einen Sättigungsabfall während den Vorbereitungen im OP-Saal aufwiesen, da sie sich zu diesem Zeitpunkt im Wachzustand befanden und somit nicht miteinberechnet wurden.

Der andere Parameter, das endtidale CO₂, erreichte bei 4 von 30 Patienten während dieses Zeitraums Messergebnisse von 45 mmHg, bei einer Person kam es zu Werten über 50 mmHg.

Nach Beendigung der ersten Wachphase im Operationssaal, in welcher die Lagerung und die Kopffixierung der Patienten durchgeführt wurde, erfolgte die Aufteilung der Kandidaten in zwei Gruppen, je nach angewandter anästhesiologischer Technik.

Im MAC-Kollektiv wiesen 4 Personen (21%) während der zweiten Schlafphase und 2 am Ende der 3. Schlafphase, kurz vor Operationsschluss, eine erniedrigte arterielle Sauerstoffsättigung unter 90% auf.

2 Patienten hatten während der 2. Wachphase im OP-Saal einen Sättigungsabfall, wobei auch in diesen Fällen die Validität zweifelhaft ist.

Eine Aussage über erhöhte CO₂-Werte ließ sich nur in 16 von 19 Fällen treffen, da bei 3 Personen keine Kapnometrie/-graphiekurve im Narkoseprotokoll aufscheint.

Von den verbleibenden 16 Patienten wiesen 11 Kandidaten (68,75%) während der 2. Schlafphase eine Hyperkapnie auf, bei 5 (31,25%) dieser 11 Personen kam es einmalig oder über einen längeren Zeitraum sogar zu einem Anstieg des CO₂ auf Werte über 50 mmHg.

Zusätzlich kam es bei 6 dieser 11 Patienten auch in der letzten Schlafphase zu erhöhten Messergebnissen, bei 2 wieder mit Werten über 50 mmHg.

Bei einer weiteren Person wurde aufgrund von mangelnder CO₂-Abatmung der Propofol-Perfusor in der 3. Schlafphase gestoppt, auch wenn laut Kapnographie die Werte die 40 mmHg nie überschritten und er somit nicht in die Gruppe der Hyperkapnie-Komplikationen miteinberechnet wurde. Ebenso wenig zählte ein Patient dazu, dessen erster Kapnographie-Wert über 50 mmHg lag, die restlichen Messergebnisse aber alle ein endtidales CO₂ von unter 40 mmHg ergaben.

In der Asleep-Awake-Asleep Gruppe kam es während der Operation nur bei einem Patienten (9%) in der 3. Schlafphase zu einem Sättigungsabfall < 90%, bei einem zweiten war ein eben solcher Wert am Ende der Operation festzustellen, wobei sich die Frage aufwirft, ob sich das Pulsoxymeter zu diesem Zeitpunkt noch korrekt angebracht am Finger befand. Das gleiche gilt für einen erniedrigten Messwert bei einem Patienten während der 2. Wachphase.

Deutlich häufiger kam es in dieser Gruppe zu erhöhten CO₂-Werten, wobei auch in diesem Kollektiv bei 3 Kandidaten keine Kapnographie-Werte im Narkoseprotokoll aufscheinen. Gleich 6 der verbleibenden 8 Patienten (75%) wiesen während der 2. Schlafphase eine Hyperkapnie auf, 4 (50%) davon mit Werten über 50 mmHg über einen längeren Zeitraum. Bei drei dieser Personen kam es auch in der 3. Schlafphase, also während der Tumorentfernung und dem Verschluss, zu einem Anstieg des CO₂ auf über 45 mmHg, in zwei Fällen sogar mehrmals über 50 mmHg.

Tab. 9: respiratorische Komplikationsraten während der Schlafphasen im OP

	MAC (n=19)	AAA (n=11)
SpO ₂ < 90%	4 (21%)	1 (9%)
etCO ₂ > 45 mmHg	11 (68,75%) ¹	6 (75%) ²

¹ n=16: Ausschluss von drei Patienten aufgrund fehlender Kapnographie-Werte

² n=8: Ausschluss von drei Patienten aufgrund fehlender Kapnographie-Werte

An hämodynamischen Komplikationen wurden einerseits Tachykardien und eine Hypertension als Antwort auf Schmerzen, Unruhe oder Angst vermerkt, andererseits Bradykardien, die häufig auf einen zu hohen Opioid-Gebrauch zurückzuführen sind und eine Hypotension, deren Ursache in einer Propofol Überdosierung oder einem stärkeren Blutverlust liegen kann.

Als Tachykardie wurde ein Herzfrequenzanstieg über 100/min, als Hypertension ein systolischer Blutdruckwert größer gleich 160 mmHg definiert.

Beides konnte am häufigsten in den Wachphasen beobachtet werden, also während der Kopffixierung und den neurologischen Tests. Während der Vorbereitungen im Operationssaal wiesen 3 der 30 Patienten (10%) eine erhöhte Herzfrequenz und ebenso viele einen erhöhten systolischen Blutdruck (10%) auf.

In der 2. Wachphase belief sich die Zahl der Personen mit tachykarden Episoden auf 10 von 30 Kandidaten (33,3%), bei 12 Patienten (40%) wurde einmalig oder mehrmals ein arterieller Blutdruckwert größer gleich 160 mmHg systolisch gemessen.

Aufgeteilt nach Gruppen, kam es bei 2 der 19 MAC- (10,52%) sowie bei 2 der 11 AAA-Patienten (18,18%) während den beiden Schlafphasen zu einem Anstieg der Herzfrequenz auf über 100 Schläge pro Minute.

Bei der Auswertung der Blutdruckwerte getrennt nach den beiden Kollektiven, konnten drei Personen, einer aus der MAC und zwei aus der AAA-Gruppe, nicht miteingeschlossen

werden. Bei Ersterem entstanden multiple RR-Artefakte durch die Lagerung des Armes, bei den beiden anderen Kandidaten kam es zu Schwierigkeiten mit dem EDV-System, sodass die Blutdruckwerte nicht aufgezeichnet wurden.

Leider betraf dieses Problem einen der beiden LAMA-Patienten, denjenigen mit dem niedrigeren Ultiva-Verbrauch, allerdings benötigte er während der 2. Schlafphase und der Wachphase im OP-Saal insgesamt 900 µg Clonidin. Aufgrund der fehlenden Daten ist nicht nachvollziehbar, ob diese hohen Dosen zur zusätzlichen Sedierung oder zur Blutdrucksenkung gedacht waren.

Trotzdem lässt sich ein deutlicher Unterschied zwischen den beiden Kollektiven erkennen. Das Auftreten hypertensiver Blutdruckwerte in der AAA-Gruppe mit 2 von 9 Personen war (22,2%), gerechnet auf die Anzahl der beurteilten Daten, doppelt so hoch wie in der MAC-Gruppe, mit 2 von 18 Kandidaten (11,1%).

Bei zwei Patienten wurde zur Senkung des Blutdrucks Urapidil verwendet, einmal 25 mg und einmal 50 mg.

Als Bradykardie wurden Episoden mit einer Herzfrequenz unter 50 Schläge pro Minute gezählt, eine Hypotension galt als systolischer Blutdruck unter 80 mmHg.

Während der Vorbereitungsphase im OP-Vorraum kam es bei 5 Personen (16,6%) zu einem Abfall der Frequenz, sowie bei 4 Patienten (13,3%) zu RR-Messungen unter dem vorgegebenen Wert von 80 mmHg.

Während der beiden Schlafphasen im Operationssaal gab es einen großen Unterschied sowohl bezüglich des Auftretens von Bradykardien, als auch von hypotensiven Episoden zwischen den beiden Gruppen.

Eine erniedrigte Herzfrequenz fand sich bei 4 Personen (21,05%) aus dem MAC-Kollektiv, ein Blutdruckabfall bei 5 Patienten (27,7%) aus derselben Gruppe, wobei wieder ein Ausschluss aufgrund fehlender RR-Werte erfolgte.

Tab. 10: hämodynamische Komplikationsraten während der Schlafphasen im OP

	MAC (n=19)	AAA (n=11)
Tachykardie > 100/min	2 (10,52%)	2 (18,18%)
Bradykardie < 50/min	4 (21,05%)	0 (0%)
Hypertension ≥ 160 mmHg	2 (11,1%) ¹	2 (22,2%) ³
Hypotension ≤ 80 mmHg	5 (27,7%) ²	1 (11,1%) ⁴

^{1,2} n=18: Ausschluss eines Patienten aufgrund multipler RR-Artefakte durch Lagerung der Hand

^{3,4} n=9: Ausschluss zweier Patienten aufgrund EDV-bedingtem Verlust der RR-Werte

Der erniedrigte systolische Blutdruck trat bei allen 5 Personen in der 3. Schlafphase, also während der Tumorentfernung und dem Verschluss auf, bei 2 auch kurzfristig während der zweiten Schlafphase. Die Propofolkonzentrationen lagen gegen Ende der Operation bei drei der fünf Patienten zwischen 3,00-3,85 mg/kg/h, also deutlich unter dem Durchschnitt der zu diesem Zeitpunkt angewandten Dosierungen, sodass ein Zusammenhang zwischen der Sedierung und dem Blutdruckabfall auszuschließen ist. Eine Person erhielt laut Narkoseprotokoll in dieser Phase nur eine Analgesie.

Nur bei dem letzten Patienten lag die Gabe mit 5,25 mg/kg/h etwas über dem mittleren Verbrauch.

Ein Zusammenhang zwischen den bradykarden Episoden und der Anwendung von Remifentanyl konnte nicht gefunden werden, da sich bei allen Personen die Dosierungen im unteren Bereich der im letzten Kapitel angegebenen Dosierungen befanden.

Zwei Patienten hatten von Beginn an eine Frequenz um die 50 oder darunter, die sich auch während der gesamten OP-Dauer nicht änderte. Ein Therapieversuch mit 0,5 mg Atropin bei einem der beiden brachte keinen Erfolg. Daher wird in diesen Fällen von einer generell niedrigen Ruheherzfrequenz ausgegangen und diese beiden Personen nicht in die Gruppe der Bradykardie-Komplikationen miteingerechnet.

Bei den AAA-Patienten kam es zu keinem Auftreten einer Bradykardie, eine Person (11,1%) wies kurzfristig einen systolischen Wert in der 3. Schlafphase unter 80 mmHg auf, die Propofoldosierung lag zu diesem Zeitpunkt bei 5,00 mg/kg/h. Auch in dieser Gruppe mussten, wie bei der Ermittlung der hypertensiven Ereignisse, zwei Patienten wegen eines EDV-Problems ausgeschlossen werden.

Das Auftreten von neurologischen Komplikationen wurde nicht nach den beiden Gruppen aufgeschlüsselt, da epileptische Anfälle hauptsächlich durch die Stimulation des Gehirns in der Wachphase auftraten.

Insgesamt kam es bei 7 Personen (23,3%) zu intraoperativen Krampfanfällen, bei vieren handelte es sich um ein einmaliges, fokales Geschehen, das nach Übergießen des Gehirns mit kalter Ringerlösung sofort sistierte.

2 Patienten erlitten zweimal während des brain mappings einen fokalen Anfall, bei einem der beiden konnten nach diesen Ereignissen die neurologischen Tests aufgrund massiver Erschöpfung nicht weiter durchgeführt werden und die Operation wurde als Biopsieentnahme beendet. Dieselbe Person erlitt postoperativ einen Status epilepticus und musste intubiert und beatmet über einen längeren Zeitraum intensivmedizinisch betreut

werden. Auch die zweite Person wurde nach der Operation noch einmal durch eine fokale Epilepsie auffällig.

Der letzte Patient hatte während der Wachphase multiple fokale Anfälle, die aber alle mittels kalter Ringerlösung durchbrochen werden konnten und eine erfolgreiche Testung nicht behinderten.

Erfreulicherweise kam es intraoperativ bei keinem der 30 Patienten zu einem Hirnödem, wobei in 18 Fällen prophylaktisch Mannit verabreicht wurde.

Die häufigsten, neu aufgetretenen neurologischen Defizite betrafen die Sprache und das Sprechen. 8 Personen (26,6%) wiesen postoperativ leichte Wortfindungsstörungen auf, welche sich allerdings in sämtlichen Fällen als transient erwiesen. Ebenso war die bei einem Patienten bemerkte verwaschene Sprache nur von kurzer Dauer.

Bei jener Person, bei der die Operation aufgrund von Erschöpfung nach fokalen Krampfanfällen abgebrochen wurde, traten postoperativ eine globale Aphasie und eine Hemiplegie auf. Ein weiterer Patient erlitt dieselben neurologischen Komplikationen, die sich allerdings im Zuge der Rehabilitation zum größten Teil zurückgebildet haben.

Ein Patient hatte nach der OP temporär Doppelbilder, ein weiterer eine Gesichtsfeldeinschränkung am linken Auge. Bei einer Person trat eine leichte Hemiparese auf, die sich allerdings im Laufe der Zeit mit Hilfe von Physiotherapie besserte.

Leider kam es bei einem Patienten postoperativ zu schwerwiegenden Komplikationen, es trat eine Einblutung ins Tumorbett sowie ein Hydrocephalus auf, die betroffene Person bekam Fieber und einen massiven CRP-Anstieg. Er musste mit der Diagnose einer ausgeprägten Ventrikulitis auf der Intensivstation verbleiben und verstarb in weiterer Folge an dem massiven, therapieresistenten Hirnödem.

Tab. 11: Neurologische Komplikationen

	n=30
Intraoperative Krampfanfälle	7 (23,3%)
Hirnödem	0 (0%)
Neu aufgetretene neurologische Defizite	
Leichte Wortfindungsstörungen	8 (26,6%)
Verwaschene Sprache	1 (3,33%)
Doppelbilder	1 (3,33%)
Hemiplegie + globale Aphasie	2 (6,66%)
Hemiparese	1 (3,33%)
Gesichtsfeldeinschränkung	1 (3,33%)
Facialisparese	1 (3,33%)

Keine der 30 Personen litt an intraoperativer oder postoperativer Übelkeit oder Erbrechen. Retrospektiv ist es nicht möglich, die Häufigkeit des Auftretens von Schmerzen, Unruhe oder Angst der Patienten während der Operation zu bestimmen. Am wahrscheinlichsten können diese Ereignisse mit tachykarden Episoden oder krisenhaften Blutdruckanstiegen gleich gesetzt werden.

Von den 30 durchgeführten Operationen konnte in 13 Fällen eine vollständige Tumorentfernung und in 14 Fällen eine Teilresektion erreicht werden. Bei einer Person wurde die Operation aufgrund von intraoperativen Komplikationen in Form von Ermüdung nach Krampfanfällen abgebrochen, es erfolgte nur eine Biopsieentnahme.

Ein Kandidat hatte in seinen Unterlagen leider keine genaue Aussage über den Grad der Tumorentfernung, beim letzten Patienten handelte es sich nicht um einen Tumor, sondern um gliotisches Hirnmaterial.

4 Erstellung eines Narkoseprotokolls

4.1 Prämedikation

Wie in der Literaturrecherche bereits erwähnt, wird in einigen Arbeiten von der Verwendung von Midazolam als Prämedikation abgeraten. Auch in Graz hatte man bei 2 von 15 Patienten Probleme mit der unvorhersehbaren Wirkdauer des Medikaments, sodass eine Flumazenilgabe notwendig war, um die Kooperationsbereitschaft während des brain mappings gewährleisten zu können.

Zusätzlich können die muskelrelaxierenden Eigenschaften des Benzodiazepins negative Einflüsse auf die Schlundmuskulatur des Patienten haben und somit die Atmung erschweren.

Es wird daher dringend empfohlen, kein Midazolam als Prämedikation zu verwenden. Falls aufgrund von Unruhe oder Angst vor der Operation eine leichte Sedierung notwendig ist, wird zur Gabe von Clonidin 0,15 mg p.o. geraten.

Wichtig ist, dass am präoperativen Durchuntersuchungsbogen unter Prämedikation nicht die Phrase „Dormicum 7,5 mg p.o., bei Wachkraniotomien 0,15 mg Catapressan“ verwendet wird. Dies führte dazu, dass bei zwei Patienten zwar Clonidin vermerkt war, sie aber trotzdem Midazolam erhielten, da anscheinend nicht auf den Zusatz am Protokoll geachtet wurde.

Es sollte also explizit die Angabe 0,15 mg Catapressan p.o. unter dem Punkt Prämedikation aufgeführt werden.

4.2 OP-Vorbereitung

Im OP-Vorraum wird der Patient zunächst monitorisiert, mittels EKG, nicht- invasiver Blutdruckmessung und Pulsoxymetrie, ebenso erhält er eine Sauerstoffmaske, danach erfolgt die Einleitung der ersten Schlafphase zur weiteren Vorbereitung.

Da in dieser Phase nur das Legen weiterer Zugänge stattfindet, dabei handelt es sich um Eingriffe, die keine allzu große Schmerzen verursachen und der Patient im OP-Saal bald wieder aufwachen sollte, ist nur eine geringe Sedierung notwendig.

Wenn man im Internet nach Dosisempfehlungen für die Einleitung einer MAC-Sedierung mit Propofol sucht, stößt man auf Angaben von 6,00-9,00 mg/kg/h (100-150 µg/kg/min) für die ersten 3-5 Minuten und Erhaltungsdosen von 1,50-4,50 mg/kg/h (25-75 µg/kg/min) für gesunde Erwachsene unter 55 Jahren. Bei älteren Personen wird eine Dosisreduktion um 80% empfohlen.⁹⁶

In vielen Studien wurden ähnliche Dosierungen verwendet, unter anderem bei Klimek et al.⁹⁷, die 0,5-1 mg/kg als Bolus zur Einleitung und dann die Sedierung mit einer Starteinstellung von 4 mg/kg/h aufrechterhielten oder Sacko et al.⁹⁸, welche Perfusordosierungen zwischen 1-3 mg/kg/h anwandten.

Erstere machten leider keine Angaben über die Häufigkeit an respiratorischen Komplikationen, Sacko et al. gaben an, dass es zu keinem Ereignis einer schweren Atemdepression kam.

Bei den 8 Grazer Patienten mit einem Abfall der Sauerstoffsättigung unter 90%, von denen 4 auch ein erhöhtes CO₂ aufwiesen, lagen die Propofoldosierungen zu diesem Zeitpunkt nur bei 3 zwischen diesen angegebenen Werten, nämlich bei 2,65 mg/kg/h und bei 3,68 mg/kg/h.

⁹⁶ Vgl. GlobalRPh Intravenous Dilution Guidelines Propofol (Diprivan®), Online im Internet: http://www.globalrph.com/propofol_dilution.htm (Stand: 17.11.2014)

⁹⁷ Vgl. Klimek M., Vincent AJ. Wachkraniotomie in der Tumorchirurgie - Was macht der Anästhesist ?. Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther. 2011 Jun;46(6):386-91.

⁹⁸ Vgl. Sacko O, Lauwer-Cances V, Brauge D. Awake craniotomy vs surgery under general anesthesia for resection of supratentorial lesions. Neurosurgery. 2011 May;68(5):1192-8

Eine Person wies Laufraten zwischen 3,00-4,50 mg/kg/h auf, der Rest lag mit 1x 5 mg/kg/h, 1x 6 mg/kg/h, 1x 7,9 mg/kg/h, 2x 8 mg/kg/h und 1x 10 mg/kg/h über die gesamte Dauer der OP-Vorbereitung deutlich darüber.

Dies könnte das doch häufige Auftreten von respiratorischen Komplikationen, immerhin 8 von 30 Patienten (26,6%), in der ersten Schlafphase erklären.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass in der initialen Schlafphase nur eine sehr geringe Sedierungstiefe notwendig ist und man sich daher an den unteren Werten für die MAC-Sedierung orientieren kann. Es wird daher eine Einleitung mit Propofoldosierungen zwischen 4-6 mg/kg/h in den ersten paar Minuten und danach eine Reduktion auf 1-3 mg/kg/h empfohlen.

Wenn man die Analgetika-Gabe bei den selben 8 Personen vergleicht, bemerkt man, dass 5 Patienten Fentanyl erhalten haben, 4 mal 50 µg und 1 mal 100 µg, 2 Patienten nur mit Propofol sediert wurden und einer eine Remifentanil Dauerinfusion bekam, mit einer Startdosierung von 0,03 µg/kg/min.

Auch wenn 50-100 µg Fentanyl kaum ausreichend sind, um eine atemdepressive Wirkung erzeugen, kann es in Kombination mit höher dosiertem Propofol durchaus zu respiratorischen Problemen kommen. Zudem ist eine Einzeldosis an Fentanyl schlechter steuerbar als eine Dauerinfusion an Remifentanil, wo eine Dosisanpassung nach dem Atemverhalten des Patienten erfolgen kann.

Das Zeitintervall zwischen Sedierungsbeginn und Anästhesie-Freigabe lag im Mittel bei 44,7 Minuten, die schnellsten Vorbereitungen wurden mit 28 Minuten getroffen, am längsten dauerte es bei einem Patienten mit 1 Stunde und 13 Minuten.

Somit ist bei der Gabe von Fentanyl mit seiner kurzen Wirkdauer von 15-20 Minuten gegen Ende der Vorbereitungsphase keine Analgesie mehr gegeben, da der Remifentanil-Perfusor bei den meisten Patienten (22 von 30) erst nach dem Transfer in den OP-Saal gestartet wurde. Rückblickend lässt sich leider nicht feststellen, ob die Personen zu diesem Zeitpunkt bereits die lokale Infiltration und, in einigen wenigen Fällen, ihren Skalpblock erhalten haben.

Aus diesen beiden Gründen, der besseren Steuerbarkeit und der kontinuierlichen Wirkung, wird von Beginn an die Verwendung eines Remifentanil-Perfusors empfohlen.

Da es sich, wie oben bereits erwähnt, um wenig schmerzhaft Eingriffe handelt, genügen geringe Dosierungen zwischen 0,01-0,03 µg/kg/min. Nach Beendigung der Propofol-Dauerinfusion kann beim wachen Patienten die Gabe etwas erhöht werden, um eine ausreichende Analgesie während der Nervenblockade und der lokalen Infiltration zu

gewährleisten. Mit dieser Methode ist von Beginn an eine kontinuierliche Schmerzmittelgabe während aller Phasen der Vorbereitung gegeben, zusätzlich ist eine Dosisanpassung nach dem Atmungsverhalten des Patienten möglich, sodass respiratorische Probleme weitestgehend verhindert werden sollten.

Nach Einleitung der ersten Schlafphase erhält der Patient eine Sauerstoffmaske, an der eine Kapnometrie/-graphie zur Überwachung des endtidalen CO₂ angeschlossen wird.

Da es bei keinem der 30 Kandidaten zu einem intraoperativen Ereignis an Übelkeit oder Erbrechen, ebenso wenig wie postoperativ, gekommen ist, scheint die antiemetische Prophylaxe ausreichend zu sein. Am häufigsten wurde eine Zweifachkombination verwendet (13 von 30 Patienten), dicht gefolgt von der Anwendung einer Dreifachkombination (12 von 30 Personen). Die drei Kandidaten mit bekannter PONV erhielten zweimal zwei antiemetisch wirksame Medikamente und einmal drei Antiemetika. Die genaue Auswertung kann man im Kapitel 3 unter dem Punkt „Monitoring und OP-Vorbereitung“ nachlesen.

In einer groß angelegten Studie von Apfel et al.⁹⁹ fanden die Autoren heraus, dass eine Einzelanwendung von Dexamethason oder Ondansetron das Risiko einer PONV um jeweils 26 Prozent reduziert. Auch die alleinige Anwendung von Propofol, mit seinen antiemetischen Eigenschaften, reduziert das Auftreten um 19 Prozent.

Sie raten daher, zum günstigsten und sichersten Medikament zu greifen. Eine Kombinationsprophylaxe aus mehreren Präparaten sollte nur dann erfolgen, wenn es sich um einen Hochrisikopatienten handelt oder Übelkeit und Erbrechen eine besondere Gefahr für den Patienten darstellt, da sich ansonsten die Kosten vermehren und die unerwünschten Nebenwirkungen nur verstärken.

Da es sich im Falle einer Wachkraniotomie um sedierte Patienten ohne gesicherten Atemweg handelt und jede Form von Würgen oder Erbrechen den Hirndruck steigert, ist eine Kombination aus mehreren Medikamenten durchaus angebracht.

Auch wenn in einigen Studien^{100,101,102} Ondansetron als effektiveres Medikament, im Gegensatz zu Metoclopramid, in der Prävention einer PONV beschrieben wird, handelte es

⁹⁹ Vgl. Apfel CC, Korttila K, Abdalla M. A factorial trial of six interventions for the prevention of postoperative nausea and vomiting. *N Engl J Med.* 2004 Jun 10;350(24):2441-51.

¹⁰⁰ Vgl. Morris RW, Aune H, Feiss P. International, multicentre, placebo-controlled study to evaluate the effectiveness of ondansetron vs. metoclopramide in the prevention of post-operative nausea and vomiting. *Eur J Anaesthesiol.* 1998 Jan;15(1):Abstract.

¹⁰¹ Vgl. Wu SJ, Xiong XZ, Cheng TY. Efficacy of ondansetron vs. metoclopramide in prophylaxis of postoperative nausea and vomiting after laparoscopic cholecystectomy: a systematic review and meta-analysis. *Hepatogastroenterology.* 2012 Oct;59(119):Abstract.

sich bei den durchgeführten Operationen in diesen Arbeiten nicht um neurochirurgische Eingriffe, sodass das Auftreten von postoperativer Übelkeit und Erbrechen über den herkömmlichen Weg durch die Area postrema ausgelöst wurde. Wie man heutzutage weiß, spielen bei Gehirnoperationen andere Mechanismen eine Rolle, größtenteils ist für die intraoperative und postoperative Übelkeit bzw. das Erbrechen der Zug an der Dura Schuld. In einer Arbeit von Pugh et al.¹⁰³ wurde die Wirksamkeit von Ondansetron 8 mg und Metoclopramid 10 mg bei intrakraniellen neurochirurgischen Eingriffen mittels einer prospektiven, randomisierten Studie verglichen. Die Patienten wurden in zwei Gruppen eingeteilt und erhielten kurz vor Ende der Operation, während des Verschlusses der Dura, das eine oder andere Medikament. Dabei zeigte sich, dass es in der Metoclopramid-Gruppe sowohl zu einem geringeren Auftreten von postoperativem Erbrechen als auch zu einem geringeren Bedarf an postoperativer antiemetischer Medikation kam, beides allerdings statistisch nicht signifikant.

Als mögliche Ursache für dieses Resultat gaben die Autoren an, dass bei dieser Art von Eingriff Übelkeit und Erbrechen wahrscheinlich nur zum Teil über den 5HT₃-Rezeptor ausgelöst wird und Ondansetron, als reiner 5HT₃-Antagonist auch nur diesen Anteil blockiert.

Metoclopramid weist hingegen auch noch andere Wirkmechanismen auf, die Autoren erwähnen z.B. die antidopaminerge Wirkung des Medikaments und erklären sich dadurch das bessere Ansprechen dieses speziellen Patientenkollektivs auf dieses Arzneimittel. Leider gibt es keine ähnlichen Arbeiten, welche die unterschiedlichen Antiemetika hinsichtlich ihrer Wirkung bei Wachkraniotomien untersuchen.

Da es sich, wie oben erwähnt, um eine besondere Situation handelt, in der es jede Art von Husten, Würgen oder Pressen zu vermeiden gilt, ist auch weiterhin die Anwendung einer Zweierkombination, am besten Dexamethason 80 mg und Metoclopramid 10 mg, indiziert. Ersteres weist neben seinen antiemetischen Eigenschaften auch entzündungshemmende Komponenten auf und kann ein vorhandenes Hirnödem bzw. perifokales Ödem reduzieren, letzteres scheint, laut der oben genannten Studie, effektiver in der Prävention von Übelkeit und Erbrechen zu sein, welche durch Zug an der Dura verursacht werden.

¹⁰² Vgl. Talesh KT, Motamedi MH, Kahnamouii S. Comparison of ondansetron and metoclopramide antiemetic prophylaxis in maxillofacial surgery patients. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2011 Mar;111(3):Abstract.

¹⁰³ Vgl. Pugh SC, Jones NC, Barsoum LZ. A comparison of prophylactic ondansetron and metoclopramide administration in patients undergoing major neurosurgical procedures. *Anaesthesia.* 1996 Dec;51(12):1162-4.

Auch wenn Metoclopramid als Kontraindikation eine bekannte Epilepsie aufweist, konnte in der Literatur kein Zusammenhang zwischen der Gabe dieses Arzneimittels und einer erhöhten Krampfbereitschaft in der Gehirntumorchirurgie gefunden werden.

Bei einer PONV Anamnese kann als weitere Prophylaxe Ondansetron 4 mg mit den beiden anderen Medikamenten kombiniert werden. Da bei diesen Patienten die Symptome über die Area postrema zu Stande kommen und nicht durch den Zug an der Dura, weist Ondansetron eine deutliche Überlegenheit bezüglich der Prävention einer PONV gegenüber Metoclopramid auf, was in vielen Studien, einschließlich der oben genannten, bereits bewiesen worden ist.

Des Weiteren sollte bei sämtlichen Patienten die Gabe von Ranitidin 50 mg in Erwägung gezogen werden, um die Magensäureproduktion zu reduzieren und eine Säureaspiration zu verhindern.

Auch eine prophylaktische Antibiotikagabe, Cefazolin 2g bzw. bei bestehender Penicillin-Allergie Vibravenös 100 mg, wird weiterhin empfohlen.

Was die Verwendung von Glycopyrroniumbromid betrifft, welches den häufig durch Remifentanyl ausgelösten Bradykardien entgegenwirken und die Speichel- und Sekretbildung reduzieren soll, konnten keine wissenschaftlichen Studien gefunden werden, welche die intraoperative Anwendung des Medikaments in Zusammenhang mit Kraniotomien oder der Gabe von Remifentanyl untersuchten.

Wie im Kapitel „Komplikationen und neurologisches Outcome“ beschrieben, kam es bei 5 Patienten während der Vorbereitungsphase zu bradykarden Episoden, bei zwei der betroffenen Personen auch intraoperativ, bei zwei weiteren Kandidaten trat eine erniedrigte Herzfrequenz nur während der Operation auf. Von diesen insgesamt sieben Fällen erhielten sechs in der Vorbereitungsphase Glycopyrroniumbromid und wurden trotz Gabe bradykard, sodass die Wirkung des Medikaments in diesem Bereich anzuzweifeln ist.

Nach Beendigung der Vorbereitungen wird die Sedierung gestoppt und der Patient in den OP-Saal gefahren, der Remifentanyl-Perfusor läuft inzwischen weiter.

4.3 Intraoperatives Management

Während der ersten Aufwachphase im Operationssaal sollte zunächst die Nervenblockade durchgeführt werden.

Bei der bisherigen Analyse des anästhesiologischen Managements wurde die Möglichkeit einer solchen viel zu selten genutzt, obwohl sich daraus zahlreiche Vorteile ergeben, angefangen von dem geringeren Verbrauch an i.v.-Analgesie während der Operation, über eine bessere Toleranz der lokalen Infiltration und weniger Schmerzantworten, bis hin zu geringeren postoperativen Schmerzen. Mittlerweile hat sich diese Maßnahme allerdings bei allen Wachkraniotomien etabliert.

Auch wenn sich der Patient zum Zeitpunkt der Skalpblockade wahrscheinlich noch in einem leicht sedierten Zustand befindet, je nachdem wie lange das Erwachen nach Beendigung der kontinuierlichen Propofol-Infusion dauert, ist es trotzdem ratsam die Analgesie etwas zu erhöhen, um die Infiltration so angenehm wie möglich zu machen. Immerhin wiesen 3 Patienten in dieser Wachphase tachykarde Episoden und ebenso viele hypertensive Blutdruckwerte über 160 mmHg auf, wobei jeweils zwei Personen aus jeder Gruppe nur eine lokale Infiltration der Fixierungspunkte ohne Skalpblock erhielten. Allerdings ist es retrospektiv nicht möglich herauszufinden, ob ein zeitlicher Zusammenhang zwischen den hämodynamischen Komplikationen und der Lokal- bzw. Regionalanästhesie bestand. Bei drei Patienten wurden die erhöhten Werte kurz nach dem Transfer in den Operationssaal gemessen, sodass es eher unwahrscheinlich scheint, eine andere Person hatte über die gesamte Wachphase erhöhte Blutdruckwerte. Bei den letzten zwei Patienten traten die tachykarden Episoden einmalig in der Mitte der Wachphase auf, zu diesem Zeitpunkt hatte einer der beiden keine Analgesie, der zweite einen Remifentanil-Perfusor mit einer Dosierung von 0,02 µg/kg/min.

Die allgemeinen Dosierungsempfehlungen¹⁰⁴ für die Verwendung von Remifentanil bei einer MAC-Sedierung lauten als Starteinstellung 0,1 µg/kg/min 5 Minuten vor Beginn der lokalen Infiltration bzw. der Nervenblockade, danach eine Reduktion auf 0,05 µg/kg/min mit einer Spannweite von 0,025-0,2 µg/kg/min, um eine Atemdepression zu vermeiden. Diese Dosierungen sollten in Zukunft bei jeder Blockierung der die Kopfhaut versorgenden Nerven übernommen werden, um dem Patienten Schmerzfreiheit während der Infiltration mit dem Lokalanästhetikum zu gewährleisten. Das bedeutet, dass vor der Anlage des Skalpblocks die Gabe an Remifentanil kurzfristig auf Werte bis 0,1 µg/kg/min erhöht werden sollte, bei einem gut sitzenden Block die Dosierung während der Infiltration der Fixierungspunkte und danach während der gesamten Operation auf die unteren Werte der empfohlenen Spannweite, 0,025-0,05 µg/kg/min, reduziert werden könnte.

¹⁰⁴ Vgl. Remifentanil Dosing Guidelines. Online im Internet:
http://www.ultiva.com/HowToUseULTIVA/Dosing.aspx#monitored_anesthesia (Stand: 04.12.2014)

Sobald der Kandidat vollständig erwacht ist, kann mit der Lagerung begonnen werden. Diese sollte einerseits für den Patienten so angenehm wie möglich sein, andererseits dem Neurochirurgen uneingeschränkten Zugang zu seinem Operationsfeld ermöglichen.

Wenn die optimale Position gefunden wurde, erfolgt nun die lokale Infiltration der Fixierungspunkte und die Anbringung der Mayfield-Klemme.

Im Ropivacain-Beipackzettel¹⁰⁵ wird der Wirkeintritt des Medikaments unter dem Punkt „Leitungs- und Infiltrationsanästhesie, z.B. kleinere Nervenblockaden und Infiltration“ mit 1-15 Minuten angegeben. Es ist darauf zu achten, dass zum Zeitpunkt der lokalen Infiltration die Skalpblockade bereits Wirkung zeigt.

Nach der Fixierung des Kopfes in der Mayfield-Klemme erfolgt die Einleitung der zweiten Schlafphase. In der Literaturrecherche wurden bereits die Vor- und die Nachteile sowohl der MAC- als auch der AAA-Technik aufgezählt, trotzdem soll hier noch einmal kurz darauf eingegangen werden.

Die Vorteile der MAC-Methode ergeben sich unter anderem dadurch, dass eine Allgemeinnarkose vermieden wird, es nach der Beendigung der Sedierung zu einem raschen Erwachen und einer guten Kooperationsbereitschaft der Patienten kommt und postoperativ kürzere Überwachungszeiträume nötig sind, bzw. der Krankenhausaufenthalt verkürzt wird. Gerade letzteres ist oft für die psychische Situation des Patienten von enormer Bedeutung, da es die Erholung nach der Operation in vertrauter Umgebung erlaubt.

Die AAA-Technik ist nur dann überlegen, wenn während der Schlafphasen eine kontrollierte Beatmung über das Atemwegsdevice erfolgt, ansonsten treten deutlich häufiger respiratorische Komplikationen aufgrund der tieferen Sedierung bei spontan atmenden Patienten auf.

Auch in Graz war der prozentuelle Anteil des Auftretens von erhöhtem CO₂ in der AAA-Gruppe höher als in der MAC-Gruppe, da die Patienten spontan atmeten und nicht beatmet wurden.

Sämtliche oben genannten Punkte sprechen dafür, dass in Zukunft die Wachkraniotomien unter Anwendung der Methode der „Monitored Anaesthesia Care“ durchgeführt werden sollten, vor allem wenn eine Tendenz besteht, eine Beatmung der Patienten während der Schlafphasen zu vermeiden.

¹⁰⁵ Vgl. Ropivacain Actavis 2mg/ml-Injektionslösung. Online im Internet: <http://www.pharmazie.com/graphic/A/64/1-30464.pdf> (Stand: 04.12.2014)

Überraschend ist, dass der Propofolverbrauch in den einzelnen Operationsphasen in den Gruppen mit dem Atemwegsdevice zum Teil geringer war als in der Gruppe, die nur eine Sauerstoffmaske erhielt. Es liegt kein Bericht vor, dass von einem dieser Patienten die LAMA, der Guedel-Tubus oder der Wendl-Tubus nicht toleriert wurde, sodass eine ausreichende Sedierungstiefe anzunehmen ist.

Daher stellt sich die Frage, ob die Propofoldosierungen in der MAC-Gruppe nicht zu hoch lagen. Wenn man sich den mittleren Verbrauch in der Tabelle anschaut, erkennt man, dass er in sämtlichen Phasen über den empfohlenen Sedierungen für eine MAC-Sedierung liegt. Das könnte die Ursache für die ebenfalls hohe Rate an respiratorischen Komplikationen in dieser Gruppe sein.

Die Empfehlung lautet dahingehend, sich auch bei der Einleitung sowie der Aufrechterhaltung der 2. Schlafphase an die im Kapitel „4.2 OP-Vorbereitung“ vorgeschlagenen Dosierungen zu halten.

Das bedeutet eine Induktion der Sedierung mit 6-9 mg/kg/h, danach eine Reduktion auf 1-3 mg/kg/h mit angestrebten BIS-Werten zwischen 70 und 80.

Bei einer Studie von Conte et al.¹⁰⁶ wird ein mittlerer BIS-Wert von 65 angegeben, bei welchem die Patienten in der Lage sind, die Augen zu öffnen und ein mittlerer Wert von 66, der es ermöglicht, einfachen Kommandos Folge zu leisten.

Arain et al.¹⁰⁷ gaben in ihrer Arbeit, bei der sie Propofol und Dexmedetomidine als Sedativa für die MAC-Methode verglichen, ebenfalls einen Zielwert zwischen 70 und 80 an, es kam dabei bei keinem der 40 Patienten zu einem Sättigungsabfall oder CO₂-Anstieg. Somit sollte es in dem oben genannten Bereich ausreichend sein um eine adäquate Sedierung zu gewährleisten, ohne dass es dabei zu einer Gefährdung des Atemwegs kommen kann.

Die Patienten erhalten eine Sauerstoffmaske und werden mittels EKG, Pulsoxymetrie, invasiver Blutdruckmessung, zentraler Venendruckmessung und Kapnometrie/-graphie überwacht.

Eine Mannitol-Gabe ist nach Absprache mit dem Neurochirurgen durchzuführen. Nach Rücksprache mit dem Chirurgen wird die Sedierung gestoppt, um den Patienten erneut aufwachen zu lassen. Die Aufwachdauer ist von Person zu Person unterschiedlich, in der

¹⁰⁶ Vgl. Conte V, L'Acqua C, Rotelli S. Bispectral Index During Asleep-Awake Craniotomies. J Neurosurg Anesthesiol. 2013 Jul;25(3):279-84.

¹⁰⁷ Vgl. Arain SR, Ebert TJ. The Efficacy, Side Effects, and Recovery Characteristics of Dexmedetomidine Versus Propofol When Used for Intraoperative Sedation. Anesth Analg. 2002 Aug;95(2):461-6.

oben genannten Studie von Conte et al.¹⁰⁸ konnte ab BIS-Werten von >80 mit dem brain mapping begonnen werden.

Während der neurologischen Tests läuft der Remifentanil-Perfusor mit geringer Dosierung zwischen 0,01-0,03 µg/kg/min weiter. Der Anästhesist sollte in der Wachphase vor allem auf mögliche Ausfälle, verursacht durch das brain mapping, achten. Dazu zählen Sprachstörungen, Empfindungsstörungen oder motorische Defizite. Ebenso sollte das Auftreten von fokalen Krampfanfällen sofort an den Neurochirurgen gemeldet werden, damit dieser den epileptischen Anfall durch Aufbringen von kalter Kochsalzlösung auf das offene Gehirn durchbrechen kann.

Nach der Tumorentfernung bzw. in Absprache mit dem Neurochirurgen, wird der Patient erneut sediert, es erfolgt das gleiche Prozedere wie bei der Induktion der 2. Schlafphase. Gegen Ende der Operation, wenn die Hautnaht erfolgt, können die beiden Perfusoren gestoppt werden und man lässt den Patienten normal erwachen. Er wird dann zur weiteren Überwachung auf die neurochirurgische Intensivstation gebracht.

¹⁰⁸ Vgl. Conte V, L'Acqua C, Rotelli S. Bispectral Index During Asleep-Awake Craniotomies. J Neurosurg Anesthesiol. 2013 Jul;25(3):279-84.

4.4 Zusammenfassung: Narkoseprotokoll Wachkraniotomie

Procedere:

Prämedikation und Vorbereitung

- Prämedikation: 0,15 mg Clonidin p.o.
- Vorbereitung: Monitoring mit EKG, SpO₂ und NIBP
- Einleitung der ersten Schlafphase mit Propofol 4-6 mg/kg/h, danach Reduktion auf 1-3 mg/kg/h
- Analgesie mittels Remifentanil-Perfursor: Starteinstellung 0,01-0,03 µg/kg/min
- Sauerstoffmaske mit Kapnographie/-metrie
- Weitere venöse Zugänge, arterielle Leitung und ZVK, sowie HDK falls nicht vorhanden
- Zur Reduktion des perifokalen Ödems Fortecortin 80 mg verabreichen
- Antiemetische Prophylaxe: 10 mg Metoclopramid
-> bei PONV-Anamnese + 4mg Ondansetron
- 50 mg Raniditin als KI
- Antibiotikum: 2g Cefazolin, bei bekannter Penicillin-Allergie: Vibravenös 100 mg
- Sedierung stoppen, Patienten aufwachen lassen und in den OP fahren, die Analgesie läuft weiter, während der lokalen Infiltration und der Nervenblockade ggf. erhöhen

OP-Saal

- Remifentanil-Perfusor mit 0,1 µg/kg/min
- Skalpblockade mit Ropivacain
- Lagerung so angenehm wie möglich für den Patienten, in Absprache mit dem Neurochirurgen
- Remifentanil auf Dosierungen zwischen 0,025-0,05 µg/kg/min reduzieren
- Lokale Infiltration der Fixierungspunkte, Anbringen der Mayfield-Klemme

- Einleitung der zweiten Schlafphase mit Propofol 6-9 mg/kg/h, danach Reduktion auf 1-3 mg/kg/h -> Sedierung mittels MAC-Technik, der BIS-Wert sollte zwischen 70 und 80 liegen
- Sauerstoffmaske mit Kapnographie/-metrie
- Mannitol-Gabe mit Neurochirurgen absprechen
- In Absprache mit Chirurgen Sedierung stoppen, Patienten aufwachen lassen
Bei BIS-Werten zwischen 80 und 90 kann mit den Tests begonnen werden
- Wachphase: Remifentanil-Perfusor: 0,01-0,03 µg/kg/min
- Neurologische Tests durchführen lassen, dabei auf Sprachstörungen, Empfindungsstörungen, fehlende Bewegungen und Krampfanfälle achten
- Nach der Tumorentfernung Patienten erneut sedieren (Propofoldosierungen und Remifentanileinstellungen wie in der 2. Schlafphase)
- Operationsende: Patienten normal aufwachen lassen und auf die neurochirurgische Intensivstation zur Überwachung bringen

Literaturverzeichnis

Ahrens J, Leffler A. Update zu Pharmakologie und Wirkung von Lokalanästhetika. *Anaesthesist*. 2014 May;63(5):376-86.

Ali MZ, Fadel NA, Abouldahab HA. Awake craniotomy versus general anesthesia for managing eloquent cortex low-grade gliomas. *Neurosciences (Riyadh)*. 2009 Jul;14(3):263-72.

Andersen JH, Olsen KS. Anaesthesia for awake craniotomy is safe and well-tolerated. *Dan Med Bull*. 2010 Oct;57(10):A4194.

Apfel CC, Korttila K, Abdalla M. A factorial trial of six interventions for the prevention of postoperative nausea and vomiting. *N Engl J Med*. 2004 Jun 10;350(24):2441-51.

Arain SR, Ebert TJ. The Efficacy, Side Effects, and Recovery Characteristics of Dexmedetomidine Versus Propofol When Used for Intraoperative Sedation. *Anesth Analg*. 2002 Aug;95(2):461-6.

Ard JL Jr, Bekker AY, Doyle WK. Dexmedetomidine in awake craniotomy: a technical note. *Surg Neurol*. 2005 Feb;63(2):114-6.

Berger MS, Hadjipanayis CG. Surgery Of Intrinsic Cerebral Tumors. *Neurosurgery*. 2007 July;61 (1 Suppl.):279-304.

Berkenstadt H, Ram Z. Monitored Anesthesia Care in Awake Craniotomy for Tumor Surgery. *J Neurosurg Anesthesiol*. 2001 Jul;13(3):246-9.

Blanshard HJ, Chung F, Manninen PH. Awake Craniotomy for Removal of Intracranial Tumor: Considerations for Early Discharge. *Anesth Analg*. 2001 Jan;92(1):89-94.

Bonhomme V, Franssen C, Hans P. Awake craniotomy. *Eur J Anaesthesiol*. 2009 Nov;26(11):906-12.

Bulsara KR, Johnson J, Villavicencio AT. Improvements in Brain Tumor Surgery: the Modern History of Awake Craniotomies. *Neurosurg Focus* 2005 Apr 15;18(4)e5.

Chui J, Manninen P, Valiante T. The Anesthetic Considerations of Intraoperative Electroencephalography During Epilepsy Surgery. *Anesth Analg*. 2013 Aug;117(2):479-86.

Conte V, Baratta P, Tomaselli V. Awake surgery: an update. *Minerva Anesthesiol* 2008 Jun;74(6)290.

Conte V, L'Acqua C, Rotelli S. Bispectral Index During Asleep-Awake Craniotomies. *J Neurosurg Anesthesiol*. 2013 Jul;25(3):279-84.

Danks RA, Rogers M, Aglio LS. Patient Tolerance of Craniotomy Performed with the Patient under Local Anesthesia and Monitored Conscious Sedation. *Neurosurgery* 1998 Jan;42(1):28-34.

Deras P, Moulinié G, Maldonado IL. Intermittent general anesthesia with controlled ventilation for asleep-awake-asleep brain surgery: a prospective series of 140 gliomas in eloquent areas. *Neurosurgery*. 2012 Oct;71(4):764-71.

Distinguishing Monitored Anesthesia Care („MAC“) from Moderate Sedation/Analgesia (Conscious Sedation). Online im Internet:
<https://www.asahq.org/~media/For%20Members/Standards%20and%20Guidelines/DISTINGUISHING%20MONITORED%20ANESTHESIA%20CARE.pdf> (Stand: 10.07.2014)

Dreier JD, Williams B, Mangar D. Patients selection for awake neurosurgery. *HSR Proc Intensive Care Cardiovasc Anesth*. 2009;1(4):19-27.

Geze S, Yilmaz AA, Tuzuner F. The effect of scalp block and local infiltration on the haemodynamic and stress response to skull-pin placement for craniotomy. *Eur J Anaesthesiol*. 2009 Apr;26(4):298-303.

Gignac E, Manninen PH, Gelb AW. Comparison of fentanyl, sufentanil and alfentanil during awake craniotomy for epilepsy. *Can J Anaesth*. 1993 May;40(5 Pt 1):421-4.

GlobalRPh Intravenous Dilution Guidelines Propofol (Diprivan®), Online im Internet:
http://www.globalrph.com/propofol_dilution.htm (Stand: 17.11.2014)

Gupta DK, Chandra PS, Ojha BK. Awake craniotomy versus surgery under general anesthesia for resection of intrinsic lesions of eloquent cortex--a prospective randomised study. *Clin Neurol Neurosurg*. 2007 May;109(4):335-43.

Hans P, Bonhomme V. Anesthetic management for neurosurgery in awake patients. *Minerva Anesthesiol*. 2007 Oct;73(10):507-12.

Hansen E, Seemann M, Zech N. Awake craniotomy without any sedation: the awake-awake-awake technique. *Acta Neurochir (Wien)*. 2013 Aug;155(8):1417-24.

Herrick IA, Craen RA, Gelb AW. Propofol Sedation During Awake Craniotomy for Seizures: Patient-Controlled Administration Versus Neurolept Analgesia. *Anesth Analg*. 1997 Jun;84(6):1285-91.

Horsley V. Brain Surgery. *Br Med J* 1886;2:670-5.

Horsley V. Remarks on ten consecutive cases of operations upon the brain and cranial cavity to illustrate the details and safety of the method employed. *Br Med J* 1887;1:S 865.

Huncke K, Van de Wiele B, Fried I. The Asleep-Awake-Asleep Anesthetic Technique for Intraoperative Language Mapping. *Neurosurgery*. 1998 Jun;42(6):1312-6

Johnson KB, Egan TD. Remifentanyl and Propofol Combination for Awake Craniotomy: Case Report With Pharmacokinetic Simulations. *J Neurosurg Anesthesiol*. 1998 Jan;10(1):25-9.

July J, Manninen P, Lai J. The history of awake craniotomy for brain tumor and its spread into Asia. *Surg Neurol*. 2009 May;71(5):621-4.

Keifer JC, Dentchev D, Little K. A Retrospective Analysis of a Remifentanyl/Propofol General Anesthetic for Craniotomy Before Awake Functional Brain Mapping. *Anesth Analg*. 2005 Aug;101(2):502-8.

Kerscher C, Zimmermann M, Graf BM. Kraniale Leitungsanästhesien. Hilfreiche Techniken für Neurochirurgie, Dermatologie, plastische Chirurgie und Schmerztherapie. *Anaesthesist*. 2009 Sep;58(9):949-58.

Khu KJ, Doglietto F, Radovanovic I. Patients' perceptions of awake and outpatient craniotomy for brain tumor: a qualitative study. *J Neurosurg* 2010 May;112(5):1056-60.

Klimek M, Hol JW, Wens S. Inflammatory profile of awake function-controlled craniotomy and craniotomy under general anesthesia. *Mediators Inflamm*. 2009;2009:670480.
doi: 10.1155/2009/670480. Epub 2009 Jun 8.

Klimek M., Vincent AJ. Wachkraniotomie in der Tumorchirurgie - Was macht der Anästhesist ?. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther*. 2011 Jun;46(6):386-91.

Mack PF, Perrine K, Kobylarz E, Schwartz TH. Dexmedetomidine and Neurocognitive Testing in Awake Craniotomy. *J Neurosurg Anesthesiol*. 2004 Jan;16(1):20-5.

Manninen PH, Tan TK. Postoperative nausea and vomiting after craniotomy for tumor surgery: a comparison between awake craniotomy and general anesthesia. *J Clin Anesth*. 2002 Jun;14(4):279-83.

Milian M, Luerding R, Ploppa A. „Imagine your neighbor mows the lawn“: a pilot study of psychological sequelae due to awake craniotomy. *J Neurosurg*. 2013 Jun;118(6):1288-95.

Moore TA 2nd, Markert JM, Knowlton RC. Dexmedetomidine as Rescue Drug During Awake Craniotomy for Cortical Motor Mapping and Tumor Resection. *Anesth Analg*. 2006 May;102(5):1556-8.

Morris RW, Aune H, Feiss P. International, multicentre, placebo-controlled study to evaluate the effectiveness of ondansetron vs. metoclopramide in the prevention of post-operative nausea and vomiting. *Eur J Anaesthesiol.* 1998 Jan;15(1):Abstract.

Nguyen A, Girard F, Boudreault D. Scalp Nerve Blocks Decrease the Severity of Pain After Craniotomy. *Scalp Nerve Block Decrease the Severity of Pain After Craniotomy. Anesth Analg.* 2001 Nov;93(5):1272-6.

Olsen KS. The asleep-awake technique using propofol-remifentanyl anaesthesia for awake craniotomy for cerebral tumours. *Eur J Anaesthesiol.* 2008 Aug;25(8):662-9.

Osborn I, Sebeo J. „Scalp Block“ During Craniotomy: A Classic Technique Revisited. *J Neurosurg Anesthesiol.* 2010 Jul;22(3):187-94.

Ojemann G, Ojemann J, Lettich E. Cortical language localization in the left, dominant hemisphere. An electrical stimulation mapping investigation in 117 patients. 1989. *J Neurosurg.* 2008 Feb;108(2):411-21.

Penfield W: Combined Regional and General Anesthesia for Craniotomy and Cortical Exploration. Part I. Neurosurgical Considerations. *Curr Res Anesth Analg.* 1954 May-Jun;33(3): S 146.

Piccioni F, Fanzio M. Management of anesthesia in awake craniotomy. *Minerva Anesthesiol.* 2008 Jul-Aug;74(7-8):393-408.

Picht T, Kombos T, Gramm HJ. Multimodal protocol for awake craniotomy in language cortex tumor surgery. *Acta Neurochir (Wien).* 2006 Feb;148(2):127-37.

Remifentanyl Dosing Guidelines. Online im Internet:

http://www.ultiva.com/HowToUseULTIVA/Dosing.aspx#monitored_anesthesia
(Stand: 04.12.2014)

Ropivacain Actavis 2mg/ml-Injektionslösung. Online im Internet:

<http://www.pharmazie.com/graphic/A/64/1-30464.pdf> (Stand: 04.12.2014)

Sacko O, Lauwer-Cances V, Brauge D. Awake craniotomy vs surgery under general anesthesia for resection of supratentorial lesions. *Neurosurgery.* 2011 May;68(5):1192-8.

Sahjpaul RL. Awake Craniotomy: Controversies, Indications and Techniques in the Surgical Treatment of Temporal Lobe Epilepsy. *Can J Neurol Sci.* 2000 May;27 Suppl 1:55-63.

Sarang A, Dinsmore J. Anaesthesia for awake craniotomy – evolution of a technique that facilitates awake neurological testing. *Br J Anaesth.* 2003 Feb;90(2):161-5.

Schulz U, Keh D, Barner C. Anästhesiologisches Management bei Wachkraniotomien. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther.* 2004 Feb;39(2):112-4.

Schulz U, Keh D, Fritz G. „Schlaf-Wach-Schlaf“-Technik zur Wachkraniotomie. *Anaesthesist* 2006 May;55(5):585-98.

See JJ, Lew TW, Kwek TK. Anaesthetic management of awake craniotomy for tumour resection. *Ann Acad Med Singapore*. 2007 May;36(5):319-25.

Serletis D, Bernstein M. Prospective study of awake craniotomy used routinely and nonselectively for supratentorial tumors. *J Neurosurg*. 2007 Jul;107(1):1-6.

Silbergeld DL, Mueller WM, Colley PS. Use of Propofol (Diprivan) for Awake Craniotomies: Technical Note. *Surg Neurol*. 1992 Oct;38(4):271-2.

Skucas AP, Artru AA. Anesthetic complications of awake craniotomies for epilepsy surgery. *Anesth Analg*. 2006 Mar;102(3):882-7.

Snyder PJ, Whitaker HA. Neurologic heuristics and artistic whimsy: the cerebral cartography of wilder penfield. *J Hist Neurosci* 2013;22(3):Abstract.

Talacchi A, Santini B, Casartelli M. Awake surgery between art and science. Part II: language and cognitive mapping. *Funct Neurol*. 2013 Jul-Sep;28(3):223-39.

Talesh KT, Motamedi MH, Kahnamouii S. Comparison of ondansetron and metoclopramide antiemetic prophylaxis in maxillofacial surgery patients. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2011 Mar;111(3):Abstract.

Taylor DC. One hundred years of epilepsy surgery: Sir Victor Horsley's contribution. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1986;49:485-88.

Taylor MD, Bernstein M. Awake craniotomy with brain mapping as the routine surgical approach to treating patients with supratentorial intraaxial tumors: a prospective trial of 200 cases. *J Neurosurg*. 1999 Jan;90(1):35-41.

Tongier WK, Joshi GP, Landers DF. Use of the laryngeal mask airway during awake craniotomy for tumor resection. *J Clin Anesth*. 2000 Dec;12(8):592-4.

Tonn JC. Awake craniotomy for monitoring of language function: benefits and limits. *Acta Neurochir (Wien)*. 2007 Dec;149(12):1197-8.

Überwachung des Bewusstseinszustands mit dem Bispectral Index™ während der Anästhesie. Eine Kurzanleitung für Kliniker. Online im Internet: <http://www.anandic.com/bausteine.net/f/9669/BIS-Monitoring.pdf?fd=2> (Stand: 15.01.2015)

Uematsu S, Lesser R, Fisher R. Motor and Sensory Cortex in Humans: Topography Studied with Chronic Subdural Stimulation. *Neurosurgery*. 1992 Jul;31(1):59-71.

Whittle IR, Midgley S, Georges H. Patient perceptions of „awake“ brain tumor surgery. *Acta Neurochir. (Wien)* 2005 March;147(3):275-7.

Wrede KH, Stieglitz LH, Fiferna A. Patient acceptance of awake craniotomy. *Clin Neurol Neurosurg.* 2011 Dec;113(10):880-4.

Wu SJ, Xiong XZ, Cheng TY. Efficacy of ondansetron vs. metoclopramide in prophylaxis of postoperative nausea and vomiting after laparoscopic cholecystectomy: a systematic review and meta-analysis. *Hepatogastroenterology.* 2012 Oct;59(119):Abstract.