

Aus der Neurochirurgischen Klinik und Poliklinik
der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Komplikationsrate bei der Implantation künstlicher Knochendeckel nach dekompressiver
Hemikraniektomie

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Medizin
der Universitätsmedizin
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Vorgelegt von

Anne Kühn
aus Pforzheim

Mainz, 2025

Wissenschaftlicher Vorstand: Univ.-Prof. Dr. med. Philipp Drees

1. Gutachter: PD Dr. med. habil. Malte Ottenhausen

2. Gutachter: PD Dr. med. Axel Neulen

Tag der Promotion: 31.3.2026

Nachnutzungslizenz: Namensnennung, keine Bearbeitungen (CC-BY-ND-4.0)

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	II
Tabellenverzeichnis	III
1 Einleitung	1
2 Literaturdiskussion	2
2.1 <i>Intrakranielle Hypertension</i>	2
2.1.1 Pathophysiologie	2
2.1.2 Ursachen	3
2.1.3 Klinische Symptomatik	4
2.1.4 Messung des ICP	5
2.1.5 Therapeutisches Vorgehen	5
2.2 <i>Dekompressive Kraniektomie</i>	8
2.2.1 Stellenwert	8
2.2.2 Operative Technik	10
2.2.3 Komplikationen	11
2.3 <i>Kranioplastie</i>	12
2.3.1 Stellenwert	12
2.3.2 Operative Technik	14
2.3.3 Komplikationen	15
3 Material und Methoden	17
3.1 <i>Ethikantrag</i>	17
3.2 <i>Studiendesign und Patientenkollektiv</i>	17
3.3 <i>Datenerhebung</i>	18
3.3.1 Erhobene Patientendaten	18
3.3.2 Definition des Komplikationsbegriffes	19
3.4 <i>Statistische Auswertung</i>	20
3.5 <i>Literaturrecherche</i>	20
4 Ergebnisse	21

4.1	<i>Charakteristiken des Patientenkollektivs</i>	21
4.2	<i>Operationsdaten</i>	24
4.3	<i>Komplikationen</i>	25
4.4	<i>Ergebnisse Telefoninterview</i>	29
5	Diskussion	31
5.1	<i>Allgemein</i>	31
5.2	<i>Diskussion der Studienpopulation</i>	31
5.3	<i>Diskussion der Gesamthäufigkeit der Komplikationen</i>	34
5.4	<i>Diskussion der Gesamthäufigkeit der Revisionsoperationen</i>	36
5.4.1	<i>Ursachen für die Revision</i>	38
5.5	<i>Diskussion der Häufigkeiten der einzelnen Komplikationen</i>	40
5.5.1	<i>Komplikation - Wund-/Implantatinfektion</i>	40
5.5.2	<i>Komplikation - Nachblutung</i>	40
5.5.3	<i>Wundkomplikationen ohne Nachweis einer manifesten Infektion</i>	41
5.5.4	<i>Dislokation und Lockerung</i>	41
5.5.5	<i>Komplikation – aseptische Knochendeckelnekrosen</i>	42
5.5.6	<i>Komplikation – Extraaxiale Flüssigkeitsansammlung</i>	43
5.5.7	<i>Auffälligkeit – Hydrozephalus</i>	43
5.6	<i>Diskussion des kosmetischen und funktionellen Outcomes</i>	44
	Zusammenfassung	46
	Literaturverzeichnis	IV
	Danksagung	VII
	Tabellarischer Lebenslauf	VIII

Abkürzungsverzeichnis

AVM	-	Arteriovenöse Malformation
CAD	-	computer aided design
CBF	-	cerebraler Blutfluss
CPP	-	cerebraler Perfusionsdruck
CT	-	Computertomographie
cCT	-	craniale Computertomographie
EVD	-	externe Ventrikeldrainage
GCS	-	Glasgow Coma Scale
ICB	-	Intracerebrale Blutung
ICP	-	intrakranieller Druck
MAP	-	mittlerer arterieller Druck
MRT	-	Magnetresonanztomographie
NRS	-	Numerische Ratingskala
NaCl	-	Natriumchlorid
pO ₂	-	Partialdruck Sauerstoff
pCO ₂	-	Partialdruck Kohlenstoffdioxid
PMMA	-	Polymethylmethacrylat
SAB	-	Subarachnoidalblutung
SD	-	Standardabweichung
SDH	-	Subduralhämatom
SHT	-	Schädel-Hirn-Trauma
TBI	-	traumatic brain injury
VP- Shunt	-	Ventrikulo- peritonealer Shunt
z.B.	-	zum Beispie

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: cCT nach SHT a) SDH rechts mit Mittellinienverlagerung, kurz nach Trauma b) nach Ausräumung des Hämatoms und dekompressiver Hemikraniektomie c) 4 Wochen postoperativ, Parenchymdefekt und Hydrozephalus.....	8
Abbildung 2: Hemikraniektomie.....	10
Abbildung 3: Kranioplastie a) 3D CT- Rekonstruktion für ein CAD Implantat b) Intraoperativer Befund beim Einsetzen des Implantates c) Intraoperative Sicht auf ein alloplastisches Implantat mit vorgefertigten Löchern für die Anlage von Dura Hochnähten	15
Abbildung 4: Flowchart der Studienteilnehmer.....	21
Abbildung 5: Geschlechterverteilung der Studienkohorte	22
Abbildung 6: Altersverteilung der Studienkohorte	22
Abbildung 7: Ursachenverteilung der dekompressiven Hemikraniektomie	23
Abbildung 8: Zeitspanne zwischen dekompressiver Hemikraniektomie und Kranioplastie unterteilt nach Grunderkrankung.....	24
Abbildung 9: Dauer einer jeden ersten Kranioplastie	25
Abbildung 10: Notwendigkeit Revisionsoperation	29
Abbildung 11: Intensität der Schmerzen im Kopfbereich. NRS 1-10	29
Abbildung 12: Kosmetische Zufriedenheit nach Kranioplastie. Notenskala 1-6.....	30

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zusammenfassung der speziellen intensivmedizinischen Maßnahmen bei intrakranieller Hypertension.....	7
Tabelle 2: Komplikationen nach Kranioplastie	27
Tabelle 3: Häufigkeitsverteilung der eingriffsspezifischen Komplikationen in der Gesamtkohorte.....	27
Tabelle 4: Häufigkeitsverteilung der allgemeinen Komplikationen in der Gesamtkohorte	28
Tabelle 5: Ursachenverteilung der primären Revisionsoperation.....	28

1 Einleitung

Als dekompressive Hemikraniektomie bezeichnet man ein operatives Verfahren zur Senkung eines konservativ therapierefraktären Hirndrucks. Es wird ein ca. 10x15cm großes Knochenstück aus der Schädelkalotte entfernt, die Hirnhaut eröffnet und die Haut über dem geschaffenen Defekt anschließend wieder verschlossen.(1, 2) Wenn konservative intensivmedizinische Maßnahmen nicht mehr ausreichen, kann eine operative Entlastung mittels dekompressiver Hemikraniektomie die letzte Möglichkeit darstellen, das Leben des Patienten zu retten. Nach Rückgang der zerebralen Schwellung und ausreichender Regeneration des Patienten folgt regelhaft die Deckung des knöchernen Defektes mittels Kranioplastie. Dieser notwendige neurochirurgische Folgeeingriff stellt ein Verfahren mit nachgewiesenem, deutlichem Nutzen für den Patienten dar. (3) Es werden neben dem ästhetischen Aspekt der mechanische Schutz sowie die physiologischen intrakraniellen Druckverhältnisse wiederhergestellt und so auch das neurologische Outcome verbessert. (3)

Dieser technisch verhältnismäßig unkomplizierte neurochirurgische Eingriff birgt jedoch eine vergleichsweise hohe Komplikationsrate. An der Universitätsmedizin Mainz wird die Kranioplastie immer mit CAD Implantaten durchgeführt.

Ziel der Arbeit ist die Erhebung der Komplikations- und Revisionsraten nach Kranioplastie mittels CAD Implantaten als primärer Endpunkt, sowie die Betrachtung des ästhetischen und funktionellen Outcomes der Patienten als sekundärer Endpunkt. Die erhobenen Daten werden letztlich mit Ergebnissen anderer Studien verglichen.

Hierzu wurden im ersten Schritt retrospektiv Daten von 71 Patienten erhoben, die sich im Zeitraum von 2012-2018 in der Neurochirurgischen Klinik der Universitätsmedizin Mainz zuerst einer dekompressiven Hemikraniektomie und in der Folge einer Kranioplastie mittels CAD Implantat aus PMMA unterzogen haben. Anschließend wurden 36 der 71 Patienten telefonisch zur Datenerhebung bezüglich des ästhetischen und funktionellen Outcomes befragt.

2 Literaturdiskussion

2.1 Intrakranielle Hypertension

2.1.1 Pathophysiologie

Als intrakranieller Druck (ICP) wird der innerhalb des Neurocraniums vorherrschende Druck bezeichnet.

Physiologisch beträgt der ICP bei einer erwachsenen Person zwischen 8-15 mmHg, kann aber kurzzeitig auch deutlich höhere oder niedrigere Werte annehmen. Von einer therapiebedürftigen intrakraniellen Hypertension spricht man ab einem längerfristig vorherrschenden ICP von > 20 mmHg. (4)

Bedingt durch die Rigidität der Schädelkalotte führt bereits eine geringe Zunahme des intrakraniellen Gesamtvolumens zu einem Anstieg des ICP.

Zusammen setzt sich das intrakranielle Gesamtvolumen aus den Einzelvolumina der folgenden drei Komponenten: Hirngewebe (80%) + Liquor (10%) + Blut (10%)

Nach der Monroe- Kellie- Hypothese ist der Hirndruck konstant, solange die Summe aller intrakraniellen Komponenten gleich bleibt. Ein Anstieg des Volumens eines der Komponenten wird über eine Abnahme der anderen kompensiert. Ist dieser Kompensationsmechanismus ausgeschöpft, steigt das intrakranielle Gesamtvolumen und es kommt, bedingt durch die Rigidität der Schädelkalotte, zur exponentiellen Zunahme des ICP und somit zur intrakraniellen Hypertension.

Die intrakranielle Hypertension führt über zwei Mechanismen zur Schädigung des Gehirns.

1. Die cerebrale Durchblutung (CBF) und somit die Versorgung des Gewebes mit Sauerstoff wird beeinflusst durch den cerebralen Perfusionsdruck (CPP). Dieser wiederum hängt ab vom arteriellen Mitteldruck (MAP) und vom ICP. Näherungsweise lässt sich definieren:

$$CPP = MAP - ICP$$

Kommt es nun durch einen erhöhten ICP zu einem verringerten CPP sinkt auch der CBF. Das Gehirn wird minderdurchblutet, es kommt zur Ischämien und somit zur Schädigung des Hirngewebes.(4)

2. Bedingt durch die Rigidität der Schädelkalotte führt ein erhöhter ICP zur Verlagerung von Hirngewebe. Neben supratentorieller Verlagerung mit Mittellinienverschiebung

kann es zur subfalxialen, transtentoriellen und tonsillären Herniation kommen. Hierdurch kann der Blutfluss lokal unterbunden werden, und es kommt durch Minderperfusion zu einer progredienten Bewusstseinsbeeinträchtigung. Durch Druck auf den Nervus oculomotorius kommt es zu einer Anisokorie, im schlimmsten Fall droht ein Atemstillstand durch Hirnstammkompression im foramen magnum. (5)

Es gilt eine ICP- Erhöhung schnellstmöglich zu erkennen und adäquat zu therapieren, um die Schädigung des Hirngewebes zu verhindern bzw. so gering wie möglich zu halten

2.1.2 Ursachen

Die Hauptursachen, die zu einer intrakraniellen Hypertension führen können, sind neben Schädel-Hirn-Traumata (SHT), zerebrovaskuläre Ereignisse, wie maligne Mediainfarkte, atraumatische intracerebrale Blutungen oder spontane Subarachnoidalblutungen. Seltener Ursachen können entzündliche ZNS-Erkrankungen, Tumore, Abszesse oder eine Liquorzirkulationsstörung sein. (5)

Maligner Mediainfarkt:

5-10 % aller Schlaganfallpatienten erleiden einen malignen Mediainfarkt.

Von einem solchen spricht man bei einer ausgedehnten Ischämie im Stromgebiet der Arteria cerebri media mit ausgeprägtem, postischämischem Hirnödem in der Folge. Bedingt wird er entweder durch einen Verschluss des M1- Segmentes der Arteria cerebri media oder durch einen distalen Verschluss der Arteria carotis interna.

Das massive Hirnödem wirkt raumfordernd und verursacht eine zunehmende Kompression der Ventrikel sowie eine Mittellinienverlagerung. Unbehandelt folgen die transtentorielle und letztlich tonsilläre Herniation bis hin zum Atemstillstand.(6)

Atraumatische Intracerebrale Blutung:

Eine intracerebrale Blutung (ICB) bezeichnet eine fokale Einblutung aus einem Blutgefäß ins Hirnparenchym. Die häufigste Ursache für die ICB ist eine Ruptur kleiner arteriosklerotisch veränderter Arterien des Hirnparenchyms, bedingt durch chronisch erhöhten Blutdruck. Diese intracerebralen Blutungen treten häufig an typischen Lokalisationen auf. Hier sind die Stammganglien, Thalamus, Pons und Kleinhirn zu nennen.

Andere, seltener Ursachen können zerebrale Amyloidangiopathien, die Ruptur von Gefäßfehlbildungen wie arterio-venösen Malformationen (AVM) oder auch iatrogenes Verschulden sein. Unter Letzteres fallen neben antikoagulierten Patienten auch solche, die eine postinterventionelle ICB, beispielsweise nach einer Thrombektomie, erleiden.(7)

Spontane Subarachnoidalblutung:

Als Subarachnoidalblutung (SAB) bezeichnet man eine Einblutung in den Subarachnoidalraum.

Die häufigste Ursache für eine Subarachnoidalblutung ist ein Trauma. Die traumatische SAB muss von der aneurysmatischen SAB unterschieden werden und wird in unserer Studie den Schädel-Hirn-Traumata zugeordnet.

Die spontane SAB wird in 85% der Fälle durch die Ruptur eines intrakraniellen Aneurysmas verursacht. Andere, seltenere Ursachen können auch hier Gefäßmissbildungen wie beispielsweise arterio-venöse Malformationen sein.(8)

Schädel- Hirn- Trauma (SHT):

In Deutschland erleiden ca. 300–400/100.000 Menschen pro Jahr ein Schädel-Hirn-Trauma. Männer sind dabei dreimal häufiger betroffen als Frauen.

Eine durch äußere Gewalteinwirkung auf den Schädel verursachte Verletzung des Gehirns, kann zu einer konsekutiven Funktionseinschränkungen bei den Betroffenen führen.

Je nach Schweregrad klagen Patienten unter anderem über Kopfschmerzen, Übelkeit und Erbrechen, zeigen sich vigilanzgemindert, bewusstlos oder gar reanimationspflichtig.

Die Einschätzung eines jeden SHT erfolgt anhand der Glasgow Coma Scale. Hierüber werden ein leichtes (GSC 13-15), ein mittelschweres (GCS 9-12) und ein schweres Schädel- Hirn-Trauma (GCS <9) unterschieden.

Das SHT kann mit diversen Begleitverletzungen wie Verletzungen des Schädels, der Weichteile oder der Halswirbelsäule einhergehen. Häufig entwickeln Betroffene, bedingt durch die traumatische Verletzung meningealer Gefäße oder Brückenvenen, intrakranielle Hämatome (Epiduralhämatome, Subduralhämatome). Auch traumatische Subarachnoidalblutungen oder Kontusionsblutungen können auftreten.

Neben einer aussagekräftigen Anamnese, sowie einer klinisch- neurologischen Untersuchung des Betroffenen, stellt die cCT den diagnostischen Goldstandard dar. (9)

2.1.3 Klinische Symptomatik

Eine intrakranielle Hypertension kann sich klinisch mit Kopfschmerzen, Übelkeit und Erbrechen, einem verringerten Bewusstseinsniveau (von Schläfrigkeit bis hin zum Koma), Krampfanfällen, Wesensveränderungen und Hirnnervenpareesen präsentieren.

Als ein bedrohliches Zeichen einer Hirnstammkompression bei Hirnherniation lässt sich die Cushing Trias, bestehend aus schwerer Hypertonie, Bradykardie und unregelmäßiger Atmung aufführen.(10, 11)

2.1.4 Messung des ICP

Hinweise auf einen erhöhten Hirndruck ergeben sich aus der Anamnese in Kombination mit der Klinik des Patienten und Befunden aus non invasiver Diagnostik wie beispielsweise einer cCT (abgrenzbare Raumforderung, Mittellinienverschiebung, Hirnödem, Hydrozephalus, Kompression innerer und äußerer Liquorräume)

Goldstandard der ICP-Messung ist die intraventrikuläre Messung über eine externe Ventrikeldrainage (EVD). Die EVD ist ein invasives Hirndrucküberwachungssystem, welches regelhaft im Vorderhorn eines Seitenventrikels auf Höhe des Foramen monroi platziert wird. Neben der sehr genauen Messung des ICP kann bei Bedarf direkt eine therapeutische Drainage von Liquor durchgeführt werden, um den Hirndruck zu senken. Eine andere Möglichkeit der ICP-Messung ist die intraparenchymatöse Messung. Die Anlage der Messsonde ist hier einfacher, die Komplikationsrate geringer. Eine direkte therapeutische Drainage von Liquor ist allerdings nicht möglich. (5, 12)

Die invasive ICP-Messung ist bis auf wenige Ausnahmen nur bei Patienten indiziert die komatös und somit klinisch schwer beurteilbar sind und Hinweise auf eine ICP-Erhöhung zeigen. (5)

2.1.5 Therapeutisches Vorgehen

Das primäre Ziel der Hirndrucktherapie ist es den CPP über 70 mmHg zu halten und das Ansteigen des ICP über 20 mmHg zu verhindern. Dadurch kann das Ausmaß eines sekundären ischämischen Hirnschadens durch Minderdurchblutung des Gehirns so gering wie möglich gehalten, bestenfalls verhindert werden.

Man unterscheidet allgemeine intensivmedizinische Maßnahmen, die zur Vermeidung einer (weiteren) ICP- Erhöhung eingehalten werden sollten, von speziellen intensivmedizinischen Maßnahmen, um den Hirndruck aktiv zu senken.

Allgemeine intensivmedizinische Maßnahmen:

- Normovolämie
- Normotonie (systolischer Blutdruck >90 mmHg)
- Normoglykämie (110-160 mg/dl)
- Normokapnie (paCo₂ 35-45 mmHg)
- Normonatriämie

- Serumosmolarität (260-320 mmol/l, hochnormale Werte anstreben)
- Ausreichende Oxygenierung (paO₂ 75- 100 mmHg)
- Lagerung (15- 30° Oberkörper hoch)
- Normothermie (<37,5°C)
- Analgosedierung
- Symptomatische antikonvulsive Therapie
- Vermeidung von ICP steigernden Maßnahmen (z.B. Transport) oder Medikamenten (11, 13)

Spezielle Intensivmedizinische Maßnahmen:

Spezielle intensivmedizinische Maßnahmen zur Hirndrucksenkung werden meist unter laufendem intensivmedizinischem Monitoring mit, unter anderem, korrekter ICP sowie MAP-Messung ergriffen. (11) Zum Einsatz kommen diese, wenn der intrakranielle Druck dauerhaft über 20 mmHg ansteigt. (13)

Eine kausale Therapie der Ursache der intrakraniellen Hypertension stellt die potenteste Möglichkeit der Hirndrucksenkung dar und sollte, wenn möglich, durchgeführt werden. Raumfordernde Läsionen, wie beispielsweise Epidural- oder Subduralhämatome können evakuiert, ein Hydrozephalus drainiert werden.

Des Weiteren gibt es verschiedene konservative spezielle intensivmedizinische Therapieoptionen um einen erhöhten Hirndruck zu senken. Nicht jede Maßnahme ist bei allen Patienten anwendbar. Es gilt immer individuell zu entscheiden.

Die Einstellung des cerebralen Perfusionsdruck auf Werte zwischen 70-120 mmHg, über die medikamentöse Einstellung des mittleren arteriellen Blutdruckes kann den ICP senken und gewährleistet gleichzeitig eine ausreichende cerebrale Perfusion. Eine angemessen tiefe Analgosedierung (Propofol, Benzodiazepine, Opiate) reduziert den stressbedingt gesteigerten cerebralen Metabolismus und den dadurch erhöhten CBF, welcher eine ICP- Erhöhung aggraviert.

Intravenös verabreichte Osmodiuretika wie Mannitol oder hypertone Kochsalzlösung bewirken einen osmotischen Gradienten zwischen Blut und Gehirngewebe. Einem Hirnödem wird Wasser entzogen, der Hirndruck sinkt. Voraussetzung ist eine intakte Blut-Hirn-Schranke.

Eine Hyperventilation des Patienten führt zu einer Vasokonstriktion. Das intrakranielle Blutvolumen wird reduziert, wodurch der Hirndruck abfällt. Gleichzeitig sinkt dadurch jedoch auch die Sauerstoffversorgung des Hirngewebes, was zu Ischämien führen kann. Diese Maßnahme zur Hirndrucksenkung sollte somit allenfalls kurzzeitig zur Überbrückung einer akuten Hirndruckkrise angewandt werden. Der empfohlene Zielwert für den arteriellen CO₂

Partialdruck während einer vorübergehenden Hyperventilation sollte dabei zwischen 28-35mmHg liegen.(13)

Eine weitere konservative Eskalationsstufe stellt das Barbituratcoma dar. Barbiturate wie Thiopental oder Pentobarbital reduzieren den cerebralen Stoffwechsel und darüber den ICP. Wegen vielfältiger zum Teil gravierender Nebenwirkungen einer Dauertherapie mit Barbituraten sollte diese jedoch nur bei sonst therapierefraktären Hirndruckkrisen eingesetzt werden.(11, 13, 14)

Im folgenden Schaukasten sind die Maßnahmen noch einmal zusammengefasst.

- Kausale Therapie der Ursache – Hämatom evakuieren, Hydrozephalus drainieren
- Einstellung des MAP – zwischen 70-120 mmHg
- Angemessene Analgosedierung – Benzodiazepine, Propofol, Opiate
- Osmodiuretika –
Mannitol, hypertone NaCl
- Kurzzeitige milde Hyperventilation
(CO₂ 28-35 mmHg)
- Dekompressionskraniektomie
- Barbituratcoma
Thiopental, Pentobarbital

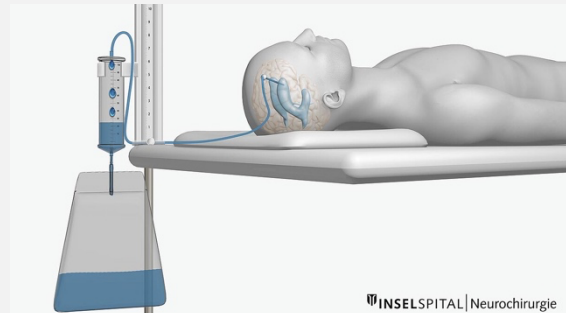


Tabelle 1: Zusammenfassung der speziellen intensivmedizinischen Maßnahmen bei intrakranieller Hypertension
Quelle Bild: <https://neurochirurgie.insel.ch/erkrankungenspezialgebiete/liquorstoeuerungen/hydrozephalus>

2.2 Dekompressive Kraniektomie

2.2.1 Stellenwert

Sind alle konservativen Maßnahmen zur Hirndrucksenkung ausgeschöpft und es liegt weiterhin eine behandlungsbedürftige intrakranielle Hypertension vor, kann die dekompressive Kraniektomie zum Einsatz kommen.

Unter der dekompressiven Kraniektomie versteht man ein operatives Verfahren, bei dem Teile der Schädelkalotte reseziert werden und eine großzügige Eröffnung der Dura (ggf. mit Erweiterungsplastik) durchgeführt wird. Der Eingriff führt zu einer unmittelbaren Reduktion des Hirndrucks mit Entlastung cerebraler Strukturen in der Folge. Beachtet werden muss hierbei unter anderem, dass die Fläche der entnommenen Schädelkalotte ausreichend groß ist, um eine Herniation des Hirngewebes in den Trepanationsdefekt zu vermeiden.

Die Operation wird je nach Lokalisation und Art der Pathologie als uni- oder bilaterale Hemikraniektomie oder bifrontale Kraniektomie durchgeführt. (1)

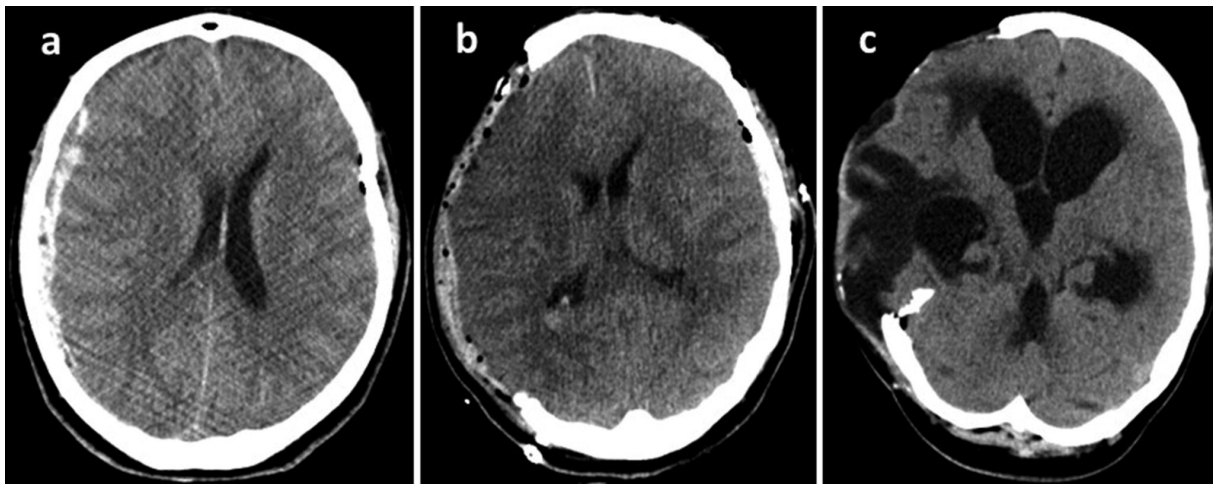


Abbildung 1: cCT nach SHT a) SDH rechts mit Mittellinienverlagerung, kurz nach Trauma b) nach Ausräumung des Hämatoms und dekompressiver Hemikraniektomie c) 4 Wochen postoperativ, Parenchymdefekt und Hydrozephalus

Quelle Bild: https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-3-642-54673-0_47-1/figures/7

Die dekompressive Kraniektomie ist ein etabliertes Verfahren, welches in Krankenhäusern der ganzen Welt zur Hirndrucksenkung durchgeführt wird. Der Eingriff bzw. dessen Nutzen wird jedoch bis heute in Abhängigkeit von der Indikation kontrovers diskutiert.

Die DECRA Studie (15) aus dem Jahre 2011 untersuchte das postoperative Outcome von Patienten nach schwerem Schädel Hirn Trauma, welche sich aufgrund eines therapierefraktären Hirndrucks einer bifrontalen Kraniektomie unterzogen. Die Studie zeigte deutlich die Möglichkeit einer effizienten ICP-Senkung und einer Reduktion

intensivmedizinischer Maßnahmen durch den Eingriff auf, brachte jedoch keinen Hinweis auf eine Reduktion der Mortalität, verglichen mit einer rein konservativen Therapie. Es muss dabei jedoch beachtet werden, dass die DECRA Studie von vielen Neurochirurgen als sehr kritisch betrachtet wird. Es wurden beispielsweise lediglich Patienten eingeschlossen, die eine bifrontale Kraniektomie erhielten, auch liegen keine Informationen zu den Ausmaßen der durchgeführten Kraniektomien vor. (1)

Die RESCUEicp (16) Studie aus dem Jahre 2016 schloss Patienten ein, welche sich nach schwerem Schädel Hirn Trauma mit therapierefraktärem Hirndruck jeglicher Form der dekompressiven Kraniektomie unterzogen. Hier zeigte sich eine signifikante Reduktion der Mortalität durch das operative Eingreifen, jedoch zu Lasten einer erhöhten Anzahl von Patienten mit schlechtem postoperativem neurologischem Outcome. (1)

Für Schädel-Hirn-Trauma Patienten mit einer therapierefraktären ICP-Erhöhung kann die dekompressive Kraniektomie somit eine Option zur Senkung des intrakraniellen Drucks darstellen. Es muss hier jedoch individuell, auch in Beachtung des mutmaßlichen Willen des Patienten entschieden werden, da auch bei erfolgreicher Senkung des ICP häufig irreversible neurologische Defizite bestehen bleiben (1, 17)

Anders sieht die Studienlage für Patienten nach malignem Mediainfarkt aus. Die Studien DESTINY I (18) , DECIMAL (19) und HAMLET (20) aus den Jahren 2007- 2009, welche die Mortalität und das neurologische Outcome nach dekompressiver Hemikraniektomie bei malignem Mediainfarkt untersuchten, zeigten einen eindeutigen Nutzen, sowohl hinsichtlich Mortalität wie auch neurologischen Outcomes durch den Eingriff. Dies gilt für betroffene Patienten <60 Jahre, welche zeitnah nach dem Ereignis einen konservativ nicht senkbaren Hirndruck entwickelten und sich noch innerhalb der ersten 48 Stunden einer dekompressiven Hemikraniektomie unterzogen. (21) Die aus dem Jahre 2011 folgende DESTINY II Studie (22) brachte ebenfalls einen signifikanten Effekt der dekompressiven Hemikraniektomie hinsichtlich Mortalität hervor. Hier zeigte sich jedoch ein deutlich schlechteres postoperatives neurologisches Outcome. (13). Liegt der refraktäre Hirndruckanstieg länger als 48 h zum Ereignis, gibt es bis heute keine sicheren Daten zur Orientierung und es muss individuell entschieden werden.(21)

Die Studien zu diesem Thema geben eine gute Grundlage zur Orientierung, ob eine dekompressive Kraniektomie sinnvoll sein kann. Es muss jedoch für jeden Patienten individuell entschieden werden.

2.2.2 Operative Technik

Alle in diese retrospektive Studie eingeschlossenen Patienten unterzogen sich einer unilateralen Hemikraniektomie (Abbildung 2), so dass auf die operative Technik dieser Form im Folgenden näher eingegangen wird.

Die unilaterale Hemikraniektomie wird bei schweren Schädel-Hirn-Traumata, Mediainfarkten sowie drohenden zerebralen Herniationen jeglicher Genese durchgeführt und stellt eine frontotemporoparietale Resektion von Schädelknochen dar. (1)

Der Eingriff erfolgt in allgemeiner Intubationsnarkose. Nach Lagerung des Patienten in Rückenlage mit Unterpolsterung der Schulter der betroffenen Seite und Drehung des Schädels zur gesunden Seite wird dieser in der Mayfieldklemme fixiert.

Der geplante Hautschnitt wird vorgezeichnet. Er erfolgt fragenzeichenförmig, beginnend anterior des Tragus Richtung okzipital und dann aufsteigend nach kranial bis zum Vertex, leicht paramedian nach frontal bis zum Haaransatz.

Nach ordnungsgemäßer Desinfektion und steriler Abdeckung des Operationsgebietes sowie der Verabreichung einer single-shot Antibiose, wird der Hautschnitt gesetzt. Dieser sollte unter Schonung des R. zygomaticus des N. faciales sowie der Arteria temporalis superficialis, verlaufend ca. 1 cm anterior des Tragus, erfolgen. Eine ständige Blutstillung der Schnitttränder durch Koagulation oder Skalpsclips ist unerlässlich.

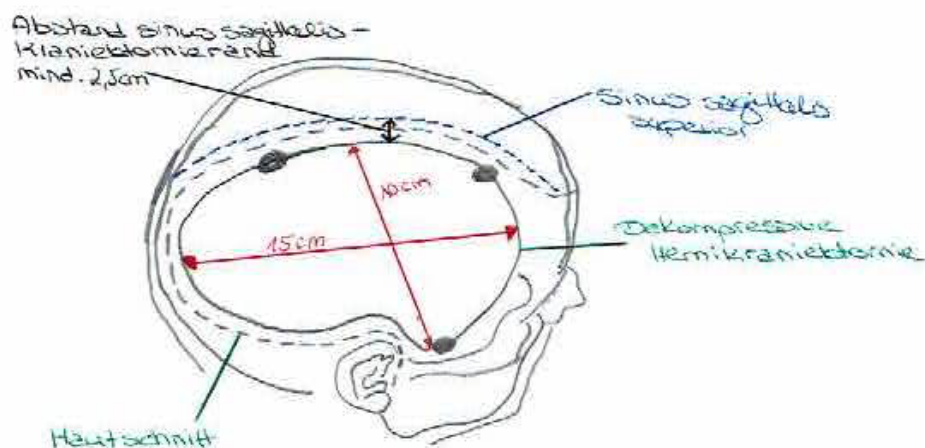


Abbildung 2: Hemikraniektomie

Vorlage: <https://www.kup.at/kup/pdf/12695.pdf>

Der Muskel- Haut- Lappen wird im nächsten Schritt von der Schädelkalotte präpariert und nach frontal umgeschlagen. Daraufhin werden mehrere Bohrlöcher gesetzt. Die Bohrlöcher werden anschließend mit dem Kraniotom verbunden. Das Kalottenstück wird stumpf von der restlichen Dura gelöst und entnommen. Der Trepanationsdefekt sollte ca. 10x15 cm messen, um eine Herniation des Hirngewebes zu verhindern und eine optimale Entlastung des Gewebes zu ermöglichen.(1, 2)

Nach gründlicher Spülung des Operationsgebietes erfolgt die Eröffnung der Dura mater. In der „rapid closure Technik“ wird keine Duraplastik eingenäht.(23)

Zuletzt wird gegebenenfalls eine Redondrainage oberhalb der Dura platziert, der Muskel- Haut- Lappen repositioniert und mit Subkutan- sowie Hautnähten verschlossen.(1, 2)

Die adäquate Lagerung des Kalottenstückes entfällt an unserem Zentrum. Aufgrund der hausinternen Hygienerichtlinien muss dieses verworfen werden.

2.2.3 Komplikationen

Ungefähr 10% der Patienten, die sich einer dekompressiven Kraniektomie unterziehen, entwickeln im Verlauf eine Komplikation, die ein medizinisches oder gar neurochirurgisches Eingreifen erfordert. Risikofaktoren dafür Komplikationen zu entwickeln sind ein fortgeschrittenes Alter (Patienten >65 Jahre) sowie ein schlechter präoperativer neurologischer Zustand. (24)

Mögliche Komplikationen nach einer dekompressiven Kraniektomie:

1. Hämorrhagische Komplikationen: Ausdehnung bestehender, bislang konservativ behandelter Kontusionsblutungen, Epidural- oder Subduralhämatome, aber auch Auftreten neuer intrakranieller Blutungen ipsi- oder kontralateral sowie hämorrhagische Transformationen ischämischer Infarkte.
2. Infektiöse/entzündliche Komplikationen: oberflächliche Wundheilungsstörungen, Abszesse, epidurale/subdurale Empyeme, bis hin zu einer Meningitis oder Ventrikulitis
3. Störungen des Liquorkompartimentes: I: Liquorleckage aus der Wunde bedingt durch eine Liquorfistel; II: Entstehung eines postoperativen Hydrozephalus; III: subdurale Hygrome
4. Herniation des Hirngewebes im Trepanationsdefekt: Durch postoperativ weiter fortschreitende Hirnschwellung kann es zu Einklemmung des Hirngewebes im Trepanationsdefekt kommen. Cerebrale Venen können am knöchernen Kraniektomierand abgedrückt werden mit einer hämorrhagischen Infarzierung als Folge, welche zur weiteren Schädigung des Hirngewebes führt.

5. Syndrome of the trephined /Sinking skin flap Syndrome: Anomalien im cerebralen Blut- und Liquorfluss, bedingt durch den fehlenden Schädelknochen können kognitive, psychische und neurologischen Symptome auftreten, welche als Syndrom of the trephined zusammengefasst werden.(24, 25)

Studien haben ergeben, dass die einzelnen Komplikationen regelhaft in sehr ähnlichen postoperativen Zeiträumen auftreten. Das Wissen hierüber hilft, die jeweilige Komplikation besser vorherzusehen, zu erkennen und schnell adäquat behandeln zu können.(24)

2.3 Kranioplastie

2.3.1 Stellenwert

Als die Kranioplastie wird der notwendige operative Folgeeingriff nach dekompressiver Kraniektomie zur Deckung des Kalottendefektes bezeichnet. Die primären Ziele des Eingriffs sind die Wiederherstellung des mechanischen Schutzes des Gehirns sowie der physiologischen intrakraniellen Druckverhältnisse. Letzteres führt in der Folge zu einer Optimierung des cerebralen Blutflusses sowie zur Normalisierung der cerebralen Liquordynamik, was ein physiologisches intrakranielles Gleichgewicht zwischen Liquorproduktion und Liquoresorption impliziert.(3)

Des Weiteren wird die Kranioplastie als vorbeugende, aber auch therapeutische Maßnahme des „Syndroms of the trephined“ (Syn.: Sinking skin flap syndrome) beschrieben, welches als verzögerte Komplikation einer dekompressiven Kraniektomie auftreten kann. (3) Verantwortlich gemacht für dieses Syndrom wird das direkte Einwirken des atmosphärischen Drucks auf das Gehirn im Bereich des Trepanationsdefektes. Dadurch bedingt kann es zu Störungen des cerebralen Blut- sowie Liquorflusses kommen, was Störungen des Cortex bedingen und in der Folge zu neurologischen, psychischen und kognitiven Symptomen führen kann. Die Unterbrechung der Einwirkung des direkten atmosphärischen Drucks auf das Gehirn durch die Schädelrekonstruktion, kann hier somit dem Syndrom vorbeugend wirken. Bei Patienten mit bereits manifesten Symptomen im Sinne eines „Syndromes of the trephined“ zeigt sich durch die Kranioplastie häufig eine deutliche Verbesserung der neurologischen Klinik. (25)

Neben den funktionellen Zielen der Kranioplastie, darf auch die kosmetische Komponente nicht außer Acht gelassen werden. Die Wiederherstellung der Schädelform durch das Implantat, stellt für Patienten und Angehörige häufig einen wichtigen Meilenstein im Genesungsprozess dar.(3)

Durchgeführt wird der Eingriff an unserem Zentrum in der Regel nach beendeter Rehabilitation, im Mittel 3- 6 Monate nach erfolgter Kraniektomie, abhängig von der Klinik des Patienten. Bei Patienten mit länger andauernden Rehabilitationsmaßnahmen kann der Eingriff auch noch während dieser Phase durchgeführt werden. Ziel ist es, durch eine zeitige Defektdeckelung ein sinking skin flap Syndrom zu vermeiden. (26) Eindeutige, wissenschaftlich fundierte Empfehlungen für einen optimalen Zeitpunkt liegen nicht vor. Vielmehr wird diese Thematik bis heute kontrovers diskutiert. (27)

Das für das Schädelimplantat verwendete Material sollte stabil und formbeständig sein, außerdem leicht verfügbar und bearbeitbar. Es sollte eine gute Biokompatibilität vorweisen und nicht zuletzt kostengünstig sein. Auch eine MRT-Kompatibilität bei gleichzeitiger Röntgendichte sind bedeutend. Es sollte keine signifikante Thermokonduktion aufweisen. Neben alle dem sollte die Komplikationsrate nach der Implantation so gering wie möglich ausfallen.(26)

Das heutzutage immer noch am häufigsten verwendete Material zur Defektdeckung stellt der autologe Knochendeckel dar. Er erfüllt fast alle oben genannten Voraussetzungen. Jedoch kommt es bei der Implantation des autologen Knochens verhältnismäßig oft zu Komplikationen, die einer Revision bedürfen. Eine Infektion oder Resorption des Knochenlappens lassen sich hier am häufigsten feststellen. (28)

Alternativ gibt es eine Reihe alloplastischer Materialien, die zur Schädelrekonstruktion verwendet werden können. Hier kommen in der Regel Metalle (z.B. Titan), Kunststoffe (z.B. Polymethylmetacrylat, Polyetheretherketon) oder Keramiken (z.B. Hydroxylapatit) zum Einsatz. Diese werden jedoch nicht standardmäßig für die primäre Kranioplastie genutzt und sind häufig Revisionskranioplastien vorbehalten. Es liegen jedoch inzwischen wissenschaftliche Daten vor, die die Überlegung alloplastische Materialien auch regelhaft für primäre Kranioplastien zu verwenden, um postoperative Komplikationen zu reduzieren, unterstützen. (29) (28) Weitere wissenschaftlich Studien hierzu sind notwendig.

Während autologe Implantate nach der Entnahme aufbereitet und steril verpackt bei -80°C bis zum Zeitpunkt der Kranioplastie aufbewahrt werden können, muss ein alloplastisches Implantat erst hergestellt werden. Neben der etablierten intraoperativen Anpassung des Implantates an den Defekt besteht die Möglichkeit der präoperativen Implantatanfertigung mittels 3D CT und CAD. Heutzutage werden kleinere Implantate bis 25 qcm an unauffälligen Lokalisationen, wie zum Beispiel der behaarten Kopfhaut, noch intraoperativ angepasst, während größere Defekte in der Regel mit CAD gefertigten Implantaten gedeckt werden. Den höheren Kosten der CAD gefertigten Implantate stehen ein besseres kosmetisches Ergebnis, eine geringere OP – Dauer mit geringerem Blutverlust und einem geringeren Infektionsrisiko gegenüber. (3)

Die Wahl des verwendeten Materials hängt weitestgehend von der Vorliebe des Neurochirurgen ab, wobei Alter des Patienten, Größe sowie Ort des Defektes bei der Wahl zu berücksichtigen sind. Eine wissenschaftliche gestützte Empfehlung liegt dies bezüglich aktuell nicht vor. Vielmehr ist ein mögliches optimales Material Inhalt kontroverser Diskussionen. (3)

Da aufgrund der krankenhausinternen Hygienevorschriften die Aufbewahrung der autologen Knochendeckel nach dekompressiver Hemikraniektomie in der Neurochirurgischen Klinik der Uniklinik Mainz untersagt ist, erhielten alle in unsere Studie eingeschlossenen Patienten eine primäre Defektdeckung mit alloplastischem Implantat, einer CAD gefertigten Plastik aus Polymethylmethacrylat (PMMA) der Firma BioMet. PMMA ist ein thermoplastischer Kunststoff. Es ist gut formbar, inert, stabil, strahlendurchlässig und nicht thermokonduktiv (26)

2.3.2 Operative Technik

Die Patienten unserer retrospektiven Studie erhielten ein präoperativ CAD gefertigtes PMMA-Implantat der Firma BioMet. Die operative Technik dieses Eingriffes wird im Folgenden beschrieben. Für die Verwendung von autologen oder intraoperativ modulierten Implantaten weicht das Prozedere teilweise ab.

Der Eingriff erfolgt in Intubationsnarkose. Die Lagerung des Patienten, die ordnungsgemäße Desinfektion und Abdeckung des Operationsgebietes sowie die Verabreichung einer single shot Antibiose erfolgt wie beim Eingriff der dekompressiven Hemikraniektomie. (Siehe hierzu 2.2.2.)

Im ersten Schritt wird der Schädel über einen Hautschnitt wiedereröffnet. Dieser erfolgt entlang der Narbe der vorhergegangenen Kraniektomie. Danach muss die Haut- Narbenplatte von der Dura durch vorsichtiges Präparieren gelöst werden. Hierbei muss einerseits auf eine Unversehrtheit der Dura wie auch des Musculus temporalis geachtet werden. Dieser ist häufig mit der Haut- Narbenplatte verwachsenen und/oder zeigt sich atrophiert. Der Hautlappen wird im Anschluss zusammen mit dem Musculus temporalis nach frontal umgeschlagen. Mögliche Verletzungen der Dura sind durch Nähte oder Durapatches zu verschließen, um die Entstehung von Liquorfisteln oder Liquorkissen zu verhindern.

Im nächsten Schritt erfolgt die akkurate Säuberung der Knochenkanten des Kraniektomiedefektes.

Um das Einsetzen der Plastik so risikoarm wie möglich durchführen zu können, muss das Gehirn unterhalb des Niveaus des Schädelknochens liegen. Ist dies nicht der Fall, kann eine intraoperative Ventrikelpunktion oder eine bereits präoperativ angelegte Lumbaldrainage dazu verhelfen. Besitzt der Patient einen ventrikuloperitonealen Shunt, kann über die Regulation

des Druckniveaus des Shunts ebenfalls ein Absinken des Gehirns unter das Schädelknochenniveau erreicht werden.

Nach dem Einsetzen des CAD gefertigten Implantates, wird dieses anschließend mittels Plättchen und Schrauben am Knochenrand des Defektes fixiert. Außerdem erfolgt die Befestigung der Dura am Implantat über Durahochnähte, welche durch vorgefertigte Löcher im Implantat verlaufen. Es muss darauf geachtet werden, dass auch das Implantat und der angrenzende Schädelknochen im selben Niveau liegen. Eine mögliche Stufenbildung kann in der Folge zu Hautirritationen führen, welche ein erhöhtes Risiko für Wundheilungsstörungen/-infektionen mit sich bringt.

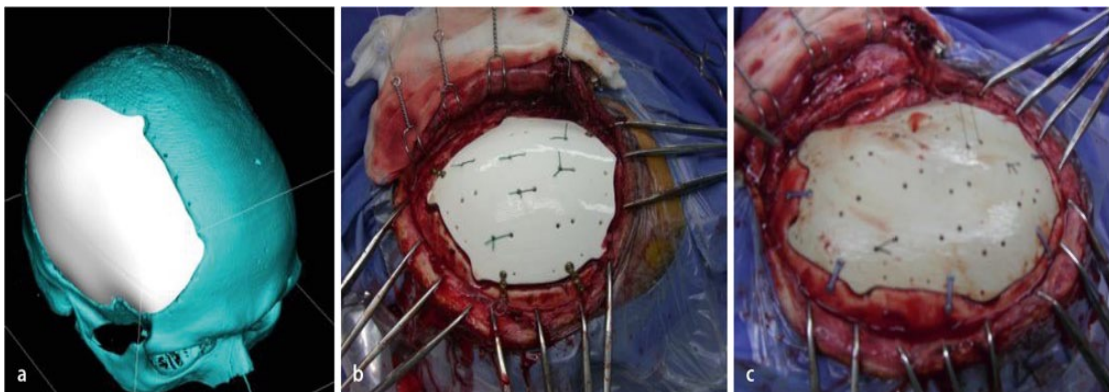


Abbildung 3: Kranioplastie a) 3D CT- Rekonstruktion für ein CAD Implantat b) Intraoperativer Befund beim Einsetzen des Implantates c) Intraoperative Sicht auf ein alloplastisches Implantat mit vorgefertigten Löchern für die Anlage von Dura Hochnähten

Quelle Bild: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s00115-011-3424-2.pdf>

Anschließend wird der Musculus temporalis auf der Oberfläche des Implantates durch Nähte fixiert, der Situs gesäubert und gegebenenfalls subgaleal eine Redondrainage eingebracht, bevor der Hautlappen über den nun verschlossenen Defekt gelegt wird.

Im letzten Schritt erfolgt der Wundverschluss mittel Subkutannaht und Hautnähte, bevor letztlich ein Druckverband angelegt wird. (2, 30, 31)

2.3.3 Komplikationen

Trotz des oben beschriebenen Nutzens des Eingriffs ist dieser mit einer hohen Morbidität assoziiert, die es nicht zu unterschätzen gilt. Die Komplikationsrate der Kranioplastie wird mit 10- 40% beschrieben und liegt somit deutlich höher als die der meisten anderen elektiven neurochirurgischen Eingriffe. (32)

Risikofaktoren für eine erhöhte Komplikationsrate nach Kranioplastie sind neben Multimorbidität des Patienten eine lange Operationsdauer sowie das Vorhandensein eines ventrikuloperitonealen Shunts. (30)

Unter einem ventrikuloperitonealen Shunt (VP-Shunt) wird dabei eine chirurgisch hergestellte Verbindung zwischen dem Ventrikelsystem des Gehirns und der Peritonealhöhle verstanden, welche heutzutage als Standardtherapie bei einem permanenten Hydrozephalus angewandt wird.(33)

Beachtet werden muss, dass die Anlage des VP- Shunts mit zu den komplikationsreichsten neurochirurgischen Eingriffen gehört. Als Hauptkomplikationen sind hier die Infektion, die Okklusion des Systems und die Überdrainage durch den Shunt zu nennen. (11)

Folgende Komplikationen sind in der Literatur beschrieben.

- Hämorrhagische Komplikationen, v.a. epidurale Nachblutungen
- Wundkomplikationen ohne manifeste Infektion
- Wund-/Implantatinfektionen mit Abszessbildung, Ventrikulitis, Meningitis
- Komplikationen des Liquorsystems
 - o Hydrozephalus
 - o Liquorkissen
 - o Subdurale Hygrome
 - o Epidurale Flüssigkeitsansammlungen
- Implantatlockerungen mit potenzieller Dislokation in der Folge
- Aseptische Knochenimplantatsnekrose

Zu den häufigsten Komplikationen zählen neben den Wund-/ Implantatinfektionen die bei autologen Implantaten mögliche aseptische Knochendeckelnekrose. Häufig führen diese zu einer notwendigen Revisionsoperation. Bei primär autologer Implantation erfolgt der zweite Versuch einer erfolgreichen Kranioplastie mit alloplastischem Material.(25, 31)

3 Material und Methoden

3.1 Ethikantrag

Die vorliegende retrospektive monozentrische Studie wurde durch die Ethikkommission der Landesärztekammer Rheinland-Pfalz am 20.04.2020 genehmigt (Antragsnummer 2019-14726).

3.2 Studiendesign und Patientenkollektiv

Diese retrospektive monozentrische Studie mit Telefoninterview umfasst die Analyse der Daten von 71 Patienten, welche sich im Zeitraum von 2012 bis 2018 in der Neurochirurgie der Universitätsmedizin Mainz zuerst einer dekompressiven Hemikraniektomie und in Folge einer Kranioplastie unterzogen haben

Ursächlich führten traumatisch wie atraumatische Ereignisse zu einer therapierefraktären intrakraniellen Hypertension, welche durch eine Entlastungskraniektomie behoben wurde. In der Folge kam es regelhaft nach Beendigung der Rehabilitation zum Folgeeingriff, der Kranioplastie. Für diese wird aufgrund der krankenhausesinternen Hygienevorschriften in der Neurochirurgischen Klinik der Unimedizin Mainz primär ein CAD gefertigtes, alloplastisches Implantat verwendet.

Einschlusskriterien:

Als Einschlusskriterium zur Teilnahme an der Studie ist eine beim Patienten durchgeführte Kranioplastie in Folge einer vorhergegangenen dekompressiven Kraniektomie zu nennen.

Auch Patienten, die sich im Verlauf aufgrund verschiedener Komplikationen einer oder mehreren Revision(en), mit sekundärer oder auch tertiärer Defektdeckung in der Folge unterziehen mussten, werden als Teilnehmer der Studie gezählt.

Die Verwendung der Daten des zusätzlich durchgeführten Telefoninterviews erforderte eine zusätzlich schriftliche Einverständniserklärung des Patienten oder einer ihm nahestehenden Person sowie eine korrekte hinterlegte Telefonnummer im krankenhausesinternen Patientenprogramm. Außerdem musste der Patient hierfür zum aktuellen Zeitpunkt implantiert sein und durfte nicht verstorben sein.

Anhand dieser Kriterien zur Teilnahme am Telefoninterview belief sich die Anzahl der Teilnehmer auf 36 Patienten.

Ausschlusskriterien:

Ausgeschlossen von der Studienteilnahme wurden Patienten, die den Einschlusskriterien nicht entsprachen. Weitere explizite Ausschlusskriterien liegen nicht vor.

3.3 Datenerhebung

Die Datenerhebung erfolgte anhand des krankenhausinternen Patientenprogramms SAP, sowie eines im Folgenden durchgeführten Telefoninterviews. Die Zustimmung zur Teilnahme an der Studie wurde zuerst mündlich im Rahmen des Telefoninterviews sowie anschließend schriftlich durch Rücksendung einer unterschriebenen Teilnahmebestätigung eingeholt. Von Patienten, die Ihr Einverständnis zur Teilnahme nicht gaben, wurden lediglich die pseudonymisierten Daten aus den Arztbriefen und Operationsprotokollen (SAP) verwendet, nicht jedoch die des Telefoninterviews. Die Ergebnisse des Telefoninterviews wurden pseudonymisiert.

3.3.1 Erhobene Patientendaten

Erhobene Daten anhand der Arztbriefe sowie Operationsberichte aus SAP:

1. Anamnestische Daten
 - Alter des Patienten
 - Geschlecht des Patienten
2. Daten zur dekompressiven Hemikraniektomie
 - Datum des Eingriffs
 - Seite des Defektes
 - Ursache, die zur intrakraniellen Hypertension mit dekompressiver Hemikraniektomie in der Folge geführt hat
3. Daten zur Kranioplastie
 - Datum der primären Kranioplastie
 - Zeitspanne zwischen dekompressiver Hemikraniektomie und primärer Kranioplastie
 - Material des Implantates
 - Frühe Komplikationen – innerhalb der ersten 30 postoperativen Tage nach der Kranioplastie
 - Komplikationen später als 30 Tage nach Kranioplastie, die eine Wiedervorstellung in der Neurochirurgischen Klinik der Uniklinik Mainz veranlassten
 - Dauer des Krankenhausaufenthaltes nach Kranioplastie

- Waren Revisionsoperation notwendig? Wenn ja, Dauer zwischen primärer Kranioplastie und Revisionsoperation?
- Vorhandensein eines ventrikuloperitonealen Shunts? Wenn ja, wurde dieser vor, während oder nach der Kranioplastie implantiert?

Erhobene Daten anhand des Telefoninterviews:

Folgende Fragen wurden dem Patienten während des Telefoninterviews gestellt:

- Sind bei Ihnen nach der Deckung des Defektes Schmerzen zurückgeblieben oder verspüren Sie ein Taubheitsgefühl am Kopf welches nach dem Eingriff aufgetreten ist?
 - o Einordnung der Schmerzintensität über eine numerische Ratingskala (NRS) von 1-10
- Wie zufrieden sind Sie mit dem kosmetischen Ergebnis? (Note 1 = sehr zufrieden bis Note 6 = sehr unzufrieden)
 - o Frage nach der Existenz einer „Grube“ im Bereich des musculus temporalis der betroffenen Seite
- Haben Sie Schwierigkeiten bei der Mundöffnung?
- Nehmen Sie Medikamente mit Bezug zur Kranioplastie? (v.a. Schmerzmittel oder Antikonvulsiva)

Zuletzt wurde für jeden Patienten die Gesamtzeit des Follow ups seit der Kranioplastie bestimmt.

Für Patienten, die nicht am Telefoninterview teilnahmen, wurde der letzte Kontakt als Berechnungsgrundlage für das gesamt Follow up zugrunde gelegt.

3.3.2 Definition des Komplikationsbegriffes

Erfasst wurde jede über SAP ermittelte Auffälligkeit, die entweder noch während des stationären Aufenthaltes nach der Kranioplastie auftrat, oder im Verlauf auffällig wurde und eine Wiedervorstellung im neurochirurgischen Zentrum der Uniklinik Mainz bedingte. Im Verlauf wurde der Komplikationsbegriff verschieden definiert und die Daten auf der jeweiligen Definitionsgrundlage ausgewertet.

Die aufgetretenen Komplikationen wurden in die folgenden Untergruppen eingeteilt.

Eingriffsspezifische Komplikationen:

- Hämorrhagische Komplikationen (Epidurale Nachblutung)
- Wundkomplikationen ohne manifeste Infektion
- Wund-/Implantatinfektion

- Implantatdislokation/Lockerung von Teilen der Plastik
- Störungen des Liquorsystems
 - Hydrozephalus, Epidurale Flüssigkeitsansammlung, Liquorkissen
- Neuauftretene Krampfanfälle

Allgemeine Komplikationen:

- Nosokomiale Infektion (Harnwegsinfektion, Pneumonie, fieberhafte Infekte unklarer Genese), Anämie, Lagerungsschäden durch die Operation

Komplikationen die zu einer operativen Revision geführt haben:

- Epidurale Nachblutungen
- Wund- /Implantatinfektionen
- Wundkomplikationen ohne manifeste Infektion
- Dislokationen/Lockerungen des Implantates oder dessen Einzelteile

Primärer Endpunkt dieser retrospektiven monozentrischen Studie ist die Ermittlung der Komplikationsrate nach Kranioplastie mit CAD gefertigtem PMMA-Implantat an unserem Zentrum. Erfasst werden soll die Gesamtkomplikationsrate, sowie die Verteilung der verschiedenen Komplikationen. Es soll untersucht werden, welche Komplikationen durch die Verwendung alloplastischer Implantate reduziert oder vermieden werden können. Gleichzeitig soll überprüft werden, ob die alloplastische Kranioplastie mit spezifischen Komplikationen einhergeht, welche bei der autologen Kranioplastie seltener oder nicht auftreten. Des Weiteren soll die Revisionsrate nach Kranioplastie, sowie die dahingehende Ursachenverteilung erhoben werden.

Als sekundärer Endpunkt sollen die funktionellen (durch Schädigung der Kaumuskulatur) und ästhetischen (Gesichtsasymmetrie/Grubenbildung im Bereich des atrophen Temporalismuskels) Beeinträchtigungen der Patienten nach der Kranioplastie analysiert werden.

3.4 Statistische Auswertung

Die Statistische Auswertung sowie die graphische Darstellung erfolgte mit Hilfe von Microsoft Excel sowie Microsoft Word.

3.5 Literaturrecherche

Die Literaturrecherche der vorliegenden Promotionsarbeit erfolgte über die Datenbanken PubMed sowie Google Scholar.

4 Ergebnisse

4.1 Charakteristiken des Patientenkollektivs

Die Gesamtteilnehmerzahl dieser retrospektiven monozentrischen Studie beläuft sich auf 71. 57 davon kamen nach den oben genannten Kriterien zusätzlich als Teilnehmer des zweiten Teils der Datenerhebung, dem Telefoninterview, in Frage. Diese wurden über in SAP hinterlegte Telefonnummern telefonisch kontaktiert. 37 Patienten konnten erreicht werden. Einer lehnte die Teilnahme an der telefonischen Befragung ab, 36 Personen wurden, zusätzlich zur Datenerhebung anhand des krankenhausinternen Patientenprogramms (SAP) telefonisch befragt.

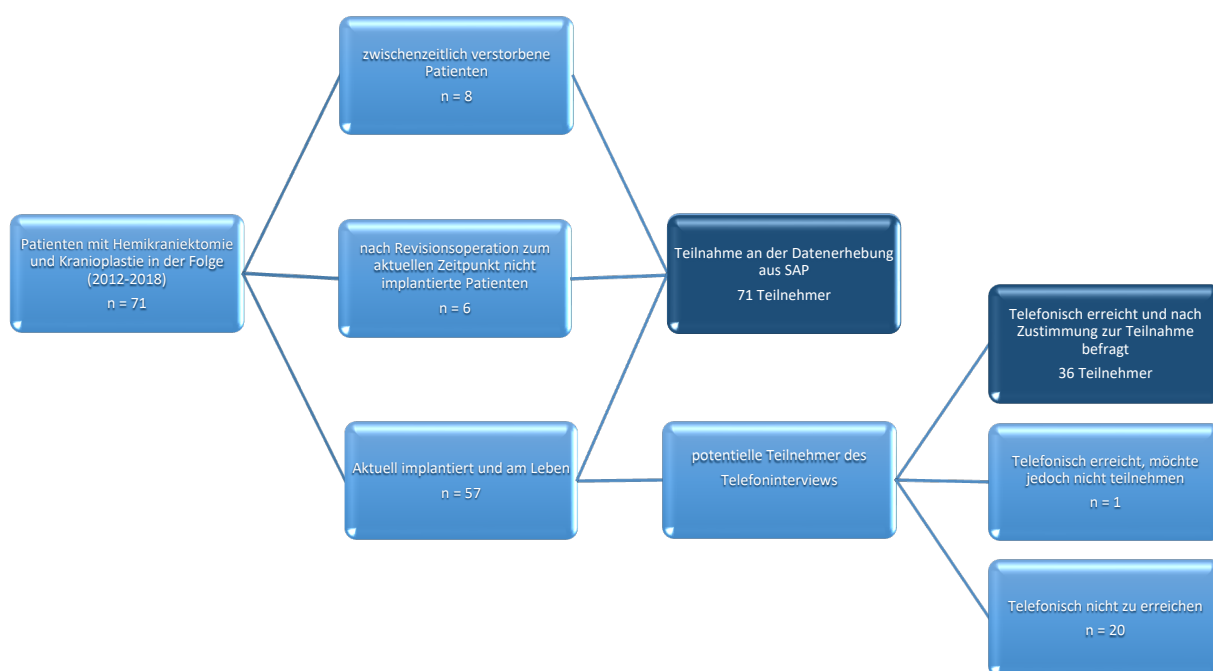


Abbildung 4: Flowchart der Studienteilnehmer

Von den 71 Studienteilnehmern, die sich am neurochirurgischen Zentrum der Universitätsmedizin Mainz zwischen 2012 und 2018 einer dekompressiven Hemikraniektomie mit Kranioplastie in der Folge unterzogen, sind 25 (35,2%) weiblich und 46 (64,8%) männlich.

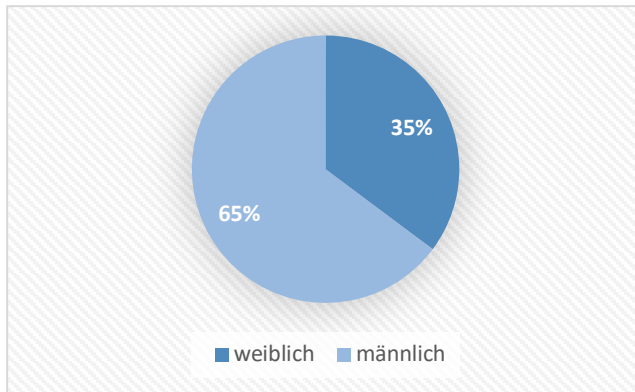


Abbildung 5: Geschlechterverteilung der Studienkohorte

Das Durchschnittsalter der Studienteilnehmer zum Zeitpunkt der Kranioplastie betrug 49,4 Jahre, (SD 14,6 Jahre) mit einer Spannweite von 10,2 Jahren bis 77,1 Jahren. Die weiblichen Studienteilnehmerinnen waren zum Zeitpunkt der Kranioplastie mit 53,4 Jahren (SD 15,8 Jahre) im Durchschnitt 6,2 Jahre älter als die männlichen Teilnehmer (47,2 Jahre, SD 13,8 Jahre)

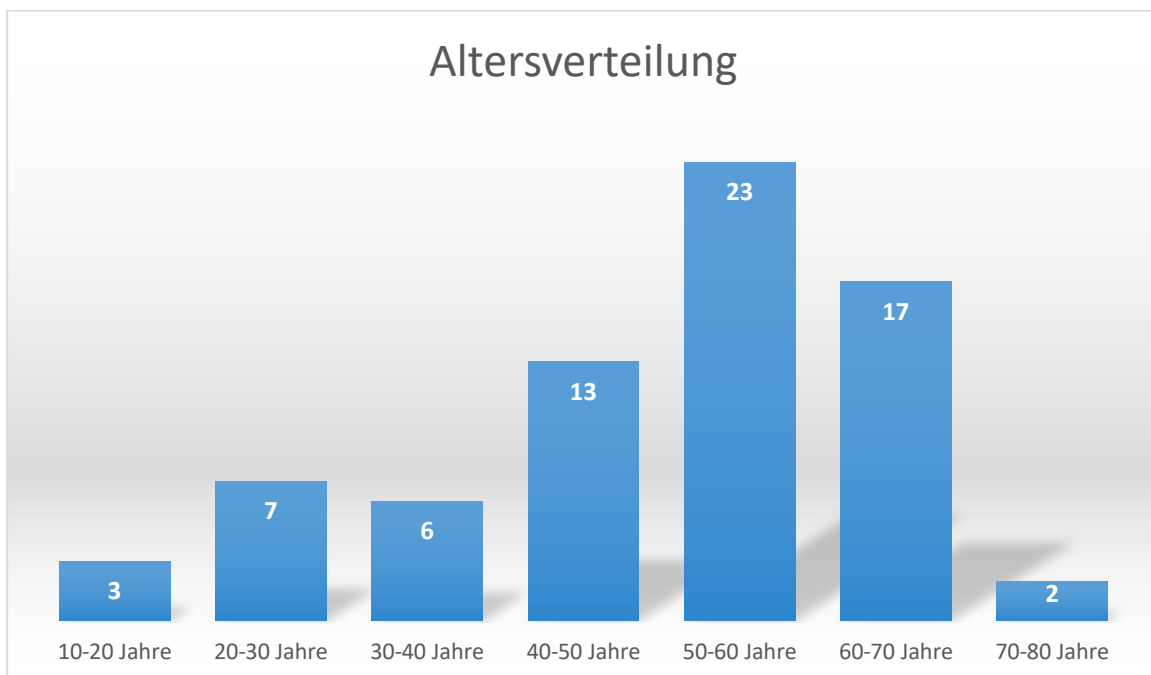


Abbildung 6: Altersverteilung der Studienkohorte

Bei 40 Patienten erfolgte eine unilaterale Hemikraniektomie und somit auch die Kranioplastie auf der rechten Seite (56,3%), bei 31 auf der linken Seite (43,7%).

12 der 71 Patienten erhielten vor der Hemikraniektomie eine EVD (16,9%). Einen VP-Shunt erhielten insgesamt 22 Patienten (31%). 15 davon vor der Kranioplastie, 1 während der Kranioplastie und 6 danach.

Die Ursache für die dekompresive Hemikraniektomie war in 57,7% (n=41) der Fälle ein zerebrovaskuläres Ereignis. Hierunter fallen der maligne Mediainfarkt, welcher 36,6 % (n=26) aller Fälle bedingte, die atraumatische ICB als Auslöser in 11,3 % (n=8) (davon 37,5 % hypertensiv (n=3), 50% AVM (n=4), 12,5% iatrogen (n=1)) und die spontane SAB, bedingt durch die Ruptur eines intrakraniellen Aneurysmas, in 9,9% (n=7) der Fälle.

39,4 % (n=28) aller Fälle beruhten auf einer traumatischen Genese, bedingt durch ein Schädel-Hirn- Trauma mit Subduralhämatom, Kontusionsblutungen und Subarachnoidalblutungen in der Folge.

2,8% (n=2) der Fälle konnten auf entzündliche ZNS- Erkrankungen zurückgeführt werden. Die Herpesencephalitis und die EBV Meningoencephalitis bedingten hier jeweils die Hälfte der Fälle.

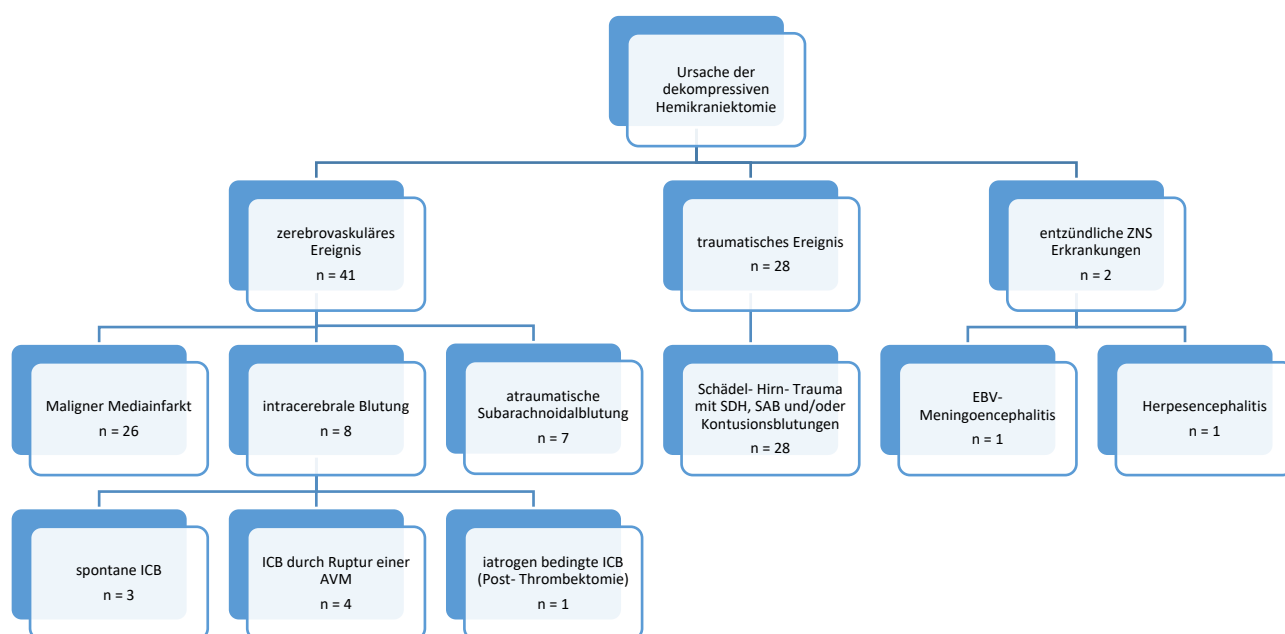


Abbildung 7: Ursachenverteilung der dekompresiven Hemikraniektomie

Das durchschnittliche Follow up der gesamten Kohorte beträgt 1240 Tage. Das entspricht 3 Jahren und 142 Tagen. Bei telefonisch nicht erreichten Patienten oder solchen, die die Einschlusskriterien für das Telefoninterview nicht erfüllten, wurde der letzte Kontakt in unserem Zentrum als Endpunkt für das Follow up gerechnet. Das durchschnittliche Follow up der Teilnehmer des Telefoninterviews liegt bei 1703 Tagen. Das entspricht 4 Jahren und 245 Tagen.

4.2 Operationsdaten

Die durchschnittliche Dauer zwischen dekompressiver Hemikraniektomie und der ersten Kranioplastie betrug 127,4 Tage. (SD von 48,9 Tagen). Die früheste Kranioplastie erfolgte nach 35 Tagen, die späteste nach 302 Tagen. Die Versorgung der durch Schädel-Hirn-Traumata bedingten Defekte erfolgt nach durchschnittlich 99,8 Tagen (SD von 31,7 Tagen) und somit im Schnitt 46 Tage früher als die der zerebrovaskulär bedingten Defekte. Hier liegt die durchschnittliche Zeitspanne zwischen dekompressiver Hemikraniektomie und Kranioplastie bei 146,6 Tagen. (SD von 50,9 Tagen).

Die durch eine ZNS- Entzündung bedingten Defekte wurden durchschnittlich nach 87 Tagen versorgt (SD von 5,7 Tagen).

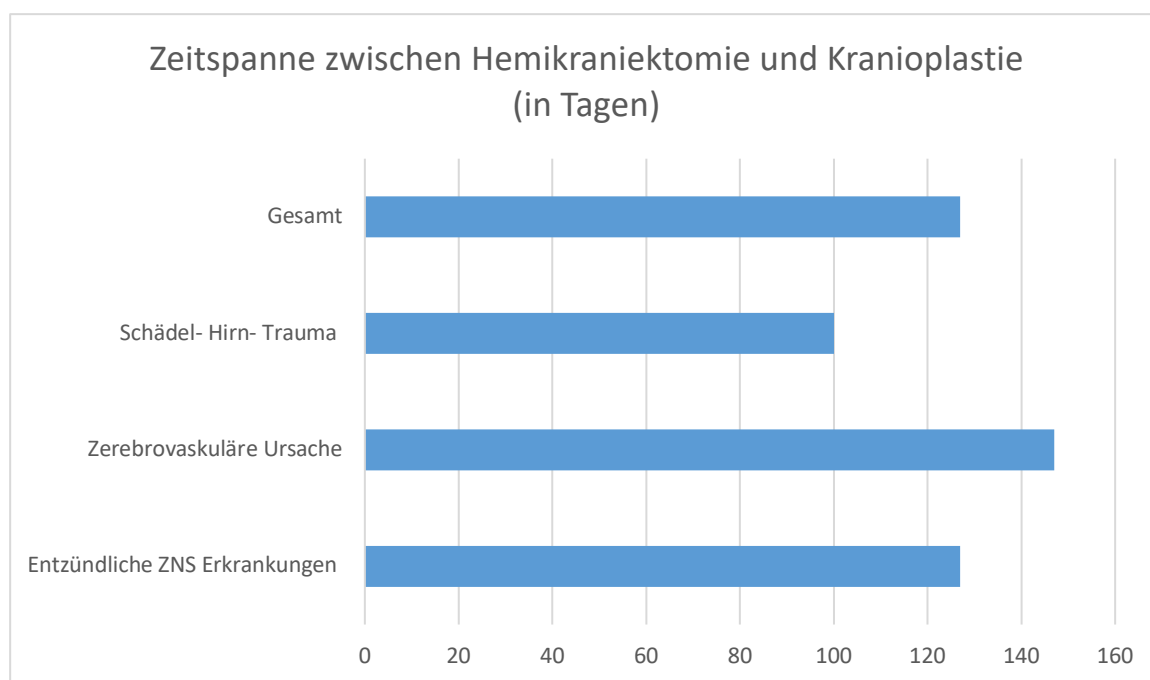


Abbildung 8: Zeitspanne zwischen dekompressiver Hemikraniektomie und Kranioplastie unterteilt nach Grunderkrankung

Die durchschnittliche Dauer der ersten Kranioplastie betrug 128,3 Minuten. (SD von 41,2 Minuten). Die einer Re-Kranioplastie 158,3 Minuten, die einer Re- re- Kranioplastie 128,5 Minuten.

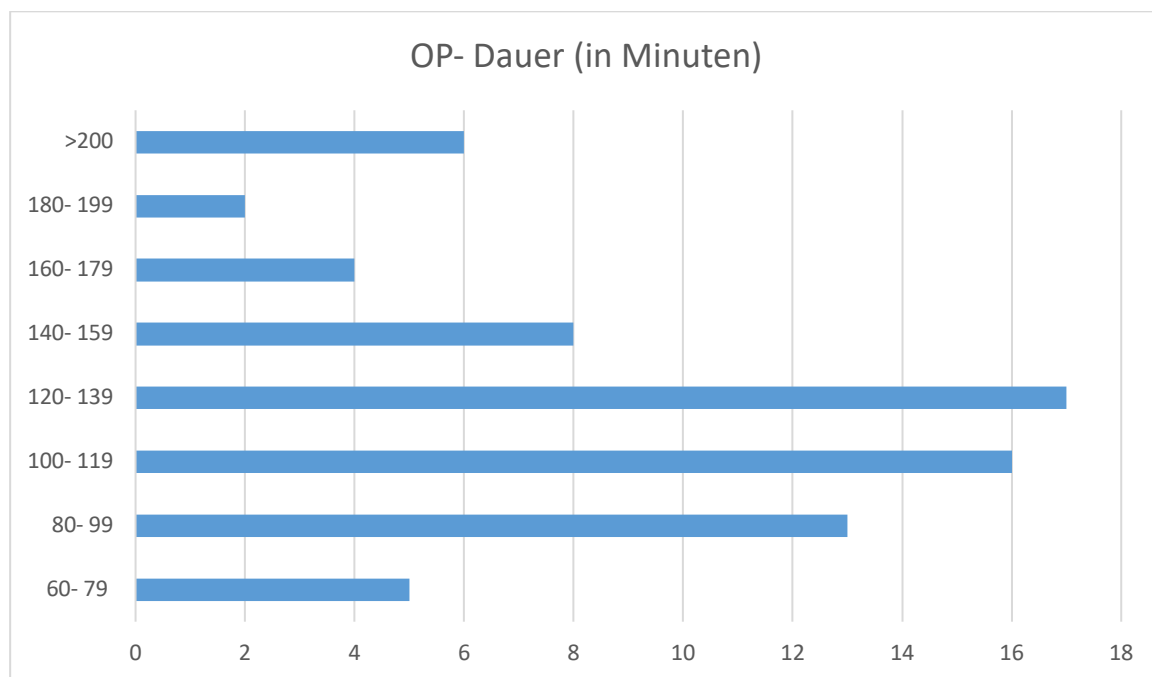


Abbildung 9: Dauer einer jeden ersten Kranioplastie

Die durchschnittliche stationäre Aufenthaltsdauer aller Patienten nach Kranioplastie betrug 13,6 Tage. (SD von 15,4 Tagen). Patienten, welche postoperativ keine Komplikationen entwickelten, waren im Durchschnitt 9,36 Tage stationär.

4.3 Komplikationen

Die Auswertung der Daten unserer Studienkohorte erfolgt auf Basis unterschiedlicher Definitionen des Komplikationsbegriffes sowie unter Betrachtung über zwei verschiedene Nachbeobachtungszeiträume.

Zahlenwerte in eckigen Klammern beschreiben im Folgenden Häufigkeiten aufgetretener Komplikationen bezogen auf den gesamten Follow up Zeitraum, während alle nicht geklammerten Werte Häufigkeiten früher Komplikationen (bis maximal 30 Tage nach Kranioplastie) wiedergeben.

Einteilung der Komplikationen in eingriffsspezifisch und allgemein:

Eingriffsspezifische Komplikationen (siehe 3.3.2) entwickelten 36,62% (n= 26) [49,3%, n= 35] der Kohorte. 34,61% [60%] davon zeigten sich behandlungsbedürftig, was bezogen auf die gesamte Kohorte einem Anteil von 12,68% (n=9) [29,58% n=21] entspricht. Die Behandlungsbedürftigkeit einer eingriffsspezifischen Komplikation ist innerhalb unserer Kohorte gleich zu setzen mit einem operativen Revisionseingriff.

14,1%, (n =10) der Patienten erlitten allgemein stationäre Komplikationen wie nosokomiale Infektionen (Pneumonie, Harnwegsinfekt, fieberhafter Infekt unklarer Genese) oder postoperative Anämie. Da die registrierten allgemeinen Komplikationen allesamt innerhalb der ersten 30 postoperativen Tage auffällig wurden, entfällt hier die Unterscheidung zwischen früher und später Komplikationsrate.

Einige der Patienten wiesen außerdem neben einer eingriffsspezifischen Komplikation zusätzlich eine allgemeine Komplikation auf oder präsentierten gleichzeitig mehrere verschiedene eingriffsspezifische Komplikationen.

Einteilung der Komplikationen nach Behandlungsbedürftigkeit:

23,94% (n= 17) [33,80% n=24] der gesamten Kohorte entwickelten behandlungsbedürftige Komplikationen. Komplikationen, die jeglicher – konservativer oder operativer - Therapie bedurften, sowohl allgemein wie auch eingriffsspezifisch.

19,71% (n=14) entwickelten relevante postoperative Auffälligkeiten, welche sich nicht behandlungsbedürftig zeigten und ausschließlich während des Krankenhausaufenthaltes nach Kranioplastie auffielen. Das klinische Korrelat waren hier eingriffsspezifische Komplikationen wie extraaxiale Flüssigkeitsansammlungen, spontan regrediente Liquorkissen oder epidurale, klinisch nicht relevante Flüssigkeitsansammlungen, welche sich ebenfalls spontan zurückbildeten.

Gesamtkomplikationen:

Betrachtet man jegliche in SAP dokumentierte Auffälligkeiten in Folge der Kranioplastie als relevante Komplikation, trat bei 43,67% (n=31) [52,11 % n=37] der Studienteilnehmern mindestens eine solche auf.

Eingriffsspezifische Komplikationen:	Gesamt-Follow-up:	Frühe Komplikationen:
Anzahl der Patienten mit eingriffsspez. Komplikationen	35 (49,3%)	26 (36,62%)
Anzahl Patienten mit behandlungsbedürftigen eingriffsspez. Komplikationen	21 (29,58%)	9 (12,68%)
Allgemein Komplikationen:		
Anzahl der Patienten mit allgemeinen Komplikationen	10 (14,1 %)	10 (14,1%)
Behandlungsbedürftigkeit		
Behandlungsbedürftige Komplikationen	24 (33,8%)	17 (23,94%)
Nicht behandlungsbedürftige Komplikationen	14 (19,71%)	14 (19,71%)
Gesamtkomplikationen:		
Anzahl der Patienten mit Komplikationen	37 (52,11%)	31 (43,67%)

Tabelle 2: Komplikationen nach Kranioplastie

Verteilung der Komplikationen innerhalb der Studienkohorte:

Eingriffsspezifische Komplikationen:	Gesamt Follow- up	Frühe Komplikationen
Epidurale Nachblutung	5 Patienten (7,0%)	5 Patienten (7,0%)
- Akut revisionsbedürftig	- 3 Patienten (4,2%)	- 3 Patienten (4,2%)
- Nicht revisionsbedürftig – spontan regredient	- 2 Patienten (2,8%)	- 2 Patienten (2,8%)
Wundkomplikationen ohne manifeste Infektion	6 Patienten (8,45%)	3 Patienten (4,23%)
Wund-/Implantatinfektionen	9 Patienten (12,68%)	3 Patienten (4,23%)
Extraaxiale Flüssigkeitsansammlung	12 Patienten (16,90%)	12 Patienten (16,9%)
- Liquorkissen	- 7 Patienten (9,9%)	- 7 Patienten (9,9%)
- Epidurale Flüssigkeitsansammlung	- 5 Patienten (7,0%)	- 5 Patienten (7,0%)
Implantatdislokation	3 Patienten (4,2%)	2 Patienten (2,8%)
Lockerung von Teilen des Implantates	2 Patienten (2,8%)	Kein Patient
Neuaufgetretene Krampfanfälle	3 Patienten (2,8%)	3 Patienten (4,3%)
Hydrocephalus	6 Patienten (8,45%)	3 Patienten (4,2%)

Tabelle 3: Häufigkeitsverteilung der eingriffsspezifischen Komplikationen in der Gesamtkohorte

Der Hydrocephalus wurde innerhalb unserer Studienkohorte als postoperative Auffälligkeit nach Kranioplastie erhoben, jedoch aufgrund der umstrittenen Korrelation nicht der Gesamtkomplikationsrate nach Kranioplastie addiert (siehe dazu 5.5.7.)

Allgemeine Komplikationen:	
Nosokomiale Infektion	8 Patienten (11,27%)
- Fieber unklarer Genese	- 1 Patient (1,4%)
- Pneumonie	- 2 Patient (2,82%)
- Harnwegsinfektion	- 5 Patienten (7,04%)
Postoperative Anämie	2 Patienten (2,82%)
Postoperativer Lagerungsschaden – Othämatom	1 Patient (1,4%)

Tabelle 4: Häufigkeitsverteilung der allgemeinen Komplikationen in der Gesamtkohorte

Revisionsrate:

21 Patienten unserer Kohorte (29,58%) benötigten im Verlauf des gesamten Follow up Zeitraumes eine Revisionsoperation, 9 Patienten innerhalb der ersten 30 postoperativen Tage. (12,68%)

15 Patienten (21,13%) mussten im Zuge dieser Revisionsoperationen explantiert werden, 5 Patienten innerhalb der ersten 30 Tage. (7,0%)

Ursachen der primär. Revisionsoperation	gesamt	frühe Revision
Wund-/Implantatinfektion	8/71 (11,27%)	2/71 (2,82%)
Wundkomplikationen ohne manifeste Infektion	6/71 (8,45%)	3/71 (4,23%)
Dislokation des Implantates	2/71 (2,82%)	1/71 (1,41%)
Epidurale Nachblutung	3/71 (4,23%)	3/71 (4,23%)
Lockerung von Teilen des Implantates	2/71 (2,82%)	0/71 (0%)

Tabelle 5: Ursachenverteilung der primären Revisionsoperation

Die durchschnittliche Dauer bis zur einer notwendigen primären Revisionsoperation betrug 444,17 Tage. (1 a 79,17d) bei einer Range von 0,5 d bis 2178 d, die durchschnittliche Dauer bis zu einer Revisionsoperation mit Notwendigkeit einer Explantation 359,37 Tage. (Range 0,5 d- 2178 d)

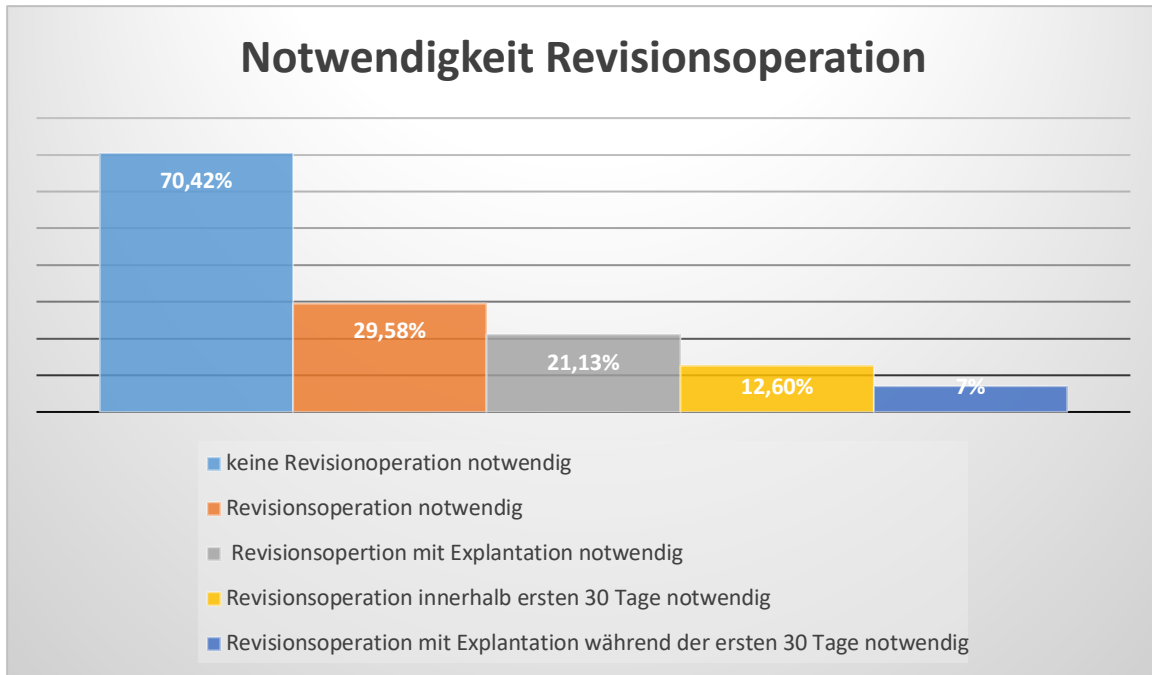


Abbildung 10: Notwendigkeit Revisionsoperation

4.4 Ergebnisse Telefoninterview

14% (n=5) der Teilnehmer des Telefoninterviews klagten über nach dem Eingriff zurückgebliebene Schmerzen. Patienten berichten hier von mäßigen bis stärksten, kurzzeitig bis dauerhaft auftretenden, stechenden oder pochenden Kopfschmerzen, welche häufig im Bereich der Kranioplastienarbe lokalisierbar sind. Bei 5,5 % (n=2) lässt sich die Frage nach Schmerzen, bedingt durch den Zustand des Patienten, nicht klären. 80,5 % (n=29) berichten darüber, keine Schmerzen zurückbehalten zu haben.

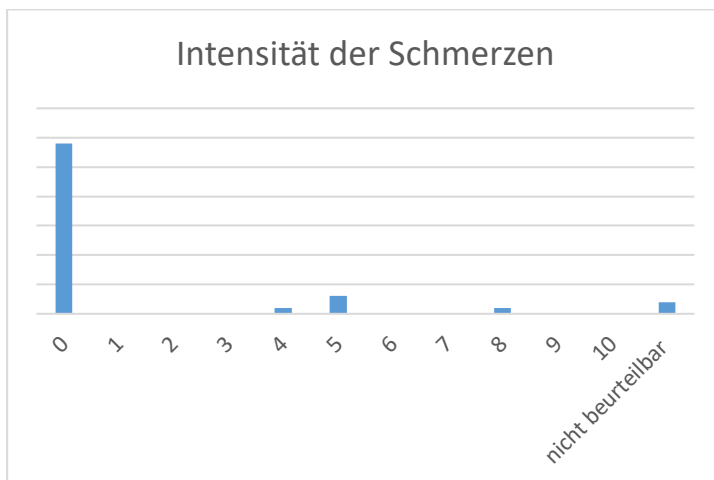


Abbildung 11: Intensität der Schmerzen im Kopfbereich. NRS 1-10

14% (n=5) verspüren ein Taubheitsgefühl. Dieses wird vor allem im Bereich der Narbe oder in Arealen oberhalb des Implantates beschrieben.

Die kosmetische Zufriedenheit nach der Operation ist im Folgenden dargestellt. Die Note 1 stellt dabei das bestmögliche, die Note 6 das schlechtestmögliche kosmetische Ergebnis dar.

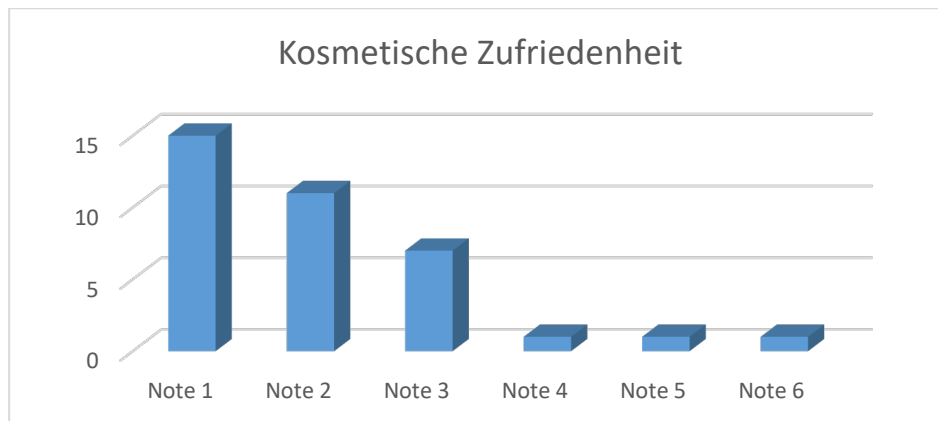


Abbildung 12: Kosmetische Zufriedenheit nach Kranioplastie. Notenskala 1-6

Die durchschnittliche kosmetische Zufriedenheit liegt dabei bei einer 2,04.

50% (n=18) der Patienten berichten über die Existenz einer „Grube“ im Bereich des Musculus temporalis auf der betroffenen Seite. 66,6% (n=12) davon bezeichnen diese als deutlich sichtbar, 33,3% (n=6) als klein und nicht störend. Bei 5,5% (n=2) zeigen sich funktionelle Einschränkungen in Form von Schwierigkeiten bei der Mundöffnung oder beim Kauen seit dem Eingriff.

Medikamente mit Bezug zur Kranioplastie bzw. mit Bezug zu Komplikationen der Kranioplastie nehmen 33,3% (n=12) der Teilnehmer des Telefoninterviews. Die Gruppen der Medikamente sind hier Antikonvulsiva (25,5%) und Schmerzmittel (14%)

5 Diskussion

5.1 Allgemein

Die dekompressive Hemikraniektomie ist ein operatives Verfahren zur Senkung eines therapierefraktären Hirndrucks. Reichen konservative intensivmedizinische Maßnahmen nicht mehr aus, kann eine operative Entlastung mittels dekompressiver Hemikraniektomie die letzte Möglichkeit darstellen, das Leben des Patienten zu retten. Nach Rückgang der zerebralen Schwellung und ausreichender Regeneration des Patienten folgt regelhaft die Deckung des Defektes mittels Kranioplastie. Dieser notwendige neurochirurgische Folgeeingriff, stellt ein Verfahren mit nachgewiesenem Nutzen für den Patienten dar. Die primären Ziele sind die Wiederherstellung des mechanischen Schutzes des Gehirns sowie der physiologischen intrakraniellen Druckverhältnisse. Letzteres führt in der Folge zu einer Optimierung des cerebralen Blutflusses sowie zur Normalisierung der cerebralen Liquordynamik, was ein physiologisches intrakranielles Gleichgewicht zwischen Liquorproduktion und Liquorresorption impliziert. Des Weiteren wird die Kranioplastie als vorbeugende, aber auch therapeutische Maßnahme des „Syndroms of the trephined“ (Syn.: Sinking skin flap syndrome) beschrieben.(3)

Primärer Endpunkt der vorliegenden retrospektiven monozentrischen Studie des neurochirurgischen Zentrums der Universitätsmedizin Mainz ist die Ermittlung der Komplikationsrate und der Komplikationsverteilung sowie die Häufigkeit und Ursachenverteilung für Revisionsoperationen nach primärer Kranioplastie mit alloplastischen CAD Implantaten. Aufgrund der krankenhausesinternen Hygienestandards, welche eine Lagerung autologer Knochendeckel untersagt, führt unser Zentrum jegliche Kranioplastie mit CAD gefertigten alloplastischen Implantaten durch. Die primäre Verwendung alloplastischer Materialien ist an anderen Zentren häufig Einzelfällen vorbehalten und der autologe Knochendeckel bis heute das regelhaft verwendete Material primärer Kranioplastien. (28)

5.2 Diskussion der Studienpopulation

Die Teilnehmerzahl unserer Studie beläuft sich mit 71 Patienten als Teilnehmer der SAP-Auswertung und 36 als Teilnehmer der Telefonbefragung auf eine vergleichsweise kleine Kohorte. (32)

Der jüngste unserer Studienteilnehmer war zum Zeitpunkt der Kranioplastie 10 Jahre alt, der älteste 77 Jahre. Das Durchschnittsalter unserer Kohorte liegt bei 49,43 Jahren. Dieser, im Vergleich zur demographischen Entwicklung unserer Gesellschaft, relativ junge Altersdurchschnitt lässt sich durch die Indikationsstellung der der Kranioplastie

vorgeschalteten dekompressiven Hemikraniektomie erklären. Ob ein solcher Eingriff als therapeutische Maßnahme durchgeführt wird, wird unter anderem vom Alter des jeweiligen Patienten abhängig gemacht. Je älter der Patient, desto stärker verschiebt sich das Risiko-Nutzen Verhältnis des Eingriffs hin zu höherem Risiko und geringerem Nutzen. Während sich bei jungen Patienten, allem voran Kindern, häufiger für die dekompressive Hemikraniektomie entschieden wird, fällt die Entscheidung bei alten, multimorbiden Personen, nicht zuletzt unter Beachtung des mutmaßlichen Willens, häufig gegen die Durchführung des Eingriffs aus. Die Wahrscheinlichkeit eines guten postoperativen Outcomes ist meist deutlich geringer als bei jüngeren Patienten. Der Vergleich mit anderen Publikationen zeigt ähnliche Durchschnittsalter wie das unserer Kohorte (29, 34, 35). Auch Shepetovsky et al. berichten in ihrem 2021 veröffentlichten systematischen Review, welcher 59 Studien zu Komplikationen nach Kranioplastie mit vorwiegend autologem Material einschließt, von einem gepoolten mittleren Alter der Patienten von 44,1 Jahren zum Zeitpunkt des Eingriffs.(32)

Die Geschlechterverteilung unserer Studienkohorte zeigt mit 2/3 männlichen und 1/3 weiblichen Probanden eine deutliche Überrepräsentation männlicher Personen. Vergleicht man hier mit Zahlen anderer Studien, zeigt sich auch dort regelhaft ein höherer Anteil von Männern im Vergleich zu Frauen (29, 35-37). Shepetovsky et al. (32) berichten ebenfalls von einer Dominanz männlicher Probanden. Der gepoolte Mittelwert liegt hier bei 65% männlichen zu 35% weiblichen Patienten, bei einer Standardabweichung von 2%.

Zu erklären ist dies am ehesten anhand der Ursachen, welche in der Folge zu einer Kranioplastie führen. Hier sind der maligne Mediainfarkt (36,6%) und das Schädel Hirn Trauma (39,4%) deutlich führend. Zwar sind cerebrale ischämische Ereignisse, wie der maligne Mediainfarkt, auf Lebenszeit gesehen bei Frauen häufiger zu beobachten als bei Männern, dies lässt sich jedoch auf die höhere Lebenserwartung weiblicher Personen und das mit dem Alter stark ansteigende Risiko einen Schlaganfall zu erleiden zurückführen. Betrachtet man die altersadjustierte Prävalenz für Schlaganfälle, zeigt sich in für die Hemikraniektomie relevanten Altersspannen für Männer eine signifikant höhere Gefahr einen Schlaganfall zu erleiden als für Frauen. (38) Wie oben bereits beschrieben, korreliert ein fortgeschrittenes Patientenalter positiv mit einem zunehmend ungünstigen Nutzen Risiko Verhältnis der Hemikraniektomie als Therapiemaßnahme zur Senkung des Hirndrucks. Es wird sich im höheren Alter häufiger gegen die Durchführung einer Hemikraniektomie entschieden und Frauen werden somit trotz höherer Lebenszeitprävalenz seltener aufgrund eines Schlaganfalls hemikraniektomiert als Männer.

Auch Schädel Hirn Traumata weisen eine eindeutige Geschlechtertendenz auf. Männer erleiden im Schnitt dreimal häufiger ein SHT als Frauen. (9) Dies zeigt sich auch in unserer

Kohorte deutlich. 78,6% (n = 22) der Studienteilnehmer, die sich in Folge eines Schädel Hirn Traumas einer dekompressiven Hemikraniektomie unterzogen, sind männlich. Die Geschlechterverteilung bei den zerebrovaskulären Ursachen zeigt sich innerhalb unserer Kohorte hingegen eher ausgeglichen. 53,7% sind hier männlichen Geschlechtes. Betrachtet man nur maligne Mediainfarkte als zerebrovaskuläre Ursache für die dekompressive Hemikraniektomie, zeigt sich in unserer Kohorte mit 53,8% eine leicht weibliche Dominanz.

Alle Teilnehmer der vorliegenden Studie erhielten eine dekompressive Hemikraniektomie. Mit 56% rechtsseitigen und 44% linksseitigen Eingriffen zeigt sich hier eine relativ ausgeglichene Verteilung. Eine bifrontale Kraniektomie wurde bei keinem unserer Probanden durchgeführt.

Studien, welche sich mit Prädiktoren für Komplikationen nach Kranioplastie beschäftigten, zeigen teils kontroverse Ergebnisse. Neben dem komorbiden Krankheitstyp werden unter anderem eine längere Operationsdauer, jüngeres Alter, das Vorhandensein eines ventrikuloperitonealen Shunts und die bifrontale Kraniektomie als Prädiktoren für ein erhöhtes Risiko, postoperativ Komplikationen zu entwickeln, genannt. (34, 39, 40) Während die Erfassung von Vorerkrankungen nicht Teil unserer Datenerhebung darstellt und somit eine dahingehende Beeinflussung unserer Komplikationsrate nicht auszuschließen ist, kommt ein erhöhtes Risiko durch eine vorhergegangene bifrontale Kraniektomie bei ausschließlich unilateralen Hemikraniektomien in unserer Kohorte nicht in Frage. Die mittlere Operationsdauer einer jeden ersten Kranioplastie unserer Kohorte bewegt sich mit 128 Minuten im unteren Bereich der normal angesetzten Dauer einer Kranioplastie, welche bei 2-2,5 Stunden liegt. (41) Andere Publikationen berichten von durchschnittlich 129 Minuten (41), 135 Minuten (31) oder 117 Minuten (42). Die mittlere Operationsdauer unserer Kohorte stellt somit ebenso kein Risiko für eine potentiell erhöhte Komplikationsrate dar. Auch ein jüngeres Durchschnittsalter liegt, wie oben bereits erörtert, in unserer Kohorte nicht vor und kann somit ebenfalls nicht als Prädiktor für eine überdurchschnittliche Komplikationsrate unserer Studienpopulation ausgemacht werden.

Während 22,5% der Patienten unserer Studienkohorte vor oder während der Kranioplastie aufgrund eines permanenten Hydrozephalus einen ventrikuloperitonealen Shunt implantiert bekamen, berichten andere aktuelle Publikationen dahingehend häufig von niedrigeren Raten. Giese et al (43) beschreiben in ihrer retrospektiven single-center Studie beispielsweise einen Anteil von 18,4%. Eine Beeinflussung hin zu einer höheren Komplikationsrate in unserer Kohorte ist möglich.

Weitergehend untersuchen Zhou et al (44) in Ihrer Metaanalyse aus dem Jahre 2022 die Bedeutsamkeit des Zeitpunktes der VP Shunt Implantation in Hinsicht auf die Komplikationsrate nach Kranioplastie. Sie unterscheiden zwischen stufenweiser Operation,

bei der der VP- Shunt bereits vor der Kranioplastie implantiert wurde und simultaner Operation, bei der VP-Shunt Platzierung und Kranioplastie in einem operativen Eingriff durchgeführt werden.

Leitlinien bezüglich eines richtigen Zeitpunktes zur VP-Shunt Implantation bei therapiebedürftigem Hydrozephalus nach Hemikraniektomie gibt es bislang nicht. Weltweit wird aktuell häufig eine Implantation während des operativen Eingriffs der Kranioplastie bevorzugt. Als Vorteil angeführt wird hierbei vor allem der für den Patienten nur einmalig nötige operative Eingriff. (44)

Zhou et al (44) zeigen in ihrer Metaanalyse jedoch eine erhöhte Komplikationsrate im Rahmen der Simultanoperation verglichen mit der stufenweisen Operation. Was darauf hindeutet, dass das aktuell bevorzugte Prozedere der Simultanoperation dem der stufenweisen Operation unterlegen sein könnte.

In unserer Kohorte erhielten 21,1 % eine stufenweise Operation, lediglich 1,4 % unterzogen sich einer simultanen Operation. Eine potentiell höhere Komplikationsrate innerhalb unserer Kohorte, ließe sich hierüber somit nicht erklären.(44)

Die Thematik des richtigen Zeitpunktes der VP- Shunt Anlage gilt es zukünftig durch weitere Studien weiter zu erforschen.

5.3 Diskussion der Gesamthäufigkeit der Komplikationen

Betrachtet man ausschließlich behandlungsbedürftige eingriffsspezifische Komplikationen, so sind bezogen auf den gesamten Zeitraum des Follow ups 29,58% der Patienten unserer Studienkohorte von mindestens einer solcher Komplikation betroffen. Bezogen auf die ersten 30 Tage nach Kranioplastie sind es 12,68%.

Wertet man hingegen jegliche Auffälligkeiten, die entweder im Verlauf des Krankenhausaufenthaltes nach Kranioplastie auftraten oder später auffielen und den Patienten in unserem Zentrum wiedervorstellig werden ließen, liegt die Komplikationsrate höher. Hier sind mit 52,11 % deutlich mehr Studienteilnehmer von Komplikationen betroffen. Knapp über die Hälfte der Studienteilnehmer zeigen hiernach während des gesamten Follow ups mindestens eine Komplikation.

Die innerhalb unserer Studie ebenfalls ausgewertete frühe Gesamtkomplikationsrate beinhaltet ebenso jegliche Komplikationen, welche jedoch bis maximal 30 Tage nach dem Eingriff der Kranioplastie auffällig wurden. Sie beträgt 43,67%. Sowohl eingriffsspezifische Komplikationen, also solche, die direkt mit dem Eingriff in Verbindung gebracht werden konnten (beispielsweise Wundinfektionen/Implantatlockerungen, siehe hierzu 3.3.2.) als auch

allgemeine Komplikationen, welche während eines jeden Krankenhausaufenthaltes auftreten können, (beispielsweise HWI oder Pneumonie) wurden zur Berechnung der Gesamtkomplikationsraten herangezogen.

Definiert man nochmals anders und betrachtet jegliche eingriffsspezifische Komplikationen, liegt die Komplikationsrate der Studienkohorte bezogen auf den gesamten Follow up Zeitraum bei 49,3%, bezogen auf die ersten 30 Tage nach Kranioplastie bei 36,62%. Hierunter fallen sowohl behandlungsbedürftige wie nicht behandlungsbedürftige Komplikationen, die mit dem Eingriff direkt in Verbindung gebracht werden können.

Die Bedeutsamkeit der Definition des Komplikationsbegriffes sowie die Dauer der Nachbeobachtung wird schnell deutlich. Dies zeigt sich auch in der Vergleichsliteratur, welche sich mit der Thematik rund um Komplikationsraten nach Kranioplastie beschäftigt.

Shepetovsky et al. (32) berichten in ihrem Review beispielsweise von einer mittleren Komplikationsrate von 24,0% bei einer weiten Range von 14,6-42,3%. Ein weiterer systematischer Review von Malcom et al. (45) aus dem Jahre 2016 beschreibt eine mittlere Gesamtkomplikationsrate von 19,5% bei einer ebenfalls weiten Range von 3,9%- 45,3%.

Die von Studie zu Studie unterschiedlichen Definitionen des Komplikationsbegriffes sowie der Nachbeobachtungszeiträume erschweren eine gute Vergleichbarkeit und führen zu den weit divergierenden Komplikationsraten und weiten Ranges innerhalb der Reviews.

Während Hauser (41) in ihrer Dissertation beispielsweise eine Komplikationsrate nach Kranioplastie von 30% beschreibt, hierbei jedoch ausschließlich in den ersten 30 Tagen nach OP aufgetretene Komplikationen erfasst, betrachten andere Studien lediglich eingriffsspezifische Komplikationen, welche einer Revisionsoperation bedürfen. Wiederum andere Studien berichten nur über Raten einzelner ausgewählter Komplikationen. Letzteres findet sich beispielsweise bei Stosberg (2), der in seiner Dissertation lediglich postoperative Infektionen und Autolysen des autologen Knochenimplantates als Komplikationen betrachtet und eine Komplikationsrate von 32% beschreibt. Mögliche andere Auffälligkeiten werden gar nicht erhoben

Zieht man die Rate aller denkbaren Komplikationen zu jedem möglichen Zeitpunkt des gesamten Follow ups heran, befindet sich die Komplikationsrate unserer Kohorte mit 52,11 % oberhalb der oberen Grenzen der beiden Skalen nach Shepetovsky et al und Malcolm et al (32, 45). Gleiches gilt für die 49,3% eingriffsspezifische Komplikationen während des gesamten Follow up Zeitraums.

Im oberen Bereich der Skalen bewegt sich die Komplikationsrate unserer Kohorte mit 43,67 % bei Betrachtung aller möglichen Komplikationen innerhalb der ersten 30 postoperativen Tage

sowie bei Betrachtung eingriffsspezifischer Komplikationen innerhalb der ersten 30 postoperativen Tage (36,62%).

Betrachtet man die 29,58% behandlungsbedürftigen eingriffsspezifischen Komplikationen während des gesamten Follow ups, liegt eine noch immer überdurchschnittlich hohe, sich den Durchschnittswerten der Metaanalysen nach Shepetovsky et al. & Malcom et al. annähernde Komplikationsrate vor. (32, 45) Nochmals anders zeigt es sich, wenn behandlungsbedürftige eingriffsspezifische Komplikationen innerhalb der ersten 30 postoperativen Tage den Komplikationsbegriff definieren. Mit einer Komplikationsrate von 12,68% bewegt sich unsere Studienkohorte dann deutlich unterhalb der mittleren Gesamtkomplikation. (32, 45)

Je nach Definition des Komplikationsbegriffes sowie des Nachbeobachtungszeitraumes liegt die Komplikationsrate unserer Kohorte mehr oder weniger im Bereich derer der Vergleichsstudien. Eine gute Vergleichbarkeit ist, wie weiter oben bereits beschrieben, durch die verschiedenen studieninternen Definitionen der zentralen Begriffe schwer möglich.(32, 45) Tendenziell lassen sich innerhalb unserer Kohorte jedoch eher hochnormale bis leicht erhöhte Komplikationsraten feststellen.

5.4 Diskussion der Gesamthäufigkeit der Revisionsoperationen

Bezogen auf die ersten 30 postoperativen Tage entwickelten 12,68% (n=9) der Studienteilnehmer eine eingriffsspezifische Komplikation, welche in der Konsequenz zu einer operativen Revision führte.

Betrachtet man den gesamten Zeitraum des Follow ups, so liegt die Rate hierfür mit 29,58 % (n=21) deutlich höher. Differenziert man weiter und wertet lediglich Revisionsoperationen mit Notwendigkeit einer Explantation der Plastik, waren hiervon, bezogen auf den gesamten Zeitraum des Follow ups, 21,13% betroffen, 7,0%, innerhalb der ersten 30 Tage.

Malcom et al (45) berichten in ihrem Review, welcher 11 Studien beinhaltet die sich mit Revisionsoperationsraten nach Kranioplastie befassen, von einer mittleren Rate von 13,2 % bei einer Range von 3,9% - 25,8%. Deutlich wird hier, dass die 13,2% nicht sehr weit von der durchschnittlichen Gesamtkomplikationsrate von 19,5% nach Malcom et al entfernt liegen. Dies lässt vermuten, dass Komplikationen nach Kranioplastie nicht selten zu der Notwendigkeit einer operativen Revision führen. Gleichzeitig kann diese Tatsache jedoch auch darauf hindeuten, dass viele Studien ihr Augenmerk bei der Erhebung der Komplikationsrate häufig hauptsächlich auf revisionsbedürftige Komplikationen legen.

Die Revisionsrate unserer Kohorte innerhalb der ersten 30 postoperativen Tage von 12,68% deckt sich mit der mittleren Raten nach Malcom et al (45). Betrachtet man die Revisionsrate

unserer Kohorte über den gesamten Zeitraum des Follow ups, liegt diese mit 29,58% deutlich höher, sogar oberhalb der oberen Grenze der Range nach Malcom et al (45). Die Revisionsrate innerhalb unserer Kohorte mit notwendiger Explantation der Plastik liegt mit 21,13%, bezogen auf den gesamten Follow up Zeitraum, im oberen Bereich, während innerhalb der ersten 30 Tage (7,0%) eine mit Malcom et al verglichen geringere Rate vorliegt.

Auch hier wird erneut die große Bedeutsamkeit der Definition des Revisionsbegriffes sowie auch des Nachbeobachtungszeitraumes deutlich. Malcom et al fasst 11 Studien zusammen, die jede für sich ihre eigene Definition des Revisionsbegriffes wie auch des Follow up Zeitraumes festlegt, ihre Daten danach erhebt und auswertet. Die Vergleichbarkeit ist somit auch hier schwierig.

Gooch et al (37), als eine der 11 von Malcom et al betrachteten Studien, erfassen vielfältige verschiedene Gründe für Revisionsoperationen nach Kranioplastie und definieren den Revisionseingriff als jegliche operative Manipulation im Operationsgebiet nach Kranioplastie. Außerdem unterscheiden sie ebenfalls in frühe (<30 Tage nach Kranioplastie) und späte (>30 Tage nach Kranioplastie) Revisionen. Hier sind somit die Definition wie auch die Nachbeobachtungszeiträume ähnlich zu denen unserer Kohorte und somit eine direkte Vergleichbarkeit möglich. Es lässt sich feststellen, dass die Revisionsrate, sowohl bezogen auf den gesamten Follow up Zeitraum (29,58% zu 25,8%), wie auch bezogen auf die ersten 30 postoperativen Tage (12,68% zu 9,68 %), innerhalb unserer Kohorte etwas höher ausfällt als in der Vergleichsstudie. (37)

Eine weitere Studie, die Vergleichbarkeit erlaubt, erfolgte durch Mukherjee et al (46). Sie beschäftigt sich im Gegensatz zum Großteil der anderen Vergleichsliteratur mit Komplikationsraten nach Kranioplastie mit allogenem Material, genauer Titan Plastiken. Definiert werden Revisionsoperationen hier als operativer Eingriff mit Notwendigkeit einer Explantation. 10,3% der Patienten nach Kranioplastie mussten sich einer solchen Revision mit Explantation unterziehen. Ähnlich Zahlen zeigten sich innerhalb unserer Kohorte bezogen auf die ersten 30 postoperativen Tage nach Kranioplastie (7,0%). Während des gesamten Follow up Zeitraums lagen unsere Zahlen mit 21,13% jedoch deutlich höher. Ein genauer Follow up Zeitraum wird von Mukherjee jedoch nicht definiert, was wiederum keine definitive Vergleichbarkeit zulässt (46).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass auch in diesem Bereich die Vergleichbarkeit aufgrund uneinheitlicher studienintern festgelegter Definitionen von zentralen Begriffen nur schwer möglich ist, sich unsere Raten unter Beachtung der erschwerten Vergleichbarkeit jedoch eher in erhöhten Bereichen bewegen. Dass die primäre Verwendung alloplastischer Implantate hierfür verantwortlich gemacht werden kann ist als eher unwahrscheinlich zu

werten. Vorliegende Publikationen, welche über Revisionsraten, auch alloplastischer Kranioplastien berichten, unterstützen diese Hypothese nicht. (46, 47).

5.4.1 Ursachen für die Revision

Die Ursachen für die Revisionsoperationen innerhalb unserer Kohorte bezogen auf den gesamten Follow up Zeitraum, waren in 11,27% der Fälle eine Wund-/Implantatinfektion, in 8,45% eine Wundkomplikation ohne manifeste Infektion und in 4,23% eine epidurale Nachblutung. Bei 7% der Patienten lag eine Dislokation oder eine Lockerung des alloplastischen Implantates vor. (4,2% Dislokationen, 2,8% Lockerung von Teilen des Implantates).

Betrachtet man die Ursachenverteilung der frühen Revisionen, also derer die innerhalb der ersten 30 Tage nach Kranioplastie notwendig wurden, zeigen sich in 2,82% eine Wund-/Implantatinfektion, in 4,23% eine Wundkomplikation ohne manifeste Infektion, in 4,23% eine epidurale Nachblutung sowie in 2,8% eine Dislokation oder Lockerung des alloplastischen Implantates als ursächlich.

Zwei Studien, die sich ebenfalls mit den verschiedenen Revisionsursachen und deren Verteilung beschäftigen, sind die Publikationen von Gooch et al (37) sowie von Giese et al (43).

Gooch et al (37) führen neben einer vergleichbaren Definition des Revisionsbegriffes sowie gleicher Einteilung der Nachbeobachtungszeiträume auch ähnliche Revisionsursachen auf. Eine Vergleichbarkeit ist hier somit gut möglich.

Mit 25,8% liegt die Gesamtrevisionsrate nach Gooch et al (37) etwas niedriger als die innerhalb unserer Kohorte mit 29,58%. Gleiches lässt sich auch beim Vergleich der frühen Revisionsrate feststellen. Gooch et al (37) berichten von 9,68% frühen Revisionsoperationen, während sich innerhalb unseres Patientenkollektivs 12,68% der Patienten innerhalb der ersten 30 Tage einer Revisionsoperation unterziehen mussten.

Vergleicht man die Häufigkeiten der jeweiligen Ursachen, die im gesamten Follow up Zeitraum zu einer notwendigen Revision führten, so lassen sich verglichen mit Gooch et al (37) ähnliche Zahlen für Wund-/Implantatinfektionen (11,3% zu 11,27%) feststellen, jedoch eine in unserer Kohorte deutlich höhere Rate an Wundkomplikationen ohne manifeste Infektion (3,2% zu 8,45%) sowie eine etwas höhere Rate an intrakraniellen Nachblutungen als in der Vergleichsstudie (3,2% zu 4,23%).

Ähnliches zeigt sich beim Vergleich der Ursachenverteilung der frühen Revisionen.

Wund-/Implantationfektionen traten hier innerhalb unserer Kohorte mit 2,82% etwas seltener auf als nach Gooch et al (37) mit 3,2%. Die Rate der Wundkomplifikationen ohne manifeste Infektion, welche zu einer Revisionsoperation führten, war auch hier bei uns deutlich höher. (1,6% zu 4,23%). Ebenfalls etwas höher zeigte sich im Vergleich die Rate an intrakraniellen Blutungen als Revisionsgrund. (3,2% zu 4,23%).

Dislokationen oder Lockerungen von Teilen der Plastik traten in der Vergleichsstudie nicht auf.

Gooch et al (37) betrachten in ihrer Studie hingegen eine weitere wichtige Revisionsursache autologer Kranioplastien, die aseptische Knochendeckelnekrose. Diese kann durch die Verwendung alloplastischer Implantate vermieden werden und tritt somit innerhalb unserer Kohorte nicht auf.

Mit 6,45% bedingt diese Komplikation, bei der es zu einer Resorption des autologen Implantates kommt, (siehe dazu 5.5.5.) einen beträchtlichen Anteil der Revisionsoperationen in Gooch et al (37). Andere Studien, die sich mit der Kranioplastie mittels autologer Implantate beschäftigen, berichten sogar von noch deutlich höheren Raten dieser Komplikation. (32, 45)

Zusammenfassend lässt sich ein häufigeres Auftreten dislokationsbedingter Revisionen innerhalb unserer Kohorte feststellen, was über die Verwendung alloplastischen Materials innerhalb unserer Kohorte zu erklären ist. Allogene Materialien neigen dazu, häufiger zu dislozieren als autologe. Sie verwachsen im Vergleich zu autologen Implantaten nicht mit den Knochenrändern des Defektes. Inwieweit sich die häufiger aufgetretenen Wundkomplifikationen ohne manifeste Infektion innerhalb unserer Kohorte über die Verwendung alloplastischer Implantate erklären lassen bleibt unklar.

Wundinfektionen und intrakranielle Blutungen treten innerhalb unserer Kohorte ähnlich oft auf wie in der Vergleichsstudie. Aseptische Knochendeckelnekrosen treten, bedingt durch die Verwendung primär alloplastischer Implantate, nicht auf.

Die erhoffte geringere Rate an Revisionsoperationen bleibt innerhalb unserer Kohorte aus. Ein Zusammenhang zwischen unserer erhöhten Gesamtrevisionsrate und der primären Verwendung allogener Implantate ist allerdings als fraglich zu werten. Andere Studien beschreiben hier eher gegenteiliges. Neben Henry et al (47) berichten auch Schwarz et al (29) in ihrem direkten Vergleich zwischen der Revisionsrate autologer und alloplastischer Implantate von einer sogar deutlich geringeren Revisionsrate der alloplastischen Implantate. (21,1% bei alloplastischen zu 39,6% bei autologen Implantaten)

5.5 Diskussion der Häufigkeiten der einzelnen Komplikationen

5.5.1 Komplikation - Wund-/Implantatinfektion

Die Wund- und/oder Implantatinfektion stellt in unserer Studienkohorte die am häufigsten aufgetretene Komplikation dar. Bezogen auf den gesamten Zeitraum des Follow ups erfuhr 12,68% diese Form der Komplikation und erhielten allesamt eine Therapie mittels Revisionsoperation und Antibiose. Shepetovsky et al. (32) beschreiben in Ihrem Review eine mittlere Infektionsrate von 10% bei einer Range von 2,0% bis 24,4%. Über ähnliche Zahlen berichten auch Malcom et al (45) mit einer mittleren Infektionsrate von 7,7% bei einer Range von 1,4%- 24,4%. Auch hier führen unterschiedliche Definitionen wieder zu divergierenden Infektionsraten zwischen verschiedenen Studien. Während Cheng et al, Hng et al sowie Chang et al (48-50) beispielsweise lediglich revisionsbedürftige Fälle werten und somit eher geringe Infektionsrate vorzuweisen haben, beziehen Coulter et al (51) und Piedra et al (52) jegliche Fälle mit Schwellungen und Rötungen im Operationsgebiet mit CRP Erhöhung mit ein und weisen so mit 21,7% und 16,6% deutlich mehr Infektionsfällen vor.

Die Infektionsrate unseres Gesamtkollektivs bezogen auf den gesamten Follow up Zeitraum liegt mit 12,68% im mittleren Bereich der Range der oben genannten systematischen Reviews, welche sich vorwiegend mit Komplikationen autologer Kranioplastien befassen. Ein geringerer Anteil an Wund-/Implantatinfektionen durch die primäre Verwendung alloplastischer Implantate ist somit nicht feststellbar. Anders zeigt sich dies jedoch, betrachtet man die Infektionsrate unserer Studienkohorte innerhalb der ersten 30 Tage nach Kranioplastie. Hier sind 4,23% von einer Infektion betroffen, die Kohorte bewegt sich somit deutlich unter der durchschnittlichen Infektionsrate nach Shepetovsky et al (32) und Malcolm et al (45).

Es zeigt sich erneut eine deutlich erschwerte Vergleichbarkeit bei je nach Studie individuell festgelegter Definition des Infektionsbegriffes sowie des Nachbeobachtungszeitraumes. Die Zahlen zeigen, dass der lange Nachbeobachtungszeitraum unserer Kohorte die Infektionsrate zumindest mitbeeinflusst. Eine eindeutige Reduktion der Infektionsrate durch die primäre Verwendung allogenen Materials lässt sich innerhalb unserer Kohorte nicht feststellen, jedoch auch kein deutlich häufigeres Auftreten.

5.5.2 Komplikation - Nachblutung

Ipsilaterale Hämatome stellen die häufigste hämorrhagische Komplikation nach Kranioplastie dar (25). In unserer Kohorte erlitten insgesamt 7% eine solche Komplikation, alle davon in Form einer epiduralen Nachblutung. Differenziert man zwischen behandlungsbedürftiger und spontan regredienter, im routinemäßigen postoperativen cCT erkannter und nicht klinisch auffälliger epiduraler Nachblutung, können 4,2% unserer Patienten ersterer und 2,8% letzterer

Untergruppe zugeordnet werden. Shepetovsky et al (32) berichten von einer gepoolten mittleren Nachblutungsrate von 5,0% bei einer Range von 3,6%- 7,4%.

Beachtet man lediglich die behandlungsbedürftigen hämorrhagischen Komplikationen, liegt die Nachblutungsrate unserer Kohorte leicht unter der mittleren Nachblutungsrate nach Shepetovsky et al (32). Zählt man die spontan regredienten Fälle dazu, bewegt sich die Rate im oberen Bereich. Eine Reduktion hämorrhagischer Komplikationen durch die primäre Verwendung alloplastischer Implantate lässt sich anhand unserer Daten somit nicht feststellen, jedoch auch kein deutlich vermehrtes Auftreten.

Da alle Nachblutungen unserer Kohorte frühzeitig, innerhalb der ersten 30 postoperativen Tage auftraten, ist eine Beeinflussung der Rate durch verschieden lang gewählte Nachbeobachtungszeiträume unwahrscheinlich.

5.5.3 Wundkomplikationen ohne Nachweis einer manifesten Infektion

Hierunter fallen Beeinträchtigungen der Wundheilung aber auch Komplikationen im Bereich der Operationswunde, welche erst später auftreten können. Hierzu zählen beispielsweise im Verlauf entstehende Wundnekrosen oder Wunddehizensen. Dies kann dazu führen, dass darunterliegende Teile des Implantates freiliegen. In der Folge droht häufig eine Infektion, eine manifeste Infektion kann hier jedoch noch nicht nachgewiesen werden. Wundkomplikationen traten, betrachtet auf den gesamten Follow up Zeitraum bei 8,45% unserer Studienteilnehmer auf und stellten somit die zweithäufigste Komplikation innerhalb der Kohorte dar. In allen erfassten Fällen war eine Revisionsoperation, in 83,3% der Fälle sogar mit vorübergehender Explantation des Implantats, notwendig. Giese et al (43), welche sich hauptsächlich mit der Komplikationsrate primär autologer Implantationen beschäftigen, berichtet von einer Wundkomplikationsrate von 3,8% (43). Auch Walcott et al. (39) sowie Belzberg et al (53) berichten mit 1,67% & 1,8% von deutlich niedrigeren Wundkomplikationsraten. Im Vergleich sind die 7% unserer Kohorte als überdurchschnittlich hoch einzuordnen. Auch die 4,23% Wundkomplikationen unserer Kohorte innerhalb der ersten 30 postoperativen Tage liegen noch über der von Giese et al & Walcott et al festgestellten Wundkomplikationsrate. Eine erhoffte geringere Rate an Wundkomplikationen ohne manifeste Infektion lässt sich somit nicht beobachten. Inwieweit sich das sogar häufigere auftreten innerhalb unserer Kohorte über die Verwendung alloplastischer Implantate erklären lässt bleibt unklar.

5.5.4 Dislokation und Lockerung

Eine, nach alloplastischer Implantation oftmals häufiger als nach autologer Implantation auftretende Komplikation stellt die Implantatdislokation dar. Dadurch, dass das alloplastische Implantat nicht mit den Knochenrändern des Defektes verwächst, besteht zum Teil trotz

akkurater Befestigung des Implantates an den Knochenrändern eine höhere Gefahr der Dislokation. Noch während der Operation sollte auf die Passgenauigkeit des Implantates im Defekt geachtet werden und auch eine Stufenbildung vermieden werden. Neben einer größeren Gefahr einer Dislokation kann eine Stufenbildung Wundheilungsstörungen hervorrufen.

Aufgetreten ist eine Implantatdislokation bei 4,2% unserer Studienteilnehmer, bei 2,8 % kam es zur Lockerung von Bestandteilen des alloplastischen Implantates. Alle Fälle erforderten eine Revisionsoperation, bei der die Plastik jedoch in keinem der Fälle explantiert werden musste. Die Plastik wurde lediglich repositioniert oder gelockerte Teile wieder fixiert.

Publikationen, welche sich mit Komplikationsraten nach regelhaft autologer primärer Kranioplastie befassen und über die Komplikation der Implantatdislokationen berichten, beschreiben beispielsweise Dislokationsraten von 3% in Borger et al (54), 3,4 % in Brommeland et al (55) oder 2,2% in Wachter et al (56).

Mit 7% Implantatdislokationen und/oder -lockerungen bewegt sich unsere Kohorte bezogen auf den gesamten Follow up Zeitraum oberhalb der Raten oben erwähnter Vergleichsstudien. Im Vergleich zu primär autologen Kranioplastien kann so ein gehäuftes Auftreten dieser Form der Komplikationen vermutet werden. Bobinski et al (57) berichten bei einer autolog/allogen gemischten Patientenkohorte über 6,1% aufgetretener Implantatdislokationen und/oder -lockerungen und somit auf den ersten Blick über ähnliche Zahlen wie die Unseren. Jedoch sollte auch hier der Nachbeobachtungszeitraum beachtet werden. Bobinski et al beschreiben in ihrer Studie beispielsweise ein Follow up der Patienten von 24 Monaten. Beachtet man lediglich Dislokationen/Lockerung von Teilen der Plastik unserer Kohorte innerhalb der ersten 24 Monate, trat diese Komplikationen in 2,8 % der Fälle und somit deutlich seltener als in der Vergleichsstudie von Bobinski et al auf. (57)

Es lässt sich somit auf den ersten Blick eine höhere Rate an Dislokationen innerhalb unserer Kohorte feststellen. Betrachtet man jedoch wiederum die verschiedenen Nachbeobachtungszeiträume, zeigt sich kein definitives häufigeres Auftreten dieser Komplikation.

5.5.5 Komplikation – aseptische Knochendeckelnekrosen

Während die Gefahr der Implantatdislokation nach alloplastischer Kranioplastie höher liegt als nach der Verwendung autologer Materialien, entfällt bei dieser Form die Gefahr der aseptischen Knochendeckelnekrose. Die Resorption des Implantates stellt eine der häufigsten Komplikationen nach Kranioplastie mit autologen Implantaten dar. Malcom et al (45) berichten von einer gepoolten mittleren Rate an Knochendeckelnekrosen nach autologer Kranioplastien

von 9,3% bei einer Range von 2,7%-17,2%. Shepetovsky et al (32) beschreiben sogar eine mittlere Rate von 14,8% bei einer Range von 3,9%- 33,3%.

Als besonders bedeutsam zeigt sich die aseptische Knochendeckelnekrose nach Kranioplastie bei Kindern. Ein junges Alter der Patienten stellt einen unabhängigen Risikofaktor für die Ausbildung einer Knochendeckelnekrose dar, weswegen vor allem bei Kindern der routinemäßige Einsatz des autologen Knochendeckels kritisch hinterfragt werden sollte. (58, 59)

Durch die primäre Verwendung alloplastischer Implantate, wie in unserer Patientenkohorte geschehen, kann diese Komplikation vermieden werden.

5.5.6 Komplikation – Extraaxiale Flüssigkeitsansammlung

Patienten unserer Kohorte zeigten extradurale Flüssigkeitsansammlungen in Form von epiduralen Flüssigkeitsansammlungen (5,6%) oder Liquorkissen (9,9%). Relevante, rein subdurale Flüssigkeitsansammlungen und Hygrome, konnten in unserer Kohorte nicht beobachtet werden, was durch die rapid closure Technik ohne Verschluss der Dura zu erklären ist. Mit einer Gesamthäufigkeit von 16,9% liegt in unserer Studienkohorte eine vergleichbar hohe Rate an extraaxialen Flüssigkeitsansammlungen vor. Malcom et al (45) berichten mit 13,9% von einer etwas geringeren mittleren Rate. Die Range von 2,11%- 45,3% verdeutlicht jedoch die großen Unterschiede zwischen den einzelnen Studien. Passend dazu berichten Shepetovsky et al (32) von einer mittleren Rate extraaxialer Flüssigkeitsansammlungen von 5,5 % mit wiederum weiter Range von 1,1%- 37,3%.

Als Erklärungsansatz kann hier die Zuverlässigkeit in der Erhebung dieser Komplikation herangezogen werden. Meist sind extraaxiale Flüssigkeitsansammlungen klinisch nicht relevant, zeigen sich aber oft als Zufallsbefunde in cCT-Untersuchungen. Da sie in der Regel nicht behandlungsbedürftig sind, besteht die Gefahr der unzureichenden Dokumentation bzw. Überlieferung des Befundes, so dass die Häufigkeit dieser Komplikation unterschätzt werden könnte. Eine definitive Aussage über ein häufigeres oder selteneres Auftreten extraaxialer Flüssigkeitsansammlungen bei alloplastischen im Vergleich zu autologen Implantaten ist hier somit schwierig zu treffen.

5.5.7 Auffälligkeit – Hydrozephalus

Patienten können nach Kranioplastie durch einen Hydrozephalus auffällig werden.

Dabei ist umstritten, ob der Eingriff der Kranioplastie selbst, die vorgeschaltete Hemikraniektomie oder bereits die Pathologie, welche zur Hemikraniektomie führte die Ursache für die Liquorabflussstörung darstellt. Eine solche kann potentiell lange kompensiert und erst durch die Schädeldeckung in Form eines Hydrozephalus auffällig werden(45)(39).

Studien zeigen beispielsweise einen signifikanten Unterschied zwischen Patienten, die sich aufgrund eines Schädel- Hirn- Traumas (TBI Patienten) einer dekompressiven Hemikraniektomie unterzogen, im Vergleich zu solchen, deren Indikation zur dekompressiven Hemikraniektomie nicht traumatischer Genese war (Non- TBI Patienten - SAB/ICB/maligner Mediainfarkt).(25, 32, 35) Zuerst beschriebene Gruppe weist eine deutlich höhere Rate an postoperativen Hydrozephalien auf als Letztere, was auf einen Zusammenhang zwischen der Kranioplastie vorgeschalteten Ereignissen und der Ausbildung eines Hydrozephalus hindeutet. Shepetovsky et al. (32) berichten von einer mittleren Rate von 15,2% für Non- TBI Patienten im Vergleich zu 8,1% für TBI Patienten.

8,5% (n=6) der Patienten unseres Patientenkollektivs entwickelten im postoperativen Verlauf nach Kranioplastie einen Hydrozephalus. Bei allen ergab sich im Verlauf die Notwendigkeit der Anlage eines ventrikuloperitonealen Shunts. Malcom et al. (45) berichten von einer mittleren Wahrscheinlichkeit von 5,6% durch einen Hydrozephalus nach Kranioplastie auffällig zu werden, bei einer Range von 1,4% - 12,2%. Der systemische Review von Shepetovsky et al (32) berichtet über eine mittlere Wahrscheinlichkeit von 12%.

Aufgrund des fraglichen direkten Zusammenhangs wurde die Rate an postoperativen Hydrozephalien innerhalb unserer Kohorte zwar erfasst, jedoch nicht in der Gesamtkomplikationsrate berücksichtigt.

5.6 Diskussion des kosmetischen und funktionellen Outcomes

Die anhand des Telefoninterviews erhobenen Daten bezüglich des kosmetischen und funktionellen Outcomes zeigen sich innerhalb unserer Kohorte positiv.

Ein Großteil der befragten Patienten berichtet über ein zufriedenstellendes kosmetisches Ergebnis, welches im Durchschnitt mit der Note 2 (gut) betitelt wird. Nur 2,8% waren unzufrieden und vergaben dem kosmetischen Ergebnis die Note 4 (ausreichend) oder schlechter. Über zurückgebliebene kosmetische Auffälligkeiten wie eine Grubenbildung im Bereich der Schläfe auf der betroffenen Seite, bedingt durch postoperative Atrophie des musculus temporalis, berichten 50% unserer Patienten, 1/3 beschreibt diese jedoch als kaum sichtbar, die anderen 2/3 als sichtbar aber fast ausschließlich als nicht störend.

Funktionelle Einschränkungen in Form von Schwierigkeiten bei der Mundöffnung oder beim Kauen ließen sich bei 5,5% der Studienteilnehmer feststellen. 14% behielten ein Taubheitsgefühl im Bereich der Narbe und/oder über dem Implantat zurück, was jedoch ebenfalls von keinem der Befragten als störend beschrieben wurde.

Neben allen zuvor diskutierten möglichen Komplikationen spielt auch das funktionelle und kosmetische Outcome, vor allem für Patienten und deren Angehörige, eine nicht zu unterschätzende Rolle.

Eine der wenigen Publikationen, welche sich mit dieser Thematik beschäftigt, stellt die retrospektive single center Studie von Giese et al dar (60). Neben der Erfassung der postoperativen Lebensqualität sowie des neurologischen Outcomes der Patienten, befasst sich die Publikation aus dem Jahre 2021 mit der Analyse zahlreicher funktioneller und kosmetischer Parameter.

Während die Daten auch hier ein von den Patienten am häufigsten als gut bezeichnetes kosmetisches Ergebnis belegen, zeigt sich, verglichen mit unserer Kohorte, ein deutlich höherer Anteil kosmetisch unzufriedener Patienten (13,5% bei Giese et al zu 2,8% in unserer Kohorte). Auch beschreiben Giese et al (60) eine höhere Rate an Temporalismuskelatrophien. 60,5% seiner Kohorte berichteten über eine Grubenbildung im Bereich der Schläfe auf der betroffenen Seite. Wie stark diese sichtbar scheint und inwiefern sie von den jeweiligen Betroffenen als störend empfunden wird, lässt sich anhand der Daten nicht feststellen.

Funktionelle Einbußen erfassten Giese et al (60) unter anderem auch über „Probleme beim Kauen fester Nahrung“. 8,3% der Patienten berichteten über solch eine zurückgebliebene Schwierigkeit. Auch hier liegt die Rate leicht höher als innerhalb unserer Kohorte. (5,5%)

Ein bis zum Zeitpunkt der Befragung verbliebenes Taubheitsgefühl im Bereich des Implantates/der Kranioplastienarbe war bei Giese et al (60) mit 20,8% ebenso häufiger festzustellen als bei uns. (14,4%)

Zusammenfassung

Ein erhofftes selteneres Auftreten von Komplikationen und notwendigen Revisionsoperationen bei der primären Verwendung alloplastischer Materialien konnte innerhalb unserer Studienkohorte nicht festgestellt werden. Vielmehr ergab die Datenerhebung in Abhängigkeit der Definition des Komplikationsbegriffes hochnormale bis leicht erhöhte Komplikations- sowie Revisionsraten. Als Vergleichswerte herangezogen wurden hier hauptsächlich Zahlen aus Studien, die sich mit Komplikationen und Revisionsoperationen nach Kranioplastie mittels autologen Materials befassten, welches bis heute noch flächendeckend das Material der Wahl primärer Kranioplastien darstellt.

Ob die primäre Verwendung allogenen Materials zu der erhöhten Komplikationsrate beiträgt, ist als fraglich zu werten. Andere Publikationen zu dieser Thematik, beschreiben keinen vom Material abhängigen signifikanten Unterschied der Komplikationsraten (32, 45), während die Revisionsraten sogar als geringer beschrieben werden.(29, 47)

Als möglicher Erklärungsansatz für die erhöhten Komplikationsraten innerhalb unserer Kohorte lässt sich die zwischen verschiedenen Studien häufig stark variierende Definition des Komplikationsbegriffes heranzuführen. Dies führt zu auffällig großen Ranges der Komplikationsraten und zu einer deutlich erschwerten Vergleichbarkeit der Studien untereinander.(32, 45) Die Gesamtkomplikationen unserer Kohorte ergeben sich aus einer Addition jeglicher Auffälligkeiten, die während des gesamten Follow up Zeitraums auftraten, während sich andere Studien nur auf einzelne Komplikationen fokussieren. Dies gilt als ein bekanntes Problem retrospektiver Studien und kann zu einer falsch hohen Komplikationsrate führen.

Auch der vergleichsweise lange Nachbeobachtungszeitraum unserer Kohorte kann zu einer erhöhten Komplikations- und auch Revisionsrate führen. Viele andere Studien beschränken ihr Follow up auf deutlich kürzere Zeiträume. Komplikationen oder Revisionen, welche spät auftreten, werden somit zum Teil gar nicht mehr erfasst.

Abschließend lassen sich die hochnormalen bis erhöhten Raten innerhalb unserer Kohorte jedoch nicht definitiv erklären.

Literaturverzeichnis

1. Anton J, Winkler P. Dekompressive Kraniektomie in der Neurotraumatologie. Journal für Neurologie, Neurochirurgie und Psychiatrie. 2015;16(3):103-10.
2. Stosberg P. Kranioplastie und Komplikationen nach dekompressiver Kraniektomie. Berlin: Klinik für Neurochirurgie BG Klinikum Bergmannstrost Halle (Saale); 2019.
3. Zanotti B, Zingaretti N, Verlicchi A, Robiony M, Alfieri A, Parodi PC. Cranioplasty: Review of Materials. J Craniofac Surg. 2016;27(8):2061-72.
4. Sakowitz OW, Unterberg AW. Intrakranieller Druck. Klinikmanual Intensivmedizin. 11. Auflage ed. Heidelberg: Springer- Verlag GmbH; 2011. p. 269-74.
5. Häni L, Fichtner J, Raabe A, Z'Graggen WJ. Intrakranieller Druck. Swiss Medical Forum. 2019;19(27-28):441-8.
6. Deutsches Ärzteblatt 1999 SK, W.Hacke, S.Schwab. [Available from: <https://www.aerzteblatt.de/archiv/19508/Klinik-und-Therapie-des-raumfordernden-Mediainfarktes>], abgerufen am 23.09.22.
7. MSD Manual - Ausgabe für medizinische Fachkreise JYC. Intrazerebrale Blutung (Internet), zitiert am 18.10.22 <https://www.msmanuals.com/de-de/profi/neurologische-krankheiten/apoplex/intrazerebrale-blutungApril> 2020.
8. MSD Manual - Ausgabe für medizinische Fachkreise JYC. Subarachnoidalblutung (SAB) (Internet), zitiert am 18.10.22 <https://www.msmanuals.com/de-de/profi/neurologische-krankheiten/apoplex/subarachnoidalblutung-sab>. April 2020.
9. Scherer M, Unterberg AW. Schädel-Hirn-Trauma. Die Intensivmedizin: Springer; 2015. p. 1031-43.
10. Schizodimos T, Soulountsi V, Iasonidou C, Kapravelos N. An overview of management of intracranial hypertension in the intensive care unit. J Anesth. 2020;34(5):741-57.
11. S. Schwab PS, A. Unterberg, C. Werner, W. Hacke. NeuroIntensiv. Heidelberg: Springer Verlag; 2015.
12. Canac N, Jaleddini K, Thorpe SG, Thibeault CM, Hamilton RB. Review: pathophysiology of intracranial hypertension and noninvasive intracranial pressure monitoring. Fluids Barriers CNS. 2020;17(1):40.
13. Deutsche Gesellschaft für Neurologie HHea. Intrakranieller Druck (ICP) 2018 [Available from: <https://www.awmf.org/leitlinien/detail/II/030-105.html>] (abgerufen am 18.09.2022).
14. Schirmer M. Neurochirurgie. 11. Auflage ed. München: Elsevier; 2021.
15. Cooper DJ, Rosenfeld JV, Murray L, Arabi YM, Davies AR, D'Urso P, et al. Decompressive craniectomy in diffuse traumatic brain injury. N Engl J Med. 2011;364(16):1493-502.
16. Hutchinson PJ, Koliass AG, Timofeev IS, Corteen EA, Czosnyka M, Timothy J, et al. Trial of Decompressive Craniectomy for Traumatic Intracranial Hypertension. N Engl J Med. 2016;375(12):1119-30.
17. Hutchinson PJ, Koliass AG, Tajsic T, Adeleye A, Aklilu AT, Apriawan T, et al. Consensus statement from the International Consensus Meeting on the Role of Decompressive Craniectomy in the Management of Traumatic Brain Injury : Consensus statement. Acta Neurochir (Wien). 2019;161(7):1261-74.
18. Jüttler E, Schwab S, Schmiedek P, Unterberg A, Hennerici M, Woitzik J, et al. Decompressive Surgery for the Treatment of Malignant Infarction of the Middle Cerebral Artery (DESTINY): a randomized, controlled trial. Stroke. 2007;38(9):2518-25.
19. Vahedi K, Vicaut E, Mateo J, Kurtz A, Orabi M, Guichard JP, et al. Sequential-design, multicenter, randomized, controlled trial of early decompressive craniectomy in malignant middle cerebral artery infarction (DECIMAL Trial). Stroke. 2007;38(9):2506-17.
20. Hofmeijer J, Kappelle LJ, Algra A, Amelink GJ, van Gijn J, van der Worp HB. Surgical decompression for space-occupying cerebral infarction (the Hemicraniectomy After Middle Cerebral Artery infarction with Life-threatening Edema Trial [HAMLET]): a multicentre, open, randomised trial. Lancet Neurol. 2009;8(4):326-33.
21. Gruber A, Knosp E. Neurochirurgische OP-Indikation bei malignen Mediainfarkten. Journal für Neurologie, Neurochirurgie und Psychiatrie. 2011;12(3):236-40.

22. Jüttler E, Bösel J, Amiri H, Schiller P, Limprecht R, Hacke W, et al. DESTINY II: DEcompressive Surgery for the Treatment of malignant INfarction of the middle cerebral artery II. *Int J Stroke*. 2011;6(1):79-86.
23. Güresir E, Vatter H, Schuss P, Oszvald A, Raabe A, Seifert V, et al. Rapid closure technique in decompressive craniectomy. *J Neurosurg*. 2011;114(4):954-60.
24. Gopalakrishnan MS, Shanbhag NC, Shukla DP, Konar SK, Bhat DI, Devi BI. Complications of Decompressive Craniectomy. *Front Neurol*. 2018;9:977.
25. Kurland DB, Khaladj-Ghom A, Stokum JA, Carusillo B, Karimy JK, Gerzanich V, et al. Complications Associated with Decompressive Craniectomy: A Systematic Review. *Neurocrit Care*. 2015;23(2):292-304.
26. Strasser E, Kolberg C, Ungersböck K, Marhold F. Cranioplastie: Geschichte, Materialien, aktuelle Techniken und Ergebnisse//Cranioplasty: History, materials, recent techniques and results. *Journal für Neurologie, Neurochirurgie und Psychiatrie*. 2017;18(4):136-42.
27. Cho YJ, Kang SH. Review of Cranioplasty after Decompressive Craniectomy. *Korean J Neurotrauma*. 2017;13(1):9-14.
28. van de Vijfeijken S, Münker T, Spijker R, Karssemakers LHE, Vandertop WP, Becking AG, et al. Autologous Bone Is Inferior to Alloplastic Cranioplasties: Safety of Autograft and Allograft Materials for Cranioplasties, a Systematic Review. *World Neurosurg*. 2018;117:443-52.e8.
29. Schwarz F, Dünisch P, Walter J, Sakr Y, Kalff R, Ewald C. Cranioplasty after decompressive craniectomy: is there a rationale for an initial artificial bone-substitute implant? A single-center experience after 631 procedures. *J Neurosurg*. 2016;124(3):710-5.
30. Iaccarino C, Koliass AG, Roumy LG, Fountas K, Adeleye AO. Cranioplasty Following Decompressive Craniectomy. *Front Neurol*. 2019;10:1357.
31. Tidow UM. Erfassung, Analyse und Darstellung von Risikofaktoren für das Auftreten von Infektionen nach Implantation einer Cranioplastik zur Defektdeckung nach dekompressiver Craniektomie. Lübeck: Dissertation, Lübeck, Universität zu Lübeck, 2017; 2016.
32. Shepetovsky D, Mezzini G, Magrassi L. Complications of cranioplasty in relationship to traumatic brain injury: a systematic review and meta-analysis. *Neurosurg Rev*. 2021;44(6):3125-42.
33. Flexikon D. Ventrikulo- peritonealer Shunt (Internet), zitiert am 17.10.22 https://flexikon.doccheck.com/de/Ventrikulo-peritonealer_Shunt2022.
34. Goedemans T, Verbaan D, van der Veer O, Bot M, Post R, Hoogmoed J, et al. Complications in cranioplasty after decompressive craniectomy: timing of the intervention. *J Neurol*. 2020;267(5):1312-20.
35. Morton RP, Abecassis IJ, Hanson JF, Barber JK, Chen M, Kelly CM, et al. Timing of cranioplasty: a 10.75-year single-center analysis of 754 patients. *J Neurosurg*. 2018;128(6):1648-52.
36. Kim JH, Kim JH, Kwon TH, Chong K, Hwang SY, Yoon WK. Aseptic Bone Flap Resorption after Cranioplasty with Autologous Bone: Incidence, Risk Factors, and Clinical Implications. *World Neurosurg*. 2018;115:e111-e8.
37. Gooch MR, Gin GE, Kenning TJ, German JW. Complications of cranioplasty following decompressive craniectomy: analysis of 62 cases. *Neurosurg Focus*. 2009;26(6):E9.
38. Neurologische Klinik der Charite Berlin DCN. Geschlechterunterschied bei Schlaganfall (Internet), zitiert am 24.11.222022.
39. Walcott BP, Kwon CS, Sheth SA, Fehnel CR, Koffie RM, Asaad WF, et al. Predictors of cranioplasty complications in stroke and trauma patients. *J Neurosurg*. 2013;118(4):757-62.
40. Chalet AD. Ergebnisse und Komplikationen der Cranioplastik nach dekompressiver Craniektomie (Dissertation). Düsseldorf: Klinik für Neurochirurgie der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf; 2021.
41. Hauser A. Komplikationen nach Cranioplastie: Häufigkeit und Risikofaktoren. München: Medizinische Fakultät der Technischen Universität München Neurochirurgische Klinik und Poliklinik; 2019.

42. Golembiewski E. Einfluss des Zeitpunkts und der Reihenfolge der Knochendeckelreimplantation sowie der VP-Shuntanlage nach Hemikraniektomie : eine retrospektive Studie. Berlin: Klinik für Neurochirurgie der Medizinischen Fakultät Charité-Universitätsmedizin Berlin; 2017.
43. Giese H, Meyer J, Unterberg A, Beynon C. Long-term complications and implant survival rates after cranioplastic surgery: a single-center study of 392 patients. *Neurosurg Rev.* 2021;44(3):1755-63.
44. Zhou Q, Shen W, Zhou Z, Yang X, Wen L. Is simultaneous cranioplasty with cerebrospinal fluid shunts implantation as safe as staged procedures? *Front Neurol.* 2022;13:995897.
45. Malcolm JG, Rindler RS, Chu JK, Grossberg JA, Pradilla G, Ahmad FU. Complications following cranioplasty and relationship to timing: A systematic review and meta-analysis. *J Clin Neurosci.* 2016;33:39-51.
46. Mukherjee S, Thakur B, Haq I, Hettige S, Martin AJ. Complications of titanium cranioplasty--a retrospective analysis of 174 patients. *Acta Neurochir (Wien).* 2014;156(5):989-98; discussion 98.
47. Henry J, Amoo M, Taylor J, O'Brien DP. Complications of Cranioplasty in Relation to Material: Systematic Review, Network Meta-Analysis and Meta-Regression. *Neurosurgery.* 2021;89(3):383-94.
48. Cheng YK, Weng HH, Yang JT, Lee MH, Wang TC, Chang CN. Factors affecting graft infection after cranioplasty. *J Clin Neurosci.* 2008;15(10):1115-9.
49. Hng D, Bhaskar I, Khan M, Budgeon C, Damodaran O, Knuckey N, et al. Delayed Cranioplasty: Outcomes Using Frozen Autologous Bone Flaps. *Craniofac Trauma Reconstr.* 2015;8(3):190-7.
50. Chang V, Hartzfeld P, Langlois M, Mahmood A, Seyfried D. Outcomes of cranial repair after craniectomy. *J Neurosurg.* 2010;112(5):1120-4.
51. Coulter IC, Pesic-Smith JD, Cato-Addison WB, Khan SA, Thompson D, Jenkins AJ, et al. Routine but risky: a multi-centre analysis of the outcomes of cranioplasty in the Northeast of England. *Acta Neurochir (Wien).* 2014;156(7):1361-8.
52. Piedra MP, Nemecek AN, Ragel BT. Timing of cranioplasty after decompressive craniectomy for trauma. *Surg Neurol Int.* 2014;5:25.
53. Belzberg M, Mitchell KA, Ben-Shalom N, Asemota AO, Wolff AY, Santiago GF, et al. Cranioplasty Outcomes From 500 Consecutive Neuroplastic Surgery Patients. *J Craniofac Surg.* 2022;33(6):1648-54.
54. Borger V, Schuss P, Kinfe TM, Vatter H, Güresir E. Decompressive Craniectomy for Stroke: Early Cranioplasty Is a Predictor for Postoperative Complications. *World Neurosurg.* 2016;92:83-8.
55. Brommeland T, Rydning PN, Pripp AH, Helseth E. Cranioplasty complications and risk factors associated with bone flap resorption. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med.* 2015;23:75.
56. Wachter D, Reineke K, Behm T, Rohde V. Cranioplasty after decompressive hemicraniectomy: underestimated surgery-associated complications? *Clin Neurol Neurosurg.* 2013;115(8):1293-7.
57. Bobinski L, Koskinen LO, Lindvall P. Complications following cranioplasty using autologous bone or polymethylmethacrylate--retrospective experience from a single center. *Clin Neurol Neurosurg.* 2013;115(9):1788-91.
58. Götsche J, Fritzsche F, Kammler G, Sauvigny T, Westphal M, Regelsberger J. A Comparison between Pediatric and Adult Patients after Cranioplasty: Aseptic Bone Resorption Causes Earlier Revision in Children. *J Neurol Surg A Cent Eur Neurosurg.* 2020;81(3):227-32.
59. Lee SH, Yoo CJ, Lee U, Park CW, Lee SG, Kim WK. Resorption of Autogenous Bone Graft in Cranioplasty: Resorption and Reintegration Failure. *Korean J Neurotrauma.* 2014;10(1):10-4.
60. Giese H, Anritter J, Unterberg A, Beynon C. Long-Term Results of Neurological Outcome, Quality of Life, and Cosmetic Outcome After Cranioplastic Surgery: A Single Center Study of 202 Patients. *Front Neurol.* 2021;12:702339.

Danksagung

Bedanken möchte ich mich bei all den Menschen, die mich auf dem Weg zur Promotion unterstützt, begleitet und inspiriert haben.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater, Herrn PD Dr. med. habil. Malte Ottenhausen für seine Unterstützung, sowohl auf fachlicher Ebene wie auch bei der Bewältigung organisatorischer Hürden.

Ich danke auch meinen Freunden und besonders meiner Familie für Ihre Unterstützung, Ermutigung und Geduld über die gesamte Zeit hinweg.

Abschließend gilt mein Dank allen, die auf direkte oder indirekte Weise zum Entstehen dieser Arbeit beigetragen haben.

Tabellarischer Lebenslauf

Persönliche Daten

Name Anne Kühn

Berufserfahrung

- | | |
|-------------------|---|
| Seit 12/2022 | ViDia Kliniken Karlsruhe
Assistenzärztin der Anästhesiologie und Intensivmedizin |
| 11/2015- 4/2016 | DRK Freudenstadt
Rettungsassistentin |
| 09/2013 - 11/2013 | Helios Klinikum Pforzheim
Praktikum neurologische IMC Station
<ul style="list-style-type: none">• Einblicke in den medizinischen Bereich gesammelt |
-

Ausbildung

- | | |
|-------------------|---|
| 4/2016 - 6/2022 | Universitätsmedizin Mainz
Studium der Humanmedizin
<ul style="list-style-type: none">• Famulaturen in der Neurologie, Pädiatrie, Onkologie, Radiologie |
| 12/2013 - 12/2015 | ProMedic in Karlsruhe
Ausbildung zur Rettungsassistentin
<ul style="list-style-type: none">• RAiP bei DRK Freudenstadt |
| 2005- 2013 | Theodor Heuss Gymnasium in Mühlacker
Abitur 2013
<ul style="list-style-type: none">• Naturwissenschaftliches Profil |
-

Kenntnisse und Interessen

Fremdsprachen

Deutsch (Muttersprache)

Englisch (konversationssicher)

Französisch (Grundkenntnisse)

Karlsruhe, den 18.07.2025

Anne Kühn