

AUS DEM LEHRSTUHL
FÜR NEUROLOGIE
DIREKTOR: PROF. DR. MED. RALPH LINKER
DER FAKULTÄT FÜR MEDIZIN
DER UNIVERSITÄT REGENSBURG

VERGLEICH DES OUTCOMES UND DER REHABILITATION VON
PATIENT*INNEN NACH UNILATERALER UND BILATERALER
KRANIEKTOMIE

Inaugural – Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der
Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

vorgelegt von
Charlotte Maja Großmann

2021

AUS DEM LEHRSTUHL
FÜR NEUROLOGIE
DIREKTOR: PROF. DR. MED. RALPH LINKER
DER FAKULTÄT FÜR MEDIZIN
DER UNIVERSITÄT REGENSBURG

VERGLEICH DES OUTCOMES UND DER REHABILITATION VON
PATIENT*INNEN NACH UNILATERALER UND BILATERALER
KRANIEKTOMIE

Inaugural – Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der
Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

vorgelegt von
Charlotte Maja Großmann

2021

Dekan:

Prof. Dr. Dirk Hellwig

1. Berichterstatter:

Prof. Dr. Felix Schlachetzki

2. Berichterstatter:

Prof. Dr. Karl-Michael Schebesch

Tag der mündlichen Prüfung:

29.03.2022

INHALTSVERZEICHNIS

1.	Einleitung	5
1.1	Pathophysiologie der intrakraniellen Hypertension	5
1.2	Therapieoptionen der intrakraniellen Hypertension	5
1.3	Dekompressive Kraniektomie	6
1.4	Rehabilitationsprozess	8
1.4.1	Phase A	8
1.4.2	Phase B	9
1.4.3	Phase C	9
2	Zielsetzung der Arbeit und Fragestellung	10
3	Material und Methode	11
3.1	Patientenkollektiv	11
3.2	Retrospektive Auswertung	11
3.2.1	Variablen der Akutphase	11
3.2.2	Verlauf der neurologischen Rehabilitation	12
3.2.3	Komplikationen	15
3.2.4	VP Shunts	15
3.2.5	Kranioplastik	15
3.3	Follow Up	16
3.4	Statistische Auswertung	16
3.4.1	Signifikanztests	16
3.4.2	Korrelationstests	17
4	Ergebnisse	18
4.1	Demographische Basisdaten	18
4.2	Daten der Phase A	18
4.3	Behandlungsdauer	21
4.3.1	Phase A	21
4.3.2	Intensivstation der NRBKR (nrICU)	21
4.3.3	Phase B	21
4.3.4	Phase C	21
4.3.5	Behandlungsdauer Rehaklinik	21
4.4	Rehabilitationsprozess	23
4.4.1	Barthel Index	23
4.4.2	FrühReha Barthel Index	24
4.4.3	Extended Glasgow Outcome Scale	25
4.4.4	Prädiktive Faktoren	26
4.5	Follow Up	28
4.5.1	Basisdaten Follow Up	28
4.5.2	Follow Up Outcome	28
4.5.3	Sonstiges	30
4.6	Komplikationen	32
4.6.1	Neurologische Komplikationen	32

4.6.2	Nicht-Neurologische Komplikationen	34
4.6.3	Rückverlegung auf nrICU	35
4.7	Ventrikuloperitoneale Shunts	36
4.8	Kranioplastik	37
5	Diskussion	39
5.1	Diskussion der Ergebnisse.....	39
5.1.1	Demographische Basisdaten.....	39
5.1.2	Daten der Akutphase	39
5.1.3	Behandlungsdauer	41
5.1.4	Outcome	42
5.1.5	Komplikationen	46
5.1.6	VP Shunt.....	48
5.1.7	Kranioplastik	48
5.2	Stärken und Schwächen der Arbeit	49
5.3	Fazit	50
6	Zusammenfassung	51
7	Literaturverzeichnis.....	53
8	Anhang	59
8.1	Fragebogen aus dem Follow Up.....	59
8.2	Abbildungsverzeichnis	64
8.3	Tabellenverzeichnis.....	65
8.4	Abkürzungen	66
8.5	Danksagung	67
8.6	Lebenslauf	68

1. Einleitung

Die Dekompressive Kraniektomie (DC) stellt eine Therapieoption bei Patient*innen nach Schädel-Hirn-Trauma (SHT), Infarkten, Subarachnoidal- und intrakraniellen Blutungen dar. Sie ist eine Möglichkeit durch Eröffnung der Schädelkalotte den intrakraniellen Druck (ICP) zu senken. Die DC kann sowohl unilateral als auch bilateral durchgeführt werden. In den letzten Jahren sind zwei große randomisierte Studien über dekompressive Kraniektomien erschienen, die die Rehabilitation von Patient*innen nach DC im Vergleich zu Patient*innen nach konservativer Therapie vergleichen (1, 2). Die folgende Studie soll den rehabilitativen Prozess von Patient*innen nach bilateraler Kraniektomie untersuchen und ihn mit einer unilateral kraniektomierten Kohorte vergleichen.

1.1 Pathophysiologie der intrakraniellen Hypertension

Die Verletzungsmuster bei SHT lassen sich in zwei Stadien unterteilen. Primäre Läsionen sind durch eine direkte Krafteinwirkung charakterisiert und beinhalten diffuse axonale Schädigung und Blutungen sowie daraus resultierende Massenläsionen. Sekundäre Läsionen umfassen die Reaktion des Gewebes auf ein Missverhältnis aus Sauerstoffbereitstellung und -verbrauch, oxidativen Stress und daraus folgende Ödembildung (3, 4). Ab einem ICP über 20 mmHg spricht man von einer intrakraniellen Hypertension (5, 6).

Die intrakranielle Hypertension stellt eine häufige Problematik bei Patient*innen nach SHT, Subarachnoidalblutungen (SAB) oder anderen raumfordernden Prozessen dar. Bereits im 19. Jahrhundert wurde die Monro-Kellie-Doktrin formuliert, laut der die starren Hüllen des Schädels ein fest definiertes Volumen vorgeben. Aufgrund der starren Hüllen kann sich das Hirngewebe bei Schwellung oder Blutung nur begrenzt ausdehnen, was zu einem schnellen Anstieg des ICP führt. Dieser wird vorerst durch die Kompression der Liquorräume und Gefäße kompensiert (7, 8). Bei weiterer Steigerung kommt es zu venösen und arteriellen Durchblutungsstörungen bis hin zu Gewebeschädigung (9).

1.2 Therapieoptionen der intrakraniellen Hypertension

Ab einem ICP von 20 mmHg steigt die Mortalität der Patient*innen und das Risiko eines ungünstigen Outcomes (6). Grundsätzlich werden allgemeintherapeutische Maßnahmen, wie eine hochnormale arterielle Oxygenierung, strikte Normokapnie, Normoglykämie und eine Sicherstellung des venösen Abstroms empfohlen (5). Im Falle eines therapierefraktären hohen ICP sind weitere therapeutische Maßnahmen indiziert. Diese umfassen eine moderate

Hypokapnie, Liquordrainagen und die Gabe von hyperosmolaren Lösungen wie Mannitol. Lässt sich der ICP unter diesen Therapieoptionen weiterhin nicht adäquat senken, werden Zweitlinientherapien empfohlen. In diese Kategorie fallen Maßnahmen wie die Steigerung des mittleren arteriellen Blutdrucks, milde Hypothermie oder die DC (5, 10–12).

1.3 Dekompressive Kraniektomie

Es wird zwischen primärer und sekundärer DC unterschieden. Bei beiden Methoden wird ein Stück der Schädelkalotte entfernt und eine Eröffnung der Dura vorgenommen (13, 14). Die primäre DC wird durchgeführt, um gezielt Hämatome auszuräumen und so den intrakraniellen Druck zu senken. Meistens handelt es sich hierbei um eine unilaterale frontotemporale Kraniektomie (vgl. Abbildung 1). In Einzelfällen kann diese auch bilateral-temporal erfolgen (15). Generell wird empfohlen, die Kraniektomie großflächig durchzuführen, um eine bestmögliche Entlastung zu ermöglichen (10). Die Indikation für eine primäre Kraniektomie ist vor allem zu stellen, wenn die fokalen Läsionen operativ gut zu erreichen sind. Des Weiteren sollten der klinische Zustand, das Alter und die Vorerkrankungen der Patient*innen in Betracht gezogen werden (5).

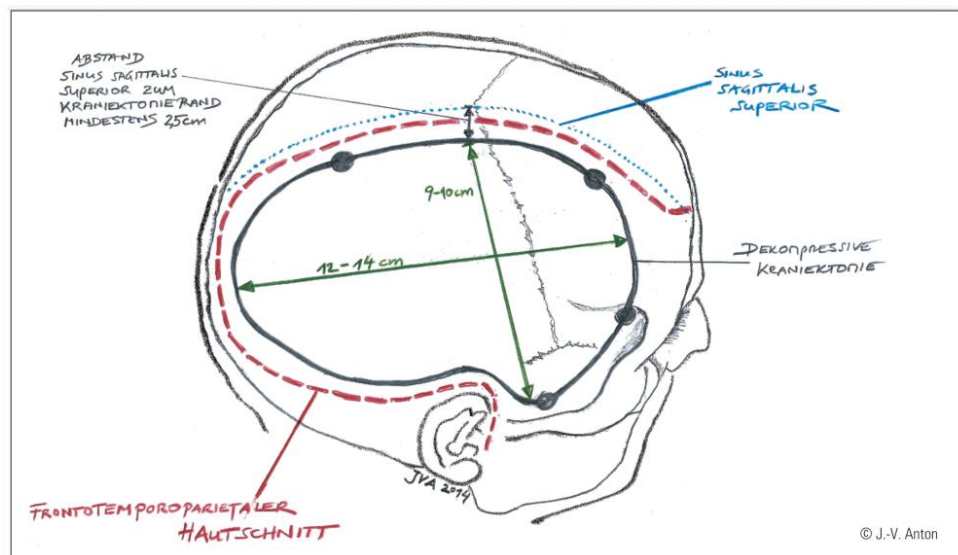


Abbildung 1: Lokalisation der unilateralen dekompressiven Kraniektomie (15).

Sekundäre Kraniektomien sind bei diffus steigendem Hirndruck und Ödemen indiziert. Ein Großteil der sekundären Kraniektomien wird bifrontal durchgeführt (vgl. Abbildung 2) (2, 11, 16). Diese Technik wird bei generalisiertem Hirnödem, bilateralen frontalen Kontusionen und medikamentös nicht beherrschbarer Hirndrucksymptomatik angewandt

(16, 17). Aufgrund der Indikation bei persistierender intrakranieller Hypertension, wird die sekundäre Kraniektomie oft mit mehrtägiger Latenz zum Trauma durchgeführt (18). Eine Verbesserung des Outcomes der Patient*innen ist jedoch laut Brain-Trauma-Foundation-Leitlinie fraglich (10). Diese Leitlinie ist vor der Veröffentlichung der RESCUEicp-Studie erschienen, die positive Ergebnisse zum Outcome nach DC enthält (2). Eine Aktualisierung der Brain-Trauma-Foundation-Leitlinie steht seit 2017 noch aus (10, 12).

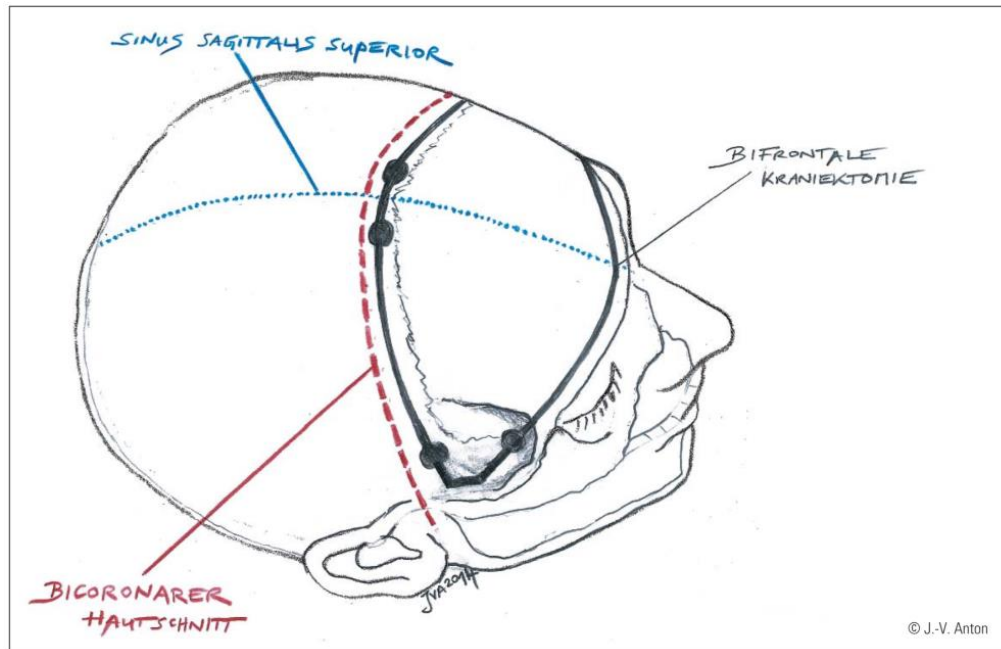


Abbildung 2: Lokalisation der bifrontalen Dekompressiven Kraniektomie (15).

Im Laufe des Rehabilitationsprozesses wird der Kalottendefekt durch eine Kranioplastik gedeckelt. Diese hat nicht nur einen kosmetischen Aspekt, sondern schützt auch das Hirngewebe bei teilweise erhöhter Sturzgefahr der Patient*innen (18). Bezüglich eines standardisierten Vorgehens zur Kranioplastik existiert aktuell noch keine Leitlinienempfehlung. Die übliche Zeitspanne von der Kraniektomie zur Kranioplastik liegt derzeit zwischen 3 und 6 Monaten (19). Zur Deckelung wird entweder autologer Schädelknochen verwendet, der kryokonserviert oder in einer subgalealen oder intraabdominellen Tasche der Patient*innen aufbewahrt wurde. Alternativ werden Materialien wie Titan oder Kunststoff individuell an den bestehenden Defekt angepasst (20, 21).

Die Empfehlung der DC bei SHT basiert auf einer IIA-Evidenz. Sie gilt als effektive Maßnahme, um den ICP zu senken und die Sterblichkeit der Patient*innen zu reduzieren (11, 22, 23). Des Weiteren führt sie zu einer Verbesserung der zerebralen Perfusion (24). Es gibt mehrere Studien, die das funktionelle Outcome von Patient*innen nach DC untersuchen. Darunter sind zwei große randomisierte Studien 2011 und 2016 veröffentlicht worden. Cooper et al. (2011) haben Patient*innen nach sekundärer Kraniektomie bei unkontrollierbarer intrakranieller Hypertension mit einer konservativ behandelten Kohorte verglichen. Die Autor*innen berichten von suffizient gesunkenem ICP, jedoch auch gleichzeitig vermehrt ungünstigen Rehabilitationsergebnissen. Eine Therapieempfehlung für die DC wird nicht ausgesprochen (1).

Hutchinson et al. (2016) haben sowohl Patient*innen mit primärer, unilateraler als auch mit sekundärer, bilateraler Kraniektomie einer konservativ behandelten Gruppe gegenübergestellt. Die Mortalität wurde durch die Kraniektomie gesenkt und es ergaben sich günstigere Outcomes in der operierten Kohorte (2).

In der folgenden Studie werden 25 Patient*innen nach bilateraler DC einer bezüglich Alter, Geschlecht und Ätiologie angepassten Vergleichsgruppe nach unilateraler DC gegenübergestellt und der Rehabilitationsprozess auf verschiedenen Skalen eingeordnet.

1.4 Rehabilitationsprozess

Die vier wesentlichen Behandlungsziele in der neurologischen Rehabilitation lassen sich durch Restitution, Kompensation, Adaption und Akzeptanz beschreiben (25). Die neurologische Rehabilitation von Patient*innen nach Kraniektomie wird durch mehrere Phasen geprägt. Diese Rehabilitationsphasen wurden in Deutschland 1995 von der Bundesarbeitsgemeinschaft für Rehabilitation (BAR) reformiert (26). Um von einer Phase in die Nächste zu wechseln, müssen definierte Kriterien erfüllt werden.

1.4.1 Phase A

Die Phase A ist noch kein Teil des Rehabilitationsprozesses. Sie markiert die akut- und intensivmedizinische Behandlung im Akutkrankenhaus. In der Phase A fällt nach unkontrollierbarem erhöhten ICP oder behandlungsbedürftigen Massenläsionen die Entscheidung zur Kraniektomie. Das Ziel ist, eine Unabhängigkeit von Maschinen und dauernder Pflege zu erreichen (25). Um einen Übergang in die Phase B zu gewährleisten, sollte die primäre Diagnostik des Akutkrankenhauses abgeschlossen sein (27).

1.4.2 Phase B

Die Phase B wird auch als Frührehabilitation beschrieben. Die neurologische Frührehabilitation der Phase B findet vor allem in Spezialkliniken statt, zu denen die Neurologische Rehabilitationsklinik am Bezirksklinikum Regensburg (NRBKR) zählt (27). Patient*innen in der Phase B benötigen weiterhin intensive Pflege und medizinische Überwachung (28). Eine Beatmungspflicht stellt kein Ausschlusskriterium der Phase B dar (25). Aufgrund des noch instabilen Zustandes der Patient*innen und der eventuellen Beatmungspflichtigkeit sollte eine rehabilitative Intensivstation (nrICU) vorhanden sein, wie es auch in der NRBKR der Fall ist (27). Der Barthel-Index darf bei Aufnahme nicht höher als 30 Punkte sein (29). Die maximale Behandlungsdauer der Frührehabilitation, während der von einem Rehabilitationspotenzial der Patient*innen ausgegangen wird, wurde von der BAR mit einem Richtwert von 6 Monaten fest gelegt (26).

Die Behandlungsziele umfassen in dieser Phase die Idee, die Patient*innen bei der Rückkehr ins bewusste Leben zu unterstützen (28). Es wird eine Wiederherstellung der Kommunikations- und Kooperationsfähigkeit, eine beginnende Mobilisierung und eine Abklärung des Rehabilitationspotenzials angestrebt (27, 30). Die Therapieoptionen umfassen ein multimodales Konzept, bestehend aus akutmedizinischer und rehabilitativer Versorgung. Die motorische Stimulation wird von Physio- und Ergotherapeut*innen durchgeführt. Gleichzeitig betreuen Neuropsycholog*innen, Sprach- und Schlucktherapeut*innen die Patient*innen. Die Kommunikationsanbahnung und Vigilanzsteigerung wird vor allem durch basale Stimulation und medikamentöse Einstellung erreicht (27).

1.4.3 Phase C

Die Phase C gehört zur postakuten stationären Rehabilitation. Behandlungsziele sind die Unabhängigkeit von Pflege und alltäglicher Hilfestellung (25, 31). Die Patient*innen sollten bereits teilmobilisiert werden, kommunikations- und interaktionsfähig sein und keine intensivmedizinische Überwachung mehr benötigen (30). Sie wird mit einem Barthel-Index zwischen 35 und 70 klassifiziert. Die Entlassung aus der Rehabilitationsklinik kann sowohl in Phase B als auch in Phase C stattfinden. Die Kriterien dafür, aus der Phase C in die Phase D oder E zu wechseln, umfassen Mobilität auf Stationsebene, selbstständiges Essen und Waschen, ausreichende Belastbarkeit für weitere Rehabilitationsmaßnahmen und Motivation sowie die kognitive Bereitschaft aktiv an der Rehabilitation mitzuarbeiten (31).

2 Zielsetzung der Arbeit und Fragestellung

Im Rahmen der Studie soll der rehabilitative Prozess von Patient*innen nach bilateraler (bifrontaler, bitemporaler und biparietaler) Kraniektomie untersucht werden. Die bilateral kraniektomierten Patient*innen werden mit den Patient*innen einer unilateral kraniektomierten und bezüglich Alter, Geschlecht und Ätiologie gematchten Vergleichsgruppe bezüglich ihres Outcomes und rehabilitativen Verlaufs verglichen. Mindestens sechs Monate nach Entlassung werden im Rahmen eines Follow Ups die Langzeitentwicklung der weiteren Rehabilitation und die häusliche Situation erfasst.

Die Hypothese lautet: *„Patient*innen mit bilateraler Kraniektomie haben ein ungünstigeres Outcome als Patient*innen nach unilateraler Kraniektomie.“*

3 Material und Methode

Die vorliegende Studie wurde von der Ethikkommission der Universität Regensburg unter dem Aktenzeichen 18- 1040-101 genehmigt.

3.1 Patientenkollektiv

Die eingeschlossenen Patient*innen waren alle im Zeitraum von 2000 bis 2018 in der NRBKR in Behandlung. In diesem Zentrum wird ein Rehabilitationsprogramm von den Phasen B bis D inklusive einer hauseigenen Intensivstation angeboten. Dabei wurden 25 Patient*innen nach bilateraler Kraniektomie aufgenommen. In neun Fällen kam eine bilaterale Kraniektomie durch ein zweizeitiges Verfahren zustande. Die Patient*innen waren zum Zeitpunkt der Intervention zwischen 16 und 64 Jahren alt. Zum Zeitpunkt des Follow Ups waren alle Patient*innen volljährig. Weitere 25 Patient*innen sind Teil einer Vergleichsgruppe mit Zustand nach unilateraler Kraniektomie. Die Vergleichsgruppe ist in Bezug auf Alter zum Zeitpunkt der Kraniektomie, Ätiologie des steigenden Hirndrucks und das Geschlecht an die Daten der bilateral operierten Patient*innen angepasst worden.

Zur Erstellung der Vergleichsgruppe erfolgte eine Einteilung der Patient*innen in Gruppierungen des Alters, Geschlechts und Ätiologie. Aus diesen kleinen Gruppen wurden mit Hilfe einer von Microsoft Excel zufällig ausgewählten Zahl jeweils passende unilateral kraniektomierte Patient*innen ausgewählt. So wurde eine größtmögliche Vergleichbarkeit beider Kohorten erzielt. Die Ätiologie wurde nur in Bezug auf SHT oder spontane SAB ohne traumatischen Auslöser differenziert. Patient*innen mit unilateraler Kraniektomie nach Infarkt oder solitärer intrazerebraler Blutung wurden nicht in die Vergleichsgruppe aufgenommen.

3.2 Retrospektive Auswertung

Zunächst wurden die Patient*innendaten retrospektiv anhand der Arztbriefe und des klinikinternen Systems KIS von Nexus erfasst.

3.2.1 Variablen der Akutphase

Aus den Arztbriefen des Akutkrankenhauses wurden die Basisdaten der Patient*innen erfasst. Diese waren das Alter zum Zeitpunkt der Aufnahme im Akutkrankenhaus, das Geschlecht und die Ätiologie der Hirnverletzung. Bezüglich der Ätiologie wurde zwischen SHT und spontaner SAB unterschieden. Außerdem wurden der initiale Zustand der

Patient*innen anhand der Glasgow Coma Scale (GCS) eingeschätzt und die Zeitspanne zwischen Aufnahme in der Akutklinik und Durchführung der Kraniektomie errechnet (32).

Die Hirnverletzungen der Patient*innen sind sehr heterogen. Im Rahmen der Krafteinwirkung bei einem SHT treten verschiedene Blutungen auf. Im untersuchten Kollektiv wurden Epidural- und Subduralhämatome erfasst. Bei SABs wurde zwischen traumatischen und spontanen SABs unterschieden. Im Rahmen der Kontusionen des Gehirnparenchyms kam es unter anderem auch zu Kontusionsblutungen (33). Außerdem wurde bei mehreren Patient*innen ein diffuses axonales Trauma diagnostiziert. Aufgrund der unterschiedlichen Kombinationen der intrakraniellen Läsionen, wurde zwischen Verletzungen in einer oder in beiden Hemisphären unterschieden. Da bilaterale Kraniektomien nicht immer in einem Zug durchgeführt werden, wurde erfasst welcher Zeitabstand in Tagen zwischen den Eingriffen liegt. Des Weiteren wurde zwischen primären und sekundären Kraniektomien differenziert (34).

3.2.2 Verlauf der neurologischen Rehabilitation

Der medizinische Krankheitsverlauf wird in die Akutphase A und in der NRBKR gemäß der Rehabilitationsphasen B und C unterteilt.

a) Phasen der Rehabilitation

Die Phase A definiert man als Behandlungsphase der Patient*innen in der Akutklinik. Auch ein Aufenthalt auf der nrICU kann teilweise noch zur Phase A gezählt werden. Die Phase B der Frührehabilitation ist durch die Möglichkeit der intensivmedizinischen Behandlung charakterisiert. In der Phase C sollten die Patient*innen bereits teilmobilisiert werden, kommunikations- und interaktionsfähig sein und keine intensivmedizinische Überwachung mehr benötigen (30). Die Entlassung aus der Rehabilitationsklinik kann sowohl in Phase B als auch in Phase C stattfinden.

b) Behandlungsdauer

Die Behandlungsdauer der Patient*innen zeigt auf, wie lange eine pflegeintensive rehabilitative Betreuung benötigt wurde. So wurde die Behandlungsdauer in der Akutphase A erfasst. Die Behandlungsdauer der Phase A ist der Zeitabstand zwischen der Aufnahme in die Akutklinik und der Aufnahme in die Phase B der Rehabilitationsklinik. Zusätzlich wurde die Behandlungsdauer in der Phase B betrachtet. Diese Zeitspanne wurde als Abstand

zwischen der Aufnahme in die Phase B und der Aufnahme in die Phase C respektive der Entlassung definiert. Die Phase C wurde ebenfalls als gesonderte Behandlungsdauer erfasst. Als gesamte Rehabilitationsdauer wird die Zeitspanne zwischen Aufnahme in die NRBKR und Entlassung gewertet.

Die Aufnahme in die NRBKR erfolgte bei einigen Patient*innen auf der nrICU. Die Behandlungszeit auf der nrICU wurde teilweise noch von der Phase A umschlossen. Nicht alle Patient*innen wurden auf der nrICU behandelt. Die Weiterverlegung erfolgte im größten Teil der Fälle auf die Intermediate Care Station der NRBKR (IMC). Die Behandlungszeit auf der IMC zählte zur Phase B.

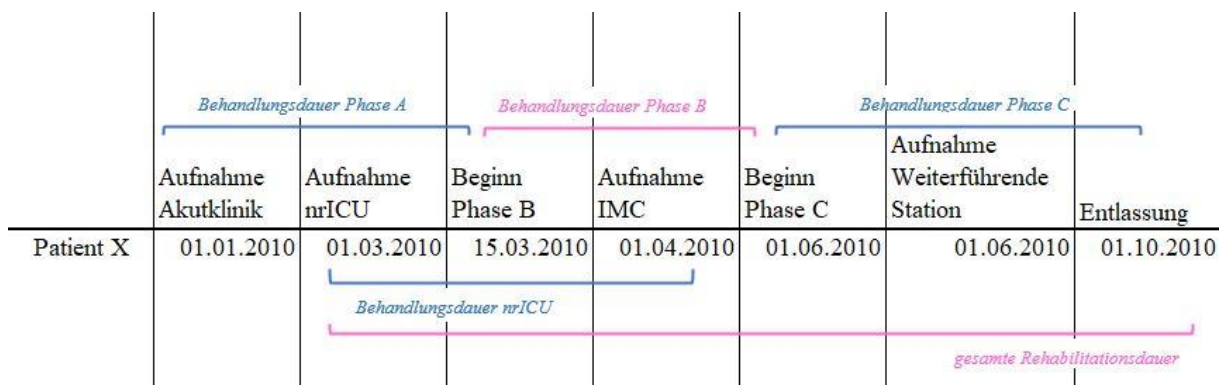


Abbildung 3: Methodik der Datenerfassung zur Behandlungsdauer.

c) Outcome-Erfassung

Der initiale Outcome-Status der Patient*innen wird auf verschiedenen Outcome Scales bei Aufnahme in die NRBKR erfasst. Dazu zählen der gängige Barthel Index (BI), der die Eigenständigkeit der Patient*innen in Alltagshandlungen bewertet, der Früh-Rehabilitations-Barthel-Index nach Schönle (FRBI), der verschiedene Rehabilitationserschwerisse der Patient*innen erfasst sowie die Extended Glasgow Outcome Scale (GOSE), die die Selbstständigkeit der Patient*innen über Alltagshandlungen hinaus inkludiert (35–39).

Im BI können die Patient*innen minimal 0 und maximal 100 Punkte erreichen (38). Hier ist eine höhere Punktezahl mit einem besseren Zustand assoziiert. Der BI wird in der NRBKR regelmäßig vom Pflegepersonal erfasst und dokumentiert. Gehen und Bett-Stuhltransfer wird mit 15 Punkten bewertet. Essen, Stuhl- und Harnkontinenz, Toilettengang, eigenständiges Anziehen und Treppengehen erzielen 10 Punkte. 5 Punkte werden für Baden

und Waschen vergeben (40). In der Literatur werden Patient*innen mit einem BI ab 85 als nur eingeschränkt pflegebedürftig gewertet (40, 41). Der BI wurde bei Aufnahme auf die nrICU, bei Aufnahme in die Phase B, bei Entlassung sowie beim Follow Up erhoben. Im Follow Up wurde ein entsprechender Fragebogen von den Patient*innen selbstständig oder mit Hilfe ausgefüllt.

Der FRBI rechnet mit Negativpunkten der Frührehabilitationskriterien gegen die Positivpunkte des BI. Im besten Zustand können die Patient*innen maximal 100 Punkte erreichen, minimal -325 Punkte (vgl. Tabelle 1). Faktoren wie Orientierungsstörungen, Schluckstörungen oder Beatmung, die die Patient*innen in ihrer Rehabilitation einschränken, geben Abzüge im letztendlichen Wert des FRBIs (39). Der FRBI wurde bei Aufnahme auf die nrICU, bei Aufnahme in die Phase B und bei Entlassung erhoben. Verstorbene Patient*innen werden mit keinem eigenen Wert im BI und FRBI erfasst, weshalb diese Patient*innen im Follow Up als fehlend gewertet wurden.

Tabelle 1

FR-Index-Kriterien (FRBI) nach Schönle (39).

	Punkte
Intensivmedizinischer überwachungspflichtiger Zustand	-50
Absaugpflichtiges Tracheostoma	-50
Intermittierende Beatmung	-50
Beaufsichtigungspflichtige Orientierungsstörung (Verwirrtheit)	-50
Beaufsichtigungspflichtige Verhaltensstörungen (mit Eigen- oder Fremdgefährdung)	-50
Schwere Verständigungsstörung	-25
Beaufsichtigungspflichtige Schluckstörung	-50

Auf der GOSE können die Patient*innen zwischen 1 und 8 Punkten erreichen. Im Fragebogen der GOSE werden Fragen nach Alltagsleistungen, Wiederaufnahme der Arbeit, sozialem und familiärem Umfeld, sowie psychologischen Problemen gestellt (37). In der Literatur wird zwischen günstigem und ungünstigem Outcome unterschieden (vgl. Tabelle 2). Als „günstiges Outcome“ werden Werte zwischen 5 und 8 bezeichnet. Ein „ungünstiges Outcome“ sind Werte zwischen 1 und 4 (1, 42, 43). Die GOSE wurde wie der BI bei

Aufnahme auf die nrICU, bei Aufnahme in die Phase B, bei Entlassung und im Follow Up erfasst.

Tabelle 2

Abstufungen der Extended Glasgow Outcome Scale (GOSE) (37).

1	Tod
2	Vegetativer Zustand
3	Schwere Behinderung (unteres Niveau)
4	Schwere Behinderung (oberes Niveau)
5	Mittlere Behinderung (unteres Niveau)
6	Mittlere Behinderung (obere Niveau)
7	Gute Erholung (unteres Niveau)
8	Gute Erholung (oberes Niveau)

3.2.3 Komplikationen

Die Komplikationen sind in dieser Studie in neurologisch und nicht-neurologisch unterteilt. Zusätzlich wird die Dauer des Verweilens der Trachealkanüle als Parameter für persistierende neurogene Dysphagien erfasst. Die Rückverlegungen der Patient*innen innerhalb der NRBKR auf die nrICU werden mit einbezogen.

3.2.4 VP Shunts

Zur Behandlung von Hydrozephalus wurde bei einigen Patient*innen ein Ventrikulo-Peritonealer Shunt (VP-Shunt) implantiert. Der VP-Shunt leitet den überschüssigen Liquor vom intrakraniellen Ventrikelsystem mit Hilfe eines Überdruckventils ins Peritoneum ab (44). In der retrospektiven Analyse wurden die Häufigkeit und der Anlagezeitpunkt der ventrikuloperitonealen Shunts bei bilateral und unilateral behandelten Patient*innen betrachtet.

3.2.5 Kranioplastik

Einen wichtigen Schritt im rehabilitativen Verlauf stellt die Behandlung des Kalottendefekts mittels einer Kranioplastik (KP) dar. In dieser Studie werden die Zeitspanne von DC bis KP und die assoziierten Komplikationen betrachtet. Ein Einsetzen des VP-Shunts nach Kranioplastik wird als sekundäre Liquorabflussstörung klassifiziert.

3.3 Follow Up

Um den Rehabilitationsprozess der Patient*innen auch in größerem zeitlichem Abstand zur Entlassung zu betrachten, wurde ein Follow Up durchgeführt. Die Patient*innen wurden zunächst telefonisch kontaktiert, um ihr Einverständnis zu erfragen, und über die Studie informiert. Im Verlauf erhielten die Patient*innen postalisch einen Fragebogen mit der Bitte, diesen auszufüllen. Wenn das Angebot angenommen wurde, fand ein persönliches Gespräch mit Nachuntersuchung in der NRBKR statt.

Aufgrund des heterogenen Outcomes muss davon ausgegangen werden, dass nicht alle Patient*innen in der Lage sind, den Fragebogen allein auszufüllen. Daher wurden Variablen wie Sprach- und Verständnisstörungen und das Ausmaß an Hilfe beim Ausfüllen des Fragebogens abgefragt.

Der Hauptgegenstand der Befragung war die Erhebung von BI und GOSE. Außerdem beinhaltete der Fragebogen 2 Fragen, die an die Quality-of-Life Scale angelehnt sind (45). Diese erfragten die subjektive Einschätzung zur Veränderung der Persönlichkeit der Patient*innen durch das Ereignis und zur Konzentrationsfähigkeit.

Die Wohnsituation der Patient*innen stellte ebenfalls einen Teil des Fragebogens dar. Es wurde zwischen einer Unterbringung zu Hause oder im Pflegeheim unterschieden. Auch eine Versorgung durch einen Pflegedienst wurde erfragt. Die Pflegestufe gab Auskunft über die Eigenständigkeit im Alltag.

Hinweise auf persistierende neurogene Dysphagie oder respiratorische Defizite wurden mit der Frage nach einer Versorgung durch eine Trachealkanüle erfasst.

3.4 Statistische Auswertung

Alle erhobenen Daten wurden mit SPSS (Version 25, SPSS Inc., Chicago/Illinois, USA) verwaltet und statistisch ausgewertet. Die deskriptiven Ergebnisse wurden in Mittelwert, Standardabweichung (\pm) und Minimum/Maximum (Spanne) dargestellt. Exemplarisch: Mittelwert \pm Standardabweichung (n=x, minimum – maximum).

3.4.1 Signifikanztests

Alle statistischen Tests wurden ungerichtet zweiseitig durchgeführt und p-Werte ≤ 0.05 als statistisch signifikant, $p \leq 0.01$ als hoch signifikant und $p < 0.001$ als höchst signifikant angesehen.

Mit Hilfe einer graphischen Häufigkeitsverteilung und des Kolmogorov-Smirnov-Testes

wurden die Daten auf Normalverteilung geprüft. Die Kenntnis über eine Normalverteilung bestimmte die spätere Auswahl des Signifikanztestes.

Aufgrund der geringen Probestärke war keine der Variablen normalverteilt. Zur statistischen Auswertung bei nicht-normalverteilten Daten wurden Rangsummentests verwendet. Deren Anwendungsspektrum ist größer, da sie schwächere Voraussetzungen als der t-Test haben. Diese Tests können unabhängig von einer bestimmten Verteilungsform der Werte angewandt werden. In der vorliegenden Studie fand primär der U-Test (Mann-Whitney) zum Vergleich zweier unabhängiger Stichproben (bilaterale und unilaterale Patientengruppe) Anwendung. Die Nullhypothese wurde formuliert und je nach Testergebnis beibehalten oder abgelehnt. Der Umfang der Stichproben beim Mann-Whitney-Test muss nicht gleich groß sein (46).

3.4.2 Korrelationstests

Mit der Methode der Rangkorrelationsanalyse nach Kendall (Kendall-Tau-b-Korrelationskoeffizient) wurden Zusammenhänge und Einflussfaktoren untersucht. Korrelationskoeffizienten $<0,3$ wurden als gering, $0,3 - 0,5$ als mittelmäßig und $>0,5$ als hoch bewertet.

4 Ergebnisse

4.1 Demographische Basisdaten

Es wurden 50 Patient*innen in die Studie eingeschlossen. 25 Patient*innen wurden bilateral und 25 Patient*innen unilateral kraniektomiert. Das Geschlechterverhältnis betrug 28% weibliche Patientinnen zu 72% männlichen Patienten. Das Alter lag zum Zeitpunkt der Kraniektomie zwischen 15 und 64 Jahren ($M=28,2 \pm 13$ Jahre). Der Median lag bei 22,5 Jahren.

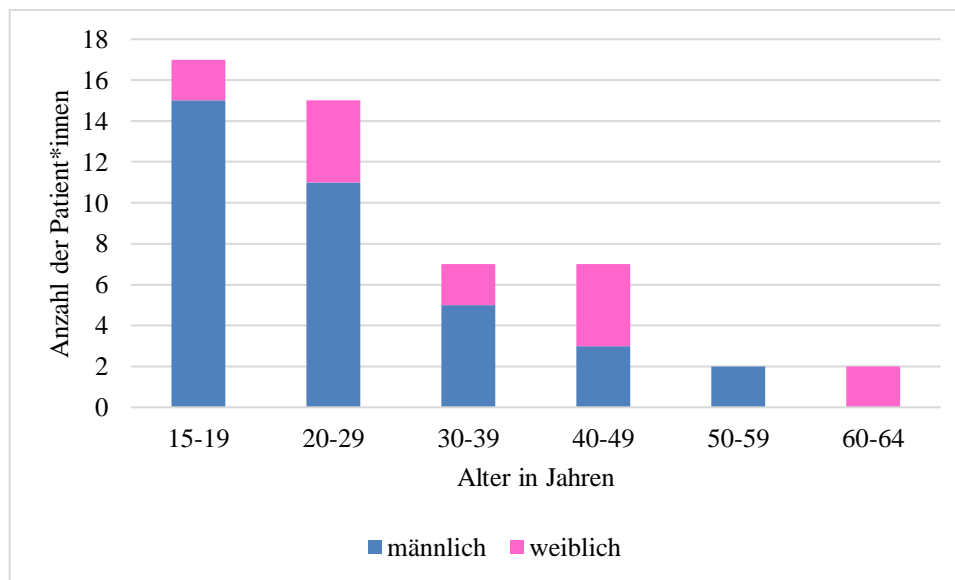


Abbildung 4: Altersverteilung im gesamten Kollektiv.

4.2 Daten der Phase A

Der initiale GCS bilateral kraniektomierter Patient*innen war $M = 4,61 \pm 2,34$. In der unilateralen Kohorte betrug $M(\text{GCS}) = 4,21 \pm 1,31$ ($p=0,862$, Unterschied zwischen den beiden Kohorten nicht statistisch signifikant). Das Outcome auf der GOSE und im BI bei Entlassung korreliert in der bilateralen Kohorte positiv mit dem initialen GCS ($r(\text{BIEntlassung})= 0,464$, $p(\text{BIEntlassung})= 0,032^*$, $n=16$; $r(\text{GOSEEntlassung})= 0,634$, $p(\text{GOSEEntlassung})= 0,33^*$, $n=11$). In der unilateralen Kohorte trifft dies nicht zu. Auch im Follow Up besteht in keiner der beiden untersuchten Kollektive eine Korrelation zwischen Outcome und initialem GCS.

Die Zeitspanne zwischen Aufnahme und Kraniektomie betrug bei bilateral operierten Patient*innen durchschnittlich $3,0 \pm 2,91$ (0-8) Tage im Vergleich zu $1,29 \pm 11,91$ (0-13) Tagen bei unilateral operierten Patient*innen ($p=0,019^*$).

Die Kraniektomie wurde bei 40 Patient*innen nach einem SHT und bei 10 Patient*innen nach spontaner SAB durchgeführt. Unter den bilateral operierten Patient*innen wiesen 20 (80%) intrakranielle Verletzungen beider Hemisphären auf, in der unilateral operierten Gruppe waren es 5 (20%) ($p=0,001***$).

Kombinierte intrakranielle Verletzungen wurden bei 18 (72%) der bilateralen und 15 (60%) der unilateralen Patient*innen beschrieben. Kontusionen wurden bei 16 (64%) der bilateralen Patient*innen diagnostiziert, darunter Kontusionsblutungen bei 11 (68%) Patient*innen. Im Vergleich erlitten acht (32%) der unilateralen Patient*innen Kontusionen, darunter sechs (75%) Kontusionsblutungen. Ein diffuses axonales Trauma zeigte sich bei vier (16%) der bilateralen Proband*innen, sowie bei sechs (24%) der unilateralen Proband*innen. In der bilateralen Gruppe trat bei 17 (68%) Patient*innen eine Subarachnoidalblutung auf. Bei den unilateral operierten Patient*innen trat eine Subarachnoidalblutung in 14 (56%) Fällen auf. Ein akutes Subduralhämatom wurde bei 10 (40%) der bilateral Kraniektomierten (isoliert: ein Patient), sowie bei 17 (68%) der unilateral Kraniektomierten (isoliert: sechs Patient*innen) beschrieben.

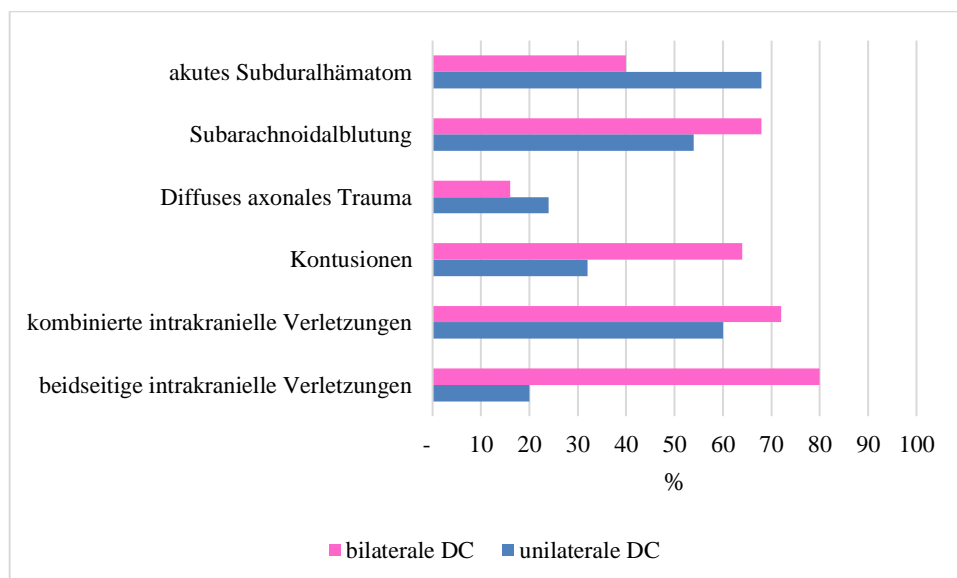


Abbildung 5: Intrakranielle Verletzungen der beiden Kohorten im Vergleich.

Unter den bilateral kraniektomierten Patient*innen wurden zwei (8%) primäre, 17 (68%) sekundäre und neun (36%) zweizeitige bilaterale Kraniektomien durchgeführt. In der Vergleichsgruppe der unilateral kraniektomierten Patient*innen waren es 18 (72%) primäre und sieben (28%) sekundäre Kraniektomien.

Tabelle 3*Demographische Basisdaten der Patient*innen im Gruppenvergleich.*

		bilateral	unilateral	p-Wert
Alter in Jahren	Median	23	20	
	Mittelwert	28,0	28,4	0,915 ³
	Interquartilsabstand	13	17	
Weibliches Geschlecht – Anzahl (%)		7 (28)	7 (28)	1,000 ³
GCS	Median	4,00	3,00	
	Mittelwert	4,21	4,59	0,862
	Interquartilsabstand	3	4	
Zeitabstand zwischen Aufnahme-Kraniektomie in Tagen		n=25	n=25	
	Mittelwert (Median)	3,6 (2)	1,5 (0)	0,019*
	Interquartilsabstand	6	1	
Zeitabstand zwischen Aufnahme-Kranioplastik in Tagen		n=20	n=16	
	Mittelwert (Median)	124 (115)	85 (80)	0,102
	Interquartilsabstand	95	40	
Zeitabstand zwischen Kraniektomie- Kranioplastik in Tagen		n=20	n=15	
	Mittelwert (Median)	121 (111)	85 (80)	0,202
	Interquartilsabstand	100	39	
Primäre Kraniektomie – Anzahl (%)		2 (8,3)	18 (72)	0,00**
Zweizeitige Kraniektomie – Anzahl (%)		9 (36)	0 (0)	0
Intrakranielle Verletzungen				
	Beidseitige intrakranielle Verletzungen	20	5	
	Epiduralhämatom	4	6	
	Subduralhämatom	10	17	
	SAB – traumatisch	12	9	
	SAB – spontan ³	5	5	
	Kontusionsblutung	11	6	
	Diffuses axonales Trauma	4	6	
	Kombinierte intrakranielle Verletzungen	18	15	

³ Matching der Kohorten

4.3 Behandlungsdauer

Die Behandlungsdauer wurde in 4 Zeitspannen unterteilt.

4.3.1 Phase A

In der Phase A wurden bilateral operierte Patient*innen durchschnittlich $59,52 \pm 50,46$ Tage ($n=23$, 21-230) und unilateral operierte Patient*innen $47,12 \pm 44,60$ Tage ($n=25$, 1-202) behandelt ($p=0,256$).

4.3.2 Intensivstation der NRBKR (nrICU)

Auf der nrICU wurden 17 der 25 (68%) bilateral kraniektomierten Patient*innen und 10 der 25 (40%) unilateral kraniektomierten Patient*innen behandelt. Bilateral kraniektomierte Patient*innen verbrachten im Schnitt $84,82 \pm 90,77$ Tage ($n=17$, 8-307) auf der nrICU. In der unilateralen Patientengruppe betrug die Behandlungsdauer auf der nrICU im Schnitt $77,4 \pm 86,66$ Tage ($n=10$, 6-253). Der Unterschied der Behandlungsdauer zwischen beiden Gruppen ist nicht statistisch signifikant ($p=0,598$).

4.3.3 Phase B

Bilateral operierte Patient*innen verbrachten durchschnittlich $262,78 \pm 294,11$ Tage ($n=23$, 6-1141) ihres Rehabilitationsprozesses in der Phase B, bei den unilateral operierten Patient*innen waren es $111,39 \pm 121,93$ Tage ($n=23$, 6-397). Der Unterschied der Behandlungsdauer zwischen beiden Gruppen ist statistisch signifikant ($p = 0,018^*$).

4.3.4 Phase C

Patient*innen aus der bilateral behandelten Kohorte verblieben durchschnittlich $106,80 \pm 81,784$ Tage ($n=5$, 36-220) in der Phase C. In der unilateralen Kohorte betrug die Behandlungsdauer in Phase C im Schnitt $100,73 \pm 73,47$ Tage ($n=15$, 20-268). Der Unterschied der Behandlungsdauer zwischen beiden Gruppen ist nicht statistisch signifikant ($p= 0,965$).

4.3.5 Behandlungsdauer Rehaklinik

Die Behandlungsdauer in der Rehaklinik beginnt mit der Erstaufnahme der Patient*innen auf die nrICU oder eine der weiterführenden Stationen der NRBKR und endet mit dem Entlassungsdatum. Bilateral operierte Patient*innen verbrachten im Schnitt $261,13 \pm 241,02$ Tage ($n=24$, 25-1141) in der Rehabilitationsklinik, während es bei unilateral operierten Patient*innen $185,83 \pm 134,98$ Tage ($n=24$, 35-532) waren. Bilateral kraniektomierte

Patient*innen wurden im Schnitt knapp drei Monate länger rehabilitativ behandelt. Dieser Unterschied ist nicht statistisch signifikant ($p = 0,317$).

Tabelle 4

Übersicht über die Behandlungsdauer beider Kohorten.

		Mittelwert \pm Standardabweichung (Minimum – Maximum, n)
unilateral	Behandlungsdauer der Phase A in Tagen (Aufnahme Akutklinik – Eintritt Phase B)	47,12 \pm 44,60 (1-202, n=25)
	Behandlungsdauer der Phase B in Tagen (Eintritt Phase B – Phase C/ Entlassung Reha)	111,39 \pm 121,93 (6-397, n=23)
	Behandlungsdauer nrICU in Tagen (Aufnahme nrICU – Weiterführende Station)	77,40 \pm 86,66 (6-253, n=10)
	Behandlungsdauer der Phase C in Tagen (Eintritt Phase C – Entlassung Reha)	100,73 \pm 73,47 (20-268, n= 15)
	Gesamte Behandlungsdauer in Tagen (Aufnahme Akutklinik – Entlassung Reha)	219,79 \pm 139,22 (45-549, n=24)
	Behandlungsdauer Rehaklinik in Tagen (Aufnahme Reha – Entlassung Reha)	185,83 \pm 134,98 (35-532, n=24)
bilateral	Behandlungsdauer der Phase A in Tagen (Aufnahme Akutklinik – Eintritt Phase B)	59,52 \pm 50,46 (21-230, n=23)
	Behandlungsdauer der Phase B in Tagen (Eintritt Phase B – Phase C/ Entlassung Reha)	262,78 \pm 294,115 (6-1141, n=23)
	Behandlungsdauer nrICU in Tagen (Aufnahme nrICU – Weiterführende Station)	84,82 \pm 90,77 (8-307, n=17)
	Behandlungsdauer der Phase C in Tagen (Eintritt Phase C – Entlassung Reha)	106,80 \pm 82,78 (36-220, n=5)
	Gesamte Behandlungsdauer in Tagen (Aufnahme Akutklinik – Entlassung Reha)	293,13 \pm 252,44 (50-1239, n=24)
	Behandlungsdauer Rehaklinik in Tagen (Aufnahme Reha – Entlassung Reha)	261,13 \pm 241,02 (25-1141, n=24)

4.4 Rehabilitationsprozess

Anhand der Arztbriefe und der Follow-Up-Fragebögen wurden im Verlauf mehrmals GOSE und BI zur Einschätzung des Rehabilitationsfortschritts erhoben. In den frühen Rehabilitationsphasen wurden diese Daten durch den FRBI ergänzt. Bei Aufnahme auf der nrICU, bei Aufnahme in die Phase B, bei Entlassung und im Rahmen des Follow Ups wurden Daten beider Kohorten erfasst und verglichen.

4.4.1 Barthel Index

Der initiale BI auf der nrICU war bei bilateral operierten Patient*innen $M= 0,63 \pm 1,71$ ($n=16$, 0-5) und bei unilateral operierten Patient*innen $M= 0 \pm 0$ ($n=8$; 0-0). Bei Eintritt in die Phase B betragen die Werte $M(\text{bilateral})= 3,33 \pm 6,95$ ($n=21$, 0-30) und $M(\text{unilateral})= 10,71 \pm 14,77$ ($n=21$, 0-55). Bei der Entlassung präsentierten sich die bilateral kraniektomierten Patient*innen mit einem durchschnittlichen BI von $28,57 \pm 31,31$ ($n=21$, 0-85), während es bei den unilateral kraniektomierten Patient*innen $M=50,53 \pm 30,95$ ($n=19$, 0-90) war. Im Rahmen des Follow Up gaben die Patient*innen aus der bilateralen Gruppe einen durchschnittlichen BI von $54,17 \pm 42,20$ ($n=12$, 10-100) an, im Vergleich $84,23 \pm 29,36$ ($n=13$, 15-100) in der unilateralen Gruppe.

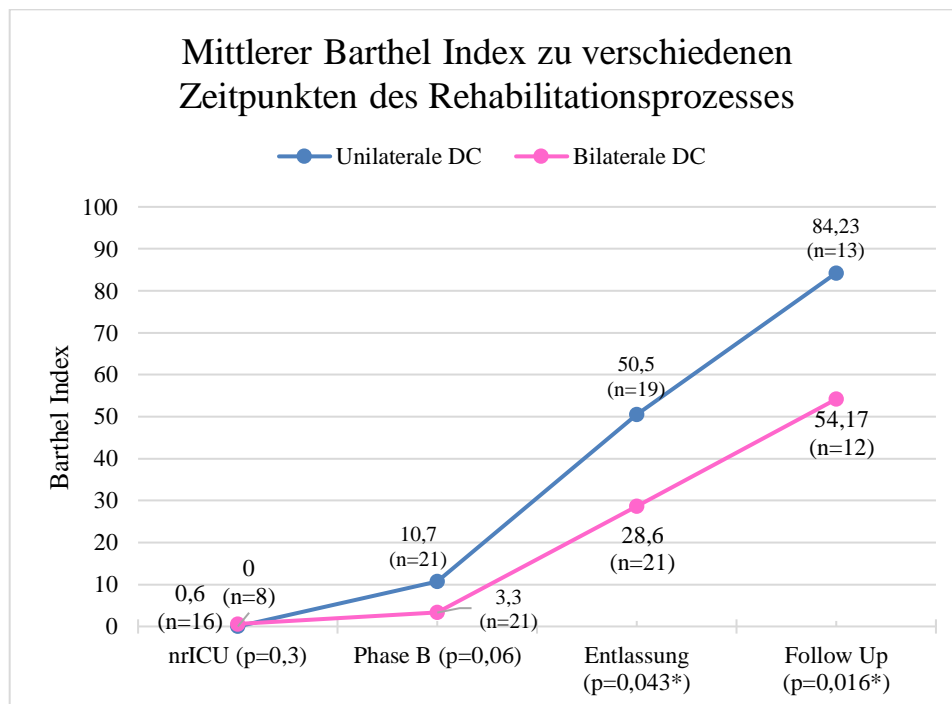


Abbildung 6: Mittlerer BI zu verschiedenen Zeitpunkten des Rehabilitationsprozesses.

Bei der Betrachtung des BI lässt sich ein Unterschied zwischen der bilateral und der unilateral behandelten Patient*innengruppe feststellen. Die Gruppen unterschieden sich initial nicht statistisch signifikant ($p(\text{ICU})=0,3$; $p(\text{Phase B})=0,06$). Bei Entlassung gab es einen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen ($p(\text{Entlassung})=0,043^*$; $p(\text{Follow Up})=0,016^*$).

4.4.2 FrühReha Barthel Index

Auf der nrICU betrug der durchschnittliche FRBI der bilateralen Gruppe $-250 \pm 40,83$ ($n=10$, -325 bis -200) und der unilateralen Gruppe $-283,33 \pm 49,16$ ($n=6$, -325 bis -225). Die bilateral operierten Patient*innen präsentierten sich bei Eintritt in die Phase B mit einem FRBI-Mittelwert von $-136,25 \pm 76,10$ ($n=16$, -275 bis 0) und die unilateral operierten Patient*innen mit einem FRBI-Mittelwert von $-86,88 \pm 68,04$ ($n=16$, -175 bis 55). Bei Entlassung war der durchschnittliche FRBI der bilateral kraniektomierten Patient*innen $-38,13 \pm 73,75$ ($n=16$, -125 bis 85), bei den unilateral kraniektomierten Patient*innen war es $37,31 \pm 53,68$ ($n=13$, -75 bis 90). Beim Follow Up wurde der FRBI nicht mehr erhoben.

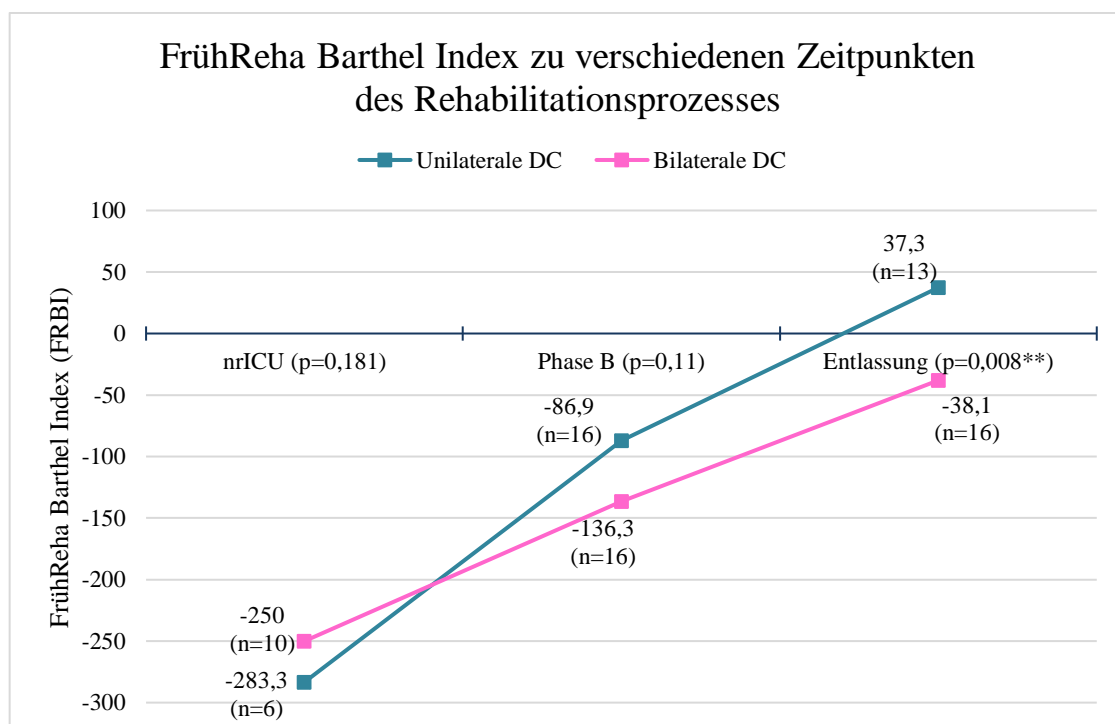


Abbildung 7: Mittlerer FRBI zu verschiedenen Zeitpunkten des Rehabilitationsprozesses.

Statistisch signifikant war der Unterschied im FRBI zwischen bilateralen und unilateralen Patient*innen bei der Entlassung aus der Rehaklinik ($p=0,008^{**}$). Auf der nrICU, sowie in der Phase B betrug der p-Wert 0,181 bzw. 0,110.

4.4.3 Extended Glasgow Outcome Scale

Bilateral kraniektomierte Patient*innen hatten auf der nrICU durchschnittlich einen GOSE-Wert von $2,53 \pm 0,52$ ($n=15$, 2-3). Bei unilateral kraniektomierten Patient*innen war der Mittelwert $2,67 \pm 0,50$ ($n=9$, 2-3). In der Phase B des Rehabilitationsprozesses präsentierten sich die bilateral behandelten Patient*innen mit einem mittleren GOSE-Wert von $3,0 \pm 0,00$ ($n=15$, 3-3) und die unilateral behandelten Patient*innen ebenfalls mit $3,0 \pm 0,37$ ($n=16$, 2-4). Bei Entlassung zeigte sich ein Durchschnitt von $3,13 \pm 0,806$ ($n=16$, 1-4) in der bilateralen Gruppe und in der unilateralen Gruppe ein Durchschnitt von $4,29 \pm 1,38$ ($n=21$, 2-7). Im Follow Up präsentierten sich die bilateral kraniektomierten Patient*innen mit einem GOSE-Wert von $3,29 \pm 2,64$ ($n=17$, 1-8) und die unilateral kraniektomierten Patient*innen mit $5,13 \pm 2,53$ ($n=16$, 1-8).

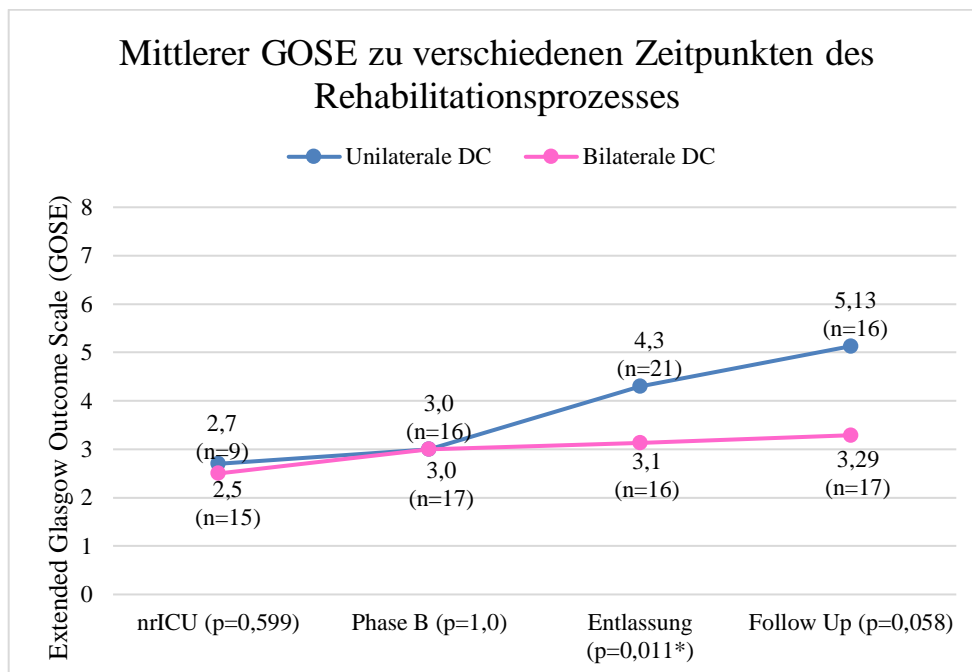


Abbildung 8: Mittlerer GOSE zu verschiedenen Zeitpunkten des Rehabilitationsprozesses.

Der Unterschied zwischen beiden Gruppen war nur bei Entlassung statistisch signifikant ($p(\text{ICU})=0,599$; $p(\text{Phase B})=1,0$; $p(\text{Entlassung})=0,011^*$; $p(\text{Follow Up})=0,058$).

4.4.4 Prädiktive Faktoren

a) Alter

Bei Betrachtung der hohen Altersspanne in beiden Kohorten stellt sich die Frage nach einer Beeinflussung des Outcomes der Patient*innen durch das Alter bei Kraniektomie. Patient*innen aus der bilateralen Kohorte mit einem günstigen Outcome im Follow Up waren bei Kraniektomie durchschnittlich $27,4 \pm 20,5$ (n=5, 16-64) Jahre alt. Bilateral kraniektomierte Patient*innen mit ungünstigem Outcome waren durchschnittlich jünger. Der Mittelwert in dieser Untergruppe betrug $24,0 \pm 9,11$ (n=11, 16-42) Jahre. Der Altersdurchschnitt der Patient*innen der unilateralen Kohorte entsprach diesem Muster nicht. Hier war der Altersdurchschnitt in der Gruppe mit günstigem Outcome ($24 \pm 7,2$ (n=10, 18-42 Jahre) niedriger als in der Gruppe mit ungünstigem Outcome ($28,67 \pm 16,75$ (n=6, 18-58 Jahre). In beiden Gruppen sind die Unterschiede im Altersdurchschnitt bei günstigem oder ungünstigem Outcome im Follow Up nicht signifikant.

Tabelle 5

Altersdurchschnitt im Follow Up bezogen auf günstiges und ungünstiges Outcome

	Günstiges Outcome (GOSE 5-8)	Ungünstiges Outcome (GOSE 1-4)
Altersdurchschnitt in der bilateralen Kohorte in Jahren p=0,743	$27,4 \pm 20,5$ (n=5, 16-64)	$24,0 \pm 9,11$ (n=11, 16-42)
Altersdurchschnitt in der unilateralen Kohorte in Jahren P=0,492	$24 \pm 7,2$ (n=10, 18-42)	$28,67 \pm 16,75$ (n=6, 18-58)

b) Behandlungsdauer

In der Auswertung des Einflusses der Behandlungsdauer auf das Outcome der Patient*innen wurde diese in Bezug auf den Median in „kurz“ (unilateral <118d, bilateral <177d) und „lang“ (unilateral >118d, bilateral >177d) unterteilt.

Auf der GOSE lässt sich erkennen, dass bilateral operierte Patient*innen bis zum Zeitpunkt der Entlassung mit Blick auf die Behandlungsdauer ähnliche Werte erreichten. In der Langzeitbeobachtung im Rahmen des Follow Up zeigten sich Unterschiede bezüglich des Outcomes. Bilateral operierte Patient*innen mit kurzer Verweildauer in der NRBKR erholten sich besser und erlebten eine höhere Lebensqualität (vgl. Tabelle 5). Statistisch lässt sich keine signifikante Korrelation zwischen der Behandlungsdauer und dem Outcome der

bilateralen Patient*innen feststellen ($r(\text{GOSEEntlassung})=0,239$, $p=0,372$; $r(\text{GOSEFollowUp})=-0,185$, $p=0,476$).

Tabelle 6

Outcome (GOSE) abhängig von der Behandlungsdauer in der bilateralen Kohorte

	Behandlungsdauer < 177d	Behandlungsdauer >177d
Phase B	3,00 ± 0,00 (n=9; 3-3)	3,00 ± 0,00 (n=8; 3-3)
Entlassung	3,17 ± 0,75 (n=6; 2-4)	3,33 ± 0,50 (n=9; 3-4)
Follow Up	4,00 ± 3,38 (n=8; 1-8)	2,88 ± 1,73 (n=8; 1-6)

Die Beobachtungen in der unilateralen Patient*innengruppe sind bezüglich des Einflusses der Behandlungsdauer auf das Outcome analog zur bilateralen Kohorte. Insgesamt lässt sich erkennen, dass die erreichten Werte auf der GOSE höher sind als in der bilateralen Patient*innengruppe. In diesem Kollektiv korrelieren die GOSE-Werte bei Entlassung und im Follow Up negativ mit der Behandlungsdauer, im Follow Up ist die negative Korrelation statistisch signifikant. ($r(\text{GOSEEntlassung})=-0,305$; $p=0,179$; $r(\text{GOSEFollowUp})=-0,628$, $p=0,012^*$)

Tabelle 7

Outcome (GOSE) abhängig von der Behandlungsdauer in der unilateralen Kohorte

	Behandlungsdauer < 118d	Behandlungsdauer >118d
Phase B	3,20 ± 0,45 (n=5; 3-4)	2,90 ± 0,32 (n=10; 2-3)
Entlassung	4,82 ± 1,40 (n=11; 3-7)	3,78 ± 1,20 (n=9; 2-6)
Follow Up	6,38 ± 2,33 (n=8; 1-8)	3,29 ± 1,49 (n=7; 1-5)

4.5 Follow Up

4.5.1 Basisdaten Follow Up

Im Rahmen des Follow Ups wurden insgesamt 34 Patient*innen erreicht. Von den 16 kontaktierten bilateral operierten Patient*innen stimmten 12 der Studie zu und füllten den Fragebogen aus. In der unilateral kraniektomierten Kohorte waren es 14 Patient*innen. Zum Zeitpunkt des Follow Ups waren fünf (20%) bilateral behandelte und zwei (8%) unilateral behandelte Patient*innen bereits verstorben.

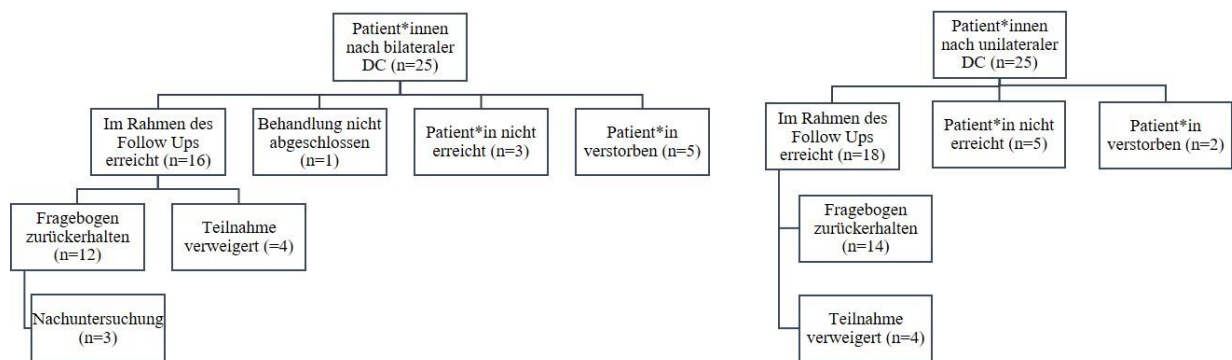


Abbildung 9: Flowchart des Ablaufs und der Patient*innenrekrutierung im Follow Up.

Zwischen Entlassung aus der Rehabilitationsklinik und dem Follow Up lagen unterschiedlich lange Zeiträume. Minimal waren es drei Monate und maximal 16 Jahre. In der bilateralen Patient*innengruppe war der Mittelwert $5,4 \pm 5,05$ Jahre, in der unilateralen Patient*innengruppe waren es $7,3 \pm 4,83$ Jahre.

4.5.2 Follow Up Outcome

Im Fragebogen wurden anhand standardisierter Fragen der BI und die GOSE der Patient*innen erfasst. Der FRBI wurde aufgrund des fortgeschrittenen Rehabilitationsprozesses nicht mehr erfasst.

Im Rahmen des Follow Up gaben die erreichten Patient*innen aus der unilateralen Gruppe einen durchschnittlichen BI von $84,23 \pm 29,36$ ($n=13$, 15-100) an, in der bilateralen Gruppe zeigte sich ein durchschnittlicher BI von $54,17 \pm 42,20$ ($n=12$, 0-100). Das Outcome beider Patient*innengruppen ist statistisch signifikant unterschiedlich. ($p=0,016^*$)

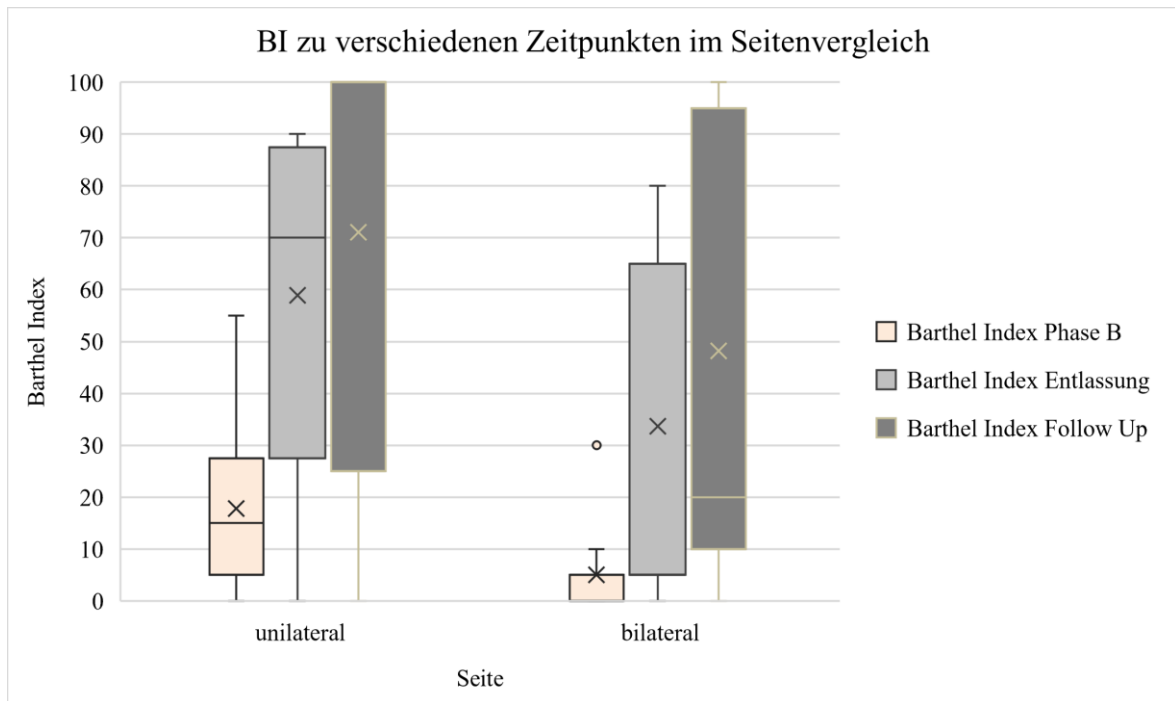


Abbildung 10: Boxplot des Outcomes im BI zum Zeitpunkt des Eintrittes in die Phase B, bei Entlassung und im Rahmen des Follow Ups.

Ein günstiges Outcome von mehr als 85 Punkten im BI zeigten sechs von 12 Patient*innen aus der bilateralen Kohorte. Das sind 50% der im Follow Up erfassten bilateral kraniektomierten Patient*innen und 24% der gesamten bilateralen Kohorte. In der unilateralen Kohorte erreichten 10 von 13 Patient*innen ein günstiges Outcome im Barthel Index. Das sind 77% der im Follow Up erfassten unilateral kraniektomierten Patient*innen und 40% der gesamten unilateralen operierten Vergleichsgruppe.

Tabelle 8

Günstiges und ungünstiges Outcome (BI) im Follow Up

Barthel Index	unilateral kraniektomierte Patient*innen	bilateral kraniektomierte Patient*innen
günstiges Outcome (BI >85)	10 (40,0%)	6 (24,0%)
ungünstiges Outcome (BI <85)	3 (12,0%)	6 (24,0%)
Summe der im Follow Up erreichten Patient*innen	13 (52,0%)	12 (48,0%)

In der bilateralen Kohorte präsentierten sich fünf der 17 Patient*innen mit einem günstigen Outcome (GOSE 5-8). Das sind 20% der gesamten bilateralen Patient*innengruppe und 29%

der im Follow Up erfassten bilateralen Patient*innen. In der unilateralen Kohorte zeigten neun Patient*innen ein günstiges Outcome. Das sind 36% der gesamten unilateralen Patient*innengruppe und 60% der im Follow Up erfassten unilateralen Patient*innen. Im Follow Up präsentierten sich die unilateral kraniektomierten Patient*innen mit durchschnittlich $5,13 \pm 2,52$ (n=16, 1-8) und die bilateral kraniektomierten Patient*innen mit einem mittleren GOSE-Wert von $3,29 \pm 2,66$ (n=17, 1-8). Die Werte der unilateralen und bilateralen Patient*innengruppe sind nicht signifikant unterschiedlich (p=0,058).

Tabelle 9

Günstiges und ungünstiges Outcome (GOSE) im Follow Up

GOSE	unilateral kraniektomierte Patient*innen	bilateral kraniektomierte Patient*innen
günstiges Outcome (GOSE 5-8)	10 (40,0%)	5 (20,0%)
Ungünstiges Outcome (GOSE 1-4)	6 (24,0%)	12 (48,0%)
Summe der im Follow Up erreichten Patient*innen	16 (64,0%)	17 (68,0%)

4.5.3 Sonstiges

In einem Pflegeheim lebten zum Zeitpunkt des Follow Ups zwei bilateral operierte Patient*innen. Fünf bilateral kraniektomierte Patient*innen wurden in einer Pflegestufe eingeordnet, unter den unilateral kraniektomierten Patient*innen waren es drei.

Alle Patient*innen atmeten spontan. Aufgrund einer persistierenden neurogenen Dysphagie war in der bilateralen Patient*innengruppe war ein Patient mit einer Trachealkanüle versorgt. (0 in der unilateralen Kohorte).

Sechs Patient*innen nach bilateraler Kraniektomie gaben an, unter einer Verständnisstörungen zu leiden (Vier in der unilateralen Patient*innengruppe). Bezüglich der Frage nach einer Sprachstörung antworteten fünf bilateral operierte Patient*innen mit „Ja“, in der unilateralen Gruppe waren es vier Patient*innen. Neun Patient*innen aus der bilateralen Gruppe benötigten inhaltliche und praktische Hilfe beim Ausfüllen des Fragebogens. Unter den unilateral operierten Patient*innen waren es sechs.

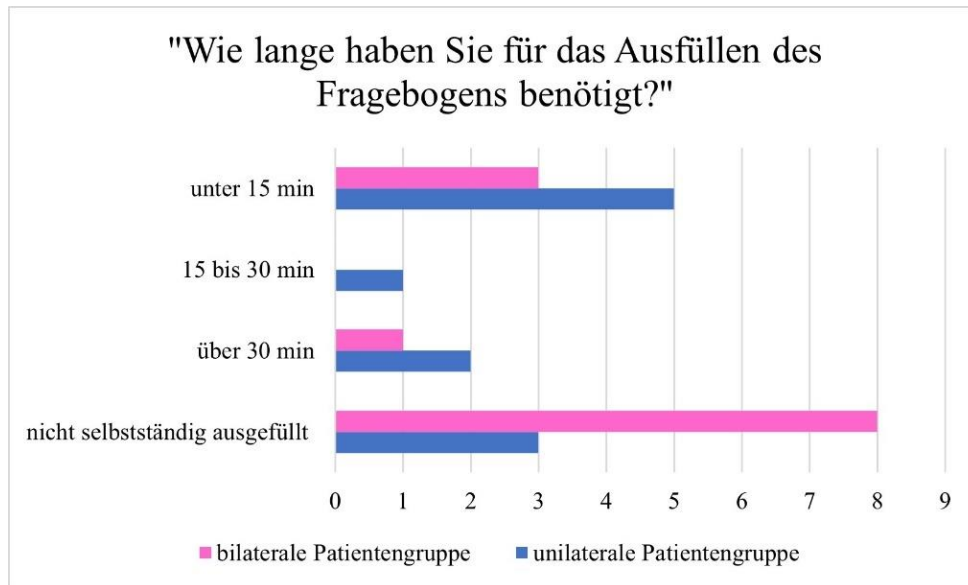


Abbildung 11: Angaben der Patient*innen zum Zeitaufwand des Fragebogens im Gruppenvergleich.

Des Weiteren wurden zwei Fragen gestellt, die auf das subjektive Empfinden der Patient*innen abzielten. Der Aussage „Es ist schwierig, mich zu konzentrieren.“ stimmten drei (25%) bilaterale und zwei (20%) unilaterale Patient*innen komplett und jeweils fünf (41% der bilateralen Gruppe; 50% der unilateralen Gruppe) Patient*innen teilweise zu. Der Aussage standen zwei (16,7%) bilateral operierte Patient*innen neutral gegenüber. Zwei (20%) unilateral kraniektomierte Patient*innen stimmten der Aussage keineswegs zu. Zwei (16,7%) bilateral kraniektomierte Patient*inn und ein (10%) unilateral kraniektomierter Patient gaben an, der Aussage eher nicht zu zu stimmen.

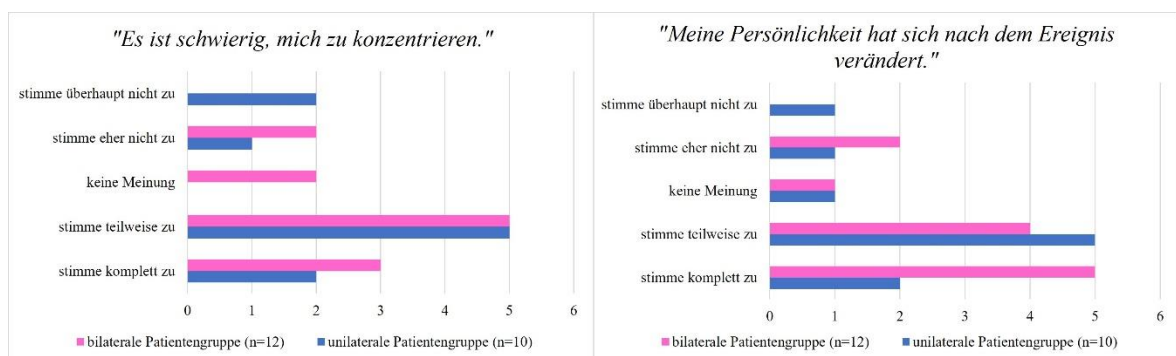


Abbildung 12: Haltung der Patient*innen zu den Thesen "Es ist schwierig, mich zu konzentrieren." und "Meine Persönlichkeit hat sich nach dem Ereignis verändert."

Der These „Meine Persönlichkeit hat sich nach dem Ereignis verändert“ stimmten fünf (41,7%) Patient*innen aus der bilateralen Gruppe und zwei (20%) Patient*innen aus der unilateralen Vergleichsgruppe komplett zu. Eine teilweise Zustimmung gaben vier (33,3%) bilateral kraniektomierte Patient*innen und fünf (50%) unilateral kraniektomierte Patient*innen an. Jeweils ein (8,3% der bilateralen Gruppe; 10% der unilateralen Gruppe) Patient stand der These neutral gegenüber. Eine teilweise Ablehnung fand durch zwei (16,7%) bilateral operierte Patient*innen und einen (10%) unilateral operierten Patienten statt. Ein (10%) Patient aus der unilateralen Vergleichsgruppe lehnte die These komplett ab.

4.6 Komplikationen

4.6.1 Neurologische Komplikationen

Der Rehabilitationsprozess verlief bei vier bilateral operierten und zwei unilateral operierten Patient*innen ohne neurologische Komplikationen.

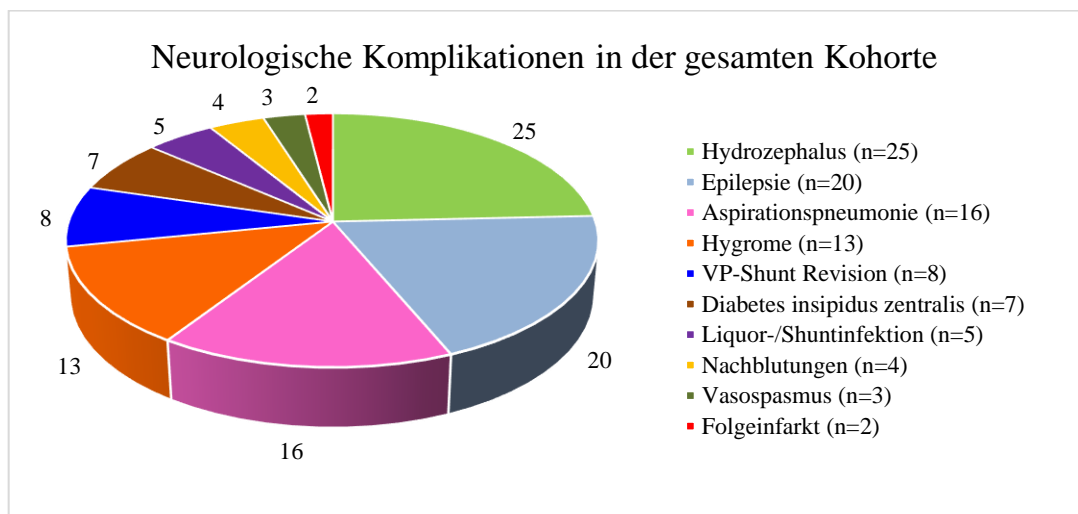


Abbildung 13: Neurologische Komplikationen in der gesamten Kohorte.

Im rehabilitativen Verlauf entwickelten 25 Patient*innen (17 bilateral kraniektomierte Patient*innen und acht unilateral kraniektomierte Patient*innen) einen Hydrozephalus. Dieser wurde mit der Implantation eines VP-Shunts behandelt. In acht Fällen war eine Revision des VP-Shunts notwendig. Bei fünf Patient*innen entwickelte sich eine Infektion des VP-Shunts beziehungsweise der Liquorräume. In der gesamten Kohorte traten epileptische Anfälle im rehabilitativen Verlauf bei 20 Patient*innen auf. Unter epileptische Anfällen litten 12 Patient*innen nach bilateraler DC und acht Patient*innen nach unilateraler

DC. Eine weitere neurologische Komplikation stellte die Aspirationspneumonie im Rahmen der neurogenen Dysphagie dar (jeweils acht Patient*innen beider Gruppen). Postoperative Hygrome entwickelten sechs bilateral und sieben unilateral operierte Patient*innen. Nachblutungen traten bei vier Patient*innen auf. Bei zwei der drei Patient*innen, die Vasospasmen erlitten, traten Folgeinfarkte auf.

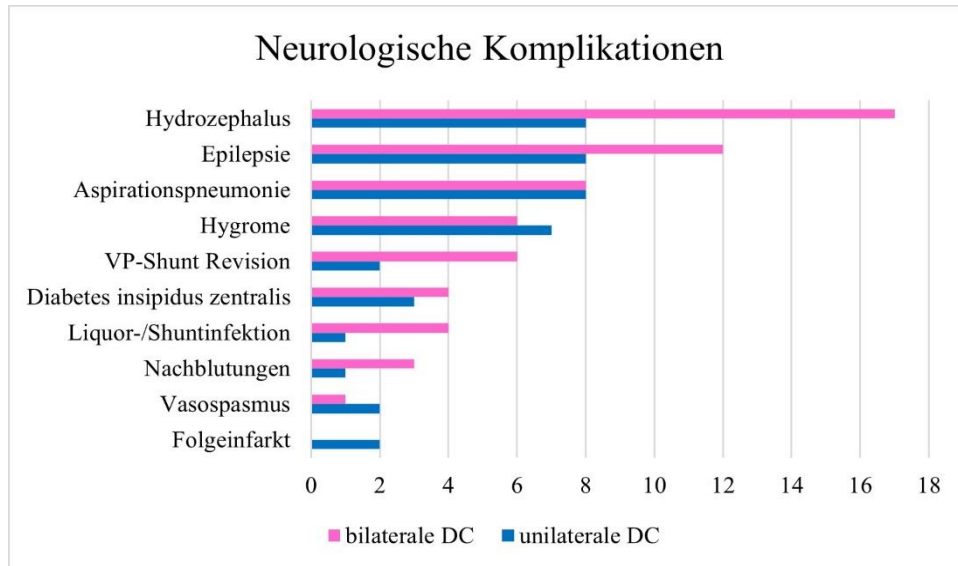


Abbildung 14: Neurologische Komplikationen im Gruppenvergleich.

Durchschnittlich erlitten bilateral operierte Patient*innen $2,0 \pm 1,44$ neurologische Komplikationen und unilateral operierte Patient*innen $1,75 \pm 1,42$. Zusammenfassend kann man sagen, dass der Rehabilitationsverlauf beidseitig operierter Patient*innen durch eine größere Anzahl neurologischer Komplikationen geprägt wurde. Das Auftreten einer höheren Anzahl neurologischer Komplikationen in der bilateralen Patientengruppe ist nicht signifikant unterschiedlich ($p=0,348$).

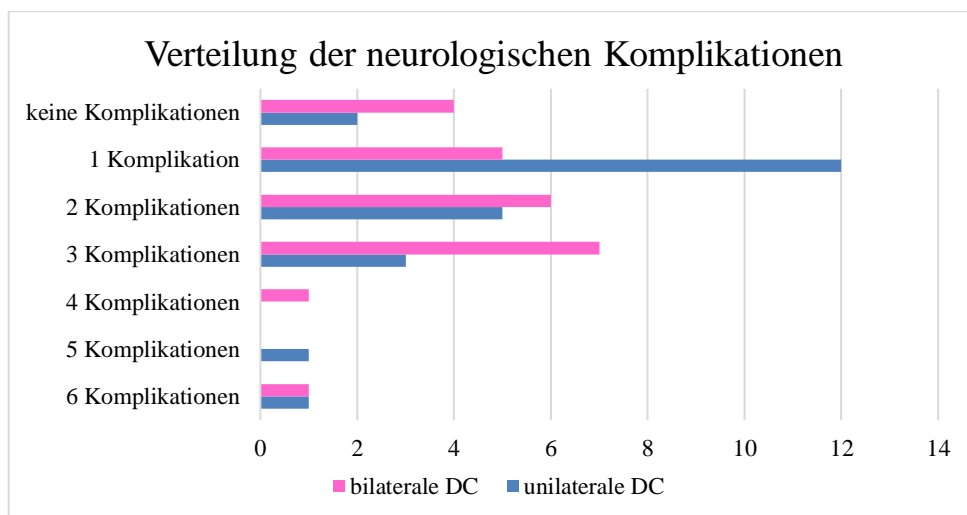


Abbildung 15: Verteilung der neurologischen Komplikationen im Gruppenvergleich.

Bezüglich der Beeinflussung des Outcomes durch einen komplikationsreichereren Verlauf ließen sich folgende Daten erheben: Ein hoher Wert auf der GOSE sowie im BI im Rahmen des Follow Ups korreliert negativ mit der Anzahl der neurologischen Komplikationen im Rehabilitationsverlauf der Patient*innen. ($r(\text{GOSEFollowUp})=-0,411$; $p(\text{GOSEFollowUp})=0,019^*$ bzw. $r(\text{BIFollowUp})=-0,415$; $p(\text{BIFollowUp})=0,022^*$).

Im Rahmen der neurologischen Rehabilitation waren 19 Patient*innen nach bilateraler DC und 18 Patient*innen nach unilateraler DC mit Trachealkanülen versorgt. Patient*innen aus der bilateralen Kohorte waren im Durchschnitt $110,32 \pm 124,87$ Tage ($n=19$, 15-491 Tage) mit Trachealkanülen versorgt. In der unilateralen Patient*innenkohorte waren es durchschnittlich $80,56 \pm 66,38$ Tage ($n=18$, 5-193 Tage). Der Unterschied zwischen den Zeitspannen der Gruppen ist nicht signifikant unterschiedlich ($p=0,564$).

Die Verweildauer der Trachealkanüle korreliert negativ mit dem Barthel Index ($r=-,571$; $p=0,017^*$; $n=17$) und dem Wert auf der GOSE ($r=-,542$; $p=0,020^*$; $n=18$) zum Zeitpunkt des Follow Ups. Auch bei Entlassung besteht eine negative Korrelation mit dem BI ($r=-,463$; $p=0,008^{**}$; $n=32$). Das bedeutet, dass Patient*innen mit einem besseren Outcome kürzer mit einer Trachealkanüle versorgt wurden.

4.6.2 Nicht-Neurologische Komplikationen

Neun (36%) bilateral kraniektomierte und 14 (56%) unilateral kraniektomierte Patient*innen wurden ohne nicht-neurologische Komplikationen aus der NRBKR entlassen.

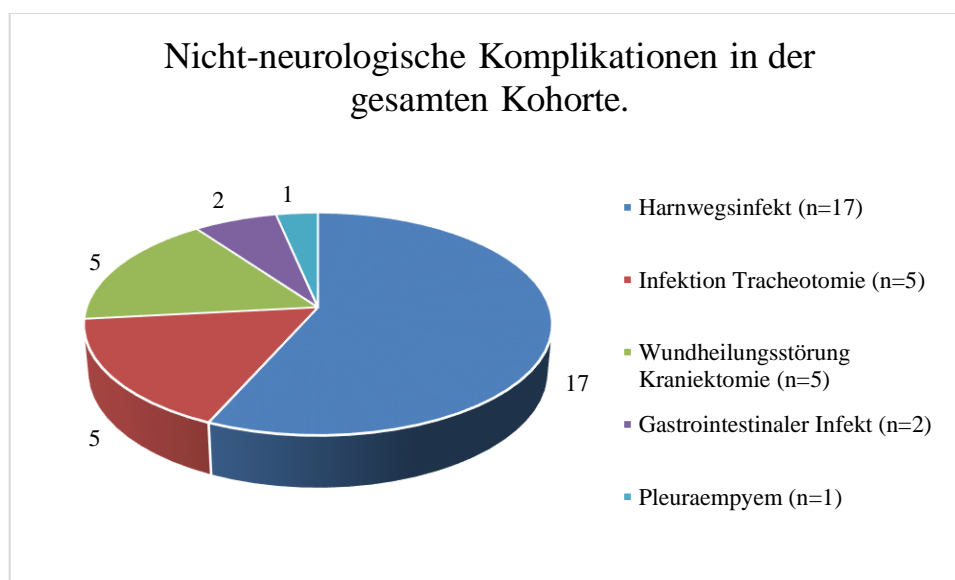


Abbildung 16: Nicht-neurologische Komplikationen in der gesamten Kohorte.

Einen Harnwegsinfekt entwickelten im Verlauf 17 Patient*innen (10 Patient*innen nach bilateraler DC und sieben Patient*innen nach unilateraler DC). Fünf Patient*innen litten unter einer Infektion der Tracheostomawunde und zwei Patient*innen unter einer gastrointestinalen Infektion. Bei fünf Patient*innen trat eine Wundheilungsstörung an der Stelle der Kraniektomie auf. In einem Fall wurde ein Pleuraempyem diagnostiziert.

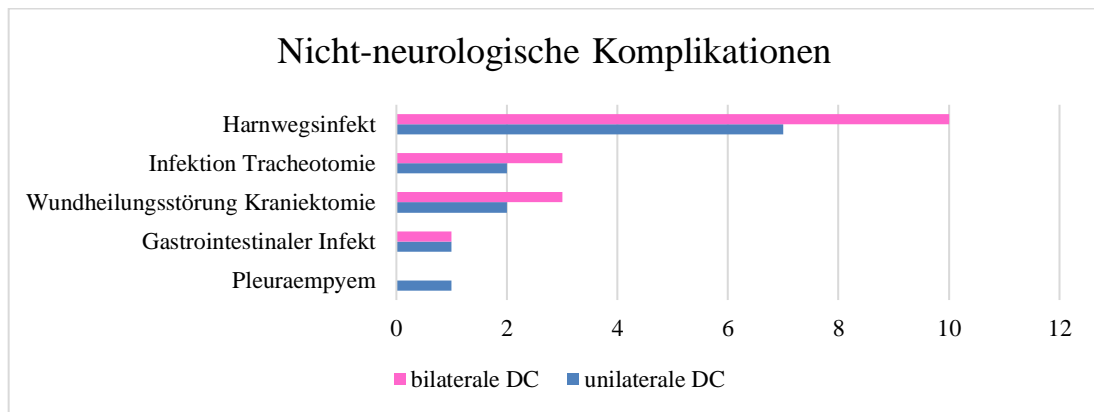


Abbildung 17: Nicht-neurologische Komplikationen im Gruppenvergleich.

Vier bilateral behandelte und fünf unilateral behandelte Patient*innen wurden durch mehr als eine Komplikation in ihrer Rehabilitation beeinträchtigt. Zwischen bi- und unilateral behandelten Patient*innen lassen sich keine statistisch signifikanten Unterschiede bezüglich der Anzahl der Nicht-neurologischen Komplikationen erkennen ($p=0,262$).

4.6.3 Rückverlegung auf nrICU

In der Gruppe der bilateral Kraniektomierten mussten sechs Patient*innen nach Aufnahme auf die rehabilitative Normalstation wieder auf die nrICU zurückverlegt werden. Bei den unilateral Kraniektomierten waren es zwei. Diese Patient*innen waren zwischen 16 und 58 Jahren alt, im Schnitt $29,38 \pm 14,35$ Jahre. Häufigste zur Rückverlegung führende Komplikation (bei fünf von acht Patient*innen) war die Aspirationspneumonie in Kombination mit anderen neurologischen Komplikationen. Außerdem mussten zwei Patient*innen nach einer Shuntinfektion und ein Patient nach Wundrevisionen seiner infizierten Kranioplastik von der rehabilitativen Normalstation zurück auf die nrICU verlegt werden. Patient*innen, die im Verlauf wieder intensivpflichtig wurden, hatten im Schnitt bei Entlassung und im Follow Up sowohl auf der GOSE als auch im BI niedrigere Werte als der Durchschnitt der gesamten Kohorte. Bei Entlassung war der

GOSE $M=2,83 \pm 0,753$ ($n=6$, 2-4) und der BI $M=22,50 \pm 34,17$ ($n=6$, 0-85). Der durchschnittliche FRBI lag im negativen Bereich. ($M= -39,00 \pm 80,42$; $n=5$; -125 bis 85). Im Follow Up zeigten alle drei erreichten rückverlegten Patient*innen ein niedriges Outcome (GOSE 1-4; $M=1,67 \pm 0,58$; 1-2). Unter den im Follow Up erfassten Patient*innen war ein Patient verstorben.

4.7 Ventrikuloperitoneale Shunts

Ein ventrikuloperitonealer Shunt (VP-Shunt) zur Regulierung des intrakraniellen Drucks wurde bei 17 (68%) bilateral und acht (32%) unilateral kraniektomierten Patient*innen implantiert. Die Anzahl der Patient*innen mit VP-Shunt war in der bilateralen Kohorte signifikant höher ($p=0,012^*$). Die Implantation der Shunts fand in einem variablen Zeitraum zwischen 19 und 327 Tagen nach Kraniektomie der Patient*innen statt. In der bilateral behandelten Kohorte ist der Mittelwert der Zeitspanne 102 ± 88 Tage ($n=17$), bei den unilateral behandelten Patient*innen sind es durchschnittlich 71 ± 67 Tage ($n=8$). Diese Zeitspanne ist in der bilateralen Kohorte nicht signifikant länger ($p=0,23$).

Das Outcome von Patient*innen mit VP-Shunt war bei Entlassung im BI und auf der GOSE niedriger als bei Patient*innen ohne VP-Shunt. Patient*innen mit VP-Shunt wiesen bei der Entlassung einen durchschnittlichen BI von $35,79 \pm 34,89$ Punkten ($n=19$) auf. Sie erreichten auf der GOSE durchschnittlich $3,71 \pm 0,92$ Punkte ($n=17$). Patient*innen ohne VP-Shunt wurden mit einem durchschnittlichen BI von $41,90 \pm 31,28$ Punkten ($n=21$) und einem Wert auf der GOSE von $3,85 \pm 1,57$ Punkten ($n=20$) entlassen. Diese Unterschiede waren nicht signifikant ($p(\text{GOSE Entlassung})=0,845$; $p(\text{BI Entlassung})=0,529$).

Die gleiche Tendenz zeigt sich auch in den Fragebögen des Follow Ups. Patient*innen mit VP-Shunt gaben im Mittel einen BI von $55,38 \pm 38,70$ ($n=13$) an und $3,00 \pm 1,77$ Punkte ($n=17$) auf der GOSE. Ohne VP-Shunt war es im Durchschnitt ein BI von $85,42 \pm 32,99$ Punkten ($n=12$) und $5,44 \pm 3,01$ Punkten ($n=16$) auf der GOSE. Diese Unterschiede waren signifikant ($p(\text{GOSE FollowUp})=0,023^*$; $p(\text{BI FollowUp})=0,026^*$).

4.8 Kranioplastik

Die Kranioplastik (KP) fand bei bilateralen Patient*innen im Schnitt $120,5 \pm 75,02$ Tage (n=20, 28-327) nach Kraniektomie statt. In der unilateralen Kohorte waren es durchschnittlich $84,93 \pm 40,13$ Tage (n=15, 24-193). Der Unterschied zwischen beiden Gruppen war nicht signifikant (p=0,199).

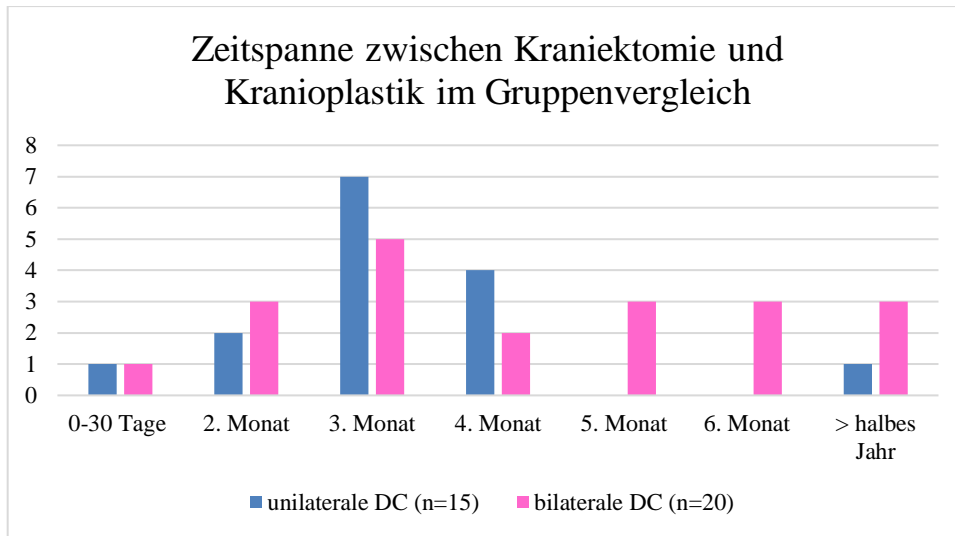


Abbildung 18: Zeitspanne zwischen DC und KP im Gruppenvergleich.

Unter den insgesamt 50 untersuchten Patient*innen wurden die Umstände der KP bei 20 bilateral behandelten Patient*innen und bei 15 unilateral behandelten Patient*innen erfasst. Während des stationären Aufenthaltes in der NRBKR erhielten 14 (56%) der bilateral kraniektomierten und 13 (52%) der unilateral kraniektomierten Patient*innen ihre KP. Drei (12%) bilaterale und zwei (8%) unilaterale Patient*innen wurden unter ambulanter rehabilitativer Weiterbehandlung zur KP einbestellt. Ein (4%) Patient aus der beidseitig kraniektomierten Gruppe erhielt seine KP während der Behandlung in einer anderen Rehabilitationsklinik.

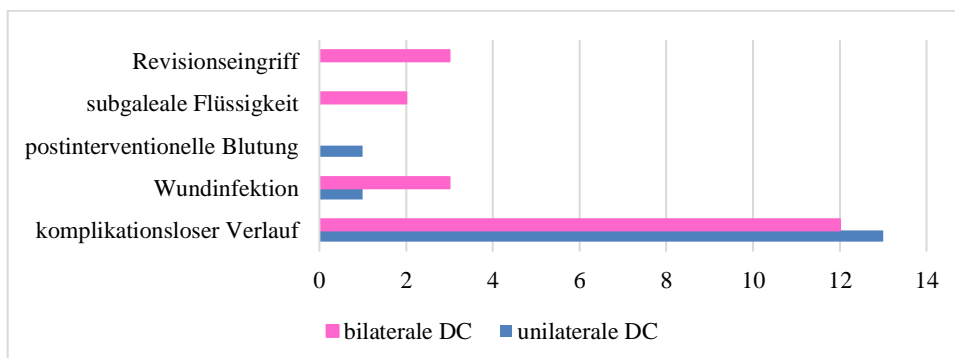


Abbildung 19: postinterventionelle Komplikationen nach KP im Seitenvergleich.

Unter den 35 (20 bilateral, 15 unilateral) erfassten Kranioplastiken waren 26 Verläufe komplikationslos (12 bilateral (48%); 13 unilateral (52%)). Vier Patient*innen erlitten eine Wundinfektion (Drei bilateral (12%); eine*r unilateral (4%)). Ein unilateral operierter Patient entwickelte eine postinterventionelle Blutung in Form eines Epiduralhämatoms. Subgaleale Flüssigkeit zeigte sich nach der KP bei zwei (8%) bilateral operierten Patient*innen. Ein Revisionseingriff war bei drei (12%) bilateral behandelten Patient*innen nötig.

Im postinterventionellen Verlauf der KP entwickelten einige Patient*innen eine sekundäre Liquorabflussstörung. Dies wurde anhand des nach KP implantierten VP-Shunts erfasst. In der unilateralen Gruppe handelt es sich hierbei um einen Patienten (12,5% der unilateralen Patient*innen mit VP-Shunt). Aus der bilateralen Kohorte erhielten fünf Patient*innen ihren VP-Shunt nach KP (29% der bilateralen Patient*innen mit VP-Shunt). Ein Zusammenhang mit dem Outcome der Patient*innen war nicht fest zu stellen.

5 Diskussion

5.1 Diskussion der Ergebnisse

5.1.1 Demographische Basisdaten

Durch das „Matching“ der beiden Kohorten sind das Geschlechterverhältnis, Alter und Ätiologie der Patient*innen deckungsgleich. Das Patient*innenkollektiv ist bezüglich des Anteils weiblicher Patientinnen mit 28% dem Geschlechterverhältnis in Studien zum SHT ähnlich (47).

Das mittlere Alter der Patient*innen in der vorliegenden Studie ist den Kollektiven der aktuellen großen Studien ähnlich. Es ist etwas höher als in der chirurgischen Kohorte von Cooper et al. (2011) und etwas niedriger als in der kraniektomierten Kohorte von Hutchinson et al. (2016) (1, 2). In einer allgemeinen Studie zu Schädel-Hirn-Traumata postulieren Jennett et al. (1979), dass jüngere Patient*innen unabhängig von anderen Faktoren ein günstigeres Outcome erzielen (48). Schneider et al. (2002), Olivecrona et al. (2007) und Williams et al. (2009) finden bei kraniektomierten Patient*innen eine Korrelation zwischen jüngerem Alter und günstigerem Outcome (49–51). Pompucci et al. (2007) nennen ein Alter unter 65 Jahren als prädiktiven Wert für ein günstiges Outcome (52). Nambiar et al. (2015) und Howard et al. (2008) können diese Korrelation bei kraniektomierten Patient*innen nicht feststellen (42, 53). Die These der Altersabhängigkeit des Outcomes kann in unserer Studie nicht bestätigt werden. In der bilateralen Kohorte ist der Altersdurchschnitt bei Patient*innen mit günstigem Outcome auf der GOSE höher als in der Gruppe mit ungünstigem Outcome. In der unilateralen Kohorte lässt sich der Trend eines günstigen Outcomes bei jüngeren Patient*innen feststellen, ohne signifikant zu sein. Wir schließen daraus, dass ein hohes Alter ein günstiges Outcome nicht ausschließt. So sollte in der Entscheidungsfindung für die Durchführung einer DC neben dem Alter ebenso auf andere Parameter und Risikofaktoren geachtet werden.

5.1.2 Daten der Akutphase

Der initiale Wert auf der GCS (iGCS) wird in der Literatur wiederholt als prognostischer Faktor für das Outcome der Patient*innen erwähnt (23, 50, 52, 54–58). Der iGCS in der vorliegenden Studie reproduziert diese Ergebnisse nur bedingt. Nur unter den bilateralen Patient*innen korrelieren iGCS und Outcome bei Entlassung positiv miteinander. Im Follow Up zeigt sich in keiner der beiden Gruppen eine Korrelation. Auch zwischen den beiden Kohorten ist kein signifikanter Unterschied festzustellen. Generell befindet sich der iGCS in

beiden Kohorten am untersten Rand der GCS. Diese initial schwere neurologische Beeinträchtigung erklärt die große Spannweite an Rehabilitationsergebnissen in der vorliegenden Studie.

Bezüglich des optimalen Zeitpunktes zur DC sind sich die Autor*innen nicht einig. Es bestehen verschiedene Empfehlungen zum Zeitpunkt der DC. Diese reichen von unter vier bis zu 48 Stunden nach Aufnahme in die Akutklinik (16, 23, 56). Albanèse et al. (2003) beschreiben ein günstigeres Outcome der Patient*innen in der spät kraniektomierten Kohorte nach mehr als 24 Stunden (59). Ein erhöhter ICP über 20mmHg für mehr als 6 Stunden wurde von Czosnyka et al. (1996) als prädiktiver Wert für ein ungünstigeres Outcome festgelegt (60). In der vorliegenden Studie liegen die verschiedenen Werte zwischen minimal wenigen Stunden und maximal 13 Tagen. Die Zeitspanne zwischen Aufnahme in die Akutklinik und DC ist in der unilateralen Kohorte signifikant kürzer. Der Anteil primärer Kraniektomien ist in der unilateralen Kohorte wiederum höher. Wir gehen davon aus, dass die Entscheidung zur Ausräumung einer Massenläsion bei eindeutiger Bildgebung schneller getroffen wird als die Entscheidung zur diffusen Entlastung im Rahmen einer sekundären Kraniektomie.

Die Auflistung der intrakraniellen Verletzungen zeigt, dass über die Hälfte beider Kohorten unter kombinierten Läsionen leidet. Die Komplexität der unterschiedlichen Verletzungen im Rahmen schwerer SHTs verkompliziert eine detaillierte Auflistung. Interessant ist, dass bei fünf Patient*innen aus der unilateral kraniektomierten Kohorte bilaterale intrakranielle Verletzungen vorliegen. Gleichzeitig zeigen fünf Patient*innen aus der bilateral kraniektomierten Kohorte unilaterale intrakranielle Verletzungen. Dieser Sachverhalt ist dem therapeutischen Prinzip der primären und sekundären DC geschuldet. Auch bei beidseitigen intrakraniellen Verletzungen wird eine primäre DC unilateral ausgeführt, um beispielsweise ein Hämatom zu bergen. Andererseits können bilateral kraniektomierte Patient*innen unter einseitigen intrakraniellen Verletzungen, aber auch diffuser intrakranieller Hypertension leiden. Dies macht eine sekundäre Kraniektomie notwendig, die in den meisten Fällen bilateral verläuft (11, 18, 61).

Die beiden Kohorten wurden bewusst in bilateral und unilateral unterteilt. Es wurden bisher keine Studien veröffentlicht, die ihre Auswertung auf die Unterschiede zwischen diesen beiden Gruppen auslegen. In der gewählten Methodik war es uns möglich, interne Daten aus der NRBKR zu verwenden und den Rehabilitationsprozess in unserer Klinik auf verschiedenen Skalen in gematchten Kohorten zu betrachten.

Aktuell wird in der Literatur vor allem zwischen primären und sekundären Kraniektomien unterschieden. In einigen Studien werden gemischte Kohorten mit primären und sekundären Kraniektomien betrachtet ohne Vergleiche zwischen den beiden Verfahren durchzuführen (22, 51, 52, 59, 62, 63). In unserer bilateralen Kohorte befinden sich zwei (8,3%) Patient*innen nach primärer Kraniektomie. In der unilateralen Kohorte sind 18 (72%) Patient*innen primär kraniektomiert.

Guello et al. (2014) vergleichen eine primär kraniektomierte mit einer sekundär kraniektomierten Kohorte. Die primär kraniektomierten Patient*innen verzeichnen eine deutlich höhere Mortalität und weniger günstige Rehabilitationsergebnisse (43). Auch Al-Jishi et al. (2011) untersuchen den Unterschied zwischen primärer und sekundärer Kraniektomie. In dieser Studie erzielten sekundär operierte Patient*innen günstigere Outcomes, jedoch wird auf die deutlich unterschiedlichen Charakteristika der Kohorten hingewiesen (64). Die widersprüchlichen Ergebnisse dieser beiden Studien repräsentieren den aktuellen Stand der Forschung bezüglich der Rehabilitation nach DC. Aufgrund von kleinen Kohorten, unterschiedlichsten Selektionskriterien und wenigen randomisierten Studien sind die Ergebnisse sehr unterschiedlich und schwer vergleichbar (vgl. Tabelle 10).

5.1.3 Behandlungsdauer

Im Durchschnitt ist die Behandlungsdauer der bilateral kraniektomierten Patient*innen in allen Rehabilitationsphasen länger als in der unilateralen Kohorte. Es werden deutlich mehr bilateral kraniektomierte Patient*innen auf der nrICU behandelt (68% bilaterale Kohorte vs. 40% unilaterale Kohorte). Dies deutet auf eine längere Beatmungsindikation und einen erhöhten Pflegebedarf hin. Die Behandlungsdauer auf der nrICU weist keine Unterschiede zwischen den beiden Kohorten auf.

In der Behandlungsdauer der Phase B zeigt sich ein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen. Anteilig verbringen die Patient*innen die meiste Zeit in der NRBKR in der Phase B. Die frührehabilitative Phase ist besonders bei Patient*innen mit einem ungünstigen Outcome sehr arbeitsintensiv. So lässt eine längere Behandlungsdauer in dieser Phase auf rehabilitative Beeinträchtigungen schließen. Dies spiegelt sich auch in der Auswertung unserer Ergebnisse wider. In der Phase C werden nur in der vorliegenden Studie 20% der bilateral kraniektomierten Patient*innen behandelt. Dies liegt maßgeblich an den Anforderungen, um in die Phase C zu wechseln. Die Patient*innen müssen teilmobilisiert sein und täglich bis zu 30 Minuten bei der Therapie mitarbeiten können (26). Bei einem ungünstigen Outcome und geminderter Vigilanz erreichen viele Patient*innen nicht die

Phase C. Zusätzlich werden einige Patient*innen für die Phase C in heimatnahe Rehabilitationskliniken verlegt, da die Frührehabilitation der Phase B nur in wenigen Kliniken angeboten wird (27). Weite Entfernungen zur Familie bedeuten oft eine große Fahrbelastung und eine Einschränkung der Besuchsmöglichkeiten. Die Behandlungsdauer der Phase C ist in beiden Gruppen ähnlich. In der gesamten Behandlungsdauer in der NRBKR ist ein nicht signifikanter Unterschied zwischen bilateraler und unilateraler Patientengruppe zu erkennen. Bilateral kraniektomierte Patient*innen werden im Schnitt knapp drei Monate länger rehabilitativ behandelt.

5.1.4 Outcome

Entsprechend der Arbeitshypothese zeigt die bilaterale Patient*innengruppe ein ungünstigeres Outcome als die unilaterale Patient*innengruppe.

In den frühen Phasen der Rehabilitation, wie auf der Intensivstation und in der Phase B, sind sich beide Gruppen auf der GOSE und im BI sehr ähnlich. Dies ist dem Spektrum der GOSE geschuldet. Die Skala betrachtet die Vigilanz und Eigenständigkeit der Patient*innen bis hin zur Fähigkeit einen Beruf ausüben zu können. In der Frührehabilitation ist sie jedoch weniger sensitiv. Der Vorteil der GOSE liegt in der zeitsparenden Erhebung der Daten, die mit einem vergleichsweise kurzem Fragebogen durchgeführt wird (65). Das Patient*innenkollektiv ist sich in dieser Phase noch ähnlich und es treten nur feine rehabilitative Unterschiede, wie Verhaltens-, Schluck- und Vigilanzstörungen auf. Auch der BI zielt auf die eigenständige Ausübung von Alltagshandlungen ab, die in den frühen Rehabilitationsphasen noch nicht gegeben ist. Im FRBI werden frühe Rehabilitationsunterschiede zwischen beiden Gruppen deutlicher. In dieser Rehabilitationsstufe liegt er im stark negativen Bereich. In der Phase B erreicht die unilaterale Kohorte bessere FRBI-Werte als die bilaterale Kohorte.

Bei Entlassung zeigen sich signifikante Unterschiede zwischen den beiden Kohorten auf allen drei Skalen. Bei Entlassung liegt der durchschnittliche FRBI im unilateralen Kollektiv im positiven Bereich und in der bilateralen Gruppe im negativen Bereich. Dies führt zu der Annahme, dass unilateral kraniektomierte Patient*innen bei Entlassung deutlich weniger Rehabilitationserschwernisse aufwiesen als bilateral kraniektomierte Patient*innen. Der maximale Wert auf der GOSE unter den bilateral kraniektomierten Patient*innen bei Entlassung ist mit vier Punkten im ungünstigen Bereich. In der unilateralen Kohorte erreichen die Patient*innen bei Entlassung bis zu sieben Punkte auf der GOSE. Auch nach einer deutlich längeren Behandlungsdauer der bilateral kraniektomierten Patient*innen sind

die Outcome-Werte bei Entlassung ungünstiger. Das unterschiedliche Outcome „kurz“ und „lang“ behandelter Patient*innen wurde in beiden Kohorten bezüglich der GOSE untersucht. Es zeigen sich in beiden Kohorten günstigere Outcome-Werte in der „kurz“ behandelten Untergruppe. Im Follow Up der unilateral kraniektomierten Patient*innen sind die Unterschiede statistisch signifikant.

Diese unterschiedliche Entwicklung verdeutlicht sich in den Ergebnissen des Follow Ups. Die Entwicklungen der GOSE- und BI-Kurven im Follow Up legen nahe, dass in der Zeitspanne zwischen Entlassung aus der Rehaklinik und Ausfüllen des Fragebogens in beiden Kohorten ein deutlicher positiver Rehabilitationsprozess stattgefunden hat. Dieser Progress ist in der unilateralen Kohorte stärker ausgeprägt. Im BI wird vor allem unter den unilateral kraniektomierten Patient*innen mit günstigem Outcome ein „Ceiling Effect“ deutlich. Die maximale Punktzahl auf dieser Skala wird bereits mit der selbstständigen Ausführung von Alltagstätigkeiten, wie Treppensteigen und Ankleiden erreicht (40). Parameter wie das Ausführen einer geregelten Arbeit und die gesellschaftliche Integration sind kein Teil der Skala. Diese Parameter werden von der GOSE abgefragt, die ihre Schwächen in der Frührehabilitation hat (67, 68). Deshalb ist die Erhebung der Outcomes auf verschiedenen Skalen sinnvoll.

Zusätzlich geben die zwei Fragen in Anlehnung an die Quality-of-Life Scale im Follow Up-Fragebogen einen Einblick in die persönliche Wahrnehmung der Patient*innen beziehungsweise der pflegenden Bezugspersonen. Interessant ist, dass 75% der bilateral kraniektomierten Patient*innen und 70% der unilateral kraniektomierten Patient*innen von einer Persönlichkeitsveränderung seit dem Ereignis sprechen. Dies verdeutlicht eindrücklich, wie einschneidend die Unfälle und langen Rehabilitationsprozesse für die oft noch jungen Patient*innen sind. Bei Nachuntersuchungsterminen in der NRBKR im Rahmen der vorliegenden Studie berichten 2 „vollständig“ rehabilitierte Patienten mit einer GOSE von 8 und einem BI von 100, durch den Unfall im minderjährigen Alter und den langen Rehabilitationsprozess aus ihrem sozialen Umfeld gerissen worden zu sein. Freund*innen hätten sich von ihnen distanziert und auch jetzt seien sie in ihrer Kontaktaufnahme gehemmt. Mehrere Patient*innen mit günstigem Outcome sprechen in den Fragebögen des Follow Ups von Konzentrationsstörungen und Persönlichkeitsveränderungen, obwohl sie auf den Outcome Skalen als vollständig rehabilitiert gewertet werden. Auch Morgalla et al. (2008) berichten von kognitiven Problemen im Sinne von Konzentrations- und Gedächtnisstörungen nach DC bei allen Patient*innen der Kohorte (65).

Nur wenige Studien veröffentlichen rehabilitative Ergebnisse auf mehr als einer Skala, weshalb die Vergleichbarkeit der Ergebnisse sich auf die einzelnen Skalen beschränkt. Zudem gestaltet sich eine direkte Gegenüberstellung der verschiedenen Studien aufgrund von unterschiedlichen Patient*innenkollektiven, Parametern, Indikationsstellungen und Operationstechniken schwierig. So konzentrieren wir uns hier auf einen Vergleich der GOSE-Werte im Follow Up mit anderen Studien (vgl. Tabelle 10, Seite 43). Der Anteil aller Patient*innen mit günstigem Outcome auf der GOSE im Follow Up (30% gesamte Kohorte, 20% bilaterale Kohorte, 40% unilaterale Kohorte) ist vergleichbar mit den Ergebnissen der kraniektomierten Patient*innen in der DECRA-Studie, in der RESCUEicp-Studie, bei Schneider et al. (2002) und bei Nambiar et al. (2015) (1, 2, 42, 49). Die unterschiedlichen Werte auf der GOSE im Follow Up werden von den Angaben zum selbstständigen Ausfüllen des Follow Up-Fragebogens ergänzt. Ein deutlich höherer Anteil in der bilateral kraniektomierten Kohorte gibt an erhebliche Unterstützung bei der Beantwortung der Fragen zu benötigen (vgl. Abbildung 11).

Der durchschnittliche Abstand des Follow Ups zur Entlassung beträgt in unserer Studie in der unilateralen Kohorte 7,3 Jahre und in der bilateralen Kohorte 5,4 Jahre. Er ist deutlich länger als in anderen veröffentlichten Studien. Der durchschnittlich lange Zeitraum zwischen Entlassung und Follow Up stellt eine Stärke unserer Studie dar. Der Rehabilitationsprozess kann über einen längeren Zeitraum besser verfolgt werden und auch langsame positive Entwicklungen werden erfasst. Patient*innen nach einem SHT sind einem langen Rehabilitationsprozess ausgesetzt, sodass eine langfristige Datenerhebung sinnvoll ist. Auf der anderen Seite wurden nur knapp 50% der Patient*innen zum Follow Up erreicht, was der langen Zeitspanne geschuldet ist. Verstorbene Patient*innen gingen mit einem Punkt auf der GOSE in das Follow Up-Outcome ein.

Die DECRA-Studie hat den Rehabilitationsprozess erst nach sechs Monaten und dann nach 12 Monaten erneut untersucht. Das Outcome der kraniektomierten Patient*innen habe sich nicht wesentlich verändert. Der Unterschied zwischen kraniektomierter und konservativ behandelte Kohorte sei nach 12 Monaten zwar noch vorhanden, jedoch nicht mehr statistisch signifikant (66).

Tabelle 10: Übersicht der Ergebnisse der aktuellen Studien zum Thema DC (Randomisierte Studien sind fett gedruckt)

Überblick der aktuellen Ergebnisse zum Thema DC

	Patienten- anzahl n	Ungünstiges Outcome in Prozent (GOSE 1-4)	Günstiges Outcome in Prozent (GOSE 5-8)	Durch- schnittliche Zeitspanne bis Follow Up in Monaten
**DECRA, 2020 (66)	72	59	41	12
**DECRA, 2011 (1)	73	70	30	6
**RESCUEicp, 2016 (2)*	202	68	32	12
Khan et al., 2017 (67)	69	63,8	36,2	Bei Entlassung
Grille et al., 2015 (54)	64	64	34	Bei Entlassung von ICU Akutklinik
Nambiar et al., 2015 (42)	57	68	26	6
Gouello et al., 2014 (43)	60	50	50	24
Ecker et al., 2011 (57)	33	40	60	24
Olivecrona et al., 2007 (50)	21	29	71	Keine Angabe
Chibbaro et al., 2007 (23)	48	43	52	14
Aarabi et al., 2006 (68)	50	60	40	10
Albanese et al., 2003 (59)	40	75	25	12
Schneider et al., 2002 (49)	62	70,9	29,1	6
Whitfield et al., 2001 (69)	26	31	69	6
Guerra et al., 1999 (55)	57	39	58	Keine Angabe

*Cutoff-Wert an die Einteilung der vorliegenden Studie angepasst.

**Randomisierte Studien sind fett gedruckt.

Die Mortalität spielt in den verschiedenen Studien eine wesentliche Rolle bei der Präsentation der Ergebnisse. In der vorliegenden Studie kann die Mortalität nicht als valide betrachtet werden, da nur Patient*innen in das Kollektiv aufgenommen wurden, die die NRBKR erreicht haben. So wurden Patient*innen, die in der Akutphase verstorben sind, nicht in die Auswertung eingeschlossen.

Jedoch lässt sich sagen, dass doppelt so viele Patient*innen aus der bilateralen Kohorte im Rehabilitationsprozess verstorben sind wie aus der unilateralen Kohorte. Die Mortalität von 20% respektive 8% der Patient*innen ist ähnlich der Mortalitätsrate in der DECRA-Studie, die jedoch ebenso gewisse Selektionskriterien vorweist (1, 11). In den Studien von Nambiar

et al. (2015) und Hutchinson et al. (2016) liegt die Mortalität deutlicher höher bei bis zu 47% (2, 42).

5.1.5 Komplikationen

Unter den bilateral kraniektomierten Patient*innen trat im Rahmen der deutlich längeren Rehabilitationsaufenthalte auch eine höhere Komplikationsrate auf (vgl. Abbildung 15). Die Unterschiede sind nicht statistisch signifikant, jedoch lässt sich eine Korrelation zwischen vermehrten neurologischen Komplikationen und einem ungünstigeren Outcome feststellen. So verdeutlicht auch die erhöhte Komplikationsrate in der bilateral kraniektomierten Kohorte unsere Arbeitshypothese eines ungünstigeren Outcomes in dieser Gruppe.

Die häufigsten Komplikationen treten im Rahmen von Liquorabflussstörungen auf, die zur Implantation eines VP-Shunts führen. Dieser Aspekt wird in Kapitel 5.1.6. ausführlicher diskutiert. Im Rahmen einer Liquorabflussstörung kann es auch zur Ansammlung von Hygromen kommen. Dies ist in der vorliegenden Studie bei 24% der bilateral kraniektomierten Patient*innen respektive 28% der unilateral kraniektomierten Patient*innen der Fall. Kurland et al. (2015) berichten in ihrer Systematic Review von einer kumulativen Inzidenz von 27,4%, was mit unseren Ergebnissen vergleichbar ist (70). In der Studie von Honeybul et al. (2012) ist der Anteil der Patient*innen, die Hygrome entwickeln mit 58% deutlich höher. Gleichzeitig zeigt die Auswertung, dass die Ansammlung von Hygromen ähnlich anderen Liquorabflussstörungen zu einem ungünstigeren Outcome führt. Das Auftreten der Liquorabflussstörungen wird bei Honeybul et al. (2012) nicht mit der DC, sondern vielmehr mit der Schwere des initialen Traumas in Verbindung gebracht (71). In unserem Kollektiv tritt kein relevanter Unterschied zwischen den beiden Patientengruppen auf.

Des Weiteren leiden 48% der bilateral kraniektomierten Patient*innen im Verlauf unter epileptischen Anfällen. Dieser Anteil ist höher als in der unilateral kraniektomierten Kohorte. Es ist jedoch nicht klar, ob sich die epileptischen Anfälle nach SHT/SAB, nach DC oder nach Kranioplastik entwickelten. In der Literatur werden all diese Varianten beschrieben (72–75). Die Inzidenz für posttraumatische Epilepsien nach SHT nimmt mit der Schwere der Grundverletzung zu (72, 76). Nimmt man an, dass bilateral kraniektomierte Patient*innen an ausgeprägteren intrakraniellen Verletzungen leiden, lässt sich so der Unterschied im Kontrast zu Vergleichsgruppe erklären. Generell besteht die Empfehlung zur prophylaktischen antiepileptischen Therapie, die entsprechend der deutschen Leitlinie in der Akutphase der Studie umgesetzt wurde (10, 18). In den verschiedenen Studien liegt der

Anteile der Patient*innen mit epileptischen Anfällen nach DC zwischen 3% und 68% (73, 77, 78). Huang et al. (2015) finden keine Unterschiede zwischen Patient*innen mit epileptischen Anfällen und solchen ohne bezüglich des Outcomes bei Entlassung und Mortalität (77). Dies deckt sich nicht mit unserer Auswertung, die eine Korrelation zwischen hoher Komplikationsrate und ungünstigerem Outcome zeigt.

Die Rate von Blutungskomplikationen nach DC wird in der Systematic Review von Kurland et al. (2015) mit 12% angegeben (70). Dies entspricht den Werten der bilateralen Kohorte und ist höher als in der unilateralen Kohorte (4%). Nachblutungen haben einen negativen Effekt auf das Outcome und verlängern die Behandlungsdauer (70).

Im Rahmen der langen intensivmedizinischen und rehabilitativen stationären Aufenthalte findet bei 74% aller Patient*innen der vorliegenden Studie die Versorgung mit einer Trachealkanüle statt, um die Beatmung zu vereinfachen. Die neurogene Dysphagie macht ein Verweilen der Trachealkanüle oft notwendig, um Aspirationspneumonien zu vermeiden. SHTs und lange Intensivstationsaufenthalte sind Prädiktoren für die Entwicklung einer neurogenen Dysphagie (79). Trotz der präventiven Maßnahmen erleidet ein Drittel der Patient*innen beider Kohorten eine Aspirationspneumonie. Die Aspirationspneumonie ist in unserem Kollektiv die führende Komplikation aufgrund derer Patient*innen auf die nrICU zurückverlegt werden müssen. Patient*innen der bilateralen Kohorte sind durchschnittlich länger mit einer Trachealkanüle versorgt. Eine lange Verweildauer der Trachealkanüle korreliert in unserer Auswertung mit einem ungünstigeren Outcome.

Die häufigste nicht-neurologische Komplikation ist in der vorliegenden Studie die nosokomiale Harnwegsinfektion (34% aller Patient*innen). Die dauerhafte Katheterisierung und lange intensivmedizinische Aufenthalte sind hierfür Risikofaktoren (80). Diese nicht-neurologische Komplikation lässt sich glücklicherweise gut behandeln und bietet keinen Hinweis auf eine Korrelation mit einem ungünstigeren Outcome.

Des Weiteren leiden drei bilateral und zwei unilateral kraniektomierten Patient*innen unter Wundheilungsstörungen der Kraniektomiewunde. Kurland et al. (2015) sprechen von 8,1% Wundheilungsstörungen in ihrer Systematic Review, was unseren Daten ähnlich ist (70). Bezüglich der Notwendigkeit von operativen Sanierungen sind keine Daten bekannt.

Bei langer rehabilitativer Behandlungsdauer, die teilweise über Monate und Jahre andauert, finden viele Verlegungen der Patient*innen auf unterschiedliche Stationen der NRBKR statt. Wir haben ausgewertet, wie viele Patient*innen von der rehabilitativen Normalstation auf die nrICU zurückverlegt wurden. Dies markiert eine deutliche Verzögerung des rehabilitativen Prozesses. Es spiegelt sich außerdem in ungünstigeren Outcomes der

zurückverlegten Patient*innen wider. Mit einem Anteil von 24% werden deutlich mehr bilateral kraniektomierte Patient*innen auf die nrICU zurückverlegt als in der unilateral Kohorte (8%). Auch dies unterstreicht unsere Arbeitshypothese.

5.1.6 VP Shunt

In der vorliegenden Studie treten Liquorabflussstörungen signifikant häufiger in der bilateral kraniektomierte Kohorte auf. So sind 68% der bilateral operierten und 20% der unilateral operierten Patient*innen mit einem VP-Shunt versorgt. Die Prävalenz ist in der bilateralen Kohorte deutlich höher als in der Literatur. In der unilateralen Kohorte ähneln die Zahlen der Systematic Review (14,8%) von Kurland et al. (2015) (70). Nasi et al. (2020) berichten in ihrer Systematic Review von Prävalenzen zwischen 11,9% und 36% (81).

Die DC führt zu einer Veränderung des Liquorflusses und stellt deshalb einen Risikofaktor für einen VP-Shunt-pflichtigen Hydrozephalus dar (82). Der pulsatile Charakter des Liquorflusses geht durch die Dekompression verloren (83).

Das Outcome von Patient*innen, die mit einem VP-Shunt versorgt sind, ist im Follow Up signifikant ungünstiger als ohne VP-Shunt. Auch Honeybul et al. (2012) und Ozoner et al. (2020) beschreiben ein erhöhtes Risiko der Patient*innen mit VP-Shunt-pflichtigem Hydrozephalus für das Auftreten eines ungünstigen Outcome und langer Behandlungszeiten (71, 83).

Von 17 bilateral kraniektomierten Patient*innen erhalten fünf den VP-Shunt nach Kranioplastik. Dies ist im Rahmen einer sekundären Liquorabflussstörung zu werten. Der Anteil von 29% ist deutlich höher als in der Systematic Review von Kurland et al. (2015). Hier werden 5,4% sekundäre Liquorabflussstörungen beschrieben (70). Krause et al. (2016) bewerten einen VP-Shunt-pflichtigen Hydrozephalus nach Kranioplastik als Risikofaktor für ein ungünstigeres Outcome (21). Ozoner et al. (2020) untersuchen ebenfalls sekundäre Liquorabflussstörungen. In ihrer Studie ist der Anteil an allen Hydrozephalen deutlich höher, ebenso bei Nasi et al. (2018) (83, 84).

5.1.7 Kranioplastik

Die Zeitspanne der KP nach DC wird in der Literatur intensiv diskutiert. In der vorliegenden Studie besteht kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Kohorten. Mit einer durchschnittlichen Zeitspanne von 120 Tagen (bilateral), respektive 85 Tagen (unilateral) befindet sich die unilaterale Kohorte eher im Bereich der frühen KP. Ein optimaler Zeitpunkt für die Kranioplastik steht aktuell noch nicht fest und sollte individuell entschieden werden (18). Archavlis et al. (2012) finden große Verbesserungen des Outcomes bei einer frühen

KP nach 7 Wochen (85). Des Weiteren haben Patient*innen mit einer frühen KP in einigen Studien eine deutlich erniedrigte Komplikationsrate, inklusive einer niedrigeren Inzidenz von Hydrozephalen im Rahmen sekundärer Liquorabflussstörungen (83, 84, 86). Paredes et al. (2015) kamen zu anderen Ergebnissen und haben eine frühe KP als prädiktiven Wert für eine erhöhte Komplikationsrate festgelegt (20).

Häufige Komplikationen nach KP sind in der vorliegenden Studie Wundinfektionen, postinterventionelle Blutungen, Subduralhygrom und nötige Revisionseingriffe. Mit einer gesamten Komplikationsrate von 29% ist sie etwas höher, aber vergleichbar mit anderen Studien (87). Zwischen den beiden Kohorten liegt kein signifikanter Unterschied vor. Die Komplikationsrate ist unter den bilateral kraniektomierten Patient*innen höher.

Das Komplikationsrisiko muss bei der Wahl des optimalen Zeitpunktes der KP mit in Betracht gezogen werden. Patient*innen, die sich im Rehabilitationsprozess einer DC befinden, sind vulnerabel und die rehabilitative Entwicklung kann durch Komplikationen nach KP empfindlich gestört werden (12, 86).

Nach KP wurden mehrere Patient*innen erst wieder zum Follow Up gesehen, da die Operation häufig in der Phase C in einer anderen Rehabilitationsklinik oder mit einem gesonderten stationären Aufenthalt in der Akutklinik und Entlassung nach Hause durchgeführt wurde. So ist eine Einschätzung des veränderten Rehabilitationsprozesses unmittelbar nach KP nicht durchzuführen.

5.2 Stärken und Schwächen der Arbeit

Die vorliegende Studie vergleicht den Rehabilitationsprozess von Patient*innen nach bilateralen und unilateralen Kraniektomien. Dies ist ein Ansatz, der sich so in der Literatur bisher nicht finden lässt. Durch das Matching der beiden Kohorten bezüglich einschlägiger Merkmale, wie Alter, Geschlecht und Ursachen wird eine bestmögliche Vergleichbarkeit erzielt. Der initiale Wert auf der GCS zeigt in beiden Gruppe einen ähnlichen Durchschnitt, was für eine Vergleichbarkeit des Ausgangszustandes spricht. Eine randomisierte Studie würde einen optimalen Ansatz darstellen, jedoch ist dies im retrospektiven Setting nicht möglich. Auch unterschiedliche Ätiologien erschweren die Vergleichbarkeit der Patient*innen. Eine Reduzierung jahrelanger Rehabilitationsprozesse auf einen Datensatz bleibt problematisch und weist Schwächen auf. Durch die Umstellung der klinikinternen Dokumentationsstrategien über den Zeitraum der Datenerfassung und die retrospektive Datenerhebung ist der Datensatz nicht komplett. Des Weiteren besteht eine Selektion der

Patient*innen, da nur innerhalb der NRBKR rekrutiert wurde und Patient*innen, die in der Akutphase verstorben sind, nicht in das Kollektiv aufgenommen wurden.

Eine Stärke der vorliegenden Studie stellt die Untersuchung des Outcomes auf drei verschiedenen Skalen dar. Jede dieser Skalen hat ihren optimalen Anwendungszeitpunkt, in dem sie den Rehabilitationsstand der Patient*innen erfasst. Zusätzlich dazu bieten die Quality-of-Life ähnlichen Fragen im Follow Up einen Einblick in die subjektive Wahrnehmung der Patient*innen. Durch die lange Rehabilitationsdauer auch nach Entlassung bei SHT-Patient*innen, bietet unser Follow Up einige Jahre später die Möglichkeit auch langsame und spätere Entwicklungen und Verbesserungen zu erfassen. Gleichzeitig bedeutet dies, dass wir einen Teil der Patient*innen aufgrund von fehlenden oder geänderten Kontaktdaten nicht mehr für das Follow Up rekrutieren konnten.

Die Analyse der Komplikationen anhand der Anzahl ist nicht der optimale Ansatz, da unterschiedliche Komplikationen unterschiedliche Erschwernisse bedeuten. So wurden mehrere Patient*innen aufgrund von Aspirationspneumonie zurück auf die nrICU verlegt, während ein Harnwegsinfekt wenig Einfluss auf den weiteren Rehabilitationsverlauf hatte. Generell ist diese Studie ein erster Schritt um Unterschiede im Rehabilitationsverlauf von unilateral und bilateral kraniektomierten Patient*innen aufzuzeigen. Es wäre wünschenswert, dieses Thema in weiteren Studien ausführlicher zu untersuchen.

5.3 Fazit

Die Arbeitshypothese des ungünstigeren Outcomes bei bilateral kraniektomierten Patient*innen bestätigt sich in der vorliegenden Studie. Auch in den weiteren untersuchten Bereichen des Rehabilitationsprozesses, wie Komplikationsrate, Behandlungsdauer und subjektiver Zufriedenheit der Patient*innen zeigen sich günstigere Ergebnisse in der unilateralen Kohorte. Aufgrund der kleinen Patient*innenzahl und der Uneinigkeit in der Literatur über die Empfehlung der DC sind weitere Untersuchungen des Themas anzustreben.

6 Zusammenfassung

Die dekompressive Kraniektomie ist eine chirurgische Therapieoption der intrakraniellen Hypertension. Vor allem nach Schädel-Hirn-Traumata, aber auch Infarkten, SABs und intrakraniellen Blutungen steigt der intrakranielle Druck aufgrund von verdrängenden Massenläsionen oder diffuser Ödembildung. Aufgrund der starren Hüllen des Schädels kann sich das Hirngewebe nur begrenzt ausdehnen, was zu einer verminderten venösen und arteriellen Durchblutung führt. Im Rahmen der DC wird ein Stück der Schädelkalotte entfernt und die Dura eröffnet. Die DC gilt als effektive Maßnahme, den intrakraniellen Druck zu senken und die Sterblichkeit der Patient*innen zu reduzieren. Nach einem derartigen Eingriff liegt ein langer Rehabilitationsprozess vor den Patient*innen, der zusammen mit dem Outcome in der vorliegenden Studie untersucht wird.

Im Rahmen einer klinischen retrospektiven Studie mit anschließendem Follow Up wurden 25 Patient*innen nach bilateraler (bifrontaler, bitemporaler und biparietaler) DC einer bezüglich Alter, Geschlecht und Ätiologie angepassten Vergleichsgruppe nach unilateraler DC gegenübergestellt. Alle Patient*innen wurden in der NRBKR stationär rehabilitativ behandelt. Die beiden Kohorten wurden bezüglich ihres Outcomes und Rehabilitationsprozesses untereinander verglichen. Das Outcome wurde auf der Extended Glasgow Outcome Scale, dem Früh-Rehabilitations Barthel Index und dem Barthel Index bei Aufnahme auf die nrICU, bei Aufnahme in die Rehabilitationsphase B und bei Entlassung eingeordnet. Bezüglich des Klinikaufenthaltes wurden aus den Arztbriefen Basisdaten der Akutphase, Behandlungsdauer, Komplikationen und Daten zur Kranioplastik erfasst. Mindestens 6 Monate nach Behandlungsdauer fand ein Follow Up mit einem Fragebogen statt. Dieser Fragebogen umfasste neben der GOSE und dem BI zwei Fragen in Anlehnung an die Quality-of-Life Scale.

Im Outcome zeigten die bilateral kraniektomierten Patient*innen ungünstigere Werte auf allen Skalen. Die Unterschiede zwischen den beiden Gruppen waren erst zu späteren Zeitpunkten, wie Entlassung und Follow Up signifikant. Das Follow Up zeigte sowohl auf der GOSE als auch BI deutliche Unterschiede zwischen der Anzahl bilateral und unilateral kraniektomierter Patient*innen, die ein günstiges Outcome erreichten. Ein Großteil der Patient*innen gab im Follow Up an, trotz günstigen Outcome-Ergebnissen unter Persönlichkeitsveränderungen und Konzentrationsstörungen zu leiden. Weder die

Behandlungsdauer noch das Alter der Patient*innen stellte einen prädiktiven Faktor für ein günstiges oder ungünstiges Outcome dar. Die Zeitspanne zwischen DC und Aufnahme in die Akutklinik war in der unilateral kraniektomierten Kohorte signifikant kürzer. Die Behandlungsdauer war in der bilateralen Kohorte deutlich länger, ohne einen signifikanten Unterschied zur unilateral kraniektomierten Kohorte aufzuweisen. Die häufigste Komplikation in der bilateral kraniektomierten Patient*innengruppe war die Entwicklung eines Hydrozephalus, was zur Implantation eines VP-Shunts führte. Patient*innen mit VP-Shunt erreichten ein ungünstigeres Outcome als ohne VP-Shunt.

Aufgrund der kleinen Patient*innenkohorte und des langen und individuell unterschiedlichen Rehabilitationsprozesses lässt sich keine definitive Aussage über die Unterschiede zwischen den beiden Kohorten treffen. Die Arbeitshypothese des ungünstigeren Outcomes in der bilateralen Kohorte wird in den meisten Punkten bestätigt. In Zusammenschau mit der Literatur fällt ein großes Spektrum an Ergebnissen der aktuellen Studien auf. Die Entscheidung zur bilateralen DC sollte individuell getroffen werden und Faktoren, wie das Alter, das soziale Umfeld und das Rehabilitationspotenzial umfassen. Für genauere Ergebnisse ist weitere Forschung in großen randomisierten Studien vonnöten.

7 Literaturverzeichnis

1. 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. doi: 10.1056/NEJMoa1102077.
2. 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. doi: 10.1056/NEJMoa1605215.
3. Rakhit S, Nordness MF, Lombardo SR, Cook M, Smith L, Patel MB. Management and Challenges of Severe Traumatic Brain Injury. *Semin Respir Crit Care Med* 2021; 42(1):127–44. doi: 10.1055/s-0040-1716493.
4. Werner C, Engelhard K. Pathophysiology of traumatic brain injury. *Br J Anaesth* 2007; 99(1):4–9. doi: 10.1093/bja/aem131.
5. Huttner H. et al. Intrakranieller Druck (ICP), S1-Leitlinie; 2018 [Stand: 23.06.2018]. Verfügbar unter: www.dgn.org/leitlinien.
6. Balestreri M, Czosnyka M, Hutchinson P, Steiner LA, Hiler M, Smielewski P et al. Impact of intracranial pressure and cerebral perfusion pressure on severe disability and mortality after head injury. *Neurocrit Care* 2006; 4(1):8–13. doi: 10.1385/NCC:4:1:008.
7. Monro A. Observations on the structure and functions of the nervous system; 1783.
8. Kellie G. An Account of the Appearances Observed in the Dissection of Two of Three Individuals Presumed to Have Perished in the Storm of the 3d, and Whose Bodies Were Discovered in the Vicinity of Leith on the Morning of the 4th, November 1821; with Some Reflections on the Pathology of the Brain: Part I. *Trans Med Chir Soc Edinb* 1824; 1:84–122.
9. Wilson MH. Monro-Kellie 2.0: The dynamic vascular and venous pathophysiological components of intracranial pressure. *J Cereb Blood Flow Metab* 2016; 36(8):1338–50. doi: 10.1177/0271678X16648711.
10. Carney N, Totten AM, O'Reilly C, Ullman JS, Hawryluk GWJ, Bell MJ et al. Guidelines for the Management of Severe Traumatic Brain Injury, Fourth Edition. *Neurosurgery* 2017; 80(1):6–15. doi: 10.1227/NEU.0000000000001432.
11. Sahuquillo J, Dennis JA. Decompressive craniectomy for the treatment of high intracranial pressure in closed traumatic brain injury. *Cochrane Database Syst Rev* 2019; 12:CD003983. doi: 10.1002/14651858.CD003983.pub3.
12. 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. doi: 10.1007/s00701-019-03936-y.
13. E. Rickels. Das Schädel-Hirn-Trauma. *Intensivmedizin und Notfallmedizin* 2003; (8):658–71.
14. Kurzbuch AR. Does size matter? Decompressive surgery under review. *Neurosurg Rev* 2015; 38(4):629–40. doi: 10.1007/s10143-015-0626-2.
15. Anton JV WPA. Dekompressive Kraniektomie in der Neurotraumatologie. *Journal für Neurologie, Neurochirurgie und Psychiatrie* 2015; (16):103–10.
16. Polin RS, Shaffrey ME, Bogaev CA, Tisdale N, Germanson T, Bocchicchio B et al. Decompressive bifrontal craniectomy in the treatment of severe refractory posttraumatic cerebral edema. *Neurosurgery* 1997; 41(1):84-92; discussion 92-4.
17. Quinn TM, Taylor JJ, Magarik JA, Vought E, Kindy MS, Ellegala DB. Decompressive craniectomy: technical note. *Acta Neurol Scand* 2011; 123(4):239–44. doi: 10.1111/j.1600-0404.2010.01397.x.

18. Firsching, R., Rickels E., Mauer, U.M., Sakowitz, O.W., Messinger-Jüger, M., Engelhard, K., Schwenkreis, P., Linn, J., Schwerdtfeger, K. Leitlinie Schädelhirntrauma im Erwachsenenalter: Deutsche Gesellschaft für Neurochirurgie (DGNC); 2015. Verfügbar unter: <https://www.awmf.org/leitlinien/detail/ll/008-001.html>.
19. Archavlis E, Nievas MC. Kranioplastik nach supratentorieller dekompressiver Kraniektomie : Wann ist der Zeitpunkt optimal? *Nervenarzt* 2012; 83(6):751–8. doi: 10.1007/s00115-011-3424-2.
20. Paredes I, Castaño-León AM, Munarriz PM, Martínez-Perez R, Cepeda S, Sanz R et al. Cranioplasty after decompressive craniectomy. A prospective series analyzing complications and clinical improvement. *Neurocirugia (Astur)* 2015; 26(3):115–25. doi: 10.1016/j.neucir.2014.10.001.
21. Krause-Titz UR, Warneke N, Freitag-Wolf S, Barth H, Mehdorn HM. Factors influencing the outcome (GOS) in reconstructive cranioplasty. *Neurosurg Rev* 2016; 39(1):133–9. doi: 10.1007/s10143-015-0678-3.
22. Aarabi B, Hesdorffer DC, Simard JM, Ahn ES, Aresco C, Eisenberg HM et al. Comparative study of decompressive craniectomy after mass lesion evacuation in severe head injury. *Neurosurgery* 2009; 64(5):927-39; discussion 939-40. doi: 10.1227/01.NEU.0000341907.30831.D2.
23. Chibbaro S, Tacconi L. Role of decompressive craniectomy in the management of severe head injury with refractory cerebral edema and intractable intracranial pressure. Our experience with 48 cases. *Surg Neurol* 2007; 68(6):632–8. doi: 10.1016/j.surneu.2006.12.046.
24. Soustiel JF, Svirgi GE, Mahamid E, Shik V, Abeshaus S, Zaaroor M. Cerebral blood flow and metabolism following decompressive craniectomy for control of increased intracranial pressure. *Neurosurgery* 2010; 67(1):65-72; discussion 72. doi: 10.1227/01.NEU.0000370604.30037.F5.
25. Ackermann, H., Schönle P.-W. Multiprofessionelle neurologische Rehabilitation - Leitlinie; 2012. Verfügbar unter: https://dgn.org/wp-content/uploads/2013/01/ll_87_multiprofessionelle_neurologische_rehabilitation.pdf.
26. Bundesarbeitsgemeinschaft für Rehabilitation. Empfehlungen zur Neurologischen Rehabilitation von Patienten mit schweren und schwersten Hirnschädigungen in den Phasen B und C der Bundesarbeitsgemeinschaft für Rehabilitation (BAR). Schriftenreihe der Bundesarbeitsgemeinschaft für Rehabilitation 1995.
27. Koenig E. Frührehabilitation. In: Schwab S, Schellinger P, Werner C, Unterberg A, Hacke W, Hrsg. *NeuroIntensiv*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2012. S. 309–19.
28. Bundesarbeitsgemeinschaft für Rehabilitation. Empfehlungen zur Neurologischen Rehabilitation von Patienten mit schweren und schwersten Hirnschädigungen in den Phasen B und C der Bundesarbeitsgemeinschaft für Rehabilitation (BAR). Schriftenreihe der Bundesarbeitsgemeinschaft für Rehabilitation 1995.
29. Himaj J, Müller E, Fey B, Neumaier S, Waibel B, Dirschedl P et al. Elzacher Konzept und Leistungskatalog der therapeutischen Pflege in der neurologischen Frührehabilitation (Phase B). *Rehabilitation (Stuttg)* 2011; 50(2):94–102. doi: 10.1055/s-0030-1263189.
30. Stier-Jarmer M, Koenig E, Stucki G. Strukturen der neurologischen Frührehabilitation (Phase B) in Deutschland. *Phys Rehab Kur Med* 2002; 12(5):260–71 [Stand: 22.08.2018]. Verfügbar unter: [https://www.dgpmr.de/attachments/054_Strukturen%20der%20neurologischen%20Fr%C3%BChrehabilitation%20\(Phase%20B\)%20in%20Deutschland.pdf](https://www.dgpmr.de/attachments/054_Strukturen%20der%20neurologischen%20Fr%C3%BChrehabilitation%20(Phase%20B)%20in%20Deutschland.pdf).
31. Hummelsheim H, Hrsg. *Neurologische Rehabilitation*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 1998.

32. Jennett B, Teasdale G. Aspects of coma after severe head injury. *Lancet* 1977; 1(8017):878–81.
33. Baratham G, Dennyson WG. Delayed traumatic intracerebral haemorrhage. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1972; 35(5):698–706. doi: 10.1136/jnnp.35.5.698.
34. Sahuquillo J, Arikian F. Decompressive craniectomy for the treatment of refractory high intracranial pressure in traumatic brain injury. *Cochrane Database Syst Rev* 2006; (1):CD003983. doi: 10.1002/14651858.CD003983.pub2.
35. Jennett B, Bond M. Assessment of outcome after severe brain damage. *Lancet* 1975; 1(7905):480–4.
36. Jennett B, Snoek J, Bond MR, Brooks N. Disability after severe head injury: observations on the use of the Glasgow Outcome Scale. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1981; 44(4):285–93.
37. Wilson JT, Pettigrew LE, Teasdale GM. Structured interviews for the Glasgow Outcome Scale and the extended Glasgow Outcome Scale: guidelines for their use. *J Neurotrauma* 1998; 15(8):573–85. doi: 10.1089/neu.1998.15.573.
38. MAHONEY FI, BARTHEL DW. FUNCTIONAL EVALUATION: THE BARTHEL INDEX. *Md State Med J* 1965; 14:61–5.
39. Schönle PW. Der Frühreha-Barthelindex (FRB)--eine frührehabilitationsorientierte Erweiterung des Barthelindex. *Rehabilitation (Stuttg)* 1995; 34(2):69–73.
40. Dromerick AW, Edwards DF, Diringner MN. Sensitivity to changes in disability after stroke: a comparison of four scales useful in clinical trials. *J Rehabil Res Dev* 2003; 40(1):1–8. doi: 10.1682/jrrd.2003.01.0001.
41. Quinn TJ, Langhorne P, Stott DJ. Barthel index for stroke trials: development, properties, and application. *Stroke* 2011; 42(4):1146–51. doi: 10.1161/STROKEAHA.110.598540.
42. Nambiar M, MacIsaac C, Grabinski R, Liew D, Kavar B. Outcomes of decompressive craniectomy in patients after traumatic brain injury. *Crit Care Resusc* 2015; 17(2):67–72.
43. Gouello G, Hamel O, Asehnoune K, Bord E, Robert R, Buffenoir K. Study of the long-term results of decompressive craniectomy after severe traumatic brain injury based on a series of 60 consecutive cases. *ScientificWorldJournal* 2014; 2014:207585. doi: 10.1155/2014/207585.
44. Hamilton MG. Treatment of hydrocephalus in adults. *Semin Pediatr Neurol* 2009; 16(1):34–41. doi: 10.1016/j.spen.2009.02.001.
45. Burckhardt CS, Anderson KL. The Quality of Life Scale (QOLS): reliability, validity, and utilization. *Health Qual Life Outcomes* 2003; 1:60. doi: 10.1186/1477-7525-1-60.
46. Weiß C. *Basiswissen Medizinische Statistik. 7., vollständige und überarbeitete Auflage.* Berlin, Heidelberg: Springer; 2019. (Springer-Lehrbuch).
47. Teasdale GM. Head injury. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1995; 58(5):526–39.
48. Jennett B, Teasdale G, Braakman R, Minderhoud J, Heiden J, Kurze T. Prognosis of Patients with severe head injury. *Neurosurgery* 1979; (4):283–9.
49. Schneider GH, Bardt T, Lanksch WR, Unterberg A. Decompressive craniectomy following traumatic brain injury: ICP, CPP and neurological outcome. *Acta Neurochir Suppl* 2002; 81:77–9. doi: 10.1007/978-3-7091-6738-0_20.
50. Olivecrona M, Rodling-Wahlström M, Naredi S, Koskinen L-OD. Effective ICP reduction by decompressive craniectomy in patients with severe traumatic brain injury treated by an ICP-targeted therapy. *J Neurotrauma* 2007; 24(6):927–35. doi: 10.1089/neu.2005.356E.
51. Williams RF, Magnotti LJ, Croce MA, Hargraves BB, Fischer PE, Schroepfel TJ et al. Impact of decompressive craniectomy on functional outcome after severe traumatic brain injury. *J Trauma* 2009; 66(6):1570-4; discussion 1574-6. doi: 10.1097/TA.0b013e3181a594c4.

52. Pompucci A, Bonis P de, Pettorini B, Petrella G, Di Chirico A, Anile C. Decompressive craniectomy for traumatic brain injury: patient age and outcome. *J Neurotrauma* 2007; 24(7):1182–8. doi: 10.1089/neu.2006.0244.
53. Howard JL, Cipolle MD, Anderson M, Sabella V, Shollenberger D, Li PM et al. Outcome after decompressive craniectomy for the treatment of severe traumatic brain injury. *J Trauma* 2008; 65(2):380-5; discussion 385-6. doi: 10.1097/TA.0b013e31817c50d4.
54. Grille P, Tommasino N. Decompressive craniectomy in severe traumatic brain injury: prognostic factors and complications. *Rev Bras Ter Intensiva* 2015; 27(2):113–8. doi: 10.5935/0103-507X.20150021.
55. Guerra WK, Gaab MR, Dietz H, Mueller JU, Piek J, Fritsch MJ. Surgical decompression for traumatic brain swelling: indications and results. *J Neurosurg* 1999; 90(2):187–96. doi: 10.3171/jns.1999.90.2.0187.
56. Akyuz M, Ucar T, Acikbas C, Kazan S, Yilmaz M, Tuncer R. Effect of early bilateral decompressive craniectomy on outcome for severe traumatic brain injury. *Turk Neurosurg* 2010; 20(3):382–9. Verfügbar unter: https://ac.els-cdn.com/S1059131100904588/1-s2.0-S1059131100904588-main.pdf?_tid=761297b1-eff2-4b62-bc91-1192f735cf88&acdnat=1535013203_7bae9e0bd1e75ce3529ea77b9207243e.
57. Ecker RD, Mulligan LP, Dirks M, Bell RS, Severson MA, Howard RS et al. Outcomes of 33 patients from the wars in Iraq and Afghanistan undergoing bilateral or bicompartmental craniectomy. *J Neurosurg* 2011; 115(1):124–9. doi: 10.3171/2011.2.JNS101490.
58. Bohman L-E, Schuster JM. Decompressive craniectomy for management of traumatic brain injury: an update. *Curr Neurol Neurosci Rep* 2013; 13(11):392. doi: 10.1007/s11910-013-0392-x.
59. Albanèse J, Leone M, Alliez J-R, Kaya J-M, Antonini F, Alliez B et al. Decompressive craniectomy for severe traumatic brain injury: Evaluation of the effects at one year. *Crit Care Med* 2003; 31(10):2535–8. doi: 10.1097/01.CCM.0000089927.67396.F3.
60. Czosnyka M, Guazzo E, Whitehouse M, Smielewski P, Czosnyka Z, Kirkpatrick P et al. Significance of intracranial pressure waveform analysis after head injury. *Acta Neurochir (Wien)* 1996; 138(5):531-41; discussion 541-2. doi: 10.1007/BF01411173.
61. Anton JV WPA. Dekompressive Kraniektomie in der Neurotraumatologie. *Journal für Neurologie, Neurochirurgie und Psychiatrie* 2015; (16):103–10.
62. Meier U, Lemcke J, Reyer T, Gräwe A. Decompressive craniectomy for severe head injury in patients with major extracranial injuries. *Acta Neurochir Suppl* 2006; 96:373–6. doi: 10.1007/3-211-30714-1_77.
63. Luca GP de, Volpin L, Fornezza U, Cervellini P, Zanusso M, Casentini L et al. The role of decompressive craniectomy in the treatment of uncontrollable post-traumatic intracranial hypertension. *Acta Neurochir Suppl* 2000; 76:401–4. doi: 10.1007/978-3-7091-6346-7_83.
64. Al-Jishi A, Saluja RS, Al-Jehani H, Lamoureux J, Maleki M, Marcoux J. Primary or secondary decompressive craniectomy: different indication and outcome. *Can J Neurol Sci* 2011; 38(4):612–20.
65. Morgalla MH, Will BE, Roser F, Tatagiba M. Do long-term results justify decompressive craniectomy after severe traumatic brain injury? *J Neurosurg* 2008; 109(4):685–90. doi: 10.3171/JNS/2008/109/10/0685.
66. Cooper DJ, Rosenfeld JV, Murray L, Arabi YM, Davies AR, Ponsford J et al. Patient Outcomes at Twelve Months after Early Decompressive Craniectomy for Diffuse Traumatic Brain Injury in the Randomized DECRA Clinical Trial. *J Neurotrauma* 2020; 37(5):810–6. doi: 10.1089/neu.2019.6869.

67. Khan AD, Elseth AJ, Head B, Rostas J, Dunn JA, Schroepel TJ et al. Indicators of Survival and Favorable Functional Outcomes after Decompressive Craniectomy: A Multi-Institutional Retrospective Study. *Am Surg* 2017; 83(8):836–41.
68. Aarabi B, Hesdorffer DC, Ahn ES, Aresco C, Scalea TM, Eisenberg HM. Outcome following decompressive craniectomy for malignant swelling due to severe head injury. *J Neurosurg* 2006; 104(4):469–79. doi: 10.3171/jns.2006.104.4.469.
69. Whitfield PC, Patel H, Hutchinson PJ, Czosnyka M, Parry D, Menon D et al. Bifrontal decompressive craniectomy in the management of posttraumatic intracranial hypertension. *Br J Neurosurg* 2001; 15(6):500–7.
70. 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. doi: 10.1007/s12028-015-0144-7.
71. Honeybul S, Ho KM. Incidence and risk factors for post-traumatic hydrocephalus following decompressive craniectomy for intractable intracranial hypertension and evacuation of mass lesions. *J Neurotrauma* 2012; 29(10):1872–8. doi: 10.1089/neu.2012.2356.
72. Ferguson PL, Smith GM, Wannamaker BB, Thurman DJ, Pickelsimer EE, Selassie AW. A population-based study of risk of epilepsy after hospitalization for traumatic brain injury. *Epilepsia* 2010; 51(5):891–8. doi: 10.1111/j.1528-1167.2009.02384.x.
73. Honeybul S. Complications of decompressive craniectomy for head injury. *J Clin Neurosci* 2010; 17(4):430–5. doi: 10.1016/j.jocn.2009.09.007.
74. Stephens FL, Mossop CM, Bell RS, Tigno T, Rosner MK, Kumar A et al. Cranioplasty complications following wartime decompressive craniectomy. *Neurosurg Focus* 2010; 28(5):E3. doi: 10.3171/2010.2.FOCUS1026.
75. Spencer R, Manivannan S, Sharouf F, Bhatti MI, Zaben M. Risk factors for the development of seizures after cranioplasty in patients that sustained traumatic brain injury: A systematic review. *Seizure* 2019; 69:11–6. doi: 10.1016/j.seizure.2019.03.014.
76. Annegers JF, Coan SP. The risks of epilepsy after traumatic brain injury. *Seizure* 2000; 9(7):453–7. doi: 10.1053/seiz.2000.0458.
77. Huang Y-H, Liao C-C, Chen W-F, Ou C-Y. Characterization of acute post-craniectomy seizures in traumatically brain-injured patients. *Seizure* 2015; 25:150–4. doi: 10.1016/j.seizure.2014.10.008.
78. Ban SP, Son Y-J, Yang H-J, Chung YS, Lee SH, Han DH. Analysis of complications following decompressive craniectomy for traumatic brain injury. *J Korean Neurosurg Soc* 2010; 48(3):244–50. doi: 10.3340/jkns.2010.48.3.244.
79. Borders JC, Gibson AL, Grayev A, Thibeault S. Predictors of dysphagia in critically injured patients with neck trauma. *J Crit Care* 2018; 44:312–7. doi: 10.1016/j.jcrc.2017.12.004.
80. Iacovelli V, Gaziev G, Topazio L, Bove P, Vespasiani G, Finazzi Agrò E. Nosocomial urinary tract infections: A review. *Urologia* 2014; 81(4):222–7. doi: 10.5301/uro.5000092.
81. Nasi D, Dobran M. Can early cranioplasty reduce the incidence of hydrocephalus after decompressive craniectomy? A meta-analysis. *Surg Neurol Int* 2020; 11:94. doi: 10.25259/SNI_120_2020.
82. Mazzini L, Campini R, Angelino E, Rognone F, Pastore I, Oliveri G. Posttraumatic hydrocephalus: a clinical, neuroradiologic, and neuropsychologic assessment of long-term outcome 11No commercial party having a direct financial interest in the results of the research supporting this article has or will confer a benefit upon the author(s) or upon any organization with which the author(s) is/are associated. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 2003; 84(11):1637–41. doi: 10.1053/s0003-9993(03)00314-9.

83. Ozoner B, Kilic M, Aydin L, Aydin S, Arslan YK, Musluman AM et al. Early cranioplasty associated with a lower rate of post-traumatic hydrocephalus after decompressive craniectomy for traumatic brain injury. *Eur J Trauma Emerg Surg* 2020; 46(4):919–26. doi: 10.1007/s00068-020-01409-x.
84. Nasi D, Gladi M, Di Rienzo A, Di Somma L, Moriconi E, Iacoangeli M et al. Risk factors for post-traumatic hydrocephalus following decompressive craniectomy. *Acta Neurochir (Wien)* 2018; 160(9):1691–8. doi: 10.1007/s00701-018-3639-0.
85. Archavlis E, Carvi Y Nieves M. The impact of timing of cranioplasty in patients with large cranial defects after decompressive hemicraniectomy. *Acta Neurochir (Wien)* 2012; 154(6):1055–62. doi: 10.1007/s00701-012-1333-1.
86. Chang V, Hartzfeld P, Langlois M, Mahmood A, Seyfried D. Outcomes of cranial repair after craniectomy. *J Neurosurg* 2010; 112(5):1120–4. doi: 10.3171/2009.6.JNS09133.
87. Gooch MR, Gin GE, Kenning TJ, German JW. Complications of cranioplasty following decompressive craniectomy: analysis of 62 cases. *Neurosurg Focus* 2009; 26(6):E9. doi: 10.3171/2009.3.FOCUS0962.

8 Anhang

8.1 Fragebogen aus dem Follow Up

FRAGEBOGEN

Im Folgenden möchten wir Ihnen gerne ein paar Fragen zur Ihrer Rehabilitation stellen.

1. Allgemeines

1.1. Wie lange ist die Kraniektomie bei Ihnen her?

unter 6 Monate 6 Monate bis 1 Jahr über 1 Jahr

1.2. War die Kraniektomie bei Ihnen

einseitig beidseitig

2. Extended Glasgow Outcome Scale

2.1 Bewusstsein

- Ist es möglich simplen **Aufforderungen zu folgen** oder zu **sprechen**?
 ja nein

2.2 Selbstständigkeit zu Hause

- Tägliche Unterstützung** zu Hause benötigt?
 ja nein
- Wenn ja: ist es möglich **länger als 8 Stunden alleine** zu Hause zu bleiben?
 ja nein

2.3 Selbstständigkeit außer Haus

- Ist **Einkaufen ohne Hilfe** möglich?
 ja nein
- Ist „**Reisen**“ **ohne Hilfe** möglich? (Zum Beispiel alleine Taxi fahren, inkl. Bestellung des Taxis und Instruktion des Fahrers)
 ja nein

2.4 Arbeit

- Ist es genauso wie vor dem Ereignis möglich, der **Arbeit nachzugehen** oder zu Hause auf andere aufzupassen?
 ja nein
- Wenn nein: welche Art von **Einschränkung** erleben Sie
 verminderte Arbeitsleistung Arbeit in einer geschützten Einrichtung
 nicht arbeitsfähig

2.5 Soziales und Freizeitaktivitäten

- Normal**/ so wie vorher möglich
 ja nein
- Wenn nein:
 verminderte Teilnahme
 stark verminderte Teilnahme
 Teilnahme **nicht mehr möglich**

2.6 Familie und Freunde

- Gab es **Probleme oder Belastungen in familiären oder freundschaftlichen Beziehungen** durch psychologische Probleme?
 ja nein
- Wenn ja: in welchem Ausmaß?
 hin und wieder, seltener als wöchentlich
 regelmäßig, wöchentlich oder mehr, nicht tolerierbar
 konstant, täglich und nicht tolerierbar

Anmerkungen:

- Stellen die Probleme und Belastungen eine **große Veränderung** im Vergleich zu vor dem Ereignis dar?
 ja nein

2.7 Rückkehr zum normalen Leben

- Gibt es momentan Einschränkungen, die Sie in Ihrem täglichen Leben belasten?
 ja nein

3. Quality of Life Scale

3.1 „Es ist schwierig, mich zu konzentrieren.“

- stimme komplett zu
- stimme teilweise zu
- dazu habe ich keine Meinung
- finde ich eher nicht
- finde ich gar nicht

3.2 „Meine Persönlichkeit hat sich nach dem Ereignis verändert.“

- stimme komplett zu
- stimme teilweise zu
- dazu habe ich keine Meinung
- finde ich eher nicht
- finde ich gar nicht

4. Barthel Index

4.1 Essen: Wie selbstständig nehmen Sie Nahrung zu sich?

- Ernährung über Magensonde/ PEG-Sonde
 - ja nein
 - Wenn **ja**: komplett **eigenständig**
 Hilfe bei Ernährung nötig
 - Wenn **nein**:
 - selbstständiges** Essen, wenn Nahrung in Reichweite steht
 - Hilfe** bei Vorbereitung nötig, zB. Brot streichen
 - keine selbstständige** Nahrungsaufnahme (Aufforderung nötig)

4.2 Aufsetzen & Umsetzen

- Aufsetzen aus liegender Position in Stuhl/ Rollstuhl oder an die Bettkante:
 - komplett **eigenständig**
 - unter Aufsicht oder mit **ungeschulter Laienhilfe**
 - mit **erheblicher Hilfe** (professionelle Hilfe/ geschulte Laienhilfe)
 - Aufsetzen an die Bettkante **findet nicht statt**

4.3 Aufstehen & Gehen

- Ohne Aufsicht oder Hilfe vom **Sitzen in den Stand**?
 - ja nein
- Gehstrecke
 - 0 bis 50 m mehr als 50 m
- Mobilität
 - ohne Gehwagen mobil mit Gehwagen
 - im Rollstuhl selbständig mobil keins davon

4.4 Treppe auf & ab

- Mindestens ein Stockwerk ist möglich
 - ohne Aufsicht** oder zusätzliche Hilfe (Handlaufbenutzung ok)
 - mit Aufsicht** oder Laienhilfe
 - ist **nicht möglich**

4.5 Waschen

- Eigenständiges Waschen von Händen und Gesicht ohne Hilfe
 - ja nein
- Zähne putzen, Haare kämmen, ggf. Rasur ohne Hilfe
 - ja nein

4.6 Baden/Duschen

- Ohne Aufsicht oder zusätzliche Hilfe ist Duschen oder Vollbad möglich
 - ja nein

4.7 An-& Auskleiden

- Wenn Utensilien in greifbarer Nähe sind, kann ich
 - mich in angemessener Zeit **komplett selbstständig** an und ausziehen (Ankleidehilfen sind ok)
 - den **Oberkörper** in angemessener Zeit selbstständig an und ausziehen
 - mich **nicht** selbstständig an- oder ausziehen

4.8 Toilettenbenutzung

- **Benutzung** der Toilette/ des Toilettenstuhls
 - ohne Hilfe mit Hilfe
 - keine Benutzung der Toilette
- Eigenständiges **Spülen oder Reinigung** des Toilettenstuhls
 - ja nein

4.9 Stuhlinkontinenz

- Wie oft pro Woche sind Sie **stuhlinkontinent**?
 - stuhlinkontinent**
 - nicht mehr als 1x** die Woche
 - mehr als 1x** die Woche stuhlinkontinent
- Rektale Abführmaßnahmen
 - werden **selbstständig** durchgeführt
 - Hilfe** wird benötigt
 - werden **nicht** durchgeführt

4.10 Harninkontinenz

- Wie oft am Tag sind Sie **harninkontinent**?
 - kein Einnässen** von Bettwäsche oder Kleidung
 - nicht mehr als 1x** am Tag Einnässen
 - mehr als 1x** am Tag
- Wenn Benutzung eines **Harnkathetersystem**
 - Versorgung ohne Hilfe
 - Versorgung mit Hilfe

5. Weiteres

5.1 Welche **Medikamente in welcher Dosis** nehmen Sie?

5.2 In welchem **Umfeld** leben Sie?

- Pflegeheim
- Intensivpflegeheim
- zu Hause
 - Wenn zu Hause: Haben Sie einen Pflegedienst?
 - ja nein

- Wenn ja: Wie oft am Tag kommt der Pflegedienst/ Welche Pflegestufe haben Sie?
-

5.3 Wie **atmen** Sie momentan?

- über eine Trachealkanüle, aber **spontan**
- kontinuierliche** Beatmung über eine Trachealkanüle
- zeitweise** Beatmung über eine Trachealkanüle
- keine** Trachealkanüle

5.4 Besteht eine **Sprachstörung**?

- ja nein

5.5 Besteht eine **Verständnisstörung**?

- ja nein

5.6 Haben Sie **Hilfe beim Ausfüllen** benötigt?

- nein nur beim Ankreuzen auch inhaltlich

5.7 **Wie lange** hat das Ausfüllen gedauert?

- unter 15 min 15 – 30 min länger als 30 min

8.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lokalisation der unilateralen dekompresiven Kraniektomie (15).....	6
Abbildung 2: Lokalisation der bifrontalen Dekompresiven Kraniektomie (15).	7
Abbildung 3: Methodik der Datenerfassung zur Behandlungsdauer.....	13
Abbildung 4: Altersverteilung im gesamten Kollektiv.....	18
Abbildung 5: Intrakranielle Verletzungen der beiden Kohorten im Vergleich.	19
Abbildung 6: Mittlerer BI zu verschiedenen Zeitpunkten des Rehabilitationsprozesses.....	23
Abbildung 7: Mittlerer FRBI zu verschiedenen Zeitpunkten des Rehabilitationsprozesses.	24
Abbildung 8: Mittlerer GOSE zu verschiedenen Zeitpunkten des Rehabilitationsprozesses.....	25
Abbildung 9: Flowchart des Ablaufs und der Patient*innenrekrutierung im Follow Up.	28
Abbildung 10: Boxplot des Outcomes im BI zum Zeitpunkt des Eintrittes in die Phase B, bei Entlassung und im Rahmen des Follow Ups.	29
Abbildung 11: Angaben der Patient*innen zum Zeitaufwand des Fragebogens im Gruppenvergleich.....	31
Abbildung 12: Haltung der Patient*innen zu den Thesen "Es ist schwierig, mich zu konzentrieren." und "Meine Persönlichkeit hat sich nach dem Ereignis verändert."	31
Abbildung 13: Neurologische Komplikationen in der gesamten Kohorte.....	32
Abbildung 14: Neurologische Komplikationen im Gruppenvergleich.....	33
Abbildung 15: Verteilung der neurologischen Komplikationen im Gruppenvergleich.....	33
Abbildung 16: Nicht-neurologische Komplikationen in der gesamten Kohorte.	34
Abbildung 17: Nicht-neurologische Komplikationen im Gruppenvergleich.	35
Abbildung 18: Zeitspanne zwischen DC und KP im Gruppenvergleich.	37
Abbildung 19: postinterventionelle Komplikationen nach KP im Seitenvergleich.	37

8.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: FR-Index-Kriterien (FRBI) nach Schönle (39).....	14
Tabelle 2: Abstufungen der Extended Glasgow Outcome Scale (GOSE) (37).....	15
Tabelle 3: Demographische Basisdaten der Patient*innen im Gruppenvergleich.....	20
Tabelle 4: Übersicht über die Behandlungsdauer beider Kohorten	22
Tabelle 5: Altersdurchschnitt im Follow Up bezogen auf günstiges und ungünstiges Outcome ...	26
Tabelle 6: Outcome (GOSE) abhängig von der Behandlungsdauer in der bilateralen Kohorte	27
Tabelle 7: Outcome (GOSE) abhängig von der Behandlungsdauer in der unilateralen Kohorte...	27
Tabelle 8: Günstiges und ungünstiges Outcome (BI) im Follow Up.....	29
Tabelle 9: Günstiges und ungünstiges Outcome (GOSE) im Follow Up.....	30
Tabelle 10: Übersicht der Ergebnisse der aktuellen Studien zum Thema DC.....	45

8.4 Abkürzungen

BAR.....	Bundesarbeitsgemeinschaft für Rehabilitation
BI	Barthel Index
DC.....	Dekompressive Kraniektomie
FRBI.....	Früh-Rehabilitations-Barthel-Index nach Schönle
GCS.....	Glasgow Coma Scale
GOSE.....	Extended Glasgow Outcome Scale
ICP.....	intrakranieller Druck
IMC.....	Intermediate Care Station
KP.....	Kranioplastik
NRBKR.....	Neurologische Rehabilitationsklinik am Bezirksklinikum Regensburg
nrICU.....	Intensivstation der neurologischen Rehabilitationsklinik
SAB.....	Subarachnoidalblutung
SHT.....	Schädel-Hirn-Trauma

8.5 Danksagung

Hiermit möchte ich von Herzen allen Personen danken, die zur Entstehung dieser Arbeit und dem erfolgreichen Abschluss meines Studiums beigetragen haben.

Herrn Prof. Dr. Felix Schlachetzki, meinem Doktorvater, für die Möglichkeit der Durchführung dieser Arbeit sowie für seine Geduld, konstruktive Kritik und Unterstützung.

Herrn Dr. Dobri Baldaranov, meinem Betreuer, der ein hervorragender Ansprechpartner war, mir bei dieser Arbeit sehr geholfen hat und auch in San Diego noch Zeit für Telefonate und Feedback hatte.

Allen Patienten und Patientinnen, die sich bereit erklärt haben an den Studien teilzunehmen, für ihre Mühe und die Geduld beim Ausfüllen der Fragebögen.

Meiner Familie, für die Ermöglichung dieses Studium, viele offene Ohren und bedingungslosen Rückhalt.

8.6 Lebenslauf

Der Lebenslauf wurde in der Online-Version aus Datenschutzgründen entfernt.