

Aus der Neurochirurgischen Klinik
der Städtischen Kliniken Frankfurt am Main-Höchst
Akademisches Lehrkrankenhaus der Johann Wolfgang Goethe-Universität
Frankfurt am Main
Chefarzt: Prof. Dr. med. Hans-Georg Höllerhage

**Zeitpunkt der Kranioplastik nach supratentorieller
dekompressiver Kraniektomie: eine retrospektive Analyse**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Medizin
des Fachbereichs Medizin
der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main

Vorgelegt von
Dr. med. univ. Eleftherios Archavlis
aus Athen, Griechenland

Frankfurt, Oktober 2009

Dekan: Prof. Dr. J. Pfeilschifter

Referent: PD Dr. Mario Nazareno Carvi y Nievas

Korreferent: Prof. Dr. Dr. K. Zacharowski

Tag der mündlichen Prüfung: 04.05.2010

1. EINLEITUNG

1.1 Die Definition und Bedeutung der Kranioplastik in der Neurochirurgie heute und Fragestellung

Die Kranioplastik dient gemäß der Definition von Sanan und Haines der Deckung von Kraniektomiedefekten oder der Behebung einer Entstellung des Kraniums[154]. Der hohe Stellenwert der Kranioplastik liegt nicht nur in der Verbesserung der Kosmetik und der sozialen Integration, sondern auch in der Verbesserung des neurologischen Zustandes[167,171,41,13].

Die supratentorielle dekompressive Kraniektomie wird in der Literatur kontrovers diskutiert[148]. Dennoch ist die dekompressive Kraniektomie mit Eröffnung und Erweiterungsplastik der Dura mater eine der wichtigsten Therapiemaßnahmen in der Behandlung des konservativ nicht kontrollierbaren Hirndrucks. Dem schwellenden Hirn wird dadurch Platz gegeben, mögliche Folgeschäden können minimiert und die Letalität kann gesenkt werden[119,24,160]. Die Druckerhöhung im infratentoriellen Kompartiment ist nur bedingt mit den supratentoriellen Verhältnissen vergleichbar. Es handelt sich im Wesentlichen um eine eigene Pathophysiologie und der Nutzen der infratentoriellen dekompressiven Kraniektomie wird weniger kontrovers diskutiert[148]. Obwohl bei der Indikationsstellung für die supratentorielle dekompressive Kraniektomie klare Kriterien erarbeitet werden[30,170], existieren heute noch keine Leitlinien bezüglich der Deckung von Kraniektomiedefekten.

In der Regel wird der tiefgefrorene Eigenknochen des Patienten reimplantiert. Es ist wissenschaftlich nicht geklärt wie lange nach dem Ersteingriff dies mit vertretbarem Risiko (Infektion, Demineralisation) geschehen kann[148]. Einige Autoren vertreten die Meinung, dass der Zeitpunkt der Kranioplastik 3-6 Monate nach der Kraniektomie sein sollte, im Falle

eines Infektionsrisikos sogar mindestens 6 Monate bis zur Kranioplastik abzuwarten sei[156]. Mit zunehmender Verbreitung der dekompressiven Kraniektomie häufen sich allerdings in den letzten Jahren die Berichte über mittelfristige Folgen auf die Liquorhydrodynamik und die kortikale Perfusion, die einen negativen Einfluss auf die neurologische Erholung der Patienten haben könnten[49,41].

Einen besonderen Aspekt in diesem Hinblick bietet die Rehabilitation dieser Patienten[127]. Der Zeitpunkt der Rehabilitationsbehandlung wird nach individuellen Kriterien entschieden. Im Einzelnen versteht man darunter die Wahl der Rehabilitationsphase und konkret, ob die Kranioplastik vor oder nach einer stationären Rehabilitation stattfinden sollte.

Eine Vielzahl neuer Operationstechniken und Materialien bieten Konkurrenz zu den alt bewährten Methoden. Zahlreiche Publikationen beschäftigen sich mit den Vor- und Nachteilen dieser Methoden.

Im Hinblick auf das DRG-Zeitalter spielen Finanzierung und Kosten eine immer größere Rolle bei der Therapieentscheidung.

Aufgabe der vorliegenden Arbeit ist es daher im Rahmen einer retrospektiven Analyse sowohl die gebräuchlichen traditionellen Verfahren, als auch die neuen Verfahren der Kranioplastik von supratentoriellen Knochendefekten nach dekompressiver Kraniektomie im Hinblick auf den Zeitpunkt der Operation zu analysieren.

Insbesondere sollen folgende Fragen geklärt werden:

1. Welche Unterschiede ergeben sich für den Zeitpunkt der Kranioplastik unter Berücksichtigung der Indikation der supratentoriellen dekompressiven Kraniektomie, der Indikation der Kranioplastik und des jeweiligen technischen Verfahrens?
2. Welche Kriterien wurden zur Entscheidung des Zeitpunkts der Kranioplastik angewandt?

3. Unterscheiden sich die verschiedenen Intervall-Gruppen der Kranioplastik in Bezug auf die kurzfristige oder langfristige lokalen Infektionsraten und Resorptionsraten des Eigenknochens?
4. Wie verhalten sich die verglichenen Intervall-Gruppen der Kranioplastik bezüglich des neurologischen Outcomes?
5. Lässt sich aus den bisherigen Erfahrungen eine generelle Empfehlung insbesondere zum Zeitpunkt der Deckung großer Kalottendefekte ableiten?

1.2 Historischer Rückblick

Die Geschichte der Deckung von Schädeldefekten ist fast so alt wie die Trepanation selbst, es ist allerdings bemerkenswert, dass die Geschichte der Kranioplastik vernachlässigt wurde und darüber viel weniger bekannt ist. Die Erklärung könnte darin liegen, dass eine kranioplastische Versorgung den ursprünglichen Zweck des Eingriffs, nämlich die Schaffung eines Schädeldefektes, zunichte gemacht hätte[154]. Dennoch gibt es osteologische Hinweise darauf, dass ca. 50% bis 70% der historischen Trepanationspatienten den Eingriff überlebten und eine langfristige Versorgung benötigten[106].

Die frühesten Funde von kranioplastisch gedeckten Schädeln stammt aus der Zeit um 2000 v. Chr., als Inkas Schädeldefekte mit Muscheln, Kürbissen, Silber- und Goldplatten deckten[33, 154]. Auf einigen Südseeinseln unterzog sich der größte Teil der männlichen Bevölkerung im Laufe ihres Lebens einer Trepanation. Der so entstandene Defekt wurde durch Kokosnussschalen verschlossen[154]. Im prähistorischen Eurasien wurden bei Ausgrabungen sogar Versorgungen mit orthotopen Knochentransplantaten gefunden[52].

Obwohl die ersten Dokumentationen von Kraniotomien mit wissenschaftlicher Indikationsstellung Hippokrates 330 v. Chr. zuzuerkennen sind[108], stammt die erste

aufgezeichnete Beschreibung einer Kranioplastik von Fallopius(1523-1562), der empfahl, bei Schädelfrakturen den eigenen Knochen wieder zu befestigen, falls die Dura unverletzt geblieben sei. Anderenfalls sollte eine Goldplatte verwendet werden[52,154].

Der erste erfolgreiche Einsatz eines heterologen (xenogenen) Knochentransplantates, nämlich ein Knochendeckel aus dem Schädel eines Hundes, wurde von Meekeren 1668 zur Deckung einer Schwerthiebverletzung bei einem russischen Soldaten verwendet[180,154,63]. Obwohl das Xenotransplantat erfolgreich eingesetzt wurde und sich keine Abstoßungsreaktionen ereigneten, wurde es später entfernt, nachdem die Kirche diese Operation als große Beleidigung gegenüber Gott empfunden hat („marring God`s image“)[129].

Seydel verwendete 1889 aus der Tibia gemeißelte Transplantate[52].

Die Müller-König-Prozedur (1890) hingegen, verwendete Schwenklappen aus Haut, Periost und Lamina externa[52,154].

Die rasante Fortentwicklung der Kranioplastik hat erst Anfang des 20. Jahrhunderts stattgefunden, die Erklärung liegt darin, dass während der beiden Weltkriege ein hoher Bedarf an Schädeldefektversorgungen bestand. So bildete sich die Basis für die moderne Kalottenplastik[154]. Bunge war der erste, der 1903 frische osteo-periostale Autotransplantate verwendete. Danach waren es Sicard, Dambrin und Roger zwischen 1917 und 1919, die Kadaver-Knochendeckel für Kranioplastik verwendeten, während Babcock heterologe Transplantate aus Schafen und Kühen verwendete[187].

Die Nutzung von Rippen als Schädeltransplantate wurde von Dobroworski (1911) eingeführt und durch eine Modifikation von Brown (1917) allgemein akzeptiert und verwendet[154,173]. Schon 1916 wurde von Westermann der bei der Trepanation entnommene Knochendeckel aufbewahrt und nach seinem Aufkochen für die Kranioplastik genutzt. Kreider (1920) berichtete von seiner Verwahrung in der Bauchhöhle, und Bush (1947) beschrieb die Tiefkühlung des Knochendeckels, die heute noch als Methode der ersten Wahl angesehen wird[44,125,154].

In den 40er Jahren des 20. Jahrhunderts kamen alloplastische Materialien zum Einsatz, in erster Linie wurden die Metalllegierungen Vitallium und Tantalum verwendet, allerdings setzten sich aufgrund ihrer Radiopazität und mangelnder intraoperativer Verformbarkeit nicht durch[154,186]. Die Einführung der Acrylzementplastik mit PMMA erfolgte erstmals durch Zander (1940). Diese einfache Technik fand weite Verbreitung und große Akzeptanz[52]. Andere nichtmetallische Implantate kamen zur Anwendung, zunächst Zelluloid und später durch Simpson (1965) eingeführt, Titan[52]. In den letzten Jahrzehnten richtete sich die Forschung auch auf die Einführung von Keramiken in der Kranioplastik, wobei der Einsatz der Computertechnik, die Anfertigung von individuellen und passgenauen Implantaten ermöglichte[12]. Seit 1997 ist die Anwendung des Tutoplast® Verfahren möglich, einer Gewebebehandlung zur Reinigung, Konservierung und Sterilisation des autologen Schädelknochens. In jüngster Vergangenheit wurden andere Kunststoffe zur Kranioplastik entwickelt und angewendet, wie Polyethylen und PEEK[89,32,159].

1.3 Pathophysiologie des Hirnödems

Der Mechanismus der Entstehung eines erhöhten intracraniellen Druckes (nachfolgend ICP-intracranial pressure genannt) geht auf das Konzept der schottischen Neurowissenschaftler Kelie (1824) und Monro (1783) zurück, wonach das intracranielle Gesamtvolumen (V_G) als Summe aus drei Teilvolumina aufzufassen sei: Hirnvolumen (V_H), Blutvolumen (V_B) und Liquorvolumen (V_L). Für den nicht expandierbaren Erwachsenenschädel gilt demnach $V_G = V_H + V_B + V_L = \text{konstant}$. Jede zusätzliche Raumforderung oder Veränderung in einem der Teilvolumina hat Auswirkungen auf die übrigen Volumina und auf den ICP[81,116]. Somit führt eine fokale Raumforderung, die nicht durch eine Flüssigkeitsverschiebung (vermehrte Liquorresorption, Kompression von Ventrikel und basale Zisternen) ausgeglichen werden

kann, zu einer Erhöhung des ICP. In weiterer Folge kommt es zu allgemeinen intracraniellen Massenverschiebungen mit Einklemmung unter der Falx, im Tentoriumschlitz und schließlich im Foramen magnum. Das Weiterbestehen dieses Zustandes führt zur Kompression der Blutstrombahn mit Minderperfusion, Hypoxie und zum letalen Ausgang.

Das Monitoring des intracraniellen Druckes (ICP) und des zerebralen Perfusionsdruckes (CPP) zur Therapie des Patienten mit erhöhtem Hirndruck bleibt ein Feld für divergierende ärztliche Meinungen[148]. Zum Einen lässt sich ein positiver Effekt schwer wissenschaftlich sichern, zum Anderen sind bisher weder einheitlichen Standards zur Messtechnik, noch nachvollziehbare Konzepte zur Therapie etabliert. Nicht desto trotz wird eine ICP-Erhöhung auf über 20 mm Hg für mehr als 5-10 min als Indikation für eine differente Behandlung angesehen, wie z.B. Oberkörperhochlagerung, Intubation, Analgosedierung, Hyperventilation, osmotische Therapie, Kühlung und operative Verfahren, wie die dekompressive Kraniektomie (American Association of Neurological Surgeons und Brain Trauma Foundation 1995).

Nach Ansicht des Autors und seines Betreuers sowie anderen Neurochirurgen ist in Fällen einer erwartenden intracraniellen Drucksteigerung die Indikation zur dekompressiven Kraniektomie so früh wie möglich und in ausgewählten Fällen sogar vor Ausschöpfen aller übrigen Maßnahmen zu stellen[148].

1.4 Ursachen für die Durchführung einer dekompressiven Kraniektomie

1.4.1 Trauma

In der Geschichte der Menschheit zählt das ausgedehnte Schädel-Hirn-Trauma als Anlass für iatrogene Schädelbohrungen zu den frühesten Ursachen für Schädeldefekte. Die Trepanation zur Behandlung von Kalottenfrakturen und Hirnverletzungen ist, wie Grabfunde belegen, mindestens 5000 Jahre alt[52,57,76,152,154]. Die verschiedenen Zivilisationen wie Incas,

nordamerikanische Indianer, Griechen, keltische Briten, Asiaten, nordafrikanische Kulturen und Polynesier, führten eher spiritistisch geprägte Trepanationen durch. Man wollte den Patienten von den Geistern befreien, die ihn meist nach dem Trauma quälten[52]. Hippocrates setzte bei Impressionsfrakturen und Amaurose Indikationen für die Durchführung einer Schädeltrepanation und hat hierfür eine ausführliche Beschreibung des Verfahrens hinterlassen[52,60,76].

Trepanationen nach Trauma wurden später auch in Mittelalter und Neuzeit durchgeführt, jedoch ohne wesentliche Fortschritte. Eine Neuerung stellt lediglich die Beschreibung eines Instruments zur Hebung von Impressionsfrakturen durch Hans und Gerssdorf (1455-1529) dar[21]. Eine wissenschaftlich wahrnehmbare Herangehensweise an die Schädeldefektproblematik und auch an die Deckung gibt es seit 1810, als Merrem tierexperimentelle Forschungen begann[154]. Kocher beschrieb 1901 Indikationen, pathophysiologische Zusammenhänge und handwerkliche Aspekte ausgedehnter Schädelresektionen. 1905 berichtete Cushing systematisch über Dekompressionsoperationen bei Hirnstamm-Einklemmungssyndromen[22].

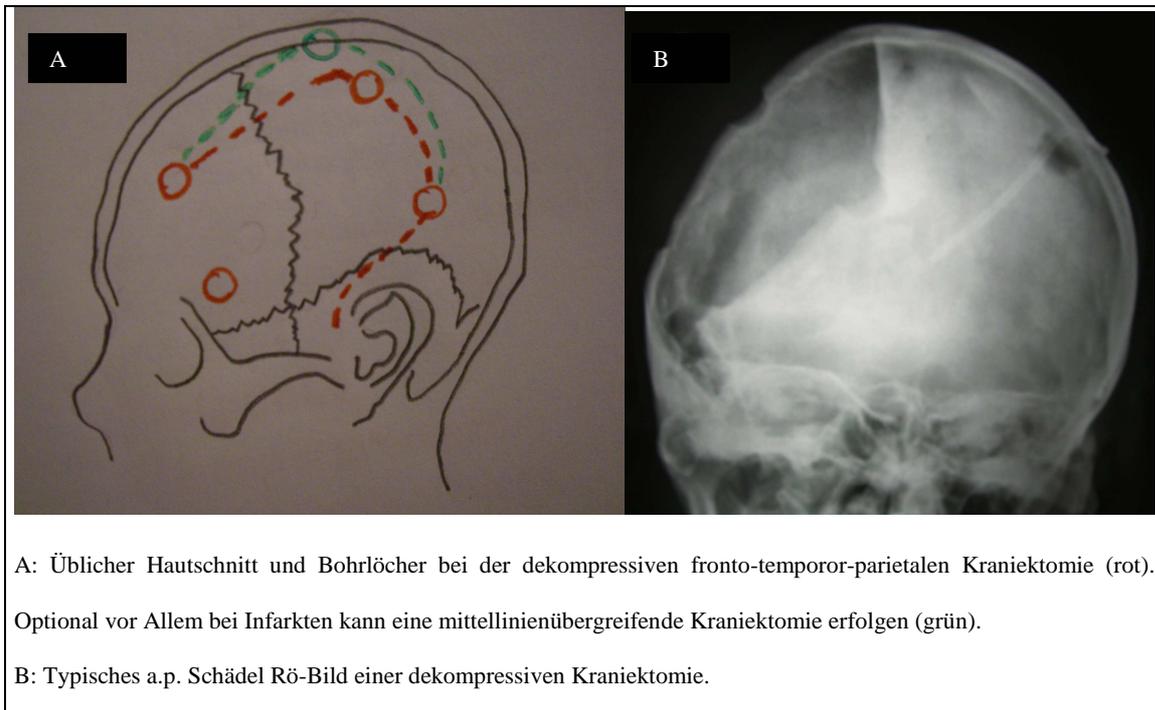
Heute sind Traumata immer noch für die meisten kraniellen Defekte verantwortlich[52]. Nicht nur während Kriegszeiten, sondern auch bei Verkehrsunfällen wird der Schädel von schweren traumatischen Verletzungen betroffen[13,67]. Die dekompressive Kraniektomie ist eine anerkannte Methode zur Senkung des refraktären Hirndrucks bei komplizierten Schädel-Hirn-Traumen[13,57]. Bis in den 1980er Jahren belegt die Literatur schlechte Ergebnisse nach der dekompressiven Kraniektomie, verwirft sie aber nicht grundsätzlich als Alternative für medikamentöse Therapie[28,82,84,182]. Neuere Studien berichten in den darauf folgenden Jahren über bessere Ergebnisse und über eine Senkung der Letalität. Aufgrund aber der geringen Patientenzahl und methodischen Problemen in der Datenanalyse werden sie kontrovers diskutiert[51,135,102,140]. Wesentlich bei der Literaturanalyse ist, dass sich nicht alle Mitteilungen auf eine vergleichbare Einteilung des Erholungszustandes beziehen (z.B.

Glasgow Outcome Score, GOS). In einigen Studien wird der präoperative Zustand des Patienten und somit die Indikation zur Dekompression nicht beschrieben[102]. Guerra et al präsentierten 1999 eine Serie von 57 Patienten mit traumatischem Hirnödemen[62]. Ein Ergebnis mit guter Erholung oder leichter Behinderung (GOS 4 und 5) wurde gezeigt und zum ersten Mal wurden Leitlinien zur Indikation und Durchführung einer dekompressiven Kraniektomie publiziert. Weitere Studien von Münch et al (2000) und Caroli et al (2001) ergaben eine Reduktion des Hirndrucks und eine Senkung der Letalität nur unter sorgfältiger Indikationsstellung[119,24]. Bis auf die Pilotstudie von Taylor et al (2001), die ein deutlich besseres Outcome der früh operierten Kinder belegt, gibt es in der Literatur keine Ergebnisse prospektiv randomisierter Untersuchungen zur dekompressiven Kraniektomie gegenüber anderen Therapieformen[174]. Zur Klärung dieser Frage werden zur Zeit Patienten für zwei größere prospektiv randomisierte Studien rekrutiert, nämlich Rescue ICP und DECRAN[69,153,30].

Trotz fehlender Evidenz aus großen prospektiv randomisierten Studien sind der Autor dieser Arbeit und weitere Neurochirurgen der Meinung, dass die dekompressive Kraniektomie einen hohen Stellenwert in der Behandlung des therapieresistenten Hirndrucks hat.

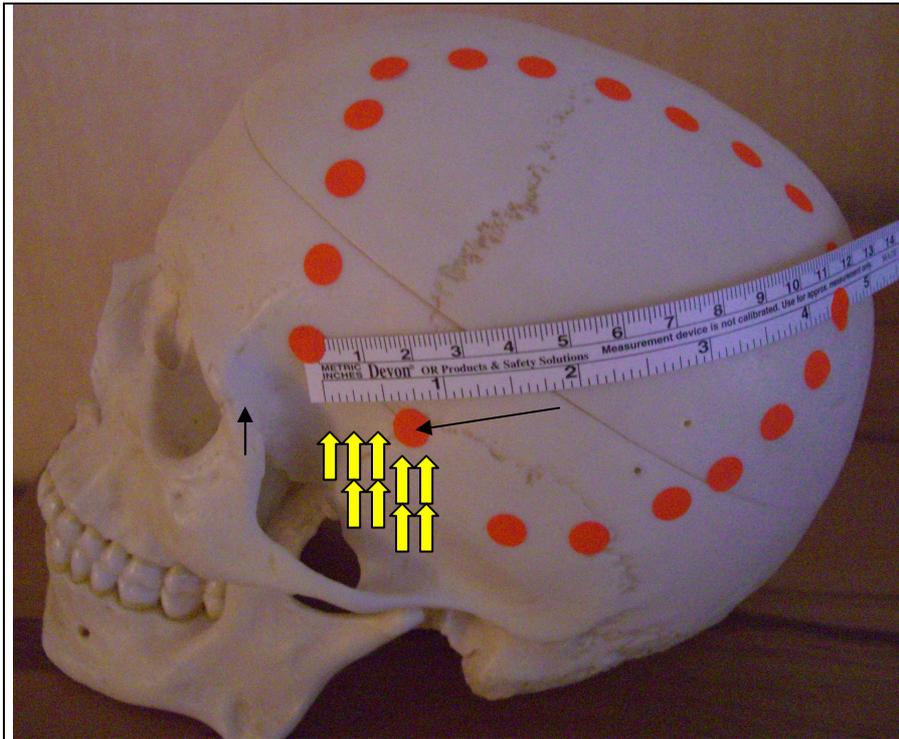
Es wurden verschiedene Formen der dekompressiven Kraniektomie beschrieben. Die heute gängigste Methode ist die uni- oder bilaterale fronto-temporo-parietale Kraniektomie (Hemikraniektomie), die als erster 1896 Marcotte beschrieb[22,148]. Diese Art der Operation wird als osteoklastische Trepanation klassifiziert und wird von den osteoplastischen Trepanationen unterschieden, indem auf ein Wiedereinsetzen des Knochendeckels am Ende der Operation verzichtet wird. Weniger häufig wird die bifrontale Kraniektomie durchgeführt. Die Entscheidung welche Art der Kraniektomie bei dem jeweiligen Patienten zum Einsatz kommt, wird im Hinblick auf die Lokalisation des Hirnödems, beziehungsweise der Hirnschwellung, und anhand des intraoperativen Befundes getroffen. Üblicherweise erfolgt der Inzisionsbeginn vor dem Tragus, anschließend nach occipital und parietal, meistens

paramedian zur Stirnhaargrenze. Die Arteria temporalis superficialis und die Rami zygomatici des Nervus Facialis werden vor dem Tragus geschont. Anschließend wird der Hautlappen mit dem Musculus temporalis per Raspatorium zur Basis hin scharf mobilisiert, in feuchte Kompressen eingeschlagen und mit Fischhaken fixiert. Die Trepanation erfordert das Anlegen mehrerer Bohrlöcher, ein erstes Bohrloch wird in Höhe der Linea temporalis direkt oberhalb der Sutura frontozygomatika angelegt, ein zweites Bohrloch oberhalb des Orbitarandes und außerhalb der Stirnhöhle. Weitere Bohrlöcher werden im Verlauf der Inzision parietal und temporal angelegt und mit Hilfe eines Kraniotoms oder einer Gigli-Säge verbunden[157]. Es erfolgt die osteoklastische Erweiterung der dekompensiven Kraniektomie zur Basis (Luer-Zangen, Stanzen) zur temporobasalen Dekompression. Der entnommene Schädelknochen wird kryokonserviert (-70 C) oder alternativ in derselben Sitzung heterotop autolog in das subcutane Bauchfett implantiert.



Der Durchmesser der Kraniektomie muss, um einen Volumengewinn von etwa 30 cm³ zu erreichen, mindesten 10-12 cm betragen. Dadurch soll auch einer eventuell drohenden sekundären Hirndrucksteigerung entgegengewirkt werden. Mit einer Entlastung von 8 cm

besteht hingegen nur eine Reservezunahme vom etwa 15 cm³. Bei einer maximalen Kraniektomie ist ein Volumengewinn von maximal 100 cm³ möglich[170]. Bei ausgedehnter Hirnschwellung wegen eines „malignen Mediainfarktes“ kann nach Ansicht mancher Autoren optional eine mittellinienübergreifende dekompressive Kraniektomie erfolgen. Nicht empfehlenswert ist dies nach einem Schädel-Hirntrauma[148].



Die rote Markierung zeigt eine ausgedehnte dekompressive fronto-temporo-parietale Kraniektomie links mit einem maximalen Durchmesser von 12 cm. Der große Pfeil zeigt auf das Pterion, der kleine Pfeil auf die Sutura frontozygomatica. Die gelben Pfeile zeigen den Bereich der möglichen weiteren osteoklastischen Erweiterung der Kraniektomie mit der Stanze und mit dem Bohrer. Eine tentorielle Herniation des Uncus des Temporallappens kann dadurch verhindert werden.

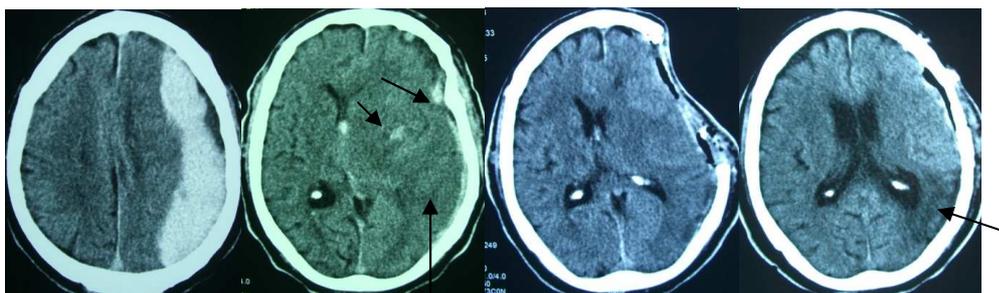
Die bogenförmige Durainzision wird durch mehrere Längsinzisionen erweitert. Es werden Durahochnähte angelegt.

Zusätzlich wird im Rahmen der Kraniektomie noch eine Duraerweiterungsplastik mit angelegt, um einer weiteren Schwellung entgegenzuwirken. Diese erfolgt mit Galeaperiostlappen oder Duraersatzmaterialien.

Bei massiver Hirnprotrusion in den Knochendefekt kann ausnahmsweise eine Temporal- oder Frontallappenresektion durchgeführt werden.

Der Musculus temporalis wird auf die Duraerweiterungsplastik aufgelagert. Zum Abschluss wird eine Redondrainage ohne Sog angelegt und die Wunde durch Galea- und Hautnähte verschlossen.

Fallbeispiel: Patient M.B. (86 Lj.) wurde bewusstlos von seinem Sohn in seiner Wohnung aufgefunden. Beim Eintreffen in der Klinik war der Patient tief somnolent, die Pupillen waren isocor mit verzögerten Lichtreaktionen und es war eine Hemisymptomatik rechts festzustellen. Es handelte sich um ein akutes subdurales Hämatom links hemisphärisch. Die CCT ergab die oft zu beobachtende Komplexität des Traumas mit Hirnkontusionen, traumatische SAB und Hirnödem. Aufgrund der intraoperativen Schwellungstendenz des Gehirns wurde das entnommene Kalottenfragment in der Knochenbank eingefroren. Der Verlauf war protrahiert, das Hirnödem bildete sich unter der antiödematösen Therapie langsam zurück, die Knochendeckelreimplantation erfolgte in der 7 Post-Kraniektomie Woche. Die rechtsseitige Hemiparese zeigte eine rückläufige Tendenz während der Rehabilitationsphase, allerdings blieb die schwere sensorische Aphasie unbeeinflusst. Grund dafür war eine Schädigung im Wernicke Zentrum, als Folge der Kontusionen, Nekrosen und des Hirnödems.



<p>Typisches Bild eines akuten subduralen Hämatoms im CCT mit Mittellinienverlagerung der Falx.</p>	<p>Bei dieser Aufnahme ist die Komplexität der Erkrankung ersichtlich, Kontusionen, traumatische SAB und Hirnödem (Pfeile).</p>	<p>Postoperative Aufnahme nach dekompressiver Kraniektomie.</p>	<p>Nach Abklagen des Hirnödems wurde die Schädeldeckenreimplantation durchgeführt. Die Hypodensitäten im Wernicke Zentrum sind Folge der Kontusionen, Nekrosen und des Hirnödems aufgrund des Traumas (Pfeil).</p>
---	---	---	--

1.4.2 Subarachnoidalblutung

Patienten mit schwerer Subarachnoidalblutung, nach Hunt und Hesse Grad 4 und 5, die häufig mit großen intracerebralen oder sylvischen Hämatomen präsentieren, haben aufgrund des raumfordenden Masseffektes und der signifikanten Hirnstammkompression ein schlechtes neurologisches Outcome. Die dekompressive Kraniektomie kann bei solchen kritisch erkrankten Patienten zur Reduktion der Mortalität und Morbidität führen[128]. Eine groß angelegte Kraniektomie führt zur raschen und anhaltenden Kontrolle des ICP, manche Autoren schlagen sogar die prophylaktische dekompressive Kraniektomie bei SAB nach Hunt und Hess Grad 4 und 5 vor[166]. Andere Untersuchungen zeigen dass, sogar bei Abwesenheit großer intracerebraler Hämatome und bei erwartenden ischämischen Komplikationen, die frühe dekompressive Kraniektomie eine sehr positive Wirkung auf die Behandlung des therapieresistenten gesteigerten Hirndruckes hat, was sich auch auf das Langzeit-Outcome der Patienten widerspiegelt[158].

Fallbeispiel: Patient S.C. erlitt eine schwere SAB nach Ruptur eines Aneurysmas der Arteria cerebri media. Am Tag des akuten Ereignisses erfolgte die osteoklastische pterionale Kraniotomie und Aneurysmaclipping. Die Erweiterung der Entlastungskraniektomie 4 Tagen nach dem Aneurysmaclipping war aufgrund des sonographisch mittels TCD und in weiterer Folge radiologisch mittels DSA festgestellten Vasospasmus mit beginnendem Infarkt des Arteria cerebri media Gebietes erforderlich. Im weiteren Verlauf kam es zur raschen Rückbildung des Hirnödems, der Patient wachte auf, die Reimplantation des Eigenknochens erfolgte in der 6 Woche nach Kraniektomie und gehörte somit in die Gruppe der ultra frühen Kranioplastik.



SAB, klinisch nach Hunt und Hess Grad 4 und radiologisch nach Fisher Grad 3.	Darstellung eines Aneurysmas der Arteria cerebri media mittels DAS.	Erweiterungs-Kraniektomie bei angehenden Infarkt der Arteria cerebri media Region beim Vasospasmus.	Gutes postoperatives Ergebnis nach Knochendeckelreimplantation und Ventrikuloperitoneale Shunt Anlage in einer Sitzung.
--	---	---	---

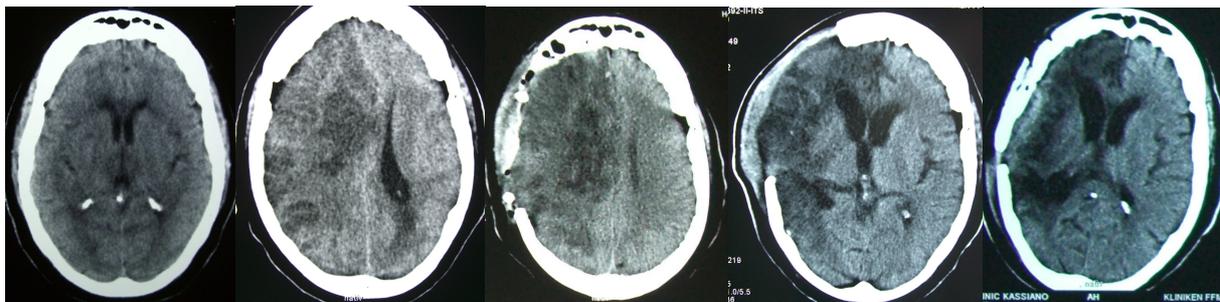
1.4.3 Infarkt

Als Indikation für eine dekompressive Kraniektomie gilt der maligne Hirninfarkt bei Verschluss der Arteria carotis oder Arteria cerebri media mit Mittellinieverlagerung und drohender Einklemmung[14,98].

Schwab und Mitarbeiter zeigten in einer prospektiven Studie von Patienten mit malignem Hirninfarkt, dass das Outcome der Patienten, die mit einer Hemikraniektomie behandelt wurden, erstaunlich gut war. Nur 13% der 46 kraniektomierten Patienten von insgesamt 63 Patienten hatten ein schweres neurologisches Defizit. Des Weiteren kann eine frühe Kraniektomie, die Zeit der Intensivtherapie verkürzen und das neurologische Outcome weiter verbessern[160].

Fallbeispiel: Patient C.D. (74 Lj.) hatte aufgrund einer schweren Arteria carotis interna Stenose rechts mehrere transitorisch ischämische Attacken erlitten. Als der Patient auf dem Flugweg von seinem Heimatland in Mittelfrika nach England zur Versorgung der

Gefäßstenose mittels Thrombendarterektomie war, trat eine zerebrovaskuläre Dekompensation mit Bewußtseinstrübung ein. Dies erforderte die Landung des Flugzeuges in Frankfurt und die notfallmäßige Intubation des Patienten. Die CCT ergab einen bereits voll ausgebildeten malignen Media-Infarkt. Nach Entlastungskraniektomie und lange anhaltendem persistierenden Hirndruck kam es zur Normalisierung der intracerebralen Druck-Volumen Verhältnisse und zu einer Erholung des Patienten. In der 8. Woche Post-Kraniektomie erfolgte die Reimplantation des Knochendeckels, der Patient erreichte einen zufrieden stellenden neurologischen Zustand mit moderater Behinderung und Selbstständigkeit (GOS 4). Trotz einer leichten armbetonten Hemiparese war der Patient selbständig und lebte im häuslichen Umfeld.



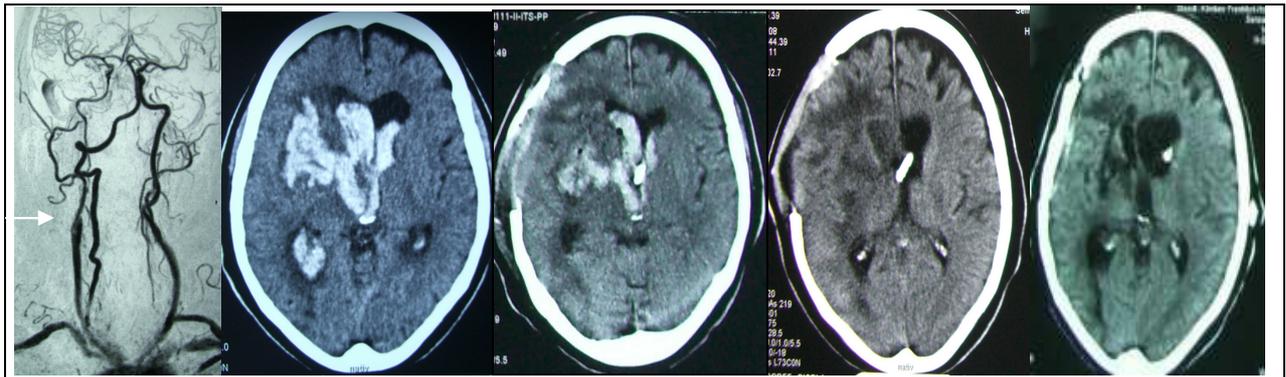
Bildgebung vor dem akuten Ereignis.	Entwicklung eines malignen Media-Infarktes.	Entlastungskraniektomie.	Langsame Rückbildung des Hirnödems.	Reimplantation des Knochendeckels nach 8 Wochen ab Kraniektomie
-------------------------------------	---	--------------------------	-------------------------------------	---

1.4.4 Intracerebrale Blutung

Ausgedehnte intracerebrale Blutungen mit Mittellinienverlagerung über 1 cm in der bildgebenden Diagnostik führen zu einem lebensbedrohlichen Anstieg des intracraniellen Druckes und erfordern häufig eine dekompressive Kraniektomie. Das Volumen des Hämatoms hat einen starken prediktiven Wert auf die 30-Tage Mortalität. Die dekompressive Kraniektomie mit Hämatomevakuierung ist eine lebensrettende Maßnahme und führt bei

jungen Patienten mit großen rechts hemisphärischen Hämatomen zur Verbesserung des neurologischen Outcomes[121]. Patienten mit hämorrhagisch transformierten primär ischämischen Hirninfarkten, die sich sekundär verschlechtern und insbesondere solche mit tief gelegenen intracerebralen Blutungen, die raumfordernd wirken und zur Mittellinienverlagerung bzw. Verlegung der basalen Zisternen führen, können von zusätzlichen Entlastungstechniken profitieren.

Fallbeispiel: Patientin A.G. erlitt eine ausgedehnte tief gelegene intracerebrale Blutung rechts hemisphärisch mit Einbruch in das Ventrikelsystem und konsekutiver Mittellinienverlagerung nach links. Die Patientin hatte ursprünglich eine filiforme Stenose der Arteria carotis interna rechts mit einem kleinen Infarkt im Media Gebiet. 2 Tage nach der Thrombendarteriektomie und Eversionsplastik der Arteria carotis interna mit Desobliteration der Arteria carotis communis und Arteria carotis externa ereignete sich eine intracerebrale Blutung im Sinne einer hämorrhagischen Reperfusion des vorher infarzierten Gebietes. Die Entlastungskraniektomie und Anlage einer externen Ventrikeldrainage zur Hirndruckmessung und Liquorablass wurden notfallmäßig durchgeführt. Im Verlauf konnte die Patientin in wachem, kontaktfähigem Zustand und mit einer mittelgradigen Hemiparese auf Normalstation verlegt werden. 4 Wochen nach der Kraniektomie wurde ein Ventrikuloperitonealer Shunt angelegt. 14 Wochen post Kraniektomie wurde die Reimplantation des Knochendeckels durchgeführt. In weiterer Folge wurde die Pat. zunehmend remobilisiert und erreichte trotz des relativ hohen Alters (71 Lj.) und der Schwere der Blutung ein gutes neurologisches Outcome mit moderater Behinderung (GOS 4). Die Patientin hatte eine leichte Hemiparese rechts, war selbständig und bei den alltäglichen Aufgaben unabhängig von fremder Hilfe.



<p>MR Angio der Halsgefäße. Der weiße Pfeil zeigt die hochgradige Stenose des Arteria carotis interna.</p>	<p>CCT: Intracerebrales Hämatom mit Ventrikeleinbruch als Folge der Reperfusion ischämischen Hirngewebes.</p>	<p>Zustand nach Kraniektomie, das intracerebrale Hämatom befindet sich in Resorption, große Hämatomanteile wurden bereits durch den Ventrikelkatheter drainiert.</p>	<p>3 Wochen nach Kraniektomie, die intracerebrale und intraventrikuläre Hämatomanteile sind vollständig resorbiert.</p>	<p>Zustand nach Knochedeckelreimplantation und Ventrikuloperitonealen Shunt.</p>
--	---	--	---	--

1.4.5 Infektion

Fortgeschrittene intracerebrale Infektionen mit ausgedehnter begleitender Hirnschwellung, wie bei intracerebralen und subduralen Abszessen, erfordern vielfach die dekompressive Kraniektomie, um primär eine Einklemmungssymptomatik zu behandeln oder einen refraktären Hirndruck vorzubeugen[14,68]

1.4.6 Tumor

Cushing war der erste, der systematisch die dekompressive Kraniektomie zur Entlastung des erhöhten intracraniellen Drucks beschrieben hat[14,68]. Anaplastische Gliome mit ausgedehntem perifokalem Ödem und Mittellinienverlagerung, die zu einer tentoriellen Einklemmungssymptomatik führen oder höhergradige Gliome, die durch eine Einblutung eine massive intracerebrale Raumforderung bedingen, können mittels dekompressiver

Kraniektomie und Duraplastik behandelt werden. In der Literatur existieren Einzelberichte[54].

1.4.7 Seltene Ursachen

Eine dekompressive Kraniektomie kann aber auch seltene Ursachen haben, wie Pseudotumor cerebri oder metabolische Enzephalopathien[13]. Es gibt Einzelberichte in der Literatur von dekompressiven Kraniektomien nach schweren cerebralen venösen Thrombosen oder Dura Sinus Thrombosen[80,184,169]. Carvi y Nievas und Mitarbeiter berichteten über die cerebrale venöse Thrombose als Ursache von hämorrhagischen Infarkten, über die Gefahr der Ausweitung in Dura Sinuses mit letalem Ausgang und über die Komplexität der Therapie dieser Patienten, die nicht nur antiödematöse Maßnahmen, sondern auch ein enges radiologisches und klinisches follow-up unter gleichzeitiger Antikoagulation erfordert[25].

1.5 Indikation für eine Kranioplastik

Besteht nach einer erfolgreichen Trepanation kein Grund mehr für die Aufrechterhaltung des Schädeldefektes, stellt sich aus verschiedenen Gründen die Frage nach der Kranioplastik desselben[133]. Folgende Indikationen werden im Einzelnen diskutiert:

1.5.1 Kosmetische

Unversorgte Defekte nach dekompressiver Kraniektomie beeinträchtigen sehr nachhaltig das Erscheinungsbild des Pat. und ziehen oft eine Reihe von psychosozialen Problemen nach sich. Mit der Kranioplastik wird die Entstellung des Kraniaums behoben. Sie verbessert somit das

Aussehen und die soziale Integration des Patienten. Die psychologische Einstellung ist eine der Hauptindikationen für die Kranioplastik[13,98].

1.5.2 Mechanische Verwundbarkeit

Die Kranioplastik dient unter anderem auch dem Schutz vor Traumata[13,98]. Patienten die sich eine dekompressive supratentorielle Kraniektomie unterzogen haben, werden im Verlauf intensiv krankengymnastisch und physiotherapeutisch behandelt. Die mechanische Verwundbarkeit, vor allem unter dem Aspekt, dass viele dieser Patienten epilepsiegefährdet sind, ist groß. Die Beseitigung der mechanischen Verwundbarkeit hat mit Sicherheit einen hohen Stellenwert in der Versorgung der Patienten.

1.5.3 „Syndrome of the trephined“ und “syndrome of the sinking skin flap”

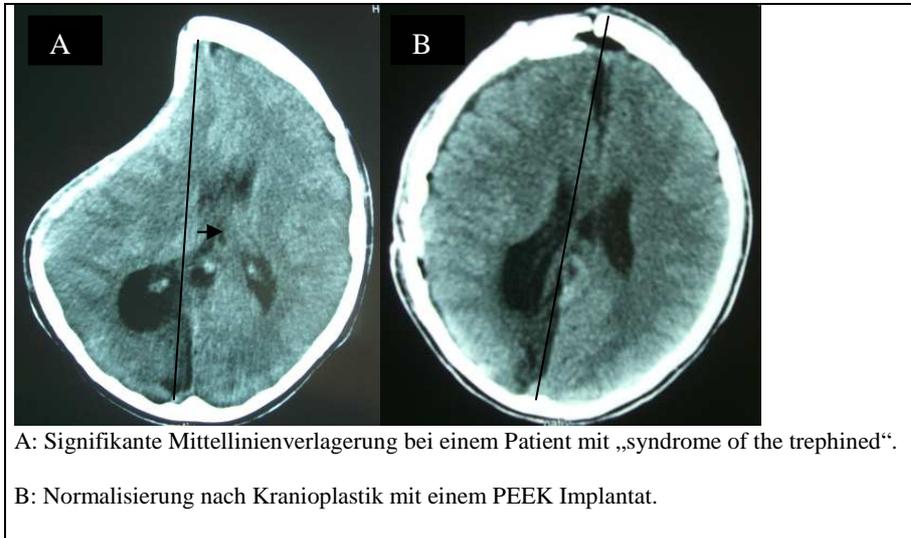
Die allgemein akzeptierte Indikation für Kranioplastie wurde in der Literatur als „syndrome of the trephined“ bezeichnet, das folgende Symptome beinhaltet: schwere Kopfschmerzen, Schwindel, schnelle Ermüdung, Gedächtnisstörung, Affektlabilität, Krampfanfälle, mentale Störungen und Überempfindlichkeit auf Vibrationen[186,59,188,41].

Diese Symptome treten laut mehrerer Autoren Wochen und Monate nach einer Kraniektomie auf. Eine Verschlimmerung der Symptome ist typischerweise bei Änderung der Körperposition mit Aufrichtung des Oberkörpers zu beobachten. Charakteristisch für dieses Syndrom ist die Reduktion bzw. Rückbildung der Symptome nach der Kranioplastik[45,142,185].

1977 führten Ymaura und Makino den Begriff des “syndrome of the sinking skin flap” ein und erklärten, dass eine Kompression des Gehirns durch den atmosphärischen Druck bedingt ist.

Zusätzlich zu den oben beschriebenen Symptomen wurden Demenz, progressive Hemiparese und akinetischer Mutismus erwähnt.

Fallbeispiel:



1.5.4 Therapie oder Prävention der postoperativen Epilepsie

Die Therapie und Prävention der postoperativen Epilepsie als Indikation für Kranioplastik wird sehr kontrovers diskutiert. In späteren Studien wurde demonstriert, dass die Inzidenz der postoperativen Epilepsie nicht durch die Kranioplastik beeinflusst werden kann[58].

1.5.5 Problemaufriss: relativer Zeitpunkt der Kranioplastik

Einige Autoren vertreten die Meinung, dass der Zeitpunkt der Kranioplastik 3-6 Monate nach der Kraniektomie sein sollte, im Falle eines Infektionsrisikos, sogar mindestens 6 Monate bis zur Kranioplastik abgewartet werden sollte[156].

Nach allgemein akzeptierter Ansicht, sollte das Zeitintervall zwischen komplizierten Wunden und der Kranioplastik bei 3-6 Monaten liegen. Bei einer Wundinfektion sollte man sogar ein Jahr bis zur Deckung warten. Rish und Mitarbeiter publizierten 1979 ihre Erfahrungen über 491 Kranioplastiken bei penetrierenden Schädelverletzungen und entschieden, dass es nach derart komplexen Verletzungen notwendig sei, mindestens 1 Jahr bis zur Kranioplastik

abzuwarten[150]. Diese Schlussfolgerung kann allerdings nicht auf Patienten mit großen Schädeldefekten nach dekompressiver Kraniektomie übertragen werden.

Es herrscht Unklarheit bezüglich des Kranioplastik-Zeitpunktes für die Mehrzahl der kraniektomierten Patienten. In einem späteren Kapitel (Kapitel 2.3.5) werden die wichtigen klinischen, radiologischen und physiologischen Faktoren der Entscheidungsfindung des Kranioplastik-Zeitpunktes analysiert. Bei dieser Entscheidung spielt die persönliche Erfahrung und Einstellung des Operateurs eine große Rolle. Aus Mangel an wissenschaftlichen Beweisen und allgemeinen Richtlinien bezüglich des Timings der Kranioplastik wählten manche erfahrene Neurochirurgen den Zeitpunkt der Kranioplastik erst nach Abschluss der Rehabilitation aus, in vielen Fällen sogar zu einem noch späteren Zeitpunkt. Gerade diese kritische Auseinandersetzung mit der Entscheidung des Kranioplastik-Zeitpunktes war ein wichtiger Trigger für die Ausarbeitung dieser Dissertation.

1.6 Folgen des Knochendefekts aus pathophysiologischer Sicht

Langfitt hat 1968 in einer experimentellen Arbeit gezeigt, dass der Liquordruck bei Patienten mit einem großen Schädelknochendefekt in aufrechter Position höher ist, als bei Patienten ohne Defekt[94].

Magnaes berichtete 1976, dass bei 5 Patienten mit großen Schädelknochendefekten, der 0 Liquordruck Niveau und der hydrostatische Indifferenz-Punkt nach kranial verlagert waren. Diese Parameter normalisierten sich nach einer Kranioplastik[101].

Fodstad und Mitarbeiter haben hydrodynamische Studien des Liquordrucks vor und nach der Kranioplastik publiziert[48,49]. In ihrer ersten Publikation[48] 1979 untersuchten Fodstad und Mitarbeiter 18 Patienten (13 Männer und 5 Frauen, im Alter von 23-59 Jahren [Durchschnittsalter 40,5 Jahren]). Bei 16 Fällen wurde ein großer kranialer Defekt durch eine

dekompressive Kraniektomie erzeugt, um verschiedene Ursachen zu behandeln (8 Schädel-Hirn-Traumata, 5 Subarachnoidalblutungen, 2 Tumore, 1 Enzephalitis) und in 2 Fällen zur Behandlung einer postoperativen Infektion im Bereich des Kraniotomielappens. Zur Untersuchung der Liquor-Hydrodynamik wurde die so genannte „constant-pressure infusion“ Methode verwendet[43]. Bei 8 Patienten wurden normale Liquor hydrodynamische Werte vor und nach der Kranioplastik festgestellt. Alle diese Patienten hatten flache und harte Kraniektomiestellen. Bei 7 Patienten mit niedrigen hydrodynamischen Werten und bei 1 Patient mit hohem Ruhedruck und Sinusdruck kam es zur Normalisierung nach der Kranioplastik. Diese Patienten hatten große Defekte mit weicher, eingesunkener Kraniektomiestelle.

Die Untersucher haben den Liquordruck bei 11 Patienten in liegender und sitzender Position gemessen. Nach der Kranioplastik hatte der Liquordruck bei Patienten in sitzender Position die Tendenz zu Veränderungen. Gleichzeitig wurde die Pulsamplitude größer. Eine eindeutige Veränderung in Elastance und Puls-korrelierten-Liquordruck wurde beobachtet.

Bei 5 Patienten haben sich die elektroenzephalographischen Befunde verbessert. Viele Patienten mit präoperativ veränderten Liquor-hydrodynamische-Messungen berichteten postoperativ über weniger Kopfschmerz- und Vertigoepisoden. Die Autoren fassten zusammen, dass obwohl ihre Patientenserie klein und ihre Ergebnisse etwas verwirrend waren, einige wichtige Informationen abzuleiten sind. Die Änderung des Liquordrucks und das gebesserte klinische Bild der kraniektomierten Patienten nach der Kranioplastik kann durch eine Distorsion der Dura mater und des darunter liegenden cerebralen Kortex, aufgrund des atmosphärischen Drucks erklärt werden. Eine Verschiebung von weiteren intrakraniellen Strukturen wäre möglich. Diese Erkenntnis wird von der Tatsache gestützt, dass Patienten die am meisten von einer Kranioplastik profitiert haben, hatten große kraniale Defekte in der Nähe von duralen Venensinus und eine eingesunkene Deformität, die eine Übertragung des

atmosphärischen Druckes auf den cerebralen Kortex erlaubte. Solche Defekte sollten deshalb so früh wie möglich kranioplastiert werden[48].

In einer zweiten publizierten Serie, berichteten Fodstad und Mitarbeiter[49] über 40 Patienten nach Kraniektomie bei denen Liquor hydrodynamische Messungen mittels Liquorinfusionstests vor und nach Kranioplastik durchgeführt wurden. Die Ergebnisse zeigten eine Korrelation zwischen klinischen Symptomen und Größe und Lokalisation des craniellen Defektes. Nach Kranioplastik wurden die Patienten in den folgenden 4 Gruppen klassifiziert. Gruppe I bestand in „true ST patients“: 14 Patienten mit Symptomen des „syndrome of the trephined“, mit Verschlechterung während des Valsalva Manövers oder bei Änderung der Körperposition. Ihre Symptome waren nicht vor der Kraniektomie vorhanden und bildeten sich nach der Kranioplastik zurück. Gruppe II bestand in „partial ST patients“: 8 Patienten mit Symptomen des „syndrome of the trephined“ die vor der Kraniektomie nicht vorhanden waren. Die Symptome wurden nach derKranioplastik mehr oder weniger erleichtert, waren aber durch Valsalva Manövers oder Änderung der Körperposition unbeeinflussbar. Gruppe III bestand in „other patients“: 12 Patienten mit neurologischen Defiziten die mit der Primärerkrankung oder der chirurgischen Prozedur relevant waren. Gruppe IV bestand in „symptom-free patients“: 6 Patienten ohne ST oder neurologischen Defiziten.

Die Liquor-hydrodynamische-Variablen die vor der Kranioplastik verändert waren und sich danach normalisiert haben, waren folgende: Ruhedruck, Druck des Sinus sagittalis, Volumen, Elastance bei Ruhedruck und Pulsvariationen bei Ruhedruck. In der Gruppe I haben 79% der Patienten eine Rückbildung der Symptome und 21% eine Besserung erfahren. Alle Patienten dieser Gruppe hatten weiche Kraniektomiestellen, die nach Aufrichten des Oberkörpers eingesunken waren. Bei 10 Patienten dieser Gruppe waren die Defekte parietooccipital. Alle Patienten der Gruppe II haben sich nach der Kranioplastik gebessert. 7 der insgesamt 8 Patienten hatten weiche und ein Patient harte Kraniektomiestellen. Die Defekte waren in 5 Fällen frontoparietal lokalisiert. In den Gruppen III und IV waren die Kraniektomiestellen

hart und in den Frontal- und Temporalregionen lokalisiert. In diesen Gruppen waren die Defekte über die Mittellinie ausgedehnt. Alle Patienten mit Kopfschmerzen, Vertigo oder Benommenheit haben, unabhängig von der Beeinflussbarkeit dieser Beschwerden durch Lageänderungen, eine komplette Rückbildung oder eine Verbesserung der Symptome erfahren. Bei 10 von 17 Patienten mit Hemiparese wurde eine Besserung oder Rückbildung präsentiert, bei 2 Patienten mit visuellen Defekten sowie bei 5 von 8 Patienten mit Dysphasie wurde eine Besserung oder Rückbildung demonstriert. Während mnestiche Störungen minimal durch die Kranioplastik beeinflusst wurden, konnte kein Einfluss auf Dyspraxie und Affektlabilität ausgeübt werden.

Die Theorie des Einflusses des atmosphärischen Drucks auf den cerebralen Kortex einer eingefallenen Kraniektomie wurde von vielen Autoren vorgeschlagen[123,149,172,189].

Der Einfluss der Beeinträchtigung des regionalen cerebral blood flow (CBF) sowie der zerebrovaskulären Reservekapazität (CVR) und des cerebralen Glucose Metabolismus bei Patienten mit dem so genannten „syndrome of the trephined“ wurde von Winkler und Mitarbeiter untersucht[186]. Beim Aufrichten des Pat. von der liegenden auf die sitzende Position kam es zur signifikanten Reduktion der Flussgeschwindigkeit der extrakraniellen Arteria carotis interna (ICA) auf der kraniektomierten Seite im Vergleich zur kontralateralen Seite. Die Kranioplastik hat den Einfluss des Lagewechsels auf den Blutfluss der extrakraniellen ICA aufgehoben. Die zerebrovaskulären Reservekapazität (CVR) war vor der Kranioplastik stark reduziert, nach der Kranioplastik war eine eindeutige Besserung sowohl ipsilateral als auch kontralateral zu verzeichnen. Eine Verbesserung des cerebralen Glucose-Metabolismus wurde nach der Kranioplastik in der ipsilaterale Hemisphäre mittels PET-Untersuchungen gezeigt und war ein guter prognostischer Faktor für das klinische Outcome des Patienten.

1.7 Physiologische Vorgänge nach der Kranioplastik

Die neurologische Besserung des Pat. nach der Kranioplastik wurden wiederholt in der Literatur berichtet, eine Erhöhung des cerebral blood flow (CBF) wurde von vielen Autoren angenommen[94,101,167,171].

Winkler und Mitarbeiter untersuchten den Einfluss der Kranioplastik an den CBF und zerebralen Metabolismus[186]. Bei dieser Studie wurden 13 Patienten mit ausgedehnten Kraniektomien untersucht. Die Blutflussgeschwindigkeiten der Arteria cerebri media (MCA) und extrakraniellen Arteria carotis interna (ICA) wurden mittels transkranieller Doppler Sonographie (TCD) bei Lageänderungen gemessen (horizontale und sitzende Lagerung). Zur Messung der zerebrovaskulären Reservekapazität (CVR) wurden TCD Messungen unter 1 g Azetazolamid durchgeführt. 12 Patienten bekamen eine 18-Fluordesoxyglucose Positron Emissions Tomography (PET). Die Untersuchungen wurden vor und 7 Tage nach der Kranioplastik durchgeführt.

Die Kranioplastik verbesserte die präoperativen Unterschiede in den Flussgeschwindigkeiten der MCA und hob die Reduktion der Flussgeschwindigkeit der ICA in der betroffenen Seite nach Lagewechsel auf. Die CVR zeigte einen eindeutigen Anstieg nach der Kranioplastik. Eine Besserung des cerebralen Glucose Metabolismus war ebenfalls in dieser Studie nach einer Operation zu verzeichnen.

1.8 Operationsarten und Techniken der Kranioplastik

Entscheidende Faktoren für die Bestimmung der Operationsart sind: das Verhalten des Materials zu mechanischen, thermalen und elektrischen Reizen, die Verformbarkeit und Passgenauigkeit in den Knochendefekt, der Bedarf an biologischer Verträglichkeit, Anoxizität

und das Fehlen an neoproliferative und inflammatorische Reaktionen der umliegenden Geweben. Das ideale Knochensubstitut soll biokompatibel, osteokonduktiv und osteoinduktiv stabil sein.

Die Fortschritte in der Transplantationsmedizin und die Verbesserung der Kenntnisse über immunologische Prozesse, speziell über die Histokompatibilität und insbesondere die Übertragung von Viren und anderen Krankheitserregern nach Transplantation von Organen von Kadavern, führte zu einem Rückgang der Transplantation von homologen (allogenen) und heterologen (xenogenen) Materialien.

Bei der Entscheidung über das geeignete Implantat sollten noch Risikofaktoren für eine Infektion mit berücksichtigt werden, wie rezidivierende Infektionen präoperativ, die Kondition der Weichteile im Bereich der Kraniektomie und die Konkavität der präoperativen kraniellen Deformität[11].

1.8.1 Autolog

Die autologe Knochendeckelreimplantation hat in den letzten Jahren eine Renaissance erlebt. Grund dafür sind die Schwierigkeiten und Komplikationen, die mit der Verwendung von alloplastischen Materialien vergesellschaftet sind.

In der Vergangenheit wurden autologe Transplantate von der Crista iliaca[99,111,118,137,138,187], ganze Rippen[79,97], Teile von Rippen[10,18,19,47,56,90,104,120,143,173], Sternum und Scapula[13,14,112] verwendet. Die Verwendung von autologen Transplantaten, die von der Kalotte präpariert werden, wurden 1969 von Santoni-Rugiu beschrieben[155]. Verschiedene Techniken zur intradiplomatischen Aufspaltung des Knochendeckels wurden präsentiert[146,23,147,71,95]. Diese sind allerdings relativ aufwendig und hauptsächlich zur Behandlung von

Knochendefekten, die durch Kraniektomie von benignen Schädelkalotten-Tumoren oder Tumoren ähnlicher Läsionen (fibröse Dysplasie) entstehen, geeignet[8].

Die Kranioplastik mit dem autologen Knochen ist aktuell das Mittel der ersten Wahl. Der Einsatz von alloplastischen Implantatmaterialien wird im Allgemeinen nur dadurch nötig, dass autologe Knochen oft nicht ausreichend verfügbar sind oder mit den Nachteilen eines zweiten Operationssitus verbunden sind[179,20,100,139].

Die Verwendung des eingefrorenen Schädelknochens wurde mehrmals in der Literatur erwähnt[14,112,1,9,91,125,145,179]. Die natürliche Histokompatibilität und Affinität in Korrelation mit den exzellenten kosmetischen Ergebnissen sowie die Fusion des vitalen Knochengewebes in dem vorhandenen Knochendefekt machen diese Methode sehr beliebt.

Früher hat die Preservation und Sterilisation des autologen Knochendeckels ein Problem dargestellt. Heutzutage ist diese Problematik in den Hintergrund geraten. Das Lagerungsverfahren der Tiefkühlung, mit oder ohne Sterilisation im Autoklaven, oder die alleinige Dampf- oder Gassterilisation des Knochendeckels sind bewährte Methoden[65,73,114,126,179].

Die Verwahrung des Knochendeckels in der Bauchhöhle wird noch in den Vereinigten Staaten angewendet[2]. Von dieser Technik wird nur noch selten berichtet. Eine von Zingale und Albanese durchgeführte Metaanalyse dieser zwei Techniken der Aufbewahrung des Eigenknochens ergab keine signifikanten Unterschiede im Hinblick auf Komplikationen[191]. Die Autoren vertreten allerdings die Meinung, dass das Einfrieren des Eigenknochens gegenüber der Verwahrung in der Bauchhöhle bevorzugt werden sollte. Die Autoren argumentieren, dass im Fall des Einfrierens die operative Zeit verkürzt ist und das Knochenimplantat stärker mechanisch belastbar ist[191].

Es besteht noch die Möglichkeit den entnommenen Knochendeckel subgaleal zu lagern[53,88,133]

1.8.2 Tutoplast® Verfahren

Das Tutoplast® Verfahren ist eines der weltweit ersten Prozesse zur Reinigung, Konservierung und Sterilisation von Spendergeweben, bei dem alle Anforderungen an die Gewebekonservierung berücksichtigt werden und mit dem alle bisher bekannten übertragbaren Erreger eliminiert oder inaktiviert werden konnten.

Seit 1997 ist es möglich, den bei einer dekompressiven Kraniektomie entnommenen Schädelknochen nach Durchlaufen des Tutoplast® Verfahrens zu lagern und zu reimplantieren. Im Zuge dieser Gewebebehandlung, die für Weich- und Hartgewebe gleichermaßen geeignet ist und die in der Kranioplastik ebenfalls an allogenen Spenderknochen durchgeführt wird, durchläuft der entnommene Knochendeckel verschiedene Bearbeitungsschritte, die der Hersteller Tutogen Medical GmbH, Neunkirchen am Brand, Deutschland, in einer kurzen Zusammenfassung wie folgt beschreibt: Zunächst wird der Knochen in einem Ultraschallbad entfettet. Danach erfolgt die osmotische Behandlung mit Wasser und Natriumhypochlorid, wodurch die Zellmembranen zerstört werden, die Antigenität ausgeschaltet und Viren exponiert werden. Durch Oxidation mit Wasserstoffperoxyd werden die unbehüllten Viren inaktiviert und die Restantigenität entfernt. Es folgt die Lösungsmitteltrocknung unter Verwendung von Aceton, was Prionen auswäscht und die Inaktivierung der unbehüllten Viren sicherstellt. Nach einer Primärverpackung wird der Knochendeckel gammastrahlensterilisiert und nach einem LAL-Test auf Endotoxine endverpackt. Die Wirksamkeit der Bearbeitung wird dabei durch eine Zwischenkontrolle nach der Acetonbehandlung und eine Endkontrolle sichergestellt. Bei der Gamma-Strahlen Sterilisation wird die Dosis von 17,8 kGy angewendet, was zu keiner wesentlichen Schwächung der biomechanischen Eigenschaften führt, aber fast alle pathogenen Keime, einschließlich Retroviren sicher eliminiert[5,134,176,181].

Das Tutoplast® Verfahren hat folgende positive Effekte auf das Spendergewebe: Erhalt der Biomechanik und der Umbaubarkeit, Entfernung der Antigenität und Infektiosität sowie Beibehaltung der Sterilität durch einfache Lagerung und Handhabung.

Die Prozessierung dauert nach Auskunft des Herstellers mindestens 7 Wochen, was einem Preis von 918 € entspricht. Bei einer Wartezeit von 10 Wochen reduziert sich der Preis auf 438 €.

Im Rahmen einer Dissertationsarbeit hat sich in einer retrospektiven Analyse von 61 Patienten die Kranioplastik mit einem Tutoplast® prozessierten autogenen Knochentransplantat als sinnvolle Methode zur Deckung von Schädeldefekten erwiesen. Sie verursacht jedoch höhere Kosten und benötigt wesentlich mehr Aufarbeitungszeit als das Wiedereinsetzen des tiefgefrorenen Kalottenstücks des Patienten, ohne diesem gegenüber deutliche Vorteile bezüglich Resorptions- oder Infektionsrate zu gewährleisten. Dies gilt besonders für die Gruppe der jugendlichen Patienten[92, 93].

1.8.3 Alloplastik

Die erwünschten Eigenschaften der alloplastischen Materialien für die Deckung der Schädeldefekte beinhalten: 1. die stabile Fixation und Härte des Implantats, 2. einen guten Rand-Kontakt des Implantats und die kosmetisch akzeptable Kontur. Viele Kranioplastik-Methoden und Implantate wurden propagiert[150,103,177,85]. Die idealen Eigenschaften eines alloplastischen Materials könnten wie folgend definiert werden: 1. Einfache Adaptation, 2. Biokompatibilität, 3. Stabilität der Form, 4. Zulassen des Einwachsens des Gewebes, 5. Geringe Resorption.

1.8.3.1 Kunststoff

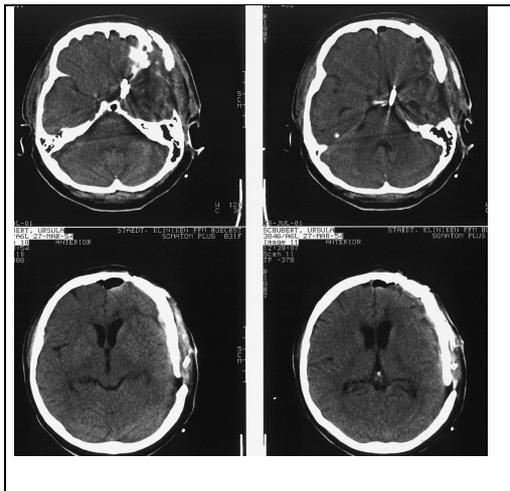
Die Kranioplastik mit Polymethylenmethacrylat (PMMA) ist weit verbreitert. PMMA ist ein synthetischer thermoplastischer Kunststoff der durch Polymerisation des monomeren Methacrylsäuremethylesters entsteht. Dieses Material ist ausreichend biokompatibel, röntgentransparent, leicht, einfach in der Verarbeitung, wärmeisolierend, preiswert und stabil[168,177]. Die Prozedur ist einfach und erfordert wenig technischen Aufwand, der Kunststoff wird in plastischem Zustand in den Schädeldefekt eingebracht, an die Knochenränder angepasst und modelliert. Sobald er im Laufe der Polymerisation ausreichend Festigkeit erlangt hat, wird er entnommen, um den terminalen Aushärtungsvorgang, bei dem die meiste Polymerisationswärme entsteht, extrakorporal ablaufen zu lassen[85,188]. Durch den Zusatz von Carboxy-Methyl-Zellulose zum Acrylat ist es möglich eine poröse Struktur zu schaffen, was als erwünschten Nebeneffekt die Polymerisationstemperatur senkt[20].

In der Anwendung von PMMA wurden mehrfach in der Literatur Nachteile publiziert: Die seltene allergische Reaktionen die durch die Bestandteilen N,N- Dimethylparatoluidin und Monomerkomponente des Kunststoffs bedingt sind, können letale Folgen haben[20,113]. Die Komplikationsrate aufgrund postoperativer Infektionen konnte zwar durch den Zusatz eines Antibiotikums ab 1975 entscheidend gesenkt werden, ist aber mit bis zu 13% noch immer relativ hoch[7,85].

Ein ebenfalls relevantes Problem bei den großen Defekten der Entlastungskraniektomie stellt das oft unbefriedigende ästhetische Ergebnis dar[14]. Spezielle Verarbeitungsmethoden wurden entwickelt um die Dicke der Plastik bei erhöhter Festigkeit zu reduzieren, dazu wurde ein Metallgitter aus Titan oder rostfreiem Stahl mit Acrylat kombiniert[50,103]. Der Gewinn in Bezug auf Stabilität und Kosmetik ist jedoch eher gering und die Radiopazität des Metallgitters stellt eine Behinderung für radiologische Folgeuntersuchungen dar[14]. Die leichtere und preiswertere Verarbeitung besonders in Entwicklungsländer soll durch das

Konzept der standardisierten vorgefertigten Implantate ermöglicht werden. Diese Implantate werden alternativ aus PMMA oder Kohlenfaserwerkstoffen hergestellt[67].

Durch den Einsatz der Computertechnik können PMMA Implantate individuell und passgenau angefertigt werden, dies gelingt durch die Verwendung von computertomographisch gewonnenen Daten[98,35,27].



Die Anfertigung eines PMMA Implantates intraoperativ kann aufgrund der Größe des Kraniektomie-Defektes, Schwierigkeiten bereiten und sich als eine sehr zeitintensive Methode herausstellen. In diesem Fall einer PMMA Kranioplastik vor der Ära der CAD-CAM Implantate war das kosmetische Ergebnis akzeptabel.

Kotwica und Mitarbeiter sowie Couldwell und Mitarbeiter haben gänzlich andere Kunststoffe zur Kranioplastik angewendet[89,32]. Poröse polyethylen Implantate wurden in 25 Fällen erfolgreich von Couldwell eingesetzt[32].

Neulich wurde von Schrey und Mitarbeiter der erste Fall in Deutschland eines patientenspezifischen Implantates aus PEEK (Polyetheretherketone) zur Deckung eines komplexen Kraniotomiedefektes präsentiert[159]. Die Vorteile des PEEK sind die minimale Artefakte bei MRT Untersuchungen, das geringe Gewicht des Implantats im Vergleich zu anderen Materialien, die geringe Wärmeleitfähigkeit bei extremen Wärme- oder Kälteexposition im Vergleich zu Titan und die Option der intraoperativen Modifikation des Implantats, mittels Fräse und anderen üblichen Werkzeugen, um eine optimale Anpassung zu gewährleisten. Als mögliche Nachteile werden folgende diskutiert: die hohen Kosten, die längere präoperative Aufbereitung, des Fehlen eines potentiellen antimikrobiellen Effektes im Vergleich zu Titan

und die Tatsache, dass PEEK im Röntgenbild völlig durchsichtig ist, sodass eine Lagekontrolle nicht möglich ist. Zur Zeit wird PEEK für patientenspezifische Kranioplastik-Implantate von der Synthes GmbH (Umkirch, Deutschland) angeboten, in den nächsten Monaten plant 3di GmbH (Jena, Deutschland) die Produktion mit PEEK zu starten.



Intraoperative Sicht eines PEEK Implantates mit vorgefertigten Löchern für die Anlage von Dura-Hochnähten und für die Fixierung mittels Titan-Plättchen.

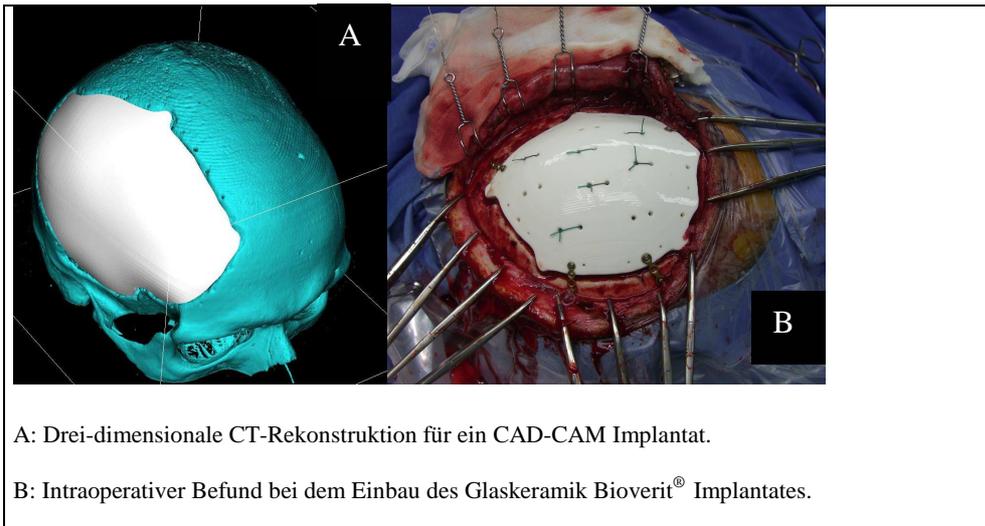
1.8.3.2 Keramik

In den letzten drei Jahrzehnten richtet sich die Forschung auch auf den Einsatz von Keramiken in der Kranioplastik, hauptsächlich in Form von Aluminiumkeramik und Hydroxylapatitzement, wobei letzterer osteokonduktiv wirkt[31,38,87,100,109,115,141,183].

Die Verwendung von Hydroxylapatitzement in Kombination mit Tantalum Gitter oder Titan Miniplatten kann die Stabilität des Konstruktes erhöhen und die kosmetische Resultate verbessern allerdings wurden hohe Infektionsraten berichtet[42,109].

Glaskeramik Bioverit[®] wurde vom Wissenschaftsbereich Glaschemie der Friedrich-Schiller-Universität Jena unter Leitung von Prof. Vogel entwickelt. Es handelt sich dabei um eine maschinell bearbeitbare Glaskeramik des $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO-Na}_2\text{O-K}_2\text{O-F}$ -Systems. Unter Verwendung von CT-Daten wird dieses Implantat patientenspezifisch computergestützt erstellt. Aufgrund der Biokompatibilität, der kurzen Bereitstellungszeit für das individuelle Implantat und der postoperativen Komplikationsfreiheit haben sich Glaskeramik Implantate gut bewährt[12].

Chemisch dem Hydroxylapatit ähnlich und dahin umwandelbar ist das natürliche Korallenexoskelett, das allein oder kombiniert mit Wachstumsfaktoren wie transforming growth factor β , bone morphogenetic proteins (BMPs) oder autologen Knochenmarkzellen eingesetzt bzw. erforscht wird[6,7].



1.8.3.3 Metalle

Metallimplantate sind in der Kranioplastik üblich. Aufgrund umfangreicher Anwendungsrefahrung gilt Titan als ein metallisches Implantationsmaterial der 1. Wahl und ist in hohem Maße gewebeverträglich, nicht-toxisch und wenig allergen (Unverträglichkeitsreaktionen beim Titan sind kaum bekannt). Die größere Röntgentransparenz und die im Vergleich zu Tantalum geringeren Kosten veranlassten Simpson 1965 auf Titan zurückzugreifen[165,26]. Das Material bietet zusätzlich die Vorteile eines geringen Gewichtes und einer postoperativen Infektionsrate unter 2% [26,15,55,77]. Ein Nachteil, wenn auch im geringsten Ausmaß, bleibt der Titan-Abrieb[75]. Es besteht der Verdacht, dass die frei werdenden Metallsalze und die Abriebpartikel aseptische Entzündungen hervorrufen können.

Titan-Kranioplastiken können heutzutage als maßgeschneiderte Plastik, nach Durchführung eines individuellen Dünnschicht-CTs, angefertigt sowie auf die Ränder des knöchernen Schädeldefektes aufgelegt und zur Fixierung verschraubt werden, was zu hervorragenden ästhetischen Ergebnissen führt[77,66,78]. Das Fehlen einer intraoperativen Bearbeitungsmöglichkeit wird von vielen Operateuren als Nachteil aufgefasst.

Zur Verordnung des Implantates ist somit ein präoperatives Planungs-CT des betroffenen Patienten erforderlich. Bezüglich der Datenaquise mit CT gibt es bestimmte Voraussetzungen, das CT-Untersuchungsprotokoll wird von der jeweiligen Firma bestimmt.

Die Indikation für die Verwendung einer Titan-Kranioplastik ist der operativ entstandene Schädelknochendekt und die Knochendestruktionen durch gutartige Tumoren. Ebenso werden mit diesem Verfahren aber auch postoperativ entstandene Osteolysen, z.B. durch Infektion, behandelt.

Für die Anwendung bei Kindern besteht keine ausreichende Erfahrung.

Ein Nachteil von Titanimplantaten ist die hohe Wärmeleitfähigkeit im Vergleich zu anderen Implantaten. In seltenen Fällen sind Überempfindlichkeitsreaktionen im Sinne von Kopfschmerzen bei extremer Kälte- und Wärmeexposition beobachtet, weswegen für den Patienten solche Expositionen zu vermeiden sind. Dieser Punkt sollte vorsichtshalber im Aufklärungsgespräch erwähnt werden.

Titanimplantate besitzen eine hohe Kompatibilität mit den Schichtbildverfahren CT und MRT. Titan Implantate sind MR-sicher und MR-kompatibel. Dies wurde mit Feldstärken bis zu 1,5 Tesla untersucht, höhere Feldstärken sollten wegen der Gefahr möglicher Erwärmung der Titan-Kranioplastik vermieden werden. MR-Darstellung wird bei der von uns verwendeten Titan-Kranioplastik (Craneo-TOP®) nicht substantiell beeinträchtigt, sofern herkömmliche oder schnelle Spin-Echo-Impulssequenzen verwendet werden. Allerdings fallen die verursachten Artefakte negativ ins Gewicht.

Metalldetektoren, wie sie z.B. zur Gepäck- und Personenkontrolle auf Flughäfen Verwendung finden, können auf Titan Implantaten reagieren, eine Gefährdung des Pat. entsteht hierdurch jedoch nicht.

Der größte Nachteil des Titans als Implantationsmaterial liegt im vergleichsweise hohen Preis. Für eine große Plastik beträgt nach Auskunft des Herstellers (Cranio-TOP, Deutschland) durchschnittlich 5300€.

Eine weitere Anwendung von Titan in der Kranioplastik findet sich in Form von Metallgittern, die mit verschiedenen Materialien kombiniert werden können, wie mit Acrylat, mit Hydroxylapatitzement und mit Knochenstaub[37,103,109,124].

2. MATERIAL UND METHODIK

2.1 Patientengut

242 Patienten, die in den letzten 7 Jahren in der Neurochirurgischen Klinik Frankfurt Höchst mit einer Kranioplastik nach dekompressiver Kraniektomie versorgt wurden, wurden in der vorliegenden Studie eingeschlossen.

Die dekompressive supratentorielle Kraniektomie wurde bei allen Patienten zur Behandlung eines therapieresistenten erhöhten intrakraniellen Druckes in der Folge von verschiedenen Grunderkrankungen durchgeführt. Nach Entfernung eines Knochendeckels von mindestens 12 cm im Durchmesser, wurde in allen Fällen eine Duraplastik mit synthetischem Material (Tutopach®) durchgeführt. In den Fällen, in denen es möglich war, wurde der eigene Schädelknochen bei -70° C in der Knochenbank gelagert.

Die verwendeten Implantatmaterialien waren: autologer Knochen, Tutogen prozessierter autologer Knochen, PMMA, Keramik, PEEK und Titan. Für die Fixation der Implantate wurden Titanium Mikroplatten verwendet. Der Hautlappen wurde einheitlich im Bereich der Galea aponeurotika mittels absorbierbaren Vicryl Fäden und im Bereich der Haut mittels Prolene Fäden geschlossen.

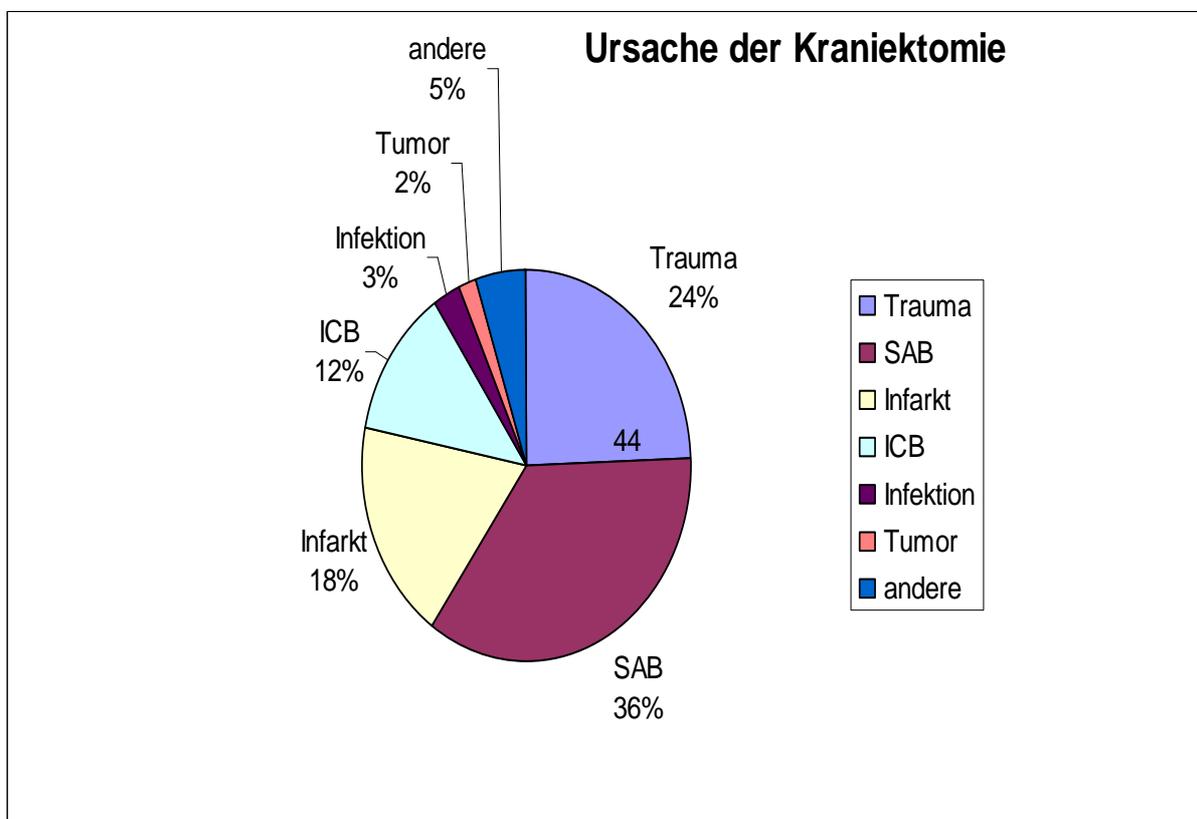
Dieses Patientengut wurde retrospektiv analysiert. Im Anschluss an die Aktenauswertung wurden die Patienten im Rahmen eines telefonischen Interviews zu ihrem aktuellen Gesundheitszustand befragt.

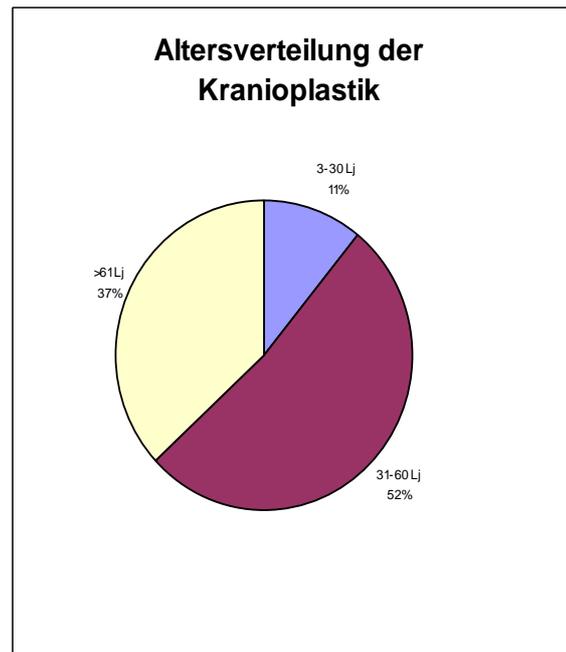
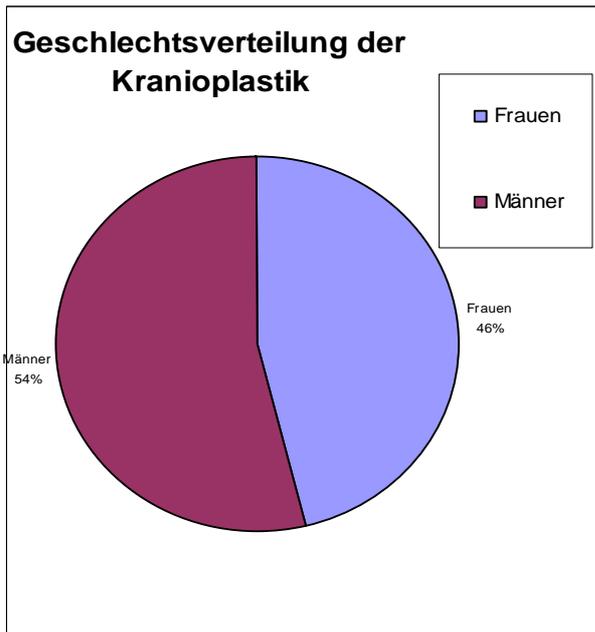
Die Gruppe der untersuchten Patienten bestand aus 112 Frauen und 130 Männern, deren Durchschnittsalter 52,6 Jahre betrug (1-79 Jahre).

28 Patienten waren jung (<30. Lebensjahr), 125 Patienten waren im mittleren Lebensalter (30.-60. Lebensjahr) und 89 Patienten waren alt (>60. Lebensjahr).

Bei 234 Patienten wurde eine unilaterale und bei 8 Patienten eine bilaterale frontotemporoparietale dekompressive Kraniektomie durchgeführt.

Als Ursache für die Kraniektomie zählen 85 Patienten mit SAB (alle Patienten mit SAB nach der Hunt und Hess Klassifikation Grad 3 und 4), 59 Patienten mit Trauma, 44 Patienten mit Infarkt, 30 Patienten mit ICB, 8 Patienten mit Infektion, 4 Patienten mit Tumor und 12 Patienten mit sonstigen Ursachen.





Im Anhang werden in der Tabelle die klinisch relevanten Daten aller Patienten präsentiert.

2.2 Methoden der Datenanalyse

2.2.1 Retrospektive Datenanalyse

Den ersten Schritt der Untersuchung stellte die Sichtung der Krankenakten und die Aufnahme der verfügbaren Daten in einem für diesen Zweck zuvor erstellten, tabellarischen Fragenkatalog dar (siehe Anhang, Tabelle 1).

Alle Patienten, die in dieser Arbeit eingeschlossen wurden, hatten einen großen Schädelknochendefekt aufgrund einer supratentoriellen dekompressiven Kraniektomie, das heißt im größten Durchmesser größer als 12 cm.

Das neurologische Outcome der Patienten wurde vor der Kranioplastik, nach der Kranioplastik (vor Entlassung aus dem stationären Aufenthalt) und in einem späteren Zeitpunkt mittels telefonischer Befragung beurteilt.

Nach Abschluss der retrospektiven Datenanalyse erfolgte die telefonische Befragung der Patienten zum aktuellen, postoperativen Gesundheitszustand anhand eines zweiten Fragebogens (siehe Anhang, Tabelle 2).

Das Zeitintervall zwischen der Kranioplastik und der telefonischen Befragung der Patienten und Angehörigen lag bei den Traumapatienten durchschnittlich bei 43,2 Monaten (1-88 Monate postoperativ), bei der Patientengruppe einer dekompressiven Kraniektomie aufgrund einer SAB bei 44,1 Monaten (1-85 Monate postoperativ), bei der Patientengruppe einer dekompressiven Kraniektomie aufgrund eines malignen Mediainfarktes bei 44,5 Monaten (1-90 Monate postoperativ), bei der Patientengruppe einer dekompressiven Kraniektomie aufgrund einer ICB bei 44,3 Monaten (1-87 Monate postoperativ), bei der Patientengruppe einer dekompressiven Kraniektomie aufgrund eines Tumors mit Hirnödemen bei 45,1 Monaten (1-96 Monate postoperativ), bei der Patientengruppe einer dekompressiven Kraniektomie aufgrund einer SAB bei 45,6 Monaten (1-97 Monate postoperativ) und bei der Patientengruppe einer dekompressiven Kraniektomie aufgrund einer Infektion bei 43,7 Monaten (1-87 Monate postoperativ).

2.2.2 Telefonische Befragung

Um den postoperativen Zustand der Patienten zu ergründen, wurde ein weiterer Fragebogen (siehe Anhang, Tabelle 2) erstellt. Im Vordergrund stand hierbei, durch telefonische Befragung festzustellen, ob die Patienten postoperativ von den Beschwerden des „syndrome of the trephined“ befreit wurden, ob sie und ihre Angehörigen mit dem kosmetischen Ergebnis zufrieden waren, ob sie in der Lage sind, Alltagsanforderungen zu bewältigen und ob eine Rückkehr in das Berufsleben erreicht werden konnte.

Die Telefonnummern der Patienten oder deren Angehörigen wurden, soweit vorhanden, den Krankenakten entnommen. Waren dort keine Angaben zu finden, so wurde via Telefonauskunft die Telefonnummer herausgefunden.

Wenn möglich, fand ein Gespräch mit dem Patienten selbst statt. War dies aufgrund der Beeinträchtigung des Patienten nicht gegeben, so wurden die Fragen durch Angehörige oder den behandelnden Arzt beantwortet.

Dazu wurde, neben der Befragung zu bestehenden Einschränkungen auf motorischer und sprachlicher Ebene auch analysiert, ob und in welchem Maße der Patient im alltäglichen Leben, zum Beispiel beim Waschen, Treppensteigen, Hilfe in Anspruch nehmen muss oder aber diese Dinge selbstständig ausführen kann. Dazu wurde der Barthel-Index (siehe Anhang, Tabelle 2) verwendet.

Alle Patienten oder deren Angehörigen wurden zu Beginn des Telefonates über den Zweck und den Hintergrund der Befragung informiert und um das Einverständnis zu der Befragung gebeten.

2.3 Parameter der Datenanalyse

2.3.1 Personalien und Aufnahmebefund

Grundlegende Informationen über den Patienten wurden im ersten Teil des Fragebogens festgehalten (siehe Anhang, Tabelle 1).

Darin waren Angaben enthalten zu: Alter, Geschlecht, Ursache der Kraniektomie, Zeitpunkt der Kraniektomie, Zeitpunkt der Kranioplastik.

Anamnestische Daten, der neurologische Aufnahmebefund, die lokalen Verhältnisse des Kraniektomielappens sowie eventuell bestehende Risikofaktoren des Patienten wurden wie folgt erhoben: Subjektive Beschwerden des Patienten, Bewusstseinszustand und Orientierung,

Hirnnervenstatus und fokale neurologische Ausfälle, Niveau des Kraniektomieklappens und mögliche Abhängigkeit vom Lagezustand und Lagewechsel, Risikofaktoren (Diabetes mellitus, Lungen- oder Nierenerkrankungen, Alkoholabusus, Hypertonus, sonstige).

2.3.2 Diagnostik

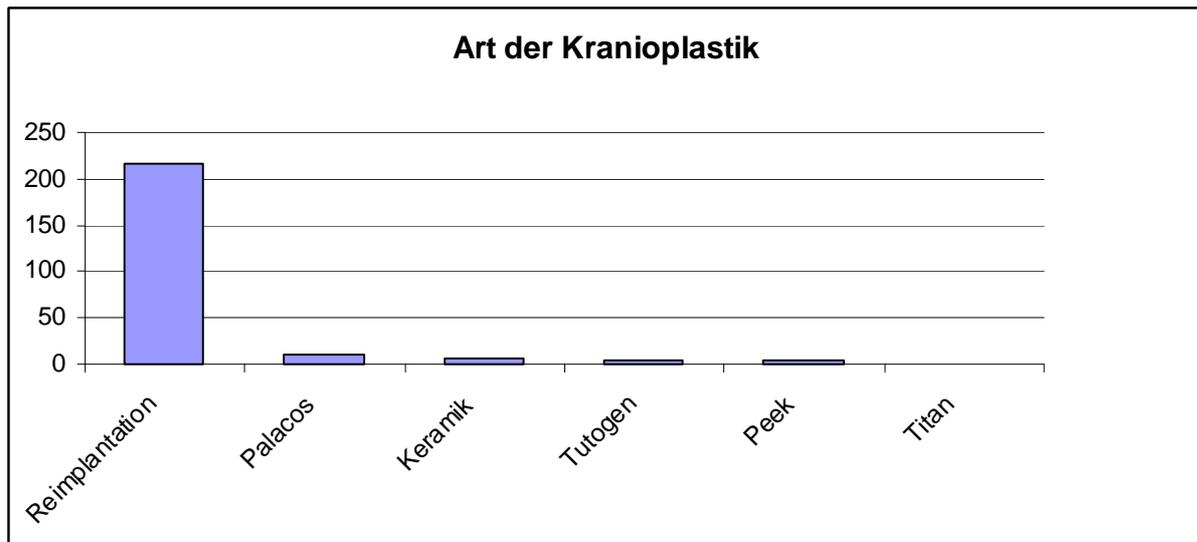
Cerebrale Computer Tomographie (CCT) erfolgte bei allen Patienten sowohl prä- als auch postoperativ als Routineuntersuchung. Raumfordernde intracerebrale Hämatome und Areale mit Hirnödemen wurden präoperativ mittels CCT ausgeschlossen.

Ebenfalls routinemäßig wurden die wichtigsten Laborparameter erfasst (HB, HK, Quick, PTT, Thrombozyten, Elektrolyte).

Zu den diagnostischen Maßnahmen zählten, die transcranielle Dopplersonographie und die Kernspintomographie des Schädels. Allerdings sind diese Maßnahmen nicht standardmäßig bei allen Patienten durchgeführt.

2.3.3 Indikationsstellung und Art der Kranioplastik

In 217 (90%) der 242 Fälle wurde der entfernte, autologe, kryopreservierte Schädelknochen reimplantiert. In 10 (4%) wurde eine Palacosplastik durchgeführt. In 4 (2%) wurde der autologe Knochen nach Anwendung des Tutoplastverfahrens reimplantiert, in 6 (2%) wurde ein Glaskeramik Implantat, in 4 (2%) ein PEEK Implantat nach vorherigem Planungs-CCT und in 1 Fall wurde ein Titan Implantat als maßgeschneiderte Plastik nach vorherigem Planungs-CCT implantiert.



2.3.4 Faktoren für die Entscheidung der Art der Kranioplastik

Der autologe Schädelknochen war das Implantat der ersten Wahl. Ein langes Intervall zwischen Kraniektomie und Deckung des Knochendefektes war ein entscheidendes Kriterium für die Wahl eines CAD-CAM Implantates.

Bei bereits abgelaufener Infektion wie z.B. ein subdurales Empyem oder stattgehabter Wundheilungsstörung wurde die Indikation für eine Tutoplast-Verarbeitung des autologen Schädelknochens oder für eine Alloplastik gesehen.

2.3.5 Faktoren für die Entscheidung des Kranioplastik Zeitpunktes

Für die Entscheidung des Kranioplastik Zeitpunktes wurden folgende Parameter evaluiert:

- Ursachen der Dekompression

Eine offene Schädelfraktur und jede offene Hirnverletzung in der Anamnese war ein wichtiger Entscheidungsfaktor für eine späte Kranioplastik.

- Infektionen

Infizierte Wunden nach Kraniektomie, intracerebrale Infektionskomplikationen und Wundheilungsstörungen wurden von einer ultra frühen Kranioplastik ausgeschlossen.

- Niveau des Kraniektomie-Lappens

Das Niveau des Kraniektomie-Lappens wurde in sitzender und liegender Position beurteilt.

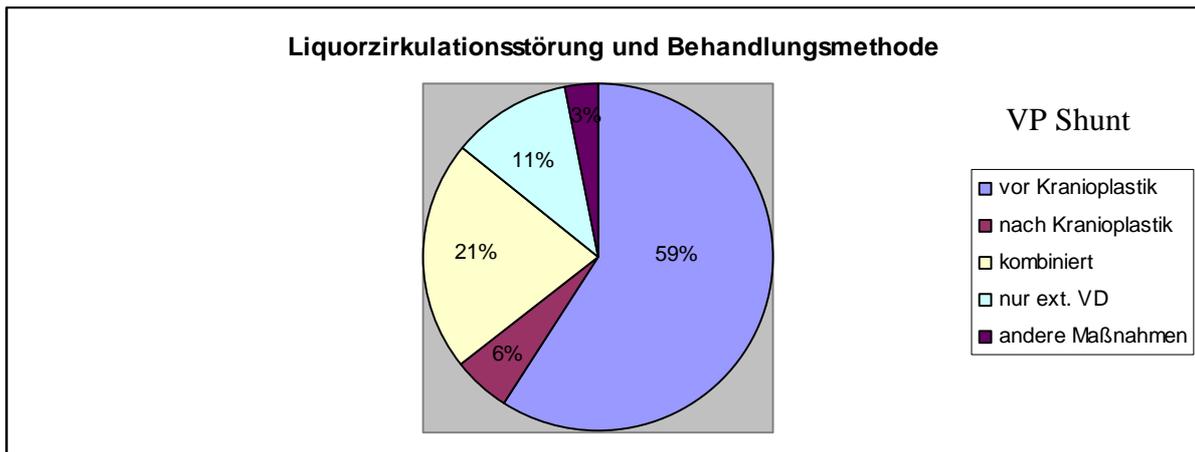
- ICP

Eine vollständige Normalisierung des ICP war Voraussetzung für eine ultra frühe Kranioplastik. Die intracranielle Druckmessung wurde nur in Ausnahmefällen durchgeführt, es wurde mit Hilfe von Druckaufnehmern von den externen Ventrikeldrainagen gemessen. Als Bezugsniveau wurden die Foramina monroi und als Normalwert des ICP eines Erwachsenen im Liegen bei Ruhe wurden Werte zwischen 5-15 mmHg definiert.

- Störungen der Liquorzirkulation

Die Kranioplastik hat nicht nur einen starken Einfluss auf die Dynamik der Liquorzirkulation[48] sondern auch auf die zerebrale Blutflussregulation, zerebrovaskuläre Reservekapazität und cerebralen Glucosemetabolismus[186]. Die Einwirkung des atmosphärischen Druckes auf einen großen Kraniektomie-Defekt ist am Beispiel der Patienten mit stark eingesunkenem konkavem Kraniektomie-Defekt zu sehen. Manche Patienten können eine persistierend hervorquellende Kraniektomiestelle zeigen, in diesen Fällen wird sogar eine Herniation durch die Kraniektomie beobachtet. Dieser Zustand wird öfters mit der Entwicklung eines Hydrocephalus communicans assoziiert[25].

In diesem Patientenkollektiv erhielten 75 Patienten (59%) einen ventrikuloperitonealen Shunt vor der Kranioplastik, 7 Patienten (6%) nach der Kranioplastik und 27 (21%) ein kombiniertes Verfahren mit Kranioplastik und Implantation eines programmierbaren ventrikuloperitonealen Shunts in einer Sitzung. 14 Patienten (11%) wurden vorübergehend mit einer externe Ventrikeldrainage und weitere 14 Patienten (11%) mit einer Lumbaldrainage versorgt, im weiteren Verlauf war die Anlage eines VP Shunt Systems nicht notwendig. Bei 4 Patienten (3%) war die Anlage eines subduroperitonealen Shuntsystems notwendig.



Die Beurteilung der äußeren und inneren Liquorräume in der CCT kann erste Hinweise für einen Hydrocephalus liefern. Die Feststellung des Hydrocephalus basierte auf die Kriterien von Kishore und Mitarbeiter[83]: 1. Vergrößerung der Vorderhörner der Seitenventrikel, 2. Ballonierung des III Ventrikels und Erweiterung der Temporalhörner, 3. normale oder verminderte Rindenzeichnung an der Konvexität, 4. wenn vorhanden, Vergrößerung der basale Zisternen und des IV Ventrikels, 5. periventrikuläre Dichteminderung als Zeichen einer transependymaler Liquorresorption. Für die Festlegung der Operationsindikation wurde folgendes berücksichtigt: 1. Kriterien von Kishore, 2. klinische Daten, 3. progressive Zunahme der Ventrikelweite in der CCT nach Probe-Verschluß der vorhandenen externen Ventrikeldrainage.

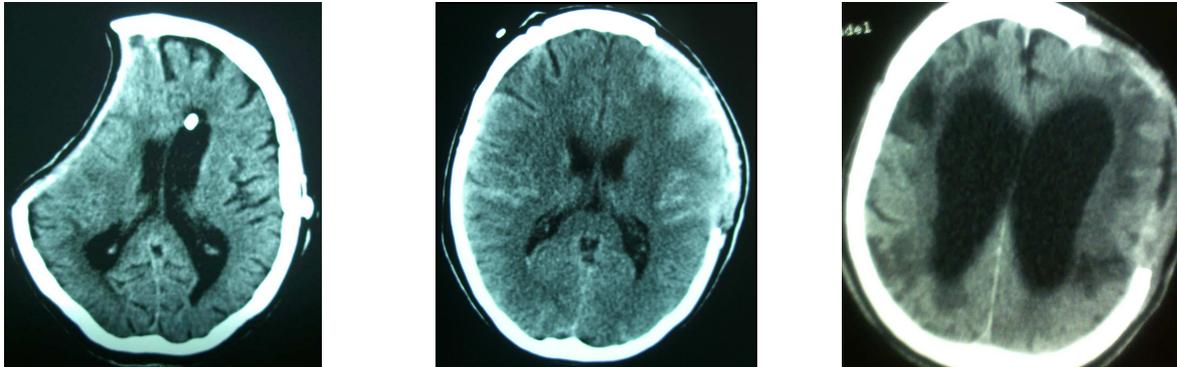
Bei bestehender externer Ventrikeldrainage wurde die befördernde Liquormenge nach Elevation des Liquorreservoirs um 10 cm über den äußeren Gehörgang gemessen. Ein programmierbares ventrikuloperitoneales Shuntsystem wurde, bei einer Liquordrainage von mehr als 150 ml wenn gleichzeitig in der CCT dilatierte Ventrikel zu sehen waren, eingebaut. Für die ventrikuloperitoneale Shunt Implantation wurde ein Codman-Medos programmierbares Ventil angewendet (Medos, SA, Le Loche, Schweiz).

- Radiologische Kriterien

Eine CCT Untersuchung wurde bei allen Patienten routinemäßig vor und in regelmäßigen Abständen nach der Kraniektomie durchgeführt. Stark raumfordende Prozesse, wie intracerebrale Hämatomme oder ausgedehnte Hirnareale mit einem Hirnödem, wurden somit ausgeschlossen.

Der kraniale Defekt wurde nach Beurteilung des CCT vor der Kranioplastik in 3 Typen unterteilt. Typ 1 bestand aus einer schlaffen, konkaven, eingesunkenen Kraniektomiestelle, Typ 2 bestand aus einer weichen, leicht konvexen, im Niveau des Kalottenrandes befindlichen Kraniektomiestelle und Typ 3 bestand aus einer konvexen, über dem Niveau des Kalottenrandes befindlichen, eventuell auch prall gespannten hernierte Kraniektomiestelle.

Die 3 Typen des Kraniektomie-Defektes nach CCT:



Typ 1	Typ 2	Typ 3
Deutliche Exkavation des Kraniektomielappens.	Kraniektomielappen im gleichen Niveau mit der Kalotte.	Kraniektomielappen über dem Kalottenniveau.

93 Patienten wurden als Typ 1 eingestuft und hatten einen eingesunkenen, konkaven Kraniektomiedefekt. 77 Patienten wurden als Typ 2 eingestuft und hatten einen weichen, im Niveau des Kalottenrandes befindlichen Kraniektomielappen. Weitere 70 Patienten wurden

als Typ 3 eingestuft und hatten einen konvexen, über dem Kalottenniveau befindlichen Kraniektomiellappen.

Zusätzlich zu den oben angeführten Faktoren spielte bei der Entscheidung des Kranioplastik-Zeitpunktes noch die persönliche Erfahrung und Einstellung des Operateurs eine große Rolle (siehe oben, Kapitel 1.5.5).

2.3.6 Operation

2.3.6.1 Intraoperativer Befund

Es wurde analysiert, ob intraoperativ Schwierigkeiten mit der Anpassung des Implantats aufgetreten sind. Zusätzlich wurde festgehalten, ob intraoperativ neben einer Herniation, größere Blutverluste oder sonstige Besonderheiten aufkamen.

2.3.6.2 Postoperativer Verlauf

Hinsichtlich des postoperativen Verlaufs wurden Daten über Veränderung des klinisch-neurologischen Zustandes der Patienten aufgenommen. Folgende Daten wurden analysiert: Vigilanz, Orientierung, Hirnnervenstatus, fokale sensomotorische Ausfälle, neuropsychologische Symptome, insbesondere eine klinische Besserung der vor der Kranioplastik beklagten subjektiven Beschwerden der Patienten. Außerdem wurde der Verlauf der Wundheilung erfasst.

Das neurologische Outcome wurde vor Entlassung (im Durchschnitt, eine Woche nach der Kranioplastik) mittels der Glasgow Outcome Scale (GOS) erfasst, wobei GOS 1 den Tod des Patienten und GOS 5 einen komplikationslosen Verlauf bedeuten.

2.3.6.3 Komplikationen

Postoperative Komplikationen wurden nach ihrem zeitlichen Auftreten in frühe und späte Komplikationen eingeteilt:

- Frühe Komplikationen (innerhalb von 72 h nach Operation):

Nachblutung, frühe Infektion.

- Spätkomplikationen

Wundheilungsstörung, Osteomyelitis des reimplantierten Knochendeckels, Demineralisation des Knochendeckels, Abstoßung und Lockerung des Implantats, Shunt Dysfunktion (nach bereits erfolgtem VP Shunt), Hydrocephalus.

Alle infektiösen Komplikationen wurden in Beziehung zu folgenden Parametern analysiert: Alter, Geschlecht, Ursache der Kraniektomie, Zeitpunkt der Kranioplastik, Art der Kranioplastik (Material), Zahl der Risikofaktoren (Diabetes mellitus, Koagulopathie, andere Infektionen mit multiresistenten Erregern). Die statistische Signifikanz wurde mittels Chi-Quadrat- und Fischer Tests analysiert. Ein p-Wert unter 0,05 wurde als signifikant evaluiert.

2.4 Parameter der Datenanalyse: Telefonische Befragung

Mit einem zweiten, ebenfalls eigens für diesen Zweck erstellten Fragebogen (siehe Anhang, Tabelle 2), wurde der postoperative Verlauf der Patienten befundet. Die telefonische Befragung diente der Feststellung des postoperativen Langzeitergebnisses und der Klärung der Frage, ob der Patient nach dem Eingriff eine bessere Lebensqualität hatte und in welchem Umfang eine Besserung eingetreten ist.

Der Fragebogen enthielt vorrangig dichotome, also mit Ja oder Nein zu beantwortende Fragen, da, wie oben erwähnt (siehe Kapitel 2.1), ein Teil der kraniektomierten Patienten eine schwere Primärerkrankung hatte (z.B. SAB höheren Grades nach Hunt und Hess) und

Einschränkungen seitens der Patienten erwarten ließ. Diese Tatsache wurde durch eine verständlich strukturierte und für den Patienten möglichst einfach zu beantwortende Fragestellung berücksichtigt.

2.4.1 Personalien

Der erste Teil des Fragebogens diente neben der Erhebung von persönlichen Daten der Feststellung, ob der Patient bis zum jetzigen Zeitpunkt überlebt hatte

- Name, Geburtsdatum, Geschlecht
- Zeitintervall: Operation-Befragung
- Gesprächspartner(Patient/Angehörige/Arzt)

2.4.2 Postoperative Befunde

Neben Fragen zum Wundheilungsverlauf wurden hier, postoperative, nach der Entlassung des Patienten aufgetretene Komplikationen erfasst: Wundinfektion, Schädeldeformation, Demineralisation des Knochendeckels und Reoperation.

Als Infektion wurde jede purulente oder nicht-purulente Infektion angesehen, die eine Entfernung des Implantats verlangte. Kleine Stichabszesse im Bereich der Hautfäden, die ohne Komplikationen verheilten, wurden ausgeschlossen.

2.4.3 Neurologischer Befund

Der dritte Teil des Fragebogens erfasste den aktuellen neurologischen Befund des Patienten.

Dazu wurden im Einzelnen aufgezeichnet:

- Vigilanz
- Fokale Anfälle, generalisierte Anfälle

- Hirnnervenfunktion
- Paresen, Plegien
- Gehfähigkeit, Gangbild, Koordinationsstörung, Ataxien
- Klinische Besserung

Bei der telefonischen Befragung wurde das neurologische Outcome der Patienten mit Hilfe der Glasgow Coma Scale (GCS) [175] und Glasgow Outcome Scale (GOS)[74] vor und nach der Kranioplastik evaluiert sowie über ihre Veränderungen Auskunft eingeholt. Die GCS ist eine einfache Skala zur Abschätzung einer Bewusstseinsstörung. Obwohl sie häufig in der Intensivmedizin und Notfallmedizin, insbesondere nach einem Schädel-Hirn-Trauma, verwendet wird, lassen sich mit der GCS auch allgemeine Bewusstseinsstörungen quantifizieren. Die allgemeine Akzeptanz der GCS und GOS war ein wichtiger Grund für die Verwendung der beiden Skalen in dieser Arbeit.

Glasgow Coma Scale (GCS)		
Augen öffnen	Spontanöffnen	4
	Öffnen auf Ansprache	3
	Öffnen auf Schmerzreize	2
	keine Reaktion	1
Verbale Reaktion	orientiert	5
	verwirrt, desorientiert	4
	zusammenhangslose Worte	3
	unverständliche Laute	2
	keine verbale Reaktion	1
Motorische Reaktion	befolgt Aufforderungen	6
	gezielte Schmerzabwehr	5
	Massenbewegungen (ungezielte Schmerzabwehr)	4
	Beugesynergien	3
	(Beugereaktion)	2
	Strecksynergien (Streckreaktion)	1
keine Reaktion		

Glasgow Outcome Scale (GOS)	
Gute Erholung, führt normales Leben, minimale Behinderung	5
Moderate Behinderung, unabhängig von fremder Hilfe	4
Schwere Behinderung, bei Bewusstsein aber auf fremde Hilfe angewiesen	3
Vegetativer Status - bewusstlos, spontanes Augenöffnen - entspricht dem Coma vigile	2
Tot	1

2.4.4 Neuropsychologischer Befund

Ein weiterer Abschnitt des Fragebogens erfasste die Funktion bzw. die Einschränkungen der Patienten auf kommunikativer Ebene und beinhaltete Angaben zu:

- Sprache, Sprachverständnis, Sprachstörung (Vorliegen einer globalen, motorischen oder sensorischen Aphasie)
- Lesen und Schreiben

2.4.5 Alltagsbewältigung

Um festzustellen, wie sich der Patient im Alltag zurechtfindet, wurde der Barthel-Index verwendet. Hierbei werden 10 wichtige Funktionen und Tätigkeiten des alltäglichen Lebens berücksichtigt (Essen, Baden, Wachen, Anziehen, Blasenkontrolle, Stuhlgang, Toilette, Aufstehen, Rollstuhl und Treppensteigen) und festgestellt, ob diese unabhängig oder nur mit Hilfe anderer Personen ausgeführt werden können. Eine detaillierte Beschreibung des Barthel-Index ist am Anhang (Tabelle 2) präsentiert.

Schließlich wurde das neurologische Outcome auch mittels der Glasgow Outcome Scale (GOS) erfasst, wobei GOS 1 den Tod des Patienten, GOS 2 das apallische Syndrom, GOS 3

eine schwere Behinderung, GOS 4 eine moderate Behinderung mit Unabhängigkeit von fremder Hilfe und GOS 5 ein normales Leben für den betroffenen bedeuten[74].

2.5 Datenauswertung

Zur Datenauswertung wurden die erfassten Patientendaten in Gruppen eingeteilt.

In der ersten Gruppe wurden die Daten der Patienten, die eine ultra frühe Kranioplastik bis 6 Wochen nach der Kraniektomie erhalten haben, in der zweiten Gruppe die Daten der Patienten, die eine frühe Kranioplastik, das heißt 7 bis 12 Wochen nach der Kraniektomie erhalten haben und in der dritte Gruppe die Patienten mit später Kranioplastik, das heißt ab 13 Wochen nach der Kraniektomie zusammengefasst.

Innerhalb dieser Gruppen wurde eine weitere Einteilung nach den Ergebnissen der retrospektiven Datenanalyse und nach den Ergebnissen der telefonischen Befragung, also den postoperativen Langzeitergebnissen, vorgenommen.

Im Langzeitergebnis wurde festgestellt, ob eine Besserung der präoperativen Beschwerden und des neurologischen Zustandes zu verzeichnen ist. Der Barthel-Index wurde hinsichtlich der Fähigkeit der Patienten analysiert, Alltagsaktivitäten ohne Hilfe Dritter zu bewältigen.

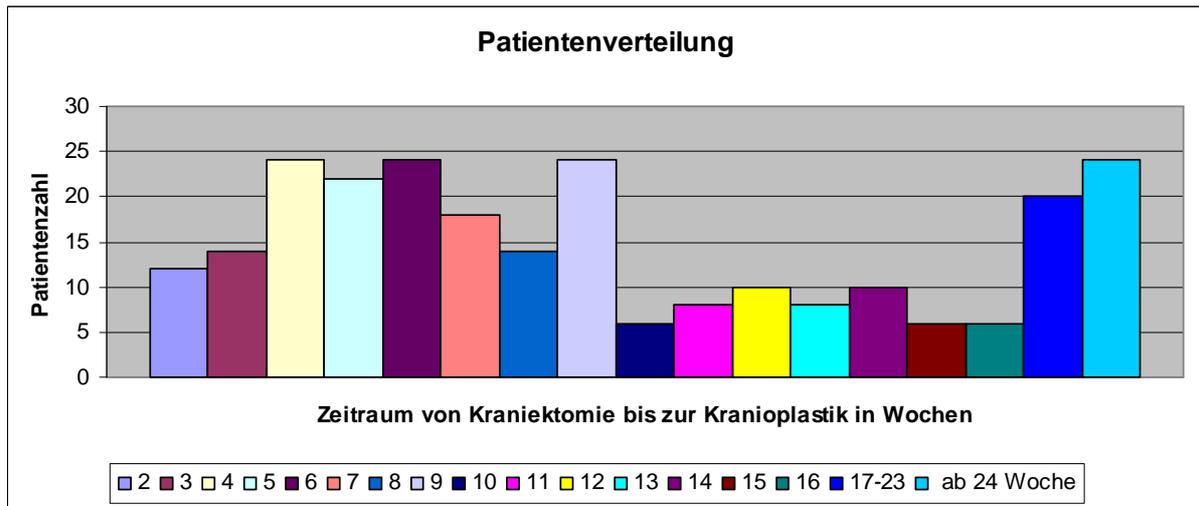
Die Bewertung des Langzeitergebnisses wurde charakterisiert durch eine Rehabilitation auf beruflicher und sozialer Ebene.

Die statistische Signifikanz wurde mittels der Chi-Quadrat und Fischer Tests überprüft. Als statistisch signifikant wurde ein p Wert von $< 0,05$ gewertet.

3. ERGEBNISSE

Die Daten der klinischen Diagnosen und der Zeitpunkt zwischen Kraniektomie und Kranioplastik werden in der Tabelle klinischer Daten präsentiert (siehe Anhang).

Die Patientenverteilung nach dem Zeitpunkt der Kranioplastik in Wochen wird durch folgende Graphik dargestellt.



Der Zeitraum zwischen der Kraniektomie und der Kranioplastik war bei 96 Patienten kürzer als 6 Wochen, 7-12 Wochen bei 77 Patienten, bei 50 Patienten 13 Wochen bis 6 Monate, 6 Monate bis 1 Jahr bei 14 Patienten und nach 1 Jahr bei 4 Patienten.

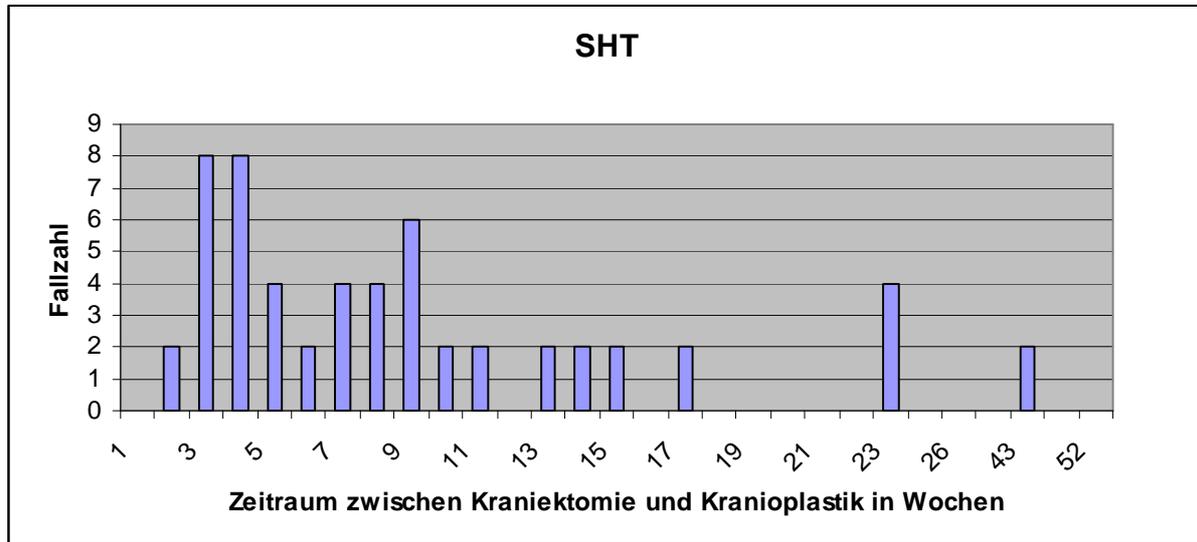
3.1 Zeitpunkt der Kranioplastik in Abhängigkeit der Ursache

Die Daten aller Patienten, die eine Kranioplastik erhalten haben, wurden nach der Ursache der dekompressiven Kraniektomie analysiert.

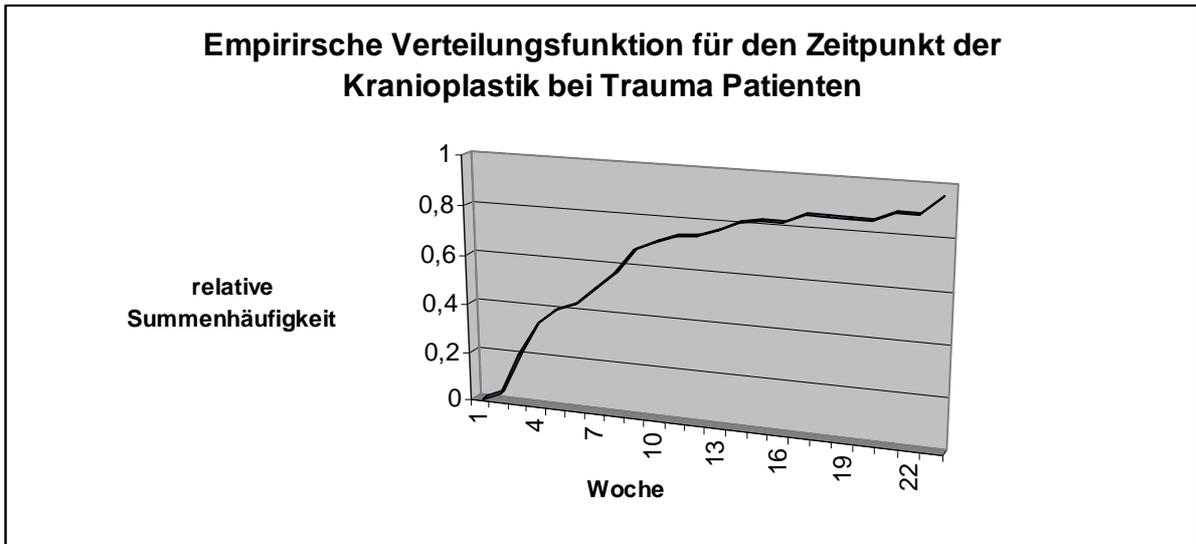
3.1.1 Patienten mit Schädel-Hirn-Trauma

59 Patienten wurden in dieser Gruppe registriert. Die Analyse der kraniektomierten Patienten mit Schädel-Hirn-Trauma ergab, dass mehr als 70% dieser Patienten bereits bis zu 10 Wochen

nach der Kraniektomie eine Kranioplastik erhalten haben. Folgende Graphiken und die Tabelle veranschaulichen die relativ frühe Durchführung der Kranioplastik in dieser Patientengruppe.

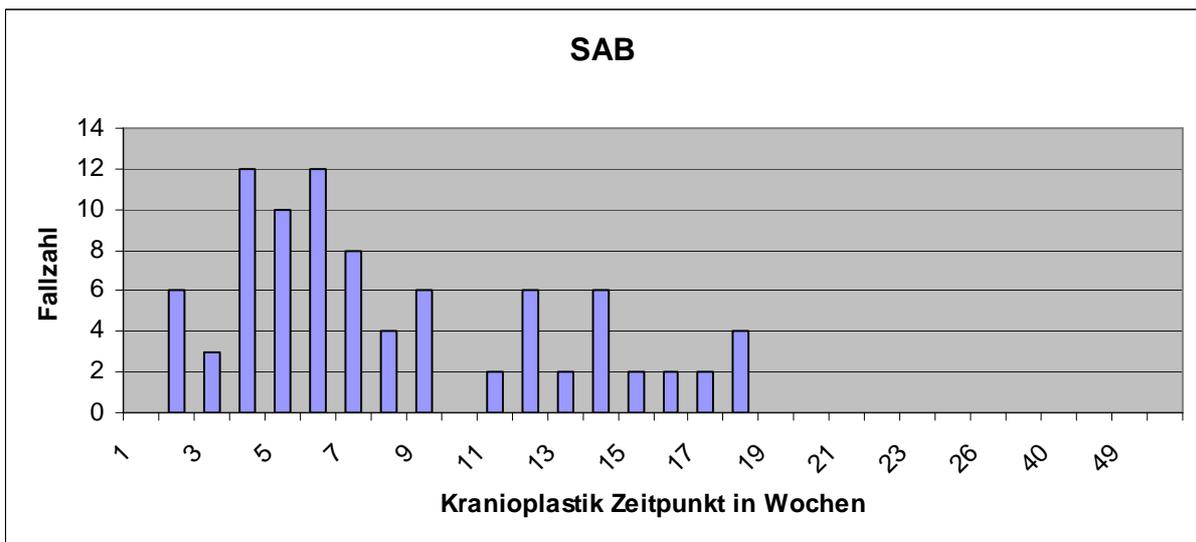


Zeitpunkt der Kranioplastik nach Wochen	absolute Häufigkeit	relative Häufigkeit	absolute Summenhäufigkeit	relative Summenhäufigkeit
1	0	0	0	0
2	2	0,033	2	0,033
3	10	0,169	12	0,202
4	8	0,135	20	0,337
5	4	0,067	24	0,404
6	2	0,033	26	0,437
7	4	0,067	30	0,504
8	4	0,067	34	0,571
9	6	0,105	40	0,676
10	2	0,033	42	0,709
11	2	0,033	44	0,742
12	0	0	44	0,742
13	2	0,033	46	0,776
14	2	0,033	48	0,808
15	1	0,016	49	0,824
16	0	0	49	0,824
17	2	0,033	51	0,857
18	0	0	51	0,857
19	0	0	51	0,857
20	0	0	51	0,857
21	2	0,033	53	0,89
22	0	0	53	0,89
23	4	0,067	57	0,959

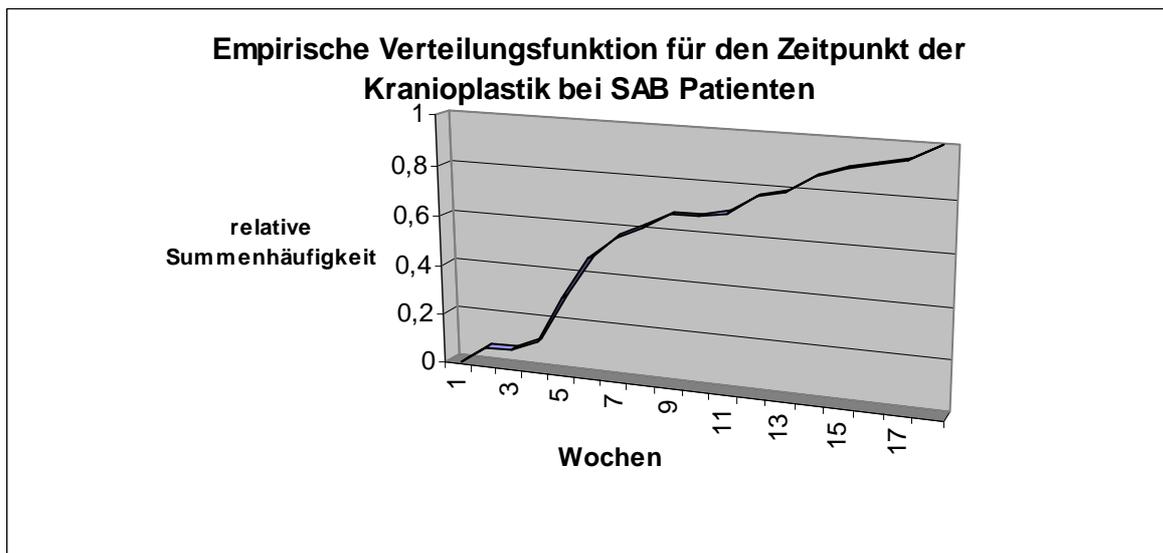


3.1.2 Patienten mit Subarachnoidalblutung nach Aneurysma-Ruptur

83 Fälle wurden in dieser Gruppe registriert. Die Analyse der kraniektomierten Patienten nach Subarachnoidalblutung ergab dass fast 70% dieser Patienten bereits in der 11 Woche nach Kraniektomie eine Kranioplastik erhalten haben. Auch bei dieser Patientengruppe wird relativ früh der Kranioplastikzeitpunkt gewählt. Folgende Graphiken und Tabelle veranschaulichen die relativ frühe Durchführung der Kranioplastik in dieser Patientengruppe.



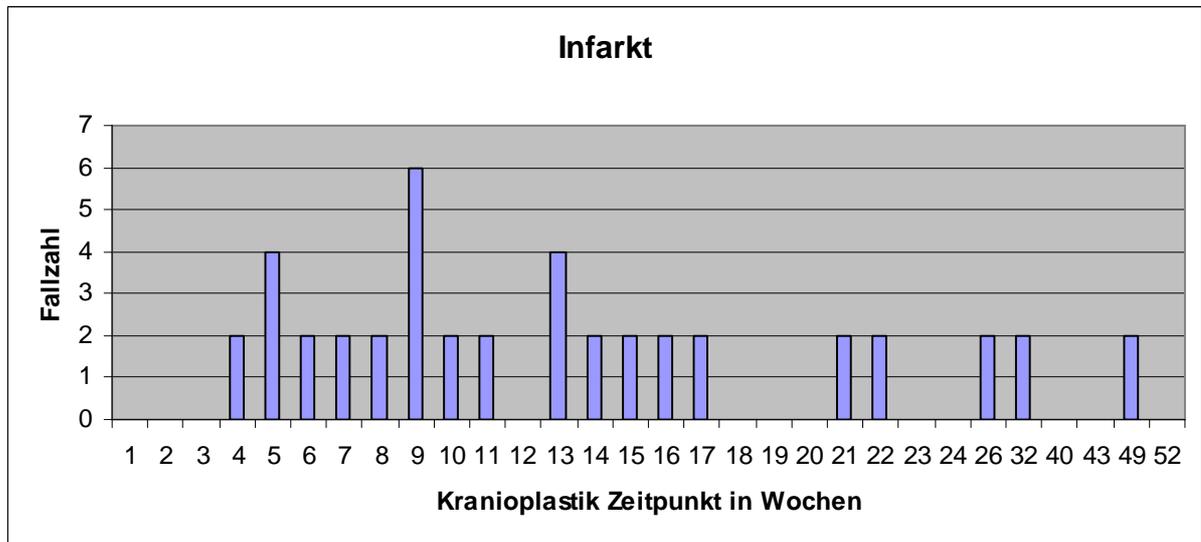
Zeitpunkt der Kranioplastik nach Wochen	absolute Häufigkeit	relative Häufigkeit	absolute Summenhäufigkeit	relative Summenhäufigkeit
1	0	0	0	0
2	6	0,071	6	0,071
3	0	0	6	0,071
4	10	0,119	16	0,119
5	10	0,119	26	0,309
6	14	0,166	40	0,475
7	8	0,095	48	0,57
8	5	0,047	52	0,617
9	5	0,059	57	0,676
10	0	0	57	0,676
11	2	0,023	59	0,699
12	6	0,071	65	0,77
13	2	0,023	67	0,793
14	6	0,071	73	0,864
15	3	0,035	76	0,899
16	2	0,023	78	0,922
17	2	0,023	80	0,945
18	4	0,047	83	1



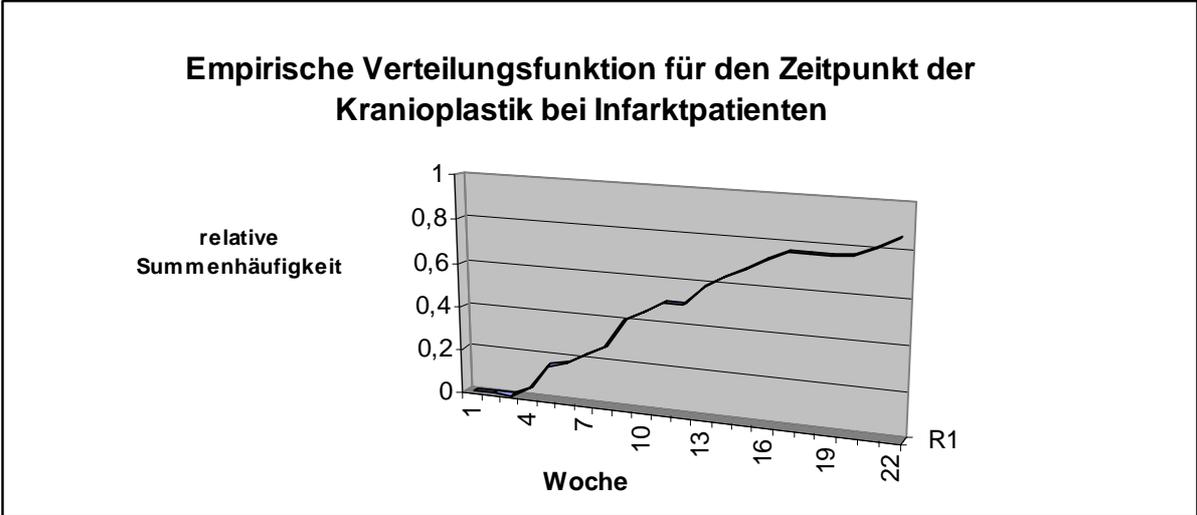
3.1.3 Patienten mit Hirninfarkt

43 Fälle wurden in dieser Patientengruppe registriert. Die Analyse der kraniektomierten Patienten nach Hirninfarkt ergab, dass in der 11. Woche nach der Kraniektomie weniger als 50% der Patienten eine Kranioplastik erhalten haben. Bei dieser Patientengruppe wird der

Kranioplastikzeitpunkt später gewählt. Folgende Graphiken und die Tabelle veranschaulichen die zeitlich relativ spätere Durchführung der Kranioplastik in dieser Patientengruppe.

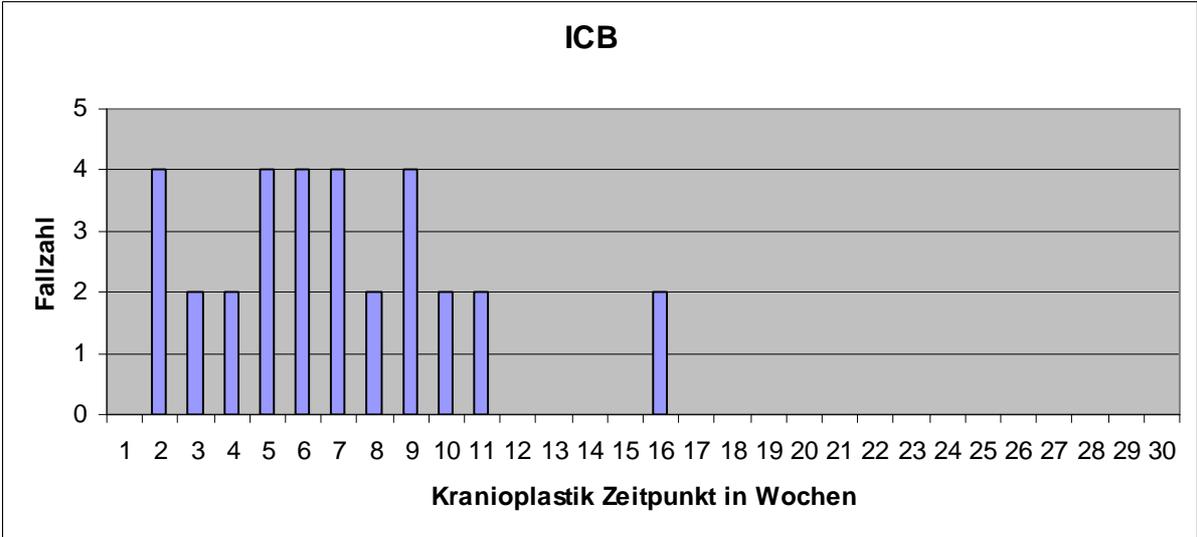


Zeitpunkt der Kranioplastik nach Wochen	absolute Häufigkeit	relative Häufigkeit	absolute Summenhäufigkeit	relative Summenhäufigkeit
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	2	0,045	2	0,045
5	5	0,113	7	0,158
6	1	0,023	8	0,181
7	2	0,045	10	0,226
8	2	0,045	12	0,271
9	6	0,136	18	0,407
10	2	0,045	20	0,452
11	2	0,045	22	0,497
12	0	0	22	0,497
13	4	0,091	26	0,588
14	2	0,045	28	0,633
15	2	0,045	30	0,678
16	2	0,045	32	0,723
17	2	0,045	34	0,768
18	0	0	34	0,768
19	0	0	34	0,768
20	0	0	34	0,768
21	2	0,045	36	0,813
22	2	0,045	38	0,858

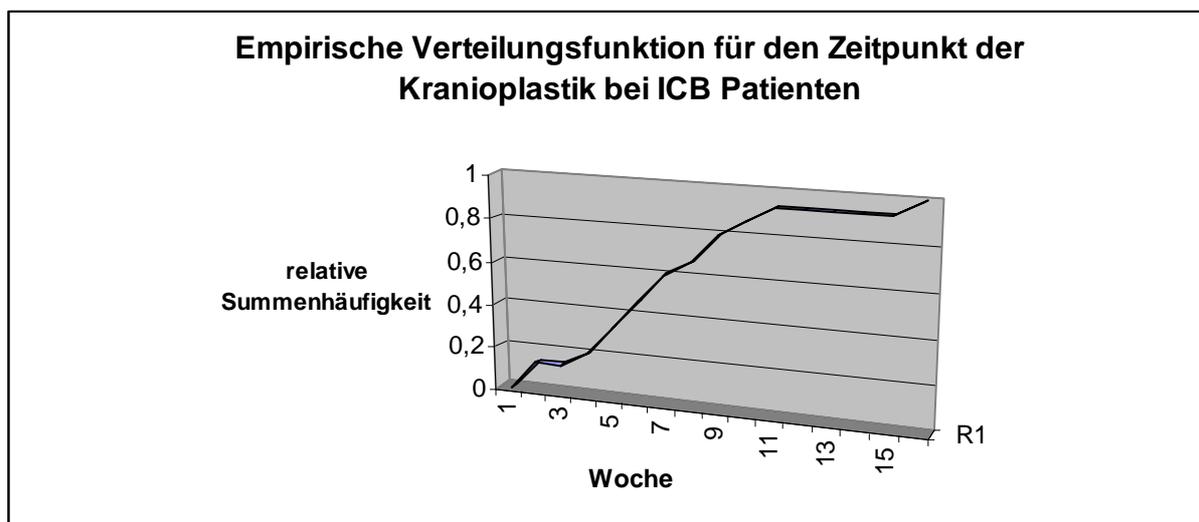


3.1.4 Patienten mit Intracerebraler Blutung

32 Patienten wurden in dieser Gruppe registriert. Die Analyse der kraniektomierten Patienten nach ICB ergab, dass mehr als 90% dieser Patienten bereits in der 11. Woche nach der Kraniektomie eine Kranioplastik erhalten haben. Bei dieser Patientengruppe wird der Kranioplastikzeitpunkt früh gewählt. Folgende Graphiken und die Tabelle veranschaulichen die frühe Durchführung der Kranioplastik in dieser Patientengruppe.



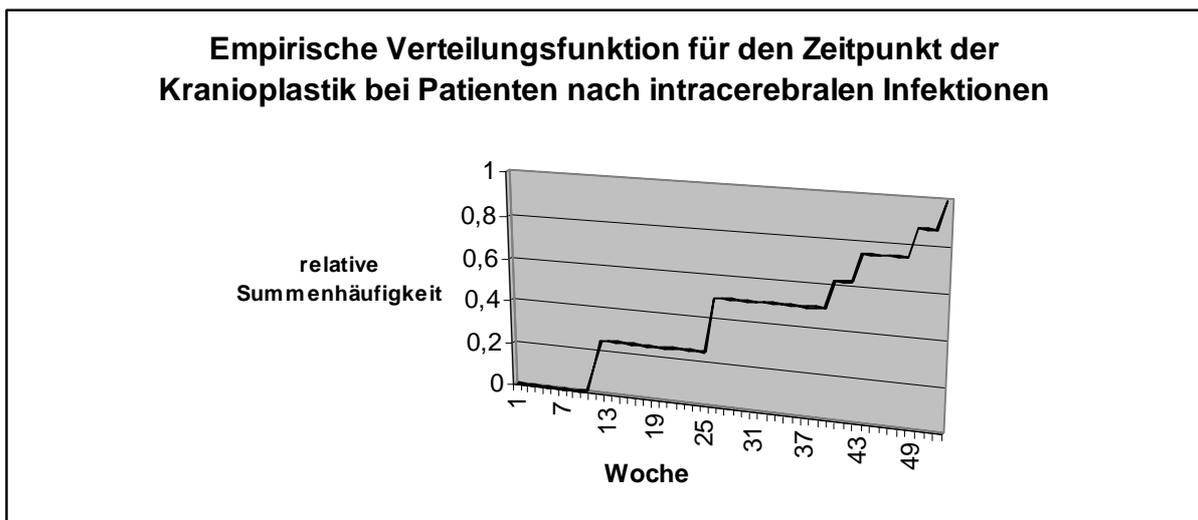
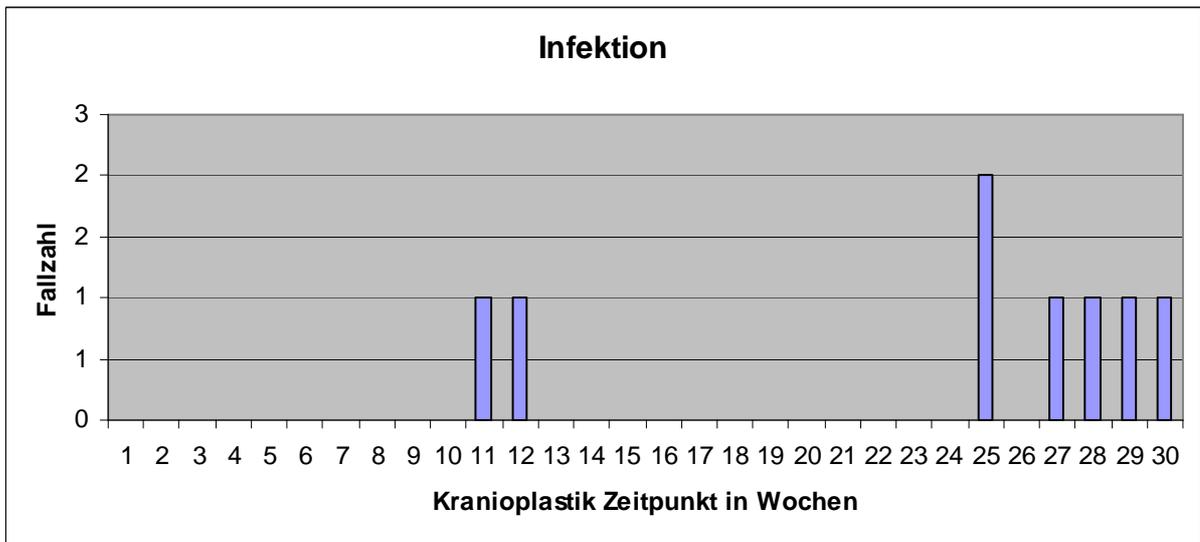
Zeitpunkt der Kranioplastik nach Wochen	absolute Häufigkeit	relative Häufigkeit	absolute Summenhäufigkeit	relative Summenhäufigkeit
1	0	0	0	0
2	4	0,133	4	0,133
3	0	0	4	0,133
4	2	0,066	6	0,199
5	4	0,133	10	0,332
6	4	0,133	14	0,465
7	4	0,133	18	0,598
8	2	0,066	20	0,664
9	4	0,133	24	0,797
10	2	0,066	26	0,863
11	2	0,066	28	0,93
12	0	0	28	0,933
13	0	0	28	0,933
14	0	0	28	0,933
15	0	0	28	0,933
16	4	0,066	32	1



3.1.5 Patienten mit Infektion

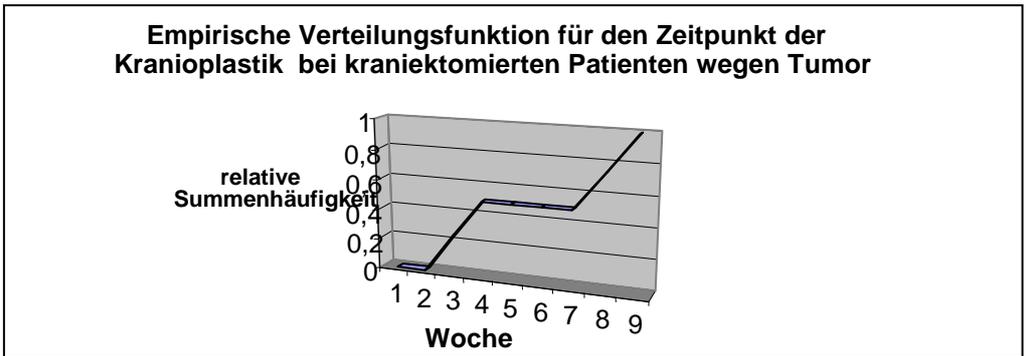
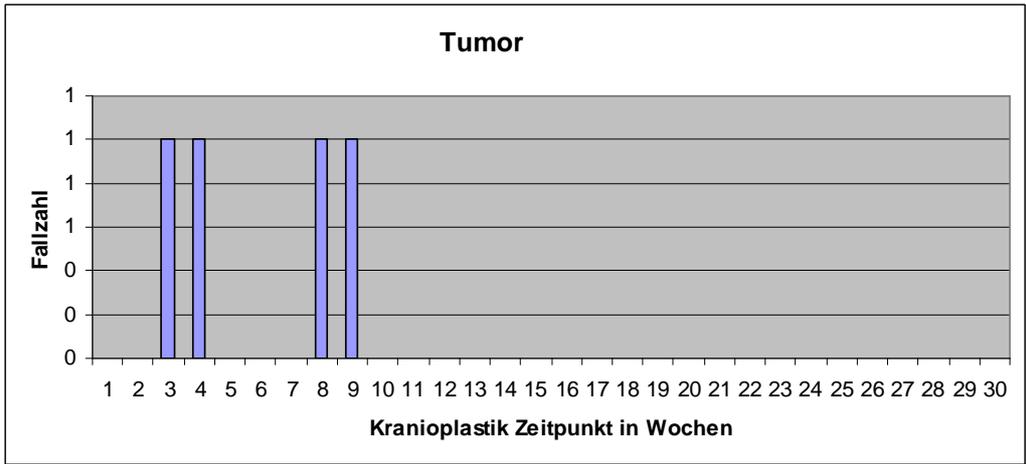
Bei 8 Patienten wurde die Kraniektomie wegen einer intracerebralen Infektion durchgeführt.

Die Mehrheit dieser Patienten hat nach der 25. Woche eine Kranioplastik erhalten.

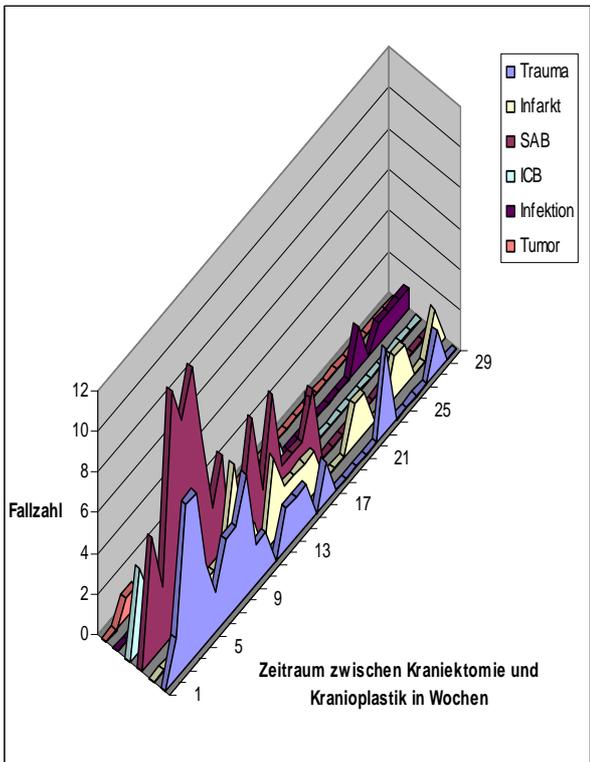
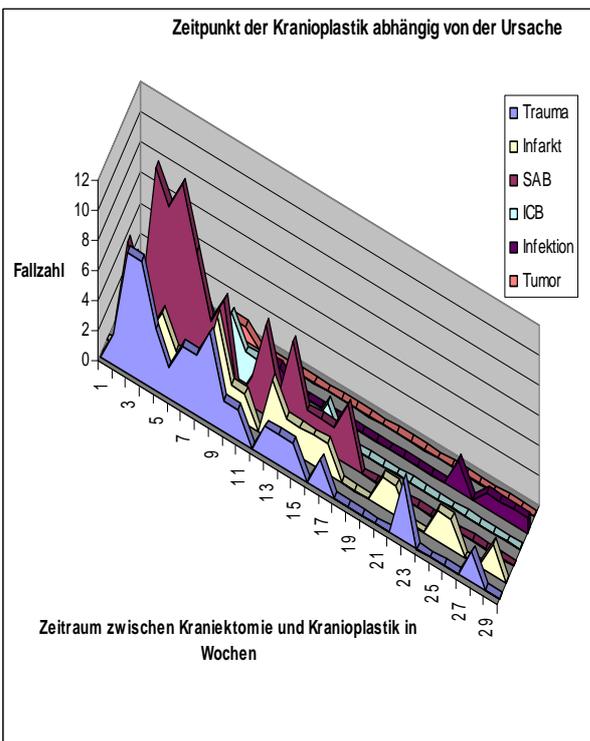


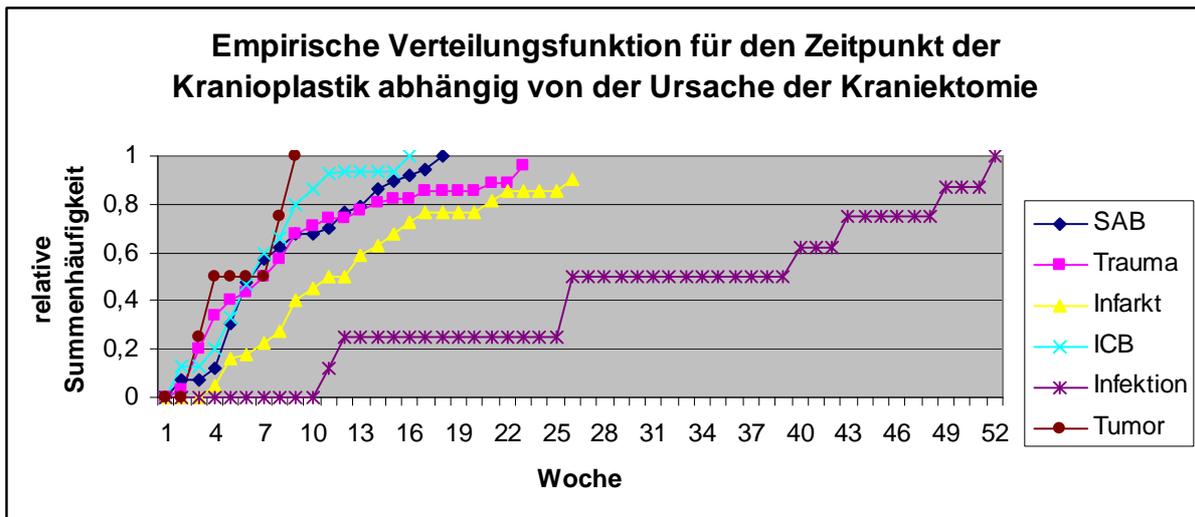
3.1.6 Patienten mit Tumor

Bei 4 Patienten wurde wegen eines intracerebralen Tumors mit Hirndruck und drohender oder bereits eingetretener tentorielle Einklemmung zusätzlich zur notfallmäßigen Tumorausräumung eine dekompressive Kraniektomie durchgeführt. Alle Patienten haben bis zur 9. Woche eine Kranioplastik erhalten.



Folgende Graphiken illustrieren eine Vergleichsanalyse des Kranioplastikzeitpunktes, in Abhängigkeit der verschiedenen Ursachen der Kraniektomie.

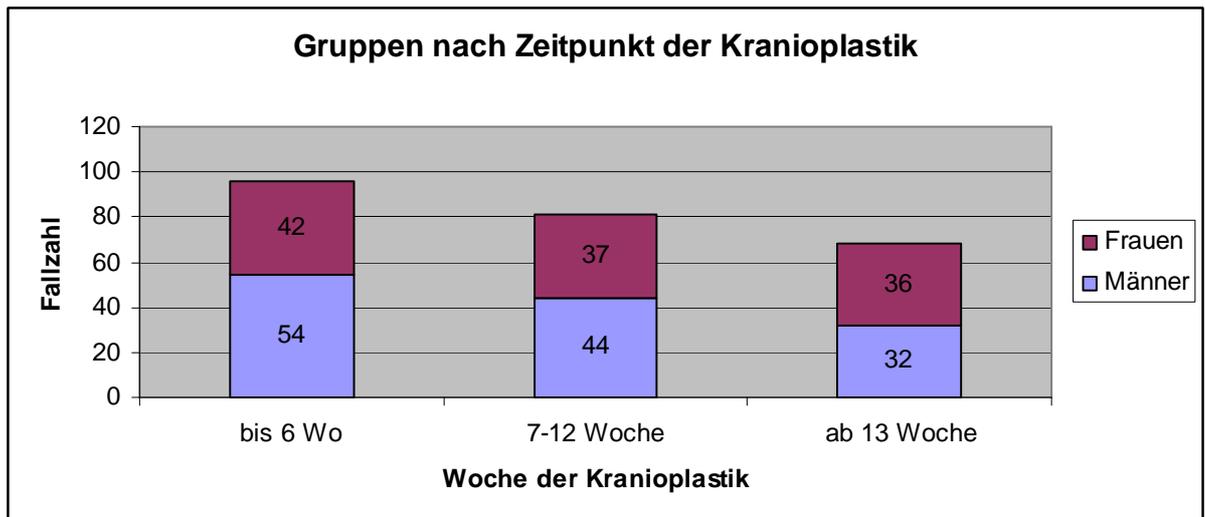




3.2 Vergleich der Patientengruppen in Abhängigkeit des Zeitpunkts der Kranioplastik

Für die statistische Erfassung des Merkmals „Zeitpunkt der Kranioplastik“ kann das Prinzip der Klassenbildung herangezogen werden, womit sich sogleich die Frage verbindet, wie die Anzahl der Klassen und deren Breiten festzulegen sind. Es gibt bezüglich der Klassenbildung keine allgemein gültigen Vorschriften, der Kompromiss zwischen einer übersichtlichen Darstellung einerseits und einem geringem Informationsverlust andererseits ist schwierig. Bei dieser Arbeit wurde die Häufigkeit für das Merkmal „Zeitpunkt der Kranioplastik“ von 242 Patienten (Beobachtungseinheiten) ermittelt. Die Patienten wurden in 3 Klassen unterteilt. Für die übersichtliche Darstellung wurden die 3 Klassen am oberen Ende der Verteilung halboffen gewählt. Klasse (Gruppe) 1: 0 bis inklusiv 6. Woche, Klasse (Gruppe) 2: 7. bis inklusiv 12. Woche und Klasse (Gruppe) 3: ab der 13. Woche.

Folgende Graphik soll die Patientenverteilung der verglichenen Gruppen veranschaulichen.



Die Analyse der anamnestischen und epidemiologischen Daten zeigt Unterschiede zwischen den verglichenen Patientengruppen. Das Spektrum der Gründe für die dekompressive Kraniektomie stellt sich allerdings in den verglichenen Gruppen nicht signifikant unterschiedlich dar.

Bei der Gruppe 1 war ein SHT in 26 Fällen (27%), in 8 Fällen (8%) ein Infarkt, in 38 Fällen (40%) eine SAB und in 16 Fällen (17%) eine ICB der Grund für die dekompressive Kraniektomie. Bei der Gruppe 2 war in 27 Fällen (35%) eine SAB, in 13 Fällen (17%) ein Infarkt, in 17 Fällen (22%) eine SHT, in 14 Fällen (18%) eine ICB und in 13 Fällen (18%) ein Infarkt der Grund für die dekompressive Kraniektomie. Bei der Gruppe 3 war in 8 Fällen (12%) eine Infektion, 18 Fällen (26%) eine SAB, in 22 Fällen (32%) ein Infarkt, in 16 Fällen (23%) eine SHT und in 2 Fällen (3%) eine ICB der Grund für die dekompressive Kraniektomie. Diese Unterschiede stellten sich im Fisher-Yates-Test als nicht signifikant dar ($p > 0,05$).

Die Art der Kranioplastik zeigt einen nach Chi-Quadrat-Test signifikanten Unterschied zwischen der Gruppen 3 und 1 und 2 ($p < 0,05$). Die autologe Knochendeckelreimplantation kam in der Gruppe 1 in 90 Fällen (93,7%) gegenüber 6 Kranioplastiken mittels Palacos (6,2%) zum Einsatz. In der Gruppe 2 wurde in allen Fällen eine autologe Knochendeckelreimplantation eingesetzt. In der Gruppe 3 fand dagegen in 6 Fällen (8,8%)

eine Kranioplastik mittels Bioverit und in weiteren 6 Fällen (8,8%) eine Kranioplastik mittels PEEK Anwendung gegenüber 47 (69%) Knochendeckelreimplantation. In 4 Fällen (5,9%) wurde Palacos und in 5 Fällen (7,3%) das Tutogenverfahren angewendet.

3.2.1 Gruppe 1: ultra frühe Kranioplastik, bis 6 Wochen nach der Kraniektomie

3.2.1.1 Altersverteilung

Die Gruppe der ultra frühen Kranioplastik bestand aus 54 männlichen (56%) und 42 weiblichen Patientinnen (44%). Das Alter zum Kranioplastik Zeitpunkt betrug bei dem jüngsten Patienten 3 und bei der ältesten Patientin 82 Jahre. Der Altersdurchschnitt betrug 53 Jahre.

3.2.1.2 Diagnosen

Der Grund der dekompressiven Kraniektomie bei den Patienten dieser Gruppe war: in 26 Fällen (27%) ein Schädel-Hirn-Trauma, in 8 Fällen (8%) ein Infarkt, in 38 Fällen (40%) eine SAB und in 16 Fällen (17%) eine ICB.

3.2.1.3 Operationsmethoden

Die autologe Knochendeckelreimplantation kam in der Gruppe 1 in 90 Fällen (93,7%) und in 6 Fällen eine Kranioplastik mittels Palacos (6,2%) zum Einsatz.

3.2.1.4 Komplikationen

Wenige Komplikationen wurden registriert, Osteomyelitis des Schädelknochens (2 Patienten), Shuntinfektion (1 Patient), transitorische, neurologische Verschlechterung nach der

Kranioplastik (2 Patienten), Resorption des Knochendeckels bei 1 Patienten, Shunt Dysfunktion bei 3 Patienten.

Intraoperativer Hirnprolaps wurde bei 4 Patienten beobachtet und konnte erfolgreich mittels Hyperventilation, Administration vom Mannitol 20% (0,5-1 mg/Kg) und Thiopental-Bolus (loading dose von 5 mg/Kg) behandelt werden. Bei einem Patienten wurde zusätzlich das Seitenventrikel punktiert und Liquor drainiert und somit die Reimplantation des Knochendeckels ermöglicht.

Ein postoperatives subdurales Hämatom wurde bei einem Patienten beobachtet, welches bei der Revision ausgeräumt und der Eigenknochen reimplantiert wurde.

3.2.1.5 Neurologischer Zustand vor und nach der Kranioplastik

Der Bewusstseinszustand der Patienten wurde mittels GCS abgeschätzt, die Evaluation der GCS vor der Kranioplastik war wie folgt: 1 Fall hatte ein GCS 5-6, 3 Fälle ein GCS 7-8, 13 Fälle ein GCS 9-10, 12 Fälle ein GCS 11-12, 34 Fälle ein GCS 13-14 und 30 Fälle ein GCS 15. Nach der Kranioplastik war die GCS wie folgt: 1 Fall ein GCS 7-8, 6 Fälle ein GCS 9-10, 4 Fälle ein GCS 11-12, 28 Fälle ein GCS 13-14 und 54 Fälle ein GCS 15.

3.2.1.6 Kurzzeitergebnisse im Rahmen des stationären Aufenthaltes

Bei 61 von 96 Patienten (63,5%) ist eine Besserung der Bewusstseinslage (Vigilanz und Orientiertheit) eingetreten. Eine Besserung des neurologischen Zustandes konnte ebenfalls dokumentiert werden. Mindestens einer der folgenden Parameter zeigte eine signifikante Verbesserung im Vergleich zum präoperativen Befund: Sprachverständnis, Sprachproduktion, Hirnnervenfunktion, motorische Funktion und Koordination. In dieser Gruppe zeigten nur 25 Patienten (26,25%) kurzfristig einen unveränderten kognitiven, funktionellen Status.

3.2.1.7 Langzeitergebnisse der telefonischen Befragung

Der Bewusstseinszustand wurde auch später, aus Gründen der Vergleichbarkeit mittels GCS, untersucht. Die GCS war bei der telefonische Befragung (im Durchschnitt 6 Monate nach der Kranioplastik) wie folgt: 3 Fälle ein GCS 9-10, 2 Fälle ein GCS 11-12, 2 Fälle ein GCS 13-14 und 82 Fälle ein GCS 15.

Unter Verwendung der GOS war das Outcome wie folgt: 62 Fälle hatten ein GOS 5, 19 Fälle ein GOS 4, 5 Fälle ein GOS 3, 14 Fälle ein GOS 2 und 1 Patient ist gestorben (GOS 1).

Eine Besserung des funktionellen und kognitiven Outcomes wurde bei 88,5% der Patienten (85 Fälle) nach der Kranioplastik in der Gruppe 1 beobachtet. Mindestens einer der folgenden Parameter zeigte eine signifikante Verbesserung im Vergleich zum präoperativen Befund: Vigilanz, Orientiertheit, Sprachverständnis, Sprachproduktion, Hirnnervenfunktion, motorische Funktion und Koordination. In dieser Gruppe zeigten nur 6,25% der Patienten einen unveränderten kognitiven, funktionellen Status.

Bei 81 Patienten (84,4%) war der neurologische Befund gut (unabhängig), 5 Patienten (5,2%) überlebten mit schwerer Behinderung, 3 Patienten (3,1%) blieben im apallischen Syndrom.

Fallbeispiel: Patientin B.S. (38. Lj.) erlitt eine SAB, aufgrund einer Ruptur eines Aneurysmas der linken Arteria cerebri media. Initial hat die Patientin eine Anisokorie, die linke Pupille war weiter als die rechte und nicht auf Licht reagibel. Bei der Aufnahme war die Patientin klinisch als Hunt und Hess Grad 4-5 klassifiziert und wurde nach Einlieferung intubiert und mittels digitaler Substraktionsangiographie untersucht. Es zeigte sich ein breitbasiges Aneurysma, welches aus der Arteria cerebri media herrührte. Im Konsens mit dem Neuroradiologen wurde die Indikation zum clipping gestellt, intraoperativ wurde das Aneurysma komplikationslos mittels clipping ausgeschaltet. Aufgrund des massiven Hirnödems wurde eine Entlastungskraniektomie durchgeführt. Im Verlauf war die Anlage

einer externen Ventriekdrainage erforderlich, in den transkraniellen Dopplersonographien zeigten sich eindeutig eine erhöhte Strömungsgeschwindigkeiten der Arteria cerebri media und anterior, sodass an 4 aufeinander folgenden Tagen intraarterielle Spasmolytika durchgeführt wurden.



A: CCT zeigt eine SAB mit Akzentuierung im Bereich der sylvischen Fissur links.

B: Digitale subtraktions Angiographie und Darstellung des Aneurysmas im Bereich der Arteria cerebri media links.

C: Bild des Kraniektomiellappens während der Phase des Vasospasmus.

D: CCT zeigt die Stelle des Aneurysma clippings.

Nach allmählichem Rückgang der Vasospasmen konnte die Patientin nach entsprechendem Weaning (Entwöhnung vom Respirator) in der 3. postoperativen Woche extubiert werden. Eine aufgrund einer critical care Neuropathie aufgetretenen rechtsbetonten Tetraparese bildete sich langsam zurück.

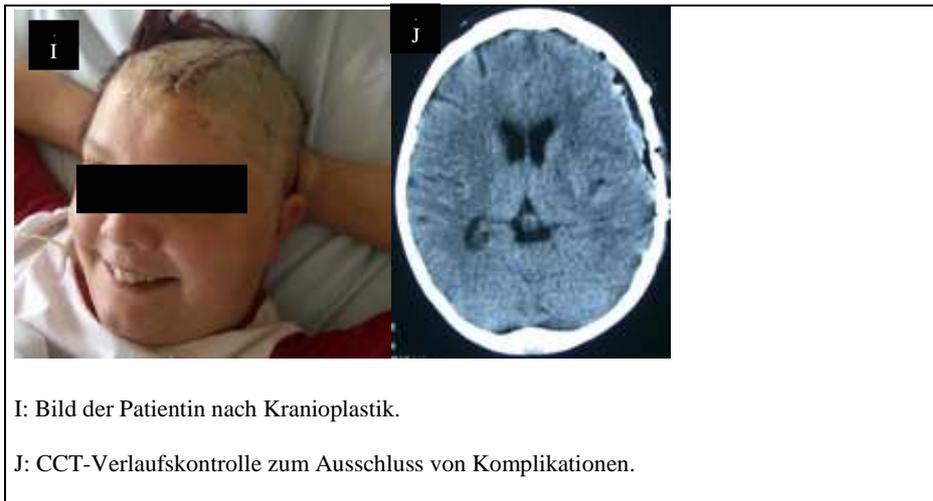


E: CCT Kontrolle nach Rückbildung der Vasospasmen.

F und G: Kraniektomiellappens leicht eingefallen.

H: CCT Verlaufskontrolle unmittelbar vor der Kranioplastik.

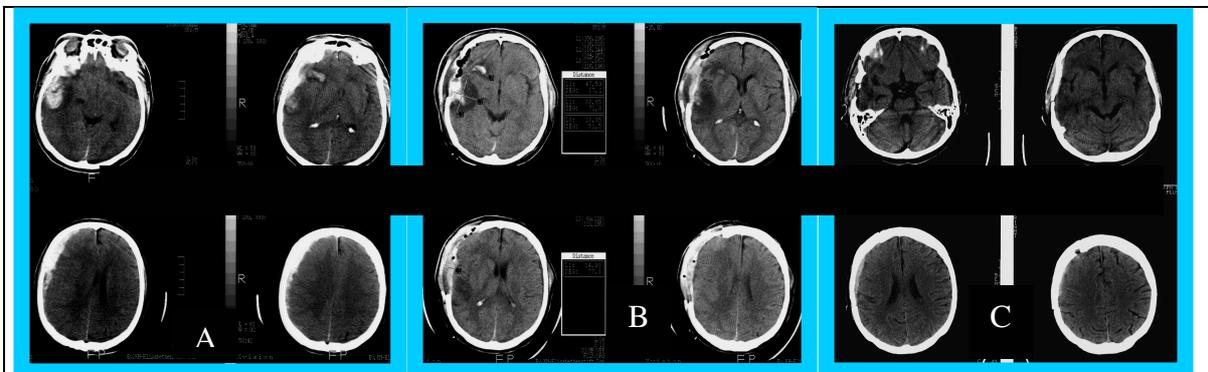
In der 3. postoperativen Woche wurde, aufgrund eines Verdachts auf einen posthämorrhagischen kommunizierenden Hydrozephalus, die externe Ventrikeldrainage durch eine Lumbaldrainage ersetzt. Nach Abklemmen der Lumbaldrainage konnte sich dieser Verdacht nicht bestätigen. In der 4. postoperativen Woche erfolgte die Kranioplastik mittels Knochendeckelreimplantation.



Der weitere Verlauf und die Kosmetik waren zufrieden stellend, nach 3 Monaten Nachbeobachtungszeit waren keine Anzeichen für eine Resorption zu finden. Die Patientin hat nach Glasgow Outcome Scale die Punktzahl 5 erreicht und das kosmetische Ergebnis war exzellent

Fallbeispiel: Patient D.H. (58. Lj.) ist während eines stationären Aufenthaltes in einem externen Krankenhaus nach einer laparoskopischen Operation aus unklarer Ursache aus dem Krankenbett gestürzt. Zwei Stunden später entwickelte der Patient eine rasch progrediente Bewusstseinstäubung, daraufhin erfolgte die notfallmäßige Intubation und CT-Diagnostik. Diese ergab ein akutes raumfordendes suburales Hämatom mit traumatischen intracerebralen Blutungen und Hirnkontusionen sowie konsekutivem Hirndruck und Mittellinienverlagerung. Bei der Aufnahme in der neurochirurgischen Klinik waren die Pupillen isocor mit träger Lichtreaktion. In Anbetracht der drohenden Einklemmungsgefahr erfolgte notfallmäßig die

dekompressive Kraniektomie und Ausräumung des subduralen Hämatoms. Postoperativ war der Hautlappen prall-elastisch im Kalottenniveau und gut pulsierend, die Pupillen waren isocor und prompt lichtreagibel. Nach einer Woche postoperativ konnte die deutliche Rückbildung des Hirnödems festgestellt werden, die sedierende Medikation wurde allmählich reduziert und das Weaning vom Respirator eingeleitet, sodass der Patient 12 Tage nach dem Trauma extubiert werden konnte. Er war wach, desorientiert, mit mäßiger Hemiparese links. Die Kraniektomiestelle war allmählich eingesunken, in der 3. Woche wurde die Knochendeckelreimplantation durchgeführt. Der weitere Verlauf war komplikationslos, nach der Reimplantation hat sich der Bewusstseinzustand normalisiert, der Patient war voll orientiert, die Hemiparese hat sich deutlich gebessert und der Patient konnte mit leichter Unterstützung auf ebenem Untergrund gehen. Eine Woche nach der Reimplantation wurde der Patient in eine neurologische Rehabilitationsklinik verlegt. Das kosmetische Ergebnis war einwandfrei.



A: Der Grund der dekompressiven Kraniektomie war ein schweres Schädel-Hirn-Trauma mit traumatischen intracerebralen Blutungen und Hirnkontusionen, mit akutem raumfordernem subduralem Hämatom und konsekutivem Hirndruck und Mittellinienverlagerung.

B: Kontrolle mit CCT eine Woche nach der dekompressiven Kraniektomie, das Hirnödem war rückläufig, die traumatischen intracerebralen Blutungen waren in Resorption.

C: Die Reimplantation des Eigenknochens wurde in der 3. postoperativen Woche durchgeführt, die postoperative CCT-Kontrolluntersuchung ergab regelrechte Verhältnisse.

3.2.2 Gruppe 2: frühe Kranioplastik, 7 bis 12 Wochen nach der Kraniektomie

3.2.2.1 Altersverteilung

Von den insgesamt 77 Patienten der Gruppe der frühen Kranioplastik bestanden 44 aus männlichen (57,1%) und 33 aus weiblichen Patientinnen (42,9%). Das Alter zum Kranioplastik-Zeitpunkt betrug bei dem jüngsten Patienten 1 und bei der ältesten Patientin 77 Jahre. Der Altersdurchschnitt betrug 51,4 Jahre.

3.2.2.2 Diagnosen

Der Grund der dekompressiven Kraniektomie war bei den Patienten dieser Gruppe: in 27 Fällen (35%) eine SAB, in 17 Fällen (22%) ein Schädel-Hirn-Trauma, in 14 Fällen (18%) eine ICB, in 13 Fällen (17%) ein Infarkt und in 4 Fällen (5%) eine intracerebrale Einblutung eines Tumors.

3.2.2.3 Operationsmethoden

Die autologe Knochendeckelreimplantation kam in der Gruppe 3 in allen Fällen zum Einsatz.

3.2.2.4 Komplikationen

Folgende Komplikationen wurden registriert: Osteomyelitis des Schädelknochens (4 Patienten), Shuntinfektion (1 Patient), Resorption des Knochendeckels bei 1 Patienten, Shundysfunktion bei 1 Patienten und eine transitorische, neurologische Verschlechterung nach der Kranioplastik (2 Patienten).

Ein postoperatives epidurales Hämatom wurde bei einem Patient beobachtet, bei der Revision wurde das Hämatom ausgeräumt und der Eigenknochen reimplantiert.

Eine Liquorfistel wurde bei einem Patienten beobachtet und mittels Lumbaldrainage für 5 Tage erfolgreich behandelt.

3.2.2.5 Neurologischer Zustand vor und nach der Kranioplastik

Der Bewusstseinszustand vor der Kranioplastik wurde aus Gründen der Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen der anderen Gruppen mittels GCS evaluiert und war wie folgt: 1 Fall hatte ein GCS 5-6, 4 Fälle ein GCS 7-8, 21 Fälle ein GCS 9-10, 6 Fälle ein GCS 11-12, 28 Fälle ein GCS 13-14 und 14 Fälle ein GCS 15. Nach der Kranioplastik war die GCS wie folgt: 2 Fälle ein GCS 7-8, 18 Fälle ein GCS 9-10, 8 Fälle ein GCS 11-12, 20 Fälle ein GCS 13-14 und 29 Fälle ein GCS 15.

3.2.2.6 Kurzzeitergebnisse im Rahmen des stationären Aufenthaltes

Bei 36 von 77 Patienten (46,7%) ist eine Besserung der Bewusstseinslage (Vigilanz und Orientiertheit) eingetreten. Eine Besserung des neurologischen Zustandes konnte ebenfalls dokumentiert werden. Mindestens einer der folgenden Parameter zeigte eine signifikante Verbesserung im Vergleich zum präoperativen Befund: Sprachverständnis, Sprachproduktion, Hirnnervenfunktion, motorische Funktion, Koordination. In dieser Gruppe zeigten aber 41 Patienten (53,2%) kurzfristig einen unveränderten kognitiven, funktionellen Status.

3.2.2.7 Langzeitergebnisse der telefonischen Befragung

Der Bewusstseinszustand wurde auch bei der telefonischen Befragung, aus Gründen der Vergleichbarkeit mittels GCS, untersucht. Die telefonische Befragung ergab im Durchschnitt folgendes Ergebnis: 2 Fälle GCS 7-8, 9 Fälle ein GCS 9-10, 5 Fälle ein GCS 11-12, 8 Fälle ein GCS 13-14 und 43 Fälle ein GCS 15.

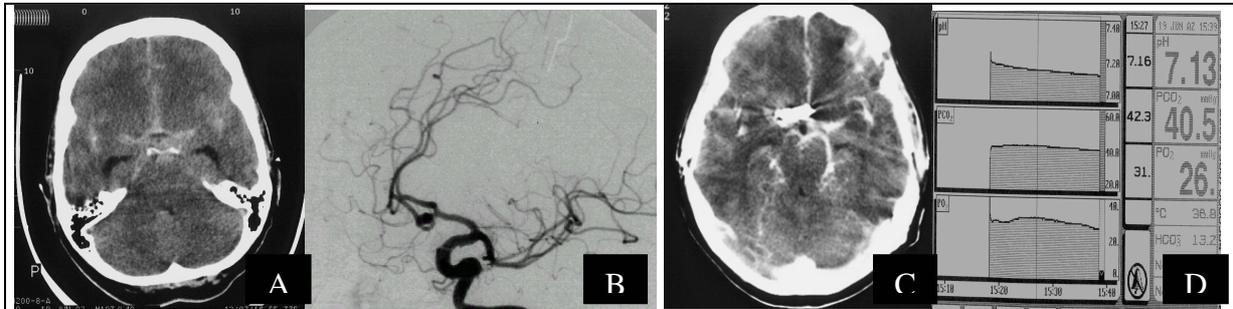
Unter Verwendung der GOS war das Outcome wie folgt: 16 Fälle hatten ein GOS 5, 15 Fälle ein GOS 4, 28 Fälle ein GOS 3, 7 Fälle ein GOS 2 und 6 Patienten sind gestorben (GOS 1).

Eine Besserung des funktionellen und kognitiven Outcomes wurde bei 64% der Patienten (49 Fälle) nach der Kranioplastik in der Gruppe 2 beobachtet. In dieser Gruppe zeigten 23% der Patienten (18 Fälle) einen unveränderten kognitiven, funktionellen Status.

Bei 31 Patienten (40,2%) war der neurologische Befund gut (unabhängig), 28 Patienten (36,3%) überlebten mit schwerer Behinderung, 6 Patienten (7,8%) blieben im apallischen Syndrom.

Fallbeispiel: Patientin T.M. (46. Lj.) erlitt eine SAB aufgrund einer Ruptur eines Aneurysmas der linken Arteria communicans. Bei der Aufnahme wurde die Patientin klinisch als Hunt und Hess Grad 4 klassifiziert, in der DSA zeigte sich ein breitbasiges Aneurysma und im Konsens mit dem Neuroradiologen wurde die Indikation zum clipping gestellt. Die Anlage einer externen Ventrikeldrainage war erforderlich. Intraoperativ ergaben sich keine Besonderheiten, das Neuromonitoring der ICP- und p_{tiO_2} -Werte ergab initial normale Verhältnisse, allerdings wurde am 4. Tag eine durch konservative Maßnahmen nicht beherrschbare ICP-Erhöhung auf über 30 mmHg und eine p_{tiO_2} -Erniedrigung unter 10 mmHg festgestellt. Nach Durchführung einer beidseitigen dekompressiven Kraniektomie kam es zur Normalisierung des intrakraniellen Druckes und der Parameter der Mikrozirkulation. In den transkraniellen Dopplersonographien zeigten sich normale Strömungsgeschwindigkeiten der Arteria cerebri media und anterior, die Patientin erhielt vom Anfang an Ca-Antagonisten (Nimodipin) als Vasospasmus-Prophylaxe. Der weitere Verlauf war komplikationslos, die Patientin wachte allmählich auf und konnte nach erfolgreichem Weaning in der 7. Woche extubiert werden. Die Kraniektomiestelle war weich und im Kalottenniveau. In der 11. Woche erfolgte die kombinierte beidseitige Kranioplastik mittels Knochendeckelreimplantation und VP Shunt Anlage. Der weitere Verlauf und die Kosmetik waren zufriedenstellend und nach 3 Monaten

Nachbeobachtungszeit waren keine Anzeichen für eine Resorption zu finden. Die Patientin hat nach Glasgow Outcome Scale die Punktzahl 5 erreicht und das kosmetische Ergebnis war exzellent.

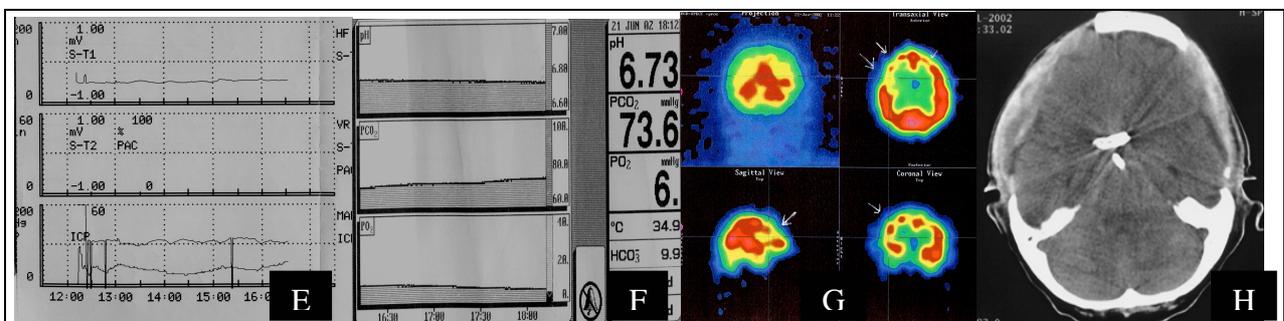


A: CCT zeigt eine SAB nach Fisher Grad 3.

B: Digitale subtraktions Angiographie und Darstellung des Aneurysmas im Bereich der Arteria communicans anterior.

C: CCT postoperativ nach Aneurysma clipping.

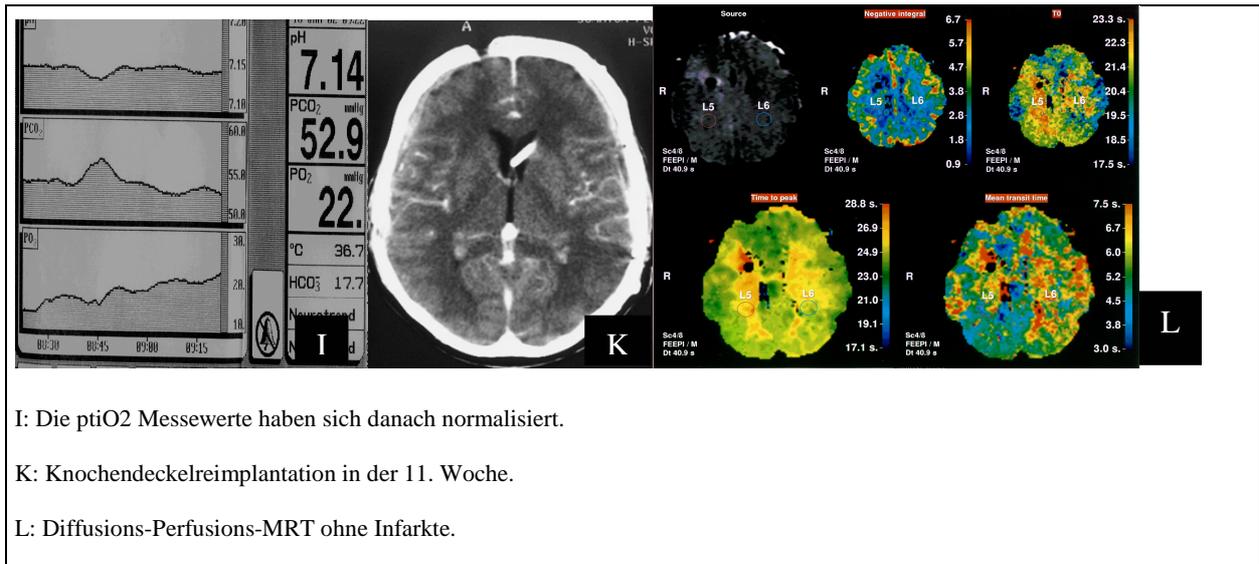
D: Die Messung des Hirngewebe-Sauerstoff-Partialdruckes (ptiO₂) ergab unmittelbar postoperativ regelrechte Verhältnisse.



E, F: Am 4. postoperativen Tag fand sich eine therapieresistente ICP Erhöhung auf über 30 mmHg, die ptiO₂ Werte wurden als „kritisch“ hypoxisch bewertet.

G: SPECT zeigte eine Perfusionsminderung im Arteria-cerebri-anterior-Stromgebiet.

H: Es wurde die Indikation für eine sekundäre beidseitige dekompressive Kraniektomie gestellt.



3.2.3 Gruppe 3: späte Kranioplastik ab 13 Wochen nach der Kraniektomie

3.2.3.1 Altersverteilung

Von den insgesamt 68 Patienten der Gruppe der späten Kranioplastik bestanden 32 aus männlichen (47%) und 36 aus weiblichen Patientinnen (53%). Das Alter zum Kranioplastik Zeitpunkt betrug bei dem jüngsten Patienten 15 und bei der ältesten Patientin 73 Jahre. Der Altersdurchschnitt betrug 52 Jahre.

3.2.3.2 Diagnosen

Der Grund der dekompressiven Kraniektomie war bei den Patienten dieser Gruppe: in 22 Fällen (32%) ein Infarkt, in 18 Fällen (26%) eine SAB, in 16 Fällen (23%) ein Schädel-Hirn-Trauma, in 8 Fällen (12%) eine intracerebrale Infektion und in 2 Fällen (3%) eine ICB.

3.2.3.3. Operationsmethoden

Die autologe Knochendeckelreimplantation kam in der Gruppe 3 in 47 Fällen (69%) zum Einsatz, während 8 Kranioplastiken mittels Glaskeramik (8,8%), 8 Kranioplastiken mittels

PEEK (8,8%), 5 Kranioplastiken mittels Tutogenverfahren (7,3%) und 4 Kranioplastiken mittels Palakos (5,9%) zur Anwendung kamen.

3.2.3.4 Komplikationen

Folgende Komplikationen wurden registriert: Osteomyelitis des Schädelknochens bei 2 Patienten, Shuntinfektion bei 3 Patienten. Shunt Dysfunktion und Knochenresorption wurden bei keinem Patienten registriert.

Ein postoperatives epidurales Hämatom wurde bei 2 Patienten beobachtet, bei der Revision wurde das Hämatom ausgeräumt und der Eigenknochen reimplantiert.

Eine Liquorfistel wurde bei 2 Patienten beobachtet, die bei dem einen Patienten mittels Lumbaldrainage für 5 Tage erfolgreich behandelt wurde und bei dem anderen Patienten eine Duraplastik erforderlich machte.

3.2.3.5 Neurologischer Zustand vor und nach der Kranioplastik

Der Bewusstseinszustand vor Kranioplastik wurde aus Gründen der Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen der anderen Gruppen mittels GCS evaluiert und war wie folgt: 10 Fälle ein GCS 9-10, 10 Fälle ein GCS 11-12, 28 Fälle ein GCS 13-14 und 18 Fälle ein GCS 15. Nach der Kranioplastik war die GCS wie folgt: 10 Fälle ein GCS 9-10, 10 Fälle ein GCS 11-12, 24 Fälle ein GCS 13-14 und 22 Fälle ein GCS 15.

3.2.3.6 Kurzzeitergebnisse im Rahmen des stationären Aufenthaltes

Bei 57 von 68 Patienten (83,8%) ist keine Besserung der Bewusstseinslage eingetreten und diese Patienten zeigten einen unveränderten kognitiven, funktionellen Status. Bei diesen Patienten konnte bei keinem der folgenden Parameter eine signifikante Verbesserung im

Vergleich zum präoperativen Befund gezeigt werden: Sprachverständnis, Sprachproduktion, Hirnnervenfunktion, motorische Funktion, Koordination. In dieser Gruppe zeigten nur 11 Patienten (16,2%) eine Besserung des Bewusstseinszustandes und des neurologischen Status.

3.2.3.7 Langzeitergebnisse der telefonischen Befragung

Der Bewusstseinszustand wurde auch bei der telefonischen Befragung, aus Gründen der Vergleichbarkeit mittels GCS, untersucht. Die telefonische Befragung ergab im Durchschnitt folgendes Ergebnis: 10 Fälle ein GCS 9-10, 10 Fälle ein GCS 11-12, 22 Fälle ein GCS 13-14 und 24 Fälle ein GCS 15.

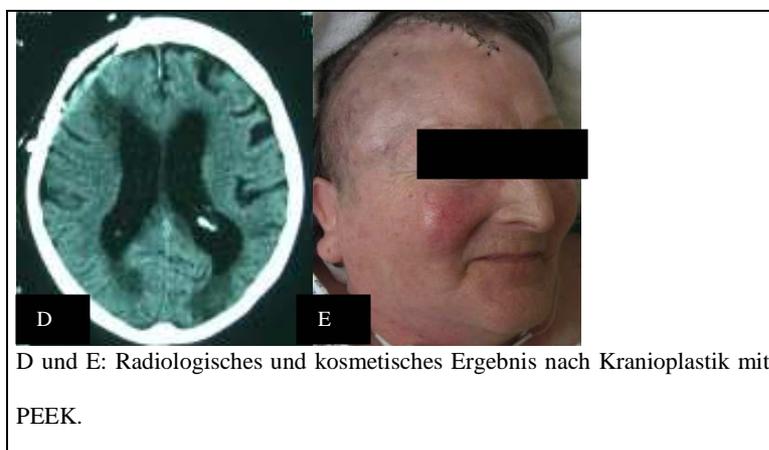
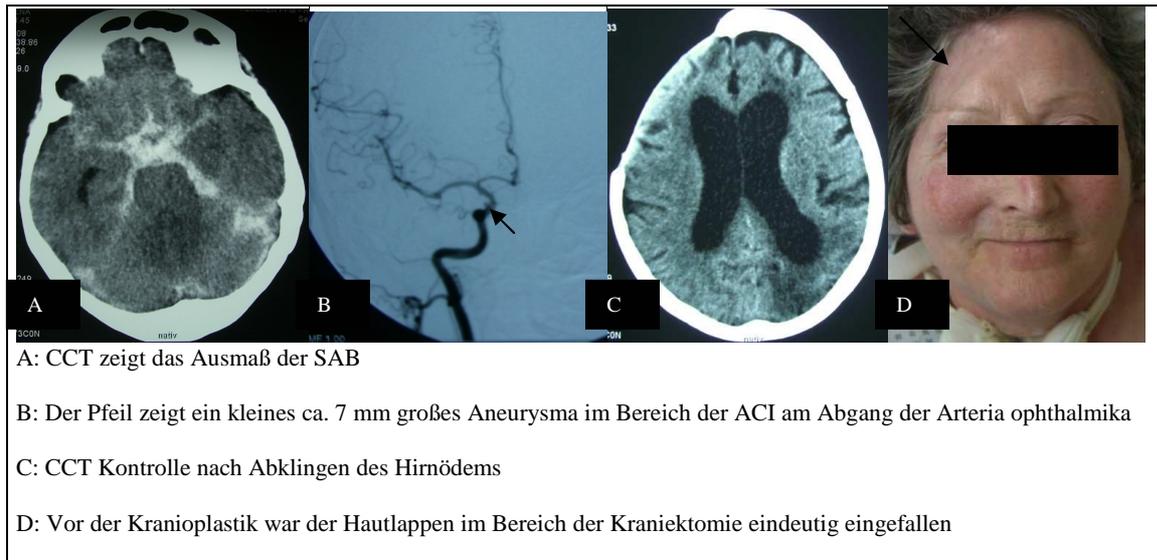
Unter Verwendung der GOS war das Outcome wie folgt: 10 Fälle hatten ein GOS 5, 4 Fälle ein GOS 4, 44 Fälle ein GOS 3 und 78 Fälle ein GOS 2.

Eine Besserung des funktionellen und kognitiven Outcomes wurde bei 21 % der Patienten (14 Fälle) nach der Kranioplastik in der Gruppe 3 beobachtet. Dies bedeutet, dass nur bei 21 % der Patienten eine signifikante Verbesserung einer der folgenden Parameter im Vergleich zum präoperativen Befund festgestellt werden: Vigilanz, Orientiertheit, Sprachverständnis, Sprachproduktion, Hirnnervenfunktion, motorische Funktion und Koordination. In dieser Gruppe zeigten 76,5 % (52 Fälle) der Patienten einen unveränderten kognitiven, funktionellen Status.

Bei 14 Patienten (20,6%) war der neurologischer Befund gut (unabhängig), 44 Patienten (64,7%) überlebten mit schwerer Behinderung, 8 Patienten (11,8%) blieben im apallischen Syndrom.

Fallbeispiel: Patientin K.C. (68. Lj.) erlitt eine Aneurysmaruptur der rechten Arteria carotis interna am Abgang der Arteria ophthalmica mit SAB nach Hunt und Hess Grad 3. Bei der operativen Versorgung mittels clipping wurde die dekompressive Kraniektomie wegen eines

Hirnödems durchgeführt. Aufgrund des protrahierten Verlaufs mit Langzeitabhängigkeit vom Respirator und Besiedelung der Haut und Schleimhäute mit multiresistenten Erregern (MRSA) entschied man sich für die späte Kranioplastik mittels PEEK, die in der 40. Woche durchgeführt wurde. Die Patientin erreichte nach GOS die Punktzahl 3, sie war bei Bewusstsein aber ständig auf fremde Hilfe angewiesen.



3.2.4 Datenanalyse und Vergleich der Patientengruppen

Die drei Gruppen führen zu unterschiedlichen Erfahrungen und Ergebnissen. Eine Besserung des funktionellen und kognitiven Outcomes wurde bei 88,5% der Patienten (85 Fälle) nach der Kranioplastik in der Gruppe 1 beobachtet. In dieser Gruppe zeigten nur 6,25% der Patienten einen unveränderten kognitiven, funktionellen Status. In der Gruppe 2 zeigten

63,6% der Patienten (49 Fälle) eine Besserung des kognitiven und funktionellen Outcomes und 23,4% der Patienten (18 Fälle) waren unverändert. Allerdings bei Patienten in der Gruppe 3 wurde bei nur 21% der Patienten (14 Fälle) eine signifikante funktionelle und kognitive Verbesserung dokumentiert. Bei 76,5% der Patienten (52 Fälle) blieb der funktionelle und kognitive Zustand der Patienten unverändert. Die klassifizierte Daten brachten nach dem Fischer-Yates-Test einen signifikanten Unterschied ($p=0,017$). Tabelle 1 macht dies deutlich.

GCS	Vor Kranioplastik			Nach Kranioplastik			Telefonische Befragung		
	Gruppe 1 (n:96)	Gruppe 2 (n:77)	Gruppe 3 (n:68)	Gruppe 1 (n:96)	Gruppe 2 (n:77)	Gruppe 3 (n:68)	Gruppe 1 (n:96)	Gruppe 2 (n:77)	Gruppe 3 (n:68)
5-6	1 (1%)	1 (1,3%)	0	0	0	0	0	0	0
7-8	3 (3,1%)	4 (5,2%)	0	1 (1%)	2 (2,6%)	0	0	2 (2,6%)	0
9-10	13 (13,5%)	21 (27,3%)	9 (13,2%)	6 (6,25%)	14 (18,2%)	10 (14,7%)	3 (3,1%)	9 (11,7%)	9 (13,2%)
11-12	12 (12,5%)	6 (7,8%)	11 (16,2%)	4 (4,2%)	8 (10,4%)	10 (14,7%)	2 (2,1%)	5 (6,5%)	11 (16,2%)
13-14	34 (35,4%)	28 (36,4%)	28 (41,2%)	28 (29,2%)	20 (26%)	24 (35,3%)	2 (2,1%)	8 (10,4%)	22 (32,3%)
15	30 (31,2%)	14 (18,2%)	18 (26,5%)	54 (56,2%)	29 (37,7%)	22 (32,3%)	82 (85%)	43 (55,8%)	24 (35,3%)

Tabelle 1

Von 66 Patienten mit Bewusstseinsstörung aus der Gruppe 1, haben sich 52 Patienten (78,8 %) neurologisch erholt und ihr Bewusstsein zurückerlangt. Von den 63 Patienten mit Bewusstseinsstörung aus der Gruppe 2 waren es 29 (46 %) Patienten, die das Bewusstsein zurückerlangt haben und aus der Gruppe 3 waren es von 50 Patienten nur 6 (12 %), die das Bewusstsein wiedererlangt haben. Hier soll erwähnt werden, dass eine gewisse Verzerrung der Studienresultate aufgrund einer a priori Selektion von Patienten nicht ganz auszuschließen ist. Obwohl der Vergleich des präoperativen neurologischen Zustandes in den verschiedenen Gruppen keine wesentlichen Unterschiede zeigte, kann ein Teil dieser eindeutigen Ergebnisse darauf beruhen, dass z.B. Patienten mit schwererem Krankheitsverlauf bei persistierendem Hirnödem oder ausgeprägterem Risikoprofil in die frühe oder späte Kranioplastik-Gruppe vorselektioniert wurden. Ein Selektionsbias konnte nicht identifiziert werden.

Die neurologische Besserung im Rahmen der GOS wurde in 81 von insgesamt 96 Fällen (84,4%) in der Gruppe 1, in 34 von insgesamt 77 Fällen (44,1%) in der Gruppe 2 und nur in 9 von insgesamt 68 Fällen (13,2%) in der Gruppe 3 festgestellt.

Bei der telefonischen Befragung wurde Folgendes festgestellt: In der Gruppe 1, 62 Patienten (64,6%) hatten ein GOS von 5, 19 Patienten (19,8%) ein GOS von 4, 5 Patienten (5,2%) überlebten mit einer schweren Behinderung (GOS 3), 3 Patienten (3,1%) blieben im Wachkoma (GOS 2) und ein Patient (1%) dieser Gruppe starb (GOS 1). In der Gruppe 2, 16 Patienten (20,8%) hatten ein GOS von 5, 15 Patienten (19,5%) ein GOS von 4, 28 Patienten (36,4%) überlebten mit einer schweren Behinderung (GOS 3), 7 Patienten (9,1%) blieben im Wachkoma (GOS 2) und 6 Patienten (7,8%) dieser Gruppe starben (GOS 1). In der Gruppe 3, 10 Patienten (14,7%) hatten ein GOS von 5, 4 Patienten (5,9%) ein GOS von 4, 44 Patienten (64,7%) überlebten mit einer schweren Behinderung (GOS 3), 8 Patienten (11,8%) blieben im Wachkoma (GOS 2) und kein Patient dieser Gruppe starb (GOS 1). Die klassifizierte Daten brachten nach dem Fischer-Yates-Test einen signifikanten Unterschied ($p=0,035$). Tabelle 2 veranschaulicht diese Unterschiede.

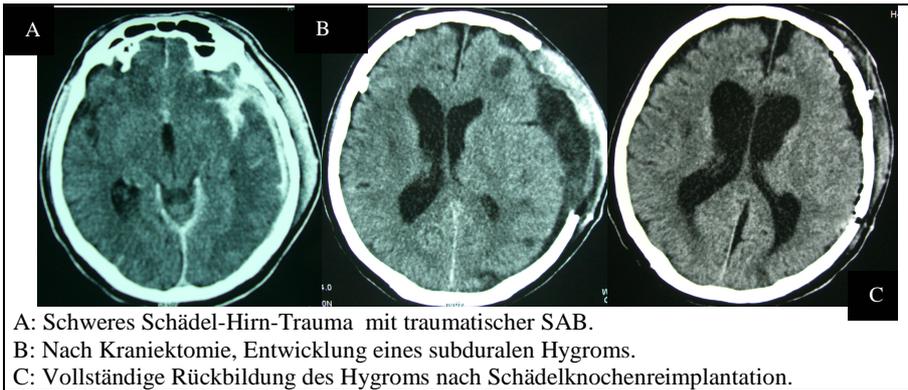
GOS	Gruppe 1 (n:96)			Gruppe 2 (n:77)			Gruppe 3 (n:68)		
	Vor Kranioplastik	Nach Kranioplastik	Telefonische Befragung	Vor Kranioplastik	Nach Kranioplastik	Telefonische Befragung	Vor Kranioplastik	Nach Kranioplastik	Telefonische Befragung
1	0	0	1 (1%)	0	0	6 (7,8%)	0	2 (2,9%)	0
2	11 (11,4%)	6 (6,2%)	3 (3,1%)	14 (18,2%)	10 (13%)	7 (9,1%)	8 (11,8%)	6 (8,8%)	8 (11,8%)
3	68 (70,8%)	47 (49%)	5 (5,2%)	52 (67,5%)	51 (66,2%)	28 (36,4%)	46 (67,6%)	44 (64,7%)	44 (64,7%)
4	12 (12,5%)	33 (34,4%)	19 (19,8%)	7 (9,1%)	9 (11,7%)	15 (19,5%)	10 (14,7%)	10 (14,7%)	4 (5,9%)
5	2 (2,1%)	7 (7,3%)	62 (64,6%)	0	3 (3,9%)	16 (20,8%)	2 (2,9%)	4 (5,9%)	10 (14,7%)

Tabelle 2

27 Patienten von den insgesamt 242 vor der Kranioplastik, wurden als „syndrome of the trephined“ klassifiziert, ihre Symptomatik beinhaltete eine oder mehrere der folgenden Symptome: Kopfschmerzen, Schwindel, psychiatrische Veränderungen, Unbehagen. In einem Fall wurden fokale Anfälle beobachtet und in 2 weiteren Fällen wurde eine Hemisymptomatik ohne ein radiologisches Korrelat im Sinne einer Ischämie bei der bildgebenden Diagnostik festgestellt. Die Symptome waren mobilisationsabhängig, fluktuierend und in zeitlicher Assoziation mit dem Einsinken des Hautlappens. 22 von den insgesamt 27 Patienten mit dem „syndrome of the trephined“ hatten einen nach radiologischen Kriterien festgestellten Typ 1 Kraniektomie-Defekt mit einem deutlich eingesunkenen Kraniektomielappen, die übrigen 4 Patienten wurden als Typ 2 eingestuft, da der Kraniektomielappen in diesen Fällen etwa im gleichen Niveau mit der Kalotte war. 23 der insgesamt 27 Patienten mit dem „syndrome of the trephined“ hatten einen sekundären Hydrozephalus und wurden entweder mit einer temporären (Lumbaldrainage) oder permanenten Liquordrainage (VP Shunt) versorgt. Unter Berücksichtigung der Symptome des „syndrome of the trephined“ findet sich eine Besserung in der Gruppe 1 bei 8 von 10 Patienten, in der Gruppe 2 bei 7 von 8 Patienten und in der Gruppe 3 bei nur 2 von 9 Patienten. Die anderen 7 Patienten der Gruppe 3 empfanden keine eindeutige Besserung der Symptomatik.

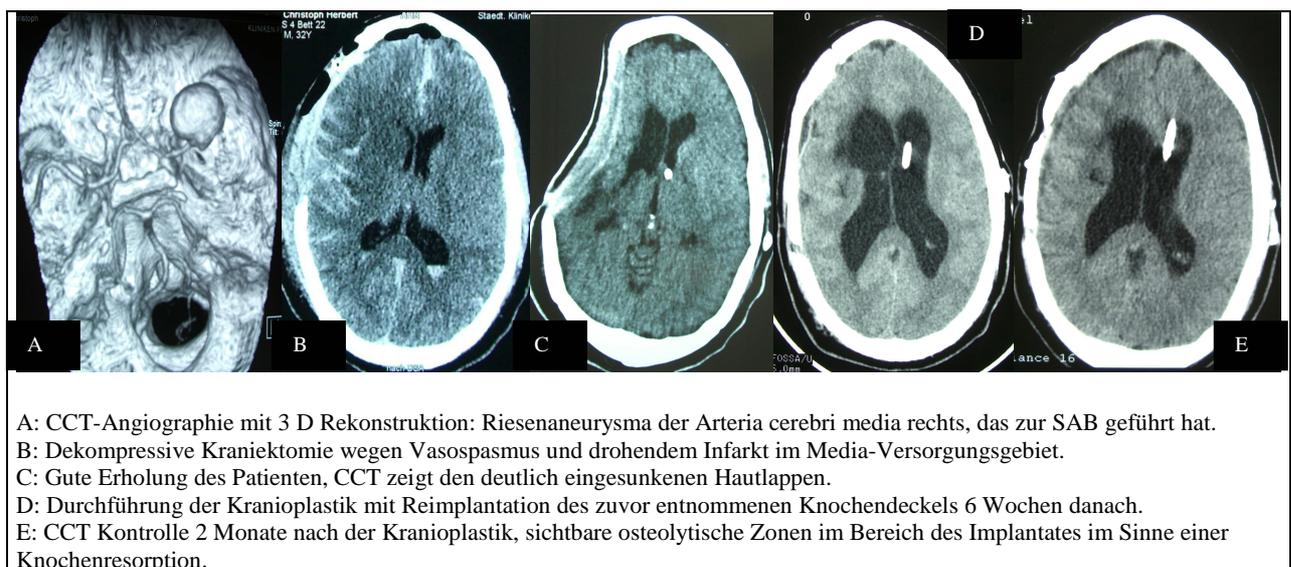
3 Patienten in der Gruppe 1 und jeweils 1 Patient in der Gruppe 2 und Gruppe 3 hatten subdurale Hygrome vor der Kranioplastik. Bei 2 Patienten der Gruppe 1 erfolgte zunächst eine Entlastung durch eine subdurale Drainage, bei den anderen Patienten kam es nach der Kranioplastik zur deutlichen Reduktion der subduralen Ansammlung, sodass keine weiteren therapeutischen Konsequenzen daraus gezogen wurden.

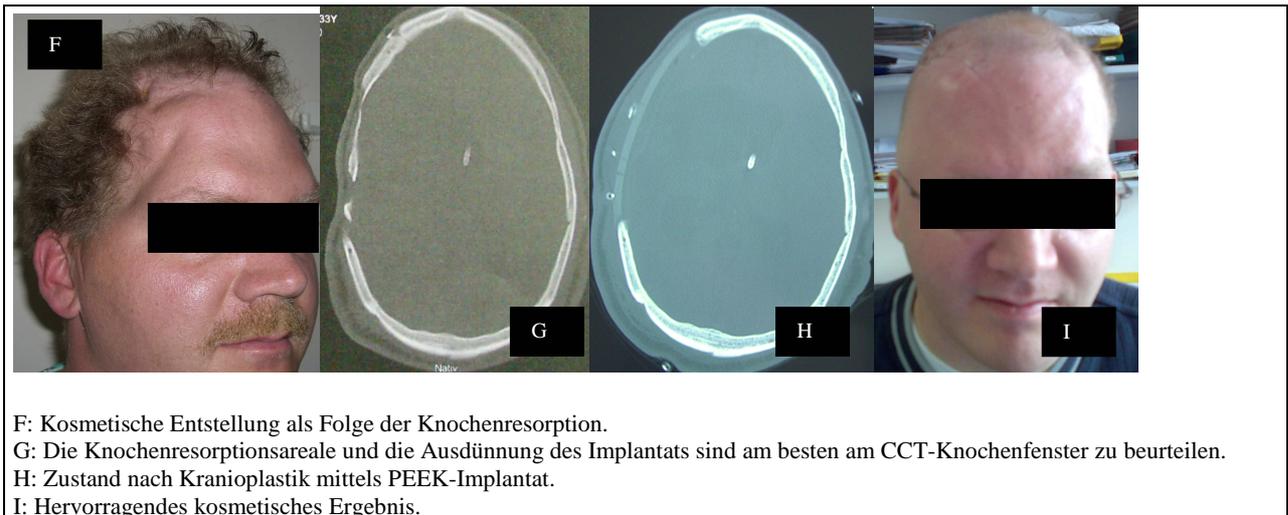
Fallbeispiel eines Patienten mit subduralem Hygrom vor der Kranioplastik.



Es fand sich kein Zusammenhang zwischen Resorption des Eigenknochens nach Reimplantation und Zeitdauer bis zur Kranioplastik. Insgesamt wurden nur 3 Fälle mit einer Resorption des autologen Implantates festgestellt. Beide Patienten präsentierten eine kosmetische Entstellung im Bereich der Kranioplastik mit Einziehungen der Haut, die Diagnostik mittels CCT ergab dann das typische Bild von osteolytischen Herden und Ausdünnung des Implantates. In 2 Fällen wurde Kranioplastik mit einem CAD-CAM Implantat aus PEEK, in einem Fall aus Glaskeramik Bioverit[®] vorgenommen. In allen Fällen war das kosmetische Endergebnis sehr gut.

Fallbeispiel eines Patienten mit Knochenresorption des autologen Implantats:





Alle infektiösen Komplikationen wurden in Beziehung zu folgenden Parametern analysiert: Alter, Geschlecht, Ursache der Kraniektomie, Zeitpunkt der Kranioplastik, Art der Kranioplastik (Material), Zahl der internistischen Risikofaktoren. Bezogen auf das gesamte Patientenkollektiv gab es den Trend einer Häufung von Wundheilungsstörungen und Infektionen mit der Folge einer erneuten Explantation des Knochendeckels bei Patienten nach autogenen Knochendeckelreimplantation mit mehr als 2 Risikofaktoren ($p=0,073$). Die registrierte internistische Risikofaktoren waren: Diabetes mellitus, Gerinnungsstörung durch Thrombozytenaggregationshemmer und Antikoagulantien, andere Infektionen insbesondere mit Keimen multiresistent gegen Antibiotika. Hier findet sich mit 11 Fällen (45,8%) von insgesamt 24 Fällen absolut und relativ der größte Anteil unter den Patienten mit lokaler Infektion des Knochendeckels (Tabelle 3). Eine Tendenz für Infektionen bestand bei den Patienten die sekundär eine Komplikation erlitten haben und bei denen eine ultra frühe Kranioplastik durchgeführt wurde. Patienten die nach der Kraniektomie eine Nachblutung, Infarkt, extrakranielle Infektion erlitten haben, hatten eine signifikant höhere Infektionsrate bei ultra früher Kranioplastik, dies betrifft 3 von den insgesamt 7 Fällen der Gruppe 1 (42,8%). Die Gruppen 1-3 zeigten keinen signifikanten Unterschied in Bezug auf intrakranielle Infektionen und Wundheilungsstörungen. Es fand sich auch keine statistische Signifikanz in der Inzidenz von Wundheilungsstörung und Infektionen in Bezug auf Alter,

Geschlecht und Ursache der Kraniektomie. Die Tabelle 3 zeigt eine Übersicht aller Parameter und Risikofaktoren die analysiert wurden.

Variable		Infektionen	keine Infektionen	Statistische Signifikanz
Alter (Jahre)				p>0,05
	0-30	2	28	
	30-60	10	125	
	über 60	12	89	
Geschlecht				p>0,05
	Männlich	14	130	
	Weiblich	10	112	
Timing				p>0,05
	ultra früh (bis 6 Wo)	7	89	
	früh (7-12 Wo)	10	67	
	spät (nach 13 Wo)	7	61	
Art der Plastik				p>0,05
	Autograft	22	195	
	PMMA	1	9	
	PEEK	0	4	
	Tutoplastverfahren	0	4	
	Glaskeramik	0	5	
	Titan	1	0	
Ursachen				p>0,05
	Trauma	6	59	
	SAB	8	83	
	ICB	4	32	
	Infarkt	5	43	
	Infektion	1	8	
	Tumor	0	4	
Risikofaktoren				p>0,05
	keine	8	135	
	bis 1 Risikofaktor	5	67	
	2 oder mehr Risikofaktoren	11	16	
Gesamt		24	218	

Tabelle 3

Eine histologisch und/oder bakteriologisch verifizierte Osteomyelitis des autologen Implantates wurde bei insgesamt 8 Patienten festgestellt. Eine Erklärung dafür ist, dass bei Wundheilungsstörungen im Bereich der Kranioplastik die Indikation für eine Explantation des Implantats und Sanierung eines möglichen Infektes mit katastrophalen Folgen immer sehr großzügig gestellt wird.

Tabelle 4 zeigt eine Übersicht über die Komplikationshäufigkeit in den verschiedenen Gruppen ausgehend von dem Kranioplastikzeitpunkt.

Komplikationen	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3
EDH, SDH	1	1	2
Osteomyelitis	2	4	2
Wundheilungsstörung (ohne verifizierte Osteomyelitis)	5	6	5
Knochenresorption	1	1	0
Shuntinfektion	1	0	3
Shunt Dysfunktion	3	1	0

Tabelle 4

Im gesamten Patientenkollektiv erhielten 75 Patienten (59%) einen ventrikuloperitonealen Shunt vor der Kranioplastik, 7 Patienten (6%) nach der Kranioplastik und 27 (21%) ein kombiniertes Verfahren mit Kranioplastik und Implantation eines programmierbaren ventrikuloperitonealen Shunts in einer Sitzung. 14 Patienten (11%) wurden vorübergehend mit einer externen Ventrikeldrainage und weitere 14 Patienten (11%) mit einer Lumbaldrainage versorgt. Im weiteren Verlauf war die Anlage eines VP Shunt Systems nicht notwendig. Bei 4 Patienten (3%) war die Anlage eines subduroperitonealen Shuntsystems notwendig.

In der Gruppe 1 erhielten 20 Patienten (20,8%) einen ventrikuloperitonealen Shunt vor der Kranioplastik, 7 Patienten (7,3%) nach der Kranioplastik und 12 (12,5%) ein kombiniertes Verfahren mit Kranioplastik und Implantation eines programmierbaren ventrikuloperitonealen Shunts in einer Sitzung. Bei 2 Patienten wurde eine einmalige Ventrikelpunktion zum Liquorablass bei der Kranioplastik durchgeführt. Grund dafür war eine vorübergehende

Prolabierung des Gehirns im Rahmen der Narkose und Lagerung. Im weiteren Verlauf ergab sich keine Notwendigkeit für eine liquorableitende Operation. 2 Patienten erhielten einen subduroperitonealer Shunt wegen therapieresistenten raumfordenden Hygromen.

In der Gruppe 2 erhielten 38 Patienten (49,3%) einen ventrikuloperitonealen Shunt vor der Kranioplastik, 7 Patienten (9,1%) ein kombiniertes Verfahren mit Kranioplastik und Implantation eines programmierbaren ventrikuloperitonealen Shunts in einer Sitzung. Es wurde kein ventrikuloperitonealer Shunt nach der Kranioplastik durchgeführt, sondern ein subduroperitonealer Shunt wegen eines therapieresistenten raumfordenden Hygroms angelegt.

In der Gruppe 3 erhielten 17 Patienten (25%) einen ventrikuloperitonealen Shunt vor der Kranioplastik, 8 Patienten (11,8%) ein kombiniertes Verfahren mit Kranioplastik und Implantation eines programmierbaren ventrikuloperitonealen Shunts in einer Sitzung. Es wurde kein ventrikuloperitonealer Shunt nach der Kranioplastik durchgeführt.

4. DISKUSSION

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die bisherigen Erfahrungen der Kranioplastik im Hinblick auf den Zeitpunkt der Operation in einer konsekutiven Patientenserie zu untersuchen und unter klinischen Aspekten zu bewerten.

Insbesondere sollte geklärt werden, ob es abhängig von der Indikation der supratentoriellen dekompressiven Kraniektomie, von der Indikation der Kranioplastik und dem jeweiligem technischen Verfahren Unterschiede beim neurologischen Outcome und im Vorkommen von Komplikationen gibt. Es sollte geklärt werden, welche Unterschiede die verschiedene Intervall-Gruppen der Kranioplastik in Bezug auf das neurologische Outcome und auf die kurzfristigen oder langfristigen lokalen Infektionsraten und Resorptionsraten des Eigenknochens gibt und letztendlich, ob sich aus diesen Erfahrungen eine generelle Empfehlung zur Kranioplastik nach dekompressiver Kraniektomie formulieren lässt.

4.1 Indikationsstellung der Kranioplastik

Die Indikationsstellung der Kranioplastik nach Rückbildung des primären Prozesses, das den Schädelknochendefekt erforderte, war in der Literatur nicht eindeutig definiert[40]. Vor der Einführung der pathophysiologischen Entität des „syndrome of the trephined“ waren die zwei wichtigsten Argumente für die Kranioplastik der Schutz des Gehirns und die ästhetische Wiederherstellung. Während Letzteres generell anerkannt wird, bestehen für den ersten Punkt divergierende Meinungen (insbesondere was den prophylaktischen Wert der Kranioplastik zur Prävention von epileptischen Anfällen betrifft)[45,59]. In Anbetracht der neurologischen Besserung vieler Patienten nach der Kranioplastik wird zunehmend die therapeutische Rolle der Kranioplastik akzeptiert[40].

Das „syndrome of the trephined“ ist heutzutage bei vielen kraniektomierten Patienten eine allgemein anerkannte Indikation für eine Kranioplastik. Mögliche Faktoren, die dieses Syndrom verursachen, wurden postuliert: Veränderungen des zerebralen Blutflusses (CBF), die Einwirkung des atmosphärischen Druckes auf das Gehirn, hydrodynamische Veränderungen des Liquorflusses. Dujovny und Mitarbeiter berichteten über die Verwendung eines dynamischen Phasen-Contrast MRI bei einem Patienten mit einer großen bifrontalen Kraniektomie[39]. Sie beobachteten die Veränderungen des Liquorflusses vor und nach der Kranioplastik und beschrieben eine zweifache Steigerung der systolischen Liquor-Flussgeschwindigkeit in kraniokaudaler Richtung sowie einen moderaten Anstieg des venösen Rückstromflusses. Sie nahmen an, dass die hydrodynamischen Veränderungen des Liquorflusses in Höhe des kraniocervikalen Überganges Veränderungen in der Compliance des gesamten kraniospinalen Liquorsystems reflektieren. Bereits 1979 haben Fodstad und Mitarbeiter einen Anstieg der Liquorpulsationen nach der Kranioplastik im Bereich der Hirnbasis beobachtet[48].

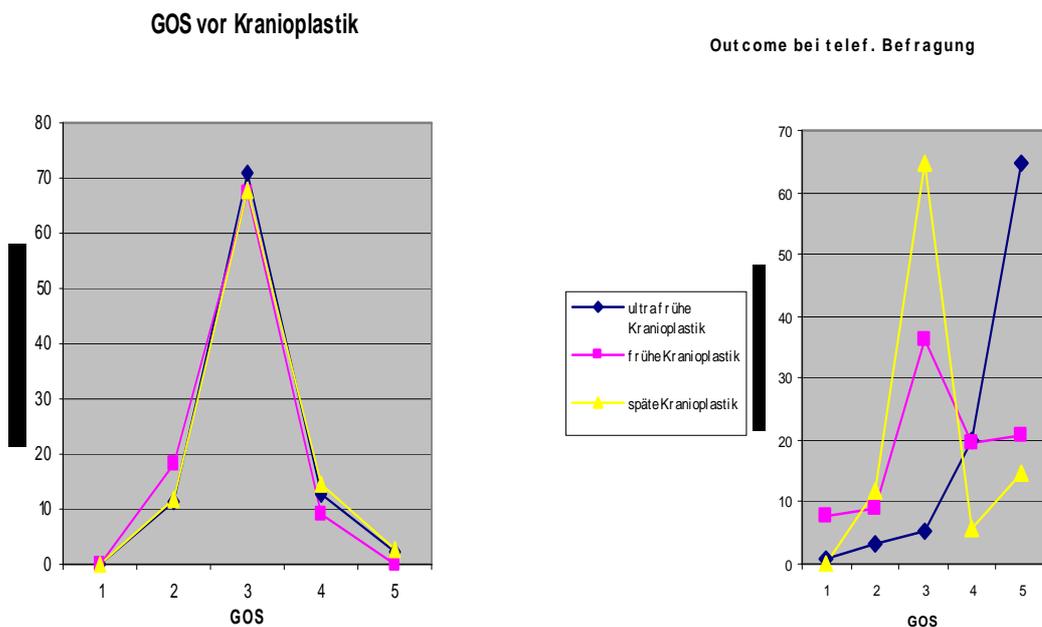
Die Kranioplastik hat nicht nur einen starken Einfluss auf die Dynamik der Liquorzirkulation, sondern auch auf die zerebrale Blutflussregulation, die zerebrovaskuläre Reservekapazität und den cerebralen Glucosemetabolismus[186].

Die neurologische Besserung nach der Kranioplastik wird von vielen Autoren propagiert[3,167,171], Agner und Mitarbeiter fanden mittels detaillierten neurokognitiven Analysen eine signifikante Besserung in den kognitiven Funktionen nach der Kranioplastik eines großen Schädelknochendefektes. Diese neurokognitive Verbesserung wurde in direkten Zusammenhang mit dem CBF-Anstieg gebracht[186].

Bis heute finden sich in der Literatur keine Vergleichsstudien bezüglich des Zeitpunktes der Kranioplastik. Es ist eine weit verbreitete Empfehlung, Patienten mit großflächigen Kraniektomiedefekten nach mindestens 3-6 Monaten mit einer Kranioplastik zu versorgen[167]. Diese Arbeit hat retrospektiv die Patientengruppen anhand des

Kranioplastikzeitpunktes analysiert. Der Grund für eine ultra frühe Kranioplastik war die Annahme einer neurologischen Verschlechterung, wie bereits oben in den Formen des „syndrome of the trephined“ und sinking skin flap syndrome“ beschrieben[45,142,185]. Der Druckgradient zwischen dem atmosphärischen Druck und dem intrakraniellen Druck führt zu einer Verlagerung des Kraniektomielappens nach innen mit pathophysiologischen Veränderungen in der Dynamik der Liquorzirkulation und der zerebralen Blutflussregulation, der zerebrovaskulären Reservekapazität und des cerebralen Glucosemetabolismus[186]. Diese Veränderungen könnten negative Folgen auf die neurologische Erholung des Patienten haben. Die Arbeitshypothese dieser Dissertation war, dass eine frühzeitige Kranioplastik die Patienten vor längerer Einwirkung von Veränderungen der liquorhydrodynamischen Variablen, des Einflusses des atmosphärischen Drucks auf den cerebralen Kortex[123,149,172,189], des Einflusses der Beeinträchtigung des regionalen cerebral blood flow (CBF), der corticalen Perfusion sowie der zerebrovaskulären Reservekapazität (CVR) und des cerebralen Glucosemetabolismus schützt und demzufolge ein besseres neurologisches Outcome für diese Patienten zu erwarten wäre. Nach dieser Hypothese sollten Patienten, die eine ultra frühe und frühe Kranioplastik erhalten haben, ein besseres klinisch-neurologisches Outcome haben, als Patienten, die spät kranioplastiert wurden. Bei der retrospektiven Analyse aller Patienten im Rahmen dieser Arbeit wurden bei 27 Patienten ein oder mehrere Symptome des „syndrome of the trephined“ registriert. Das häufige Vorkommen dieses Syndroms erklärt sich dadurch, dass alle diese Patienten einen großen supratentoriellen Kraniektomiedefekt hatten. Diese Ergebnisse korrelieren mit den Beobachtungen anderer Autoren[41,40]. Bei der Mehrzahl dieser Patienten in der Gruppe 1 und 2 kam es nach der Kranioplastik zur vollständigen Rückbildung dieser Symptome, wogegen es in der Gruppe 3 der späten Kranioplastik in den meisten Fällen nur zur Teilresolution oder Persistenz der Beschwerden kam.

Die Analyse der Patientengruppen ergab, dass Patienten der Gruppe 1 ein besseres neurologisches Outcome als Gruppe 3 und Gruppe 2 hatten. Der neurologisch-funktionelle Zustand hat sich in der Gruppe 1 in 81 von insgesamt 96 Fällen gebessert (84,4%), in der Gruppe 2 in 34 von insgesamt 77 Fällen(44,1%) und in der Gruppe 3 war eine neurologische Besserung in nur 9 von 68 Fällen (13,2%) zu verzeichnen. Zwischen der Gruppe 1 und Gruppe 3 war eine statistische Signifikanz ($p < 0,05$) zu verzeichnen, nicht dagegen der Unterschied zwischen Gruppe 1 und Gruppe 2. Die Ursachen hierfür könnten in einer geringen Fallzahl und in der kurzen Follow-up Periode für die Mehrzahl der Fälle liegen sowie darin, dass 40% der Fälle der Gruppen 1 und 2 in den Wochen 5-8 die Kranioplastik erhalten haben. Folgende Graphik veranschaulicht die Unterschiede im Outcome der drei Kranioplastik-Gruppen.



In Anbetracht der großen Auswahl an Kranioplastik-Techniken, die dem Neurochirurg zur Verfügung stehen, bleiben viele offene Fragen bezüglich der Indikationstellung und Auswahl des Implantats[131,38,132]. Die präoperative Produktion von individuellen und passgenau angefertigten Implantaten („custom-made“) durch den Einsatz der Computertechnik erlaubt

eine signifikante Reduktion sowohl der operativen Zeit, als auch der Komplikationsrate von Patienten mit großen Kraniektomiedefekten. Die Stereolithographie ist eine technologische Entwicklung, die die genaue Reproduktion von Defekten mit schwierigen anatomischen Konturen erlaubt[136,4].

Die autologe Knochendeckelreimplantation ist aufgrund ihrer Kosteneffektivität und der hohen ästhetischen und positiven psychologischen Wirkungen[117,191] das Mittel der ersten Wahl, allerdings bleiben Nachteile wie: unvorhersehbare Resorption, begrenzte Verfügbarkeit und Kosten für Wachstumsfaktoren[7,73]. Die Prozessierung des Knochens mittels Tutoplast® ist ein zeitaufwendiges und kostenintensives Verfahren. Alloplastische Materialien (Keramik, PMMA, Titan, PEEK) bleiben attraktive Alternativen, eine postoperative Resorption ist zwar ausgeschlossen, allerdings könnte die Infektionsrate höher liegen[57].

Es ist also nötig, die Nachteile zu minimieren, um die Verwendung des transplantierten Gewebes in der Kranioplastik zu optimieren[36]. Um diese Ziele zu erreichen, ist auch die Klärung der Frage nach der Auswahl des besten Kranioplastik-Materials von Bedeutsamkeit.

In dieser Arbeit erhielt die überwiegende Mehrzahl der Patienten eine Kranioplastik durch Schädelknochenreimplantation des kryopreservierten Eigenknochens. Diese Technik bleibt weiterhin aufgrund der natürlichen Histokompatibilität und Affinität in Korrelation mit den exzellenten kosmetischen Ergebnissen sowie der Fusion des vitalen Knochengewebes in den vorhandenen Knochendefekt das Mittel der ersten Wahl. Das autologe Schädelknochen transplantat hat bessere Eigenschaften und Qualitäten als alle anderen alloplastischen Materialien. Die biologischen und biomechanischen Eigenschaften, die Resistenz gegenüber Infektionen, die Radiotransparenz, die Stabilität, die schwache Wärmeleitung, die Resistenz gegenüber Ionisation und Korrosion, fehlende Toxizität, Antigenität und Karzinogenität sind zu erwähnen. Zusätzlich ist er billig und einfach zu handhaben. Das autologe Knochen transplantat zeigte keine Fremdgewebsreaktionen und eine

geringe Inzidenz an Infektionen. Keiner der alloplastischen Materialien kann alle diese Voraussetzungen erfüllen. Die Dauer der Operation zur Reimplantation war signifikant kürzer als für die Modellierung und Insertion einer PMMA Plastik. Die benötigte Zeit bei CAD CAM Implantaten, wie PEEK und Bioverid, war vergleichbar. Titanimplantate waren besonders kostenintensiv und PMMA Plastiken waren hinsichtlich des kosmetischen Ergebnisses unzuverlässig.

Die Argumentation einiger Autoren über Risiken und Komplikationen der Schädelknochenreimplantation des kryopreservierten Eigenknochens wird im Nachfolgenden diskutiert.

4.2 Komplikationen

Yang und Mitarbeiter berichteten über Komplikationen, die durch eine dekompressive Kraniektomie induziert werden[190]. Ein erhöhtes Risiko zur Entwicklung eines Shunt abhängigen Hydrocephalus und subduralen Hygromen wurde festgestellt. Czosnyka und Mitarbeiter beobachteten, dass Patienten mit großen Kraniektomiedefekten eine irreversible Dilatation der Ventrikel über Wochen oder Monate aufweisen[34]. Shapiro und Mitarbeiter fanden bei ihren Untersuchungen, dass die Kraniektomie zu einer Reduktion des Liquorresorptionswiderstandes führt[163]. Es ist anzunehmen, dass bei einer Kranioplastik die Umkehrung dieses Effektes stattfindet. Fodstad und Mitarbeiter berichteten, dass die Kranioplastik zur partiellen Rückbildung der Liquorzirkulationsstörung führen kann[48,49]. Dujovny und Mitarbeiter berichteten eine signifikante Veränderung des Liquorflusses sowie eine moderate Steigerung des venösen Rückflusses nach der Kranioplastik[39].

Bei Patienten mit großen Kraniektomiedefekten und gleichzeitig bestehender Störung der Liquorzirkulation im Sinne von Hydrocephalus muss oft zunächst ein ventrikuloperitoneales

Shunt System eingebaut werden. Die Messung des intrakraniellen Druckes und des Liquorresorptionswiderstandes kann die Entscheidung für die Behandlung einer Ventrikulomegalie erleichtern[107].

Viele dieser Patienten erleiden eine gravierende Senkung des Kraniektomiellappens mit konsekutiver Entwicklung des bereits erwähnten „syndrome of the trephined“[41]. Gerade wenn diese Patienten mit dem tief eingesunkenen Kraniektomiellappen kranioplastiert werden, berichten viele Autoren über ein höheres Risiko für Komplikationen und ein schlechtes neurologisches Outcome, nämlich eine Hämatomentstehung im Bereich des Defektes und eine Dysfunktion der darunter liegenden kortikalen Strukturen[96]. Um diesen Komplikationen vorzubeugen, propagieren manche Autoren die Okklusion des ventrikuloperitoneales Shuntkatheters vor der Kranioplastik[96]. Das einfache subkutane clipping des Shuntkatheters in lokaler Betäubung führt zur Expansion des eingesunkenen Kraniektomiellappens und zur Füllung des Defektes.

Carvi y Nievas und Höllerhage berichteten ihre Ergebnisse der frühen kombinierten Kranioplastik und Implantation eines programmierbaren ventrikuloperitonealen Shunts bei 60 Patienten mit großen Defekten und Liquorzirkulationsstörungen[25]. Die frühe Kranioplastik mit Reimplantation des Eigenknochens kombiniert mit der Anlage eines ventrikuloperitonealen programmierbaren Shuntsystems erlaubt eine dynamische Anpassung an die Veränderungen des intrakraniellen Druckes und Liquorresorptionswiderstandes. Die kombinierte Therapie hat sich als sinnvoll erwiesen, insbesondere die Zahl der nötigen Operationen und Komplikationen konnte reduziert werden. Darüber hinaus gewährleistet sie deutliche Vorteile bezüglich des Outcomes der Patienten.

Auch diejenigen Patienten, die nach der Kranioplastik keine klinische Besserung oder sogar eine neurologische Verschlechterung erleben, sollten nach Carvi y Nievas und Höllerhage auf eine zusätzliche Liquorzirkulationsstörung verdächtigt werden. Die Liquordruckuntersuchungen bei Patienten vor und nach der Kranioplastik durchgeführt von

Fodstad und Mitarbeiter zeigen zwar die Normalisierung von vielen Liquorhydrodynamischen Variablen[49], aber in einigen Fällen findet eine Steigerung des Liquorresorptionswiderstandes statt. Der Einfluss der Kranioplastik an der Liquorzirkulation kann sich über mehrere Tage und Wochen erstrecken, sodass die Patienten im Verlauf auf Shuntpflichtigkeit bzw. Notwendigkeit der Druckänderung des Shuntventils kontrolliert werden sollten.

Die Ergebnisse dieser Arbeit sind im Einklang mit den Ergebnissen von Carvi y Nievas und Höllerhage, das neurologische Outcome der Patienten in der Gruppe 1 der ultra frühen Kranioplastik, die aufgrund einer Liquorzirkulationsstörung ein VP Shunt als kombinierte Therapie in der gleichen Sitzung erhalten haben war im Vergleich zu den anderen Kranioplastikgruppen besser und die Komplikationsrate war vergleichbar. Somit stellt die Kranioplastik bei Patienten mit konvexen, über Kalottenniveau prolabierte Kraniektomiellappen aufgrund eines Hydrocephalus keine Kontraindikation mehr dar.

Die Planung des Kranioplastikzeitpunktes soll die zeitlichen Faktoren der Rehabilitationsmaßnahmen berücksichtigen. Die Patienten eines frühen Kranioplastikzeitpunktes haben die Möglichkeit des frühen Antrittes einer Rehabilitationsbehandlung. Eine mögliche Erklärung für das schlechtere Abschneiden der Patienten der späten Kranioplastik könnte das Auftreten und die Persistenz von neurologischen Defiziten im Rahmen des „syndrome of the trephined“ sein.

Es ist allgemein bekannt, dass bei Kindern mit kleineren Defekten unter dem 6. Lebensjahr, bei denen keine Duraverletzung besteht, eine Regeneration eines Teils des Schädelknochens zu erwarten ist. In dieser Hinsicht ist es erforderlich, bei einem Kind mit kleinem Defekt mindestens ein Jahr nach der Kraniektomie zu warten, bevor eine Kranioplastik in Frage kommt. Ein Dilemma besteht bei der Kranioplastik von Kindern und jungen Erwachsenen

nach dekompressiver Kraniektomie sowohl im Hinblick auf das verwendete Material, als auch im Hinblick auf den Zeitpunkt der Plastik[7,14,61,68,173,183,57]. Nach pädiatrisch-neurochirurgischen Literaturdaten wird zurzeit die Kranioplastik mittels Knochendeckelreimplantation empfohlen[61]. Allerdings fanden Grant und Mitarbeiter in diesen Altersgruppen nach der Knochendeckelreimplantation eine hohe Inzidenz bis zu 50% an symptomatischen Knochenresorption[57]. Das Scheitern des Knochenimplantats korrelierte mit der Größe des Kraniektomiedefektes. Kraniektomiedefekte größer als 75 cm² hatten eine Wahrscheinlichkeit zur Resorption von 60%, während Kraniektomiedefekte kleiner als 75 cm² nicht mit Resorptionen assoziiert wurden. Die Autoren haben die Hypothese erstellt, dass die Dünnhheit des Knochendeckels bei Kindern ein prädisponierender Faktor für die Knochenresorption ist. In früheren Studien wurden die Latenzzeit zwischen der Kraniektomie und der Kranioplastik sowie die Methode der Aufbewahrung des Knochendeckels als mögliche prädisponierende Risikofaktoren für eine Resorption identifiziert[144]. Die Sterilisation des Knochendeckels im Autoklav wird nicht mehr routinemäßig durchgeführt, denn sie führt zur Denaturierung der Knochenproteine und zur Beeinträchtigung der Vaskularisation[72].

In der vorliegenden Arbeit wurde keine Korrelation zwischen der Knochenresorption des reimplantierten Knochendeckels und folgenden Variablen festgestellt: Alter, Geschlecht, Ursache der Kraniektomie, Vorhandensein eines VP Shunts und der Zeitpunkt der Kranioplastik. Trotz der Tatsache, dass bei der vorliegenden Arbeit die Zeitdauer zwischen Kraniektomie und Kranioplastik von 2 bis 44 Wochen betrug, fand sich zwischen dem Zeitpunkt der Kranioplastik und der Resorption des Eigenknochens keine Korrelation. Mögliche Ursachen für die geringe Rate an Knochenresorptionen können folgende sein:

1. Die gewebsfreundliche Kryopreservation in -70° C. Bei manchen Studien werden die Methoden zur Aufbewahrung des Knochens als die „übliche“ erwähnt und nicht genau beschrieben. Bei anderen Studien werden niedrigere Temperaturen gewählt. Die

strukturellen Proteine, die für die Revitalisation des Knochendeckels notwendig sind, könnten dadurch denaturiert werden.

2. Die starre Fixation des Knochendeckels mit der Umgebung mittels Titanplättchen. Studien haben gezeigt, dass der optimale stabile Kontakt der Knochenränder zur Osteokonduktion führt und eine Resorption verhindert[36]. Außerdem wird der Rand der Kraniektomie so frei präpariert, sodass der Kontakt zwischen Empfänger- und Spenderknochen maximiert wird und die Aktivität der Osteoblasten in diesem Bereich gefördert wird.
3. Das Patientenkollektiv dieser Arbeit beinhaltete nur eine geringe Zahl pädiatrischer Patienten. Grant und Mitarbeiter stellten die Hypothese auf, dass die hohe Rate an Knochenresorptionen bei Kindern auf die Dünnhheit des Schädelknochens zurückzuführen ist[57].

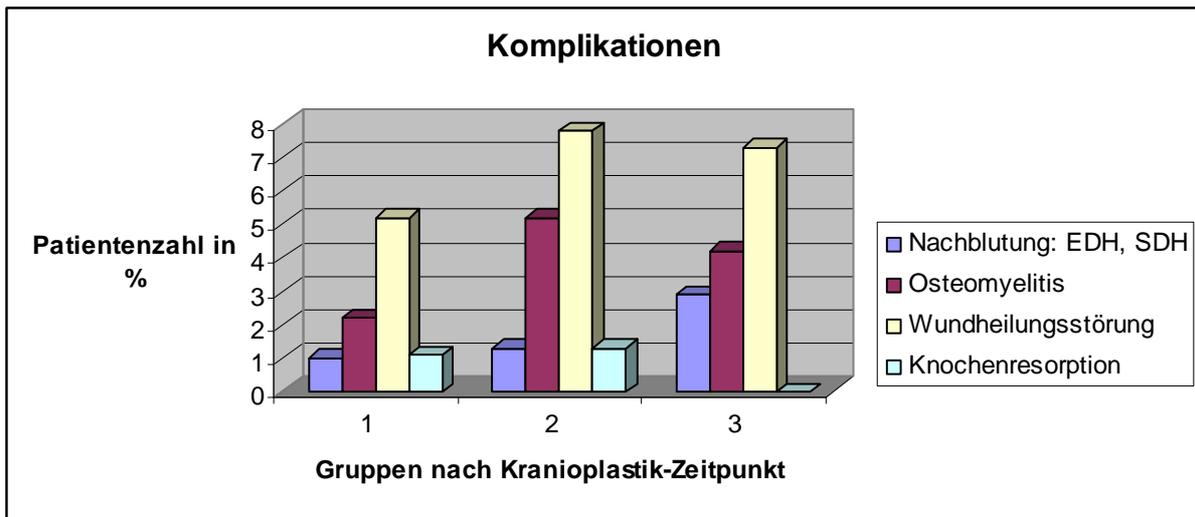
Noch Unklarheit herrscht bezüglich des Timings der Kranioplastik bei kraniektomierten Patienten aufgrund einer penetrierenden Hirnverletzung[167]. Es ist allgemein üblich, dass bei diesen Patienten die Kranioplastik zu einem späteren Zeitpunkt durchgeführt wird. Allerdings ist die Datenlage unklar. Etwas besser untersucht sind die penetrierenden Kriegsverletzungen des Gehirns. Hammon und Kempe berichteten über 417 Kranioplastiken, die über 13 Jahre in einem Zentrum und unter einem strikten chirurgischen Protokoll durchgeführt wurden, das eine verspätete Kranioplastik von mindestens 1 Jahr nach Trauma verlangte. Die Autoren beobachteten eine geringe Morbidität von unter 2%[64]. Rish und Mitarbeiter untersuchten bei einer Review von 1030 Fällen die Komplikationen, die mit einer Kranioplastik assoziiert sind[150]. In dieser multizentrischen Studie wurde festgestellt, dass Patienten, die während der initialen Therapie eine Komplikation erlitten haben (Infektion, Liquorfistel), eine erhöhte Komplikationsrate von 56% aufwiesen. Eine gesteigerte Komplikationsrate wurde auch bei Patienten, bei denen die Kranioplastik früher als 1 Jahr

nach Trauma (20%) durchgeführt wurde, im Gegensatz zu Patienten, bei denen eine spätere Kranioplastik (4%) erfolgte. Bei Patienten, die keine initialen Komplikationen erlitten haben, wurden keine signifikanten Unterschiede der Komplikationsrate in Bezug auf das Timing der Kranioplastik festgestellt.

Bei unserem Patientenkollektiv der kranioplastierten Patienten sind in 24 Fällen (9,9 %) infektiöse Komplikationen aufgetreten. Als Infektion wurde, wie oben erwähnt, jede purulente oder nicht-purulente Infektion, die eine Entfernung des Implantats notwendig machte. Kleine Stichabszesse im Bereich der Hautfäden, die ohne Komplikationen verheilten, wurden ausgeschlossen. Die Ergebnisse dieser Arbeit korrelieren mit Ergebnissen anderer Autoren. Die Infektionsrate neurochirurgischer Operationen bei kontrolliert-randomisierten Studien beträgt ohne prophylaktische Antibiotikagabe zwischen 4-12% und unter antibiotische Prophylaxe 0,3-3%[46]. In verschiedenen Literaturstellen wird die Infektionsrate der Kranioplastik von mehreren Faktoren abhängig gemacht: Alter, Implantat, Lokalisation, Größe des Defektes und andere[117,16,110].

Blum und Mitarbeiter kalkulierten die Inzidenz der späten Komplikationen in der pädiatrischen Population in Höhe von 23%[16]. Diese auffällig hohe Infektionsrate wurde in Zusammenhang mit einer dünneren Schädelkalotte, mit einem kontinuierlichen Schädelkalottenwachstum und mit stärkerer Aktivität bei Kindern gebracht. Nach Mazuno und Mitarbeiter war das Alter kein signifikanter Risikofaktor bei Erwachsenen[110]. Park und Mitarbeiter fanden ebenfalls keine statistisch signifikanten Unterschiede bei verschiedenen Altersgruppen und den Geschlechtern[130]. Unsere Ergebnisse korrelieren mit diesen Daten, die Infektionsrate der älteren Gruppe hatte keine signifikanten Unterschiede im Vergleich zu den anderen Altersgruppen. In dieser Studie wurde keine Korrelation zwischen Infektion, Alter, Geschlecht und Art des Implantats gefunden.

Folgender Graphik rekapituliert die Komplikationsrate der drei Patientengruppen je nach dem Kranioplastik-Zeitpunkt.



Die Registrierung und Analyse von bestimmten Risikofaktoren in Bezug auf infektiöse Komplikationen ergab den Trend einer Häufung von Wundheilungsstörungen und Infektionen mit der Folge einer erneuten Explantation des Knochendeckels bei Patienten nach autogenen Knochendeckelreimplantation mit mehr als 2 Risikofaktoren ($p > 0,05$). Die registrierten Risikofaktoren waren: Diabetes mellitus, Gerinnungsstörung durch Thrombozytenaggregationshemmer, Antikoagulantien und andere Infektionen, insbesondere mit multiresistenten Keimen gegen Antibiotika. Hier findet sich mit 11 (45,8%) von insgesamt 24 Fällen der absolut und relativ größte Anteil unter den Patienten nach lokaler Infektion des Knochendeckels. Eine Tendenz für Infektionen bestand bei den Patienten, die sekundär eine Komplikation erlitten haben und bei denen eine ultra frühe Kranioplastik durchgeführt wurde. Patienten, die nach der Kraniektomie eine Nachblutung, Infarkt, Infektion erlitten haben, hatten eine signifikant höhere Infektionsrate bei ultra früher Kranioplastik. Um Komplikationen zu vermeiden, sollten Patienten mit einer vorausgegangenen lokalen Infektion spät kranioplastiert werden.

Matsuno und Mitarbeiter berichteten, dass das Timing der Kranioplastik einen statistisch signifikanten Risikofaktor für Infektionen darstellt[110]. Die Durchschnittszeitdauer von der

Kraniektomie bis zur Kranioplastik war bei den infizierten Patienten länger als bei den unkomplizierten Fällen. Die Autoren identifizierten ihre Lagerungs-Methode als eine mögliche Ursache der hohen Infektionsrate, nämlich 100% Ethanol bei -20° C. Park und Mitarbeiter fanden keine signifikanten Unterschiede im Hinblick auf das Timing der Kranioplastik, allerdings lagerten sie den Eigenknochen in -70° C[130]. In dieser Arbeit betrug die Infektionsrate (unabhängig von der Methode) bei der ultra frühen Kranioplastik (bis 6 Wochen nach der Kraniektomie) 7,3% (7 Fälle), bei der frühen Kranioplastik (6-12 Wochen nach der Kraniektomie) 13% (10 Fälle) und bei der späten Kranioplastik (13 Wochen nach der Kraniektomie) 8,9% (7 Fälle). Somit fand sich keine signifikante Korrelation zwischen dem Zeitpunkt der Kranioplastik und der Infektionsrate.

Die Art des Implantats wird als möglicher Risikofaktor für Infektionen verdächtigt[117,110]. Trotz einer großen Auswahl an Kranioplastik-Materialien ist zurzeit die Reimplantation des autologen kryopreservierten Schädelknochens das Mittels der ersten Wahl[117]. Die Infektionsrate des autologen Schädelknochens beträgt laut Literaturangaben 0-33%[130,17,70,122,117]. Die Infektionsrate von PMMA, des am häufigsten verwendeten alloplastischen Materials, ist geringer und beträgt 1-16%[139,164]. Blum und Mitarbeiter weisen auf erhöhte Infektionsraten von PMMA-Kranioplastik bei bestimmten Patientengruppen hin: stattgehabte Bestrahlung, große Schädelknochendefekte, Infektion in der Anamnese und Bezug zum Sinus frontalis. In dieser Arbeit beträgt die Infektionsrate bei autogenem Schädelknochen 10,1% und bei PMMA 10%. Die Zahl der Palacoplastiken (10 Fälle) war im Vergleich zur Reimplantation (217 Fälle) allerdings gering und erlaubt keinem statistischen Rückschluss. Bei den anderen Kranioplastik-Methoden (insgesamt 11 Fälle) fand sich eine infektiöse Komplikation bei einem Titan-Implantat.

Einen statistisch signifikanten Einfluss auf das postoperative Infektionsrisiko fanden Park und Mitarbeiter, das bei großen Defekten von 125 cm² 37,5% beträgt[130]. In diesem

Patientenkollektiv betrug die Fläche des Defekts im Durchschnitt ca. 120 cm², die Abweichung war gering und betrug ± 6 cm², ein solcher Vergleich war somit nicht möglich.

4.3 Funktionelle Ergebnisse

Nach der Kranioplastik wurde die Besserung der Symptome des „syndrome of the trephined“ und der neurokognitiven Funktionsstörung von mehreren Autoren beobachtet[48,41,3].

Beim gesamten Patientenkollektiv dieser Studie kam es bei 61,1% der Patienten zur Besserung des neurologischen Outcomes.

Einige Autoren vertreten die Meinung, dass der Zeitpunkt der Kranioplastik 3-6 Monate nach der Kraniektomie sein sollte und im Falle eines Infektionsrisikos sogar mindestens 6 Monate bis zur Kranioplastik abgewartet werden sollte[156]. Diese „konservative“ Haltung berücksichtigt zwar das Infektionsrisiko und die Zeitdauer bis zur Rückbildung der Primärschädigung, allerdings könnten die oben erwähnten pathophysiologischen Veränderungen der Liquorzirkulation, der zerebralen Perfusion und des Metabolismus, die durch den atmosphärischen Druck auf das ungeschützte kraniektomierte Gehirn entstanden sind, zur Verzögerung der neurokognitiven Rehabilitation oder sogar zu irreversiblen Schäden führen.

Eine der Fragen, die diese Arbeit motiviert hat, war, ob eine frühe Kranioplastik der Patienten mit großen Defekten nach dekompressiver Kraniektomie ein besseres Outcome im langfristigen Follow-up hat. Die Analyse der Patientengruppen ergab, dass Patienten der Gruppe 1 (ultra frühe Kranioplastik) ein besseres neurologisches Outcome hatten, als die Gruppe 3 (späte) und die Gruppe 2 (frühe). Der initiale neurologische Zustand vor der Kranioplastik war bei allen Gruppen vergleichbar. Die Beurteilung der Patienten nach GOS vor der Kranioplastik zeigte keine wesentlichen Unterschiede (siehe Graphik, Seite 89).

Die Gruppe 1 hatte im Vergleich zu den anderen beiden Patientengruppen keine gesteigerten Infektions- oder andere Komplikationsraten. Die überwiegende Mehrzahl der Patienten erhielt den Eigenknochen zur Reimplantation. Gemäß den Ergebnissen dieser Patientenserie kann die ultra frühe Kranioplastik mittels Reimplantation des Eigenknochens als ein sicheres und hilfreiches Verfahren für die schnellere Rehabilitation und Besserung der neurologischen Funktion und Prognose bewertet werden.

Obwohl die frühe Kranioplastik von Carvi y Nievas und Höllerhage als ein sicheres Verfahren propagiert wurde, besteht in der Literatur keine Vergleichsstudie von Patientengruppen, die das Outcome und die Prognose evaluiert. Diese Patientenserie stellt die retrospektive Datenanalyse mit einem Vergleich von Patientengruppen verschiedener Kranioplastikzeitpunkte dar.

Eine retrospektive Analyse hat ihre Einschränkungen, die begrenzten Eingabe-Daten schließen eine Regressionsanalyse aus, die variable zeitliche Länge des Follow-up verdreht die Ergebnisse zu Gunsten des kürzeren Follow-up. Hinzu soll berücksichtigt werden, dass eine gewisse Verzerrung der Studienresultate aufgrund einer a priori Selektion von Patienten nicht ganz auszuschließen ist. Obwohl der Vergleich des präoperativen neurologischen Zustandes in den verschiedenen Gruppen keine wesentlichen Unterschiede zeigte, kann ein Teil dieser eindeutigen Ergebnisse darauf beruhen, dass z.B. Patienten mit schwererem Krankheitsverlauf bei persistierendem Hirnödem oder ausgeprägterem Risikoprofil in die späte Kranioplastik-Gruppe vorselektiert wurden. Ein Selektionsbias konnte nicht identifiziert werden.

Langzeitstudien mit größeren Patientenzahlen könnten dazu beitragen, die Unterschiede zwischen Patientengruppen besser zu evaluieren.

Die Fragen, die sich für die Zukunft ergeben, sind folgende:

1. Wo sind die zeitlichen Grenzlinien der Kranioplastik zu stellen? Mit anderen Worten, wann sollten wir von einer frühen oder späten Kranioplastik sprechen? Wie wäre es,

wenn man die Grenzlinie der ultra frühen Kranioplastik statt 6 Wochen, 5 oder 4 Wochen wählen würde?

2. Welche sind die langfristigen Ergebnisse (10 Jahre und mehr) der Kranioplastik, abhängig vom Kranioplastik-Zeitpunkt? Insbesondere sollten jüngere Patienten-Gruppen unter die Lupe genommen werden.
3. Ist eine prospektiv randomisierte Studie von verschiedenen Kranioplastik-Zeitpunkt-Patienten-Gruppen sinnvoll?

5. ZUSAMMENFASSUNG

Die supratentorielle dekompressive Kraniektomie mit Eröffnung und Erweiterungsplastik der Dura mater ist heutzutage eine wichtige Therapiemaßnahme in der Behandlung des konservativ nicht kontrollierbaren Hirndrucks. Unter Kranioplastik versteht man den chirurgischen Verschluss des entstandenen Knochendefekts zum Schutz des direkt unter der Kopfhaut liegenden Gehirns, zur ästhetischen Wiederherstellung der Konturen sowie zur Verbesserung einer neurologischen Symptomatik („syndrome of the trephined“).

In der vorliegenden Arbeit werden die Daten von insgesamt 242 Patienten, die einer Kranioplastik unterzogen worden waren, retrospektiv analysiert. Die Patienten wurden im Zeitraum 2001-2008 in der neurochirurgischen Abteilung der Städtischen Kliniken Frankfurt am Main-Höchst operiert. Um Aufschluss über das postoperative, funktionelle und kosmetische Ergebnis zu erhalten, wurde im Anschluss an die Aktenauswertung bei diesen Patienten eine telefonische Befragung durchgeführt.

Ziel der Arbeit war es, die bisherigen Erfahrungen der Kalottenplastik und insbesondere der autogenen orthotopen Knochendeckelreimplantation im Hinblick auf die verschiedenen Kranioplastik Zeitpunkte zu untersuchen und unter klinischen Aspekten zu bewerten.

Die Frage des Kranioplastik Zeitpunktes ist essentiell für die Therapieplanung.

Das autologe Schädelknochen transplantat hat bessere Eigenschaften und Qualitäten als alle anderen alloplastischen Materialien. In Anbetracht der perfekten Histokompatibilität, der optimalen biomechanischen Eigenschaften, der guten anatomischen Fusion mit dem umgebenden Knochen und der Möglichkeit der partiellen oder totalen Revitalisation des Transplantats, besteht kein Zweifel, dass der autologe Knochen immer zu verwenden ist, wenn die Möglichkeit dazu besteht.

Die Analyse der Patientengruppen ergab, dass die ultra frühe Kranioplastik der Patienten mit großen Defekten nach dekompressiver Kraniektomie ein besseres Outcome im langfristigen

Follow-up hat. Diese Patienten hatten keine gesteigerte Infektions- oder andere Komplikationsraten. Das Timing der Kranioplastik spielt eine Rolle in der Komplikationsrate nur bei den Patienten, die sekundär eine Komplikation erlitten haben. Patienten, die nach der Kraniektomie eine Nachblutung, einen Infarkt oder eine Infektion erlitten haben, hatten eine signifikant höhere Infektionsrate bei ultra früher Kranioplastik. Insbesondere soll betont werden, dass der Trend einer Häufung von Wundheilungsstörungen und Infektionen mit der Folge einer erneuten Explantation des Knochendeckels bei Patienten nach autogener Knochendeckelreimplantation mit mehr als 2 Risikofaktoren und bei Patienten mit kompliziertem Verlauf nach Kraniektomie festgestellt wurde.

Gemäß den Ergebnissen dieser Patientenserie kann die ultra frühe Kranioplastik bei ausgewählten Patienten mittels Reimplantation des Eigenknochens als ein sicheres und hilfreiches Verfahren für die schnellere Rehabilitation und Besserung der neurologischen Funktion und der Prognose bewertet werden. Ähnlich gute Ergebnisse zeigten die Patienten in der Gruppe 1 der ultra frühen Kranioplastik die aufgrund einer Liquorzirkulationsstörung ein VP Shunt System als kombinierte Therapie in der gleichen Sitzung erhalten haben.

Somit kann zusammenfassend festgehalten werden:

Die Ergebnisse dieser Arbeit bestätigen, dass die Kranioplastik nach einer supratentoriellen dekompressiven Kraniektomie mit Reimplantation des eigenen Schädelknochens zum frühesten möglichen Zeitpunkt ein sicheres und effektives Verfahren darstellt und bei ausgewählten Patienten sogar bessere Ergebnisse als die späte Kranioplastik haben kann. Eine mögliche Erklärung dafür könnte das Auftreten und die Persistenz von neurologischen Defiziten im Rahmen des „syndrome of the trephined“ bei Patienten bieten, bei denen eine späte Kranioplastik durchgeführt wurde. In diesem Patientengut hatten die Patienten mit ultra

früher Kranioplastik das beste neurologische Outcome, die Komplikationsrate war in allen Gruppen vergleichbar.

Um Komplikationen zu vermeiden, sollten Patienten mit einer vorausgegangenen lokalen Infektion spät kranioplastiert werden.

Das neurologische Outcome der Patienten, bei denen ein kombiniertes Verfahren Kranioplastik –VP Shunt durchgeführt wurde, war vergleichbar mit anderen Patientengruppen. Somit ist eine Kranioplastik bei Patienten mit konvexen, über Kalottenniveau prolabierte Kraniektomielappen aufgrund eines Hydrocephalus keine Kontraindikation.

6. ZUSAMMENFASSUNG IN ENGLISCHER SPRACHE: SUMMARY

Decompressive craniectomy is a worthy additional tool to manage intracranial hypertension refractory to other treatments. However, after resolution of the intracranial hypertension, these skull defects should be appropriately treated. Cranioplasty can successfully repair such large defects not only by improving the patient's cosmetic, but also by protecting the uncovered brain tissue. The therapeutic impact of this procedure can be clearly assessed in patients with the "syndrome of the trephined" (also called "sinking skin flap syndrome").

At the present, there are no recognized cranioplasty guidelines, neither for the timing nor for the materials to be employed in this surgical procedure. On the other side, large cranial defects may lead to disturbance of the cortical blood perfusion and impair the cerebrospinal fluid circulation delaying the patient's clinical recovery.

This study retrospectively reviewed 242 consecutive patients who underwent cranioplasty in the last 7 years at the neurosurgical department of the SKFH. The indications for craniectomy, the timing and materials employed for the cranial repair procedures were analysed in all patients as well as their early and long-dated prognosis. The patients were divided into three groups depending on the timing of the cranioplasty (ultra early group until 6 weeks, early group 7 to 12 weeks and delayed group after 13 weeks following craniectomy).

The immediate patient's outcome after cranioplasty was assessed reviewing medical records and the late outcome was evaluated with a telephone questionnaire. The group's comparison revealed that the immediate outcome of patients with early cranioplasty was better than those from the other groups. Patients with disturbance of consciousness who showed a rush recovery and improvement of their neurological function following cranioplasty represented 78.8%, 46 % and 12 % of the ultra early, early and delayed cranioplasty groups respectively. The late outcome (6 months after cranioplasty) was also better in patients who underwent an early cranioplasty. This study found a good late outcome (independent patients with a GOS 4 or 5)

in 84.4 %, 40.3 % and 20.6 % of the ultra early, early and delayed cranioplasty groups respectively.

The analysis of the registered postoperative complications revealed that there were not significant differences between the examined groups.

This study found that ultra early cranioplasty by re-implanting the own previously removed and frozen skull bone, was a safe and helpful strategy. This led to a rush improvement of the patient's neurological function and late outcome. An appropriated patient's selection and differentiation was an important key for an additional improvement of the neurological results in this group. The outcome from patients who underwent a combined cranioplasty and ventriculo-peritoneal shunt procedure was comparable with those of other groups. This implicates that cranioplasty is not contraindicated and should not be delayed in patients with hydrocephalus related convex skin flap craniotomy defects.

II. Literaturverzeichnis

- 1) Abbott KH:
Use of frozen cranial bone flaps for autogenous and homologous grafts in cranioplasty and spinal interbody fusion.
J Neurosurg. 1953 Jul;10(4):380-8.
- 2) Açıkgöz B, Özcan OE, Erben A, Bertan V, Ruacan S, Açıkgöz HG:
Histopathologic and microdensitometric analysis of craniotomy bone flaps preserved between abdominal fat and muscle.
Surg Neurol. 1986 Dec;26(6):557-61.
- 3) Agner C, Dujovny M, Gaviria M:
Neurocognitive assessment before and after cranioplasty.
Acta Neurochir (Wien). 2002 Oct;144(10):1033-40; discussion 1040.
- 4) Agner C, Dujovny M, Park H:
Delayed minimally invasive cranioplasty.
Minim Invasive Neurosurg. 2003 Jun;46(3):186-90
- 5) Anderson MJ, Keyak JH, Skinner HB:
Compressive mechanical properties of human cancellous bone after gamma irradiation.
J Bone Joint Surg Am. 1992 Jun;74(5):747-52. Erratum in: J Bone Joint Surg Am 1992 Sep;74(8):1274.
- 6) Arnaud E, De Pollak C, Meunier A, Sedel L, Damien C, Petite H:
Osteogenesis with coral is increased by BMP and BMC in a rat cranioplasty.
Biomaterials. 1999 Oct;20(20):1909-18.
- 7) Arnaud E:
Advances in cranioplasty with osteoinductive biomaterials: summary of experimental studies and clinical prospects.
Childs Nerv Syst. 2000 Nov;16(10-11):659-68.
- 8) Artico M, Ferrante L, Pastore FS, Ramundo EO, Cantarelli D, Scopelliti D, Iannetti G:
Bone autografting of the calvaria and craniofacial skeleton: historical background, surgical results in a series of 15 patients, and review of the literature.
Surg Neurol. 2003 Jul;60(1):71-9. Review.
- 9) Asano Y, Ryuke Y, Hasuo M, Simosawa S:
Cranioplasty using cryopreserved autogenous bone
No To Shinkei. 1993 Dec;45(12):1145-50. Japanese.
- 10) Ballin M:
A method of cranioplasty.
Surg Gynecol Obstet 1921;33:79-83
- 11) Baumeister S, Peek A, Friedman A, Levin LS, Marcus JR:

Management of postneurosurgical bone flap loss caused by infection.
Plast Reconstr Surg. 2008 Dec;122(6):195e-208e.

12) Beleites, Eggert; Schumann, Dieter; Schneider, Gerlind; Fried, Wolfgang; Linß, Werner:
3-D-Referenzimplantate für den Gesichts- und Hirnschädel
Dtsch Arztebl 2001; 98(5): A-244 / B-192 / C-180

13) Beumer J 3rd, Firtell DN, Curtis TA.
Current concepts in cranioplasty.
J Prosthet Dent. 1979 Jul;42(1):67-77.

14) Blair GA, Gordon DS, Simpson DA:
Cranioplasty in children.
Childs Brain. 1980;6(2):82-91.

15) Blake GB, MacFarlane MR, Hinton JW:
Titanium in reconstructive surgery of the skull and face.
Br J Plast Surg. 1990 Sep;43(5):528-35.

16) Blum KS, Schneider SJ, Rosenthal AD:
Methyl methacrylate cranioplasty in children: long-term results.
Pediatr Neurosurg. 1997 Jan;26(1):33-5.

17) Bok WK, Hong SK, Min KS, Lee MS, Kim YG, Kim DH:
Cranioplasty using frozen autologous bone.
J Korean Neurosurg Soc 33: 2003 166-169.

18) Brown RC:
The repair of skull defects.
Med J Aust 1917;2:409

19) Brown RC:
Cranioplasty by split-rib method.
J Coll Surg Aust 1928;1:238

20) Bruens ML, Pieterman H, de Wijn JR, Vaandrager JM:
Porous polymethylmethacrylate as bone substitute in the craniofacial area:
J Craniofac Surg. 2003 Jan;14(1):63-8.

21) Buchfelder M.
From trephination to tailored resection: neurosurgery in Germany before World War II.
Neurosurgery. 2005 Mar;56(3):605-13.

22) Burkert W, Paver HD.
Decompressive trepanation in therapy refractory brain edema.
Zentralbl Neurochir. 1988;49(4):318-23. Review. German.

23) Casanova R, Cavalcante D, Grotting JC, Vasconez LO, Psillakis JM:
Anatomic basis for vascularized outer-table calvarial bone flaps.
Plast Reconstr Surg. 1986 Sep;78(3):300-8.

24) Caroli M, Locatelli M, Campanella R, Balbi S, Martinelli F, Arienta C.
Multiple intracranial lesions in head injury: clinical considerations, prognostic factors, management, and results in 95 patients.
Surg Neurol. 2001 Aug;56(2):82-8.

25) Carvi y Nievas MN, Höllerhage HG:
Early combined cranioplasty and programmable shunt in patients with skull bone defects and CSF-circulation disorders.
Neurol Res. 2006 Mar;28(2):139-44.

Carvi y Nievas MN:
Fortschritte in der Diagnose und chirurgischen Therapie der nicht traumatischen intrakraniellen Blutungen.
Fachbereich Medizin der Johann Wolfgang Goethe-Universität, 2006.

Carvi y Nievas MN, Haas E, Höllerhage HG, Lorey T, Kleinb PJ:
Cerebral vein thrombosis associated with aneurysmal subarachnoid bleeding: implications for treatment.
Surg Neurol. 2004 Jan;61(1):95-8

26) Chandler CL, Uttley D, Archer DJ, MacVicar D:
Imaging after titanium cranioplasty.
Br J Neurosurg. 1994;8(4):409-14.

27) Chiarini L, Figurelli S, Pollastri G, Torcia E, Ferrari F, Albanese M, Nocini PF:
Cranioplasty using acrylic material: a new technical procedure.
J Craniomaxillofac Surg. 2004 Feb;32(1):5-9.

28) Clark K, Nash TM, Hutchison GC.
The failure of circumferential craniotomy in acute traumatic cerebral swelling.
J Neurosurg. 1968 Oct;29(4):367-71.

29) Clusmann H, Kriegel R, Schaller C:
Cranioplasty for large skull defects with PMMA (Polymethylmethacrylate) or Tutoplast processed autologous bone-grafts.
Meeting Abstract, 56 Jahrestagung der DGNC Strasbourg, 2005.

30) Cooper DJ, Rosenfeld JV, Murray L, Wolfe R, Ponsford J, Davies A, D'Urso P, Pellegrino V, Malham G, Kossmann T.
Early decompressive craniectomy for patients with severe traumatic brain injury and refractory intracranial hypertension--a pilot randomized trial.
J Crit Care. 2008 Sep;23(3):387-93. Epub 2007 Dec 11.

31) Costantino PD, Friedman CD, Jones K, Chow LC, Sisson GA:
Experimental hydroxyapatite cement cranioplasty.
Plast Reconstr Surg. 1992 Aug;90(2):174-85; discussion 186-91.

32) Couldwell WT, Chen TC, Weiss MH, Fukushima T, Dougherty W:
Cranioplasty with the Medpor porous polyethylene flexblock implant. Technical note.
J Neurosurg. 1994 Sep;81(3):483-6.

- 33) Courville CB.
Cranioplasty in prehistoric times.
Bull Los Angel Neuro Soc. 1959 Mar;24(1):1-8.
- 34) Czosnyka M, Copeman J, Czosnyka Z, McConnell R, Dickinson C, Pickard JD:
Post-traumatic hydrocephalus: influence of craniectomy on the CSF circulation.
J Neurol Neurosurg Psychiatry. 2000 Feb;68(2):246-8.
- 35) Dean D, Min KJ, Bond A:
Computer aided design of large-format prefabricated cranial plates.
J Craniofac Surg. 2003 Nov;14(6):819-32.
- 36) DeLacure MD:
Physiology of bone healing and bone grafts.
Otolaryngol Clin North Am. 1994 Oct;27(5):859-74. Review.
- 37) Ducic Y:
Titanium mesh and hydroxyapatite cement cranioplasty: a report of 20 cases.
J Oral Maxillofac Surg. 2002 Mar;60(3):272-6
- 38) Dujovny M, Aviles A, Anger C:
An innovative approach for cranioplasty using hydroxyapatite cement.
Surg Neurol. 1997 Sep;48(3):294-7.
- 39) Dujovny M, Fernandez P, Alperin N, Betz W, Misra M, Mafee M:
Post-cranioplasty cerebrospinal fluid hydrodynamic changes: magnetic resonance imaging
quantitative analysis.
Neurol Res. 1997 Jun;19(3):311-6.
- 40) Dujovny M, Aviles A, Agner C, Fernandez P, Charbel FT:
Cranioplasty: cosmetic or therapeutic?
Surg Neurol. 1997 Mar;47(3):238-41. Review.
- 41) Dujovny M, Agner C, Aviles A:
Syndrome of the trephined: theory and facts.
Crit Rev Neurosurg. 1999 Sep 24;9(5):271-278.
- 42) Durham SR, McComb JG, Levy ML:
Correction of large (>25 cm²) cranial defects with "reinforced" hydroxyapatite cement:
technique and complications.
Neurosurgery. 2003 Apr;52(4):842-5; discussion 845.
- 43) Ekstedt J:
CSF hydrodynamic studies in man. 1. Method of constant pressure CSF infusion.
J Neurol Neurosurg Psychiatry. 1977 Feb;40(2):105-19.
- 44) Elliott H, Scott HJ:
The bone-bank in neurosurgery.
Br J Surg. 1951 Jul;39(153):31-4.
- 45) Erculei F, Walker AE

Posttraumatic Epilepsy and early Cranioplasty
J Neurosurg. 1963 Dec;20:1085-9.

46) Erman T, Demirhindi H, Göçer AI, Tuna M, Ildan F, Boyar B:
Risk factors for surgical site infections in neurosurgery patients with antibiotic prophylaxis.
Surg Neurol. 2005 Feb;63(2):107-12

47) Fagarasano J:
Procédere de cranioplastie par des greffons costaux reboules: procedé due “grillage protecteur”.
Technique Chir 1937;29:57

48) Fodstad H, Ekstedt J, Fridén H:
CSF hydrodynamic studies before and after cranioplasty.
Acta Neurochir Suppl (Wien). 1979;28(2):514-8.

49) Fodstad H, Love JA, Ekstedt J, Fridén H, Liliequist B:
Effect of cranioplasty on cerebrospinal fluid hydrodynamics in patients with the syndrome of the trephined.
Acta Neurochir (Wien). 1984;70(1-2):21-30.

50) Galicich JH, Hovind KH:
Stainless steel mesh-acrylic cranioplasty. Technical note.
J Neurosurg. 1967 Oct;27(4):376-8.

51) Gerl A, Tavan S.
[Bilateral craniectomy in the treatment of severe traumatic brain edema]
Zentralbl Neurochir. 1980;41(2):125-38. German.

52) Gladstone HB, McDermott MW, Cooke DD.:
Implants for cranioplasty.
Otolaryngol Clin North Am. 1995 Apr;28(2):381-400. Review.

53) Goel A, Deogaonkar M:
Subgaleal preservation of calvarial flaps.
Surg Neurol. 1995 Aug;44(2):181-2.

54) Goel A:
Fatal tumoural haemorrhage following decompressive craniectomy: a report of three cases.
Br J Neurosurg. 1997 Dec;11(6):554-7.

55) Gordon DS, Blair GA:
Titanium cranioplasty.
Br Med J. 1974 Jun 1;2(5917):478-81.

56) Grant FC, Nocross NC:
Repair of cranial defects by cranioplasty.
Ann Surg 1939;110:448-512

57) Grant GA, Jolley M, Ellenbogen RG, Roberts TS, Gruss JR, Loeser JD.

Failure of autologous bone-assisted cranioplasty following decompressive craniectomy in children and adolescents.

J Neurosurg. 2004 Feb;100(2 Suppl Pediatrics):163-8.

58) Grant FC, Norcross NC:

Repair of cranial defects by cranioplasty.

Ann Surg. 1939 Oct;110(4):488-512.

59) Grantham EC, Landis HP:

Cranioplasty and the post-traumatic syndrome.

J Neurosurg. 1948 Jan;5(1):19-22.

60) Gross RA:

A brief history of epilepsy and its therapy in the western hemisphere.

Epilepsy Res. 1992 Jul;12(2):65-74.

61) Gruber R, Peter R, Hora J:

The prognosis of cranioplasty following large craniectomy in children.

Z Kinderchir. 1988 Dec;43(6):375-83.

62) Guerra WK, Gaab MR, Dietz H, Mueller JU, Piek J, Fritsch MJ.

Surgical decompression for traumatic brain swelling: indications and results.

J Neurosurg. 1999 Feb;90(2):187-96.

63) Haeseker B:

Mr. Job van Meekeren (1611-1666) and surgery of the hand.

Plast Reconstr Surg. 1988 Sep;82(3):539-46

64) Hammon WM:

Analysis of 2187 consecutive penetrating wounds of the brain from Vietnam.

J Neurosurg. 1971 Feb;34(2 Pt 1):127-31.

65) Hancock DO:

The fate of replaced bone flaps.

J Neurosurg. 1963 Nov;20:983-4.

66) Heissler E, Fischer FS, Bolouri S, Lehmann T, Mathar W, Gebhardt A, Lanksch W, Bier J:

Custom-made cast titanium implants produced with CAD/CAM for the reconstruction of cranium defects.

Int J Oral Maxillofac Surg. 1998 Oct;27(5):334-8.

67) Hieu LC, Vander Sloten J, Bohez E, Phien HN, Vatcharaporn E, An PV, To NC, Binh PH.

A cheap technical solution for cranioplasty treatments.

Technol Health Care. 2004;12(3):281-92.

68) Hockley AD, Goldin JH, Wake MJ, Iqbal J:

Skull repair in children.

Pediatr Neurosurg. 1990-1991;16(4-5):271-5.

- 69) Hutchinson PJ, Corteen E, Czosnyka M, Mendelow AD, Menon DK, Mitchell P, Murray G, Pickard JD, Rickels E, Sahuquillo J, Servadei F, Teasdale GM, Timofeev I, Unterberg A, Kirkpatrick PJ.
Decompressive craniectomy in traumatic brain injury: the randomized multicenter RESCUEicp study (www.RESCUEicp.com).
Acta Neurochir Suppl. 2006;96:17-20.
- 70) Hwang KH, Kim TY, kim JM:
Autogenous cranioplasty using deep-freezing bone flap.
J Korean Neurosurg Soc 27: 1998 159-164.
- 71) Inoue A, Satoh S, Sekiguchi K, Ibuchi Y, Katoh S, Ota K, Fujimori S:
Cranioplasty with split-thickness calvarial bone.
Neurol Med Chir (Tokyo). 1995 Nov;35(11):804-7.
- 72) Itoh Y:
Clinicopathological study of cranioplasty using freeze preserved autogenous skull.
Tokyo Med Coll 1991;49:550-64
- 73) Iwama T, Yamada J, Imai S, Shinoda J, Funakoshi T, Sakai N:
The use of frozen autogenous bone flaps in delayed cranioplasty revisited.
Neurosurgery. 2003 Mar;52(3):591-6.
- 74) Jennett B, Bond M:
Assessment of outcome after severe brain damage.
Lancet. 1975 Mar 1;1(7905):480-4.
- 75) Jessel M, Wolter D, Schümann U, Seide K und Weidtmann A:
Abrasion of steel- and pure titanium implants for osteosynthesis
Trauma und Berufskrankheit, Volume 1, Number 4 / November 1999.
- 76) Jimenez DF, Barone CM:
Calvarial defect reconstruction.
Mo Med. 1994 Apr;91(4):183-7.
- 77) Joffe JM, Aghabeigi B, Davies EH, Harris M:
A retrospective study of 66 titanium cranioplasties.
Br J Oral Maxillofac Surg. 1993 Jun;31(3):144-8.
- 78) Joffe J, Harris M, Kahugu F, Nicoll S, Linney A, Richards R:
A prospective study of computer-aided design and manufacture of titanium plate for cranioplasty and its clinical outcome.
Br J Neurosurg. 1999 Dec;13(6):576-80.
- 79) Kappis A:
Zur Deckung von Schädeldefekten.
Zentralbl Chir 1915;42:897-8
- 80) Keller E, Pangalu A, Fandino J, Könü D, Yonekawa Y:
Decompressive craniectomy in severe cerebral venous and dural sinus thrombosis.
Acta Neurochir Suppl. 2005;94:177-83.

81) 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 3rd, 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.

Transactions of the Medico-Chirurgical Society of Edinburg. London: Adam Black and Thomas Ireland and Co; 84-168, 1824

82) Kerr FW:

Radical decompression and dural grafting in severe cerebral edema.

Mayo Clin Proc. 1968 Dec;43(12):852-64.

83) Kishore PR, Lipper MH, Miller JD, Girevendulis AK, Becker DP, Vines FS:

Post-traumatic hydrocephalus in patients with severe head injury.

Neuroradiology. 1978;16:261-5.

84) Kjellberg RN, Prieto A Jr:

Bifrontal decompressive craniotomy for massive cerebral edema.

J Neurosurg. 1971 Apr;34(4):488-93.

85) Knöringer P:

Long-term results of plastic skull repairs with acrylic resins.

Zentralbl Neurochir. 1979;40(3):197-202. German.

86) Knöringer P:

Long-term results of plastic skull repairs with acrylic resins.

Zentralbl Neurochir. 1979;40(3):197-202. German.

87) Kobayashi S, Hara H, Okudera H, Takemae T, Sugita K:

Usefulness of ceramic implants in neurosurgery.

Neurosurgery. 1987 Nov;21(5):751-5.

88) Korfali E, Aksoy K:

Preservation of craniotomy bone flaps under the scalp.

Surg Neurol. 1988 Oct;30(4):269-72.

89) Kotwica Z, Zawirski M, Andrzejak S, Papierz W, Chmielowski M:

Cranioplasty of an extremely large cranial defect caused by transitional meningioma with a knitted polypropylen-polyester prothesis "Codubix".

Acta Neurochir (Wien). 1991;112(3-4):147-50.

90) Körlof B, Nylén B, Rietz KA:

Bone grafting of skull defects. A report on 55 cases.

Plast Reconstr Surg. 1973 Oct;52(4):378-83.

91) Kreuz FP, Hyatt GW, Turner TC, Bassett AL:

The preservation and clinical use of freeze-dried bone.

J Bone Joint Surg Am. 1951 Oct;33-A(4):863-72; passim.

92) Kriegel RJ:

Kalottenplastik für große Schädeldefekte mit PMMA(Polymethylacrylat) oder Tutoplast®
prozessierten autogenen Knochentransplantaten.

Inaugural-Disertation zur Erlangung des Doktorgrades der Hohen Medizinischen Fakultät der
Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, 2006.

93) Kriegel RJ, Schaller C, Clusmann H:

Cranioplasty for large skull defects with PMMA (Polymethylmethacrylate) or Tutoplast
processed autogenic bone grafts.

Zentralbl Neurochir. 2007 Nov;68(4):182-9. Epub 2007 Oct 26.

94) Langfitt TW, Marshall WJ, Kassell NF, Schutta HS:

The pathophysiology of brain swelling produced by mechanical trauma and hypertension.

Scand J Clin Lab Invest Suppl. 1968;102:XIV:B

95) Lee C, Antonyshyn OM, Forrest CR:

Cranioplasty: indications, technique, and early results of autogenous split skull cranial vault
reconstruction.

J Craniomaxillofac Surg. 1995 Jun;23(3):133-42.

96) Liao CC, Kao MC:

Cranioplasty for patients with severe depressed skull bone defect after cerebrospinal fluid
shunting.

J Clin Neurosci. 2002 Sep;9(5):553-5.

97) Longacre JJ, de Stefano GA:

Reconstruction of extensive defects of the skull with split rib grafts.

Plast Reconstr Surg 1957;19:186

98) Lorenz M, Graubner G, Schumann H, Hussein S, Samii M.

Computer assisted plastic closure of calvarial defects

Zentralbl Neurochir. 2001;62(3):98-101. German.

99) Macomber DW:

Cancellous iliac bone in depression of forehead, nose, chin.

Plast Reconstr Surg 1949;4:157

100) Magee WP Jr, Ajkay N, Freda N, Rosenblum RS:

Use of fast-setting hydroxyapatite cement for secondary craniofacial contouring.

Plast Reconstr Surg. 2004 Aug;114(2):289-97.

101) 48: Magnaes B:

Body position and cerebrospinal fluid pressure. Part 1: clinical studies on the effect of rapid
postural changes.

J Neurosurg. 1976 Jun;44(6):687-97.

Body position and cerebrospinal fluid pressure. Part 2: clinical studies on orthostatic pressure
and the hydrostatic indifferent point.

J Neurosurg. 1976 Jun;44(6):698-705.

102) Makino H, Yamaura A:

Assessment of outcome following large decompressive craniectomy in management of serious cerebral contusion. A review of 207 cases.
Acta Neurochir Suppl (Wien). 1979;28(1):193-4.

103) Malis LI:
Titanium mesh and acrylic cranioplasty:
Neurosurgery. 1989 Sep;25(3):351-5.

104) Marchac D:
Radical forehead remodeling for craniostenosis.
Plast Reconstr Surg. 1978 Jun;61(6):823-35.

105) Marcotte CA:
De l'hémicraniectomie temporaire. Paris. Thèse médicale. 1896

106) Marino R Jr, Gonzales-Portillo M.
Preconquest Peruvian neurosurgeons: a study of Inca and pre-Columbian trephination and the art of medicine in ancient Peru.
Neurosurgery. 2000 Oct;47(4):940-50.

107) Marmarou A, Foda MA, Bandoh K, Yoshihara M, Yamamoto T, Tsuji O, Zasler N, Ward JD, Young HF:
Posttraumatic ventriculomegaly: hydrocephalus or atrophy? A new approach for diagnosis using CSF dynamics.
J Neurosurg. 1996 Dec;85(6):1026-35.

108) Martin G:
Craniotomy: the first case histories.
J Clin Neurosci. 1999 Jul;6(4):361-363.

109) Matic DB, Manson PN:
Biomechanical analysis of hydroxyapatite cement cranioplasty.
J Craniofac Surg. 2004 May;15(3):415-22; discussion 422-3.

110) Matsuno A, Tanaka H, Iwamuro H, Takanashi S, Miyawaki S, Nakashima M, Nakaguchi H, Nagashima T:
Analyses of the factors influencing bone graft infection after delayed cranioplasty.
Acta Neurochir (Wien). 2006 May;148(5):535-40

111) Mauclaire H:
Breche cranienne restauree par la prothese meatllique.
Bull Mem Soc Chir Paris 1908;34:232

112) McCarthy JG, Zide BM:
The spectrum of calvarial bone grafting: introduction of the vascularized calvarial bone flap.
Plast Reconstr Surg. 1984 Jul;74(1):10-8.

113) Meel BL:
Fatal systemic allergic reaction following acrylic cranioplasty: a case report.
J Clin Forensic Med 2004; 11:205-207

- 114) Missori P, Polli FM, Rastelli E, Baiocchi P, Artizzu S, Rocchi G, Salvati M, Paolini S, Delfini R:
Ethylene oxide sterilization of autologous bone flaps following decompressive craniectomy.
Acta Neurochir (Wien). 2003 Oct;145(10):899-902.
- 115) Miyake H, Ohta T, Tanaka H:
A new technique for cranioplasty with L-shaped titanium plates and combination ceramic implants composed of hydroxyapatite and tricalcium phosphate (Cerattice).
Neurosurgery. 2000 Feb;46(2):414-8.
- 116) Monro A:
Observations on the Structure and Functions of the Nervous System.
Edinburg: Creech and Johnston, 1783
- 117) Moreira-Gonzalez A, Jackson IT, Miyawaki T, Barakat K, DiNick V:
Clinical outcome in cranioplasty: critical review in long-term follow-up.
J Craniofac Surg. 2003 Mar;14(2):144-53. Erratum in: *J Craniofac Surg*. 2003 Sep;14(5):816.
- 118) Mowlen R:
Cancelous chip bone grafts. Report on 75 cases.
Lancet 1944;2:746
- 119) Münch E, Horn P, Schürer L, Piepgras A, Paul T, Schmiedek P.
Management of severe traumatic brain injury by decompressive craniectomy.
Neurosurgery. 2000 Aug;47(2):315-22;
- 120) Munro IR, Guyuron B:
Split-rib cranioplasty.
Ann Plast Surg. 1981 Nov;7(5):341-6.
- 121) Murthy JM, Chowdary GV, Murthy TV, Bhasha PS, Naryanan TJ:
Decompressive craniectomy with clot evacuation in large hemispheric hypertensive intracerebral hemorrhage.
Neurocrit Care. 2005;2(3):258-62.
- 122) Nagayama K, Yoshikawa G, Somekawa K, Kohno M, Segawa H, Sano K, Shiokawa Y, Saito I:
Cranioplasty using the patient's autogenous bone preserved by freezing--an examination of post-operative infection rates.
- 123) Nakamura T, Takashima T, Isobe K, Yamaura A:
Rapid neurological alteration associated with concave deformity of the skin flap in a craniectomized patient. Case report.
Neurol Med Chir (Tokyo). 1980 Jan;20(1):89-93.
- 124) O'Broin ES, Morrin M, Breathnach E, Allcutt D, Earley MJ:
Titanium mesh and bone dust calvarial patch during cranioplasty.
Cleft Palate Craniofac J. 1997 Jul;34(4):354-6.
- 125) Odom GL, Woodhall B, Wrenn FR:
The use of refrigerated autogenous bone flaps for cranioplasty.

J Neurosurg. 1952 Nov;9(6):606-10.

126) Osawa M, Hara H, Ichinose Y, Koyama T, Kobayashi S, Sugita Y:
Cranioplasty with a frozen and autoclaved bone flap.
Acta Neurochir (Wien). 1990;102(1-2):38-41.

127) Osenberg D, Ischebeck W:
Neurochirurgische Rehabilitation
Schattauer Verlag, 2004; 749-759
Neurochirurgie, Herausgeber: Moskopp, Wassmann.

128) Otani N, Takasato Y, Masaoka H, Hayakawa T, Yoshino Y, Yatsushige H, Miyawaki
H, Sumiyoshi K, Chikashi A, Takeuchi S, Suzuki G:
Surgical outcome following decompressive craniectomy for poor-grade aneurysmal
subarachnoid hemorrhage in patients with associated massive intracerebral or Sylvian
hematomas.
Cerebrovasc Dis. 2008;26(6):612-7. Epub 2008 Oct 23.

129) Pankratiev BE:
Dead Bone Grafts to Repair Skull Defects.
Ann Surg. 1933 Mar;97(3):321-6.

130) Park JS, Lee KS, Shim JJ, Yoon SM, Choi WR, Doh JW:
Large defect may cause infectious complications in cranioplasty.
J Korean Neurosurg 2007 Sc 42. 89-91.

131) Park HK, Dujovny M, Agner C, Diaz FG:
Biomechanical properties of calvarium prosthesis.
Neurol Res. 2001 Mar-Apr;23(2-3):267-76. Review.

132) Park HK, Dujovny M, Lee JB, Diaz FG:
Three layer impact simulation for large cranioplasty using non-linear finite element model.
Biomed Sci Instrum. 2002;38:429-34.

133) Paşaoğlu A, Kurtsoy A, Koc RK, Konaş O, Akdemir H, Oktem IS, Selçuklu A,
Kavuncu IA:
Cranioplasty with bone flaps preserved under the scalp.
Neurosurg Rev. 1996;19(3):153-6.

134) Pelker RR, Friedlaender GE, Panjabi MM, Kapp D, Doganis A:
Radiation-induced alterations of fracture healing biomechanics.
J Orthop Res. 1984;2(1):90-6

135) Pereira WC, Neves VJ, Rodrigues Y.
Bifrontal decompressive craniotomy as the treatment for severe cerebral edema
Arq Neuropsiquiatr. 1977 Jun;35(2):99-111. Portuguese.

136) Perez-Arjona E, Dujovny M, Park H, Kulyanov D, Galaniuk A, Agner C, Michael D,
Diaz FG:
Stereolithography: neurosurgical and medical implications.
Neurol Res. 2003 Apr;25(3):227-36. Review.

- 137) Phemister DB:
The fate of transplanted bone and regeneration of its various constituents.
Surg Gynecol Obstet 1914;19:303
- 138) Pickerill P:
New method of osteoplastic restoration of the skull.
Med J Aust 1931;2:228
- 139) Poetker DM, Pytynia KB, Meyer GA, Wackym PA:
Complication rate of transtemporal hydroxyapatite cement cranioplasties: a case series review of 76 cranioplasties.
Otol Neurotol. 2004 Jul;25(4):604-9.
- 140) Polin RS, Shaffrey ME, Bogaev CA, Tisdale N, Germanson T, Bocchicchio B, Jane JA.
Decompressive bifrontal craniectomy in the treatment of severe refractory posttraumatic cerebral edema.
Neurosurgery. 1997 Jul;41(1):84-92;
- 141) Pompili A, Caroli F, Carpanese L, Caterino M, Raus L, Sestili G, Occhipinti E:
Cranioplasty performed with a new osteoconductive osteoinducing hydroxyapatite-derived material.
J Neurosurg. 1998 Aug;89(2):236-42.
- 142) Primrose A:
Cranioplasty. The value of a graft of bone, cartilage or fascia in the closure of cranial defects caused by wounds in war: a study of the results obtained in a series of forty-two operations.
Ann Surg. 1919 Jul;70(1):1-20.
- 143) Prolo DJ, Rodrigo JJ:
Contemporary bone graft physiology and surgery.
Clin Orthop Relat Res. 1985 Nov;(200):322-42. Review.
- 144) Prolo DJ, Oklund SA:
The use of bone grafts and alloplastic materials in cranioplasty.
Clin Orthop Relat Res. 1991 Jul;(268):270-8. Review.
- 145) Prolo DJ, Oklund SA:
Composite autogenic human cranioplasty: frozen skull supplemented with fresh iliac corticocancellous bone.
Neurosurgery. 1984 Dec;15(6):846-51.
- 146) Psillakis JM, Nocchi VL, Zanini SA:
Repair of large defect of frontal bone with free graft of outer table of parietal bones.
Plast Reconstr Surg. 1979 Dec;64(6):827-30.
- 147) Psillakis JM, Grotting JC, Casanova R, Cavalcante D, Vasconez LO:
Vascularized outer-table calvarial bone flaps.
Plast Reconstr Surg. 1986 Sep;78(3):309-17.

- 148) Regel JP, Stolke D:
 Dekompressive Kraniektomie aus neurochirurgischer Sicht
 231-238
 Spiegelberg A, Moskopp D:
 Monitoring des intracraniellen Druckes
 62-67
 Schattauer Verlag, 2004;
 Neurochirurgie, Herausgeber: Moskopp, Wassmann.
- 149) Reynaud JP, Benezech J, Gary-Bobo A, Merlier C:
 Reparative surgery of the skull after hemicraniectomy. Indications and technics]
 Ann Chir Plast. 1981;26(4):314-8.
- 150) Rish BL, Dillon JD, Meirowsky AM, Caveness WF, Mohr JP, Kistler JP, Weiss GH:
 Cranioplasty: a review of 1030 cases of penetrating head injury.
 Neurosurgery. 1979 May;4(5):381-5.
- 151) Rosenfeld JV, Cooper DJ, Kossmann T, Murray L, Kaye AH.
 Decompressive craniectomy.
 J Neurosurg. 2007 Jan;106(1):195-6; author reply 197.
- 152) Rutkow IM.
 Moments in surgical history. Trephination: how did they do it?
 Arch Surg. 2000 Sep;135(9):1119.
- 153) Sahuquillo J, Arikian F.
 Decompressive craniectomy for the treatment of refractory high intracranial pressure in
 traumatic brain injury.
 Cochrane Database Syst Rev. 2006 Jan 25;(1):CD003983. Review.
- 154) Sanan A, Haines SJ:
 Repairing holes in the head: a history of cranioplasty.
 Neurosurgery. 1997 Mar;40(3):588-603.
- 155) Santoni-Rugiu P:
 Repair of skull defects by outer table osteoperiosteal free grafts.
 Plast Reconstr Surg. 1969 Feb;43(2):157-61.
- 156) Schimidek H:
 Operative Neurosurgical Technique: Cranioplasty: Indications, Technique and Prognosis, 4th
 ed. Singapore: Elsevier Science, 2000.
- 157) Schirmer M
 Neurochirurgie- Eine Einführung
 9. Aufl., Urban und Schwarzenberg,
 München-Wien-Baltimore, 1998; 332-339
- 158) Schirmer CM, Hoit DA, Malek AM:
 Decompressive hemicraniectomy for the treatment of intractable intracranial hypertension
 after aneurysmal subarachnoid hemorrhage.
 Stroke. 2007 Mar;38(3):987-92. Epub 2007 Feb 1.

- 159) Schrey M, Wirtz CR, Unterberg A
Patienten-spezifische Implantate aus PEEK (Polyetheretherketon) zur Deckung komplexer Kraniotomiedefekte: Vorteile und Nachteile aus neurochirurgischer Perspektive
Deutsche Gesellschaft für Neurochirurgie. 58. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Neurochirurgie e.V. (DGNC). Leipzig, 26.-29.04.2007. Düsseldorf: German Medical Science GMS Publishing House; 2007. Doc P 009.
- 160) Schwab S, Steiner T, Aschoff A, Schwarz S, Steiner HH, Jansen O, Hacke W:
Early hemispherectomy in patients with complete middle cerebral artery infarction.
Stroke. 1998 Sep;29(9):1888-93.
- 161) Scolozzi P, Martinez A, Jaques B:
Complex orbito-fronto-temporal reconstruction using computer-designed PEEK implant.
J Craniofac Surg. 2007 Jan;18(1):224-8.
- 162) Segal DH, Oppenheim JS, Murovic JA:
Neurological recovery after cranioplasty.
Neurosurgery. 1994 Apr;34(4):729-31;
- 163) Shapiro K, Fried A, Takei F, Kohn I:
Effect of the skull and dura on neural axis pressure-volume relationships and CSF hydrodynamics.
J Neurosurg. 1985 Jul;63(1):76-81.
- 164) Shim YB, Hwang HS, Lee JI, Oh SM, Choi SK, Kang SK:
A clinical analysis of cranioplasty using methyl methacrylate.
J Korean Neurosurg Soc 19: 1990 360-366.
- 165) Simpson D:
Titanium in cranioplasty.
J Neurosurg. 1965 Mar;22:292-3.
- 166) Smith ER, Carter BS, Ogilvy CS:
Proposed use of prophylactic decompressive craniectomy in poor-grade aneurysmal subarachnoid hemorrhage patients presenting with associated large sylvian hematomas.
Neurosurgery. 2002 Jul;51(1):117-24; discussion 124.
- 167) Segal DH, Oppenheim JS, Murovic JA:
Neurological recovery after cranioplasty.
Neurosurgery. 1994 Apr;34(4):729-31; discussion 731.
- 168) Spence WT:
Form-fitting plastic cranioplasty.
J Neurosurg. 1954 May;11(3):219-25.
- 169) Stefani R, Latronico N, Cornali C, Rasulo F, Bollati A:
Emergent decompressive craniectomy in patients with fixed dilated pupils due to cerebral venous and dural sinus thrombosis: report of three cases.
Neurosurgery. 1999 Sep;45(3):626-9; discussion 629-30.

- 170) Steiger HJ, Reulen:
Manual Neurochirurgie
Ecomed Verlagsgesellschaft, 1999; 299-302
- 171) Suzuki N, Suzuki S, Iwabuchi T:
Neurological improvement after cranioplasty. Analysis by dynamic CT scan.
Acta Neurochir (Wien). 1993;122(1-2):49-53.
- 172) Tabaddor K, LaMorgese J:
Complication of a large cranial defect. Case report.
J Neurosurg. 1976 Apr;44(4):506-8.
- 173) Taggard DA, Menezes AH.
Successful use of rib grafts for cranioplasty in children.
Pediatr Neurosurg. 2001 Mar;34(3):149-55.
- 174) Taylor A, Butt W, Rosenfeld J, Shann F, Ditchfield M, Lewis E, Klug G, Wallace D, Henning R, Tibballs J.
A randomized trial of very early decompressive craniectomy in children with traumatic brain injury and sustained intracranial hypertension.
Childs Nerv Syst. 2001 Feb;17(3):154-62.
- 175) Teasdale G, Jennett B:
Assessment of coma and impaired consciousness. A practical scale.
Lancet. 1974 Jul 13;2(7872):81-4.
- 176) Triantafyllou N, Sotiropoulos E, Triantafyllou JN:
The mechanical properties of the lyophilized and irradiated bone grafts.
Acta Orthop Belg. 1975;41 Suppl 1(1):35-44.
- 177) Vaandrager JM, van Mullem PJ, de Wijn JR:
Craniofacial contouring and porous acrylic cement.
Ann Plast Surg. 1988 Dec;21(6):583-93.
- 178) Vahedi K, Vicaut E, Mateo J, Kurtz A, Orabi M, Guichard JP, Boutron C, Couvreur G, Rouanet F, Touzé E, Guillon B, Carpentier A, Yelnik A, George B, Payen D, Bousser MG; DECIMAL Investigators.
Sequential-design, multicenter, randomized, controlled trial of early decompressive craniectomy in malignant middle cerebral artery infarction (DECIMAL Trial).
Stroke. 2007 Sep;38(9):2506-17. Epub 2007 Aug 9.
- 179) Vanaclocha V, Bazan A, Saiz-Sapena N, Paloma V, Idoate M:
Use of frozen cranial vault bone allografts in the repair of extensive cranial bone defects.
Acta Neurochir (Wien). 1997;139(7):653-60.
- 180) Van Meekren J:
Observationes medico-chirurgicales.
Amsterdam: Henrici, T. Bloom, 1682:392
- 181) Vargel I, Tunçbilek G, Mavili E, Cila A, Ruacan S, Benli K, Erk Y:
Solvent-dehydrated calvarial allografts in craniofacial surgery.

Plast Reconstr Surg. 2004 Aug;114(2):298-306.

182) Venes JL, Collins WF.

Bifrontal decompressive craniectomy in the management of head trauma.

J Neurosurg. 1975 Apr;42(4):429-33.

183) Verheggen R, Merten HA:

Correction of skull defects using hydroxyapatite cement (HAC)--evidence derived from animal experiments and clinical experience.

Acta Neurochir (Wien). 2001 Sep;143(9):919-26.

184) Weber J, Spring A:

Unilateral decompressive craniectomy in left transverse and sigmoid sinus thrombosis.

Zentralbl Neurochir. 2004;65(3):135-40.

185) Weiford EC, Gardner WJ:

Tantalum cranioplasty; review of 106 cases in civilian practice.

J Neurosurg. 1949 Jan;6(1):13-32.

186) Winkler PA, Stummer W, Linke R, Krishnan KG, Tatsch K:

Influence of cranioplasty on postural blood flow regulation, cerebrovascular reserve capacity, and cerebral glucose metabolism.

J Neurosurg. 2000 Jul;93(1):53-61.

187) Woolf JI, Walker AE:

Cranioplasty: collective review.

Int Abst Surg 1945;81:1-23

188) Woringer E, Thomalske G:

Plastic covering of cranial defects with autopolymerizing resins; a new rapid technic.

Arch Psychiatr Nervenkr Z Gesamte Neurol Psychiatr. 1953;191(2):100-13.

189) Yamaura A, Makino H:

Neurological deficits in the presence of the sinking skin flap following decompressive craniectomy.

Neurol Med Chir (Tokyo). 1977;17(1 Pt 1):43-53.

190) Yang XJ, Hong GL, Su SB, Yang SY:

Complications induced by decompressive craniectomies after traumatic brain injury.

Chin J Traumatol. 2003 Apr;6(2):99-103.

191) Zingale A, Albanese V:

Cryopreservation of autogeneous bone flap in cranial surgical practice: what is the future? A grade B and evidence level 4 meta-analytic study.

J Neurosurg Sci. 2003 Sep;47(3):137-9

III. Anhang: Tabellen und Fragebogen

Tabelle klinischer Daten: Alter und Geschlecht der an der Studie beteiligten Patienten sowie Ursache, Zeitpunkt und Art der Kranioplastik.

Fallnummer	Alter	Geschlecht	Ursache der Kraniektomie	Woche der Kranioplastik	Art der Kranioplastik
1	29	M	Trauma	4	Reimplantation
2	58	M	ICB	16	Reimplantation
3	50	W	SAB	6	Reimplantation
4	69	W	Infarkt	5	Reimplantation
5	62	W	SAB	14	Palacos
6	72	W	SAB	2	Reimplantation
7	76	W	Infarkt	7	Reimplantation
8	56	W	SAB	13	Reimplantation
9	62	M	Trauma	7	Reimplantation
10	42	M	Trauma	11	Reimplantation
11	77	W	Trauma	5	Reimplantation
12	49	M	Infarkt	11	Reimplantation
13	72	W	Infarkt	49	Tutogen
14	46	M	SAB	18	Reimplantation
15	35	M	SAB	5	Reimplantation
16	39	W	SAB	9	Reimplantation
17	36	W	SAB	12	Reimplantation
18	37	W	SAB	8	Reimplantation
19	3	M	Infarkt	4	Reimplantation
20	69	W	nach OP	12	Reimplantation
21	38	W	SAB	12	Reimplantation
22	45	M	ICB	9	Reimplantation
23	77	W	ICB	7	Reimplantation
24	57	W	Tumor	4	Palacos
25	73	W	Infarkt	32	Tutogen
26	40	W	SAB	11	Reimplantation
27	67	M	Trauma	5	Reimplantation
28	54	M	Infarkt	13	Reimplantation
29	55	W	Infarkt	9	Reimplantation
30	26	M	nach OP	8	Reimplantation
31	14	M	Trauma	9	Reimplantation
32	38	W	Infarkt	17	Reimplantation
33	73	W	nach OP	3	Reimplantation
34	79	W	nach OP	3	Reimplantation
35	15	M	Trauma	23	Bioverid Glaskeramik
36	56	W	SAB	4	Reimplantation
37	38	M	Trauma	17	Reimplantation
38	1	M	Trauma	10	Reimplantation
39	38	W	Trauma	21	Reimplantation
40	66	W	Infarkt	15	Reimplantation
41	62	W	SAB	6	Reimplantation
42	17	M	nach OP	40	Bioverid Glaskeramik
43	44	M	Tumor	9	Reimplatation
44	47	W	SAB	7	Reimplatation

45	67	M	Trauma	14	Reimplatation
46	69	M	SAB	9	Reimplatation
47	77	W	nach OP	6	Reimplatation
48	53	M	Trauma	13	Reimplatation
49	42	M	SAB	6	Reimplatation
50	58	M	Trauma	2	Reimplatation
51	66	M	Infarkt	26	Peek
52	68	M	Infarkt	9	Reimplatation
53	77	W	SAB	8	Reimplatation
54	33	W	SAB	5	Reimplatation
55	49	M	SAB	5	Reimplatation
56	11	W	SAB	6	Reimplatation
57	57	W	SAB	5	Reimplatation
58	54	W	SAB	14	Reimplatation
59	35	M	ICB	6	Reimplatation
60	48	M	Trauma	4	Reimplatation
61	30	M	ICB	11	Reimplatation
62	38	M	Infarkt	16	Reimplatation
63	68	M	SAB	2	Palacos
64	45	M	Trauma	4	Reimplantation
65	75	W	SAB	7	Reimplantation
66	48	M	ICB	5	Reimplantation
67	54	W	Trauma	23	Peek
68	71	W	SAB	2	Reimplantation
69	30	W	SAB	17	Reimplantation
70	46	W	Infarkt	13	Reimplantation
71	70	M	Infektion	52	Tutogen
72	33	M	SAB	6	Reimplantation
73	71	W	ICB	8	Reimplantation
74	57	M	ICB	10	Reimplantation
75	54	M	Infarkt	21	Reimplantation
76	40	W	SAB	7	Reimplantation
77	48	W	SAB	18	Reimplantation
78	67	M	Infarkt	5	Reimplantation
79	56	W	SAB	15	Reimplantation
80	77	W	Trauma	8	Reimplantation
81	67	M	Infarkt	8	Reimplantation
82	70	M	Trauma	7	Reimplantation
83	30	M	SAB	4	Reimplantation
84	71	M	Trauma	15	Reimplantation
85	56	W	Infarkt	6	Reimplantation
86	77	M	Trauma	9	Reimplantation
87	66	W	Infarkt	22	Tutogen
88	58	M	Trauma	3	Reimplantation
89	68	M	Infektion	12	Bioverid Glaskeramik
90	50	M	ICB	9	Reimplantation
91	29	M	Trauma	3	Reimplantation
92	39	M	Trauma	6	Reimplantation
93	46	W	SAB	9	Reimplantation
94	78	M	Trauma	4	Reimplantation
95	38	W	SAB	4	Reimplantation
96	45	W	SAB	14	Reimplantation
97	69	W	Infarkt	14	Reimplantation

98	52	M	ICB	6	Reimplantation
99	54	M	Infektion	27	Peek
100	63	W	Infektion	40	Peek
101	67	M	Infarkt	8	Reimplantation
102	70	M	Trauma	7	Reimplantation
103	30	M	SAB	4	Reimplantation
104	71	M	Trauma	15	Reimplantation
105	56	W	Infarkt	6	Reimplantation
106	77	M	Trauma	9	Reimplantation
107	66	W	Infarkt	22	Reimplantation
108	58	M	Trauma	3	Reimplantation
109	68	M	Infektion	11	Bioverid Glaskeramik
110	50	M	ICB	9	Reimplantation
111	29	M	Trauma	3	Reimplantation
112	39	M	Trauma	6	Reimplantation
113	46	W	SAB	9	Reimplantation
114	78	M	Trauma	4	Reimplantation
115	38	W	SAB	4	Reimplantation
116	45	W	SAB	14	Reimplantation
117	69	W	Infarkt	14	Reimplantation
118	52	M	ICB	6	Reimplantation
119	54	M	Infektion	26	Peek
120	63	W	Infektion	43	Peek
121	64	W	SAB	6	Reimplantation
122	58	M	ICB	2	Reimplantation
123	19	M	ICB	5	Palacos
124	68	M	Infarkt	10	Reimplantation
125	46	M	Trauma	9	Reimplantation
126	59	M	ICB	4	Reimplantation
127	32	M	Trauma	8	Reimplantation
128	52	M	SAB	12	Reimplantation
129	55	W	SAB	16	Reimplantation
130	33	M	ICB	7	Reimplantation
131	48	W	SAB	7	Reimplantation
132	73	M	Trauma	3	Reimplantation
133	61	W	SAB	6	Reimplantation
134	61	W	SAB	4	Reimplantation
135	55	M	Infarkt	9	Reimplantation
136	64	M	Trauma	3	Reimplantation
137	46	M	SAB	4	Reimplantation
138	70	M	Trauma	3	Reimplantation
139	20	M	Trauma	43	Palacos
140	52	W	SAB	5	Palacos
141	82	W	ICB	2	Reimplantation
142	58	M	ICB	2	Reimplantation
143	19	M	ICB	5	Reimplantation
144	68	M	Infarkt	10	Reimplantation
145	46	M	Trauma	9	Reimplantation
146	59	M	ICB	4	Reimplantation
147	32	M	Trauma	8	Reimplantation
148	52	M	SAB	12	Reimplantation
149	55	W	SAB	16	Reimplantation
150	33	M	ICB	7	Reimplantation

151	48	W	SAB	7	Reimplantation
152	73	M	Trauma	3	Reimplantation
153	61	W	SAB	6	Reimplantation
154	61	W	SAB	4	Reimplantation
155	55	M	Infarkt	9	Reimplantation
156	64	M	Trauma	3	Reimplantation
157	46	M	SAB	4	Reimplantation
158	70	M	Trauma	3	Reimplantation
159	20	M	Trauma	43	Palacos
160	52	W	SAB	5	Reimplantation
161	82	W	ICB	2	Reimplantation
162	29	M	Trauma	4	Reimplantation
163	58	M	ICB	16	Reimplantation
164	50	W	SAB	6	Reimplantation
165	69	W	Infarkt	5	Reimplantation
166	62	W	SAB	14	Palacos
167	72	W	SAB	2	Reimplantation
168	76	W	Infarkt	7	Reimplantation
169	56	W	SAB	13	Reimplantation
170	62	M	Trauma	7	Reimplantation
171	42	M	Trauma	11	Reimplantation
172	77	W	Trauma	5	Reimplantation
173	49	M	Infarkt	11	Reimplantation
174	72	W	Infarkt	49	Reimplantation
175	46	M	SAB	18	Reimplantation
176	35	M	SAB	5	Reimplantation
177	39	W	SAB	9	Reimplantation
178	36	W	SAB	12	Reimplantation
179	37	W	SAB	8	Reimplantation
180	3	M	Infarkt	4	Reimplantation
181	69	W	nach OP	12	Reimplantation
182	38	W	SAB	12	Reimplantation
183	45	M	ICB	9	Reimplantation
184	77	W	ICB	7	Reimplantation
185	57	W	Tumor	3	Palacos
186	73	W	Infarkt	32	Reimplantation
187	40	W	SAB	11	Reimplantation
188	67	M	Trauma	5	Reimplantation
189	54	M	Infarkt	13	Reimplantation
190	55	W	Infarkt	9	Reimplantation
191	26	M	nach OP	8	Reimplantation
192	14	M	Trauma	9	Reimplantation
193	38	W	Infarkt	17	Reimplantation
194	73	W	nach OP	3	Reimplantation
195	79	W	nach OP	3	Reimplantation
196	15	M	Trauma	23	Bioverid Glaskeramik
197	56	W	SAB	4	Reimplantation
198	38	M	Trauma	17	Reimplantation
199	1	M	Trauma	10	Reimplantation
200	38	W	Trauma	21	Reimplantation
201	66	W	Infarkt	15	Reimplantation
202	62	W	SAB	6	Reimplantation
203	17	M	nach OP	40	Bioverid

					Glaskeramik
204	44	M	Tumor	8	Reimplantation
205	47	W	SAB	7	Reimplantation
206	67	M	Trauma	14	Reimplantation
207	69	M	SAB	9	Reimplantation
208	77	W	nach OP	6	Reimplantation
209	53	M	Trauma	13	Reimplantation
210	42	M	SAB	6	Reimplantation
211	58	M	Trauma	2	Reimplantation
212	66	M	Infarkt	26	Reimplantation
213	68	M	Infarkt	9	Reimplantation
214	77	W	SAB	8	Reimplantation
215	33	W	SAB	5	Reimplantation
216	49	M	SAB	5	Reimplantation
217	11	W	SAB	6	Reimplantation
218	57	W	SAB	5	Reimplantation
219	54	W	SAB	14	Reimplantation
220	35	M	ICB	6	Reimplantation
221	48	M	Trauma	4	Reimplantation
222	30	M	ICB	11	Reimplantation
223	38	M	Infarkt	16	Reimplantation
224	68	M	SAB	2	Palacos
225	45	M	Trauma	4	Reimplantation
226	75	W	SAB	7	Reimplantation
227	48	M	ICB	5	Reimplantation
228	54	W	Trauma	23	Reimplantation
229	71	W	SAB	2	Reimplantation
230	30	W	SAB	17	Reimplantation
231	46	W	Infarkt	13	Reimplantation
232	70	M	Infektion	49	Tutogen
233	33	M	SAB	6	Reimplantation
234	71	W	ICB	8	Reimplantation
235	57	M	ICB	10	Reimplantation
236	54	M	Infarkt	21	Reimplantation
237	40	W	SAB	7	Reimplantation
238	48	W	SAB	18	Reimplantation
239	67	M	Infarkt	5	Reimplantation
240	56	W	SAB	15	Reimplantation
241	77	W	Trauma	8	Reimplantation
242	58	M	ICB	2	Reimplantation

<u>TCD</u> Diastolischer Fluss: Systolischer Fluss:	präoperativ	postoperativ	
<u>c-MRT:</u>	präoperativ	postoperativ	
<u>Labor:</u> HB HK Quick PTT Na/K/Ca/Lactat Thrombozyten	präoperativ	postoperativ	Weitere Kontrollen

<u>Indikation der Kranioplastik:</u>	<u>Zeitpunkt der Kranioplastik:</u>
Kosmetisch	
Syndrome of the trephined	
Therapie einer Epilepsie	
<u>Art der Kranioplastik</u>	
Autologer Kochen	
Tutoplast Verfahren	
PMMA	
Titan Implantat	
Glaskeramik	
<u>Zeitintervall:</u>	

Intraoperative Besonderheiten
Schwierigkeiten bei der Anpassung des Implantats:
Herniation:

Blutverlust:

Sonstige:

<u>Postoperativer Verlauf</u> Klinische Besserung: Vigilanz: Orientierung: Fokale neurologische Ausfälle: Neuropsychologische Symptome: Wundheilung: Knochenheilung:	Ja:	Nein:
--	-----	-------

Komplikationen

Zeitpunkt:

Ursache:

Therapie:

Früh

Nachblutung
Infektion

Spät

Wundheilungs-
störung
Osteomyelitis
Demineralisa-
tion(Lockerung)
Hydrocephalus

Tabelle 2: Fragenkatalog, telefonische Befragung

<u>Name:</u>	<u>Vorname:</u>	<u>Geburtsdatum:</u>	<u>M</u>	<u>W</u>
Befragungsdatum:				Operationsdatum:
Zeitintervall:				
Gespräch mit:	Patient:			
	Angehörige:			
	Arzt:			
<u>Postoperativer Befund:</u>				
Wundinfektion:	Ja:		Nein:	
Wundbereich: o.B. ?	Ja:		Nein:	
Schädeldeformationen:	Ja:		Nein:	
Knocheneinbau:	o.B.		Komplikationen: Lockerung, Demineralisation, Abstoßungsreaktionen?	
Sonstiges				
<u>Neurologischer Befund:</u>				
Subjektive Besserung der klinische Symptomatik:	Ja:		Nein:	
Gleichbleiben der klin. Sympt.	Ja:		Nein:	
Verschlechterung der klin. Sympt.	Ja:		Nein:	
Vigilanz: wach/orientiert?	Ja:		Nein:	
Fokale Anfälle:	Ja:		Nein:	
Generalisierte Anfälle:	Ja:		Nein:	
Hirnnerven:	o.B.		Ausfälle:	
<u>Motorik:</u>				
Hemiparese:	Ja:		Nein:	
Plegien:	Ja:		Nein:	
<u>Freies Gehen:</u>				
Ohne Hilfe:	Ja:		Nein:	
Mit Hilfe:	Ja:		Nein:	
Gangbild:	Sicher:		Unsicher:	
<u>Koordination:</u>				
Ataxie:	Ja:		Nein:	
<u>Neuropsychologischer Befund</u>				
Sprechen:	Ja:		Nein:	
Sprachverständnis:	Gut:		Einschränkungen:	
Sprachstörung:	Ja:		Nein:	
	Motorisch:			
	Sensorisch:			
Lesen: möglich	Ja:		Nein:	
Schreiben:	Ja:		Nein:	

Barthel-Index:	Punktzahl:	Mit Hilfe:
	Selbstständig:	
Essen	10	5
Baden	5	0
Waschen	5	0
Ankleiden	10	5
Stuhlkontrolle	10	5
Urinkontrolle	10	5
Toilettengang	10	5
Aufstehen, Bett→Stuhl	15	5-10
Gehen auf Ebene oder:	15	10
Rollstuhlfahrer		
Treppensteigen	10	5
Gesamt:		

Beurteilung der Selbstständigkeit nach Punktzahl:

Punktzahl	Bewertung
100	Patient kann Alltagsaktivitäten selbstständig bewältigen
60-95	Patient benötigt geringe Unterstützung bei Alltagsaktivitäten
< 60	Patient kann Alltagsaktivitäten nicht ohne Hilfe bewältigen

IV. Danksagung

Mein herzlicher und besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Privatdozent Dr. Mario Carvi y Nievas für die herausragende Betreuung und ständige Beratung bei der Erstellung dieser Arbeit.

Zu großem Dank bin ich meinem vorgesetztem Prof. Dr. Hans-Georg Höllerhage, Chefarzt der Neurochirurgischen Klinik der Städtischen Kliniken Frankfurt-Höchst, für seine Unterstützung verpflichtet.

Mein ganz besonderer Dank gilt meinen Eltern und meiner Frau die mit ihrer Unterstützung, Geduld und ihrem Verständnis alles ermöglicht haben.

Ich bedanke mich auch bei allen Patienten und Angehörigen, die durch die sehr rege Teilnahme an der telefonischen Befragung den Erfolg dieser Dissertation sicherten.

Ehrenwörtliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die dem Fachbereich Medizin zur Promotionsprüfung eingereichte Arbeit mit dem Titel: „Zeitpunkt der Kranioplastik nach supratentorieller dekompressiver Kraniektomie: eine retrospektive Analyse“, in der Neurochirurgische Klinik der Städtischen Kliniken Frankfurt-Höchst, eines akademischen Lehrkrankenhauses der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main unter Leitung von Privat Dozent Dr. med. habil. Mario Carvi y Nievas, ohne sonstige Hilfe selbst durchgeführt und bei der Abfassung der Arbeit keine anderen als die in der Dissertation angeführten Hilfsmittel benutzt habe.

Ich habe bisher an keiner in- oder ausländischen Medizinischen Fakultät ein Gesuch um Zulassung zur Promotion eingereicht noch die vorliegende Arbeit als Dissertation vorgelegt.

Frankfurt, den 30.10.2009

(Unterschrift)

<u>LEBENS LAUF</u>		
Name Archavlis Vorname Eleftherios Titel: Dr. med. univ. (Wien)		
Wohnort	Frankfurt am Main	
E-Mail Adresse	neurosurgery@t-online.de	
Geburtsdatum	23.07.1973	
Staatsangehörigkeit	griechisch	
Familienstand	verheiratet	
Sprachen	Deutsch – Englisch – Griechisch	
Studium JAHR, FACH, UNIVERSITÄT	Oktober 1991 bis Dezember 1997 Medizinstudium Universität Wien, A-1090 Wien, Währinger Gürtel 18-20	
Facharzt für Allgemeinmedizin JAHR, FACH, AUSBILDUNGSEINRICHTUNG	2001 Approbation in Hessen und Anerkennung des Facharzt diploms für Allgemeinmedizin Landesprüfungsamt für Heilberufen in Hessen Landesärztekammer Hessen	
Facharzt für Neurochirurgie JAHR, FACH, AUSBILDUNGSEINRICHTUNG	2008 Neurochirurgie Landesärztekammer Hessen Frankfurt am Main / Deutschland	
Wissenschaftlicher und beruflicher Werdegang	1997 - 1998 Wissenschaftlicher Mitarbeiter der Kardiochirurgischen Klinik der Universität Wien Forschungsgebiet: Improved graft function using a new myocardial preservation solution O.Univ.Prof. Dr. Ernst Wolner, Kardiochirurgische Klinik der Universität Wien 1998 – 2001 Arzt in Weiterbildung für Allgemeinmedizin Unfallchirurgische und Sporttraumatologische Abteilung Wilhelminenspital der Stadt Wien	

	2001 – 2008 Assistenzarzt Neurochirurgische Klinik Chefarzt Prof. Höllerhage Städtische Kliniken Frankfurt-Höchst
Derzeitige Position	Seit 2008 Facharzt an der Neurochirurgischen Klinik Städtische Kliniken Frankfurt-Höchst Frankfurt am Main
Publikationen	<ul style="list-style-type: none"> • Acute management of poor condition subarachnoid hemorrhage patients. <u>Archavlis E</u>, Carvi y Nieves MN. Vascular Health and Risk Management 2007;3(6) 1-8 • Combined minimal invasive techniques in deep supratentorial intracerebral haematomas. Carvi y Nieves MN, Haas E, Höllerhage HG, Schneider H, Pöllath A, <u>Archavlis E</u>. Minim Invasive Neurosurg. 2004 Oct;47(5):294-8. • Atypical causes of nontraumatic intracranial subarachnoid hemorrhage. Carvi y Nieves MN, <u>Archavlis E</u>. Clin Neurol Neurosurg. 2009 May;111(4):354-8. Epub 2008 Dec 30.