

Aus der St. Barbara-Klinik Hamm-Heessen GmbH
Klinik für Neurochirurgie
Priv.-Doz. Dr. H. Ebel

Individuell vorgefertigte Titanimplantate zur
Abdeckung von Schädelkalottendefekten

INAUGURAL – DISSERTATION
zur
Erlangung des doctor medicinae

der Medizinischen Fakultät
der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

vorgelegt von Fischer, Sandra
aus Dortmund

2008

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der
Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

Dekan: Univ.-Prof. Dr. V. Arolt

- 1. Berichtstatter: Univ.-Prof. Dr. W. Paulus**
- 2. Berichtstatter: Priv.-Doz. Dr. H. Ebel**

Tag der mündlichen Prüfung: 24.11.2008

Aus der St. Barbara-Klinik Hamm-Heessen GmbH

Klinik für Neurochirurgie

Priv.-Doz. Dr. H. Ebel

Referent: Univ.-Prof. Dr. W. Paulus

Koreferent: Priv.-Doz. Dr. H. Ebel

ZUSAMMENFASSUNG

Individuell vorgefertigte Titanimplantate zur Abdeckung von Schädelkalottendefekten

Fischer, Sandra

Im Zeitraum von 2004 - 2006 wurden bei 21 Patienten 23 individuell angefertigte Titankranioplastiken (Cranio Top[®]) implantiert. Die zugrunde liegenden Schädelkalottendefekte entstanden durch Osteolyse oder Infektion des reimplantierten Schädelknochens nach Entlastungskraniektomie im Rahmen eines Schädel-Hirn-Traumas oder Hirninfarktes, seltener durch Osteolyse oder Infektion des Schädelknochens nach einer Kraniotomie, und durch die Entfernung von tumorinfiltriertem Schädelknochen.

Die Größe der abgedeckten Defekte lag zwischen 16 cm² und 24 cm² und das mittlere Alter der behandelten Patienten betrug 35 Jahre, wobei zur Zeit der Implantation der jüngste Patient 6 Jahre und der älteste Patient 62 Jahre alt war. Die aus Titanblech durch Streckziehen angefertigten Cranio Top[®]-Plastiken konnten aufgrund ihrer geringen Dicke von 0,5 - 0,8 mm auf den Schädelkalottendefekt aufgelegt werden, so dass eine Freipräparation der Knochenränder nicht erforderlich und somit das Risiko einer Dura- und / oder Hirnverletzung sehr gering war.

In dieser Untersuchung wird das operative Vorgehen, der postoperative Verlauf sowie das Befinden der Patienten nach der Implantation der, auf den Knochenrändern aufgelegten und mit Minischrauben befestigten, Cranio Top[®]-Plastiken beschrieben. Zusätzlich wurden die digitalen Röntgen-, Computertomographie- und Kernspintomographieaufnahmen nach der Implantation der Cranio Top[®]-Plastik hinsichtlich einer eventuell auftretenden Beeinträchtigung der Bildqualität durch Metallartefaktbildung ausgewertet.

Die Auswertungen ergaben in allen Bereichen gute bis sehr gute Ergebnisse. Es gab keine intra- oder postoperativen Komplikationen; elf Patienten fanden das kosmetische Ergebnis sehr gut, acht Patienten, bei denen schon präoperativ eine starke Atrophie des M. temporalis bestand, beurteilten das kosmetische Ergebnis als gut.

Alle Patienten gaben eine Verbesserung ihres körperlichen Befindens an. Durch die geringe Dicke der Cranio Top[®]-Plastik und der geringen Dichte, sowie dem niedrigen Grad der Magnetisierbarkeit des Materials kam es nur zu einer geringen Absorption von Röntgenstrahlen mit entsprechend geringer Ausbildung von Radiär-Streifenartefakten (Streaking) und Suszeptibilitätsartefakten; ein flächiger Bildzerfall war in keinem Fall zu beobachten. Die Beurteilung der digitalen Röntgen-, Computertomographie- und Kernspintomographieaufnahmen bzw. der darunter liegenden Hirngewebsstrukturen ist somit auch nach Implantation dieser Cranio Top[®]-Plastik weiterhin sehr gut möglich.

Tag der mündlichen Prüfung: 24.11.2008

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	1
1.1	Historischer Überblick der Kranioplastie.....	1
1.2	Entstehung von Schädelknochendefekten	4
1.3	Indikationen der Kranioplastie	5
1.4	Aktuelle Methoden der Kranioplastie	6
1.5	Eigene Fragestellung	7
2.	Material und Methodik.....	8
2.1	Material	8
2.1.1	Allgemeine Eigenschaften von Titan.....	8
2.1.2	Korrosionsbeständigkeit von Titan	8
2.1.3	Bioverträglichkeit und Toxizität von Titan.....	10
2.1.4	Mechanische Eigenschaften von Titan.....	11
2.1.5	Computertomographie- und Kernspintomographie-Kompatibilität von Titan.....	12
2.2	Konstruktionsprinzip	13
2.3	Klinische Bewertung	15
2.3.1	Retrospektive Datenerhebung	15
2.3.2	Ein- und Ausschlusskriterien	16
2.3.3	Patientenkollektiv	16
2.3.4	Prä-operative Vorbereitung	29
2.3.5	Technik und Durchführung der Operation	29
2.3.6	Postoperative Kontrollen mittels bildgebender Verfahren	31
2.3.7	Klinische Nachuntersuchung	31
2.3.8	Poststationäre Patientenbefragung	31

3. Ergebnisse	32
3.1 Bildgebende Diagnostik nach Implantation einer Titankranioplastik. 32	
3.1.1 Befunderhebung und Auswertung mittels digitalen Röntgenaufnahmen.....	32
3.1.2 Befunderhebung und Auswertung mittels Computertomographie.....	32
3.1.3 Befunderhebung und Auswertung mittels Kernspintomographie	33
3.2 Heilungsverlauf und kosmetische Ergebnisse.....	35
3.2.1 Wundheilung und kosmetisches Ergebnis.....	35
3.2.2 Postoperative radiologische Diagnostik.....	37
3.2.3 Patientenbefragung	39
4. Diskussion.....	41
5. Literaturverzeichnis	44

Abkürzungsverzeichnis

A	Arteria
CAD/CAM	Computer aided design/computer aided manufacturing
CEN	Comité Européen de Normalisation
CNC	Computer Numeric Control
CT	Computertomographie
CRP	C-reaktives Protein
DICOM	Digital Imaging and Communications in Medicine
3-D	dreidimensional
FAST	Fourier Acquired Steady state
FLAIR	Fluid Attenuated Inversion Recovery
FLASH	Fast Low Angled Shot
FSE	Fast-Spin-Echo
GE	Gradienten-Echo
GFK	Glasfaserverstärkter Kunststoff
GPa	Gigapascal
ICB	Intracerebrale Blutung
kV	Kilovolt
M	Musculus
mA	Milliampere
MPa	Megapascal
MRT	Magnetresonanztomographie
PTT	Partialthromboplastinzeit
SAB	Subarachnoidalblutung
SE	Spin-Echo
SHT	Schädel-Hirn-Trauma
T1	Spin-Gitter-Relaxation
T2	Spin-Spin-Relaxation
WHO	World Health Organization

Abbildungsverzeichnis

Abbildung:	Titel:	Seite:
2-1	Clarke und Hickman-Diagramm in der ergänzten Modifizierung nach Hille	9
2-2	Korrosionsbeständigkeit und Gewebereaktion verschiedener Metalle und Legierungen. Veränderte Abbildung nach Steinemann	11
2-3	Schädelmodell mit angefertigter Cranio Top [®] -Plastik	14
2-4	Abpräparierter Galea-Periost-Lappen bei 24 x 9,8 cm großem bifrontalem Schädelkalottendefekt	30
2-5	Abdeckung des Schädelkalottendefektes mit einer Cranio Top [®] -Plastik	30
3-1	Artefaktfreie Darstellung des Schädels in der Röntgenaufnahme im seitlichen Strahlengang nach Implantation von Cranio Top [®] -Plastiken beidseits	32
3-2	Sichtbarer Gefäßkanal in der Schädelkalotte hinter der Cranio Top [®] -Plastik	32
3-3	Partialvolumenartefakte entlang der Implantatsränder und Metallartefakte im Bereich der Schrauben in der CT-Aufnahme nach Implantation einer Cranio Top [®] -Plastik	33
3-4	Geringe Hypointensität unterhalb der Cranio Top [®] -Plastik in der T1/T/SE Einstellung	34
3-5	Stark ausgeprägte Suszeptibilitätsartefakte unterhalb der Cranio Top [®] -Plastik in der selten verwendeten FLASH/T2*/Gradienten-echosequenz	34

3-6	Leichte Ausbildung von Suszeptibilitätsartefakten unterhalb der Cranio Top [®] -Plastik in der FLAIR/T/FSE Einstellung	35
3-7	Aufnahme vor und nach Implantation einer Cranio Top [®] -Plastik beidseits	35
3-8	Zustand vor und nach Implantation einer Cranio Top [®] -Plastik bei teilweise artrophiertem M. temporalis	36
3-9	Großer bifrontaler Schädelkalottendefekt nach SHT und mehrfachen Implantationen von Refobacin [®] -Palacos Kranio-plastiken	37
3-10	Sehr gutes kosmetisches Ergebnis nach Implantation einer großen bifrontalen Cranio Top [®] -Plastik	37
3-11	Postoperativ gering raumfordernd wirkender Erguss unterhalb der Cranio Top [®] -Plastik	38
3-12	Raumersetzender Erguss unter der Cranio Top [®] -Plastik postoperativ und raumersetzender organisierter Erguss 1,25 Jahre nach Implantation	38
3-13	Kosmetisches Ergebnis bei atrophiertem M. temporalis nach Implantation einer Cranio Top [®] -Plastik	39
4-1	Modifizierte Cranio Top [®] -Plastik	43

1. Einleitung

1.1 Historischer Überblick der Kranioplastie

Die Eröffnung des Schädels sowie die anschließende Abdeckung der daraus resultierenden Knochendefekte weist eine sehr lange Entwicklungsgeschichte auf. Erste Abdeckungen mit Muscheln und Kürbisschalen zeigten sich bei Schädeln aus Peru, datiert auf 3000 Jahre v. Chr. [29]. Bei weiteren Ausgrabungen fand man einen Schädelknochen mit einer Kraniotomielücke, datiert auf 2000 Jahre v. Chr., die mit einer Goldplatte abgedeckt worden war [72]. Gold als Implantationsmaterial wurde nachweislich noch bis und über das 18. Jahrhundert hinaus zur Anfertigung von Kranioplastiken verwendet.

Die erste angeblich erfolgreiche Knochenverpflanzung unter Benutzung der Schädeldecke eines toten Hundes soll 1668 von J. van Meekren durchgeführt worden sein. Auf den Südseeinseln verwendete man um das 18. Jahrhundert herum Kokosnussschalen zur Deckung von Kraniotomiedefekten. Seit dieser Zeit erfolgten, insbesondere innerhalb der letzten 100 Jahre, zahlreiche Implantationsversuche mit unterschiedlichsten Metall- und Plastikmaterialien [74].

Nach Versuchen mit Gänse- und Kälberknochen wurde 1893 die erste Kranioplastik aus Celluloid und 1898 aus Aluminium implantiert. Celluloid war nicht stabil genug und führte zu einer starken Gewebsreaktion, während Aluminium zu Wundheilungsstörungen und Infektionen führte, zudem erwies es sich als epileptogen, und wuchs nur sehr langsam ein. Auch das zur selben Zeit verwendete Porzellan war nicht stabil genug [51]. Der Rückgriff auf Silber in 1903 gelang nur bedingt, da die Kranioplastiken aus Silber zu weich waren und das im Körpermilieu entstehende Silberoxid zu Hautirritationen, Hautverfärbungen und häufig zur Abstoßung des Implantates führte.

Von 1908 - 1917 erfolgten Versuche mit Bleiplatten, ausgekochten Kaninchen- und Affenknochen, Ochsen- und Büffelhorn oder Elfenbein [73]. Auch Versuche mit desinfizierten und sterilisierten Schädelknochen von Leichen führten zu Infektionen und Auflösung der Kranioplastik. Ebenfalls Anfang des 19. Jahrhunderts wurden autologe Knochentransplantationen aus dem Schulterblatt oder den Rippen durchgeführt. Die

Nachteile bestanden darin, dass es zu einer schmerzhaften zweiten Wunde kam und die kosmetischen Ergebnisse nicht optimal waren [9].

Auch in der heutigen Zeit werden noch Kranioplastiken durch Entnahme von Anteilen der Tabula externa des intakten Schädelknochens und die Implantation in den Schädelknochendefekt, mit Verursachung einer entsprechend großen Wundfläche, beschrieben [32, 45, 53]. Zudem ist insbesondere bei der Abdeckung großer Defekte mit autologen Knochen eine signifikante Resorptionsrate zu beobachten [17, 46] die in ca. 35 % der autologen Kranioplastiken einen Zweiteingriff mit allogenen Materialien erfordert [41].

Ab 1929 wurden verschiedene Metalle und Edelmetalle als Material für Kranioplastiken verwendet. Das stark oxidierende Silber wurde, nach der Feststellung, dass die Korrosion von metallischen Implantaten die entscheidende Ursache für deren Funktionsversagen und Wundheilungsstörungen war, nicht mehr verwendet [88]. Platin war zu kostenintensiv; Vitalium, eine Legierung aus Kobalt, Chrom und Molybdän, war zwar wenig korrosionsanfällig, aber nur eingeschränkt formbar.

Diese negativen Eigenschaften zeigten sich ebenfalls bei Implantaten aus Ticonium, einer Legierung aus Kobalt, Chrom, Nickel und Molybdän, trotzdem wurde es bis zur Entdeckung von Tantalum für Kranioplastiken verwendet. Tantalum erwies sich als sehr gut gewebeverträglich, nicht korrosiv und intraoperativ als formbar, da es von Natur aus sehr weich ist [70]. Physikalisch betrachtet besitzt Tantalum jedoch eine hohe Wärmeleitfähigkeit, so dass bei Einwirkung von Witterungseinflüssen wie Erwärmung zum Beispiel durch Sonneneinstrahlung oder auch Kälte, die so behandelten Patienten über heftige Kopfschmerzen klagten [73]. Außerdem besitzt Tantalum ein sehr hohes spezifisches Gewicht, sowie eine hohe Atommasse und Elektronendichte. Diese für die starke Absorption der Röntgenstrahlen entscheidenden Parameter bedingten eine eingeschränkte bis unmögliche Beurteilbarkeit postoperativ angefertigter Röntgenaufnahmen [94]. Ebenso kam es in den Computertomographieaufnahmen zu einer starken Artefaktbildung im Sinne eines kompletten Bildzerfalls mit entsprechendem Informationsverlust. Ein weiteres Problem, bestand in den sehr hohen Materialkosten des Tantalums, so dass es Mitte des 19. Jahrhunderts durch Edelstahl ersetzt wurde [72].

Die Verwendung von rostfreiem Edelstahl stellte eine kostengünstigere Alternative dar, die jedoch häufig zu Wundheilungsstörungen mit nachfolgender Früh- oder Spätabstoßung des Implantates führte. Die Ursache des häufigen Implantatversagens war bedingt durch die im aggressivem Körpermilieu stattfindende Oxidation und der damit verbundenen Abscheidung der Oxidationsprodukte. Auch die kosmetischen Ergebnisse waren recht unbefriedigend, da die sehr hohe Festigkeit der präoperativ mit vorgegebenen Radien maschinell geformten Teile keine individuelle intraoperative Anpassung ermöglichte [79]. Zur selben Zeit wurden Kranioplastiken aus autopolymerisierendem Kunstharz, Polyethylen und aus Poly-Methyl-Methacrylat (PMMA) zur Implantation hergestellt.

Die Verwendung von Kunstharz war mit einem großen intraoperativen Zeitaufwand verbunden, da sowohl die Anfertigung des Wachsabdruckes, die Herstellung der Gießform aus Gips, die 40-minütige Polymerisierung des Kunstharzes sowie die anschließende Sterilisierung der Kranioplastik intraoperativ erfolgen musste [90, 95, 96]. Die Verwendung von Polyethylen stellte sich insbesondere bei größeren Defekten aufgrund der Instabilität des recht weichen Materials als unbrauchbar heraus, wohingegen Poly-Methyl-Methacrylat ein geeignetes Material darstellt, das heute noch verwendet wird. Es zeichnet sich durch gute Formbarkeit, geringe Röntgendichte, Stabilität und niedrige Kosten aus [9, 11].

Verschiedene Studien über PMMA-Plastiken ergaben eine Infektionsrate von ungefähr 3 %, die jedoch bei Beteiligung des Sinus frontalis und der Orbita mit einer Infektionsrate von bis zu 25 % sprunghaft ansteigt [4, 47]. Weiterhin konnte im Rahmen einer postoperativen Strahlentherapie oder bei einer früheren Infektion eine gesteigerte Infektionsrate beobachtet werden [5]. Erst die Einführung von antibiotikahaltigen PMMA-Plastiken führte zu einer Abnahme der Infektionsrate.

Als wesentlicher Nachteil einer PMMA-Plastik zeigt sich jedoch im Rahmen der Aushärtung im Situs eine exotherme Reaktion, bei der Temperaturen bis zu 100 °C erreicht werden, sowie das Auftreten von Frakturen und Infektionen [9], die durch eine fibröse Kapselbildung begünstigt werden [25]. Ebenfalls kann eine Infektion bis zu mehreren Jahren nach der Implantation im Rahmen einer Immunsuppression nicht

ausgeschlossen werden [5]. Ein zusätzliches Problem stellt die Zytotoxizität durch die Absorption des lipidlöslichen, äußerst oberflächenaktiven Acrylmonomeres dar [47].

Ein weiteres Material für Kranioplastiken ist Hydroxylapatit, ein Calcium-Phosphat Gemisch welches sich in Knochen und Zähnen befindet und synthetisch hergestellt werden kann. Dadurch bedingt, dass es spröde und zerbrechlich ist, kann es nur in kleinen Defekten oder mit einem Titanmesh zusammen implantiert werden [16]. Nur wenn das implantierte Hydroxylapatit Kontakt zu Knochen hat, zeigt sich, allerdings erst nach über 6 Monaten, eine Knochenneubildung im Bereich des Defektes. Mindestens bis zu dieser Zeit besteht keine ausreichend stabile Abdeckung [69, 89]. Auch bei der Methode die Hydroxylapatitkristalle durch Erhitzung und Komprimierung zu Hydroxylapatit-Keramik zu verfestigen bleibt das Material spröde und zerbrechlich, so dass es nicht in größere Defekte, die einer axialen Krafteinwirkung ausgesetzt sind, implantiert werden kann [72].

Seit 1965 wird Titan als Titanmesh, teilweise auch in Verbindung mit Hydroxylapatit und in neuerer Zeit als kompletter Schädelknochendefektersatz verwendet [57].

Die aktuell verwendeten Kranioplastiken aus Titan werden individuell nach dem CAD-CAM Verfahren aus einem Titanblock gefertigt und in den Schädelkalottendefekt eingebracht [6, 21, 42].

1.2 Entstehung von Schädelknochendefekten

Es gibt verschiedene Krankheitsbilder die zu einem ausgeprägten Hirnödem führen. Da sich das Gehirn in dem knöchernen Hirnschädel nicht ausdehnen kann, besteht bei einem medikamentösen Therapieversagen die Möglichkeit einer Entlastungskraniektomie. Zusätzlich ist es in den meisten Fällen erforderlich, auch noch eine Duraerweiterungsplastik vorzunehmen.

Bei Schädel-Hirn-Traumen mit multiplen Kontusionsblutungen, traumatischer Subarachnoidalblutung und generalisiertem Hirnödem, welches durch eine medikamentöse Therapie und durch eine Druckentlastung über eine externe Ventrikeldrainage zur Liquorableitung nicht beherrschbar ist, wird eine beidseitige

Entlastungskraniektomie durchgeführt [8, 26, 31, 35, 52, 56, 59, 64, 76]. Auch bei Patienten mit akutem Subduralhämatom, Kontusionsblutungen und einseitigem Hirnödem wurde ein besserer Verlauf nach einseitiger Entlastungskraniektomie beobachtet [81].

Eine weitere Indikation für eine Entlastungskraniektomie besteht bei Hirninfarkten mit Ausbildung eines malignen Hirnödems. In diesem Fall wird rechtzeitig, bevor sich in der Computertomographie ausgedehnte Hypodensitätszonen darstellen, eine einseitige Entlastungskraniektomie mit Duraerweiterungsplastik empfohlen [13, 14, 15, 19, 27, 49, 78]. Ebenso kann es im Rahmen einer intrakraniellen Operation bei Extirpation eines Tumors oder der Versorgung einer Gefäßmalformation zu der Entwicklung eines Hirnödems kommen, so dass der Knochendeckel nicht ohne Kompression des Hirnparenchyms wieder einsetzbar wäre. Weiterhin kann die intraoperativ auftretende Schwellung so ausgeprägt sein, dass die ursprünglich angelegte Kraniotomie zu einer Entlastungskraniektomie erweitert werden muss, um eine Schädigung des Hirnparenchyms zu vermeiden.

Auch bei einem Tumor der den Schädelknochen infiltriert, oder bei einem primär osteolytischen Tumor kann es im Rahmen der Tumorextirpation erforderlich sein, das infiltrierte Knochengewebe zu entfernen. In diesen Fällen, aber auch wenn der Schädelknochen durch ein Trauma in kleine Fragmente zerborsten ist, beziehungsweise wenn ein offenes Schädel-Hirn-Trauma vorliegt, müssen die Knochenfragmente verworfen werden. Andererseits werden die entnommenen Schädelknochen bei ca. - 80 °C eingefroren aufbewahrt oder heterotop autolog in das subkutane Bauchfett implantiert, um zu einem späteren Zeitpunkt wieder eingesetzt zu werden [60, 63, 66, 86].

1.3 Indikationen der Kranioplastie

Die Indikation zur Implantation einer Kranioplastik ergibt sich in erster Linie zur Protektion des Hirnparenchyms und in zweiter Linie zur Wiederherstellung eines guten

kosmetischen Ergebnisses mit der daraus resultierenden Verbesserung der psychosozialen Komponenten.

Beschrieben wird auch ein Post-Kraniektomie-Syndrom mit Störungen der Regulation des intrakraniellen Blutflusses im Sinne einer intrakraniellen Hypotension und einer Störung des Energiestoffwechsels [20, 97]. Die Symptome reichen von meist lageabhängigen Kopfschmerzen, Schwindel, Übelkeit, Erbrechen, visuellen und auditiven Störungen bis hin zur Epilepsie, sowie zu einer generellen Reduzierung der Hirnleistungsfähigkeit.

In den meisten Fällen mit großen Kraniotomiedefekten kam es nach der Implantation einer Kranioplastik zu einer Verbesserung der neurologischen Symptomatik und der allgemeinen Hirnleistungsfähigkeit [1, 18, 24, 40, 75, 84, 93].

1.4 Aktuelle Methoden der Kranioplastie

Aktuelle Methoden bestehen darin, den Schädelknochendefekt, nach Maßgabe einer CT-Dünnschichtuntersuchung in DICOM-Bildstandard für anschließende computerunterstützte 3-D-Bearbeitung mit Schnittstellenbereitstellung zu CNC-Fräsen, unter Rekonstruktion sowohl der Innen- als auch der Außenstruktur, zu decken. Dies kann in unmittelbarer CNC-Frästechnik aus einem Titanblock [22, 23, 77] oder in Titanguss- und Schmelztechnik nach CNC-Anfertigung einer Gusskokille durchgeführt werden.

Mit beiden Methoden soll eine komplette Rekonstruktion des Knochendeckels erreicht werden, mit dem Nachteil eines hohen präparativen Aufwands für die eigentliche Implantation. Da diese Implantate in den Schädelknochendefekt eingebracht werden, müssen die Knochenränder und der gesamte Defekt scharf an der eventuell verletzte Dura, Duraplastik, oder entlang des Cortex frei präpariert werden, wodurch eine Dura- und / oder Cortex-Verletzung mit daraus eventuell entstehenden Komplikationen nicht auszuschließen ist.

Trotz der sekundären Fixierungstechnik, zum Beispiel mit Titanminiplatten- und Schraubensystemen, kann bei den von außen postoperativ einwirkenden Kräften eine

Dislokation bzw. ein Einsinken der Plastik mit entsprechenden Folgeschäden nicht vollständig verhindert werden.

1.5 Eigene Fragestellung

Die vorliegende Untersuchung beschäftigt sich mit einer neuartigen, sehr dünnen Cranio Top®-Plastik, die auf den Schädelknochendefekt aufgelegt und verschraubt wird. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die Vor- und Nachteile dieser neuartigen Methode zu evaluieren. Untersucht wurden die intraoperative Handhabung, die Passgenauigkeit, der Heilungsverlauf, das kosmetische Ergebnis und das körperliche Befinden der Patienten. Ein weiteres wichtiges Kriterium zur Beurteilung der Güte dieser Cranio Top®-Plastik ist die Überprüfung der radiologischen Befunde hinsichtlich Metall- oder Suszeptibilitätsartefakten in der postoperativen CCT- und MRT-Untersuchung.

2. Material und Methodik

2.1 Material

2.1.1 Allgemeine Eigenschaften von Titan

Titan steht in der 4. Nebengruppe des Periodensystems, besitzt die Ordnungszahl 22 und ist ein amphoterer Element. Es gehört zu den Nichteisen- und Leichtmetallen und weist eine hohe Korrosionsbeständigkeit sowie eine gute Biokompatibilität auf [30]. Durch sein niedriges spezifisches Gewicht besteht eine relativ hohe Strahlentransparenz, welche eine gute bildgebende Diagnostik mittels Röntgenstrahlen ermöglicht. Titan ist nicht ferromagnetisch und nur im geringen Maße paramagnetisch, so dass es kaum zur Ausbildung von Suszeptibilitätsartefakten kommt und eine bildgebende Diagnostik mit dem Kernspintomographen möglich ist [9, 80].

2.1.2 Korrosionsbeständigkeit von Titan

Korrosion entsteht durch die elektrochemische Reaktion von reinem Metall in wässrigem Milieu, wobei Korrosionsprodukte entstehen. Die Korrosionsbeständigkeit von Titan in Körperflüssigkeiten, die hauptsächlich aus 0,9 %-iger NaCl-Lösung mit einem pH-Wert von 7,4 bestehen, erklärt sich durch eine ca. 10 µm dicke, die Oberfläche umgebende, nicht leitende und chemisch stabile Oxid-Passivschicht und deren Regenerationsfähigkeit in wässrigem Milieu nach chemischer oder mechanischer Zerstörung [83]. Eine durchbrochene Passivschicht, zum Beispiel durch Reibung von Metall auf Metall, kann sich im wässrigen Milieu auch unter Abwesenheit von Sauerstoff innerhalb von einigen Millisekunden [83] regenerieren, da Titan nicht mit Sauerstoff, sondern primär mit Wassermolekülen oder Hydroxylradikalen reagiert [34].

Die amorphe Oxidschicht des Titans weist jedoch nach einer durch Beschädigung spontan erfolgten Regeneration in Abhängigkeit des umgebenden Mediums nichtstöchiometrische Titanoxide (TiO_{2-x}) auf, die zu einer verminderten Korrosionsbeständigkeit führen [34]. Eine grobe Maßeinheit für die Korrosionsbeständigkeit in einem bestimmten Milieu ist der Gewichtsverlust einer

definierten Masse pro Flächen- und Zeiteinheit, so dass unterhalb von $0,1 \text{ g} \times \text{m}^2 \times \text{h}^{-1}$ ein metallischer Werkstoff als korrosionsbeständig oder passiv gilt.

Eine weitere Klassifizierung ist durch die Messung der elektrischen Potentiale bei definierten Oberflächen und Kontaktmedien möglich. Tendiert ein Werkstoff in Richtung der positiven Potentiale, das heißt Kathode, so gilt er als passiv, tendiert er in Richtung der negativen Potentiale, das heißt Anode, gilt er als aktiv.

Das nachfolgende Diagramm (Abb. 2-1) zeigt die Spannungsreihe verschiedener Metalle und Metalllegierungen durch Bestimmung der charakteristischen elektrischen Potentiale in Relation zu einer Referenzelektrode aus Quecksilber(I)-Chlorid in Pferdeserum und der Messung des Gewichtsverlustes nach 30-tägiger Serumeinwirkung [10].

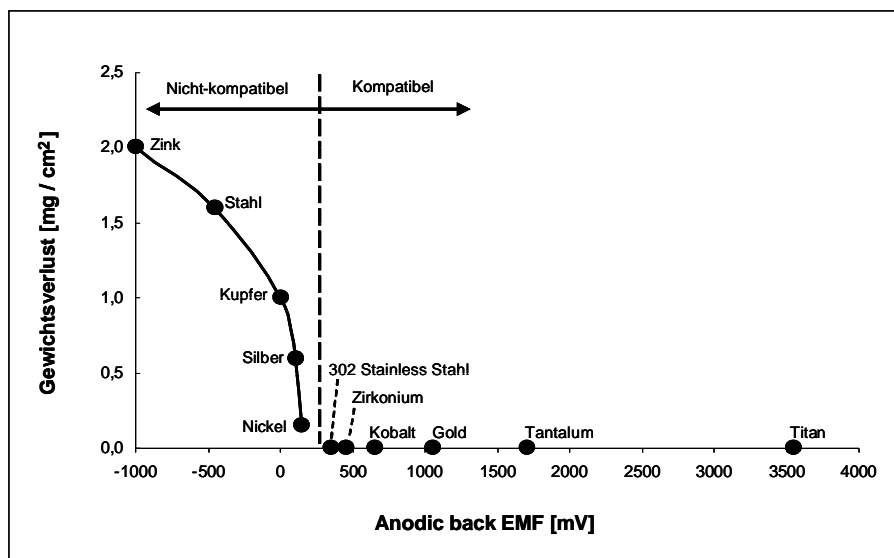


Abb. 2-1: Clarke und Hickman-Diagramm in der ergänzten Modifizierung nach Hille [36]

Titan zeigt sich hierbei als absolut überlegenes, äußerst korrosionsbeständiges Material, da der Gewichtsverlust 0 mg/cm^2 beträgt und die anodische Rückwärtspolarisation („Anodic Back EMF“) bei 3500 Millivolt liegt [92].

2.1.3 Bioverträglichkeit und Toxizität von Titan

Die während der Korrosion entstehenden und an den Organismus abgegebenen Oxidationsprodukte sind entscheidend für die Bioverträglichkeit. Titan ist sehr korrosionsbeständig, da die schützende, spontan gebildete Passivschicht des Titans, die aus nicht leitendem und unlöslichem Titanoxid (TiO_2) besteht, einen Ionenfluss durch das Gewebe verhindert. Da keine Metallionen in die Organe transportiert werden, kommt es auch nicht zur Ausbildung einer toxischen Reaktion [82, 87].

Eine Kanzerogenität wurde bis jetzt noch nicht beschrieben und konnte auch noch nicht experimentell induziert nachgewiesen werden [33]. Eine Wechselwirkung von Metallionen mit Proteinen findet ebenfalls nicht statt, so dass entzündliche oder allergische Reaktionen nicht auftreten und somit die gute Biokompatibilität von Titan erklärt werden kann [67, 72].

Trotz der chemisch nahezu inerten Eigenschaft des Titans können erhöhte Titanspiegel in Makrophagen und Fibrozyten des dem Implantat benachbarten Gewebes auftreten, die zu einer durch Schwarzfärbung des betroffenen Gewebes sichtbaren Metallose führen [54, 61, 91].

Verschiedene in vivo und in vitro Untersuchungen bestätigen die Biokompatibilität von Titan. So zeigte sich, bei in vitro Tests mit humanen Osteoblasten, eine recht gute Proliferation [85] und bei in vivo Tests, ein uneingeschränktes normales Zellwachstum mit Fibroblastenneubildung bis an die Titanimplantatränder [48], sowie ein direkter Kontakt zum Knochen [57]. Mikroskopische Untersuchungen des Hirngewebes von Kaninchen nach Titanimplantationen zeigten keine degenerativen Veränderungen [2, 37, 38, 57, 62].

Die folgende Abbildung (Abb. 2-2) gibt einen Überblick über den Zusammenhang der Korrosionsbeständigkeit und der Biokompatibilität von Metallen und Metallegierungen, gemessen anhand des Polarisationswiderstandes [83].

Die Polarisationsbeständigkeit ist definiert als $\Delta E / \Delta I$, wobei ΔE eine äußerlich angelegte Spannungsänderung ist, und ΔI der dadurch hervorgerufene Stromfluss in der korrodierenden Elektrode. Für kleine Werte von ΔE ist ΔI direkt proportional zum Korrosionsstrom und damit zur Korrosionsrate. Steinemann nimmt den Polarisations-

widerstand von Metallen oder Legierungen als entscheidenden Maßstab für die Biokompatibilität und ordnet die Metalle nach entsprechenden begleitenden Gewebsuntersuchungen drei Gewebsreaktionstypen zu [82, 83]. Nach der Reaktion die das Metall im Organismus hervorruft, wird unterschieden in toxische Metalle, die zu starken Reaktionen mit einhergehendem Zelltod führen, Metalle die durch eine Weichteilschicht abgekapselt werden und inerte Metalle die zu keinerlei Reaktion führen.

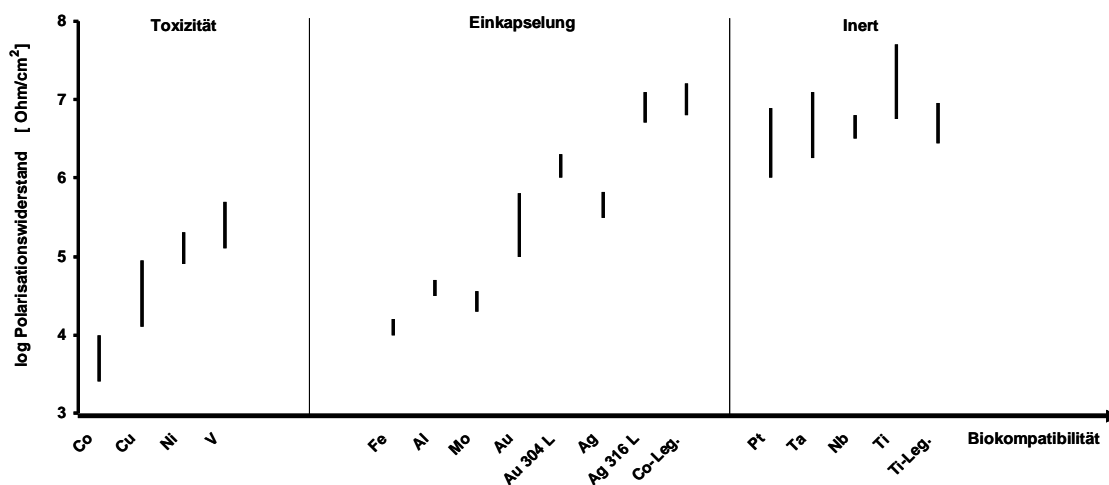


Abb. 2-2: Korrosionsbeständigkeit und Gewebereaktion verschiedener Metalle und Legierungen. Veränderte Abbildung nach Steinemann [82, 83]

2.1.4 Mechanische Eigenschaften von Titan

Neben dem Elastizitätsmodul, dem Maß für die Steifigkeit eines Werkstoffes, der ähnlich dem des Knochens ist, weist Titan im Vergleich zu anderen metallischen Implantatmaterialien ein sehr gutes Elastizitätsmodul sowie eine ausreichende Dauerfestigkeit und Bruchdehnung auf [67]. Die mechanischen Eigenschaften von Titan sind jedoch stark von der Reinheit des Metalls, das heißt von der Menge der Spurenelemente und von der Herstellungsart abhängig. Man unterscheidet hochreines „commercially pure Titanium“ (cp-Ti) in vier Reinheitsgraden (Grad 1 bis 4), die in der Tabelle 2-1 aufgeführt sind.

Tab. 2-1: Mechanische Eigenschaften von Titanwerkstoffen

Werkstoff	Zustand	Zugfestigkeit Rm (MPa)	Dehngrenze Rp 0,2% (MPa)	Bruch- dehnung (%)	Elastizitäts- modul E (GPa)
Titan Grad 1	geglüht	240	170	24	103
Titan Grad 2	geglüht	345	230	20	103
Titan Grad 3	geglüht	450	300	18	103
Titan Grad 4A	geglüht	550	440	15	103
Titan Grad 4B	kaltverformt	680	520	10	103
Knochen					10-20

Die in dieser Untersuchung beschriebenen Titankranioplastiken (Cranio Top®) bestehen aus Reintitan Grad 1, das sich zusammensetzt aus 99,2 % Titan, geringen Mengen an Sauerstoff, Kohlenstoff und Eisen. Diese Zusammensetzung gewährleistet eine hohe Festigkeit bei niedriger Dichte.

2.1.5 Computertomographie- und Kernspintomographie-Kompatibilität von Titan

2.1.5.1 Metallstörartefakte in der Computertomographie

Verantwortlich für den Grad der Röntgenstrahlenabsorption in den Implantatmaterialien ist das spezifische Gewicht, die Ordnungszahl, das Atomgewicht und die Elektronendichte. Titan besitzt für alle diese Parameter niedrige Werte, so dass es eine relativ hohe Strahlentransparenz aufweist, welche eine gute bildgebende Diagnostik mittels Röntgenstrahlen ermöglicht [55]. Je nach den chemischen Eigenschaften und dem Volumen des metallischen Implantatmaterials kann es zu einer hohen Absorptionsrate der Röntgenstrahlen mit Ausbildung von Metallartefakten kommen, hervorgerufen dadurch, dass nicht genug Photonen die Messdetektoren erreichen und diese falsche Daten für den Bildaufbau liefern. Die resultierenden Störungen können von streifenartigen, sternförmig-radiären Artefakten (Streaking), ausgehend vom Implantat bis hin zu völligem Bildzerfall führen [7, 39].

2.1.5.2 Suszeptibilitätsartefakte in der Kernspintomographie

Der Begriff der Suszeptibilität beschreibt die Magnetisierbarkeit von Materialien. Titan ist nicht ferromagnetisch und nur in geringem Maße paramagnetisch, so dass nur eine geringe Restmagnetisierbarkeit besteht und es somit kaum zu Suszeptibilitätsartefakten kommt [9, 80].

Suszeptibilitätsartefakte entstehen dadurch, dass ein zu untersuchender diamagnetischer Körper in einem ursprünglich homogenen Magnetfeld ein eigenes magnetisches Feld erzeugt, das dem entgegenwirkt und so zu einer Ablenkung der Feldlinien führt [71].

Ein Metallartefakt stellt sich als ein rundlich bis ovales signalleeres Areal dar, das von einem hyperintensiven Saum umgeben wird. Die Größe des Artefaktes ist dabei abhängig von der Größe und dem Volumen des Objektes und dem Ausmaß seines Ferromagnetismus bzw. bei nicht ferromagnetischen Metallen, wie Titan, vom Grad seiner Magnetisierbarkeit [67].

2.2 Konstruktionsprinzip

Die Zielvorgaben bei der Entwicklung dieser hier eingesetzten neuen Technik der Kranioplastie waren:

1. Die Verringerung des Verletzungsrisikos von Dura und Hirnparenchym durch Reduzierung des operativ-präparativen Aufwandes und dadurch bedingt auch eine Verkürzung der Operationszeit.
2. Zusätzlich sollte eine hohe Belastungsfähigkeit bei Druck von außen erreicht werden und folglich die Möglichkeit des Einsinkens (sinking flap) verhindert werden.
3. Die maximal mögliche Verringerung des Implantatvolumens, um die postoperative Beurteilbarkeit von Computertomographie- und Kernspintomographieaufnahmen zu verbessern, beziehungsweise das Auftreten von Bildartefakten zu reduzieren.
4. Durch Verzicht auf die Rekonstruktion der Kalotteninnenfläche soll möglichst dünnes Titanblech (geringes Implantatvolumen) für die Kranioplastik verwendet werden können.

Um diese Bedingungen zu erfüllen, wurde folglich 0,5-0,8 mm dickes Titanblech Grad 1 als Halbzeug verwendet, das entsprechend individuell ausgeformt nicht in, sondern auf den Defekt gelegt wird. Die Fixierung erfolgt mit kleinen Titanschrauben, die durch vorhandene Senkbohrlöcher in der Plastik, nach Vorbohrung in die Knochenränder geschraubt werden.

Zur Herstellung dieser Cranio Top[®]-Plastik wird eine Dünnschicht-Computertomographie des Schädels mit Ablage der Bilddaten im DICOM-Standard angefertigt. Danach werden die Bilddaten mit Hilfe einer 3-D-Software inklusive Spline-Funktion zur virtuellen Defektdeckung aufgearbeitet. Nach Übertragung dieser Daten wird mit einem CNC-Schneid-Laser ein Schädelmodell im Maßstab 1:1 angefertigt, und mit Hilfe dieses Modells eine Formmulde aus Faserverbundstoff (GFK) im Abdruckverfahren erstellt.

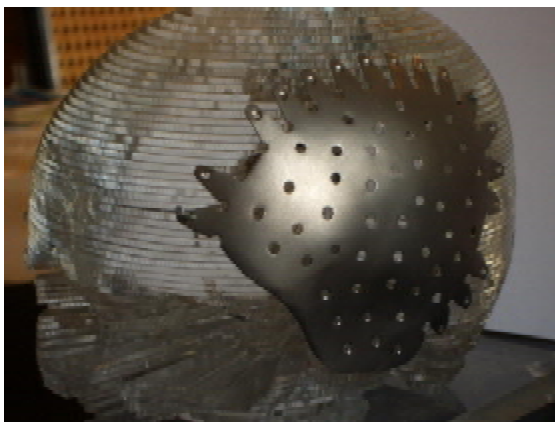


Abb.: 2-3: Schädelmodell mit angefertigter Cranio Top[®]-Plastik

Die schrittweise Ausformung der Titanblechplastik erfolgt dann durch Streckziehen in der Formmulde. Zum Abschluss wird die Cranio Top[®]-Plastik mit über die gesamte Fläche verteilten Bohrungen versehen. Die Bohrlöcher dienen zur Herstellung eines Gewebekontaktes zwischen Dura und Galea, und entlang der Ränder zur Fixierung an dem Schädelknochen mit Schrauben.

2.3 Klinische Bewertung

2.3.1 Retrospektive Datenerhebung

Die für diese Untersuchung ausgewerteten Daten beruhen auf 21 Patienten, die im Zeitraum von 2003 bis 2006 in der Neurochirurgischen Klinik des Klinikum Dortmund gGmbH behandelt wurden. Insgesamt wurden bei 21 Patienten 23 Cranio Top®-Plastiken, bei zwei Patienten beidseits, implantiert. Einige der unten genannten Krankheitsverläufe wurden aus Entlassungsbriefen und Befunden auswärtiger Kliniken entnommen, da nicht alle Patienten initial in der Neurochirurgischen Klinik des Klinikum Dortmund gGmbH behandelt wurden.

Neben den persönlichen Patientendaten wurden alle zur Beurteilung des Operationsergebnisses wichtigen prä-, intra- und postoperativen Daten erhoben (siehe Tabelle 2-2).

Tab. 2-2: Auflistung der erhobenen Daten

Persönliche Patientendaten	Präoperativ erhobene Defektdaten	Intraoperativ erhobene Daten	Postoperativ erhobene Daten
Alter	Ätiologie des Defektes	Datum der Implantation	Verlauf der Wundheilung
Geschlecht	Lokalisation des Defektes	Intraoperative Probleme	Komplikationen
	Größe des Defektes	Passgenauigkeit des Implantates	Sensibilität, Haut- und Narbenverhältnisse
	Voroperationen	Fixierung des Implantates	Beurteilung durch digitales Röntgen
	Nebendiagnosen mit möglicher Wundheilungsrelevanz	Dauer der OP	Beurteilung mit CT
			Beurteilung mit MR
			Kosmetisches Ergebnis
			Akzeptanz- und Zufriedenheit der Patienten

2.3.2 Ein- und Ausschlusskriterien

Einbezogen wurden Patienten, bei denen es zu einer Infektion des Knochendeckels nach Kraniotomie oder zu einer Infektion des reimplantierten, kryokonservierten Knochendeckels kam, so dass dieser dann sekundär entfernt werden musste. Im Weiteren wurden die Daten von Patienten mit Knochendeckeldefekten nach operativer Versorgung einer Schädeltrümmerfraktur und Patienten, bei denen im Rahmen eines schweren Schädel-Hirn-Traumas eine Entlastungskraniektomie durchgeführt werden musste, und es dann im Verlauf zu einer Resorption des wieder eingesetzten Knochendeckels kam, ausgewertet. Ebenso wurden Patienten, die in der Vorgeschichte eine Refobacin®-Palacos Kranioplastik erhielten, die sich infizierte, lockerte oder gebrochen war, und eine Patientin, bei der es zu einer Wundheilungstörung über einer Keramikkranioplastik kam, mit in die Studie einbezogen.

2.3.3 Patientenkollektiv

Im Folgenden sind die erhobenen medizinischen Daten und Krankheitsverläufe der in dieser Arbeit untersuchten Patienten, dessen Durchschnittsalter 35 Jahre betrug (6 - 62 Jahre) aufgeführt. Zwischen dem Krankheitsbeginn, der eine operative Entfernung unterschiedlicher Schädelknochenareale erforderte und der Defektversorgung mittels Cranio Top®-Plastik lagen sehr unterschiedliche Zeiträume, die von einem Monat bis hin zu zwanzig Jahren reichen. Zwölf Patienten waren männlichen und neun weiblichen Geschlechts. Der Nachuntersuchungszeitraum lag zwischen 0,25 und 2 Jahren. Aufgrund der jeweiligen, nachfolgend aufgeführten Krankheitsverläufe ergab sich die Indikation zur Anfertigung und Implantation einer individuell angefertigten Cranio Top®-Plastik.

Zur besseren Übersicht zeigt die Tabelle 2-3 (Seite 26ff.) eine Zusammenfassung der wichtigsten klinischen Daten, sowie zusätzlich die Abmessungen und Lokalisationen der mit Cranio Top®-Plastiken versorgten Defekte.

1. Der männliche, 19 Jahre alte Patient erlitt im September 2002 eine fronto-temporo-basale multifragmentäre Impressionsfraktur rechts mit Kontusionsblutungen und Subduralhämatom. Initial erfolgte aufgrund eines generalisierten Hirnödems eine beidseitige Entlastungskraniektomie. Einen Monat später wurden der linksseitige Knochendeckel und die miteinander durch CranioFix® fixierten Knochenfragmente rechtsseitig reimplantiert und mit CranioFix® befestigt. Wegen einer Rhinoliqorrhoe wurde gleichzeitig die Deckung eines rechtsseitigen fronto-basalen Defektes mit einer Galea-Periost-Plastik durchgeführt. Zwei Wochen später erfolgte die Entfernung des zuvor rechtsseitig implantierten Knochendeckels aufgrund eines subgalealen Empyems. In der im Oktober 2003 zur Datenakquisition angefertigten Computertomographie des Schädels zeigte sich ein fronto-temporo-parietaler Defekt rechts mit Einziehung und teilweiser Verknöcherung der Dura mater und der Galea. Die Hirnfurchen waren dadurch abgeflacht, und der Interhemisphärenspalt um ca. 3 mm von rechts nach links verlagert. Rechts frontal waren Defektbildungen zu erkennen. Der mit CranioFix® fixierte linke Knochendeckel erschien bis auf eine schmale Spaltbildung im dorsalen Anteil gut adaptiert und eingeeilt.
2. Der männliche, 6 Jahre alte Patient erlitt im Mai 2001 ein offenes Schädel-Hirn-Trauma mit multiplen Kalottenfrakturen und einer links parietalen intrazerebralen Blutung. Initial erfolgte aufgrund eines generalisierten Hirnödems eine Entlastungskraniektomie beidseits. Im Verlauf kam es zur Verknöcherung des rechtsseitigen Kalottendefektes bei weiterhin bestehendem linksseitigem Defekt. In der im April 2004 zur Datenakquisition angefertigten Computertomographie des Schädels zeigte sich ein links parietaler Kalottendefekt mit kleinen verknöcherten Arealen im Bereich der Dura mater. Durch einen temporo-parietalen Hirnparenchymdefekt mit Ausbildung einer Arachnoidalzyste kam es zu einer Vorwölbung um ca. 10 mm aus dem Kalottendefekt und zu einer leichten Verplumpung und Ausziehung des Hinterhorns des linken Seitenventrikels. Rechtsseitig zeigte sich, bis auf einen kleinen frontal lokalisierten Bereich, eine komplette Verknöcherung des Kalottendefektes.

3. Die weibliche, 44 Jahre alte Patientin erlitt im Dezember 2003 eine Subarachnoidalblutung Grad V nach Hunt und Hess bei rupturiertem Aneurysma der Arteria cerebri media links und ein Epiduralhämatom links fronto-temporo-parietal. Initial erfolgte die Entlastung des Epiduralhämatoms und die Klippung des Aneurysma der Arteria cerebri media links. Aufgrund eines durch Vasospasmen entstandenen Infarktes im Versorgungsgebiet der Arteria cerebri media links mit massivem Hirnödem, wurde eine Entlastungskraniektomie links fronto-temporo-parietal durchgeführt und eine Duraerweiterungsplastik angelegt. Im Verlauf entwickelte sich ein Hydrocephalus malresorptivus, woraufhin die Anlage eines ventrikulo-peritonealen Shunts rechtsseitig und gleichzeitig die Reimplantation des Knochendeckels erfolgte. Im September 2004 erfolgte eine Explantation des in Resorption befindlichen, infizierten Knochendeckels links sowie die Explantation des infizierten ventrikulo-peritonealen Shunts rechts und im August 2004 die erneute Anlage eines ventrikulo-peritonealen Shunts rechts. In der im Oktober 2004 zur Datenakquisition angefertigten Computertomographie des Schädels zeigte sich ein links fronto-temporo-parietaler Kalottendefekt. Die Dura mater und Galea erschienen im Bereich des Kalottendefektes um bis zu 20 mm eingesunken. In der Dura mater zeigten sich vereinzelte Verknöcherungsareale. Das Ventrikelsystem erschien leicht verplumpt bei von rechts frontal implantierten, im Vorderhorn des Seitenventrikel liegendem Katheter. Das Hinterhorn des linken Seitenventrikels war im Rahmen der Defektbildung als Folge des Infarktes der Arteria cerebri media links vergrößert und ausgezogen.
4. Der männliche, 24 Jahre alte Patient erlitt im März 2004 eine intracerebrale Blutung links parieto-occipital aufgrund eines High-flow-Angioms. Initial erfolgte die Entlastung der intracerebralen Blutung und die Ausschaltung des High-flow-Angioms. Im Verlauf kam es zur Resorption des Knochendeckels, woraufhin im September 2004 eine Explantation des Knochendeckels erfolgte. In der im März 2005 zur Datenakquisition angefertigten Computertomographie des Schädels zeigte sich ein links parieto-occipitaler Kalottendefekt und ein Hirnparenchymsubstanzdefekt links parietal parasaggital.

5. Bei der weiblichen, 56 Jahre alten Patientin erfolgte im Juni 2004 die Extirpation eines großen präzentralen Meningeoms WHO Grad II. Im Rahmen einer venösen Stauung mit blutiger Imbibition links frontal entwickelte sich ein Hirnödem, woraufhin eine Entlastungskraniektomie links fronto-temporo-parietal erfolgte. In der im Februar 2005 zur Datenakquisition angefertigten Computertomographie des Schädels zeigte sich ein linksseitiger fronto-temporo-parietaler Kalottendefekt. Im Bereich des ehemaligen Tumorbettes links frontal zeigte sich ein Parenchymsubstanzdefekt mit Ausbildung einer Arachnoidalzyste und eine Ausziehung des Vorderhorns des linken Seitenventrikels. Das Ventrikelsystem erschien leicht verplumpt. Im Bereich des Kalottendefektes zeigte sich die Ausbildung eines ca. 10-15 mm großen Hirnprolaps. Im dorsalen Anteil der Dura mater stellten sich vereinzelt Verknöcherungsareale dar. Im Bereich der Tumorresektionsränder hochfrontal-paramedian und fronto-lateral bestand der Verdacht auf ein Tumorrezidiv.
6. Die weibliche, 62 Jahre alte Patientin erlitt 1986 ein offenes Schädel-Hirn-Trauma mit beidseitigem fronto-temporo-parietalem Kalottendefekt, der mit einer Refobacin®-Palacos-Kranioplastik gedeckt wurde. Im Januar 2003 kam es zu einer Wunddehiszens und einer Infektion, woraufhin die Extirpation der Refobacin®-Palacos-Kranioplastik erfolgte. Im August 2003 wurde erneut eine Refobacin®-Palacos-Kranioplastik implantiert. Aufgrund einer Wundheilungsstörung rechts fronto-lateral erfolgte im September 2003 eine Narbenexzision und Mobilisation der Galea zur Defektdeckung. Im weiteren Verlauf kam es erneut zur Ausbildung eines epiduralen Empyems unter der Refobacin®-Palacos-Kranioplastik, woraufhin im Januar 2004 eine Extirpation der Refobacin®-Palacos-Kranioplastik erfolgte. In der im Dezember 2004 zur Datenakquisition angefertigten Computertomographie des Schädels zeigte sich ein beidseitiger fronto-temporo-parietaler Kalottendefekt. Die Dura mater wies im hochfrontalen Bereich beidseits Verknöcherungsareale auf. Es zeigten sich rechts betonte, bifrontale Hirnparenchymsubstanzdefekte. Im Bereich des Kalottendefektes erschienen Galea und Dura mater stark eingesunken.

7. Bei der weiblichen, 39 Jahre alten Patientin wurden im Juni 2004 jeweils ein Aneurysma der Arteria cerebri media rechts und ein Aneurysma der Arteria cerebri media links über eine pterionale Kraniotomie geklippt. Wegen einer Infektion erfolgte im Juli 2004 die Explantation des rechtsseitigen Knochendeckels. Eine im Verlauf implantierte Refobacin®-Palacos-Kranioplastik musste ebenfalls aufgrund einer Infektion im Januar 2005 explantiert werden. In der im Mai 2005 zur Datenakquisition angefertigten Computer-tomographie des Schädels zeigte sich ein rechts fronto-temporaler Kalottendefekt. Der Knochendeckel links fronto-temporal erschien nach der Fixierung mit CranioFix® gut adaptiert und teilweise eingewachsen.
8. Die weibliche, 50 Jahre alte Patientin erlitt im Februar 2005 eine Subarachnoidalblutung aufgrund eines Aneurysmas der Arteria cerebri posterior rechts. Initial erfolgte die explorative Freilegung des Arteria cerebri posterior Aneurysmas und im Verlauf die endovaskuläre Okklusion mit Coils. Wegen einer Wundinfektion wurde im März 2005 der Knochendeckel explantiert. Im April 2005 erfolgte die Anlage eines Ventrikulo-peritonealen Shunts linksseitig bei Hydrocephalus malresorptivus. In der im Juni 2005 zur Datenakquisition angefertigten Computertomographie des Schädels zeigte sich ein rechtsseitiger fronto-temporaler Kalottendefekt, die Galea und Dura mater in diesem Bereich waren um ca. 10 mm eingesunken. Im linken Vorderhorn des Seitenventrikels lag der Ventrikelkatheter. Darstellung von Coils in Projektion auf die Arteria cerebri posterior.
9. Der männliche, 39 Jahre alte Patient erlitt im März 2005 ein offenes Schädel-Hirn-Trauma mit einer rechts temporalen Mehrfragmentfraktur und einem Epiduralhämatom. Initial wurde das Epiduralhämatom rechts temporal entlastet und der rekonstruierte Knochendeckel wieder eingesetzt. Im Verlauf entwickelte sich ein generalisiertes Hirnödem, woraufhin eine Entlastungskraniektomie beidseits erfolgte. In der im April 2005 zur Datenakquisition angefertigten Computertomographie des Schädels zeigte sich ein beidseitiger fronto-temporo-parietaler Kalottendefekt. Die Galea erschien beidseits verdickt. Beidseits frontal zeigten sich kleine Hirnparenchymsubstanzdefekte.

10. Die weibliche, 31 Jahre alte Patientin klagte seit einer Dekompressionsoperation der hinteren Schädelgrube, bei Arnold-Chiari Malformation Typ I, im März 2005 über ein persistierendes Liquorkissen und über eine weiterhin bestehende Kopfschmerz- und Schwindelsymptomatik. In der Kernspintomographie des Schädels zeigte sich ein Liquorkissen im Bereich des Trepanationsdefektes. In der im Juli 2005 zur Datenakquisition angefertigten Computertomographie des Schädels zeigte sich eine knöcherne Erweiterung des Foramen magnums nach dorsal und ein Liquorkissen in diesem Bereich.
11. Der männliche, 13 Jahre alte Patient erlitt 1994 eine Subarachnoidalblutung aufgrund eines Aneurysmas der Arteria carotis rechts. Initial erfolgte die Klippung des Aneurysmas rechts über eine pterionale Kraniotomie, und einige Tage später eine Entlastungskraniektomie wegen eines raumfordernden Infarktes im Versorgungsgebiet der Arteria cerebri media rechts. Im Verlauf erfolgte die Anlage eines ventrikulo-peritonealen Shunts linksseitig bei Hydrocephalus malresorptivus. Später wurde eine Refobacin®-Palacos-Kranioplastik implantiert. Im weiteren Verlauf kam es zu einer Fraktur der Refobacin®-Palacos-Kranioplastik und einer teilweisen Verknöcherung unterhalb der Refobacin®-Palacos-Kranioplastik im Bereich des dorsalen Knochenrandes. In der im Juli 2005 zur Datenakquisition angefertigten Computertomographie des Schädels zeigte sich eine in mehrere Fragmente zerbrochene Refobacin®-Palacos-Kranioplastik, die im dorsalen Anteil disloziert und abgehoben erschien. Intrakraniell fanden sich rechts fronto-lateral kleine Anteile von der Refobacin®-Palacos-Kranioplastik und Verknöcherungsareale. Frontal, temporal und parietal zeigten sich Hirnparenchymsubstanzdefekte.
12. Bei der weiblichen, 53 Jahre alten Patientin erfolgte im Juni 2002 und Februar 2004 die Resektion eines intraossär wachsenden Keilbeinflügelmeningeoms links. Im Verlauf kam es zur Resorption des wieder eingesetzten Knochendeckels. In der im September 2005 zur Datenakquisition angefertigten Computertomographie des Schädels zeigte sich ein Substanzdefekt links temporo-basal und eine über dem Kalottendefekt eingesunkene Galea.

13. Der männliche, 17 Jahre alte Patient erlitt im Juli 2004 eine Subarachnoidalblutung Grad III nach Hunt und Hess bei rupturiertem Aneurysma der Arteria cerebri media rechts und eine ausgedehnte intracerebrale Blutung rechts fronto-temporal. Initial erfolgte die Entlastung der intracerebralen Blutung, die Klippung des Aneurysma und bei rechtsseitigem Hirnödem eine Entlastungskraniektomie rechts. Im September 2004 wurde der Knochendeckel reimplantiert. Im Verlauf kam es zu einer Osteolyse des reimplantierten Knochendeckels. In der im Februar 2006 zur Datenakquisition angefertigten Computertomographie des Schädels zeigten sich Parenchymsubstanzdefekte im Bereich des sich auf die Bifurkation der Arteria cerebri media rechts projizierenden Klipps und noch teilweise vorhandene Knocheninseln bei Resorption des reimplantierten Knochendeckels.
14. Der männliche, 46 Jahre alte Patient erlitt im Dezember 2004 ein Schädel-Hirn-Trauma Grad III mit frontobasal bis occipital reichender Kalottenfraktur links, traumatischer Subarachnoidalblutung beidseits, Subduralhämatom links frontal, intracerebraler Blutung links frontal, Kontusionsblutungen beidseits frontal und einem generalisiertem Hirnödem. Initial erfolgte die Anlage einer externen Ventrikeldrainage von rechts. Im Verlauf entwickelte sich ein zunehmendes Hirnödem mit therapieresistenten, ansteigenden Hirndruckwerten, woraufhin eine beidseitige Entlastungskraniektomie erfolgte. Im Februar 2005 wurden die Knochendeckel reimplantiert. Im Verlauf kam es zu einer teilweisen Resorption der reimplantierten Knochendeckel. In der im Februar 2006 zur Datenakquisition angefertigten Computertomographie des Schädels zeigten sich bifrontale Substanzdefekte und Narben mit Ausziehung der Vorderhörner der Seitenventrikel in Richtung der Defekte und eine Osteolyse der reimplantierten Knochendeckel beidseits.
15. Die weibliche, 35 Jahre alte Patientin erlitt im Februar 2006 eine intracerebrale Blutung rechts temporal und intrasyllvisch bei rupturiertem Aneurysma der Arteria cerebri media rechts. Initial erfolgte bei klinischen Zeichen der Einklemmung eine sofortige Entlastung der intracerebralen Blutung, die Klippung des Aneurysmas und die Entlastungskraniektomie rechts fronto-temporo-parietal.

Im Verlauf kam es zu einer Abszessbildung im Bereich der Blutungshöhle, die ebenfalls entlastet werden musste. In der im April 2006 zur Datenakquisition angefertigten Computertomographie des Schädels zeigten sich rechts fronto-temporale Hirnparenchymsubstanzdefekte nach Blutungsresorption und Infarktareale im Mediastromgebiet rechts. Darstellung des Klipps in Projektion auf die Bifurkation der rechten Arteria cerebri media. Bei liegender externer Ventrikeldrainage erschien das Ventrikelsystem erweitert, und dadurch bedingt ein leichter Hirnprolaps im Bereich des Schädelknochendefektes.

16. Der männliche, 25 Jahre alte Patient erlitt im August 2004 eine rechts fronto-temporale intracerebrale Blutung, verursacht durch eine arterio-venöse Malformation. Initial erfolgt die Entlastung der intracerebralen Blutung und die Versorgung der arterio-venösen Malformation. Im Verlauf kam es zur Ausbildung eines Mediainfarktes rechts mit malignem Hirnödem, worauf im September 2004 die fronto-temporo-parietale Entlastungskraniektomie durchgeführt wurde. Im Dezember 2004 wurde eine Refobacin®-Palacos-Kranioplastik implantiert. Im weiteren Verlauf kam es zur Lockerung und Dislokation der Refobacin®-Palacos-Kranioplastik. In der im Mai 2006 zur Datenakquisition angefertigten Computertomographie des Schädels zeigten sich ausgedehnte Hirnparenchymsubstanzdefekte rechts fronto-temporo-parietal sowie Narben im Bereich der Stammganglien rechts, bis in den Thalamus reichend. Weiterhin stellte sich eine Ausziehung des rechten Seitenventrikels bis zu den Defektarealen dar. Das Ventrikelsystem erschien bei korrekt liegendem Ventrikelskatheter im Vorderhorn des linken Seitenventrikels verplumpt. Des Weiteren zeigte sich eine Dislokation und Anhebung der Refobacin®-Palacos-Kranioplastik.
17. Der männliche, 23 Jahre alte Patient erlitt im September 2004 ein Schädel-Hirn-Trauma mit einem akuten Subduralhämatom rechts fronto-temporo-parietal und Epiduralhämatom rechts frontal, multiplen Kontusionblutungen, einer traumatischen Subarachnoidalblutung, einer Felsenbeinfraktur links und einer Kalottenfraktur links temporal. Initial erfolgte die Entlastung des Epiduralhämatoms und des akuten Subduralhämatoms. Noch am selben Tag erfolgte eine erneute Entlastung einer subduralen Nachblutung und bei Entwicklung eines

malignen Hirnödems die fronto-temporo-parietale Entlastungskraniektomie. Im Dezember 2004 wurde der kyrokonservierte zweiteilige Knochendeckel reimplantiert. Im Verlauf kam es zu einer Osteolyse des Knochendeckels. In der im Juni 2006 zur Datenakquisition angefertigten Computertomographie des Schädels zeigten sich kleine corticale Hirnparenchymsubstanzdefekte rechts hochfrontal und beidseits temporal. Der mit sechs Craniofix® fixierte reimplantierte Knochendeckel erschien größtenteils osteolytisch.

18. Der männliche, 34 Jahre alte Patient erlitt im September 2003 eine intracerebrale Blutung rechts temporal und eine Subarachnoidalblutung bei rupturiertem Aneurysma der Arteria cerebri media rechts. Initial erfolgte die Entlastung der intracerebralen Blutung und die Klippung des Aneurysma der Arteria cerebri media rechts. Im Verlauf kam es zur Ausbildung eines Infarktes im Versorgungsgebiet der Arteria cerebri media rechts mit malignem Hirnödem, woraufhin eine fronto-temporo-parietale Entlastungskraniektomie rechts durchgeführt wurde. Im November 2003 erfolgte die Reimplantation des kyrokonservierten, zweiteiligen mit drei Miniplatten und sechs Schrauben verbundenen Knochendeckels, die Fixierung erfolgte mit vier Craniofix®. Zusätzlich erfolgte die Anlage eines ventrikulo-peritonealen Shunts linksseitig bei Hydrocephalus malresorptivus. In der im März 2006 zur Datenakquisition angefertigten Computertomographie des Schädels zeigten sich rechts fronto-temporale Hirnparenchymsubstanzdefekte und eine schmales Ventrikelsystem bei liegendem Ventrikelkatheter im linken Vorderhorn des Seitenventrikels. Der reimplantierte Knochendeckel erschien teils osteolytisch und teils auch knöchern eingewachsen.
19. Bei der weiblichen, 58 Jahre alten Patientin erfolgte im Juni 2005 die Resektion eines großen ossären spheno-orbitalen Meningeoms links und in gleicher Sitzung die Implantation einer individuell angefertigten Keramikkranioplastik. Im Verlauf kam es zu Wundheilungsstörungen mit Wundinfektion und einem ca. 1,5 cm Ø großen Hautdefekt über der Keramikkranioplastik. In Januar 2006 wurde die Keramikkranioplastik entfernt der Hautdefekt exzidiert und über eine temporale Verschiebeplastik gedeckt. In der in Juli 2006 zur Datenakquisition angefertigten

Computertomographie des Schädels zeigten sich reparative Veränderungen im Bereich der linken Orbita und kleine Hirnparenchymsubstanzdefekte links temporo-basal. Das Hirnparenchym erschien im Bereich des Kalottendefektes deutlich vorgewölbt.

20. Der männliche, 20 Jahre alte Patient erlitt im Dezember 2003 ein Schädel-Hirn-Trauma mit rechts occipitaler Kalottenfraktur, Felsenbeinfraktur rechts, einem Epiduralhämatom rechts occipital und multiplen bifrontalen Kontusionsblutungen. Initial erfolgte die Anlage einer externen Ventrikeldrainage rechts und zwei Tage später die beidseitige fronto-temporo-parietale Entlastungskraniektomie bei generalisiertem Hirnödem. Im Januar 2005 wurden die Knochendeckel beidseits reimplantiert. Im Verlauf kam es zu einer Osteolyse beider Knochendeckel. In der im Juni 2006 zur Datenakquisition angefertigten Computertomographie des Schädels zeigten sich links und ausgeprägter rechts deutlich osteolytische Knochendeckel mit nur noch vereinzelt nachweisbaren Knocheninseln, teils mit und teils ohne Kontakt zum umgebenden Schädelknochen. Zusätzlich zeigten sich bifrontale Hirnsubstanzdefekte und multiple Marklagerdefekte beidseits.
21. Der männliche, 19 Jahre alte Patient erlitt 2002 ein Schädel-Hirn-Trauma mit einem akuten Subduralhämatom über der rechten Hemisphäre. Initial erfolgte eine rechts temporo-parietale Kraniektomie und die Entlastung des akuten Subduralhämatoms. In der im April 2006 zur Datenakquisition angefertigten Computertomographie des Schädels zeigte sich ein kleiner Marklagerdefekt links parietal und der glatt abgerundete Kalottendefekt rechts temporo-parietal mit im Niveau liegender Galea.

Tab. 2-3: Übersicht der medizinisch relevanten Daten des Patientenkollektivs

Lfd. Nr.:	Alter; Geschlecht	Defektgröße; Lokalisation	Primärbefund	Komplikationen	Voroperationen
1	19 Jahre männlich	12,7 x 8,3 cm bds. fronto-temporo-parietal	- SHT mit multifragmentierter Impressionsfraktur re.	- Generalisiertes Hirnödem	- Entlastungskraniektomie bds. - Reimplantation Knochendeckel bds. - Explantation infizierter Knochendeckel re.
2	6 Jahre männlich	13,4 x 9,5 cm li. fronto-temporo-parietal	- SHT mit multiplen Kalottenfrakturen	- Generalisiertes Hirnödem	- Entlastungskraniektomie bds.
3	44 Jahre weiblich	13,4 x 9,2 cm li. fronto-temporo-parietal	- SAB bei rupturiertem Aneurysma der A. cerebri media li. - Epiduralhämatom li.	- Infarkt der A. cerebri media - Hirnödem li. Hemisphäre	- Entlastung Epiduralhämatom - Klippung des Aneurysmas - Entlastungskraniektomie - Reimplantation Knochendeckel - Explantation infizierter Knochendeckel
4	24 Jahre männlich	6,2 x 5,2 cm li. parieto-occipital	- ICB bei High-flow-Angiom	- Knochendeckelinfektion	- Entlastung Intracerebrale Blutung - Ausschaltung High-flow-Angiom - Explantation infizierter Knochendeckel
5	56 Jahre weiblich	13,5 x 8,3 cm li. fronto-temporo-parietal	- Keilbeinflügelmeningeom li. - Konvexitätsmeningeome li. frontal	- Hirnödem li. Hemisphäre	- Extirpation der Meningeome - Entlastungskraniektomie li.
6	62 Jahre weiblich	24 x 9,8 cm bifrontal	- SHT	- Infektion multipler Refobacin®-Palacos-Kranioplastiken	- Bifrontale Entlastungskraniektomie - Implantation und Explantation multipler Refobacin®-Palacos-Kranioplastiken bei rezidivierenden Infektionen
7	39 Jahre weiblich	8,6 x 7,1 cm re. pterional	- SAB bei rupturiertem Aneurysma der A. cerebri re. - Aneurysma der A. cerebri media li.	- Knochendeckelinfektion re. - Infektion der Refobacin®-Palacos-Kranioplastik re.	- Klippung Aneurysmas re. - Klippung Aneurysmas li. - Explantation infizierter Knochendeckel re. - Explantation infizierte Refobacin®-Palacos-Kranioplastik re.
8	50 Jahre weiblich	7,1 x 4,8 cm re. pterional	- SAB bei rupturiertem Aneurysma der A. cerebri posterior re.	- Knochendeckelinfektion	- Explorative Freilegung des Aneurysmas - Coilocclusion - VP-Shuntanlage li. - Explantation infizierter Knochendeckel

9	39 Jahre männlich	15,5 x 11,5 cm 12,4 x 10,4 cm bds. fronto-temporo-parietal	- SHT mit Mehrfragment- kalottenfraktur - Epiduralhämatom re. - Kontusionsblutungen	- Generalisiertes Hirnödem	- Entlastungskraniektomie bds. - Entlastung Epiduralhämatom re.
10	31 Jahre weiblich	4,4 x 4,3 cm suboccipital	- Kleinhirntonsillientiefstand	- Liquorkissen	- Dekompression hintere Schädelgrube
11	13 Jahre männlich	12,2 x 7,6 cm re. fronto-temporo-parietal	- SAB bei rupturiertem Aneurysma der A. cerebri media re.	- Infarkt der A. cerebri re. - Hirnödem re. Hemisphäre - Knochendeckelresorption	- Klippung des Aneurysmas - Entlastungskraniektomie re.
12	53 Jahre weiblich	10,6 x 10,5 cm li. fronto-temporal	- Ossäres Keilbeinflügel- meningeom li.	- Knochendeckelresorption	- Extirpation Keilbeinflügelmeningeom li. - Extirpation Rezidiv
13	17 Jahre männlich	14,4 x 10,6 cm re. fronto-temporo-parietal	- ICB - SAB bei rupturiertem Aneurysma der A. cerebri re.	- Hirnödem re. Hemisphäre	- Entlastung der ICB - Klippung des Aneurysmas - Entlastungskraniektomie re. - Knochendeckelreimplantation - Extirpation infizierter Knochendeckel
14	46 Jahre männlich	14,3 x 8,7 cm 13,3 x 7,5 cm bds. fronto-temporo-parietal	- SHT - Kalottenfraktur li. - Akutes Subduralhämatom li. - Traumatische SAB	- Generalisiertes Hirnödem - Knochendeckelosteolysen	- Entlastungskraniektomie bds. - Reimplantation Knochendeckel bds.
15	35 Jahre weiblich	12,7 x 8,9 cm re. fronto-temporo-parietal	- ICB bei rupturiertem Aneurysma der A. cerebri re.	- Hirnödem re. Hemisphäre	- Entlastung ICB - Klippung Aneurysma - Entlastungskraniektomie re.
16	25 Jahre männlich	15,3 x 4,8 cm re. fronto-temporo-parietal	- ICB bei arterio-venöser Malformation	- A. cerebri media Infarkt re. - Hirnödem re. Hemisphäre - Lockerung Refobacin®- Palacos-Kranioplastik	- Entlastung ICB - Ausschaltung arterio-venöse Malformation re. - Entlastungskraniektomie re.
17	23 Jahre männlich	14,8 x 11,4 cm re. fronto-temporo-parietal	- SHT - Kalottenfraktur re. temporal - Epiduralhämatom re. - Akutes Subduralhämatom re. - Traumatische SAB	- Generalisiertes Hirnödem - Knochendeckelosteolysen	- Entlastung Epiduralhämatom - Entlastung Subduralhämatom - Entlastungskraniektomie re. - Reimplantation Knochendeckel re.

18	34 Jahre männlich	11,5 x 8,5 cm re. fronto-temporal	- SAB und ICB bei rupturiertem Aneurysma der A. cerebri re.	- Infarkt der A. cerebri media re. - Hirnödem re. Hemisphäre - Knochendeckelosteolysen	- Entlastung ICB - Klippung Aneurysma - Entlastungskraniektomie re.
19	58 Jahre weiblich	13,2 x 7,7 cm li. fronta-temporal	- Sphenoorbitales Meningeom li.	- Wundheilungsstörung über Keramikkranioplastik	- Resektion Meningeom - Implantation Keramikkranioplastik - Entfernung Keramikkranioplastik - Temporale Verschiebeplastik
20	20 Jahre männlich	14,7 x 10,6 cm 14,5 x 10,3 cm bds. fronto-temporo-parietal	- SHT - Kalottenfraktur re. occipital - Felsenbeinfraktur re. - Epiduralhämatom re. occipital - Bifrontale Kontusionsblutungen	- Generalisiertes Hirnödem - Knochendeckelosteolysen	- Externe Ventrikeldrainage re. - Entlastungskraniektomie bds. - Reimplantation Knochendeckel bds.
21	19 Jahre männlich	7,8 x 6,3 cm re. temporo-parietal	- SHT - Akutes Subduralhämatom re.		- Kraniektomie und Entlastung akutes Subduralhämatom re.

2.3.4 Prä-operative Vorbereitung

2.3.4.1. Anamnese, Aufklärung und Vorbereitung des Patienten

Zuerst erfolgte in einem ausführlichen Gespräch mit den Patienten eine Anamneseerhebung und im Rahmen der körperlichen Untersuchung eine Beurteilung der Narbenverhältnisse.

Die Patienten wurden über die, dem heutigen Stand entsprechenden Möglichkeiten einer Kranioplastik aufgeklärt. Anhand von Modellen wurde ihnen das Vorgehen entsprechend der angewandten Technik erläutert.

Eine ausführliche Operationsaufklärung erfolgte mindestens 24 Stunden vor der geplanten Operation. Wichtige Voraussetzungen für die Operation waren neben den anatomischen Gegebenheiten reizlose Narbenverhältnisse und normwertige Laborparameter, insbesondere Blutbild, CRP-Wert, Quick-Wert und die PTT-Zeit.

2.3.4.2. Datenerhebung zur Herstellung der Cranio Top®-Plastik

Die Datenerhebung für die Anfertigung dieser Cranio Top®-Plastik erfolgte mit einem Light Speed Computertomographen der Firma General Electric. Der Patient wurde symmetrisch auf dem Untersuchungstisch gelagert. Die Datenerhebung erfolgte mit einem Gantry-tilt von 0 Grad in helical configuration, high quality Pitch 3, speed 3,75 mm/rot, detector configuration 4 x 1,25 mm, kV 120, mA 180. Der gesamte Hirnschädel wurde in Dünnschichttechnik dargestellt.

2.3.5 Technik und Durchführung der Operation

Die Patienten wurden in Intubationsnarkose auf dem Operationstisch gelagert, den Kopf in der Mayfield-Halterung oder auf der Kopfschale fixiert. Entlang der alten Schnittführung erfolgte eine lokale streifenförmige Rasur. Nach der Wischdesinfektion mit Braunol® erfolgte die sterile Abdeckung. Nach und nach wurde die Narbe mit dem Skalpell eröffnet und RANEY-Clips® auf die Wundränder gesetzt. In dem Bereich wo die Narbe direkt über der Dura lag, wurde zuerst vorsichtig ein Spatel untergeschoben.

Der Galea-Periost-Lappen wurde mit dem Fingerrasparatorium und dem Skalpell, teilweise auch stumpf mit einer Kompresse, von der Dura und der Kalotte abpräpariert. Der Galea-Periost-Lappen wurde mit einem Lappenretraktor fixiert und mit feuchten Tüchern abgedeckt.



Abb. 2-4: Abpräparierter Galea-Periost-Lappen bei 24 x 9,8 cm großem bifrontalen Schädelkalottendefekt

Danach konnte die individuell angefertigte dampfsterilisierte Cranio Top[®]-Plastik auf den Kalottendefekt aufgelegt und positioniert werden. Die Fixierung erfolgte mit 4-8 mm langen Mikroschrauben aus Titan durch vorgebohrte Löcher, die über der gesamten Implantatoberfläche zur Drainage und besseren Einheilung des Implantates in gleichmäßigem Abstand angelegt sind.

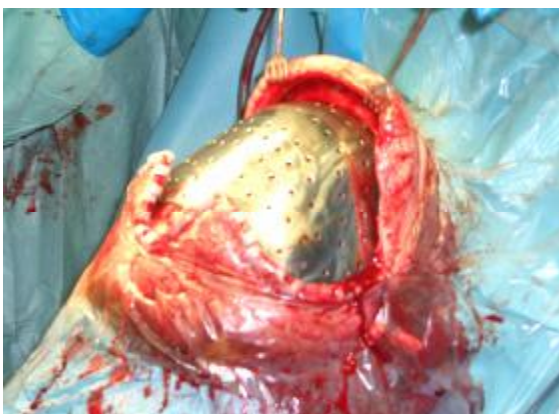


Abb. 2-5: Abdeckung des Schädelkalottendefektes mit einer Cranio Top[®]-Plastik

Bei größeren Defekten erfolgte die Anlage einer Redon-Drainage mit Sog. Die Wunde wurde mit Einzelknopfnah (2,0 Vicryl®) verschlossen und ein steriler Kopfverband angelegt. Der erste Verbandswechsel erfolgte am ersten postoperativen Tag. Die Redon-Drainage wurde ebenfalls am ersten postoperativen Tag entfernt.

2.3.6 Postoperative Kontrollen mittels bildgebender Verfahren

Durchschnittlich eine Woche postoperativ wurde zur Beurteilung eventuell auftretender Störartefakte und zur Überprüfung der Passgenauigkeit eine digitale Röntgenaufnahme, eine Computer- und eine Kernspintomographieaufnahme des Schädels angefertigt. Zusätzlich konnten noch Informationen über die intrakraniellen Veränderungen, das heißt Ausdehnung des Hirnparenchyms oder Ausbildung eines raumersetzenden Ergusses gewonnen werden.

2.3.7 Klinische Nachuntersuchung

Die klinischen Nachuntersuchungen beinhalteten die Beschwerdesymptomatik, den neurologischen Status und die regelmäßige Wundkontrolle bis zur Entfernung des Nahtmaterials sowie eine Beurteilung des kosmetischen Ergebnisses im Verlauf.

2.3.8 Poststationäre Patientenbefragung

Direkt postoperativ, bei der Entlassung des Patienten und einige Wochen bis Monate später wurden die Patienten zu ihrem Befinden und dem Grad der Zufriedenheit mit dem Ergebnis befragt.

3. Ergebnisse

3.1 Bildgebende Diagnostik nach Implantation einer Titankranioplastik

3.1.1 Befunderhebung und Auswertung mittels digitaler Röntgenaufnahmen

Die Beurteilung der digital angefertigten Röntgenaufnahmen des Schädels in zwei Ebenen war ohne Einschränkung möglich. Es zeigte sich keine Artefaktbildung. Auf den Röntgenaufnahmen des Schädels ließen sich auf der, hinter der Cranio Top®-Plastik gelegenen Schädelkalotte noch Gefäßkanäle darstellen.



Abb. 3-1: Artefaktfreie Darstellung des Schädels in der Röntgenaufnahme im seitlichen Strahlengang nach Implantation von Cranio Top®-Plastiken beidseits



Abb. 3-2: Sichtbarer Gefäßkanal in der Schädelkalotte hinter der Cranio Top®-Plastik

3.1.2 Befunderhebung und Auswertung mittels Computertomographie

Die Untersuchungen erfolgten an einem Light Speed Computertomographen der Firma General Electric. Bei allen Untersuchungen zeigten sich geringe Metallartefakte in der

nahen Umgebung der Schrauben mit sternförmiger Form. Im Bereich der dünnen Cranio Top®-Plastik mit geringer Dicke und geringem Schwächungskoeffizienten kam es nicht zu einer Ausbildung von Metallartefakten, aber aufgrund der scharfen Kontrastkanten zu Partielvolumenartefakten mit Ausbildung von dünnen Streifen entlang der Kanten. Insgesamt war nur der sehr kleine Bereich um orthograd im Strahlengang liegende Schrauben nicht zu beurteilen. Der sehr schmale, hyperdens erscheinende Saum unterhalb der Cranio Top®-Plastik konnte nach Verschiebung der Fensterebene wieder ausreichend beurteilt werden.



Abb. 3-3: Partialvolumenartefakte entlang der Implantatränder und Metallartefakte im Bereich der Schrauben in der Computertomographieaufnahme nach Implantation einer Cranio Top®-Plastik. Zustand nach ICB und SAB bei rupturiertem Aneurysma der A. cerebri media rechts

3.1.3 Befunderhebung und Auswertung mittels Kernspintomographie

Die Untersuchungen erfolgten an einem Kernspintomographen 1,5 Tesla der Firma Picker, mit den Einstellungen transversal T2-gewichtete Fast-Spin-Echo-Sequenz, transversal, sagittal T1-gewichtete Spin-Echo-Sequenz, transversal T2-gewichtete Flair Fast Spin-Echo-Sequenz und T2*-gewichtete Gradienten-Echo-Sequenz, FLASH. Eine fast uneingeschränkte Beurteilung der Aufnahmen war in der T2/T/FSE möglich. In der FLAIR/T/FSE Einstellung kam es zur Ausbildung von leichten Suszeptibilitätsartefakten unterhalb der Cranio Top®-Plastik, mit einem ca. 25 mm breiten, im Vergleich zu dem übrigen Hirnparenchym, hypointens erscheinenden Streifen, ohne

Beeinträchtigung der Beurteilbarkeit. Die Hypointensität unterhalb der Cranio Top®-Plastik verstärkte sich in der T1/T/SE Einstellung, trotzdem war noch eine Abgrenzung und Beurteilung der Hirnfurchen möglich. Stark ausgeprägt waren die Suszeptibilitätsartefakte in der FLASH/T2*/GE Einstellung, so dass eine Beurteilung aufgrund der Verstärkung der Signale und damit auch der Artefakte nicht mehr möglich war. Allerdings wird diese, für Suszeptibilitätsartefakte, hochsensible Sequenz selten verwendet. In allen Einstellungen zeigte sich eine ca. 5-10 mm große Auslöschung um die Schrauben herum.

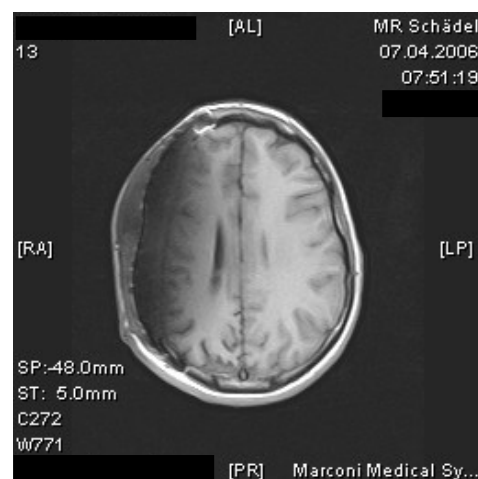
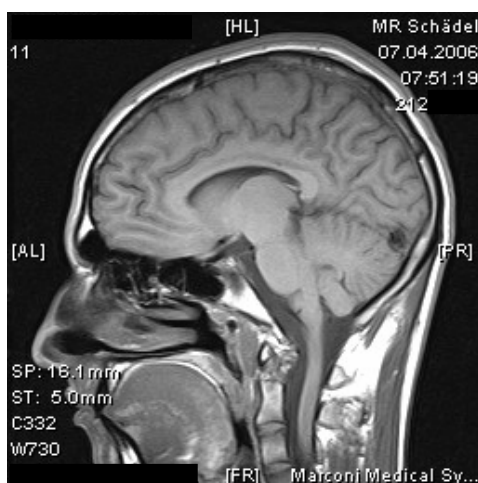


Abb. 3-4: Geringe Hypointensität unterhalb der Cranio Top®-Plastik in der T1/T/SE Einstellung

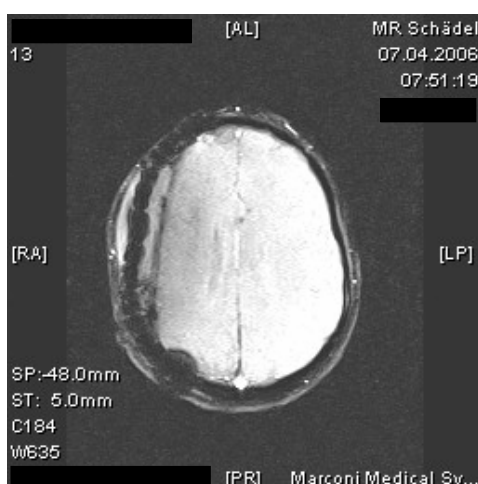


Abb. 3-5: Stark ausgeprägte Suszeptibilitätsartefakte unterhalb der Cranio Top®-Plastik in der selten verwendeten FLASH/T2*/Gradienten-Echo-Sequenz

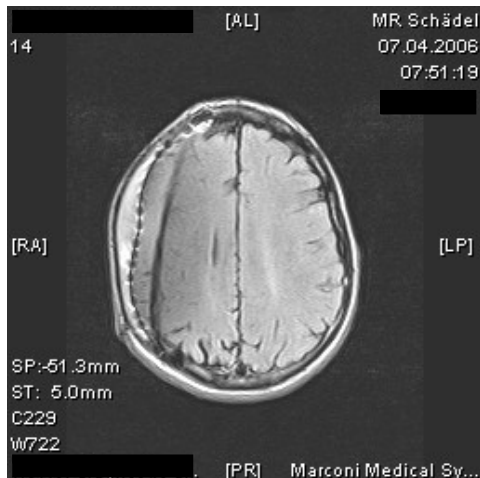


Abb. 3-6: Leichte Ausbildung von Suszeptibilitätsartefakten unterhalb der Cranio Top®-Plastik in der FLAIR/T/FSE Einstellung

3.2 Heilungsverlauf und kosmetische Ergebnisse

3.2.1 Wundheilung und kosmetisches Ergebnis

Bei fünf Patienten kam es zur Ausbildung eines fluktuierenden subgalealen Ergusses, bei zwei Patienten war der Erguss während der ersten Woche deutlich rückläufig. Bei einem Patienten, bei dem beidseits große Cranio Top®-Plastiken mit entsprechend großer Wundfläche implantiert wurden, erfolgte am fünften postoperativen Tag die Abpunktion von je Seite ca. 60 ml blutigem Wundsekret. Nach Anlage eines Druckverbandes für fünf Tage kam es zu keiner erneuten Ergussbildung.



Abb. 3-7: Aufnahmen vor und nach Implantation einer Cranio Top®-Plastik beidseits

Bei allen Patienten verlief die Wundheilung problemlos, so dass das Nahtmaterial bei kleineren Wunden am zehnten Tag, und bei größeren Wunden Teilfäden am zehnten und Restfäden am zwölften Tag entfernt werden konnten. Bei fünf Patienten zeigte sich eine temporale Einziehung, verursacht durch den schon vor der Implantation der Titankranioplastik atrophierten Musculus temporalis. Ein Patient wies im dorsalen Anteil eine ca. 3 mm hohe und ca. 30 mm lange Stufe zwischen Cranio Top[®]-Plastik und Schädelknochen auf, ohne Beeinträchtigung des kosmetischen Ergebnisses.

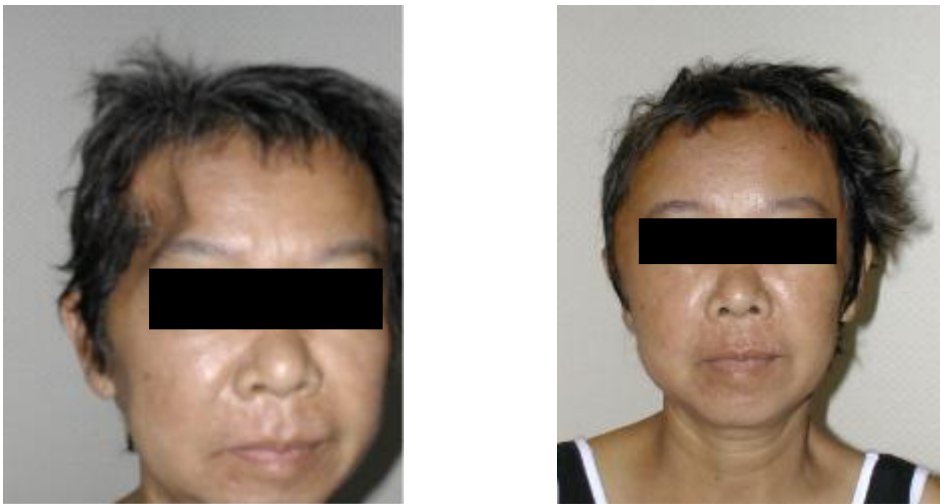


Abb. 3-8: Zustand vor und nach Implantation einer Cranio Top[®]-Plastik bei teilweise atrophiertem M. temporalis

Im Bereich zwischen den Cranio Top[®]-Plastiken bei beidseitiger Implantation zeigte sich eine Einziehung, verursacht dadurch, dass die Implantate auf den nur teilweise resorbierten mit der Dura verwachsenen zuvor implantierten Knochendeckel aufgesetzt wurden. Bei allen weiteren Patienten waren die kosmetischen Ergebnisse sehr gut; insbesondere auch bei einer Patientin, bei der ein sehr großer, beidseitiger frontaler Defekt bestand, der in den letzten 17 Jahren und insgesamt 11 Operationen mehrfach erfolglos mit Refobacin[®]-Palacos-Kranioplastiken gedeckt wurde, die jedes mal wegen einer Infektion explantiert werden mussten. Aufgrund der Haut- und Narbenverhältnisse wurde schließlich eine Cranio Top[®]-Plastik mit einer flacheren Wölbung angefertigt und implantiert.



Abb. 3-9: Großer bifrontaler Schädelkalottendefekt nach SHT und mehrfachen Implantationen von Refobacin®-Palacos Kranioplastiken



Abb. 3-10: Sehr gutes kosmetisches Ergebnis nach Implantation einer großen bifrontalen Cranio Top®-Plastik

3.2.2 Postoperative radiologische Diagnostik

Noch während der ersten post-operativen Woche wurde eine Computertomographie- und Kernspintomographieaufnahme des Schädels angefertigt. Bei neun Patienten zeigte sich in der bildgebenden Diagnostik eine epidurale Ergussbildung. Bei allen Patienten war der Erguss zum größten Teil raumersetzend, bei zuvor bestehender starker Einziehung der Hirn- und Duraoberfläche, so dass sich der Raum zwischen Dura und Cranio Top®-Plastik mit blutigem Wundsekret gefüllt hatte. Nur bei zwei Patienten kam

es zusätzlich zu einer leichten Abflachung der Hirnfurchen unter dem Erguss ohne klinische und neurologische Defizite.



Abb. 3-11: Postoperativ gering raumfordernd wirkender Erguss unterhalb der Cranio Top®-Plastik

In der nach einem Zeitraum von ca. 3 Monaten bis 2,5 Jahren durchgeführten Nachuntersuchung zeigte sich in den angefertigten Kernspintomographieaufnahmen des Schädels bei einem Patienten 3 Monate nach beidseitiger Implantation einer Cranio Top®-Plastik noch ein schmaler, nicht raumfordernd wirkender, deutlich rückläufiger, beidseitiger, epiduraler Erguß. Bei einer Patientin mit bifrontaler Cranio Top®-Plastik zeigte sich auch noch nach 1,25 Jahren ein unveränderter jetzt organisierter, bifrontaler, epiduraler Erguß, bedingt durch einen über mehrere Jahre bestehenden Defekt mit entsprechender Einziehung, Verdickung und teilweiser Verknöcherung der Dura, so das es nicht zu einer Ausdehnung des Hirnparenchyms und der Dura kam.

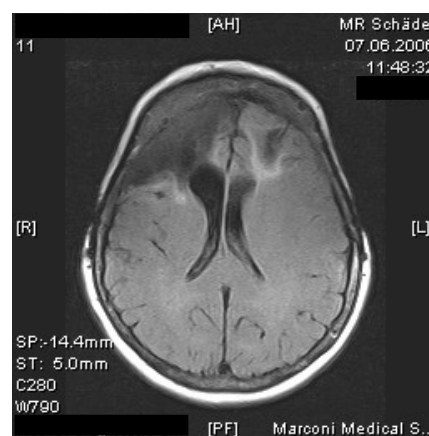
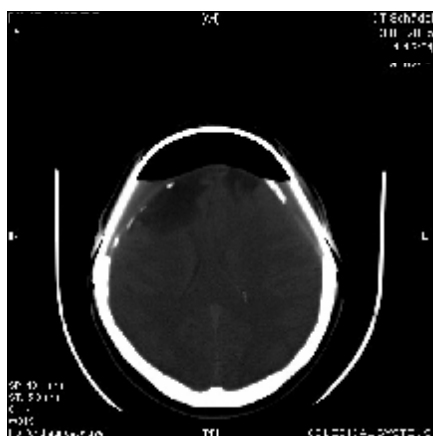


Abb. 3-12: Links: Raumersetzender Erguss unter der Cranio Top®-Plastik postoperativ, rechts: Raumersetzender organisierter Erguss 1,25 Jahre nach Implantation

Bei allen anderen Patienten kam es zur kompletten Rückbildung der Ergüsse und zu einer Entfaltung des Hirnparenchyms.

Tab. 3-1: Ergebnisse der radiologischen Diagnostik

Kriterium	Patientenzahl (n = 21)
Subgalealer Erguss	5
Stufe zwischen Implantat und Knochenrand	2
Raumersetzender epiduraler Erguss	7
Leicht raumfordernd wirkender epiduraler Erguss	2
Rückbildung des epiduralen Ergusses im Verlauf	8
Organisation eines raumersetzenden epiduralen Ergusses	1

3.2.3 Patientenbefragung

Im Rahmen der Nachuntersuchung und Patientenbefragung ging es um das Befinden des Patienten nach Implantation der Cranio Top[®]-Plastik unter Ausschluss der schon vor der Implantation bestehenden neurologischen Defizite. 13 Patienten empfanden das kosmetische Ergebnis sehr gut, acht Patienten beurteilten das kosmetische Ergebnis als gut, bedingt durch einen schon zuvor atrophierten Musculus temporalis.



Abb. 3-13: Kosmetisches Ergebnis bei atrophiertem M. temporalis nach Implantation einer Cranio Top[®]-Plastik

Zwei Patienten berichteten über eine Dysästhesie im Bereich der Narbe, die einer der Patienten schon vor der Implantation der Cranio Top®-Plastik angegeben hatte. Eine erhöhte Kälteempfindlichkeit bestand bei einem Patienten, nebenbefundlich auch im Bereich einer osteosynthetisch versorgten Sprunggelenksfraktur, bei zwei Patienten bestand eine erhöhte Kälte- und Wärmeempfindlichkeit und ein Patient berichtete über ein Kopfdruckgefühl bei direkter Sonneneinstrahlung. Ein Fremdkörpergefühl wurde von allen Patienten verneint.

Alle Patienten berichteten über eine Verbesserung ihres körperlichen Befindens.

Tab. 3-2: Ergebnisse der Patientenbefragung und Nachuntersuchung

Kriterium	Patientenzahl (n = 21)
Kosmetisches Ergebnis sehr gut	13
Kosmetisches Ergebnis gut	8
Atrophie des M. temporalis	7
Dysästhesie im Bereich der Narbe nach Implantation	1
Erhöhtes Kälteempfinden über dem Implantat	1
Erhöhtes Wärmeempfinden über dem Implantat	1
Erhöhtes Kälte- und Wärmeempfinden über dem Implantat	2
Fremdkörpergefühl	0
Verbesserung des körperlichen Befindens	21

4. Diskussion

Die vorliegende Untersuchung beschreibt die Versorgung von Schädelknochendefekten mit neuartigen, sehr dünnen, individuell angefertigten Titanimplantaten.

Der wesentliche Vorteil dieser dünnen Cranio Top[®]-Plastik besteht darin, dass sie auf die Knochenränder des Defektes aufgelegt werden kann. Eine Freipräparation der Knochenränder, mit den Risiken einer Dura- oder Gehirnverletzung, ist somit nicht erforderlich. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass das ggf. noch prolabierte Hirnparenchym nicht durch eine in den Defekt einzubringende Plastik komprimiert wird. Durch das Auflegen der Cranio Top[®]-Plastik auf die Knochenränder des Defektes und die Fixierung mit einzelnen Titanschraubchen wird sofort eine Verschiebung und ein Einsinken der Plastik mit dem Risiko einer Hirnparenchymverletzung verhindert.

Bei drei Patienten wurde eine Refobacin[®]-Palacos-Kranioplastiken wegen Infektion, Bruch und Lockerung durch eine Titankranioplastik ersetzt. Bei einem Patienten kam es erst zu einer Infektion des reimplantierten Knochendeckels und nach Entfernung des Knochendeckels und der Implantation einer Refobacin[®]-Palacos-Kranioplastik, zu einem späteren Zeitpunkt auch zu einer Infektion der Refobacin[®]-Palacos-Kranioplastik. Einer Patientin wurden in den letzten Jahren mehrfach Refobacin[®]-Palacos-Kranioplastiken implantiert, die sich alle kurzfristig oder nach Jahren infizierten. Diese Patienten berichteten über ein nach der Implantation der Cranio Top[®]-Plastik sehr gutes Allgemeinbefinden, was nach den Implantation der Refobacin[®]-Palacos-Kranioplastik nie der Fall gewesen sei.

Obwohl in vielen Studien über Infektionen nach Implantation von Palacos-Plastiken berichtet wird, wird dieses Material auch in der heutigen Zeit noch verwendet [4, 5, 28, 58]. Dem gegenüber stehen viele Studien über die sehr gute Biokompatibilität von Titan als Implantatmaterial [50, 85]. Titan wird auf Grund seiner guten Biokompatibilität und seiner Strahlentransparenz schon viele Jahre als Implantatmaterial in verschiedenen Bereichen der Medizin verwendet, wie z. B. zur Ostesynthese bei Zahnimplantaten, oder der Rekonstruktion von Gehörknöchelchen [12, 68].

Die Ergebnisse der klinisch-operativen Anwendung bestätigten eine gute intraoperative Handhabung. Bei keinem Patienten kam es innerhalb des Untersuchungszeitraumes zu

einer Wundheilungsstörung oder Infektion. Alle Patienten berichteten über eine Verbesserung ihres Allgemeinzustandes. Es ergab sich klinisch eine höchstmögliche CT- und MR-Kompatibilität mit stark reduzierter Artefaktanfälligkeit gegenüber herkömmlichen, deutlich dickeren Titankranioplastiken.

Die Auswertung der Daten zeigte, dass es bei fast allen Patienten, bei denen eine pterionale oder fronto-temporo-parietale Kraniektomie durchgeführt wurde, zu einer temporalen Einziehung kam, verursacht durch eine vorbestehende Atrophie des Musculus temporalis. In den meisten Fällen war der Musculus temporalis schon bei der Abpräparation von der Dura, vor Einsetzen der Cranio Top®-Plastik, sehr stark atrophiert oder hatte sich teilweise fast komplett zurückgebildet, weil die Blutversorgung durch die Arteria temporalis oder die nervale Versorgung durch den Nervus temporalis unterbrochen wurde [3, 43, 44, 65].

Zukünftiges Ziel wird es sein, den Patienten, bei denen aufgrund der Vorgeschichte und der Lokalisation des Kalottendefektes von einer Atrophie des Musculus temporalis auszugehen ist, ein Titankranioplastik zu implantieren, die die Form des Musculus temporalis nachbildet. Dieses erscheint möglich, wenn der Jochbogen als untere Befestigungslinie mit in die Planung einbezogen wird.

Im Rahmen der bildgebenden Diagnostik zeigte sich, dass es um die sehr dünne Cranio Top®-Plastik kaum zu einer Artefaktbildung kam, so dass Knochen- und Weichteilgewebe gut zu beurteilen waren. Allerdings kam es um die verwendeten Titanschrauben herum zu einem ca. 5-10 mm Ø großen, durch die Ausbildung von Artefakten bedingten, nicht beurteilbaren Bereich, so dass in Zukunft eine weitere Volumenreduzierung bei der Herstellung der Schrauben zu diskutieren ist.

Im Verlauf der klinischen Anwendung wurden bereits einige Veränderungen an den Titankranioplastiken, die das passgenaue Einsetzen in situ erleichtern, vorgenommen. So wurden die anfänglich durchgehenden glatten Ränder der Cranio Top®-Plastiken so ausgeschnitten, das sich um die gesamte Cranio Top®-Plastik herum dreieckige Laschen befinden, die ein eventuell nötiges Anmodellieren der Ränder der Titankranioplastik an die Knochenränder ermöglicht. Dieses kann von Nöten sein, wenn zwischen der

Anfertigung der Cranio Top[®]-Plastik und der Implantation, aufgrund unvorhergesehener Ereignisse, ein längerer Zeitraum liegt und es dadurch zu einer Veränderung der Knochenränder kommt. In diesen dreieckigen Laschen befindet sich jeweils ein Loch für die Einbringung der Schrauben zur Fixierung der Cranio Top[®]-Plastik an den Knochenrändern. Zusätzlich wurden noch je nach Größe der Cranio Top[®]-Plastik drei bis vier deutlich kleinere Laschen ausgeschnitten und nach innen umgebogen. Diese Laschen ermöglichen das passgenaue Einsetzen der Cranio Top[®]-Plastik, da sie ein Verschieben der Cranio Top[®]-Plastik außerhalb der optimalen Passform verhindern.



Abb. 4-1: Modifizierte Cranio Top[®]-Plastik

5. Literaturverzeichnis

- [1] **Agner C., Dujovny M., Gaviria M. (2002):** Neurocognitive assessment before and after cranioplasty. *Acta Neurochirurgica (Wien)* 144: 1033-40
- [2] **Ammar A. (1984):** Tissue compatibility of different intracranial implant materials: *In vivo* and *in vitro* studies. *Acta Neurochirurgica* 72: 45-59
- [3] **de Andrade Junior F. C., de Andrade F. C., de Araujo F. C. M., Carcagnolo F. J. (1998):** Dysfunction of the temporalis muscle after pterional craniotomy for intracranial aneurysms: comparative, prospective and randomized study of one flap versus two flaps dieresis. *Arquivos de Neuro-Psiquiatria* 56: 200-205
- [4] **Benzel E. C., Thammavaram K., Kesterson L. (1990):** The diagnosis of infections associated with acrylic cranioplasties. *Neuroradiology* 32: 151-153
- [5] **Blum K. S., Schneider S. J., Rosenthal A. D. (1997):** Methyl methacrylate cranioplasty in children: long-term results. *Pediatric Neurosurgery* 26: 33-35
- [6] **Büchler M., Weihe S., Eufinger H., Wehmöller M., Bootz F. (2002):** Rekonstruktion des Os frontale mit individuellen Titanimplantaten nach chirurgischer Therapie der Stirnbeinosteomyelitis. *HNO* 50: 339-334
- [7] **Buzug T. M. (ed.) (2004):** Einführung in die Computertomographie. Mathematisch-physikalische Grundlagen der Bildrekonstruktion. Kapitel 8. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg
- [8] **Caroli M., Locatelli M., Campanella R., Balbi S., Martinelli F., Arienta C. (2001):** Multiple intracranial lesions in head injury clinical considerations, prognostic factors, management, and results in 95 patients. *Surgical Neurology* 56: 82-8
- [9] **Chandler C. L., Uttley D. J., Archer D. J., Macvicar D. (1994):** Imaging after titanium cranioplasty. *British Journal of Neurosurgery* 8: 409-414
- [10] **Clarke E. G. C. & Hickman J. (1953):** An investigation into the correlation between the electrical potentials of metals and their behavior in biological fluids. *Journal of Bone and Joint Surgery* 35-B: 467
- [11] **Cooper P. R., Schechter B., Jacobs G. B., Rubin R. C., Wille R. L. (1977):** A pre - formed methyl methacrylate cranioplasty. *Surgical Neurology* 8: 219-221

- [12] **Dalchow C. V., Grun D., Stupp H. F. (2001):** Reconstruction of the ossicular chain with titanium implants. *Otolaryngology Head and Neck Surgery* 125: 628-630
- [13] **Delgado-Lopez P., Mateo-Sierra O., Garcia-Leal R., Augustin-Gutierrez F., Fernandez-Carballal C., Carrillo-Yague R. (2004):** Decompressive craniectomy in malignant infarction of the middle cerebral artery. *Neurochirurgia (Astur)* 15: 43-55
- [14] **Der-Yang C., Tsun-Chung C., Han-Chun L. (2003):** Ultra early decompressive craniectomy for malignant middle cerebral artery infarction. *Surgical Neurology* 60: 227-233
- [15] **Doerfler A., Forsting M., Reith W., Staff C., Heiland S., Schabitz W. R., von Kummer R., Hacke W., Sartor K. (1996):** Decompressive craniectomy in a rat model of "malignant" cerebral hemispheric stroke: experimental support for an aggressive therapeutic approach. *Journal of Neurosurgery* 85: 853-859
- [16] **Durham S. R., Mc Comb J. G., Levy M. L. (2003):** Correction of large (>25 cm²) cranial with „reinforced“ hydroxyapatite cement: technique and complications. *Neurosurgery* 52: 842-845
- [17] **Edwards M. S. & Ousterhout D. K. (1987):** Autogenic skull bone grafts to reconstruct large or complex skull defects in children and adolescents. *Neurosurgery* 20: 273-280
- [18] **Ellis K., Speed J., Balbierz J. M. (1998):** Post-craniectomy intracranial hypotension : potential impact on rehabilitation. *Brain injury* 12: 895-899
- [19] **Engelhorn T., von Kummer R., Reith W., Forsting M., Doerfler A. (2002):** What is effective in malignant middle cerebral artery infarction: reperfusion, craniectomy, or both? An experimental study in rats. *Stroke* 33: 617-622
- [20] **Erdogan E., Düz B., Kocaoglu M., Izcı Y., Sirin S., Timurkaynak E. (2003):** The effect of cranioplasty on cerebral hemodynamics: evaluation with transcranial doppler sonography. *Neurology India* 51: 479-481
- [21] **Eufinger H. & Wehmöller M. (2002):** Microsurgical tissue transfer and individual computer-aided designed and manufactured prefabricated titanium implants for complex craniofacial reconstruction. *Scandinavian Journal of Plastic and Reconstructive Surgery and Hand Surgery* 36: 326-331

- [22] **Eufinger H., Wittkamp A. R. M., Wehmöller M., Zonneveld F. W. (1998):** Single-step fronto-orbital resection and reconstruction with individual resection template and corresponding titanium implant: a new method of computer-aided surgery. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery* 26: 373-378
- [23] **Eufinger H., Wehmöller M., Müller C., Falk A., Machtens E. (2000):** Pure titanium as bone substitute. Geometric and substance-specific aspects of computer-assisted fabrication and follow-up imaging. *Mund Kiefer Gesichtschirurgie* 4 Supp 12: 504-508
- [24] **Fodstad H., Love J. A., Ekstedt J., Fridén H., Liliequist B. (1984):** Effect of cranioplasty on cerebrospinal fluid hydrodynamics in patients with the syndrom of the trephined. *Acta Neurochirurgica* 70: 21-30
- [25] **Foustanos A. P., Anagnostopoulos D., Kotsianos A., Rapidis D. (1983):** Cranioplasty: a Review of 10 cases. *Journal of Maxillofacial Surgery* 11: 83
- [26] **Gaab M. R., Rittierodt M., Lorenz M., Heissler H. E. (1990):** Traumatic brain swelling and operative decompression: a prospective investigation. *Acta Neurochirurgica Supplementa (Wien)* 51: 326-328
- [27] **Georgiadis D., Schwarz S., Aschoff A., Schwab S. (2002):** Hemicraniectomy and moderate hypothermie in patients with severe ischemic stroke. *Stroke* 33: 1584-1588
- [28] **Van Gool A. (1983):** Preformed Polymethylmethacrylate cranioplasties: Report of 45 cases. *Journal of Maxillofacial Surgery* 13: 2-8
- [29] **Greenblatt S. H., Dagi T. F., Epstein M. H. (eds) (1997):** A history of neurosurgery. In its scientific and professional contexts. (Saul F. P. & Saul J. M.): Trepanation: Old world and new world. Chapter 3: 29-35. *The American Association of Neurological Surgery*. Park Ridge, Illinois
- [30] **Groteklaes M. (1999):** Taschenbuch der Chemie (Eds.: Schwister, K.). 2. Auflage: 360-363. *Karl Hanser Verlag, München*
- [31] **Guerra W. K., Gaaab M. R., Dietz H., Mueller J. U., Piek J., Fritsch M. J. (1999):** Surgical decompression for traumatic brain swelling: indications and results. *Journal of Neurosurgery* 90: 187-196
- [32] **Guyuron B., Shafron M., Columbi B. (1988):** Management of extensive and difficult cranial defects. *Journal of Neurosurgery* 69: 210-212

- [33] **Härle F., Champy M., Terry B. C. (eds) (1999):** Atlas of craniomaxillofacial Osteosynthesis. Miniplates, microplates, and screws. (Terheyden H. & Champy M.: Titanium Plate Removal: "Yes or No?"). Kapitel 31: 163-165. Thieme, Stuttgart New York
- [34] **Hanawa, T.; Asami, K. und Asaoka, K. (1998):** Repassivation of titanium and surface oxide film regenerated in simulated bioliquid, *Journal of Biomedical Materials Research* 40/4: 530-538
- [35] **Hase U., Reulen H. J., Meinig G., Schurmann K. (1978):** The influence of the decompressive operation on the intracranial pressure and the pressure - volume relation in patients with severe head injuries. *Acta Neurochirurgica (Wien)* 45:1-13
- [36] **Hille G. H. (1966):** Titanium for surgical implants. *Journal of Materials* 2: 373-383
- [37] **Hirai H., Okumura A., Goto M., Katsuki T. (2001):** Histologic study of the bone adjacent to titanium bone screws used for mandibular fracture treatment. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* 59: 531-537
- [38] **von Holst H., Collins S., Steiner L. (1981):** Titanium, silver and tantalum clips in brain tissue. *Acta Neurochirurgica* 56: 239- 242
- [39] **von Holst H., Bergström M., Mölle A., Steiner L., Ribbe T. (1977):** Titanium clips in neurosurgery for elimination of artifacts in computer tomography (CT). *Acta Neurochirurgica* 56: 101-109
- [40] **Isago T., Nozaki M., Kikuchi Y., Honda T., Nakazawa H. (2004):** Sinking skin flap syndrom: a case of improved cerebral blood flow after cranioplasty. *Annals of Plastic Surgery* 53: 288-292
- [41] **Joffe J. M., Nicoll S. R., Richards R., Linney A. D., Harris M. (1999):** Validation of computer-assisted manufacture of titanium plates for cranioplasty. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* 28: 309-313
- [42] **Kamyszek T., Weihe S., Scholz M., Wehmöller M., Eufinger H. (2001):** Versorgung kraniofazialer Knochendefekte mit individuell vorgefertigten Titanimplantaten. Nachuntersuchung und Auswertung von 76 Patienten mit 78 Titanimplantaten der Jahre 1994-1998. *Mund Kiefer Gesichts Chirurgie* 5: 233-238
- [43] **Kadri P. A. & Al-Mefty O. (2004):** The anatomical basis for surgical preservation of temporal muscle. *Journal of Neurosurgery* 100: 517-522

- [44] **Kim S. & Matic D. B. (2005):** The anatomy of temporal hollowing: the superficial temporal fat pad. *Journal of Craniofacial Surgery* 16: 760-763
- [45] **Kiyokawa K., Hayakawa K., Tanabe H. Y., Inoue Y., Tai Y., Shigemori M., Tokutomi T. (1998):** Cranioplasty with split lateral skull plate for reconstruction of skull defects. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery* 26: 379-385
- [46] **Kline R. M. & Wolfe S. A. (1995):** Complications associated with the harvesting of cranial bone grafts. *Plastic and Reconstructive Surgery* 95: 5-20
- [47] **Knöringer P. (1986):** Behandlung der Knocheninfektion im Bereich des Schädels. *Unfallchirurgie* 12: 81-92
- [48] **Köhler S. T., Retemeyer K., Berger G. (1981):** Untersuchungen zur Haftvermittlung von Bio-Vitrokeramik und Titan im tierischen Knochen. *Zeitschrift für experimentelle Chirurgie* 14: 139-143
- [49] **Koh M. S., Goh K. Y. C., Tung M. Y. Y., Chan C. (1999):** Is decompressive craniectomy for acute cerebral infarction of any benefit? *Surgical Neurology* 53: 225-230
- [50] **Krischak G. D., Gebhard F., Mohr W., Krivan V., Ignatius A., Beck A., Wachter N. J., Reuter P., Arand M., Kinzl L., Claes L. E. (2004):** Difference in metallic wear distribution released from commercially pure titanium compared with stainless steel plates. *Archives of Orthopaedic and Traumatic Surgery* 124: 1104- 1113
- [51] **Kuthan P. (1932):** Untersuchung zur Einheilungsfähigkeit einiger Materialien und das Verhalten des Gewebes zu diesen Implantaten. Diss. Münster
- [52] **Kunze E., Meixenberger J., Janka M., Sörensen N., Roosen K. (1998):** Decompressive craniotomy in patients with uncontrollable intracranial hypertension. *Acta Neurochirurgica* 71: 16-18
- [53] **Lee C., Antonyshyn O. M., Forrest C. R. (1995):** Cranioplasty: indications, technique, and early results of autogenous split skull cranial vault reconstruction. *Journal of Cranio Maxillo-Facial Surgery* 23: 133-142
- [54] **Leiting S., Assenmacher S., Brauer H., Obertacke U., Voggenreiter G. (2001):** Gewebsreaktion auf Titanpartikel - Histologische Untersuchungen an Plattenbettgewebe (LC-DCP). *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik* 32: 172-177

- [55] **Lerch K. D., Margenstern F., Lau K. T., Hoffmann G. (1998):** Nietenartige Titan-Klammern zur Refixierung von Knochendeckeln nach Kraniotomie. Radiologische Identifizierung, Anwendungssicherheit und Bildqualität bei CT- und MR-Untersuchungen. Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der Nuklearmedizin 169: 601-604
- [56] **de Luca G. P., Volpin L., Fornezza U., Cervellini P., Zanusso M., Casentini D., Curri D., Piacentino M., Bozzato G., Colombo F. (2000):** The role of decompressive craniectomy in the treatment of uncontrollable post-traumatic intracranial hypertension. Acta Neurochirurgica 76: 401-404
- [57] **Malis L. I. (1989):** Titanium mesh and acrylic cranioplasty. Neurosurgery 25: 351-355
- [58] **Matsuno A., Tanaka H., Iwamural H., Takanashi S., Miyawaki S., Nakashima M., Nakaguchi H., Nagashima T. (2006):** Analyses of the factors influencing bone graft infection after delayed cranioplasty. Acta Neurochirurgica 148: 535-540
- [59] **Meier U., Gräwe A., König A. (2005):** The importance of major extracranial injuries by the decompressive craniectomy in severe head injuries. Acta Neurochirurgica 95: 55-57
- [60] **Meier U., Lemcke J., Reyer T., Gräwe A. (2006):** Decompressive craniectomy for severe head injury in patients with major extracranial injuries. Acta Neurochirurgica 96: 373-376
- [61] **Moran C. A., Mullick F. G., Ishak K. G., Johnson F. B., Hummer W. B. (1991):** Identification of titanium in human tissues: probable role in pathologic processes. Human Pathology 5: 450-454
- [62] **Morra M., Cassinelli C., Cascardo G., Cahalan P., Cahalan L., Fini M., Giardino R. (2003):** Surface engineering of titanium by collagen immobilization. Surface characterization and *in vitro* and *in vivo* studies. Biomaterials 24: 4639-4654
- [63] **Moskopp D. & Wassmann H. (eds) (2005):** Neurochirurgie Handbuch für die Weiterbildung und interdisziplinäres Nachschlagewerk. (Schmieder K. und Harders A. G.): Besondere Diagnostik- und Therapieverfahren. Kapitel 4: 223-300. Schattauer, Stuttgart New York
- [64] **Munch E., Horn P., Schurer L., Piegras A., Paul T., Schmiedek P. (2000):** Management of severe traumatic brain injury by decompressive craniotomy. Neurosurgery 47: 315-322

- [65] **Oikawa S., Mizuno M., Muraoka S., Kobayashi S. (1996):** Retrograde dissection of the temporalis muscle preventing muscle atrophy for pterional craniotomy. Technical note. *Journal of Neurosurgery* 84: 297-299
- [66] **Osawa M., Hara H., Ichinose Y., Koyama T., Kobayashi S., Sugita Y. (1990):** Cranioplasty with a frozen and autoclaved bone flap. *Acta Neurochirurgica (Wien)* 102: 38-41
- [67] **Peters M., Leyens C. (eds) (2002):** Titan und Titanlegierungen. (Breme J., Eisenbarth E. und Biehl V.): Titanlegierungen in der Medizintechnik. Kapitel 16: 431-462. Wiley-VCH, Weinheim
- [68] **Pohler O. E. (2000):** Unalloyed titanium for implants in bone surgery. *Injury* 31 Supplementa 4: 7-113
- [69] **Pompili A., Caroli F., Carpanese L., Caterino M., Raus L., Sestili G., Occhipinti E. (1998):** Cranioplasty performed with a new osteoconductive osteoinducing hydroxyapatite-derived material. *Journal of Neurosurgery* 89: 236-242
- [70] **Pudenz R. H. (1942):** The use of tantalum clips for hemostasis in Neurosurgery. *Surgery* 12: 791-797
- [71] **Reiser M., Semmler W. (eds) (1992):** Magnetresonanztomographie. (Semmler W.): Grundlagen der MRT und MRS. Kapitel 2: 3-95. Springer Verlag, Berlin
- [72] **Rengachary S. S., Benzel E. C. (eds) (1998):** Calvarial und dural reconstruction. (Alberstone C. D. and Benzel E. C.): Cranioplasty materials. Chapter 3: 35-45. The American Association of Neurological Surgeons. Park Ridge, Illinois
- [73] **Sanan A. & Haines S. J. (1997):** Repairing holes in the head: a history of cranioplasty. *Neurosurgery* 40: 588-603
- [74] **Saunders R. C. & O'Boyle V. J. (1992):** Repair of cranial defects with teflon: a method of cranioplasty in monkeys. *Journal of Neuroscience Methods* 47: 163-167
- [75] **Schiffer J., Gur R., Nisim U., Pollak L. (1997):** Symptomatic patients after craniectomy. *Surgical Neurology* 47: 231-237
- [76] **Schneider G. H., Bardt T., Lanksch R., Unterberg A. (2002):** Decompressive craniectomy following traumatic brain injury: icp, cpp and neurological outcome. *Acta Neurochirurgica* 81: 77-79

- [77] **Scholz M., Eufinger H., Wehmöller M., Heuser L., Harders A. (1997):** CAD/CAM Titanimplantate zur kranialen und kraniofazialen Defektdeckung. Zentralblatt Neurochirurgie 58: 105-110
- [78] **Schwab S., Steiner T., Aschoff A., Schwarz S., Steiner H. H., Jansen O., Hacke W. (1998):** Early hemicraniectomy in patients with complete middle cerebral artery infarction. Stroke 29: 1888-1893
- [79] **Scott M., Wycis H., Murtagh F. (1962):** Long-term evaluation of stainless steel cranioplasty. Surgery Gynecology and Obstetrics 115: 453-461
- [80] **Shellock F. G. (2001):** Metallic Neurosurgical Implants: Evaluation of Magnetic Field Interactions, Heating, and Artifacts at 1.5-Tesla. Journal of Magnetic Resonance Imaging 14: 295-299
- [81] **Shigemori M., Syojima K., Nakayama K., Kojima T., Ogata T., Watanaba M., Kuramoto S. (1980):** The outcome from acute subdural haematoma following decompressive hemicraniectomy. Acta Neurochirurgica 54: 61-69
- [82] **Steinemann S. (1979):** Metallurgie der Knochen- und Gelenkimplantate. Langenbecks Archiv für Chirurgie 439: 307-310
- [83] **Steinemann S. (1980):** Corrosion of surgical implants - *in vivo* and *in vitro* tests. Advances in Biomaterials 1
- [84] **Stula D. & Muller H. R. (1980):** Cranioplasty after extensive decompressive craniotomy with displacement of the cerebral hemisphere. CA analysis. Neurochirurgica 23: 41-46
- [85] **Trentz O. A., Platz A., Helmy N., Trentz O. (1997):** Verhalten von Osteoblastenkulturen auf Titan-, Stahl- und Hydroxylapatit-Implantaten. Swiss Surgery 4: 203-209
- [86] **Tybor K., Fortuniak J., Komunski P., Papiez T., Andrzejak S., Jaskolski D., Shariati B., Zawirski M. (2005):** Supplementation of cranial defects by an autologous bone flap stored in the abdominal wall. Neurologia i Neurochirurgia Polska 39: 220-224
- [87] **Ungethüm M. & Winkler-Gniewek W. (1984):** Toxikologie der Metalle und Biokompatibilität metallischer Implantatwerkstoffe. Zeitschrift für Orthopädie 122: 99-105
- [88] **Venable C. S., Stuck W. G., Beach A. (1937):** The effects on bone of the presence of metals: Based upon electrolysis. Annals of Surgery 105: 917-938

- [89] **Verheggen R. & Merten H. A. (2001):** Correction of skull defects using hydroxyapatite cement (HAC) - evidence derived from animal experiments and clinical experience. *Acta Neurochirurgica (Wien)* 143: 919-926
- [90] **Vogt G. (1955):** Plastischer Verschuß knöcherner Schädellücken mit Kunststoffprothesen. *Acta Neurochirurgica Supplementa III*: 26-30
- [91] **Williams D. F. & Meachim G. (1974):** A combined metallurgical and histological study of tissue-prosthesis interactions in orthopedic patients. *Journal of Biomedical Materials Research* 3: 1-9
- [92] **Winkler-Gniewek W. & Ungethüm M. (1987):** Metallische Werkstoffe in der Neuro- und Gefäßchirurgie. *Wissenschaftliche Informationen* 16, Aesculap-Werke AG, Tuttlingen
- [93] **Winkler P. A., Stummer W., Linke R., Krishnan K. G., Tatsch K. (2000):** Influence of cranioplasty on postural blood flow regulation, cerebrovascular reserve capacity, and cerebral glucose metabolism. *Journal of Neurosurgery* 93: 53-61
- [94] **Woolf J. I. & Walker A. E. (1945):** Cranioplasty: Collective review. *International Abs Surgery* 81: 1-23
- [95] **Wöringer E. & Thomalske G. (1953):** Über die plastische Deckung von Schädelknochendefekten mit autopolymerisierender Kunstharzmasse. Eine neue Schnellmethode. *Neurologie* 191: 100-113
- [96] **Wöringer E. & Thomalske G. (1955):** Unsere Schädelplastik-Schnellmethode. *Acta Neurochirurgica Supplementa III*: 11-17
- [97] **Yoshida K., Furuse M., Izawa A., Iizima N., Kuchiwaski H., Inao S. (1996):** Dynamics of cerebral blood flow and metabolism in patients with cranioplasty as evaluated by ¹³³Xe CT and ³¹P magnetic resonance spectroscopy. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry* 61: 166-171

Lebenslauf

Persönliche Daten:

Name	Sandra Fischer
Geburtsdatum	20. Januar 1967 in Dortmund
Religion	Römisch-katholisch
Familienstand	Ledig

Schulbildung:

1973-1977	Josef Grundschule in Dortmund
1977-1983	Max Born Realschule in Dortmund mit Abschluss Fachoberschulreife

Berufsausbildung:

1983-1984	Praktikum in der Kinderarztpraxis Dr. H. Heermann in Dortmund
1984-1985	Praktikum in der Radiologischen Klinik der Städtischen Kliniken Dortmund
1985-1987	Ausbildung zur medizinisch-technischen Radiologieassistentin an der staatlich anerkannten Lehranstalt für medizinisch-technische Assistenten in Dortmund

Weiterbildung:

1988-1993 Abendgymnasium der Stadt Dortmund
mit Abschluss allgemeine Hochschulreife

Studium:

1993-1998 Studium der Humanmedizin an der
Ruhr-Universität Bochum

1998-1999 Studium der Humanmedizin an der
Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

Berufstätigkeit:

1987-1993 Medizinisch-technische Radiologieassistentin
in der Radiologischen Klinik der
Städtischen Kliniken Dortmund

1993-1999 Nebentätigkeit als Medizinisch-technische Radiologie-
assistentin in der Radiologie und Nuklearmedizin im
St. Elisabeth-Hospital gGmbH Bochum

1999-2001 Ärztin im Praktikum in der Neurochirurgischen Klinik
der Städtischen Kliniken Dortmund

2001-2007 Assistenzärztin in der Neurochirurgischen Klinik
im Klinikum Dortmund gGmbH

Ab 2007 Fachärztin für Neurochirurgie in der Neurochirurgischen
Klinik der St. Barbara-Klinik Hamm-Heessen GmbH

Dortmund, den 15.09.2008

Danksagung

Die vorliegende Arbeit wurde in der Neurochirurgischen Klinik der Klinikum Dortmund gGmbH unter der Leitung von Herrn Priv.-Doz. Dr. R. Schultheiss durchgeführt.

Als erstes möchte ich mich im Besonderen bei Herrn Dr. K. D. Lerch für die Überlassung des Themas, die fachliche Betreuung, seine Unterstützung und anregenden Diskussionen sowie seine stete Hilfsbereitschaft bedanken.

Mein besonderer Dank gilt weiterhin Herrn Priv.-Doz. Dr. H. Ebel, Chefarzt der Neurochirurgischen Klinik der St. Barbara-Klinik Hamm-Heessen GmbH, für das gute Arbeitsklima, die Unterstützung, seine konstruktive Kritik und die Übernahme des Erstgutachtens.

Weiterhin möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. W. Paulus, Direktor des Institutes für Neuropathologie des Universitätsklinikum Münster, sehr herzlich für die bereitwillige Übernahme des Zweitgutachtens bedanken.