

Journal für

Neurologie, Neurochirurgie und Psychiatrie

www.kup.at/
JNeurolNeurochirPsychiatr

Zeitschrift für Erkrankungen des Nervensystems

**Kranioplastie: Geschichte
Materialien, aktuelle Techniken und
Ergebnisse // Cranioplasty:
History, materials, recent
techniques and results**

Strasser E, Kolberg C

Ungersböck K, Marhold F

Journal für Neurologie

Neurochirurgie und Psychiatrie

2017; 18 (4), 136-142

Homepage:

www.kup.at/

JNeurolNeurochirPsychiatr

Online-Datenbank
mit Autoren-
und Stichwortsuche

Indexed in
EMBASE/Excerpta Medica/BIOBASE/SCOPUS

Krause & Pachernegg GmbH • Verlag für Medizin und Wirtschaft • A-3003 Gablitz

P.b.b. 02Z031117M,

Verlagsort: 3003 Gablitz, Linzerstraße 177A/21

Preis: EUR 10,-

77. Jahrestagung

Deutsche Gesellschaft für Neurochirurgie



2026
7.–10. Juni
AACHEN

Personalisierte Neurochirurgie – digital, kompetent, vernetzt

dgnc-kongress.de

Joint Meeting with the Belgian Society and the Dutch
Society of Neurosurgery and Neurosurgeons of Luxembourg

*Werfen Sie einen
Blick ins Programm!*



*Registrieren
Sie sich jetzt!*



Kranioplastie: Geschichte, Materialien, aktuelle Techniken und Ergebnisse

E. Strasser, C. Kolberg, K. Ungersböck, F. Marhold

Kurzfassung: Die Entwicklung und Methodik von Schädelplastiken zur Rekonstruktion von Kalottendefekten sind durch historische Berichte und zahlreiche jüngere Publikationen in der Literatur umfangreich dokumentiert. Neben autologem Knochen werden auch künstliche Materialien wie Polymethylmethacrylat, Hydroxylapatit, Titan-Mesh, Aluminiumoxid-Keramik und Polyetheretherketon verwendet.

Die Indikationen zur dekompressiven Kraniektomie und damit die Anzahl von Kalottendefekten haben zugenommen. Das Patientenkollektiv ist dadurch charakterisiert, dass der zur Deckung anstehende Kalottendefekt die Folge einer durchgemachten schweren Erkrankung oder Verletzung ist und ein möglichst sicherer und dauerhafter rekonstruktiver Eingriff mit gutem kosmetischem Ergebnis angestrebt werden muss. Derzeit be-

steht ein Trend, das Intervall zwischen Knochen-deckelentnahme und folgender Kalottenrekonstruktion kurz zu halten.

Neben einem kurzen geschichtlichen Überblick erläutern wir die Vor- und Nachteile der verwendbaren Materialien und stellen unsere eigenen Daten über einen Zeitraum von 2005 bis 2014 anhand von 233 Patienten vor.

Schlüsselwörter: Kranioplastie, autologer Eigenknochen, Hemikraniektomie, Alloplastik

Abstract: Cranioplasty: History, materials, recent techniques and results. There is plenty of recent and historical literature in neurosurgery documenting the development and technique of cranioplasty. Besides the autologous bone flap artificial materials are used (polymethylmeth-

acrylate, hydroxyapatite, titanium mesh, alumina ceramics, polyetheretherketone).

New indications for decompressive craniectomy were established. Everyone who suffered from a calvarial defect should undergo reconstructive surgery with a predictable stable and an excellent aesthetic result. Cranioplasty nowadays is performed within weeks or a few months after the primary surgery.

Furthermore we give a short overview of cranioplasty's history, discuss the advantages and disadvantages of the used materials and present our own results within the time period from 2005 until 2014 (233 patients). **J Neurol Neurochir Psychiatr 2017; 18 (4): 136–42.**

Keywords: cranioplasty, autologous bone flap, hemikraniectomy, alloplasty

■ Einleitung

Historisch gesehen wurden Kraniektomien bei Patienten mit Schädel-Hirn-Traumen (vor allem Kriegsverletzungen) durchgeführt (Abb. 1). Heute gibt es weitere Indikationen, wie beispielsweise beim malignen Mediainfarkt oder im Rahmen einer Subarachnoidalblutung. Die zunehmende Anzahl an Patienten mit Kalottendefekten führt zu einer intensiven Diskussion hinsichtlich Lagerung des autologen Knochens, Auswahl der Patienten, OP-Zeitpunkt der Rekonstruktion und verwendetem Material.

Das Ziel bei diesem sehr heterogenen Patientenkollektiv ist eine sichere, komplikationsarme und kosmetisch ansprechende Schädeldachrekonstruktion.

■ Geschichtlicher Überblick

Erste Versuche zur Deckung von Defekten der Schädelkalotte wurden archäologischen Funden zufolge bereits um 3000 v. Ch. durchgeführt [1]. Diese Funde sprechen dafür, dass Trepanationen nach Schädelverletzungen durchgeführt [2, 3] und zu deren Deckung unterschiedliche Materialien verwendet wurden (Gold- und Silberplatten, Kokosnussschalen, Muscheln und Kürbisse) [2–5].

Seit dem frühen 16. Jahrhundert gibt es schriftliche Aufzeichnungen, die uns Auskunft über die Technik der Kranioplastie und die verwendeten Materialien geben. 1505 veröffentlich-

te Ibrahim bin Abdullah ein chirurgisches Lehrbuch, in dem die Deckung von Schädeldefekten beschrieben wurde [6]. Er war als Militärarzt in einer kriegerischen Zeit mit vielen Kopfverletzungen konfrontiert. Als Implantat zur Defektdeckung des knöchernen Schädels wurde Knochen vom Hunde- oder Ziegenschädel herangezogen. Fallopius Petronius empfahl im späteren 16. Jahrhundert die Kalottendefektdeckung mit einer Goldplatte, falls die Dura zerrissen war. Bei intakter Dura konnte der Knochen entfernt oder wiedereingesetzt werden [1]. Etwa 100 Jahre später beschrieb van Meekeren 1668 die Implantation eines Hundeknochens als Xenograft mit gutem Ausgang für den Patienten [7].

Die Verwendung von autologem Knochen (Rippen, Tibia, Os ilium) als Implantatmaterial fand schließlich im 19. Jahrhundert Verbreitung (u.a. 1821 von Walther, 1889 Seydel, 1911 Dobrotowski) [8, 9].

Vor dem Ersten Weltkrieg wurden vereinzelt Platin, Blei und Aluminium zur Kranioplastie herangezogen. Aus ökonomischen Gründen und aufgrund toxischer Nebenwirkungen wurde die Verwendung dieser Materialien rasch wieder verlassen [10, 11].

Die Kranioplastie mit allogenem Knorpelgewebe wurde ebenfalls in dieser Zeit durchgeführt. Da aber hierbei hohe Infektions- und Resorptionsraten festgestellt wurden sowie aufgrund einer ausbleibenden Kalzifizierung des Implantats war die Anwendung auf einen ebenfalls nur kurzen Zeitraum beschränkt [1, 12].

Durch Fortschritte in der chirurgischen Wundbehandlung (Debridement und primärer Wundverschluss) [13] und Verbesserung der antiseptischen, sterilen OP-Technik konnte die Mortalität nach SHT während der Zeit des Ersten Weltkriegs (1914–1918) auf ca. 35 % im Vergleich zu 71,1 % während des amerikanischen Bürgerkriegs (1861–1865) reduziert wer-

Eingelangt am 29.06.2017, angenommen am 21.08.2017

Aus der Abteilung für Neurochirurgie, Universitätsklinikum St. Pölten, Karl-Landsteiner-Universität für Gesundheitswissenschaften

Korrespondenzadresse: Dr. Elisabeth Strasser, Abteilung für Neurochirurgie, Universitätsklinikum St. Pölten, Karl-Landsteiner-Universität für Gesundheitswissenschaften, A-3100 St. Pölten, Probst-Führer-Straße 4, E-mail: Elisabeth.strasser@stpoelten.lknoe.at

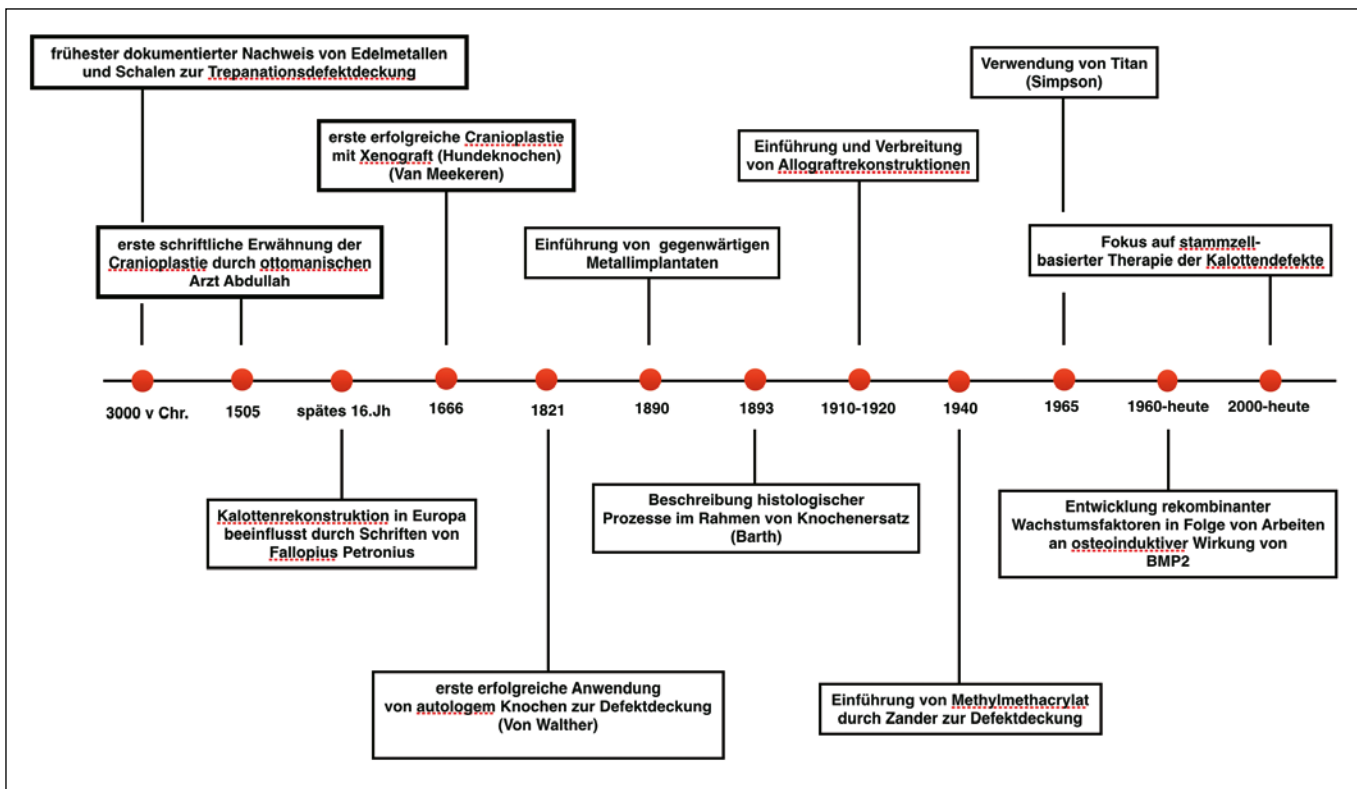


Abbildung 1: Zeitachse der geschichtlichen Entwicklung der Kranioplastie

den. Im Zweiten Weltkrieg (1939–1945) sank die Mortalität nach SHT weiter [13–15].

Damit stieg auch die Zahl der zu behandelnden Patienten mit Kalottendefekten. Gold zur Defektdeckung war zu teuer, Silber führte durch Oxidierung zur Verfärbung der Haut [1]. Legierungen wie Vitallium und Stahl sowie Tantal wurden eingesetzt. Letzteres war zwar leicht formbar und konnte zu einem guten kosmetischen Ergebnis führen, verursachte aber häufig Entzündungsreaktionen und Kopfschmerzen, die durch die gute thermische Leitfähigkeit bedingt waren und den Patienten vor allem bei Hitze und Kälte Beschwerden bereiteten [16]. Außerdem waren diese metallischen Allografts schwer und dadurch für die Patienten unkomfortabel sowie röntgenstrahlenundurchlässig.

Zu einer relevanten Verbesserung kam es 1940, als C. Zander in Deutschland erstmals PMMA (Polymethylmethacrylat) zur Kalottendefektdeckung einsetzte [17]. Es war deutlich leichter, billig und gut formbar, vor allem nicht thermokonduktiv [1] und röntgenstrahlendurchlässig. Da PMMA spröde ist, wurde als Trägermaterial 1967 Stahl-Mesh und 1989 Titan-Mesh mitverarbeitet [1, 18].

Zehn Jahre später – 1950 – wurde dann erstmals Eigenknochen reimplantiert, der zuvor kryokonserviert worden war [19]. 1965 fand Titan seine Verwendung, während poröses Polyethylen schon in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts verwendet wurde. PEEK (Polyetheretherketon) ist 1998 für die Wirbelsäulenchirurgie und Hüftendoprothetik entwickelt worden [20] und findet seit einiger Zeit nun auch Anwendung in der Kranioplastie. In den letzten Jahren wurde auch an der Verwendung von Stammzellen (aus Knochenmark, Fett) und Wachstumsfaktoren in der Behandlung der Kalottendefekte geforscht.

■ Indikationen zur Kranioplastie

Die therapeutische Entfernung eines großen Teils der Schädelkalotte wird zumeist in einer akuten Situation durchgeführt. Am häufigsten kommt dies im Rahmen der Entleerung akuter Subduralhämatome beim Schädel-Hirn-Trauma (SHT) vor. Die weiteren Indikationen der dekompressiven Hemikraniektomie sind Senkung des erhöhten Hirndrucks [10] der malignen Hirnschwellung beim Arteria cerebri media-Insult (auch maligner Mediainsult) [21], als Folge einer Subarachnoidalblutung [22] oder als Folge der Hirnschwellung eines schweren SHT. Diese sekundären (therapeutischen) dekompressiven Hemikraniektomien beim schweren SHT sind eingebettet in den (neuro-) intensivmedizinischen Algorithmus zur Senkung des Hirndrucks. Weitere, seltenere Indikationen sind Hirnschwellungen bei schweren Infektionen des Zentralnervensystems (ZNS) oder auch bei spontanen intrazerebralen Blutungen, wie rezent beschrieben [22].

Beim Großteil der Patienten, die ihre initiale schwere Erkrankung überleben, stellt sich in der Folge die Frage der Kalottenrekonstruktion. Es gibt dabei unterschiedliche Gründe diese durchzuführen: Ein wichtiges Argument zur Rekonstruktion der Schädelkalotte ist die Wiederherstellung physiologischer intrakranieller Druckverhältnisse. Das sollte zwei hauptsächliche Effekte haben: die Optimierung der zerebralen Perfusion und idealerweise das Wiedererlangen des physiologischen Gleichgewichts zwischen Liquorproduktion und Liquorresorption [23]. Im Gegensatz zur Liquorproduktion ist die Liquorresorption ein vorwiegend passiver Prozess entlang des subarachnoidalen und intravenösen (Sinus-) Druckgradienten, welcher in einem geschlossenen intrakraniellen Kompartiment seine Wirkung am besten entfalten kann. Weiters kann durch die Unterbrechung der direkten Einwirkung des atmosphärischen Drucks

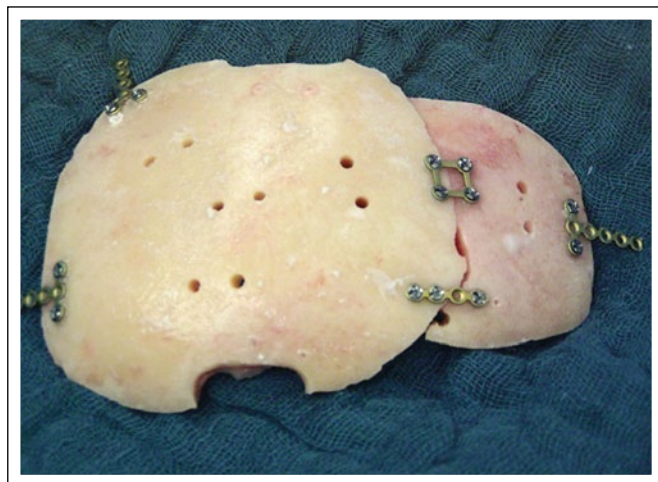


Abbildung 2: Bild eines zur Reimplantation vorbereiteten autologen Knochendeckels: Der Knochendeckel besteht aus zwei Teilen, welche bereits vor Implantation mit Titan-Mikroplatten verbunden wurden.

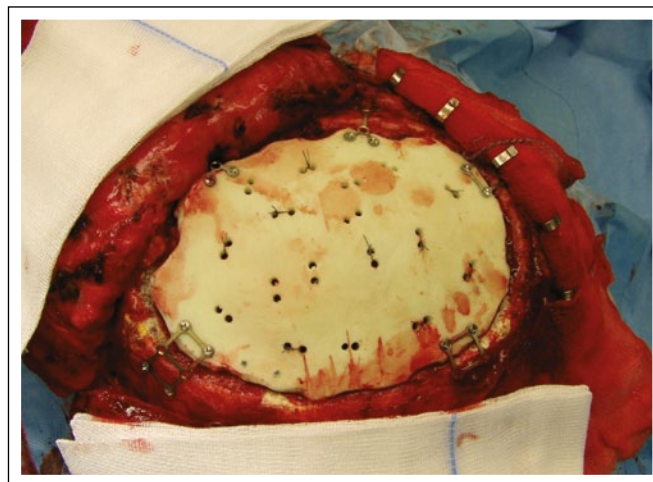


Abbildung 3: Intraoperatives Bild einer PMMA-Plastik, liegende Durahochnähte, Fixation mit Titan-Mikroplatten, Abbildung vom Autor

auf das Gehirn nach Kalottenrekonstruktion einem „Sinking Flap Syndrom“ [24] oder „Syndrom of the Trephined“ vorgebeugt werden [25, 26]. Die in ihrer Kontinuität wiederhergestellte Schädelkalotte bietet einen mechanischen Schutz für das Gehirn und die umgebenden Weichteile, was sowohl bei pflegeaufwendigen Personen („vegetative state“, Glasgow Outcome Score 2), als auch bei sehr gut genesenen Patienten essentiell ist. Nicht zuletzt hat die Wiederherstellung der Schädelkalotte und damit der Schädelform eine wichtige kosmetische Bedeutung für diese Patienten und auch deren Angehörige.

Als Kontraindikationen für eine Schädeldachplastik gelten allgemein das Vorhandensein einer Infektion, einer Hirnschwellung und der schlechte Allgemeinzustand des Patienten, der ein zu hohes perioperatives Risiko darstellen würde [27].

■ Materialien (Tab. 1)

Der Anspruch an das zur Defektdeckung verwendete Material ist folgender: Es sollte idealerweise leicht verfügbar, leicht bearbeitbar, leicht formbar sowie kostengünstig sein. Es soll stabil und formbeständig sein und eine gute Biokompatibilität

aufweisen [28]. Weiters sollte es MRT-kompatibel, aber in einem gewissen Maße auch röntgendicht sein und keine signifikante Thermokonduktion aufweisen.

Die derzeit am häufigsten verwendeten Materialien sind der autologe Eigenknochen, PMMA, Hydroxylapatit, Titan-Mesh, PEEK und Aluminiumoxidkeramik.

Autologer Eigenknochen (Abb. 2)

Die Vorteile des autologen Eigenknochens sind die exzellente Biokompatibilität, die Passgenauigkeit und die niedrige Frakturnrate. Es gibt keine Herstellungskosten, sondern lediglich Lagerungskosten.

Die Nachteile des Eigenknochens sind die höheren Komplikationsraten, wobei die Resorption und die Infektion im Vordergrund stehen [29].

Die Lagerung des Eigenknochens ist in Österreich im Rahmen des Gewebeasservierungsgesetz, welches seit August 2009 umgesetzt ist, geregelt. Die Entnahme und Aufbereitung erfolgt nach einem standardisierten Protokoll, der Kalotten-

Tabelle 1: Vor- und Nachteile der am häufigsten verwendeten Kranioplastiematerialien

Material	Vorteile	Nachteile
Eigenknochen	beste Biokompatibilität, niedrige Frakturnrate, kostengünstig?	Knochenresorption, Infektionen
PMMA (Polymethylmethacrylat)	stabil, Hitze resistent, inert, günstig, einfach in der Verarbeitung	Entzündungsreaktionen, sekundäre Infektionen, fraktur anfällig, exotherme Wärmereaktion, keine Verbindung mit Knochen, kosmetisches Ergebnis
Hydroxylapatit (Kalziumphosphatgemisch)	gute Biokompatibilität, gute chemische Knochenbindung, osteokonduktiv, gut zu modellieren, isothermes Aushärten, behält nach Aushärtung Volumen & Größe	niedrige Zugfestigkeit, spröde, Fragmentierung, hohe Infektionsrate, kosmetisches Ergebnis, nur für kleine Defekte geeignet
Titan-Mesh	nicht entzündlich, korrosionsbeständig, stabil, Formbarkeit, niedrige Infektionsrate, gute kosmetische Resultate	teuer, Artefakte, verformbar
Aluminiumoxid-Keramik	hart, inert, gute Biokompatibilität, niedrige Infektionsrate, gute kosmetische Resultate	teuer, zerbrechlich
PEEK-Implantat	strahlendurchlässig, inert, stabil, elastisch, keine Artefakte, leichte Handhabung, nicht wärme-/kälteleitend, hohe Hitzetoleranz	sehr teuer, 3D-Planung & Bildgebung notwendig, keine Osteointegration, Infektionsrate

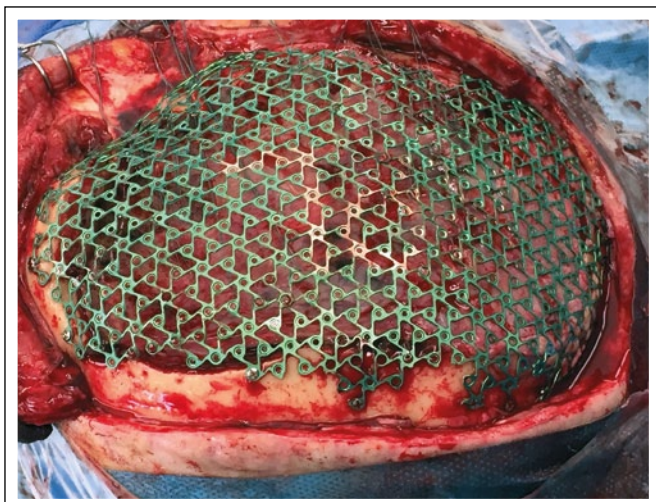


Abbildung 4: Intraoperatives Bild eines implantierten Titan-Mesh rechts fronto-parieto-temporal, mit Mikroschrauben fixiert. Abbildung vom Autor.

teil wird in zwei sterilen Kunststoffbeuteln verpackt und in einem dritten Beutel schockgefroren. Die Lagerung erfolgt bei -80°C für maximal ein Jahr (365 Tage) [30].

Polymethylmethacrylat (PMMA)

Polymethylmethacrylat wurde erstmals 1940 von C. Zander in Deutschland implantiert und fand weite Verbreitung während des Zweiten Weltkriegs (1939–1945). Es ist ein leichter Werkstoff, der billig und gut formbar ist. Es ist strahlendurchlässig, stabil, inert und nicht thermokonduktiv. Weiters ist PMMA mit einem antibiotischen Gentamicinzusatz versehen und enthält Zirkoniumdioxid als Röntgenkontrastmittel.

Der Nachteil von PMMA ist die Sprödigkeit und damit die Brüchigkeit und die Anfälligkeit für Frakturen. PMMA kann Entzündungsreaktionen verursachen und härtet unter Hitzeentwicklung aus, welche zum Zeitpunkt der höchsten Wärmeentwicklung gewebschädigend ist.

Trotz der guten Formbarkeit kann es schwierig sein, ein gutes kosmetisches Ergebnis zu erreichen. Um die Frakturanfälligkeit zu reduzieren, wurde PMMA einige Zeit nach seiner Einführung als Kranioplastiematerial in Verbindung mit Stahl- und Titan-Mesh angewandt [3, 18]. Ebenso ist die Verwendung in Kombination mit autologem Eigenknochen möglich (Abb. 3).

Hydroxylapatit

Dieser Werkstoff wird seit 1970 verwendet und zeichnet sich durch seine hohe Biokompatibilität neben osteokonduktiven und osteoinduktiven Eigenschaften aus. Hydroxylapatit ist leicht formbar, formbeständig und härtet ohne Hitzeentwicklung aus. Nachteilig sind seine geringe Zugfestigkeit, seine Brüchigkeit mit häufiger Fragmentierung und eine hohe Infektionsrate [31].

Aufgrund seiner primär weichen Konsistenz sind große Kranioplastien nur schwierig zu modellieren. Zur Defektdeckung von großen Kraniektomien kann man es daher in Kombination mit einem Titan-Mesh anwenden. Dies hilft, ein individuell gutes kosmetisches Ergebnis zu erreichen und begünstigt die Osteointegration des Titan-Meshes.



Abbildung 5: PEEK-Implantat links fronto-parieto-temporal in situ, mit Titan-Mikroplatten fixiert und liegenden Durahochnähten. Abbildung vom Autor.

Titan-Mesh (Abb. 4)

Titan wird seit 1965 alleine oder in Verbindung mit PMMA eingesetzt. Es ist korrosionsbeständig, stabil, biokompatibel und weist nach Kranioplastien eine geringe Infektionsrate auf (2,6 % nach Matsuno et al. [32]). Das kosmetische Ergebnis ist meist zufriedenstellend und es sind keine allergischen Reaktionen auf das Implantat zu erwarten.

Titan-Mesh ist allerdings teuer, verursacht Artefakte in der Bildgebung und ist verformbar.

Aluminiumoxid-Keramik

Diese ist inert, sehr hart und weist eine geringe postoperative Infektionsrate auf (5,9 %) [31]. Das kosmetische Ergebnis ist gut, da das Implantat computerassistent nach einem 3D-Datensatz hergestellt wird und daher eine hohe Passgenauigkeit aufweist. Die Anfertigung des Implantats ist allerdings teuer und aufwendig (CAD).

Polyetheretherketon (PEEK)

Polyetheretherketon ist ein halbkristallines Polymer. Es ist strahlendurchlässig und verursacht keine Artefaktbildung in der Bildgebung, es ist inert, stabil und elastisch, ähnelt darin dem kortikalen Knochen, lässt sich intraoperativ leicht handhaben und ist nicht thermokonduktiv. Es ist mittels Dampf oder Gammastrahlung sterilisierbar.

Die Passform ist ausgezeichnet und das kosmetische Ergebnis ist durch die aufwendige Planung und Anfertigung des Implantats mittels 3D-CT und CAD (computer assisted design) als Patienten-spezifisches Implantat (PSI) sehr gut – vergleichbar der oben erwähnten Aluminiumoxid-Keramik (Abb. 5).

Demgegenüber stehen hohe Fertigungskosten, eine gewisse Infektionsrate, sowie eine fehlende Osteointegration.

■ Eigene Daten

Wir führten eine retrospektive Datenanalyse an der neurochirurgischen Abteilung des Universitätsklinikums St. Pölten über einen Zeitraum von zehn Jahren durch (1/2005 bis 12/2014). In dieser Zeit wurde bei 439 Patienten eine dekom-

Tabelle 2: Darstellung der Komplikationsrate primärer und sekundärer Kalottenrekonstruktionen, durchgeführt im Universitätsklinikum St. Pölten von 01.01.2005 bis 31.12.2014. Das mittlere Follow-up beträgt 2,9 Jahre (69 Tage bis 10,6 Jahre), das mittlere Alter 57 Jahre (18 bis 93 Jahre).

	Eigenknochen	Palakos	PEEK	MESH	PMMA-CAD	Norian
Primäre Rekonstruktion (n = 233)	93 % (217)	5 % (11)	2 % (4)	–	–	0,4 % (1)
Sekundäre Rekonstruktion (n = 31)	–	58 % (18)	26 % (8)	10 % (3)	6 % (2)	–
Komplikationen gesamt	28 % (61)	21 % (10/47)				
– Implantatbezogen						
Resorption	13 % (31)	–	–	–	–	–
Infektion	4 % (8)	20 % (2)	10 % (1)	–	20 % (2)	–
Lockerung	0,5 % (1)	20 % (2)	–	–	–	–
– Eingriffsbezogen						
Epiduralhämatom	4 % (9)	–	20 % (2)	–	–	–
Wundinfektion	2 % (4)	–	–	–	–	–
Sonstige	4 % (8)	10 % (1)	–	–	–	–

pressive Kraniektomie durchgeführt. Das Verhältnis zwischen Männern und Frauen betrug ca. 3:2, das durchschnittliche Alter betrug 57 Jahre (18–93 Jahre).

Von diesen 439 Patienten wurde bei 206 Patienten in der Folge eine Kalottenrekonstruktion durchgeführt. Bei 27 Patienten erfolgte die Kalottenrekonstruktion im Universitätsklinikum St. Pölten, nachdem die Entlastungskraniektomie in einem auswärtigen Krankenhaus durchgeführt wurde. Im gesamten wurden daher 233 Kalottenrekonstruktionen durchgeführt. Im Durchschnitt erfolgten die Kranioplastien nach 3,5 Monaten.

Unser primär verwendetes Implantat zur Defektdeckung stellte in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle der autologe kryokonservierte Eigenknochen dar (93 %, 217/233). 4,7 % (11 Patienten) erhielten primär ein Implantat aus PMMA, 1,7 % (4 Patienten) aus PEEK und 0,4 % (1 Patient) aus Hydroxylapatit. Das mittlere Follow-up betrug 2,9 Jahre (69d bis 10,6a).

Als Komplikation definierten wir Knochenresorption, Infektion, Implantatlockerung, Wundheilungsstörung, Epiduralhämatom und sonstige Komplikationen (Ventrikulitis, Hygrom, Liquorfistel). Die gesamte Komplikationsrate nach Eigenknochenreimplantation betrug 28 % (61/217) im Vergleich zu 12,5 % (2/16) bei der Verwendung einer Alloplastik. Alle Verfahren zusammengenommen, sahen wir bei 27 % eine Komplikation. Der mittlere Nachbeobachtungszeitraum war 2,9 Jahre (2 Monate bis 10,6 Jahre).

Nach Reimplantation des Eigenknochens ergab sich in 217 Fällen eine Resorptionsrate von 13 %, eine Infektionsrate von 3,7 % und Lockerungen in 0,5 % der Fälle. Alle 9 infizierten Knochendeckel wurden im Mittel nach 149,8 Tagen (9–421 Tage) entfernt. Epiduralhämatome fanden wir in 4,1 %. Von diesen 61 Patienten mit Komplikationen musste in 33 Fällen der eingesetzte Knochen nach Reimplantation neuerlich entfernt werden. Bei diesen 33 Patienten war eine Infektion in 24,4 % (8 Patienten) und eine Knochendeckelresorption in 60,6 % (20 Patienten) die Ursache. Im Rahmen einer Rekonstruktion mit primärer Alloplastik (16 Patienten) betrug die Infektionsrate 6,3 %.

Von den 33 Patienten, welche nach Kranioplastie einen Verlust des Eigenknochendeckels erlitten, erhielten 31 ein sekundäres Implantat. Dieses war in 58 % aus PMMA (18 Patienten), in 26 % aus PEEK (8), in 10 % ein Titan-Mesh (3) und in 6 % ein PMMA-CAD PSI (2).

Titan-Mesh wurde an unserer Abteilung in o.g. Zeitraum nicht zur primären Defektdeckung eingesetzt, sondern nur im Revisionsfall.

47 Patienten erhielten eine Alloplastik, die Komplikationsrate lag bei 22,2 % (10 Patienten). In 17,7 % (bei 8 Patienten) mussten wir das Allograft erneut aufgrund konservativ nicht behandelbarer Komplikationen entfernen. Bei diesen Patienten haben wir im Beobachtungszeitraum keinen weiteren Versuch zur Kalottenrekonstruktion unternommen. Insgesamt machte die Knochendeckelresorption 48,5 % aller Komplikationen aus.

Die Komplikationen sind in Tabelle 2 dargestellt, aufgeteilt in implantatbezogene- und eingriffsbezogene Komplikationen.

Bezogen auf das Alter gab es eine Häufung in der Altersgruppe der 50–59- und der 60–69-Jährigen (jeweils 19 bzw. 13 Patienten). Hier sahen wir v.a. die Knochenresorptionen in 47 % bzw. 69 % und Infektionen in 16 % bzw. 8 %. Die Anzahl an Patienten mit Knochenresorption war aber unabhängig vom Zeitpunkt der Kranioplastie in beiden Gruppen etwa gleich hoch. Sie betraf 16 Patienten, die innerhalb von drei Monaten nach der Kraniektomie die Defektdeckung erhielten, und 15 Patienten, die später als nach 3 Monaten operiert wurden.

44,4 % all unserer behandelten Patienten erreichten ein günstiges Outcome, definiert als ein GOS $\geq$ 4.

■ Diskussion

In der Literatur wird der Zeitpunkt der Kranioplastie in Bezug zur postoperativen Komplikationsrate und dem Outcome ausgiebig beleuchtet. Eine frühzeitige Kranioplastie wird in den meisten Publikationen als Intervall von 0 bis 3 Monaten zwischen Kraniektomie und Defektdeckung bezeichnet. Der opti-

male Zeitpunkt der Kalottenrekonstruktion ist abhängig vom Patientenzustand, dem lokalen Wundstatus, einer eventuell vorliegenden Hirnschwellung sowie dem Auftreten von Komplikationen nach der primären Kraniektomie [33].

Während in den späten 1970er-Jahren die Kalottenrekonstruktion oft erst nach sechs oder mehr Monaten durchgeführt wurde und auch Daten publiziert wurden, die ein schlechteres Ergebnis bei Deckung innerhalb der ersten 6 Monate zeigten [34], zeigt sich seit der Jahrtausendwende ein Trend dahin, die Kalottenrekonstruktion frühzeitig durchzuführen [35]. Gründe für eine spätere Kalottenrekonstruktion liegen in der vollständig abgeheilten Wunde, in der dadurch (scheinbar) geringeren Wundinfektion, sowie in der Ausbildung einer guten Narbenplatte als Präparationsschicht zwischen Hautlappen und Dura mater. Chun stellte allerdings fest, dass sich bereits innerhalb eines Monats nach Kraniektomie eine gut identifizierbare Dissektionsschicht gebildet hat und somit die Präparation sicher möglich war. In seinem Patientenkollektiv traten keine Komplikationen wie Infektion, postoperative Hygrombildung oder intraoperative Hirnparenchymverletzungen auf [36].

Beauchamp [37] zeigte 2010 keinen Unterschied in der Komplikationsrate bei Patienten, die frühzeitig (sobald die Hirnschwellung zurückgegangen war) oder nach 3–6 Monaten operiert wurden. Durch eine frühzeitige Operation können weiters die Gesamtkosten der Therapie gesenkt werden.

Auch Oh et al. publizierten 2016 Daten von 131 Patienten, wobei die frühe Kranioplastie innerhalb von 90 Tagen zu keiner höheren Infektionsrate geführt hatte. Es bestand aber ein Zusammenhang zwischen dem verwendeten Implantatmaterial, den vor der Kranioplastie erforderlichen Operationen wie Shuntanlage und einer erhöhten Infektrate. Nichtmetallische Allografts (PMMA, Hydroxylapatit) waren in ihrer retrospektiven Datenanalyse ein Risikofaktor für eine Infektion ebenso wie – interessanterweise – jüngeres Patientenalter [38].

Die Überlegung, so früh wie möglich die Kalottenrekonstruktion durchzuführen, betrifft auch die Inzidenz des sich öfters erst im Verlauf entwickelnden Hydrozephalus. Im speziellen dürfte die Dysbalance der Liquorproduktion und -resorption beim posttraumatischen Hydrozephalus durch eine frühere Kalottenrekonstruktion positiv beeinflusst werden. Demgegenüber steht jedoch eine rezente Übersichtsarbeit von Xu an 1209 Patienten. Die Patienten der frühen OP-Gruppe hatten keine höheren Raten an Komplikationen, Infektionen, intrakraniellen Hämatomen oder Hygromen. Die OP-Zeit war kürzer im Vergleich zur späteren Kranioplastiegruppe, allerdings war die Rate an Liquorzirkulationsstörungen signifikant höher. Hier wurde als Vorteil der frühen OP lediglich die kürzere OP-Dauer und damit der eventuell kürzere KH-Aufenthalt herausgearbeitet, während die Komplikationsrate nicht geringer war. Die Anzahl an Patienten mit Hydrozephalus war signifikant höher [39].

Eine rezente Metaanalyse von Malcolm zeigte, dass bei vergleichbaren klinischen und demographischen Daten das Outcome in der Gruppe, die innerhalb der ersten 90 Tage die Kranioplastie erhielt, besser war als bei später durchgeführter Kranioplastie [35]. Unabhängig vom Zeitpunkt der Kranioplastie

besserten sich in beiden Gruppen die kognitiven Fähigkeiten. Dieser Effekt war in der ersten postoperativen Phase am ausgeprägtesten und flachte mit zunehmendem zeitlichen Abstand zur OP ab [40].

Die Rate an Knochendefektdeckungen am Schädel hat durch die steigende Zahl an dekompressiven Entlastungskraniektomien infolge SHT, ICB, SAB oder malignem Insult zugenommen. Nicht nur der Schutz des Gehirns vor mechanischen Einflüssen im Sinne der Verletzungsprophylaxe und die Kosmetik sind hierbei Faktoren für die Entscheidung zur Kranioplastie. Verschiedene Autoren haben den positiven Effekt der Prozedur in Hinsicht auf ein besseres klinisch neurologisches Outcome nachgewiesen. Durch die Normalisierung des zerebralen Blutflusses, Verbesserung der kollateralen Perfusion, Reduktion des Gewebeödems und Optimierung von Oxygenierung und Glukosemetabolismus zeigte sich ein besseres Outcome nach der Kranioplastie. Der mediane Blutfluss war 6 Wochen nach Kranioplastie ipsi- wie kontralateral signifikant höher [23].

Ca. 50 % der Patienten entwickeln nach Kraniektomie das „Syndrome of the Trephined“. Dieses ist charakterisiert durch persistierende Kopfschmerzen, Schwindel, Müdigkeit, kognitive Einbußen, Reizbarkeit, epileptische Anfälle und psychiatrische Symptome. Fallweise bestehen auch kontralaterale motorische Ausfälle. Ursächlich für die Entwicklung desselben wird eine Störung der Liquorzirkulation und kortikalen Perfusion angenommen. Diese entwickelt sich durch das Einsinken des Haut- und Galealappens infolge des atmosphärischen Drucks und Kompression des Subarachnoidalraumes [25]. Diese Symptome waren nach frühzeitiger Kranioplastie in bis zu 88 % der symptomatischen Patienten reversibel bzw. deutlich in ihrer Ausprägung verringert [26]. Durch die Kranioplastie können somit auch der psychologische Status und die neurokognitiven Funktionen verbessert werden [40].

Die auftretenden Komplikationen lassen sich in erkrankungsspezifische und eingriffsspezifische Komplikationen unterscheiden. So ist zum Beispiel die Rate an Hydrozephalus nach Kraniektomie wegen SAB und sekundärer Kranioplastie erhöht. Krause-Titz et al. berichteten in ihrer retrospektiven Datenanalyse über knapp 250 Patienten von einer Komplikationsrate von 18,5 %. Hier inbegriffen waren Wundinfektionen, Epiduralhämatome, Hydrozephalus und epileptische Anfälle. Ein shuntpflichtiger Hydrozephalus und eine vorliegende Epilepsie waren prognostische Faktoren für ein schlechteres Outcome (GOS 2 und 3), wobei die Autoren nicht differenzieren konnten, ob der Hydrozephalus und die Epilepsie durch die Kranioplastie bedingt waren oder eine Folge der initialen Diagnose (SAB) oder Operation (dekompressive Kraniektomie) waren. Der Zeitpunkt der Kranioplastie spielte in ihrer retrospektiv angelegten Studie, in der in 58,1 % der in der Bauchdecke gelagerte Eigenknochen reimplantiert und in 22,6 % ein PMMA-Allograft verwendet wurde, keine Rolle [41]. Dies deckt sich mit unseren Beobachtungen, obwohl in unserem Patientenkollektiv der Prozentsatz an autologem Knochen deutlich höher war.

Chang berichtete über eine Komplikationsrate von 16,4 %. In dieser Arbeit zeigte sich eine Altersabhängigkeit und eine Ab-

hängigkeit vom Zeitpunkt der Kranioplastie. Patienten zwischen 0 und 39 Jahren hatten in 8 % der Fälle Komplikationen, während es in der Gruppe der 40–59-Jährigen 20 % und in der Gruppe der über 60-Jährigen 26 % waren [26]. Auch diese Beobachtung konnten wir in unserer retrospektiven Datenanalyse machen. Die Komplikationsrate war bei frühzeitiger Kranioplastie gering (9 % innerhalb der ersten 3 Monate) und steigerte sich auf 26 % nach einem Intervall von mehr als 6 Monaten.

Huang et al. führten weiters die Infektion des reimplantierten Eigenknochens, der bei -75 °C gelagert wurde, in 3,3 % ihrer 153 Patienten auf eine lange OP-Dauer und eine insuffiziente subgaleale Drainage zurück. Die Kranioplastien wurden allerdings sehr frühzeitig, innerhalb von 14 Tagen nach initialer Kraniektomie, durchgeführt [42].

■ Praxisrelevanz

Die Zahl der dekompressiven Kraniektomien hat in den letzten Jahrzehnten durch eine erweiterte Indikationsstellung deutlich zugenommen. Daraus resultiert eine steigende Anzahl von Patienten mit Kalottendefekten.

Für den optimalen Zeitpunkt der Rekonstruktion liegen keine hinreichenden Evidenzen vor.

Die Wahl des Implantates wird derzeit weitgehend individuell entschieden.

Am häufigsten wird die autologe Knochenreimplantation durchgeführt.

Die zunehmende Anzahl an Publikation über Kranioplastien spiegelt die Bedeutung des Themas wieder.

■ Interessenkonflikt

Keiner.

Literatur:

- Sanan A, Haines St. Repairing holes in the head: a history of cranioplasty. *Neurosurgery* 1997; 40: 588–603.
- Daland J. Depressed fracture and trephining of the skull by the Incas of Peru. *Ann Med Hist* 1935; 7: 550–8.
- MacCurdy GC. Human skeletal remains from the highlands of Peru. *Am J Phys Anthropol* 1923; 6: 217–67.
- Cushing H. Surgery of the head. In: Keen WW (ed). *Surgery, Its principles and practice*. WB Saunders, Philadelphia, 1908, Vol 3, pp 17–276.
- Courville CB. Cranioplasty in prehistoric times. *Bull Los Angel Neuro Soc* 1959; 24: 1–8.
- Aciduman A, Belen D. The earliest document regarding the history of cranioplasty from the ottoman era. *Surg Neurol* 2007; 68: 349–53.

- Haeseker B. Mr. Job van Meekeren (1611–1666) and surgery of the head. *Plast Reconstr Surg* 1988; 82: 539–46.
- Woolf JI, Walker AE. Cranioplasty: collective review. *Int Abstr Surg* 1945; 81: 1–23.
- Dobrotowski W. Die Rippen als Material zur Knochenautoplastik. *Zentralbl Chir* 1911; 32: 1081–3.
- Calikoglu C, Akgül MH, Akgül O, Karatas A. Effects of decompressive craniectomy, hypertonic saline solution and mannitol on an experimental model of cerebral ischemia. *Ulus Travma Acil Cerrahi Derg* 2015; 21: 425–31.
- Bell RS, Ecker RD, Severson MA III, Wanebo JE, et al. The evolution of the treatment of traumatic cerebrovascular injury during wartime. A review. *Neurosurg Focus* 2010; 28: E5.
- Monroe AR. The operation of cartilage-cranioplasty. *Can Med Assoc* 1924; 14: 47–9.

- Cushing H. Notes on penetrating wounds of the brain. *Br Med J* 1918; 1: 221–6.
- United States Surgeon General's Office: Medical and Surgical History of the War of the Rebellion (1861–1865). US Government Printing Office, Washington, DC, Vol 1, 1883.
- Webster JE, Schneider RC, Lofstrom JE. Observations on early type of brain abscess following penetrating wounds of the brain. *J Neurosurg* 1946; 3: 7–14.
- Fulcher OH. Tantalum as a metallic implant to repair cranial defects. *JAMA* 1943; 121: 931–3.
- Reeves DL. Cranioplasty. Charles C Thomas, Springfield, IL, 1950.
- Alberstone CD, Benzel EC (eds) *Calvarial and dural reconstruction*. American Association of Neurological Surgeons, Park Ridge, IL, 1998, pp 35–46.
- Hauptli J, Segantini P. New tissue preservation method for bone flaps following decompressive craniotomy. *Helv Chir Acta* 1980; 47: 121–4.
- Hanasono MM, Goel N, DeMonte F. Calvarial reconstruction with polyetheretherketone implants. *Ann Plast Surg* 2009; 62: 653–5.
- Hacke W, Schwab S, Horn M et al. „Malignant“ middle cerebral artery infarction: clinical course and prognostic signs. *Arch Neurol* 1996; 53: 309–15.
- Dorfer C, Frick A, Knosp E, Gruber A. Decompressive hemicraniectomy after aneurysmal subarachnoidal hemorrhage. *World Neurosurg* 2010; 74: 465–71.
- Mah JK, Kass RA. The impact of cranioplasty on cerebral blood flow and its correlation with clinical outcome in patients underwent decompressive craniectomy. *Asian J Neurosurg* 2016; 11: 15–21.
- Sarov M, Guichard JP, Vahedi K et al. Sinking flap syndrome and paradoxical herniation after hemicraniectomy for malignant hemispheric infarction. *Stroke* 2010; 41: 560–2.
- Yang XF, Wen L, Shen F, Li G, et al. Surgical complications secondary to decompressive craniectomy in patients with a head injury: a series of 108 consecutive cases. *Acta Neurochir (Wien)* 2008; 150: 1241–7.
- Chang V, Hartzfeld P, Langlois M, Mahmood A, Seyfried D. Outcomes of cranial repair after craniectomy. *J Neurosurg* 2010; 112: 1120–4.
- Aydin S, Kucukyuruk M, Abuzayed B, Aydin S, Sanus GZ. Cranioplasty: A review of materials and techniques. *J Neurosci Rural Pract* 2011; 2: 162–7.

- Eppley BL. Alloplastic cranioplasty. *Oper Tech Plast Reconstr Surg* 2003; 9: 16–22.
- Shah AM, Jung H, Skirboll S. Materials used in cranioplasty: a history and analysis. *Neurosurg Focus* 2014; 36: E19.
- QM-Handbuch Lagerung von Schädelkalotten, Landesklinik St. Pölten, Geltungsbereich Neurochirurgie OP am LK St.Pölten, gültig ab 7/2012.
- Costantino PD, Chaplin JM, Wolpoe ME, et al. Application of fast-setting hydroxyapatite cement: cranioplasty. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2000; 123: 409–12.
- Matsuno A, Tanaka H, Iwamuro H, Takanashi S, et al. Analysis of the factors influencing bone graft infection after delayed cranioplasty. *Acta Neurochir (Wien)* 2006; 148: 535–40.
- Yadla S, Campbell PG, Chitale R, Maltenfort MG, et al. Effect of early surgery, material and method of flap preservation on cranioplasty infections: a systematic review. *Neurosurgery* 2011; 68: 1124–9.
- Rish BL, Dillon JD, Meirrowsky AM, Cave-ness WF, et al. Cranioplasty: a review of 1030 cases of penetrating head injury. *Neurosurgery* 1979; 4: 381–5.
- Malcolm JG, Rindler RS, Chu JK, Chokshi F, et al. Early cranioplasty is associated with greater neurological improvement: a systematic review and meta-analysis. *Neurosurgery* 2017; doi: 10.1093/neuros/nyx182.
- Chun HJ, Yi HJ. Efficacy and safety of early cranioplasty at least within 1 month. *J Craniofac Surg* 2011; 22: 203–7.
- Beauchamp KM, Kashuk J, Moore EE, Bolles G, et al. Cranioplasty after postinjury decompressive craniectomy: is timing of the essence? *J Trauma* 2010; 69: 270–4.
- Oh JS, Lee KS, Shim JJ, Yoon SM, et al. Which one is better to reduce the infection rate, early or late cranioplasty? *J Korean Neurosurg Soc* 2016; 59: 492–7.
- Xu H, Niu C, Fu X, Ding W, et al. Early cranioplasty vs late cranioplasty for the treatment of cranial defect: a systematic review. *Clin Neurol Neurosurg* 2015; 136: 33–40.
- Corallo F, DeCola MC, LoBuono V, Marra A, et al. Early vs late cranioplasty: what is better? *Int J Neurosci* 2017; 127: 688–93.
- Krause-Titz UR, Warneke N, Freitag-Wolf S, Barth H, Mehdorn HM. Factors influencing the outcome (GOS) in reconstructive cranioplasty. *Neurosurg Rev* 2016; 39: 133–9.
- Huang YH, Lee TC, Yang KY, Liao CC. Is timing of cranioplasty following posttraumatic craniectomy related to neurological outcome? *Int J Surg* 2013; 11: 886–90.

Dr. med. Elisabeth Strasser

2004–2010 Studium an der Medizinischen Universität Wien, Auslandsstudium an der Université de Rennes, Frankreich. Seit 2012 Facharzt Ausbildung an der neurochirurgischen Abteilung des Universitätsklinikums St. Pölten.



Mitteilungen aus der Redaktion

Besuchen Sie unsere zeitschriftenübergreifende Datenbank

☒ [Bilddatenbank](#)

☒ [Artikeldatenbank](#)

☒ [Fallberichte](#)

e-Journal-Abo

Beziehen Sie die elektronischen Ausgaben dieser Zeitschrift hier.

Die Lieferung umfasst 4–5 Ausgaben pro Jahr zzgl. allfälliger Sonderhefte.

Unsere e-Journale stehen als PDF-Datei zur Verfügung und sind auf den meisten der marktüblichen e-Book-Readern, Tablets sowie auf iPad funktionsfähig.

☒ [Bestellung e-Journal-Abo](#)

Haftungsausschluss

Die in unseren Webseiten publizierten Informationen richten sich **ausschließlich an geprüfte und autorisierte medizinische Berufsgruppen** und entbinden nicht von der ärztlichen Sorgfaltspflicht sowie von einer ausführlichen Patientenaufklärung über therapeutische Optionen und deren Wirkungen bzw. Nebenwirkungen. Die entsprechenden Angaben werden von den Autoren mit der größten Sorgfalt recherchiert und zusammengestellt. Die angegebenen Dosierungen sind im Einzelfall anhand der Fachinformationen zu überprüfen. Weder die Autoren, noch die tragenden Gesellschaften noch der Verlag übernehmen irgendwelche Haftungsansprüche.

Bitte beachten Sie auch diese Seiten:

[Impressum](#)

[Disclaimers & Copyright](#)

[Datenschutzerklärung](#)