

Medizinische Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

**Isolierte Frakturen der Sinus frontalis Vorderwand und des Orbitadaches
– eine retrospektive Untersuchung unter spezieller Betrachtung der
Osteosynthesematerialien und Komplikationen**

Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Zahnmedizin (Dr. med. dent.)

vorgelegt
der Medizinischen Fakultät
der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

von Stephan Weinmann
geboren am 15.02.1996 in Mindelheim
Betreuer: Prof. Dr. Dr. Alexander W. Eckert

Gutachter:

- Prof. Dr. Arne Viestenz
- Priv.-Doz. Dr. Dr. Sebastian Hoefert (Tübingen)

06.04.2021

18.03.2022

Referat

Ziel der retrospektiven Auswertung des monozentrischen Patientengutes im Zeitraum von 01/2011 bis 06/2017 mit der Diagnose einer isolierten Sinus frontalis-Vorderwandfraktur war eine genauere Betrachtung der verwendeten Osteosynthesematerialien und der aufgetretenen Komplikationen. Insgesamt wurden 18 Patienten ausgewertet, wobei in 14 Fällen eine Orbitabeteiligung vorlag. Das Durchschnittsalter betrug 44 Jahre (min. 17, max. 77), die Geschlechterverteilung wies einen deutlich höheren Anteil an männlichen Patienten (n=14) auf. Die Frakturen wurden nach einer Klassifikation von Garg et al. in 5 Subtypen eingeteilt. Der Zugang wurde zumeist über die bestehende Wunde (n=10) gewählt, aber auch über die Augenbraue (n=4), einer Kombination aus beidem (n=2) oder einem Bügelschnitt (n=2). Es wurden sechs verschiedene Osteosynthesetechniken angewendet, die titanbasierte Plattenosteosynthese mit Mikroplatten (n=10), die titanbasierte Gitterosteosynthese (n=2), das bioresorbierbare ResorbX-System (n=2), befestigt mit dem SonicWeld-System, ein PSI (n=1), Gewebekleber (n=2) und ein autologes Knochen-transplantat (n=1). Dabei traten überwiegend Minor-Komplikationen auf (n=5), wie beispielsweise Spannungskopfschmerzen oder Wetterfühligkeit. Major-Komplikationen, wie die Sinusitis frontalis oder Mukozelen sind bis zum heutigen Datum nicht aufgetreten (Nachkontrolle bis 5,5 Jahre). Bei einfachen Impressionsfrakturen der Sinus frontalis-Vorderwand und des Orbitadaches ist am ehesten die Plattenosteosynthese indiziert, wobei titanbasierte und PDLLA-basierte Osteosynthesematerialien ähnlich gute Ergebnisse aufweisen. Auch Gewebekleber, beispielsweise Histoacryl, können für die Fixation von Knochenfragmenten verwendet werden, allerdings sind hierzu weiter Untersuchungen abzuwarten. Bei größeren Impressionsfrakturen mit oder ohne Knochenverlust, ist eine Gitterosteosynthese am ehesten zu empfehlen, mit der die Stirnkontur einfach und schnell wiederherzustellen ist und dabei auch kleinere Fehlstellen in der Knochensubstanz zu überbrücken sind. Eine Alternative stellt hier das PSI dar, das vor allem bei größeren Defekten eine gute Stabilität, optimale Passung und ein sicheres ästhetisches Ergebnis sichert. Falls ein größerer Knochenverlust vorliegt, bietet sich ein autologes Knochentransplantat an, beispielsweise aus der Tabula externa, für solche Fälle das Mittel der Wahl. Typische chronische Komplikationen bei Frakturen der Sinus frontalis-Vorderwand sind Schmerzen, Asymmetrien, chronische Sinusitis und Mukozelenbildung. Bei Trümmerfrakturen empfiehlt sich eine gezielte intraoperative Endoskopie zur Sicherung der Ventilation und Drainage des Sinus frontalis und Vermeidung möglicher Spätkomplikationen.

Weinmann, Stephan: Isolierte Frakturen der Sinus frontalis Vorderwand und des Orbitadaches – eine retrospektive Untersuchung unter spezieller Betrachtung der Osteosynthesematerialien und Komplikationen, Halle (Saale), Univ., Med. Fak.; Diss., 79 Seiten, 2021

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Anatomie	1
1.1.1	Sinus frontalis	1
1.1.2	Orbita	3
1.1.3	Funktion der Pneumatisation	4
1.2	Fraktur	4
1.2.1	Allgemeines	4
1.2.2	Epidemiologie	5
1.2.3	Ätiologie	5
1.2.4	Komplikationen	5
1.3	Therapiekonzepte	7
1.3.1	Ziele der Therapie	7
1.3.2	Indikationen für Therapie	8
1.3.3	Untersuchung	8
1.3.4	Zugänge	9
1.3.5	Osteosyntheseverfahren	10
1.3.6	Komplikationen	15
2	Zielstellung	16
3	Material und Methoden	17
3.1	Klassifikation	17
3.2	Operationstechniken	18
3.3	Werkstoffkunde	18
3.3.1	Titan	18
3.3.2	PDLLA	20
3.3.3	Gewebekleber	21
3.3.4	Autogenes Knochentransplantat	21
4	Ergebnisse	22
4.1	Häufigkeitsverteilung	22
4.2	Unfallmechanismus	23
4.3	Operation der Sinus frontalis-Vorderwandfrakturen	25
4.3.1	Fraktur-Klassifikation	26
4.3.2	Zugänge	26
4.3.3	Osteosyntheseverfahren	27
4.3.4	Komplikationen	27
4.4	Representative CT-Bilder	28
4.4.1	Fall 1	28
4.4.2	Fall 2	28
4.4.3	Fall 3	29
4.4.4	Fall 4	30
4.4.5	Fall 10	30
4.4.6	Fall 12	31
4.4.7	Fall 13	31
4.5	Repräsentative Patientenfallbilder	32
4.5.1	PSI	32
4.5.2	Gitterosteosynthese	33
4.5.3	Plattenosteosynthese	35
5	Diskussion	36
5.1	Literaturübersicht	36
5.2	Häufigkeitsverteilung	38
5.3	Unfallmechanismus	39

5.4	Zugänge	41
5.5	Osteosyntheseverfahren	42
5.5.1	Titanbasierte Osteosyntheseverfahren	42
5.5.2	Bioresorbierbare Osteosyntheseverfahren	49
5.5.3	Gewebekleber	54
5.6	Drainage	58
5.7	Postoperative Komplikationen	59
5.8	Schlussfolgerungen	65
6	Zusammenfassung	67
7	Literaturverzeichnis	68
8	Thesen	79

Abkürzungsverzeichnis

°C	Grad Celsius
CAD-CAM	Computer-aided design - Computer-aided manufacturing
CNC	Computerized Numerical Control
CT	Computertomogramm
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
DVT	digitales Volumetomogramm
et al.	et alii, und andere
IGF	Insulin-like growth factor
µg	Mikrogramm
Kg	Kilogramm
min	Minuten
mm	Millimeter
ml	Milliliter
n	Anzahl
MPa	Mega Pascal
LJZ	Lebensjahrzent
PEEK	Polyetheretherketon
pH	pondus hydrogenii (lat.), Wasserstoffkonzentration
PSI	patientenspezifisches Implantat
PLA	Polylactic acid
PLLA	Poly-L-laciti acid
PDLA	Poly-D-lactic acid
PDLLA	Poly-DL-lactic acid
PGA	Polyglycolsäure
FRS	Fernröntgenseitenaufnahme
CSF	Cerebrospinal Fluid Leak

1 Einleitung

Isolierte Vorderwandfrakturen des Sinus frontalis mit assoziierten Orbitadachfrakturen sind eine selten auftretende Frakturform des Viszerokraniums. Die Therapie eines solchen traumatologischen Falles bedarf aufgrund der besonderen Lage des Sinus frontalis genaue Kenntnisse der umliegenden anatomischen Regionen. So tangiert dieser klinische Befund die Augenheilkunde, die Neurologie, die Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde sowie die Mund-Kiefer- und Gesichtschirurgie. Aufgrund dieser umfassenden tetralogischen Kausalität bedarf es nachfolgend einer genauen Betrachtung der anatomischen Topografie. Auch soll im weiteren auf die Epidemiologie, Ätiologie sowie die Komplikationen dieses besonderen traumatologischen Falles eingegangen werden. Abschließend wird ein kurzer Einblick in das Therapiekonzept gewährt, unter spezieller Betrachtung der Ziele und Indikationen, der Befundung sowie der vielfältigen OP-Methoden unserer Universitätsklinik.

1.1 Anatomie

Der menschliche Schädel lässt sich in zwei Anteile untergliedern, in das Neurocranium (Hirnschädel) und das Viscerocranium (Gesichtsschädel). Beide weisen in Teilen ihrer knöchernen Strukturen Pneumonisationen in Form von Nasennebenhöhlen auf. Embryonal entstehen diese aus Schleimhautdivertikeln, die postnatal in die Maxilla und das Os ethmoidale (beides Viscerocranium), sowie in das Os frontale und Os sphenoidale (beides Neurocranium) einsprossen und postpubertär die paranasalen Nasennebenhöhlen bilden. Diese lassen sich topographisch in den Sinus maxillaris, Sinus frontalis und Sinus sphenoidalis einteilen, die je paarig auftreten, sowie in den Sinus ethmoidalis, der aus mehreren Knochenzellen gebildet wird. Die Nasennebenhöhlen sind durch eine Tunica mucosa ausgekleidet, bestehend aus respiratorischem Flimmerepithel, das sich auf einer eng mit dem Knochen verwachsenen Lamina propria befindet. Im Gegensatz zu dem sehr ähnlichen respiratorischen Flimmerepithel der Nasenhöhle, besitzt das Epithel der paranasalen Sinus keinen Venenplexus und weist deutlich weniger subepitheliale Drüsen auf. (Aumüller et al., 2010)

1.1.1 Sinus frontalis

Im Folgenden soll näher auf die Anatomie des Sinus frontalis eingegangen werden, der sich paarig und oft variabel in der Squama ossis frontalis befindet. Begrenzt wird er nach anterior durch die Margo supraorbitalis, nach superior durch die Fossa cranii anterior und nach inferior durch die Orbita. Dabei variiert die Dicke der Vorderwand des Sinus frontalis zwischen 1,75 und 2,42mm (Brunner et al., 1988). Zu beobachten ist,

dass i.d.R. der linke Sinusanteil größer ist als der rechte und das Lumen bei Männern stärker ausgebildet ist als bei Frauen. Aus embryologischer Sicht entwickelt sich der Sinus erst postnatal und erreicht frühestens ab dem 12. Lebensjahr sein vollständiges Lumen (siehe Abbildung 1) (Manolidis and Hollier Jr, 2007; Sawatari and Caceres, 2012). Durch starke Pneumatisation kann es zur Ausbildung eines Recessus supraorbitalis kommen, wodurch sich der Sinus bis zum Orbitaldach ausdehnen kann. Anatomisch bedingt gibt es zwischen dem Sinus frontalis und der Orbita mehrere Ausbreitungswege für Entzündungen. Diese können durch atrophische Dehiszenzen im Orbitaldach entstehen, sowie durch venöse Anastomosen zwischen den Orbitavenen und den Sinusvenen. Der Sinus frontalis wird durch das Septum sinuum frontaliu paarig geteilt, wobei dies in den meisten Fällen asymmetrisch erfolgt. Es kann zur Ausbildung eines Foramen interfrontale kommen, wodurch beide Sinus miteinander in Verbindung stehen, dies ist jedoch nur in ca. 1% der Fall. Im Allgemeinen befinden sich im Sinus frontalis oft mehrere Septula, die eine unvollständige Unterteilung darstellen. Bei einem weit nach dorsal reichenden Sinus frontalis, kommt es im Bereich der Fossa olfactoria zu einer Einbuchtung in das Sinuslumen. Die dabei gebildete Kante wird auch als Crista olfactoria bezeichnet, deren Abtragung zur Eröffnung des Endokraniums führen kann. Der Sinus frontalis besitzt zudem über das Infundibulum frontale und dessen Fortführung als Ausgangsöffnung eine Verbindung zur Nasenhöhle. Ist dieser Abschnitt länger als 3mm, so wird von einem Duktus nasofrontalis gesprochen (80%), bei kleiner 3mm vom Ostium frontale (20%). (Aumüller et al., 2010; Boenninghaus, 1913; Gerber, 1909; Lang, 1988; Prescher, 2009)

Für die physiologische Drainage des Sinus frontalis gibt es zwei Möglichkeiten, die sich nach dem Ansatz des Processus unicus richten. Ist dieser an der Lamina papyracea angebracht, so drainiert der Sinus medial des Processus in den mittleren Nasengang (66-88%). Befindet sich der Processus hingegen mehr medial beispielsweise an der mittleren Nasenmuschel oder der Schädelbasis, ist die Öffnung lateral des Processus unicus in den Recessus frontalis des Infundibulum ethmoidale (12-34%). (Manolidis and Hollier Jr, 2007; Prescher, 2009)

Mikroskopisch weist der Sinus frontalis eine Besonderheit auf. Sein Flimmerepithel ist so angeordnet, dass der sich darauf befindende Mukus einer partiellen Rezirkulation ausgesetzt ist. So wird durch den Flimmerschlag ein Teil des Mukus (60%) im Bereich des Recessus frontalis zurück in das Lumen geleitet. Dies ist unter den Nasennebenhöhlen einzigartig. (Manolidis and Hollier Jr, 2007)

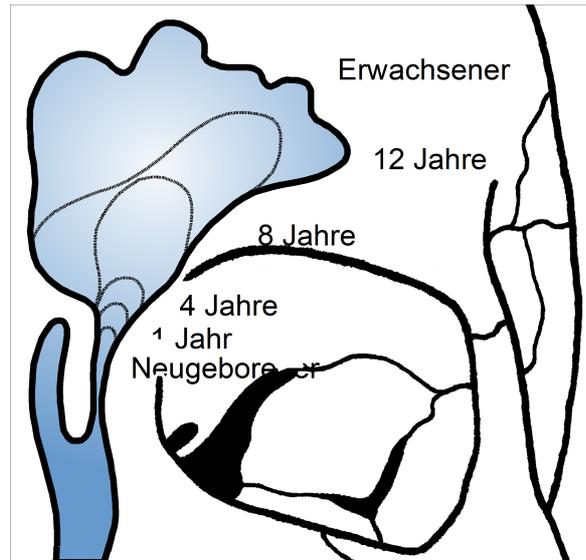


Abbildung 1: Embryologische Entwicklung des Sinus frontalis (modifiziert nach (Manolidis and Hollier Jr, 2007) und (Schünke et al., 2006))

1.1.2 Orbita

Aufgrund der Tatsache, dass Sinus frontalis Frakturen oft mit einer Fraktur des oberen Orbitarandes einhergehen (Manolidis and Hollier Jr, 2007; Garg et al., 2015) und auch 95% aller Orbitadach-Frakturen in Verbindung zu einer Sinus frontalis-Fraktur stehen (Haug et al., 2002), wird diese anatomische Region im Folgenden näher erläutert.

Die knöcherne Orbita lässt sich anatomisch in Boden, Dach, laterale und mediale Wand unterteilen (Aumüller et al., 2010). Das Dach wird überwiegend durch das Os frontale gebildet, ist dünn und besitzt eine leicht konkave Krümmung. Der vordere Anteil stellt eine Trennwand zwischen Orbita und Sinus frontalis dar, der hintere Anteil bildet eine Barriere zur vorderen Schädelgrube hin. Im anterioren Bereich des Orbitadaches finden sich zwei wichtige Strukturen, lateral befindet sich in der Fossa lacrimalis die Tränendrüse, medial setzt die Trochlea des M. obliquus superior an einer Ausbuchtung des Os frontale an (Haug et al., 2002). Im topographischen Bezug zum Orbitadach stehen drei Foramina, dies sind am medialen Rand die beiden Foramen ethmoidale anterior und posterior mit den entsprechenden Arterien und Nerven, sowie im Foramen ethmoidale posterior noch zusätzliche Venen (Aumüller et al., 2010). Am oberen Orbitarand befindet sich noch das Foramen supraorbitale, welches auch als Fossa ausgebildet sein kann. Dort tritt der N. supraorbitalis hindurch. Eine weitere wichtige Struktur, die am oberen Orbitarand befestigt ist, ist das Septum orbitale, an der der M. levator palpebrae fixiert ist (Haug et al., 2002).

Des Weiteren steht das Orbitadach in enger topographischer Beziehung zur oberen Etage der Orbita. Diese enthält die beiden extra-ocularen Muskeln M. levator

palpebrae superior und M. rectus superior. Darüber hinaus verlaufen hier folgende Nerven: N. lacrimalis, N. frontalis, N. trochlearis, Nn. supraorbitalis und supratrochlearis. Wichtige Arterien in diesem Bereich sind die A. supraorbitalis und lacrimalis mit den dazugehörigen gleichnamigen Venen (Schünke et al., 2006).

1.1.3 Funktion der Pneumatisation

Die Nasennebenhöhlen weisen strukturelle sowie physiologische Funktionen auf. Jedoch ist bis heute nicht eindeutig geklärt, ob sich die Nasennebenhöhlen aufgrund ihrer funktionellen Aspekte ausbilden, gemäß der von Wilhelm Roux formulierten Aussage, dass die Form der Funktion folgt (Roux, 1895), oder doch nur eine anatomische Konsequenz des Knochen- und Weichgewebswachstums darstellen. Daher gilt für die Funktionen, dass sie einen hypothetischen Charakter aufweisen (Godinho and O'Higgins, 2018). Nach Prescher (Prescher, 2009) bestehen die strukturellen Funktionen in der Gewichtsreduktion, der Harmonisierung des Gesichtsschädels, der Vergrößerung der Knochenoberfläche für Muskelansätze, der Erhöhung der Stabilität sowie dem Ersatz für funktionslosen Knochen. Darüber hinaus beschreibt er als physiologische Funktionen die Klimatisierung der Atemluft, den Nutzen als Geruchsstoffreservoir und Resonanzraum, die thermische Isolation der Schädelhöhle sowie die Stickstoffmonoxidproduktion. Das gebildete Stickstoffmonoxid steht unter anderem im Dienste der Immunabwehr.

1.2 Fraktur

1.2.1 Allgemeines

Im allgemeinen ist eine Fraktur als plötzliche Kontinuitätsunterbrechung des Knochengewebes sowie benachbarter Weichteile zu verstehen, die durch körpereigene oder äußere Krafteinwirkung zu Stande kommt. Das Ausmaß der Verletzung, sprich das Maß der Einbeziehung von knöchernen Strukturen wie beispielsweise dem Periost, oder des Weichgewebes wie Nerven, Gefäße, Muskeln, etc., sowie die Tatsache ob es sich um einen geschlossenen oder offenen Bruch handelt, hat einen entscheidenden Einfluss auf die Prognose sowie den Heilungserfolg. Die Einteilung der Frakturen kann nach verschiedenen Gesichtspunkten vorgenommen werden. Ein Aspekt stellt dabei die Art der Krafteinwirkung dar, so kann diese direkt erfolgen wie beispielsweise bei einem Autounfall, aber auch durch Biegungs-, Kompressions-, Abscher- sowie Drehkräfte dargestellt werden. Eine weitere Art der Einteilung kann durch den Bruchlinienverlauf vorgenommen werden, der längs, quer oder schräg verlaufen kann. Darüber hinaus kann noch nach der Anzahl der Bruchfragmente sowie nach deren Dislokation unterschieden werden (Paquet and Savic, 1978).

1.2.2 Epidemiologie

Im Folgenden soll näher auf die demographische Verteilung von Frakturen des Sinus frontalis eingegangen werden, die einen Anteil von 5-15% aller fazialen Frakturen ausmachen. Von diesen sind 33-50% mit Beteiligung anderer Strukturen, beispielsweise der Orbita. Eine isolierte Fraktur der Vorderwand liegt in 43-61% aller Fällen vor. Sie treten gehäuft bei männlichen Erwachsenen auf (66-91%), hier am häufigsten zwischen dem 20. und 30. Lebensjahr. Die Tatsache, dass Sinus frontalis-Frakturen bei Erwachsenen häufiger als bei Kindern auftreten, ist dem embryologischen Hintergrund geschuldet, dass sich der Sinus erst postnatal entwickelt und frühestens ab dem 12. Lebensjahr vollständig ausgebildet sein kann (Manolidis and Hollier Jr, 2007; Sawatari and Caceres, 2012).

1.2.3 Ätiologie

Frakturen des Sinus frontalis gehen meistens mit einer stumpfen Krafteinwirkung einher, bei der hohe Geschwindigkeiten eine Rolle spielen, wie beispielsweise bei Verkehrs- sowie Sportunfällen (Godinho and O'Higgins, 2018; Paquet and Savic, 1978). Dies ist der Tatsache geschuldet, dass es sich beim Os frontale um den stabilsten Knochen des Schädels handelt (Manolidis and Hollier Jr, 2007), der Belastungen von 363 bis zu ca. 1000kg stand halten kann, was mit einer ungebremsten Frontalkollision eines Automobils bei ca. 50 km/h gleichzusetzen ist (Manolidis and Hollier Jr, 2007). Durch die hohe Krafteinwirkung kommt es auch innerhalb des Schädels zu großen Verschiebekräften, die eine Fraktur des Orbitadaches zur Folge haben können. Ungeachtet der hohen Kräfte kommt es beim Orbitadach meistens jedoch nicht zur Dislokation (Haug et al., 2002).

1.2.4 Komplikationen

Die Fraktur des Sinus frontalis kann posttraumatisch frühe sowie späte Komplikationen zur Folge haben (Sawatari and Caceres, 2012).

Als frühzeitige Komplikation lässt sich eine Entzündung der Wunde nennen. Die dazu notwendigen Bakterien können entweder durch die offene Wunde oder durch die Nasenhöhle in den Sinus gelangen. Ein entscheidender Punkt ist hier, ob der Ductus nasofrontalis in die Fraktur mit einbezogen ist. Wenn dies der Fall ist, ist der Sinus frontalis nicht mehr in der Lage, den Schleim und die darin enthaltenen Bakterien ausreichend aus dem Lumen auszuschleusen, was die Infektion begünstigt. Diese kann ein epidurales Empyem zur Folge haben, was wiederum durch Knochenperforationen zu akuten Epidural- oder Zerebralabszessen oder Meningitis führen kann (Sawatari and Caceres, 2012).

Eine mögliche Spätkomplikation der Fraktur der Sinus frontalis-Vorderwand besteht in der Ausbildung einer Mukozele, dabei ist meistens der Ductus nasofrontalis verlegt. Handelt es sich um eine mit Mucus gefüllte Zyste, deren respiratorisches Flimmerepithel einer muko-periostalen Wand aufsitzt. Die Mukozele entsteht durch eine gestörte Ventilation des Sinus, bedingt durch eine Fraktur und kann sich über lange Zeit unbemerkt ausbilden. Sie ist langsam wachsend und kann dadurch auf benachbarte Strukturen eine resorbierende Wirkung ausüben, beispielsweise Knochen, was zu Deformationen des Gesichtes führen kann. Darüber hinaus entsteht durch die gestörte Ventilation im Sinus frontalis ein anaerobes Milieu, welches zur Sinusitis führen kann. Diese kann wiederum Gehirnabszesse, eine Meningitis oder Osteomyelitiden zur Folge haben. Die zuletzt genannte Osteomyelitis kann sich durch Entzündungen, Ausdehnung, Kompression, aber auch über die Diploevenen vom Os frontale auf das Knochenmark ausbreiten. Die Mukozele tritt im Gegensatz zu den anderen paranasalen Nasennebenhöhlen im Sinus frontalis besonders gehäuft auf (65%), möglicherweise begünstigt durch die hier vorliegende spezielle Mucus-Rezirkulation. Meistens ist sie auf eine Seite konzentriert, kann sich aber auch beidseitig ausweiten. Abschließend ist noch festzuhalten, dass es sich bei einer Mukozele um eine sterile, chronische Entzündung handelt, die im infizierten Zustand als Mucopyozele bezeichnet wird (Koudstaal et al., 2004; Santos et al., 2017; Sawatari and Caceres, 2012).

Auch die Fraktur des Orbitadaches kann eine Reihe von Problemen zur Folge haben. Diese können in kurz- und langfristige Komplikationen unterteilt werden (Metzinger and Metzinger, 2009).

Kurzfristige Komplikationen treten beispielsweise in Form eines Enophthalmus oder eines Exophthalmus auf, wobei bei Frakturen des Orbitadaches das Krankheitsbild des Exophthalmus häufiger auftritt (Penfold et al., 1992). Andere Beschwerden stellen sich durch verminderte Sehschärfe, verschwommene Sicht, aber auch durch Netzhautablösungen, Netzhautstörungen und Linsenluxationen dar. Durch eine Fraktur des Orbitadaches kann es auch zum Ungleichgewicht der extra-ocularen Muskulatur kommen, dem klinischen Bild der Diplopie, bedingt durch ein Einklemmen beispielsweise des M. rectus superior und des M. obliquus superior, oder durch intraorbitale Hämatome und Ödeme (Penfold et al., 1992). Weiterhin kann auch die Aponeurose des M. levator palpebrae superior eingeklemmt sein, was zur Ptosis führt (Penfold et al., 1992). Ferner kann es zu einem orbitalen Abszess, einer orbitalen Mucopyozele, Cellulitis, Ophthalmoplegie, bis hin zur Erblindung kommen. (Metzinger

and Metzinger, 2009).

Als langfristige Komplikationen können die Mukozele und die Enzephalozele, sowie ein Volumenverlust und Vernarbung beschrieben werden (Metzinger and Metzinger, 2009). Posttraumatische Infektionen treten bei isolierten Frakturen weniger häufig auf als bei Mehrfachfrakturen. Am häufigsten tritt dies bei offenen Frakturen, die durch Fremdkörper kontaminiert sind, auf. Die Wahrscheinlichkeit einer infektiösen Komplikation steigt auch durch die Beteiligung benachbarter maxillofacialer Knochen- und Weichgewebsstrukturen (Metzinger and Metzinger, 2009).

Postoperativ auftretende Komplikationen können in Minor- und Major-Komplikationen eingeteilt werden. Orientiert an Kolk et al. (Kolk et al., 2015), Rodriguez et al. (Rodriguez et al., 2008) und Strong et al. (Strong et al., 2006) kann man folgende Einteilung nach Major- und Minor-Komplikationen vornehmen:

Minor-Komplikationen: Wundinfektionen, Parästhesien, Deformationen, Diplopie, CSF (welches keine operative Behandlung benötigt), Schmerzen, Rötung, Temporale Nervenpareesen, Schwellungen, Entfernung von Osteosynthesematerial aufgrund von Tast- und Sichtbarkeit

Major-Komplikationen: Abszesse, Meningitis, Mukozelen, Sinusitis, CSF (welches eine operative Behandlung benötigt), Ektropium, Hypertrophierende Narben, Revisionen

1.3 Therapiekonzepte

1.3.1 Ziele der Therapie

Bei Vorderwandfrakturen des Sinus frontalis ist ein zentraler Aspekt des chirurgischen Eingriffes die Ästhetik (Robiony et al., 2014). Jedoch ist neben der physiognomischen auch auf die physiologische Wiederherstellung der Stirnhöhle besonders zu achten, was auch die Durchgängigkeit des Ductus nasofrontalis mit einbezieht, um die Drainagefähigkeit des Sinus frontalis sicher zu stellen (Kim et al., 2016; Kübler and Mühling, 1998a; Sawatari and Caceres, 2012). Dies soll Abflussstörungen vermeiden und Komplikationen wie der frontale Sinusitis oder auch Spätkomplikationen wie Mukozelen präventiv entgegenwirken (Kim et al., 2016; Kübler and Mühling, 1998; Sawatari and Caceres, 2012). Darüber hinaus sollten auch nervale und sensorische Funktionsstörungen beseitigt, sowie präventiv entgegen gewirkt werden (Kübler and Mühling, 1998). Auch hat die Beseitigung von Augenfunktionsstörungen zu erfolgen (Kübler and Mühling, 1998), die beispielsweise durch eine mechanische Behinderung des M. rectus superior oder M. levator palpebrae durch das frakturierte Orbitadach verursacht sein kann (Mokal and Desai, 2012). Ein weiteres Augenmerk ist auf die Infektionsprophylaxe und Schmerztherapie zu legen (Kübler and Mühling, 1998).

1.3.2 Indikationen für Therapie

Als Therapieindikationen zur Behandlung von Stirn- und Sinus frontalis-Verletzungen im Allgemeinen lassen sich klinische und/oder radiologische Befunde für Frakturen des Sinus frontalis, sowie von Nachbarstrukturen zählen (Kübler and Mühling, 1998). Darüber hinaus sind auch die Funktionsbeeinträchtigung des N. supraorbitalis, Kontinuitätsstörungen, Fremdkörper, Liquorrhö, sowie die Infektionsprophylaxe ausschlaggebend für eine Behandlung (Kübler and Mühling, 1998). Auch Läsionen des orbitalen Systems wie zum Beispiel der Enophthalmus, die Ptosis und ein periorbitales Hämatom stellen eine Indikation dar (Kübler and Mühling, 1998).

Im Folgenden soll speziell auf die Therapieindikation einer Vorderwandfraktur des Sinus frontalis eingegangen werden. Diese sind abhängig vom Grad der Dislokation, der Beteiligung des Ductus nasofrontalis, sowie von der Beteiligung des Orbitadaches und dessen Dislokation (Schütz et al., 2015).

Für den Fall, dass die Fragmente der Vorderwandfraktur nicht dislokalisiert sind bzw. weniger als 2mm und der Ductus nasofrontalis intakt ist, beschränkt sich die Therapie lediglich auf die Beobachtung und eine siebentägige Antibiose, alternativ kann auch hier ein chirurgischer Eingriff zur RepARATION durchgeführt werden (Rodriguez et al., 2008; Schütz et al., 2015; Yavuzer et al., 2005). Bei komplexeren Vorderwandfrakturen und oder Ausdehnung bis zum supraorbitalen Rand ist ein chirurgischer Eingriff zur Osteosynthese mit Platten indiziert (Schütz et al., 2015).

Bei Vorderwandfrakturen mit Beteiligung des Ductus nasofrontalis muss berücksichtigt werden, ob der Ductus noch durchgängig ist oder nicht (Rodriguez et al., 2008). Wenn dieser für den Abfluss nicht versperrt ist und keine Dislokation der Vorderwand vorliegt, ist eine Beobachtung ausreichend, bei Dislokation der Vorderwand ist ein osteosynthetischer Eingriff indiziert (Rodriguez et al., 2008). Ist jedoch der frakturierte Ductus verblockt, ist klassisch eine Obliteration des Sinus das Verfahren der Wahl (Rodriguez et al., 2008; Schütz et al., 2015). Heutzutage steht allerdings immer mehr der Erhalt des Sinus im Vordergrund, begünstigt durch eine verbesserte Endoskopie und CT-Darstellung, wobei letzteres wiederum eine zuverlässigere Beurteilung der Situation sowie eine bessere Planung ermöglicht (Schütz et al., 2015).

1.3.3 Untersuchung

Neben den grundsätzlichen Untersuchungsmethoden wie Inspektion, Palpation und Röntgen gibt es weiterführende Verfahren, die zur genaueren Befundung und Diagnostik der Fraktur und möglicher Verletzung umliegender Strukturen beitragen (Kübler and Mühling, 1998). Zu diesen zählen das MRT, die Sinuskopie, die digitale

Substraktionsangiografie, neurologische Untersuchungen, chemische Untersuchung bei denen bei Verdacht auf Liquorh  das Nasensekret getestet wird, sowie vor allem das CT, welches gute Auskunft über die Dislokation der Fraktur gibt und mögliche intrakranielle Verletzungen aufzeigt (Kübler and Mühling, 1998; Mokal and Desai, 2012; Robiony et al., 2014).

1.3.4 Zugänge

Für die Versorgung einer isolierten Fraktur der Sinus frontalis-Vorderwand können, in Abhängigkeit von der Art der Fraktur sowie von deren Versorgung, unterschiedliche Zugänge zum Operationsbereich gewählt werden (Delaney, 2016).

So empfiehlt sich beispielsweise bei großen Trümmerfrakturen, die eine optimale Übersicht und einen guten Zugang zum Defekt benötigen, ein Bügelschnitt. Eine oft verwendete Schnittführung zieht sich retroauricul r auf Höhe des Tragus, über den Vertex, hin zu ihrem kontralateralen Gegenstück. Anschließend wird ein subperiostaler oder subgalealer Lappen bis hin zur Fraktur nach anterior gebildet. Hier ist Vorsicht geboten, um mögliche Nerven oder Blutgefäße nicht zu beschädigen. Nachteile des B gelschnitts bestehen in einem großen Blutverlust, einer großen Inzision, einer großen Lappenbildung sowie in der Möglichkeit eines ästhetischen Defizits, bedingt durch strake Narbenbildung und Haarausfall (Delaney, 2016; Munro and Fearon, 1994). Als eine andere Zugangsart wäre die Inzision über der Augenbraue anzuführen. Diese ist im Gegensatz zum Bügelschnitt mit weniger Blutverlust verbunden, zeitsparender und bietet aus dem Erfolg der halleschen MKG-Klinik eine bessere Übersicht. Jedoch führt diese Inzision zur Narbenbildung im ästhetisch empfindlichen Bereich der Stirn und kann durch mögliche Verletzungen des N. supraorbitalis und oder N. supratrochlearis zur Hypästhesie in diesem Bereich führen. Aufgrund dieser Nachteile ist heute die Indikation für diese Schnittführung stark eingeschränkt. Sie bietet sich lediglich bei großen Stirnfalten an, in denen man die Narbe verschwinden lassen kann, sowie bei der Alopezie, die wiederum den Bügelschnitt in eine ästhetisch problematische Situation rückt (Delaney, 2016).

Eine weitere Möglichkeit des Zuganges besteht über die Wunde, allerdings stellt diese in den meisten Fällen einen zu kleinen Zugang dar und sollte erweitert werden, um die Übersichtlichkeit des Operationsfeldes zu vergrößern (Delaney, 2016).

Bei weniger komplexen Frakturen der Stirnhöhlenvorderwand bietet sich ein endoskopisches Verfahren an, bei zusätzlicher Beteiligung orbitaler Strukturen empfiehlt sich ein offener Zugang. Für das Endoskop werden hinter dem Haaransatz am frontalen oder temperoparietalen Skalp zwei bis drei longitudinale Inzisionen

durchgeführt, zusätzlich wird später über der Fraktur stichinzidiert, um Frakturfragmente in die richtige Position zu bringen und mit Schrauben zu fixieren. Ist lediglich der mediale Anteil der Stirnhöhlenvorderwand frakturiert, kann das Endoskop auch transnasal eingebracht werden, wodurch externe Inzisionen vermieden werden können. Die Vorteile der beim Endoskop verwendeten Zugänge und Präparationsarten besteht in den minimal bis gar nicht vorhandenen sichtbaren Inzisionen, dem geringen Blutverlust, der minimalinvasiven Präparation, sowie in der herabgesetzten Gefahr einer Verletzung von neurovaskulären Strukturen. Die Nachteile spiegeln sich in den hohen Kosten und der Schwierigkeit des Eingriffes wieder (Delaney, 2016).

1.3.5 Osteosyntheseverfahren

Neben der konservativen Behandlung, wie beispielsweise Beobachtung, Schnuzverbot, Antibiotikatherapien und Maßnahmen zur Abschwellung, gibt es auch eine Vielzahl an Osteosyntheseverfahren, die am Sinus frontalis angewendet werden können (Kübler and Mühling, 1998). Zu den Möglichkeiten zählen neben der Plattenosteosynthese (Kübler and Mühling, 1998) auch die Gitterosteosynthese (Robiony et al., 2014), sowie patientenspezifische Implantate (PSI) (Gander et al., 2015). Darüber hinaus können auch Gewebekleber (Schneider, 2009) und resorbierbare PLA-Materialien (Kolk et al., 2015) Anwendung finden. Als weiteres Verfahren könnte noch die Drahtnaht genannt werden (Kübler and Mühling, 1998b), diese sollte jedoch durch den fortschreitenden Einsatz von Platten gegenwärtig weitestgehend obsolet geworden (Kübler and Mühling, 1998).

Das für Gitter, Platten und Schrauben vornehmlich verwendete Material ist Titan, da es alle wichtigen Voraussetzungen wie beispielsweise Sterilisierbarkeit, Röntgenopazität, Biokompatibilität erfüllt, sowie weder eine allergische noch kanzerogene Reaktion hervorruft. Darüber hinaus ist es einfach in der Handhabung und weist ein gutes Kosten-Nutzen Verhältnis auf (Robiony et al., 2014).

Gitterosteosynthese

Eine weitere Möglichkeit zur Osteosynthese ist durch den Einsatz von Gittern gegeben (Robiony et al., 2014), für deren Material vorzugsweise Titan genutzt wird (Robiony et al., 2014; Statkiewicz et al., 2014; Zattero et al., 2013). Dabei wird das Titan-Gitter zunächst an die Form des Os frontale angepasst und die Stelle, die über dem Defekt liegt, entsprechend diesem konturiert um später die korrekte Formgebung zu erhalten (Robiony et al., 2014). Als nächstes werden die losen Knochenfragmente der Fraktur am Gitter befestigt, wobei diese zuvor mit einem Loch versehen werden und dann mit Schrauben (Mokal and Desai, 2012; Robiony et al., 2014; Statkiewicz et al., 2014) dort

fixiert werden (Lakhani et al., 2001). Verwendet man ein konfektioniertes Gitter sollte nun der Zuschnitt auf die nötige Größe geschehen (Robiony et al., 2014). Darauf folgend wird das Gitter mit den Knochenfragmenten an der Stelle des Defektes so eingegliedert, dass die Form und Kontinuität des Os frontale wieder hergestellt ist und abschließend an dieser Position mit dem Os frontale verschraubt (Robiony et al., 2014). Mit der Fraktur der Sinus frontalis Vorderwand kann auch eine Fraktur des supra-orbitalen Orbitarandes (Lakhani et al., 2001), sowie des Orbitadaches (Mokal and Desai, 2012) mit einhergehen. Die Osteosynthese dieser Frakturen mittels eines Titan-Gitters wird häufig praktiziert und zeigt dabei sehr gute Resultate (Robiony et al., 2014).

Die Vorteile des Titan-Gitters bestehen darin, dass an ihm alle Knochenfragmente befestigt werden können, wodurch der Einsatz von Knochentransplantaten erspart bleibt (Robiony et al., 2014). Des Weiteren ist es durch seine dünne Ausführung leicht zu adaptierbar (Robiony et al., 2014) und kann beispielweise mit Hilfe einer Schablone leicht zugeschnitten werden (Zavattero et al., 2013). Darüber hinaus weist es im CT und MRT eine geringe Tendenz zur Bildung von Artefakten auf (Statkiewicz et al., 2014). Als Nachteile bzw. Komplikationen dieses Osteosyntheseverfahrens wären mögliche scharfe Kanten des Gitters bei unzureichender Ausarbeitung während des Zuschneidens (Mokal and Desai, 2012), der mögliche Verlust von Schrauben, sowie die mögliche Resorption von Knochenfragmenten zu nennen (Robiony et al., 2014).

Ein anderes Osteosyntheseverfahren bei dem ein Gitter zum Einsatz kommt, wird durch Kim (Kim et al., 2012) beschrieben. Dieser verwendet vom Prinzip her resorbierbare Gitter und Schrauben, wie sie sonst bei komplexen Frakturen der Sinus maxilaris Vorderwand und bei Frakturen der Orbitawand verwendet werden. Die hier eingesetzten Größen sind jedoch für das Os frontale, das bei Frakturen eher zu kleineren Fragmenten hin tendiert, zu klein. Daher müssen größere Gitter und Schrauben verwendet werden, wie sie sonst bei Orbita und Sinus maxilaris üblich wären. Der Einsatz von resorbierbaren Materialien weist gegenüber metallischen Materialien einige Vorteile auf. So ist beispielsweise kein zweiter Eingriff nötig, um das verwendete Osteosynthesematerial wieder zu entfernen, da es sich nach ein paar Jahren vollständig von selbst aufgelöst hat. Darüber hinaus ist durch die Resorption auch gewährleistet, dass nicht noch nach Jahren des Eingriffes die Möglichkeit der Migration, Palpation und Protrusion von Osteosynthesematerialien besteht. Jedoch muss man auch sehen, dass der Einsatz von resorbierbaren Gittern und Schrauben nur bei milden bis moderaten Frakturen indiziert ist und sehr kleinen

Knochenfragmenten nicht durch resorbierbare Schrauben fixierbar sind, was wiederum für den Einsatz von metallischen Schrauben und damit auch metallischen Gittern sprechen würde.

Eine Alternative zur Befestigung von resorbierbaren Gittern stellt das SonicWeld-System dar (Buijs et al., 2009; Pilling et al., 2007). Hierbei werden anstatt von Schrauben Pins verwendet, die aus einem resorbierbaren und thermoplastischen Material bestehen (Buijs et al., 2009; Pilling et al., 2007). Die Pins werden zur Fixierung des Gitters mit Hilfe einer Ultraschall-Elektrode, auch Sonotrode genannt, in das vorgebohrte Loch eingebracht (Buijs et al., 2009). Durch die Energie des Ultraschalls erweichen die Pins und fusionieren auf der einen Seite mit dem Gitter, auf der anderen Seite fließt das Material zwischen die Spongiosabalken des Knochens und bildet somit einen Verbund zwischen Osteosynthesematerial und Knochen (Buijs et al., 2009; Pilling et al., 2007). Dabei entsteht im Radius von 1,0mm maximal eine Temperatur von 33,1°C, welche nach dem Ende des Ultraschalls schnell abklingt (KLS, n.d.).

Plattenosteosynthese

Bei den Plattensystemen können Miniplatten und vorzugsweise die etwas kleineren Mikroplatten voneinander unterschieden werden (Steinhart and Schroeder, 1995). Letztere finden vor allem im Bereich dünner Knochenwände und geringer mechanischer Beanspruchung, wie dies beispielsweise an der Stirnhöhlenvorderwand der Fall ist, Verwendung (Steinhart and Schroeder, 1995). Hier ist es besonders wichtig die Kovexität der Stirnkontur wiederherzustellen, was durch ein Vorbiegen der Mikroplatten erreicht werden kann (Steinhart and Schroeder, 1995). Die Platten können entweder mit Biegeinstrumenten oder, aufgrund ihrer geringen Dimensionierung, mit der Hand in die richtige Form gebracht werden (Steinhart and Schroeder, 1995). Dieser geringen Dimensionierung ist ebenfalls zu verdanken, dass die Mikroplatten subkutan nicht durchzutasten sind (Steinhart and Schroeder, 1995). Befestigt wird die Platte vorzugsweise mit kurzen Schrauben, da durch diese ein weites Eindringen in das Lumen des Sinus frontalis vermieden werden kann (Steinhart and Schroeder, 1995).

Als mögliches Plattenmaterial stellt sich Titan zur Verfügung, welches eine gute Biokompatibilität besitzt und im CT keine Artefakte hervorruft (Steinhart and Schroeder, 1995). Darüber hinaus ist es empfehlenswert, wenn schon Titanminiplatten verwendet wurden, auch auf Mikroplatten des gleichen Materials zurück zu greifen (Steinhart and Schroeder, 1995). Alternativ können resorbierbare Materialien wie beispielsweise PLA-basierte Kunststoffe verwendet werden, die in ihrer Biokompatibilität, Festigkeit und Steifheit dem Titan gleichwertig sind (Kolk et al., 2015).

PSI

Als weiteres Osteosyntheseverfahren kann das PSI aufgezählt werden (Ernoul et al., 2015). Diese technisch anspruchsvolle Methodik umfasst sogenannte patientenspezifische Implantate die am Computer, mit Hilfe einer beispielsweise CT-Bildgebung, geplant und anschließend anhand dieser Daten schon einsetzbereit angefertigt werden können (Essig et al., 2013; Gander et al., 2015; Schramm et al., 2009). Dabei kann der Defekt beispielsweise am Computer durch spiegeln der unbetreffenen Seite ausgeblockt werden und die korrekte Kontinuität des Knochens wieder hergestellt werden (Ernoul et al., 2015; Essig et al., 2013). Grob lassen sich in der Herstellung des Implantats zwei Techniken voneinander unterscheiden, eine direkte und eine indirekte (Eufinger and Wehmöller, 1998; Nagarjuna et al., 2015). Bei der direkten Technik wird das Implantat am Computer entworfen und anschließend durch additive Verfahren, wie zum Beispiel Laser-Sintern, oder durch subtraktive Verfahren, beispielsweise durch eine CNC-Fräse, hergestellt (Gander et al., 2015; Herford et al., 2017; Nagarjuna et al., 2015). Dieses System wird auch als CAD-CAM (computer aided design computer aided manufacturing) bezeichnet (Ganz, 2008; Nagarjuna et al., 2015). Die indirekte Technik besteht darin, dass zunächst aus den Daten des bildgebenden Verfahrens ein physisches Schädelmodell des Patienten erstellt wird, an welchem präoperativ das Implantat, beispielsweise ein Gitter, angepasst wird (Ernoul et al., 2015; Eufinger and Wehmöller, 1998; Nagarjuna et al., 2015). Die Vorteile der PSI bestehen in der reduzierten Operationszeit, der hohen Präzision und einem sicheren ästhetischen Ergebnis (Eufinger and Wehmöller, 1998). Darüber hinaus reduziert sich die Belastung des Patienten, da das Implantat nicht erst während der Operation an ihm angepasst werden muss (Eufinger and Wehmöller, 1998). Der Vorteil des direkten gegenüber dem indirekten Verfahrens spiegelt sich in dessen erhöhter Präzision wieder (Eufinger and Wehmöller, 1998). Beispiele für verwendete Osteosynthesematerialien sind für das indirekte Verfahren das Titangitter (Ernoul et al., 2015) und für die direkte Technik eine, nachträglich mit Löchern versehene, Titanplatte (Eufinger and Wehmöller, 1998). Darüber hinaus können für ein PSI neben Titan auch andere Materialien, wie beispielsweise Polyether-Ether-Ketone, verwendet werden (Camarini et al., 2011; Herford et al., 2017; Patel et al., 2017).

Gewebekleber

Wichtige Voraussetzungen für einen Gewebekleber sind nach Schneider (Schneider, 2009) die Verbundfestigkeit, Biokompatibilität, Sterilisierbarkeit, Lagerungsfähigkeit, sowie eine einfache und effiziente Art der Applikation. Ein in Tierexperimenten vielfach

getestetes Adhäsiv zur Osteosynthese ist das Cyanoacrylat (Ahn et al., 1997; Dadaş et al., 2007; Schneider, 2009; Shermak et al., 1998), welches auch klinisch zum Einsatz kommt (Kim, 1997; Mehta et al., 1987). So wurde es durch Kim (Kim, 1997), unter guten postoperativen Ergebnissen, bei Sinus frontalis-Frakturen eingesetzt.

Die Vorteile dieses Adhäsiv bestehen darin, dass es eine hohe Haftfestigkeit aufweist und auch noch in feuchter Umgebung auspolymerisiert (Schneider, 2009), wobei Wasser sogar als Katalysator dienen kann (Leggat et al., 2004). Die Nachteile liegen in der Wärme, die als Folge der Polymerisation entsteht (Schneider, 2009) und sich wiederum schädlich auf Zellen auswirkt (Leggat et al., 2004), sowie in den toxischen Produkten, die an die Umgebung abgegeben werden können (Schneider, 2009). Ein Beispiel hierfür wären die Lipidhydroperoxide, die zur Schädigung von Zellmembranen führen und eine stimulierende Wirkung auf die Synthese von Prostaglandinen und Thromboxanen besitzen, was wiederum zur Thrombose im umgebenden Gewebe führen kann (Leggat et al., 2004). Ein Beispiel für ein derzeit auf dem Markt verfügbares Cyanoacrylat-Präparat wäre Histoacryl (de Souza Vieira et al., 2016).

Autologe Knochentransplantate

Eine weitere Möglichkeit zur Osteosynthese der Stirnhöhlenvorderwandfrakturen (Grundmann and Kehrl, 2004; Kuttenger and Hardt, 2001; Xie et al., 2000) und des Orbitdaches (Manolidis et al., 2002) bietet das autologe Knochentransplantat, die in der Vergangenheit lange den Goldstandard darstellten. Für die Rekonstruktion einer solchen Vorderwandfraktur des Sinus frontalis können gestielte und freie Knochentransplantate verwendet werden (Grundmann and Kehrl, 2004). Ein Beispiel für einen gestielten Lappen wäre ein myoossärer Temporalislappen, für ein freies Transplantat das Tabula externa-Knochentransplantat (Grundmann and Kehrl, 2004; Kuttenger and Hardt, 2001; Xie et al., 2000). Letzteres wurde auch in den eigenen Untersuchungen verwendet, weshalb es näher betrachtet werden soll.

Die Entnahmestelle für das Tabula externa-Knochentransplantat befindet sich im vorderen parietalen und im oberen lateralen frontalen Bereich des Schädels (Grundmann and Kehrl, 2004). Die Diploeschichtstärke beträgt in diesen Bereichen 2-3mm, weshalb eine Verletzung von Dura oder Sinus eher nicht zu befürchten ist (Grundmann and Kehrl, 2004; Schick et al., 1998). Darüber hinaus besitzt dieser Knochen eine geringe Tendenz zur Resorption (Grundmann and Kehrl, 2004). Ein koronaler Zugang würde neben der Osteosynthese der Sinus frontalis-Vorderwandfraktur auch die Entnahme eines solchen Knochentransplantates erlauben (Schütz et al., 2015). Im Folgenden wird eine Entnahmetechnik des Tabula externa-

Transplantates beschrieben, wie sie Grundmann und Kehrl (Grundmann and Kehrl, 2004) dargestellt haben. Das Heben der Tabula externa erfolgt durch ein Umfräsen der benötigten Fläche, die mit einer Schablone der Defektgröße bestimmt werden kann (Grundmann and Kehrl, 2004). Die Fräsrinne darf dabei nur bis zur Spongiosa reichen (Grundmann and Kehrl, 2004). Anschließend wird die Rinne vom Transplantatbereich hin weg abgeflacht, um dieses dann mit einem Konturmeisel von der äußeren Diploeschicht zu lösen (Grundmann and Kehrl, 2004). Abschließend kann das Transplantat noch angepasst werden und dann zur Rekonstruktion der Vorderwand beispielsweise mit Mikroplatten fixiert werden (Grundmann and Kehrl, 2004).

1.3.6 Komplikationen

Abschließend soll noch auf die möglichen Komplikationen der verschiedenen Osteosynthesematerialien eingegangen werden.

Bei der Verwendung von Gittern, aus Titan sowie aus resorbierbaren Materialien, wurden in den meisten Fällen keine Komplikationen im Zusammenhang mit dem verwendeten System beobachtet (Kim et al., 2012; Lakhani et al., 2001; Robiony et al., 2014; Zavattoni et al., 2013).

Bei Osteosyntheseverfahren die sich Platten zum Gebrauch machten, wurden sehr selten lokale Komplikationen beobachtet (Steinhart and Schroeder, 1995). Erwähnenswert ist trotzdem, dass der Einsatz von Titanplatten zu einer Temperaturfühligkeit führen kann, die Platten durch die Haut stets tastbar bleiben und es im bildgebenden Verfahren mit Röntgenstrahlen zu Interferenzen kommen kann (Kolk et al., 2015). Darüber hinaus wurde vereinzelt bei Patienten eine Druckschmerzhaftigkeit im Bereich der eingesetzten Mikroplatten beobachtet, die in einer Entfernung der Platten resultierte (Steinhart and Schroeder, 1995). In einem Einzelfall kam es sogar zu einer lokal begrenzten, entzündlichen Reaktion, die zur Abstoßung der Titan-Mikroplatte führte (Macleod and Bainton, 1992). Die Ursache ist nicht ganz geklärt, möglicherweise war diese Infektion durch eine Lockerung des Systems verursacht, da auf jeder Seite des Bruchspaltes jeweils nur eine Schraube verwendet wurde (Macleod and Bainton, 1992). Allerdings treten im Mittelgesicht kaum Kaukräfte auf, was dieser Theorie widerspricht (Macleod and Bainton, 1992).

Bei den Klebstoffen, hier am Beispiel der Cyanoacrylate, wurden in der Regel keine Komplikationen beobachtet (Dadaş et al., 2007; Kim, 1997). In einem Fall kam es zu einer minimalen Knochenresorption, möglicherweise verursacht durch eine zu geringe Menge an Klebstoff und einem direkten Kontakt zwischen Weichgewebe und Adhäsiv, bevor dieses vollständig auspolymerisieren konnte (Kim, 1997).

2 Zielstellung

Sinus frontalis- und Orbitadachfrakturen sind – unter Betrachtung aller Frakturen im MKG-Bereich – eher selten. Speziell für die isolierten Vorderwandfrakturen, sogenannte Hochresonanztraumata, liegen in der Literatur nur wenige Studien vor. Daher sollte durch eine retrospektive Auswertung des monozentrischen Patientengutes der Universitätsklinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie im Zeitraum von Januar 2011 bis Juni 2017 Datenmaterial bezüglich dieser Vorderwandfrakturen gesichtet und analysiert werden. Dazu erfolgt zunächst eine Einteilung der Frakturen in Subtypen. Im Zentrum der Untersuchung stehen die verwendeten Osteosynthesematerialien und aufgetretenen Komplikationen. Ein weiteres Ziel ist es, anhand der eigenen Resultate und der dazugehörigen Fachliteratur mögliche Indikationsbereiche für Osteosynthesematerialien an der Vorderwand des Sinus frontalis herauszuarbeiten.

3 Material und Methoden

Aus dem Archiv der Universitätsklinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg wurden sämtliche Patienten erfasst, welche im Zeitraum von Januar 2011 bis Juni 2017 im Zusammenhang mit einer isolierten Sinus Frontalis-Vorderwandfraktur chirurgischer therapiert wurden. Die retrospektive Auswertung des monozentrisches Patientengut erfasste das Alter und Geschlecht der Patienten, sowie den Unfallmechanismus, die Zugangsart, das verwendete Osteosynthesverfahren und die aufgetretenen Komplikationen (Nachbeobachtung bis zu 5,5Jahre). Die Daten wurden einer Datenband der Universitätsklinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg für isolierte Vorderwand-Frakturen entnommen. Die statistische Auswertung erfolgte mittels der Statistiksoftware Microsoft Excel[®] (Microsoft[®] Office Excel[®] 2007 (12.0.6787.5000) SP3 (12.0.6785.5000)).

3.1 Klassifikation

Die Einteilung der Vorderwandfrakturen des Sinus frontalis wurde nach Garg et al. 2015 (Garg et al., 2015) vorgenommen, auf deren fünf Typen in Abbildung 2 näher eingegangen wird.

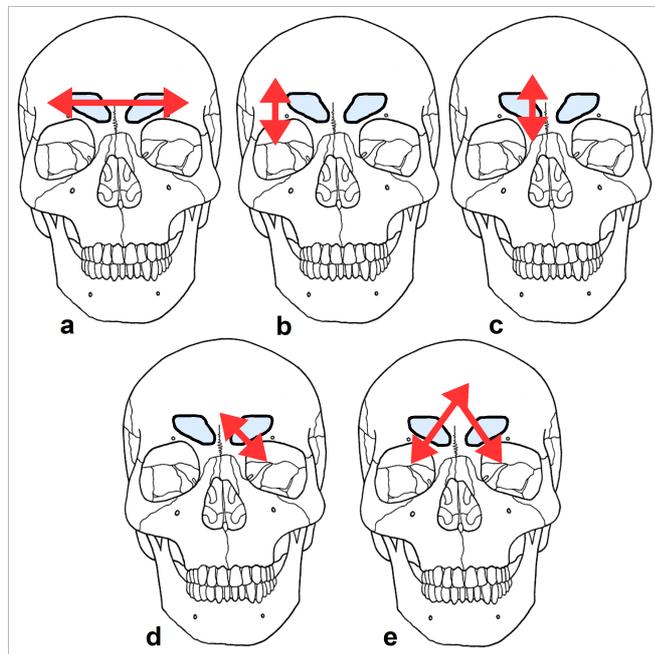


Abbildung 2: Sinus frontalis-Vorderwandfraktur Einteilung modif. nach Garg et al. (Garg et al., 2015) und Schädel-Abb. nach Schünke et al. (Schünke et al., 2006)

- (a) Typ 1: isolierte Sinus frontalis Fraktur ohne vertikale Beteiligung
- (b) Typ 2: vertikale Fraktur durch die Orbita ohne Beteiligung der Sinus frontalis-Vorderwand
- (c) Typ 3: vertikal Fraktur durch den Sinus frontalis, jedoch nicht durch die Orbita
- (d) Typ 4: vertikal, ipsilaterale Fraktur durch Sinus frontalis-Vorderwand und Orbita
- (e) Typ 5: vertikale Fraktur durch die Sinus frontalis-Vorderwand, sowie durch beide Orbita

3.2 Operationstechniken

Als grundlegendes bildgebendes Verfahren ging allen Operationen ein CT voraus.

In den Operationen wurden vier verschiedene Zugangswege gewählt. Dazu zählten der Bügelschnitt, sowie der Zugang über die Augenbraue oder die Wunde, beziehungsweise eine Kombination aus beiden.

Bei der Osteosynthese kam eine Vielzahl an Verfahren zum Einsatz. So wurde in einigen Fällen die klassische Plattenosteosynthese angewandt, wobei 1,0mm und 1,5mm Mikroplatten Verwendung fanden. Darüber hinaus wurden zur Fixierung der Knochenfragmente auch 1,5mm Titangitter eingesetzt. Des Weiteren erfolgte ebenfalls eine Osteosynthese durch ein Titan-PSI. Neben diesen Verfahren wurden auch metallfreie Osteosyntheseverfahren praktiziert, wie beispielsweise bioresorbierbare Osteosynthesematerialien der Resorb X-Reihe, welche mit dem SoniWeld-System befestigt wurden. Weiterhin kamen Gewebekleber der Produktreihen Histoacryl und BioGlue, sowie in einem Fall ein autologes Knochentransplantat, in Form eines Tabula externa-Transplantates, zum Einsatz.

3.3 Werkstoffkunde

Im Folgenden soll auf die werkstoffkundlichen Eigenschaften der zur Osteosynthese verwendeten Materialien eingegangen werden. Diese sind Titan, PDLLA (Pilling et al., 2007b), die Gewebekleber Histoacryl und Bioglue sowie ein Tabula externa-Transplantat.

3.3.1 Titan

Bei Titan handelt es sich um ein klassisches Material für medizinische Implantate, bei dem zwischen reinem Titan und Titanlegierungen unterschieden werden kann (Niinomi, 1998; Pohler, 2000). Titan hat die Eigenschaft, seine hexagonale Struktur (α -Titan) bei einer Temperatur von 882°C zu einer kubisch-raumzentrierten Struktur (β -Titan) umzuwandeln (Pohler, 2000). Dieses β -Titan kann in seiner Struktur unterhalb von 882°C nur stabil gehalten werden, in dem man andere Elemente beimischt und somit eine Legierung erhält (Niinomi, 1998; Pohler, 2000). Diese Legierungen besitzen eine höhere Biokompatibilität und eine höhere Härte (Niinomi, 1998).

Der häufige Einsatz von Titan als Implantatmaterial ist durch seine hohe Biokompatibilität begründet, die sich aus einer hohen Resistenz gegenüber Korrosion ergibt (Niinomi, 1998; Pohler, 2000). Darüber hinaus ist keine allergische Reaktion bekannt, die durch Titanimplantate ausgelöst werden wäre (Pohler, 2000). Dies macht Titan zu einer sehr guten Alternative gegenüber rostfreien Stahllegierungen, deren allergische Potenz im beigemischtem Nickel liegt (Pohler, 2000). Allerdings ist im

Gegensatz zum Stahl die Duktilität des Titans geringer, was zur Folge hat, dass man Titanimplantate vorsichtiger biegen muss, um sie an die Oberflächenkonturen des Knochens anzupassen (Pohler, 2000). Die sehr gute Biokompatibilität des Titans lässt sich durch die Passivschicht erklären, eine Oxidschicht aus Titan(II)-Oxid, die sich selbstständig auf der Oberfläche des Materials ausbildet (Niinomi, 1998; Pohler, 2000) und das Eindringen von negativ geladenen Ionen und somit die Korrosion verhindert (Niinomi, 1998).

Des Weiteren weist Titan eine sehr gute Gewebsintegration auf. Die Weichgewebe legen sich direkt mit einer Gewebsschicht auf das Implantat, ohne dabei eine Kapsel zu bilden. Darüber hinaus konnten hier keine entzündlichen Prozesse beobachtet werden. Auch die makroskopischen Gesichtspunkte, wie beispielsweise die Politur, spielen eine entscheidende Rolle. So erlaubt ein auf Hochglanz poliertes Implantat dem darüber liegenden Weichgewebe eine Verschieblichkeit, was zur Ausbildung eines Flüssigkeitsfilms zwischen Gewebe und Titan führt. Dieser Flüssigkeitsfilm kann als Ausbreitungsweg für infektiöse Prozesse dienen. Im Gegensatz dazu ist eine, in Relation gesehen, rauere Oberfläche zu präferieren (siehe Abbildung 3). Durch die entstandene Friktion ist ein Attachement des Weichgewebes an die Implantatoberfläche zu beobachten, welche die Verschieblichkeit und die damit verbundene Ausbildung eines Flüssigkeitsfilms verhindert. Die Osseointegration des Titans kann durch eine erhöhte Rauigkeit und dreidimensional gestaltete Oberfläche verbessert werden. Dies ist jedoch nur bis zu einem bestimmten Grad möglich, da das Implantat an sich und die ebenfalls aus Titan bestehenden Befestigungsschrauben auch wieder leicht entfernbar sein müssen (Pohler, 2000).



Abbildung 3: Titan am Beispiel eines PSI (Fall 10). Gut erkennbar ist die raue und dreidimensional gestaltete Oberfläche zur Erhöhung der Friktion gegenüber dem umliegenden Gewebe

3.3.2 PDLLA

Das verwendete resorbierbare (Noureldin et al., 2016; Rasse et al., 2007) Resorb X-System und die SonicWeld-Pins bestehen aus PDLLA (PDLA 50% : PLLA 50%) (Eckelt et al., 2007; Noureldin et al., 2016). Dieses liegt dem aliphatischen Polyether PLA zugrunde, aus dem wiederum die beiden Stereoisomere PLLA und PDLA über die chirale Karbon-Gruppe des PLA abgeleitet werden können (Villarreal-Gómez et al., 2013). Eine Mischung aus diesen beiden Stereoisomeren ergibt das amorphe Copolymer PDLLA (Noureldin et al., 2016; Villarreal-Gómez et al., 2013). Dessen amorph fester Zustand ändert sich bei 55°C zu einer viskös flüssigen Phase (Villarreal-Gómez et al., 2013).

Im Weiteren soll näher auf den Abbau des PDLLA eingegangen werden. Dieser startet mit einer Depolymerisation, bei der es zur Spaltung der Estergruppen kommt (Kolk et al., 2015), bedingt durch eine Hydrolyse (Kolk et al., 2015; Meara et al., 2012). In Folge dessen kommt es zu einer Änderung des osmotischen Druckes, sowie zu einem Absinken des pH-Wertes (Kolk et al., 2015). Durch die Entstehung einer chronisch, lokalen Entzündungsreaktion (Kolk et al., 2015; Pilling et al., 2007b) in Form von Riesenzell-Ansammlungen (Cutright and Hunsuck, 1971), wird das Material von Makrophagen phagozytiert (Kolk et al., 2015; Meara et al., 2012) und möglicherweise durch den Zitratzyklus metabolisiert (Kolk et al., 2015), wodurch die Endprodukte Wasser und CO₂ entstehen (Gerlach, 2000; Kolk et al., 2015; Meara et al., 2012). Ein weiterer Abbauweg des PDLLA erfolgt in der Leber (Pietrzak, 2000; Pietrzak et al., 1997). Das Implantat wird nach einer gewissen Zeit von einer fibrösen Kapsel umgeben (Anderson et al., 1981; Yamaguchi and Anderson, 1992). Je nach Literaturangabe benötigt das PDLLA zur vollständigen Resorption 12-16 Monate (Villarreal-Gómez et al., 2013) oder bis zu 30 Monate (Noureldin et al., 2016), was auch vom Volumen und der Größe des verwendeten Materials abhängig ist (Pilling et al., 2007b). Noureldin et al. (Noureldin et al., 2016) hat den Abbauprozess des PDLLA in vier Phasen gegliedert. In der erste Phase bleibt das Material über acht Monate hinweg mechanisch stabil (Noureldin et al., 2016). In der zweiten Phase quillt das PDLLA aufgrund der zunehmenden Wassereinlagerung immer mehr auf und erreicht zwischen dem 14. und 18. Monaten in der dritten Phase sein Maximum, wobei hier das Material das bis zu 4-fache des Ausgangswertes erreichen kann (Noureldin et al., 2016). In der vierten Phase nimmt das Volumen wieder ab, bis die Platte nach 30 Monaten weder tastbar noch sonographisch sichtbar war (Nagarjuna et al., 2015).

3.3.3 Gewebekleber

Im Folgenden soll auf den synthetischen Gewebekleber Histoacryl und den biologischen Gewebekleber BioGlue eingegangen werden (Heiss and Schnettler, 2003).

Bei Histoacryl handelt es sich um n-Butyl-2-Cyanoacrylat, ein Cyanoacrylat mit vier Alkyl-Gruppen (de Souza Vieira et al., 2016). Die anionische Polymerisation läuft exotherm ab und wird durch schwache Basen, wie beispielsweise Wasser, katalysiert (Avery and Ord, 1982). Nach ca. 20-120 s ist der komplette Klebstoff auspolymerisiert (Schneider, 2009). Histoacryl weist wie alle Cyanoacrylate eine gewisse Toxizität auf (Kim et al., 2012; Leggat et al., 2004a), wobei diese mit zunehmender Anzahl der Alkyl-Gruppen abnimmt (Kim, 1997). Somit besitzt Histoacryl eine vergleichsweise minimale Toxizität (Dadaş et al., 2007). Beim Abbau des Cyanoacrylats entstehen die weniger zytotoxischen Produkte Formaldehyd und Cyanoacetat (Avery and Ord, 1982), dabei wird die Geschwindigkeit der Resorption durch die Anzahl der Gruppen bestimmt. Im Falle des Histoacryls liegt sie bei vier, was wiederum einen langsameren Abbau bedeutet (Avery and Ord, 1982).

Der biologische Gewebekleber BioGlue besteht aus Albumin und Glutaraldehyd (Schneider, 2009). Dabei ist Glutaraldehyd ein hochreaktives Molekül, welches die Albumin-Proteine untereinander und mit den Gewebsproteine vernetzt (Fürst and Banerjee, 2005), nach ca 120 s ist der Klebstoff abgebunden (Schneider, 2009). Jedoch besitzt Biologue durch das Freisetzen von Glutaraldehyd ein toxisches Potential, was in der Literatur in vitro sowie in vivo nachgewiesen werden konnte (Fürst and Banerjee, 2005).

3.3.4 Autogenes Knochentransplantat

Neben den oben genannten alloplastischen Materialien, fand auch im Patientenfall 16 ein autogenes Knochentransplantat in Form Transplantats von der Tabula externa Verwendung. Vorteile solcher Knochentransplantate im Allgemeinen sind die Radioopazität und die Biokompatibilität (Mokal and Desai, 2012), im speziellen Falle der Tabula externa auch die viel geringere Resorptionstendenz eines desmal ossifizierten Knochens gegenüber einem enchondral ossifizierten Knochens, beispielsweise einer Rippe oder eines Scapula (Bockmühl, 2005). Nachteile einer solchen Methode sind die längere Operationszeit, ein größerer Aufwand sowie das Eröffnen eines zweiten Operationsfeldes (Grundmann and Kehrl, 2004; Mokal and Desai, 2012).

4 Ergebnisse

Nachfolgend sollen die Ergebnisse der umfassenden retrospektiven Auswertung des Patientengutes der Universitätsklinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie Halle (Saale) dargestellt werden. Dabei werden die Häufigkeitsverteilung nach Alter und Geschlecht, der Unfallmechanismus sowie die OP-Methode näher betrachtet. Anschließend zeigen repräsentativ ausgewählte CT-Bilder die pre- und postoperativen Befunde. Abschließend werden in drei exemplarischen Fällen die klinischen Verläufe dargestellt.

4.1 Häufigkeitsverteilung

Bei den 18 Patienten handelte es sich um 14 Männer und 4 Frauen, die sich in einer Altersspanne von 17 bis 77 Jahren befanden. Dabei war der jüngste männliche Patient 17 und der älteste 79 Jahre alt. Im weiblichen Patientengut erstreckte sich diese Spanne von 20 bis 59 Jahre. Das durchschnittliche Alter betrug 43,8 Jahre, wobei bei das Durchschnittsalter der beiden Geschlechter in etwa gleich war (m = 43,7 Jahre und w = 44 Jahre). Die Altersgruppe der 50-59 jährigen machte den größten Anteil aus, so befanden sich 7 von 18 Patienten in dieser Spanne. Am zweithäufigsten waren Patienten im zweiten Lebensjahrzehnt betroffen (4 von 18). In Tabelle 1 wird die Altersverteilung nochmals nach Geschlecht aufgeschlüsselt.

Tabelle 1: Altersverteilung nach Geschlecht bei isolierten Frakturen der Sinus frontalis Vorderwand, n = 18, Untersuchungszeitraum 2011-2017

Alter in Jahren	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79
Anzahl	2	4	2	1	7	1	1
Davon m	2	3	2	0	5	1	1
Davon w	0	1	0	1	2	0	0

4.2 Unfallmechanismus

Im folgenden Kapitel soll der Unfallmechanismus näher betrachtet werden. So wurden 6 von 18 Vorderwandfrakturen des Sinus frontalis durch Verkehrsunfälle verursacht, was den größten Anteil unter den Unfallmechanismen ausmacht (siehe Abbildung 4). Zudem wurden 4 Patienten bei Freizeitaktivitäten verletzt. Dabei erlitten zwei Patienten durch sportliche Freizeitbetätigung und ein Patient durch einen Unfall mit einer Säge bei der Holzverarbeitung eine Fraktur der anterioren Wand des Sinus frontalis. Im Zuge eines Rohheitsdeliktes wurden 3 Patienten mit einer Vorderwandfraktur des Sinus frontalis behandelt. Durch einen Sturz wurden zwei Patienten verletzt, ein Patient stürzte aus vier Metern Höhe, die Sturzursache des anderen Patienten ist ungeklärt. Darüber hinaus erlitten wegen eines Sportunfalls, eines Explosionstraumas und einer Synkope je ein Patient eine Vorderwandfraktur.

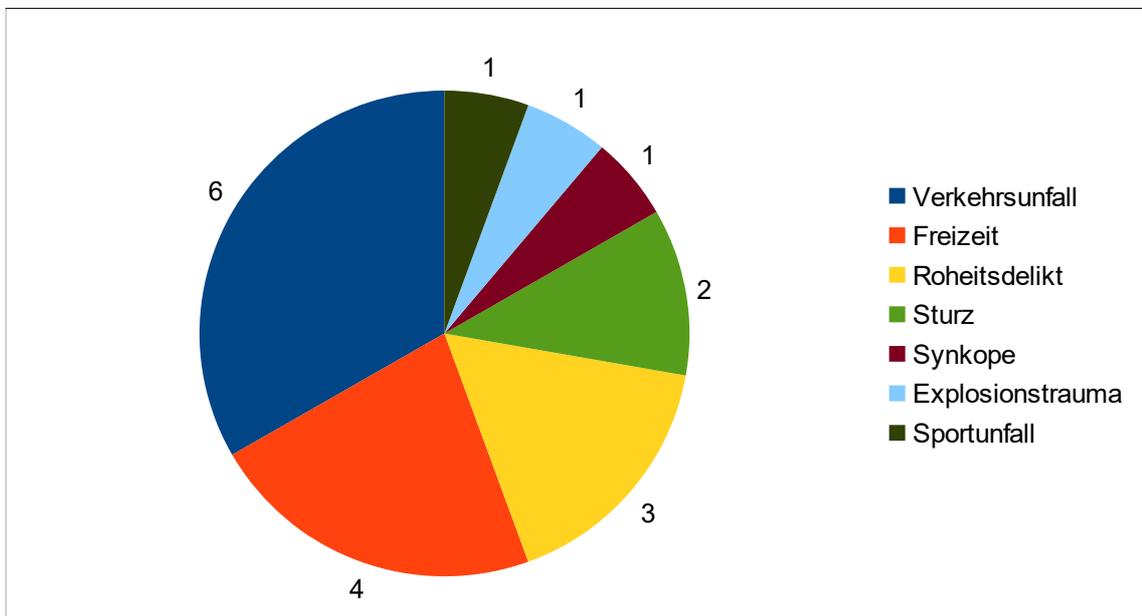


Abbildung 4: Unfallmechanismus bei isolierten Frakturen der Sinus frontalis Vorderwand, n = 18, Untersuchungszeitraum 2011-2017

Die aufgetretenen Vorderwandfrakturen des Sinus frontalis werden in Abbildung 5 nach ihren Unfallmechanismen eingeteilt, in abhängig vom Frakturtyp nach der Klassifikation von Garg et al.. So zeigt sich, dass Typ 4- und 5-Frakturen vor allem durch Verkehrsunfälle verursacht werden, wohingegen die Typ 1-, 2- und 3-Frakturen einen solchen Fall nicht aufweisen.

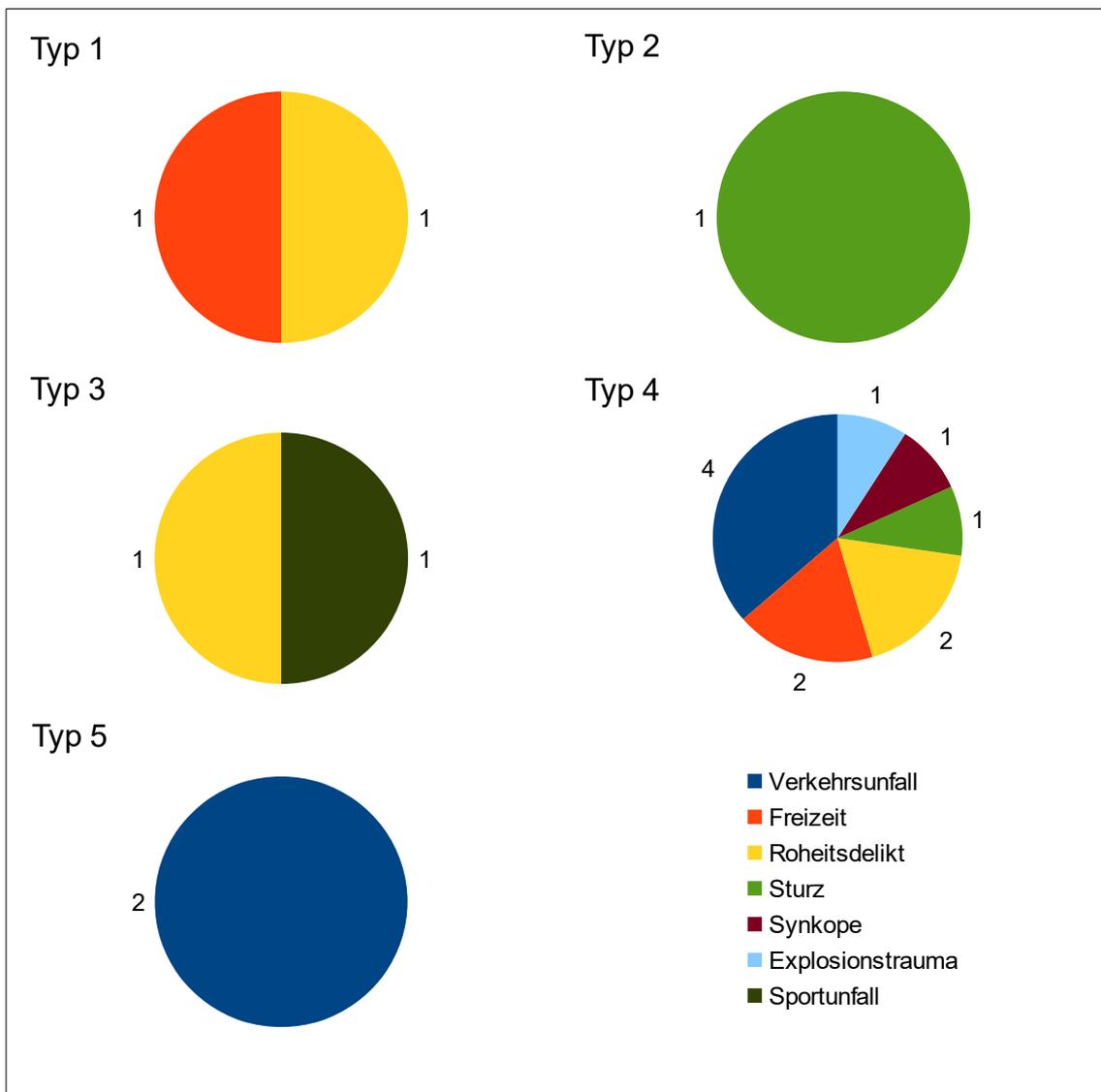


Abbildung 5: Unfallmechanismus in Abhängigkeit der Fraktur-Typen nach Garg et al. bei isolierten Frakturen der Sinus frontalis Vorderwand, n = 18, Untersuchungszeitraum 2011-2017

4.3 Operation der Sinus frontalis-Vorderwandfrakturen

Von erheblicher Interesse war die Therapie der behandelten 18 Patienten mit einer isolierten Fraktur der Sinus frontalis Vorderwand, dabei gibt Tabelle 2 eine Übersicht über alle behandelten Patienten. Hier erfolgt eine Unterteilung nach Alter, Befund, Zugang und Operationsmethode.

Tabelle 2: Befund und Therapie bei isolierten Frakturen der Sinus frontalis Vorderwand, Befunde klassifiziert nach Garg et al., n = 18, Untersuchungszeitraum 2011-2017

Fall-Nummer	Alter	Befund	Zugang	Osteosynthesematerial
1	23	Typ 3	Bügelschnitt	Rersorb X, SonicWeld
2	59	Typ 4	Wunde	Titangitter 1,5mm
3	28	Typ 4	Augenbraue	Mikroplatte 1,5mm
4	17	Typ 1	Augenbraue	Klebung, Bioglue
5	26	Typ 4	Augenbraue	Mikroplatte 1,5mm
6	55	Typ 4	Wunde	Mikroplatte 1,5mm
7	47	Typ 1	Wunde	Resorb X, SonicWeld
8	20	Typ 4	Wunde, Augenbraue	Mikroplatte 1,0mm
9	59	Typ 4	Wunde, Augenbraue	Mikroplatte 1,5mm
10	50	Typ 4	Wunde	PSI - Titan
11	77	Typ 4	Wunde	Mikroplatte 1,5mm
12	55	Typ 4	Augenbraue	Titangitter 1,5mm
13	65	Typ 5	Wunde	Mikroplatte 1,5mm
14	56	Typ 5	Bügelschnitt	Mikroplatte 1,5mm
15	19	Typ 3	Wunde	Klebung, Histoacryl
16	37	Typ 4	Wunde	Tabula externa
17	58	Typ 2	Wunde	Mikroplatte 1,0mm
18	37	Typ 4	Wunde	Mikroplatte 1,5mm

4.3.1 Fraktur-Klassifikation

Die Vorderwandfrakturen des Sinus frontalis, klassifiziert nach Garg et al. 2015 (Garg et al., 2015), zeigen folgendes Bild (siehe Tabelle 3): Frakturen des Typ 4 machen den größten Anteil mit 11 von 18 Frakturen aus, jeweils 2 Frakturen konnten nach den Typen 1, 3 und 5 klassifiziert werden, lediglich eine Fraktur nach dem Typ 2. Dabei kann festgehalten werden, dass ein überwiegender Teil der Sinus frontalis-Frakturen eine Beteiligung der Orbita mit aufwies (siehe Tabelle 4), was eine relevante Auswirkung auf die Operationsstrategie und Planung hat.

Tabelle 3: Einteilung der Vorderwandfrakturen des Sinus frontalis nach Garg et al. 2015 (Garg et al., 2015) und Frakturseite, n = 18, Untersuchungszeitraum 2011-2017

Fraktur-Typ	Verlegung	Anzahl	Frakturseite	Anzahl
1	Isolierte Sinus frontalis-Fraktur ohne vertikale Beteiligung	2	rechts	1
			links	1
2	Vertikale Fraktur durch die Orbita ohne Beteiligung der Sinus frontalis-Vorderwand	1	rechts	0
			links	1
3	Vertikale Fraktur durch den Sinus frontalis, jedoch nicht durch die Orbita	2	rechts	2
			links	0
4	Vertikale, ipsilaterale Fraktur durch die Sinus frontalis-Vorderwand und Orbita	11	rechts	4
			links	7
5	Vertikale Fraktur durch die Sinus frontalis-Vorderwand, sowie durch beide Orbita	2		

Tabelle 4: Beteiligung der Orbita bei isolierten Frakturen der Sinus frontalis Vorderwand, Befunde klassifiziert nach Garg et al., n = 18, Untersuchungszeitraum 2011-2017

Beteiligung der Orbita	Anzahl
ja	14
nein	4

4.3.2 Zugänge

Für die Osteosyntheseverfahren der behandelten Fälle wurden vier verschiedene Zugangsarten gewählt. Der überwiegende Teil der operativen Eingriffe wurde über die Wunde vorgenommen, dies war bei 10 von 18 Patienten der Fall. Der Zugang zum Operationsgebiet erfolgte bei vier Patienten über die Augenbraue und bei zwei Patienten über einen Bügelschnitt. In zwei Fällen wurde der Zugang über die Augenbraue und die Wunde durchgeführt.

Bei Typ 1-, 2- und 4-Frakturen wurde ausschließlich der Zugang über die Wunde und eine Inzision an der Augenbraue gewählt. Bei Typ 3- und 5-Frakturen erfolgte bei den jeweils zwei Patienten je ein Zugang über die Wunde und einer über den Bügelschnitt.

4.3.3 Osteosyntheseverfahren

Insgesamt wurden für die Versorgung der Vorderwandfraktur des Sinus frontalis sechs verschiedene Osteosyntheseverfahren verwendet. Am häufigsten wurden die Frakturen mit Mikroplatten versorgt, was in 10 der 18 Fälle geschah. Dabei wurden bei diesen 10 Platten achtmal 1,5mm Mikroplatten und zweimal 1,0mm Mikroplatten eingesetzt. Bei zwei Patienten erfolgte die Osteosynthese mittels einem 1,5mm Titangitter, bei zwei anderen Patienten kamen resorbierbare Resorb X-Systeme zum Einsatz, die mit dem SonicWeld-System befestigt wurden. Des Weiteren wurden die Vorderwandfrakturen bei zwei Patienten mit jeweils dem Gewebekleber BioGlue und Histoacryl versorgt. Jeweils eine Fraktur wurde mit einem PSI aus Titan, bzw. einem Tabula externa-Transplantat versorgt.

4.3.4 Komplikationen

In 11 von 17 Fällen traten keine postoperativen Komplikationen auf, bei sechs Patienten kam es zu postoperativen Komplikationen und bei einem Patienten lagen keine Angaben vor (siehe Tabelle 5).

Bei einem Patienten, der mittels BioGlue-Klebung versorgt wurde, kam es im postoperativen Verlauf zu einer im DVT sichtbaren Einziehung der Vorderwand des Sinus frontalis. Darüber hinaus berichtete ein weiterer Patient, bei welchem ein Resorb X-System eingesetzt wurde, über ein Fremdkörpergefühl. Auch ein mit einem Titangitter versorgter Patient berichtete über postoperative Spannungskopfschmerzen. Bei zwei Patienten, deren Frakturen mit Mikroplatten versorgt wurden, waren ebenfalls Komplikationen zu beobachten, einmal in Form einer erhöhten Wetterfühligkeit und andererseits in Form eines Frontalhirnsyndroms. Darüber hinaus kam es bei einem Patienten, bei dem als Osteosyntheseverfahren ein Tabula externa-Transplantat gewählt wurde, zu einer Contusio bulbi.

Tabelle 5: Aufgetretene Komplikationen bei isolierten Frakturen der Sinus frontalis Vorderwand, Befunde klassifiziert nach Garg et al., n = 18, Untersuchungszeitraum 2011-2017

Komplikationen	Anzahl
Keine	11
Einziehung	1
Fremdkörpergefühl	1
Wetterfühligkeit	1
Spannungskopfschmerzen	1
Frontalhirnsyndrom	1
Contusio bulbi	1

4.4 Representative CT-Bilder

Nachfolgend sollen ausführliche Falldokumentationen die Komplexität der Fälle und der daraus resultierenden Therapieoptionen veranschaulichen. Dazu werden repräsentative CT-Bilder der prä- und postoperativen Befunde gezeigt (Abb. 6-16).

4.4.1 Fall 1

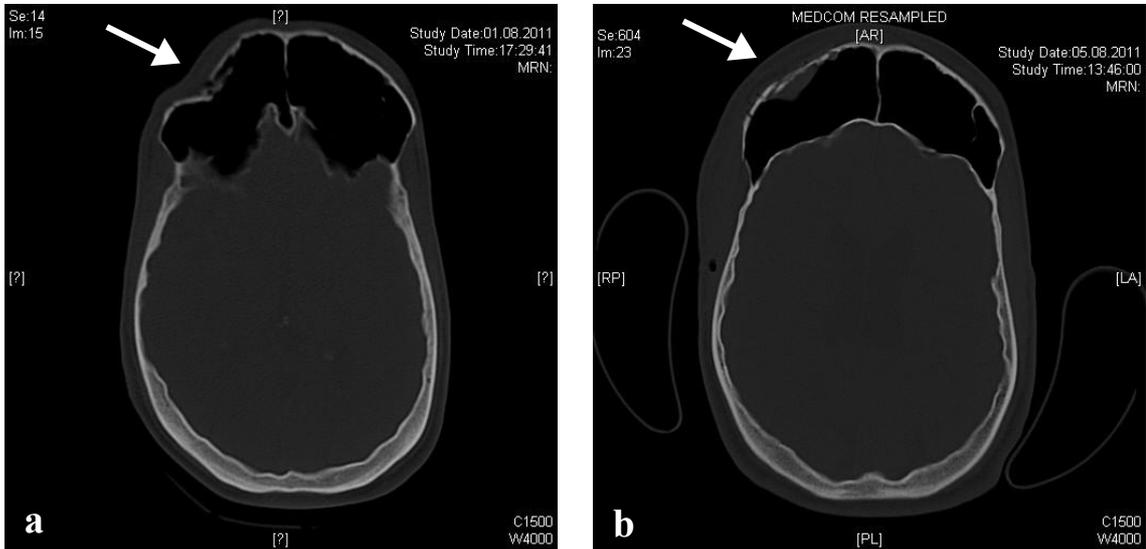


Abbildung 6: Patient 1, männlich, 23 Jahre alt, Freizeitunfall, Typ 3-Fraktur rechtsseitig

(a) präoperatives CT-Bild, axiale Schicht, Knochenfenster, Kontinuitätsunterbrechung der Stirnhöhlevorderwand (weißer Pfeil)

(b) postoperatives CT-Bild, axiale Schicht, Knochenfenster, erfolgte Wiederherstellung der Knochenkontinuität mit bioresorbierbarem Osteosynthesematerial, ResorbX (weißer Pfeil)

4.4.2 Fall 2

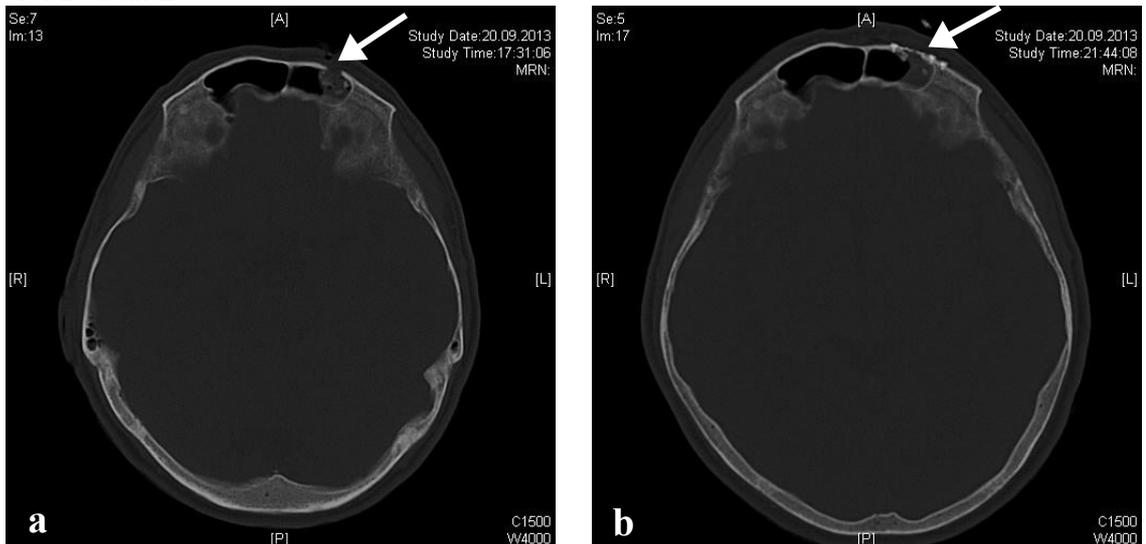


Abbildung 7: Patient 2, männlich, 59 Jahre alt, Freizeitunfall mit einer Säge, Typ 4-Fraktur linksseitig

(a) präoperatives CT-Bild, axiale Schicht, Knochenfenster, Kontinuitätsunterbrechung der Stirnhöhlevorderwand (weißer Pfeil)

(b) postoperatives CT-Bild, axiale Schicht, Knochenfenster, erfolgte Wiederherstellung der Knochenkontinuität mit Titangitter, 1,5mm (weißer Pfeil)

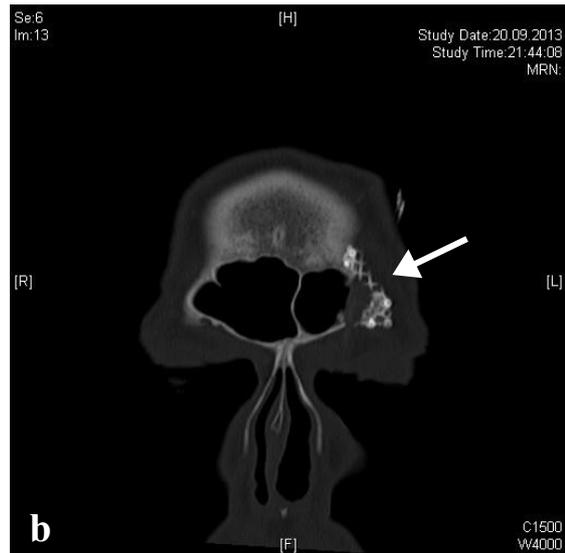
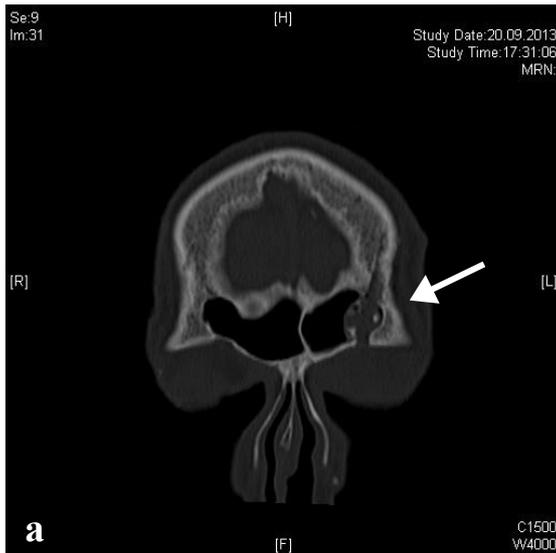


Abbildung 8: Patient 2, männlich, 59 Jahre alt, Freizeitunfall mit einer Säge, Typ 4-Fraktur linksseitig

(a) präoperatives CT-Bild, koronare Schicht, Knochenfenster, Kontinuitätsunterbrechung der Stirnhöhlenvorderwand (weißer Pfeil)

(b) postoperatives CT-Bild, koronare Schicht, Knochenfenster, erfolgte Wiederherstellung der Knochenkontinuität mit Titangitter, 1,5mm (weißer Pfeil)

4.4.3 Fall 3

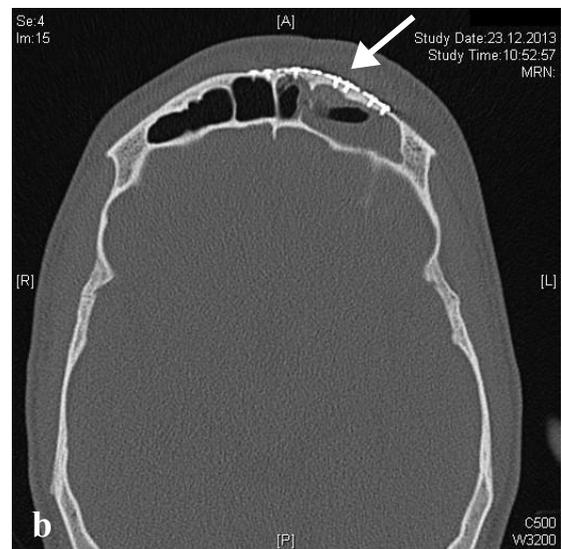
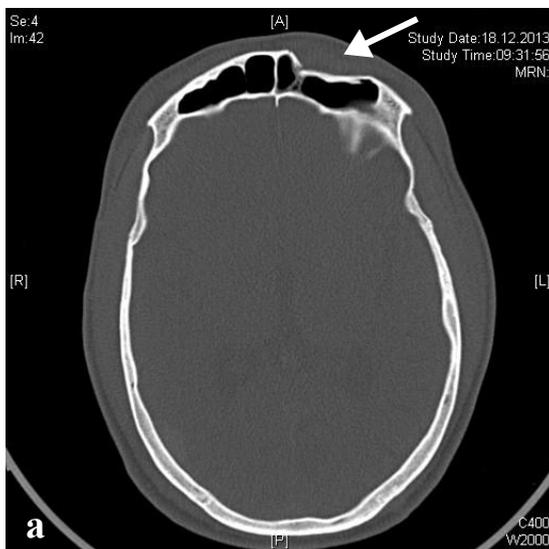


Abbildung 9: Patient 3, männlich, 28 Jahre alt, Rohheitsdelikt, Typ 4-Fraktur linksseitig

(a) präoperatives CT-Bild, axiale Schicht, Knochenfenster, Kontinuitätsunterbrechung der Stirnhöhlenvorderwand (weißer Pfeil)

(b) postoperatives CT-Bild, axiale Schicht, Knochenfenster, erfolgte Wiederherstellung der Knochenkontinuität mit Mikroplatten, 1,5mm (weißer Pfeil)

4.4.4 Fall 4

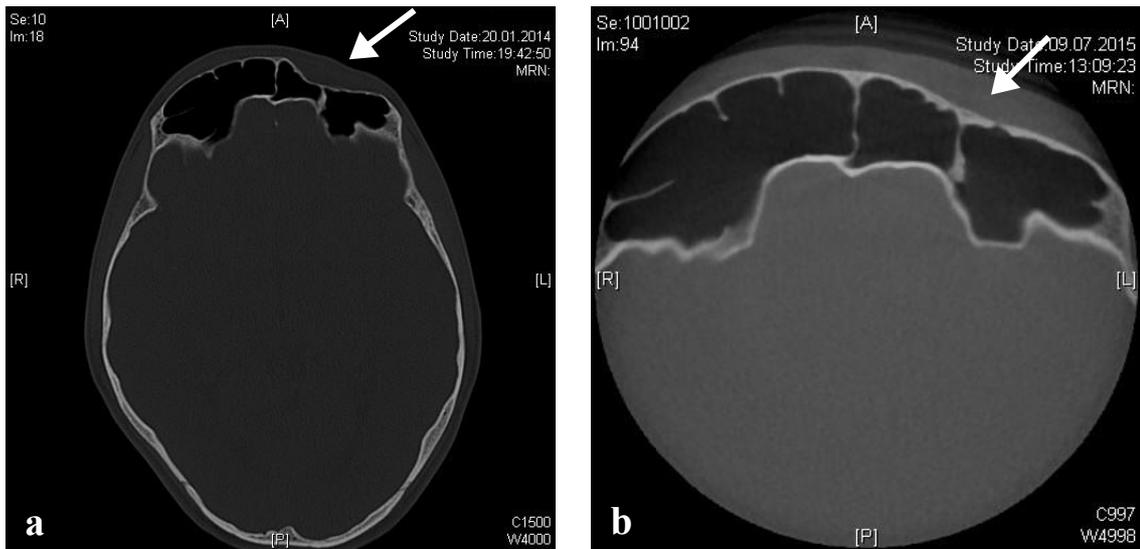


Abbildung 10: Patient 4, männlich, 17 Jahre alt, Freizeitunfall beim Sport, Typ 1-Fraktur linksseitig

(a) präoperatives CT-Bild, axiale Schicht, Knochenfenster, Kontinuitätsunterbrechung der Stirnhöhlenvorderwand (weißer Pfeil)

(b) postoperatives CT-Bild, axiale Schicht, Knochenfenster, erfolgte Wiederherstellung der Knochenkontinuität mit Biogluue, jedoch Einwölbung nach posterior (weißer Pfeil)

4.4.5 Fall 10

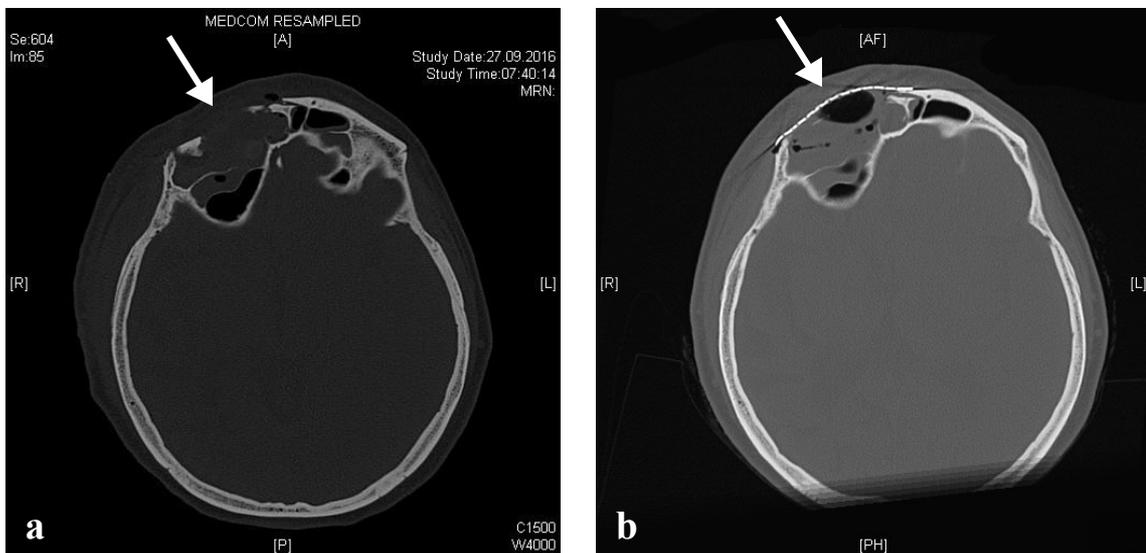


Abbildung 11: Patient 10, weiblich, 50 Jahre alt, Verkehrsunfall, Typ 4-Fraktur rechtsseitig

(a) präoperatives CT-Bild, axiale Schicht, Knochenfenster, Kontinuitätsunterbrechung der Stirnhöhlenvorderwand (weißer Pfeil)

(b) postoperatives CT-Bild, axiale Schicht, Knochenfenster, erfolgte Wiederherstellung der Knochenkontinuität mit einem PSI aus Titan (weißer Pfeil)

4.4.6 Fall 12

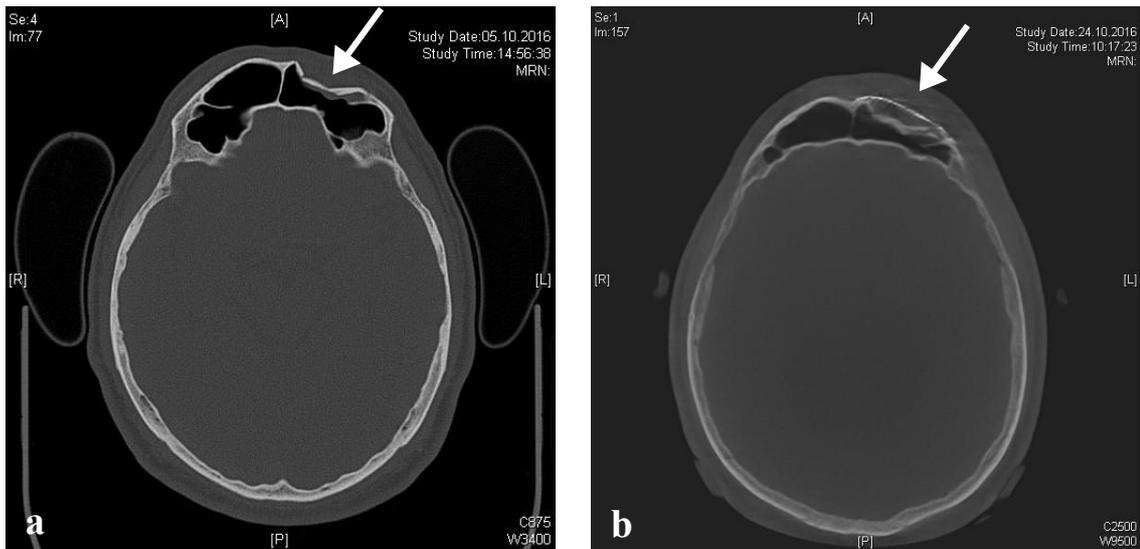


Abbildung 12: Patient 12, männlich, 55 Jahre alt, Synkope als Unfallmechanismus, Typ 4-Fraktur linksseitig
(a) präoperatives CT-Bild, axiale Schicht, Knochenfenster, Kontinuitätsunterbrechung der Stirnhöhlenvorderwand (weißer Pfeil)
(b) postoperatives CT-Bild, axiale Schicht, Knochenfenster, erfolgte Wiederherstellung der Knochenkontinuität mit Titangitter, 1,5mm (weißer Pfeil)

4.4.7 Fall 13

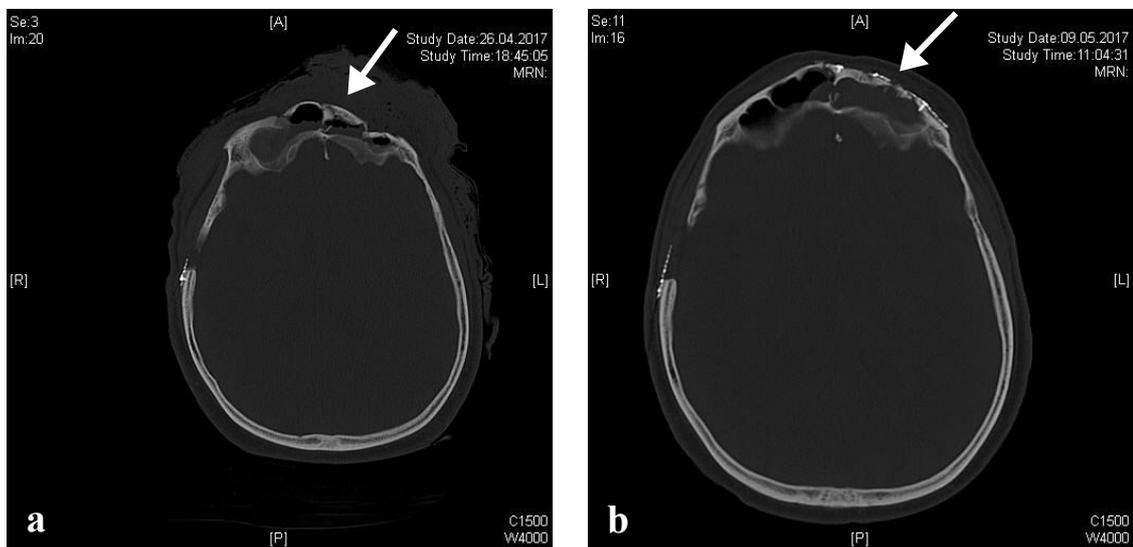


Abbildung 13: Patient 13, männlich, 65 Jahre alt, Verkehrsunfall, Typ 5-Fraktur beidseitig (links > rechts)
(a) präoperatives CT-Bild, axiale Schicht, Knochenfenster, Kontinuitätsunterbrechung der Stirnhöhlenvorderwand (weißer Pfeil)
(b) postoperatives CT-Bild, axiale Schicht, Knochenfenster, erfolgte Wiederherstellung der Knochenkontinuität mit Mikroplatten nach manueller Fragmentreposition, 1,5mm (weißer Pfeil)

4.5 Repräsentative Patientenfallbilder

Noch eindrücklicher als die prä- und postoperativen CT-Bilder sind komplette klinische Verläufe, die ebenfalls exemplarisch an den Fällen 10, 2 und 3 dargestellt werden (Abb. 14-Fehler: Referenz nicht gefunden).

4.5.1 PSI

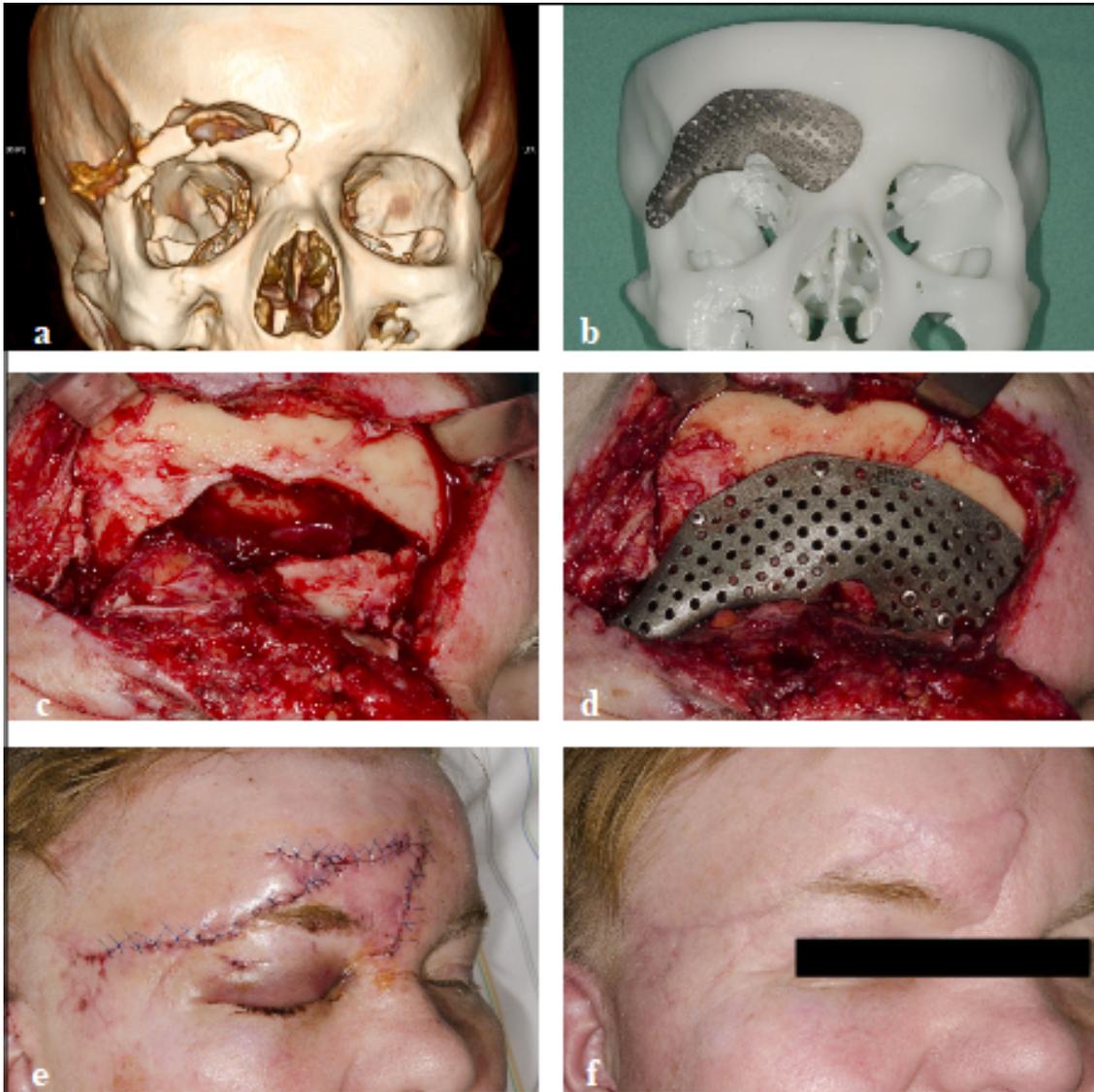


Abbildung 14: Workflow PSI aus Titan (KLS Martin, Tuttlingen, BRD): pre-, intra- und postoperative Bilder des Fall 10

- (a) präoperatives CT-Bild, Typ 4 Trümmerfraktur rechtsseitig
- (b) präoperative Planung des PSI
- (c) intraoperativer Situs des Typ 4-Defektes, Zugang über die Wunde
- (d) intraoperatives Bild des fixierten PSI mit wiederhergestellter Knochenkontinuität
- (e) postoperatives Bild, Gesichtskontur wiederhergestellt
- (f) postoperatives Bild, ausgeheilte Zustand mit optimal wiederhergestellter Stirnkontur

4.5.2 Gitterosteosynthese



Abbildung 15: Versorgung eines linksseitigen Typ 4-Defekts mittels Gitter im Fall 2

- (a) präoperatives Bild des Defekts
- (b) intraoperatives Bild, Defekt dargestellt, Zugang über die Wunde
- (c) intraoperatives Bild, enttrümmerter Defekt
- (d) intraoperatives Bild der eingebrachten Gitterosteosynthese und Reposition



Abbildung 16: postoperative Bilder der Gitterosteosynthese im Fall 2
(a) unmittelbar postoperativ, Wunde vernäht, Drainage am oberen Orbitarand
(b) postoperatives Bild, Stirnkontur wieder dargestellt, unauffällige Narbenbildung

4.5.3 Plattenosteosynthese

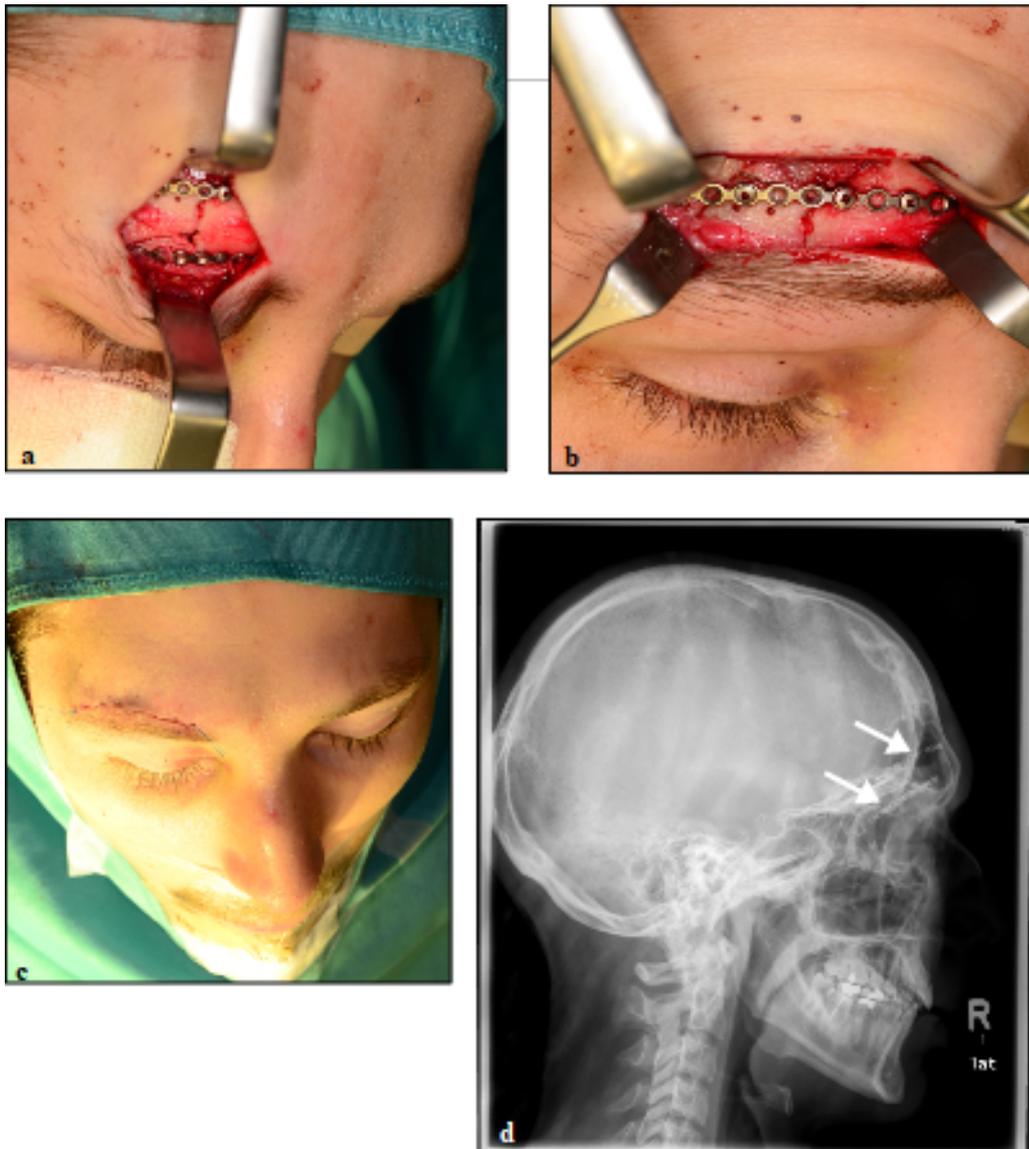


Abbildung 17: Fall 3, intraoperative Aufnahmen einer Plattenosteosynthese mit postoperativem röntgenologischen Befund

- (a) Plattenosteosynthese einer Typ 4-Fraktur mit zwei 1,5mm Mikroplatten, Zugangsweg oberhalb der Augenbraue
- (b) intraoperative Reposition der kaudalen Platte nach kranial
- (c) Zustand nach Nahtverschluss, Stirnkontur ästhetisch wiederhergestellt
- (d) FRS – Mikroplatten, Kontrolle der anatomischen Reposition (weißer Pfeil)

5 Diskussion

5.1 Literaturübersicht

In der Literatur existieren unterschiedliche Ansätze zur Herangehensweise und Handhabung bei Stirnhöhlevorderwandfrakturen. Einen Überblick dafür gibt Tabelle 6.

Tabelle 6: Literaturübersicht bezüglich Sinus frontalis-Frakturen

Hauptautor (Jahr)	Patienten-anzahl	Zeitraum	Isolierte Vorderwandfrakturen - Anzahl	Nachbeobachtungszeitraum
Robert E. Whited (1979)	52	8 Jahre (Januar 1970 – Dezember 1977)	52	---
Andrew Wallis et al. (1988)	72	12 Jahre (1974 – 1986)	13	---
Brian C. Wilson et al. (1988)	66	10,4 Jahre (Juli 1977 – Dezember 1987)	14	12 – 120 Monate
Chen Xie et al. (2000)	150	30 Jahre (1967 – 1997)	64	12 – 324 Monate
Giovanni Gerbino et al. (2000)	158	11 Jahre (1987 – 1998)	97	12 – 120 Monate
R. S. Lakhani et al. (2001)	12	5,5 Jahre (März 1994 – Oktober 1999)	4	5 – 48 Monate
Kuang-Te Chen et al. (2005)	78	8 Jahre (1. Januar 1994 – 1. Januar 2002)	22	3 – 94 Monate
E. Bradley Strong et al. (2006)	130	15 Jahre (1987 – 2002)	35	0 – 69 Monate
Eduardo D. Rodriguez (2008)	857	26 Jahre (1979 – 2005)	328	0 – 66 Monate
Daniel Dalla Torre et al. (2014)	164	5 Jahre (Januar 2006 – Dezember 2010)	85	X – 24 Monate
Petr Schütz et al. (2015)	210	10 Jahre (2004 – 2014)	35	---
Stephan Weinmann (2020)	18	6,4 Jahre (Januar 2011 – Juni 2017)	18	1 – 66 Monate

Tabelle 6 informiert über Studien zur Problematik der Sinus frontalis Frakturen, die sich mit dieser in retrospektiven Auswertungen auseinandergesetzt haben.

Wie man dem Verhältnis von insgesamt behandelten Patienten zu isolierten Vorderwandfrakturen des Sinus frontalis entnehmen kann, liegen lediglich zwei Untersuchungen vor, die sich speziell und ausschließlich mit isolierten Vorderwandfrakturen auseinandergesetzt haben. Dabei handelt es sich um die Untersuchung von R. E. Whited (Whited, 1979), sowie um die eigene Erhebung. Die anderen Publikationen betrachten lediglich Sinus frontalis Frakturen im Allgemeinen und verwenden die isolierte Vorderwandfraktur nur als eine von mehreren Unterteilungen (Chen et al., 2006; Dalla Torre et al., 2014; Gerbino et al., 2000; Lakhani et al., 2001; Rodriguez et al., 2008; Schütz et al., 2015; Strong et al., 2006; Wallis and Donald, 1988; Wilson et al., 1988; Xie et al., 2000).

Betrachtet man zunächst den Umfang des gesamten Patientengutes, stellt man fest, dass die eigene Untersuchung einen vergleichsweise niedrigen Wert aufweist. Dies ist jedoch der Tatsache der Spezialisierung auf isolierte Vorderwandfrakturen geschuldet. Vergleicht man nun in Tabelle 6 alle Studien hinsichtlich des Anteils isolierter Vorderwandfrakturen am gesamten Patientengut, zeigt sich, dass die eigene

Auswertung mit ihren 18 Patienten durchaus vergleichbar mit anderer Literatur ist (Chen et al., 2006, 2006; Schütz et al., 2015; Strong et al., 2006; Wilson et al., 1988).

Der Untersuchungszeitraum der eigenen Untersuchung beträgt 6,4 Jahre, unter den anderen Studien lassen sich auch mehrere finden (Chen et al., 2006; Dalla Torre et al., 2014; Lakhani et al., 2001; Whited, 1979), die einen ähnlichen Zeitraum wie unsere Studie aufweisen. Der in Relation zu anderen Untersuchungen kurz gewählte Beobachtungszeitraum soll eine möglichst aktuelle und zeitgemäße Behandlung von Sinus frontalis Frakturen wiedergeben.

Während viele Quellen gar nicht genauer auf die verwendeten Osteosynthesematerialien eingegangen sind (Dalla Torre et al., 2014; Rodriguez et al., 2008; Strong et al., 2006; Wallis and Donald, 1988; Wilson et al., 1988), oder nur ein bis zwei Operationsmethoden erwähnt haben (Gerbino et al., 2000; Whited, 1979; Xie et al., 2000), wie beispielsweise die Plattenosteosynthese oder Drahtosteosynthese, zeigen die eigenen Behandlungen diesbezüglich eine große Diversität, die so nicht in der Literatur bis dato zu finden ist. Eine Ausnahme in Tabelle 6 stellt die Studie von Lakhani et al. (Lakhani et al., 2001) dar, da hier explizit nur mit Gitterosteosynthese behandelte Frakturen betrachtet wurden, was in diesem Fall keine Vergleich ermöglicht.

Die Komplikationen werden literaturübergreifend in etwa gleich diskutiert und betrachtet (Chen et al., 2006; Dalla Torre et al., 2014; Gerbino et al., 2000; Lakhani et al., 2001; Rodriguez et al., 2008; Schütz et al., 2015; Strong et al., 2006; Wallis and Donald, 1988; Whited, 1979; Wilson et al., 1988; Xie et al., 2000), wie auch in der eigenen Untersuchung, weshalb an dieser Stelle nicht weiter darauf eingegangen werden soll.

Der Tabelle 6 kann man entnehmen, dass der eigene Nachbeobachtungszeitraum von einem bis 66 Monate mit der Literatur vergleichbar ist (Chen et al., 2006; Lakhani et al., 2001; Rodriguez et al., 2008; Strong et al., 2006). Wie in der Tabelle 6 ebenfalls zu sehen ist, weisen andere Quellen (Gerbino et al., 2000; Wilson et al., 1988; Xie et al., 2000) deutlich längere Nachbeobachtungszeiten auf, was lediglich auf den längeren Untersuchungszeitraum zurückzuführen ist.

Die letzte retrospektive Studie, die sich rein mit der Auswertung eines Patientengutes von isolierten Vorderwandfrakturen des Sinus frontalis beschäftigt hat, wurde 1979 von Whited (Whited, 1979) veröffentlicht. Seitdem fand keine retrospektive Untersuchung in dieser Thematik mehr statt. Alle anderen Studien (Chen et al., 2006; Dalla Torre et al.,

2014; Gerbino et al., 2000; Lakhani et al., 2001; Rodriguez et al., 2008; Schütz et al., 2015; Strong et al., 2006; Wallis and Donald, 1988; Wilson et al., 1988; Xie et al., 2000) beschäftigen sich auch mit anderen Frakturen des Sinus frontalis und schenken den isolierten Frakturen des Sinus frontalis nur beschränkt Beachtung.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die eigene Studie mit ihrem Untersuchungszeitraum, ihrer Patientenanzahl und dem Nachbeobachtungszeitraum durchaus mit vergleichbarer Literatur ebenbürtig ist, jedoch durch ihre Spezialisierung auf die verwendeten Osteosynthesematerialien ein Alleinstellungsmerkmal besitzt. Darüber hinaus handelt es sich hierbei um die erste retrospektive Auswertung eines Patientengutes mit isolierten Vorderwandfrakturen des Sinus frontalis seit 1979. Aufgrund des medizinischen Fortschrittes besteht die Notwendigkeit einer solchen neuen Studie.

5.2 Häufigkeitsverteilung

Der hohe prozentuale Anteil männlicher Patienten, der in dieser Untersuchung 77,8% betrug, wurde auch in der Literatur speziell für die Vorderwandfraktur des Sinus frontalis (Chen et al., 2006; Whited, 1979), aber auch für Sinus frontalis-Frakturen im Allgemeinen bestätigt (Dalla Torre et al., 2014; Gerbino et al., 2000; Strong et al., 2006; Wallis and Donald, 1988; Weitman et al., 2017; Wilson et al., 1988).

Die Altersspanne des eigenen Patientengutes von 17 bis 77 wurde in ähnlicher Form auch in der Literatur für Vorderwandfrakturen des Sinus frontalis (Whited, 1979), sowie für Sinus frontalis-Frakturen im Allgemeinen (Dalla Torre et al., 2014; Gerbino et al., 2000; Wallis and Donald, 1988; Weitman et al., 2017; Wilson et al., 1988) wiedergefunden. Das Alter des jüngsten Patienten mit einer Sinus frontalis-Fraktur der Vorderwand betrug bei Whited 18 Jahre (Whited, 1979), in der eigenen Untersuchung 17 Jahre. Auch im Allgemeinen war für Frakturen des Sinus frontalis festzustellen, dass sich die jüngsten Patienten in einem Intervall von 12 bis 18 Jahren befanden (Gerbino et al., 2000; Wallis and Donald, 1988; Weitman et al., 2017; Whited, 1979; Wilson et al., 1988), lediglich in zwei Studien gab es Patienten, die unter dem zehnten Lebensjahr einzuordnen waren (Dalla Torre et al., 2014; Strong et al., 2006). Zu diesem Sachverhalt wurde eine Untersuchung von Vu et al. (Vu et al., 2015) durchgeführt, in der Daten zur Häufigkeitsverteilung von Sinus frontalis-Frakturen bei pädiatrischen Patienten erhoben wurden. Dabei machte die isolierte Vorderwandfraktur des Sinus frontalis 18% (n=7) aller untersuchter Kinder aus (Vu et al., 2015). Diese befanden sich alle ausschließlich in einem Altersintervall von 12 bis 15 Jahren und wiesen ein Durchschnittsalter von ca. 14 Jahren auf, wohingegen kombinierte

Frakturen der Vorder- und Hinterwand auch schon im ersten Lebensjahrzent auftraten (Vu et al., 2015). Dass die meisten Sinus frontalis-Frakturen und speziell die Vorderwandfrakturen erst im zweiten Lebensjahrzent auftreten, kann möglicherweise dadurch begründet werden, dass die Pneumatisation des Sinus frontalis erst im zweiten Lebensjahr einsetzt und aller frühestens erst im zwölften Lebensjahr seine eigentliche Ausdehnung erreicht hat (Manolidis and Hollier Jr, 2007). Darüber hinaus ist der Knochen eines Kindes im Vergleich zum Erwachsenen viel formbarer, auch weisen die Suturen des kindlichen Schädels eine höhere Flexibilität auf, weshalb für eine Fraktur höhere Kräfte auftreten müssen (Haug and Foss, 2000; Ryan et al., 2011; Vu et al., 2015).

5.3 Unfallmechanismus

Beim Stirnbein handelt es sich um den stabilsten Knochen des menschlichen Schädels (Manolidis and Hollier Jr, 2007), der eine doppelt so hohe Kraft aushalten kann als jeder andere Schädelknochen (Nahum, 1975). Diese Krafteinwirkung liegt im Bereich von 3,6 bis zu ca. 10 kN und tritt in dieser Größenordnung vor allem bei Verkehrsunfällen auf (Manolidis and Hollier Jr, 2007). So zeigte sich in der Fachliteratur, dass in nahezu allen betrachteten Untersuchungen (Chen et al., 2006; Dalla Torre et al., 2014; Gerbino et al., 2000; Strong et al., 2006; Wallis and Donald, 1988; Whited, 1979; Wilson et al., 1988) der Verkehrsunfall den häufigsten Unfallmechanismus für Sinus frontalis-Frakturen darstellte. Auch für Vorderwandfrakturen des Sinus frontalis gilt dies, wie zwei Studien (Chen et al., 2006; Whited, 1979) und die eigenen Befunderhebungen erwiesen. Lediglich in einer Literatur (Weitman et al., 2017) wurde der Verkehrsunfall nur als zweithäufigste Frakturursache angegeben. Dies ist möglicherweise durch die Aktualität dieser Studie (Weitman et al., 2017) zu begründen, deren Probanden im Zeitraum von 2000 bis 2015 therapiert wurden. So ist nämlich der Fachliteratur (Dalla Torre et al., 2014; Gerbino et al., 2000; Strong et al., 2006; Wallis and Donald, 1988; Weitman et al., 2017; Whited, 1979; Wilson et al., 1988) sowie dem eigenen Patientengut eine Tendenz zu entnehmen, wonach der prozentuale Anteil an Verkehrsverunfallten mit Sinus frontalis-Frakturen seit den 1970er Jahren rückläufig ist. Für Frakturen der anterioren Sinus frontalis-Wand kann dieser Trend auch beobachtet werden, so halbierte sich nahezu der Anteil an verkehrsverunfallten Patienten im eigenen Patientengut zum Vergleich mit einer Studie (Whited, 1979), die im Zeitraum von 1970 bis 1977 erhoben wurde. Dieses beobachtete Phänomen kann durch die Etablierung von Rückhaltesystemen wie dem Sicherheitsgurt erklärt werden, die zu einem Rückgang von maxillofazialen

Verletzungen führten (Cox et al., 2004; McMullin et al., 2009). Lediglich eine Untersuchung von Chen et al. (Chen et al., 2006) wies im Vergleich zu anderer Literatur aus diesem Zeitraum (Dalla Torre et al., 2014; Gerbino et al., 2000; Strong et al., 2006; Weitman et al., 2017), wie auch der eigenen Untersuchung, einen ungewöhnlich hohen prozentualen Anteil an verkehrsverunfallten Patienten mit Sinus frontalis-Frakturen auf. Dieser ungewöhnlich hohe Wert von 82% (Chen et al., 2006) ist jedoch darauf zurückzuführen, dass die Studie in Taiwan und nicht wie die anderen in der westlichen Welt durchgeführt wurde. Das Mobilitätsverhalten in Taiwan unterscheidet sich nämlich durch die Tatsache, dass dort das Motorrad ein beliebtes Fortbewegungsmittel ist, wodurch bei Unfällen gehäuft obere Mittelgesichtsfrakturen auftreten (Chen et al., 2006).

Im Folgenden wurde die Fachliteratur (Chen et al., 2006; Dalla Torre et al., 2014; Gerbino et al., 2000; Lakhani et al., 2001; Strong et al., 2006; Wallis and Donald, 1988; Weitman et al., 2017; Whited, 1979; Wilson et al., 1988) wie auch die eigene Untersuchung nach dem Verkehrsunfall als Unfallmechanismus ausgewertet (siehe Tabelle 7). Dabei wurde jeweils der Durchführungszeitraum der Studie sowie der prozentuale Anteil ermittelt, den die durch Verkehrsunfälle entstanden Sinus frontalis-Frakturen am gesamten Patientengut ausmachten. Als x-Koordinate wurden dabei die Jahreszahlen, als y-Koordinate der prozentuale Anteil an Verkehrsverunfallten verwendet. Dabei handelt es sich in den Studien einerseits um Sinus frontalis-Frakturen (Dalla Torre et al., 2014; Gerbino et al., 2000; Lakhani et al., 2001; Strong et al., 2006; Wallis and Donald, 1988; Weitman et al., 2017; Wilson et al., 1988) im Allgemeinen und andererseits um reine Vorderwandfrakturen des Sinus frontalis (Chen et al., 2006; Whited, 1979).

Tabelle 7: Unfallmechanismus Verkehrsunfall im Vergleich verschiedener Studien

Studie	Zeitraum	Anteil / Gesamt	%
Whited, 1979	1970 - 1977	32 / 52	61,5
Wallis and Donald, 1988	1976 - 1986	51 / 72	71
Wilson et al., 1988	1977 - 1986	40 / 66	61
Gerbino et al., 2000	1987 - 1998	91 / 158	57,6
Strong et al., 2006	1987 - 2002	68 / 130	52
Lakhani et al., 2001	1994 - 1999	4 / 12	33,3
Chen et al., 2006	1994 - 2002	45 / 78	83
Weitman et al., 2017)	2000 - 2015	6 / 24	25
Dalla Torre et al., 2014	2006 - 2010	52 / 164	31,7
Eigene Studie	2011 - 2017	6 / 18	33,3

Einen weiteren Unfallmechanismus stellt das Rohheitsdelikt dar, welcher bei drei Patienten (16,7%) zu einer Fraktur führte. Auch in der Literatur wird diese Ursache in ähnlich prozentualer Verteilung wiedergefunden. So liegt der Anteil der Rohheitsdelikte an der Gesamtanzahl der Patienten mit Vorderwandfrakturen des Sinus frontalis bei Whited (Whited, 1979) bei immerhin 23,1% und bei Chen et al. (Chen et al., 2006) bei allerdings nur 4,5%.

Darüber hinaus wurden vier Vorderwandfrakturen des frontalen Sinus (22,2%) durch Freizeitunfälle verursacht. Auch der Fachliteratur (Chen et al., 2006; Whited, 1979) war dieser Unfallmechanismen zu entnehmen. Zudem kam es bei zwei Patienten (11,1%) durch einen Sturz zu einer Fraktur der anterioren Wand des Sinus frontalis, was ebenfalls in der Literatur (Chen et al., 2006) als mögliche Ursache angegeben wird.

5.4 Zugänge

Bei Frakturen des Sinus frontalis wird in der Regel am häufigsten auf eine koronale bzw. bikoronale Schnittführung zurückgegriffen (Gerbino et al., 2000; Hakimi et al., 2011; Strong et al., 2006; Wallis and Donald, 1988; Weitman et al., 2017; Yavuzer et al., 2005). Diese gewährleistet eine gute Übersicht sowie einen guten Zugang zum Operationsfeld (Delaney, 2016). Bei kleineren Defekten, wie der Vorderwandfraktur der Stirnhöhle oder Frakturen des Orbitadaches, können minimalinvasivere Zugänge durchgeführt werden, die über die Wunde oder einer Inzision an der Augenbraue erfolgen (Gerbino et al., 2000; Mokal and Desai, 2012; Robiony et al., 2014; Yavuzer et al., 2005).

Diese Meinung der Fachliteratur bestätigen die eigenen Ergebnissen. So war der präferierte Zugangsweg über die offene Wunde des Weichgewebes auch in anderen Literaturen das Mittel der Wahl (Steinhart and Schroeder, 1995; Whited, 1979). Verglichen mit einer Studie von Steinhart und Schroeder (Steinhart and Schroeder, 1995) konnte sogar in etwa die gleiche Verteilung der Zugangswege beobachtet werden. In dieser Studie wurden insgesamt 39 Patienten mit isolierten Vorderwandfrakturen des Sinus frontalis behandelt. Dabei erfolgte in sieben Fällen der Zugang über eine Inzision an der Augenbraue, bei acht Patienten wurde eine bikoronale Inzision angewendet und am häufigsten verwendete man die bestehende Wunde als Zugang, nämlich in 24 Fällen (Steinhart and Schroeder, 1995). Bei Whited (Whited, 1979) erfolgten sogar alle Zugänge zur Vorderwandfraktur über die Wunde. Festzuhalten ist auch, dass in den eigenen Operationen der Zugangsweg zu kleinere Frakturen wie beispielsweise die des Typ 4, aufgrund des geringeren Aufwandes (Delaney, 2016), sowie des kleineren Operationsfeldes, ausschließlich über die Wunde

(6 von 9) oder die Augenbraue (3 von 9) erfolgte. Dahingegen wurde bei der Typ 3 und Typ 5 Fraktur aufgrund der topographischen Beziehung kein Zugang über eine Inzision an der Augenbraue gesucht. Hier wurden bei den jeweils zwei Patienten je ein Zugang über die Wunde und ein Zugang über einen Bügelschnitt gewählt. In diesen Fällen wurde vor allem der Bügelschnitt präferiert, da mit ihm eine gute Übersicht über große Defekte dargestellt werden kann, wie es beispielsweise bei einem Typ 5 der Fall ist. Auch bei einer Typ 3 Fraktur bietet sich der Bügelschnitt an, da bei diesem über eine supraziliare Inzision nur ein insuffizienter Zugang geschaffen werden kann, wohingegen der Bügelschnitt einen guten Überblick über das Operationsfeld bietet (Delaney, 2016).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass für die isolierte Vorderwandfraktur, aufgrund des geringen Aufwandes und dem ästhetischen Ergebnisses, der minimalinvasive Zugang über die Wunde oder einer Inzision an der Augenbraue das Mittel der Wahl sind. Je umfangreicher die Fraktur jedoch ist, umso sinnvoller wird ein Bügelschnitt, da er beispielsweise trotz der ästhetischen Nachteile, eine bessere Übersicht bietet und zum Gelingen der Operation beiträgt (Delaney, 2016).

5.5 Osteosyntheseverfahren

Während bei Stirnhöhlenvorderwandfrakturen ohne Dislokation lediglich eine Beobachtung erfolgen kann, benötigen dislozierte Frakturen eine operative Behandlung (Dalla Torre et al., 2014). Hier ist vor allem bei Frakturen die Osteosynthese einer Obliteration möglicherweise vorzuziehen, da die Obliteration in solchen Fällen herausfordernd und schwierig sein kann (Gonty et al., 1999; Wilson et al., 1988). Daher soll im Folgenden näher auf die Osteosynthese von isolierten Stirnhöhlenvorderwandfrakturen und Orbitadachfrakturen eingegangen werden.

5.5.1 Titanbasierte Osteosyntheseverfahren

Plattenosteosynthese

Die titanbasierte Plattenosteosynthese ist, neben der Gitterosteosynthese, für Mittelgesichtsfrakturen das Mittel der Wahl (Brunner, 2006; Luhr, 2000). Auch wird in der Fachliteratur die Fixation einer Vorderwandfraktur des Sinus frontalis häufig mit Mini- und Mikroplatten durchgeführt (Brunner, 2006; Chen et al., 2006; Gerbino et al., 2000; Hosemann et al., 2005; Kübler and Mühling, 1998; Manolidis and Hollier Jr, 2007; Montovani et al., 2006; Schütz et al., 2015; Stassen and McGuinness, 1999; Staudenmaier et al., 2002; Steinhart and Schroeder, 1995; Xie et al., 2000; Yavuzer et al., 2005). In den eigenen Ergebnissen spiegelt sich dies auch wider. So wurde die Mehrheit (55,55%) der Vorderwandfrakturen im eigenen Patientengut mit Mikroplatten

therapiert.

Während sich die Indikation von Miniplatten mehr im Bereich von tragenden und mechanisch beanspruchten Pfeilern des Gesichtsschädels finden lässt (Brunner, 2006; Hosemann et al., 2005), sind Mikroplatten vor allem in nicht lasttragenden Arealen, wie dem oberen, mittleren und unteren Orbitalrand und dem Os frontale, und bei Frakturen mit kleineren Fragmenten indiziert (Brunner, 2006; Hosemann et al., 2005). Dabei zeigt die Literatur, dass hier mit dem Mikroplattensystem eine ausreichende mechanische Stabilität erreicht werden kann (Chen et al., 2006; Ellis et al., 1991; Staudenmaier et al., 2002; Xie et al., 2000) und die Knochenfragmente wieder in ihrer ursprünglichen Form reponiert werden können (Manolidis and Hollier Jr, 2007; Steinhart and Schroeder, 1995; Xie et al., 2000; Yavuzer et al., 2005).

Im eigenen Patientengut wurden sieben Typ 4-, zwei Typ 5- und eine Typ 2-Fraktur mit Mikroplatten versorgt. Dabei wird die Plattenosteosynthese exemplarisch in Abbildung Fehler: Referenz nicht gefunden für den Fall 3 veranschaulicht. Hier wurde eine, durch einen Rohheitsdelikt verursachte, Typ 4-Fraktur mit zwei Mikroplatten therapiert. Aus den behandelten Frakturtypen lässt sich schließen, dass der oben genannte Indikationsbereich der Fachliteratur auch so auf die eigenen Behandlungen übertragen werden kann, da mit der Mikroplattenosteosynthese überwiegend Vorderwandfrakturen des Sinus frontalis mit Beteiligung des oberen Orbitalandes behandelt wurden.

Als Komplikationen in Zusammenhang mit der Plattenosteosynthese berichtete ein Patient (Fall 8) über eine Wetterfühligkeit. Auch in der Literatur wird dies als mögliche Folge einer Titanplatte genannt, hier wird diese als lokale, persistierende Kälteempfindung beschrieben, die jedoch nur in seltenen Fällen auftritt. Die Autoren geben jedoch nicht an, bei wie vielen Patienten dies in ihrer Studie auftrat (Hosemann et al., 2005).

Abschließend lässt sich sagen, dass die Plattenosteosynthese ein geeignetes und einfaches Mittel zur Rekonstruktion von Vorderwandfrakturen des Sinus frontalis sowie des oberen Orbitalandes darstellt und vor allem dann sinnvoll ist, wenn wenige Knochenfragmente ohne große Defekte osteosynthiert werden müssen.

Gitterosteosynthese

Im eigenen Patientengut wurden zwei Typ 4-Frakturen mit einem 1,5mm Titangitter versorgt. Auch in der Fachliteratur war dieses Osteosyntheseverfahren für Frakturen des Sinus frontalis im Allgemeinen (Kuttenberger and Hardt, 2001; Lakhani et al., 2001; Marks, 1995; Statkiewicz et al., 2014), für isolierte Vorderwandfrakturen (Lakhani et al., 2001; Lazaridis et al., 1998; Marks, 1995; Patel and Langdon, 1991; Robiony et al.,

2014; Zavattero et al., 2013), für supraorbitale Orbitalrandfrakturen (Lazaridis et al., 1998; Marao et al., 2010; Statkiewicz et al., 2014) und für Orbitadachfrakturen (Kuttenberger and Hardt, 2001; Manolidis et al., 2002; Mokal and Desai, 2012) beschrieben.

Der Einsatz eines Titangitters zur Versorgung einer Vorderwandfraktur des Sinus frontalis ist nach Marks (Marks, 1995) theoretisch in allen Fällen gegeben, jedoch ist dies nach Meinung des Autors nur dann sinnvoll, wenn man zur Frakturversorgung mehr als zwei lineare Platten bräuchte. Da bei großen Defekten somit auch mehr Platten gebraucht würden, sorgt dies nicht nur zu einer Verlängerung der Operationszeit, sondern würde auch eine stabile und ästhetische Lösung erschweren (Lakhani et al., 2001). Dahingegen bietet die Gitterosteosynthese den Vorteil, dass sie in wenigen Minuten (Kuttenberger and Hardt, 2001) einfach (Kuttenberger and Hardt, 2001; Lakhani et al., 2001; Marks, 1995; Statkiewicz et al., 2014; Zavattero et al., 2013) und optimal (Kuttenberger and Hardt, 2001; Lakhani et al., 2001; Statkiewicz et al., 2014) an die Stirnkontur angepasst und fixiert werden kann (Kuttenberger and Hardt, 2001). Somit wird sie den funktionellen und ästhetischen Ansprüche gerecht (Marks, 1995; Mokal and Desai, 2012). Neben dem schnellen und einfachen Anpassen (Kuttenberger and Hardt, 2001; Marks, 1995; Mokal and Desai, 2012) des Gitters, bietet es auch weitere Vorteile. So gewährt die titanbasierte Gitterosteosynthese nicht nur Stabilität (Lakhani et al., 2001; Lazaridis et al., 1998; Mokal and Desai, 2012; Robiony et al., 2014; Statkiewicz et al., 2014; Zavattero et al., 2013) in nicht lasttragenden Bereichen (Kuttenberger and Hardt, 2001; Mast et al., 2012), wie beispielsweise der Vorderwand des Sinus frontalis, sondern auch eine gute Biokompatibilität (Lazaridis et al., 1998; Marks, 1995; Zavattero et al., 2013), die mit einer minimalen entzündlichen Reaktion (Statkiewicz et al., 2014; Zavattero et al., 2013) und einer geringen Infektionswahrscheinlichkeit (Kuttenberger and Hardt, 2001; Marks, 1995; Mokal and Desai, 2012), sogar wenn sich das Gitter in direkter Beziehung zu einer Nasennebenhöhle befindet (Kuttenberger and Hardt, 2001), einhergeht. Des Weiteren bietet das Gitter auch durch seine Perforationen eine gewisse Drainagefunktion (Mokal and Desai, 2012; Statkiewicz et al., 2014). Ein weiterer Vorteil der Gitterosteosynthese besteht darin, dass man mit ihr kleine Knochenfragmente (Marks, 1995; Robiony et al., 2014) und Knochentransplantate (Kuttenberger and Hardt, 2001; Marks, 1995) fixieren, aber auch den Verlust von Knochenfragmenten bis zu einer Größe von einem Zentimeter (Marks, 1995) gut überbrücken kann (Marks, 1995; Statkiewicz et al., 2014; Zavattero et al., 2013). Mit

einer Platte könnte man dahingegen nicht alle kleinen Knochenfragmente zur Osteosynthese wiederverwenden (Lakhani et al., 2001). Auch kommt die Gitterosteosynthese mit weniger Schrauben als die Plattenosteosynthese aus (Lazaridis et al., 1998; Patel et al., 2017) und kann im Profil dünner gestaltet werden (Marks, 1995; Statkiewicz et al., 2014), wodurch sie nicht tastbar ist (Marks, 1995). Als letzter Vorteil an dieser Stelle wäre zu nennen, dass ein solches Gitter dem Gewebe als Wachstumsschiene dienen kann (Statkiewicz et al., 2014). Dies wird jedoch von Lazaridis et al. (Lazaridis et al., 1998) als Nachteil gewertet, da dies eine mögliche Entnahme des Gitters erschwert, da es am Ende der Heilung vollständig mit dem umgebenden Gewebe verwachsen ist. Allerdings werden solche Gitter nur selten wieder entnommen (Lazaridis et al., 1998; Patel and Langdon, 1991), wodurch dieser Nachteil an Gewichtung verliert (Lazaridis et al., 1998). So therapierten beispielsweise Lazaridis et al. (Lazaridis et al., 1998) 38 Frakturen im fronto-zygomato-orbitalen Komplex mit titanbasierter Gitterosteosynthese, wovon im drei Jahre umfassenden Nachuntersuchungszeitraum nur zwei entfernt werden mussten. Ursächlich dafür waren von den Nasennebenhöhlen ausgehende Infektionen. In der Untersuchung von Patel und Langdon (Patel and Langdon, 1991) wurden insgesamt 118 Patientenfälle mit Titangittern versorgt. Dabei handelte es sich um Traumataversorgungen, Rekonstruktionen und orthognatische Eingriffe an der Mandibula, dem Mittelgesicht sowie dem Os frontale. In vier Patientenfällen kam es zu einer nachträglichen Entfernung der Gitter, hauptsächlich wegen Infektionen und in einem Fall wegen einer persistierenden Schwellung. Insgesamt wurden weniger als 2% der verwendeten Titangitter entfernt. Im eigenen Patientengut wurde im Nachuntersuchungszeitraum kein Titangitter aufgrund einer aufgetretenen Komplikation entfernt. Dies hat jedoch aufgrund der geringen Probandenzahl nur eine bedingte Aussagekraft, spiegelt aber Erfahrung aus der Literatur wider.

In der Fachliteratur wird die Gitterosteosynthese von Vorderwandfrakturen des Sinus frontalis, über die letzten Jahre hinweg, stets positiv beschrieben (Lakhani et al., 2001; Lazaridis et al., 1998; Patel and Langdon, 1991; Statkiewicz et al., 2014; Zavattoni et al., 2013). Auch der Einsatz von Gittern speziell bei Beteiligung des Orbitarandes wird als sinnvoll erachtet (Manolidis et al., 2002). Patel und Langdon (Patel and Langdon, 1991) versorgten eine Impressionsfraktur der Sinus frontalis-Vorderwand mit einem Titangitter. Dabei beschreiben sie eine schnelle Anpassung des Gitters an die Kontur des Os frontale, sowie ein leichtes Anbringen der Knochenfragmente an selbiges (Patel and Langdon, 1991). Darüber hinaus wurden bei Lazaridis et al. (Lazaridis et al., 1998)

mit Hilfe eines Titangitters eine Vorderwandfraktur des Sinus frontalis mit und eine ohne assoziierte Fraktur des oberen Orbitarandes versorgt. Zudem wurde auch eine Sinus frontalis-Vorderwandfraktur mit einem Titangitter behandelt, wohingegen die hier vorliegende Fraktur des oberen Orbitarandes mit Miniplatten versorgt wurde (Lazaridis et al., 1998). Lazaridis et al. (Lazaridis et al., 1998) kam zu dem Fazit, dass Titangitter eine nützliche Möglichkeit zur Rekonstruktion und Fixierung von kraniofazialen Defekten darstellen. Darüber hinaus verwendete Lakhani et al. (Lakhani et al., 2001) die Gitterosteosynthese in vier Fällen, bei denen eine Fraktur der Sinus frontalis-Vorderwand vorlag. Hier kam man zu dem Eindruck, dass solche Defekte mit einem Titangitter einfacher zu rekonstruieren sind und man dabei ein optimales ästhetisches Ergebnis erzielen kann (Lakhani et al., 2001). Zattero et al. (Zattero et al., 2013) zeigte in seiner Untersuchung, dass man mit einem Titangitter die Vorderwandfraktur des Sinus frontalis gut und komplikationsfrei rekonstruieren kann. Dabei kommen die Autoren auch zu dem Fazit, dass die Gitterosteosynthese eine ideale Möglichkeit zur Versorgung von kraniofazialen Defekten darstellt (Zattero et al., 2013). In einer weiteren Untersuchung versorgten Statkiewicz et al. eine ausgeprägte Fraktur der Sinus frontalis-Vorderwand und des oberen Orbitarandes mit einem Titangitter (Statkiewicz et al., 2014). Dabei konnten die genannten anatomischen Strukturen ausreichend nachgebildet werden, da das Gitter einfach an das Areal anzupassen war (Statkiewicz et al., 2014). Auch die Operationszeit konnte durch dieses Verfahren verkürzt werden (Statkiewicz et al., 2014). Nicht nur der obere Orbitarand kann mit einem Gitter versorgt werden, sondern auch Orbitadachfrakturen, wie es Mokal et al. (Mokal and Desai, 2012) gezeigt hat. Auch hier konnten die funktionalen und ästhetischen Ziele mit der Gitterosteosynthese erreicht werden (Mokal and Desai, 2012).

Im eigenen Patientengut wurden zwei Vorderwandfrakturen des Sinus frontalis mit Beteiligung des oberen Orbitarandes mittels Titangittern versorgt, wobei dies im Fall 12 ali loco erfolgte. Darüber hinaus handelte es sich in Fall 12 auch um eine veraltete Fraktur, die ohne Reposition therapiert wurde. Bei den beiden Fällen 2 und 12 handelt es sich je um einen Vorderwandfrakturdefekt des Typs 4. Bei Fall 2 entstand der Defekt durch einen Unfall bei der Holzverarbeitung, bei dem sich der Patient selbst mit der Säge eine Kontinuitätsunterbrechung des Os frontale zufügte. Dabei ist anzuführen, dass das Sägen ein spanendes Verfahren darstellt (Fuchsberger, 1986). Dies bedeutet wiederum, dass es zu einem Verlust an Knochensubstanz in Form von Spänen kommt, die bei der folgenden Reposition und Osteosynthese fehlen. Dieser Knochenverlust

stellt eine mögliche Indikation für den Einsatz einer Gitterosteosynthese dar (Marks, 1995; Statkiewicz et al., 2014; Zavattoni et al., 2013), die im konkreten Fall schließlich auch erfolgte. Der Knochenverlust wurde mittels Titangitter überbrückt und die Kontur der Stirn somit wieder hergestellt. Postoperativ traten keine Komplikationen auf. Dahingegen klagte der Patient bei Fall 12 über postoperative Spannungskopfschmerzen. Ein ähnlicher Verlauf wird auch in der Literatur von Lakhani et al. (Lakhani et al., 2001) beschrieben. Hier wurde eine isolierte Vorderwandfraktur des Sinus frontalis mit einem Titangitter versorgt, wobei postoperativ ebenfalls Kopfschmerzen auftraten (Lakhani et al., 2001). Diese wurden als posttraumatisches Schmerzsyndrom diagnostiziert, eine Infektion des Gitters lag nicht vor (Lakhani et al., 2001).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Gitterosteosynthese eine einfache und schnelle Möglichkeit bietet, die Stirnkontur anatomisch korrekt wieder herzustellen und darüber hinaus ein effizientes Mittel zur Überbrückung von kleinen Knochenverlusten darstellt. Auch können mit ihr kleine Knochenfragmente einfacher fixiert werden, was den Verlust an Knochen minimiert. Somit stellt sie bei größeren Defekten, bei Knochenverlust und kleinen Knochenfragmenten eine sinnvolle Alternative zur Plattenosteosynthese dar.

PSI

In der eigenen Studie wurde eine Typ 4-Fraktur mit einem PSI aus Titan versorgt. Auch in der Fachliteratur findet dieses Verfahren aufgrund der sich stetig weiter entwickelnden Technologie immer mehr Anwendung (Owusu and Boahene, 2015). Unter anderem wurde auch die Versorgung von Defekten des Os frontale in der Literatur beschrieben (Eufinger and Wehmöller, 1998; Gerbino et al., 2013; Nagarjuna et al., 2015).

PSI sind vor allem dann indiziert, wenn große Defekte vorliegen bzw. solche, die aus ästhetischer Sicht schwierig zu decken sind, wie beispielsweise die Stirn-Orbita-Kontur (Gerbino et al., 2013). Hier erleichtern sie die korrekte Rekonstruktion der verloren gegangenen anatomischen Konturen (Owusu and Boahene, 2015). Bei kleineren maxillofazialen Defekten sind noch nach wie vor die konventionelle Osteosynthesematerialien das Mittel der Wahl (Gerbino et al., 2013). Auch bieten sie eine gute Alternative gegenüber Knochentransplantaten (Eufinger and Wehmöller, 1998; Gerbino et al., 2013), da sie kein zweites Operationsareal benötigen und auf lange Sicht formstabil sind (Eufinger and Wehmöller, 1998).

Bei Nagarjuna et al. (Nagarjuna et al., 2015) wurden zwei traumatische Defekte des Os

frontale mit Hilfe von titanbasierten PSI versorgt, die in Wachs modelliert, dann eingescannt und anschließend im subtraktiven Verfahren mittels einer CNC-Fräse hergestellt wurden. Dabei traten keine prä- oder postoperativen Komplikationen auf, auch ein präoperatives Anpassen des Implantats war aufgrund der guten Passung nicht von Nöten (Nagarjuna et al., 2015). Alle Patienten waren mit dem Ergebnis aus ästhetischer Sicht zufrieden (Nagarjuna et al., 2015). In einer weiteren Studie von Eufinger und Wehmöller (Eufinger and Wehmöller, 1998) kamen bei drei Frakturen des Os frontale titanbasierte PSI zum Einsatz, welche im CAD-CAM-Verfahren, mittels eines subtraktiven Verfahrens in Form einer Fräse, hergestellt wurden. Dabei kamen die Autoren zu dem Fazit, dass das PSI eine hohe Präzision bietet, was auch die intraoperative Rekonstruktionsszeit hier auf 30 bis 50 Minuten reduziert (Eufinger and Wehmöller, 1998). Gerbino et al. (Gerbino et al., 2013) hat bei einem Patienten einen Defekt des Os frontale, sowie des Orbitadaches versorgt, der in Folge einer Tumoresektion entstanden war. Dabei wurde für das mit dem CAD-CAM-Verfahren hergestellte Implantat, der Werkstoff PEEK verwendet (Gerbino et al., 2013). Die operative Fixierung erfolgte nicht wie in den anderen Fällen direkt über das PSI mit Titanschrauben, sondern indirekt durch Miniplatten aus Titan (Gerbino et al., 2013). Die Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass gerade große Defekte aus funktionaler und ästhetischer Sicht sehr gut mit einem PSI versorgt werden können (Gerbino et al., 2013). Im eigenen Patientengut wurde der Fall 10 mit einem titanbasierten PSI versorgt. Dabei handelt es sich um eine Typ 4-Fraktur, verursacht durch einen Verkehrsunfall (siehe Abbildung 18). Aufgrund der großen Ausdehnung der Trümmerfraktur, die neben dem rechten Sinus frontalis auch den gesamten rechten oberen Orbitalrand betrifft, und der damit einhergehenden massiven Kontinuitätsunterbrechung, ist das PSI in diesem Fall wohl die effizienteste Lösung. So gelang es mithilfe des PSI, trotz der Dislokation und des Knochenverlustes, eine funktionelle und ästhetische Lösung herzustellen (siehe Abbildung 18). Die Gitterosteosynthese wäre in diesem Fall eine mögliche Alternative gewesen, jedoch kann bei solch großen Defekten durch die Verwendung eines PSIs anstatt von konventionellen Osteosynthesematerialien, operativ an Zeit gespart und ein sicheres ästhetisches Ergebnis erzielt werden (Eufinger and Wehmöller, 1998). Darüber hinaus kann das PSI als Alternative zu einem autologen Knochentransplantat genutzt werden, was den operative Stress für den Patienten reduziert, da Zweiteingriffe am Skalp bzw. Becken verhindert werden (Eufinger and Wehmöller, 1998).

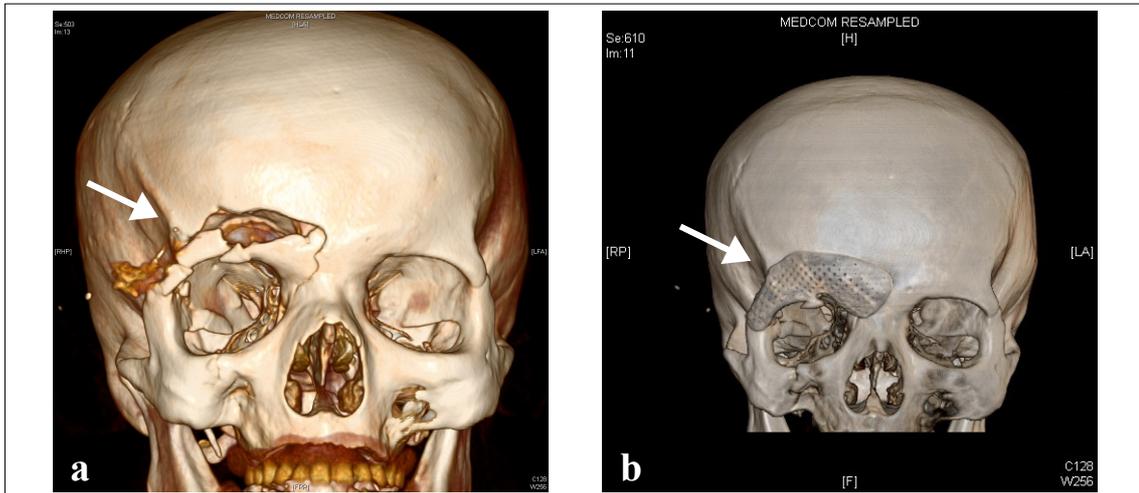


Abbildung 18: Patient 10, weiblich, 50 Jahre alt, Verkehrsunfall, Typ 4-Fraktur rechtsseitig

- (a) präoperatives CT-Bild, Stirnhöhlenvorderwand-Kontinuitätsunterbrechung (weißer Pfeil)
- (b) postoperatives CT-Bild, Wiederherstellung der Knochenkontinuität mit PSI (weißer Pfeil)

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das PSI bei großen Defekten eine gute Alternative zu klassischen Osteosynthesematerialien darstellt. Seine Vorteile liegen in der sehr guten Passung, der hohen Präzision und der verkürzten Operationszeit. Gegenüber klassischen autologen Knochentransplantaten bietet es neben einer sicheren Formstabilität auch den Vorzug, dass kein zweites Operationsfeld eröffnet werden muss. Prinzipiell können PSIs bei jeder Frakturversorgung verwendet werden, die sinnvollste Indikation liegt bei größeren Defekten, ansonsten sind konventionelle Osteosynthesematerialien, wie beispielsweise bei einer unkomplizierten Impressionsfraktur der Stirnhöhlenvorderwand, zu empfehlen.

5.5.2 Bioresorbierbare Osteosyntheseverfahren

Im eigenen Patientengut wurden zwei Vorderwandfrakturen des Sinus frontalis mit bioresorbierbaren Osteosyntheseverfahren therapiert, wobei Platten des Resorb X-Systems und Pins des SonicWeld-Systems zum Einsatz kamen. Bioresorbierbare Osteosynthesematerialien auf PLA-Basis werden in der Literatur oft zur Versorgung von Kontinuitätsunterbrechungen des Mittelgesichts (Bos et al., 1987; Buijs et al., 2007a; Gerlach, 1990, 1993; Meara et al., 2012; Reichwein et al., 2009; Wittwer et al., 2005, 2006) und der Mandibula (Haers and Sailer, 1998; Kallela et al., 1999a, 1999b; Yerit et al., 2002) verwendet. Darüber hinaus versorgten Kang et al. (Kang et al., 2014), Kolk et al. (Kolk et al., 2015) und Bell et al. (Bell and Kindsfater, 2006) jeweils auch Frakturen des Sinus frontalis mit bioresorbierbaren Osteosynthesematerialien. Bei Reichwein et al. (Reichwein et al., 2009) wurden ebenfalls, wie in den eigenen Untersuchungen, Frakturen des Os frontale mit Resorb X-Platten und SonicWeld-Pins

versorgt.

Mehrere Studien (Bell and Kindsfater, 2006; Haers and Sailer, 1998; Kang et al., 2014a; Wittwer et al., 2006) haben ergeben, dass bioresorbierbare Osteosynthesematerialien auf PLA-Basis mit denen aus Titan vergleichbar sind. So kam Haers und Sailer (Haers and Sailer, 1998) zu dem Fazit, dass bioresorbierbare Platten-Schrauben-Systeme aus selbstverstärktem PLDLLA bei bimaxillären Umstellungsosteotomien die gleiche Stabilität aufwiesen wie vergleichbare Versorgungen aus Titan. Darüber hinaus stellte Kang et al. (Kang et al., 2014) in seiner Studie fest, in der mehrere Mittelgesichtsfrakturen wie auch Frakturen des Sinus frontalis mit selbstverstärkten PLDLLA-Materialien versorgt wurden, dass bioresorbierbare Materialien sowie Titan in der Osteosynthese eine ähnliche Komplikationsrate aufwiesen und bioresorbierbare Stoffe in einigen Fällen eine suffiziente Alternative gegenüber konventionellen Osteosyntheseverfahren aus Titan darstellen können (Kang et al., 2014). In einer von Wittwer et al. (Wittwer et al., 2006) durchgeführten Studie, wurden Os zygomaticus-Frakturen mit bioresorbierbaren Osteosynthesematerialien versorgt, wobei nicht auf das verwendete Material eingegangen wird. Hier zeigte sich, dass zwischen der Patientengruppe mit bioresorbierbarem Osteosynthesematerial und der Kontrollgruppe, welche mit konventionellen Osteosynthesematerialien aus Titan versorgt wurde, keine signifikanten Unterschiede im Auftreten postoperativer Komplikationen sowie in der Wundheilung festzustellen waren (Wittwer et al., 2006). Dagegen kam Kolk et al. (Kolk et al., 2015) zu dem Entschluss, dass bioresorbierbare Materialien keine allgemeine Alternative zu den Osteosyntheseverfahren aus Titan darstellen, wenn nicht eine spezielle Indikation gegeben ist. Dies liegt nicht unbedingt an den mechanischen Eigenschaften, sondern nach Kolk et al. (Kolk et al., 2015) vielmehr an der Biokompatibilität, da gehäuft Komplikationen wie Schmerzen, Schwellungen und Sensibilitätsstörungen auftraten, die der Autor mit dem Abbauprozess des Material in Verbindung bringt (Kolk et al., 2015). Teil der Untersuchung waren die Materialien BioSorb (PLLA/PDLA, 70:30), LactoSorb (PLLA/PGA, 82:18) und Delta (PLLA/PDLA/PGA, 85:5:10), wobei keine signifikanten Unterschiede der Komplikationsraten unter den Materialien festgestellt werden konnte (Kolk et al., 2015). Bei all diesen Materialien handelt es sich im Gegensatz zu PLDLLA nicht um amorphe, sondern um semikristalline Substanzen (Kolk et al., 2015; Villarreal-Gómez et al., 2013). Dabei steht die kristalline Zustandsform bei PLA-Material und damit auch bei PLLA in Zusammenhang mit Fremdkörperreaktionen und ungünstigen klinischen

Reaktionen, was wiederum die hohe Komplikationsrate in dieser Studie erklären könnte (Bergsma et al., 1993, 2006; Bostman et al., 1990; Heidemann et al., 2001; Kolk et al., 2015; Laine et al., 2004). Dahingegen weist PDLLA mit seiner rein amorphen Struktur (Villarreal-Gómez et al., 2013), auch während des Abbaus entstehen keine kristallinen Anteile (Gerlach, 2000), eine gute Biokompatibilität auf (Choi et al., 2002; Eckelt et al., 2007; Heidemann et al., 2001) und zeigte in Untersuchungen keine bis geringe vorhandene Komplikationen (Freudlsperger et al., 2014; Heidemann et al., 2001; Meara et al., 2012; Reichwein et al., 2009).

Im Folgenden soll auf die klinische Anwendung von Resorb X-Platten und SonicWeld-Systemen eingegangen werden. Bei Reichwein et al. (Reichwein et al., 2009) kamen diese zur Versorgung von Os zygomaticus-Frakturen, Impressionsfrakturen des Os frontale und Mittelgesichtsfrakturen zum Einsatz. Im Zusammenhang mit diesem System, beschreibt der Autor eine gute Handhabung, eine gute mechanische Stabilität, sowie eine geringe Komplikationsrate (Reichwein et al., 2009). In einer in vivo-Studie zur Fixation von Le Fort I-Osteotomien mittels Resorb X-Platten und SonicWeld-Pins durch Meara et al. (Meara et al., 2012), kam dieser zu dem Fazit, dass mit diesem System gute Ergebnisse und eine geringe Komplikationsrate erreicht werden kann. Freudlsperger et al. (Freudlsperger et al., 2014) verwendete Resorb X-Platten und SonicWeld-Pins zur Behandlung der Kraniosynostose bei Kindern, wobei der Autor eine gute Stabilität und eine geringe Komplikationsrate erreichte. Darüber hinaus bieten bioresorbierbare Osteosynthesematerialien hier einen Vorteil, da sie durch ihren Abbau und die damit einhergehende Verringerung ihrer mechanischen Eigenschaften den Wachstumsprozess nicht behindern und somit auch kein Zweiteingriff, wie beispielsweise bei einer Titan-Osteosynthese nötig wäre (Freudlsperger et al., 2014). Allgemein hin wird beschrieben, dass PDLLA-Osteosynthesematerialien vor allem bei nicht lasttragenden Bereichen des maxillofacialen Systems indiziert sind (Heidemann et al., 2001; Ruffieux, 1997). Im eigenen Patientengut wurden eine Typ 1- (Fall 7) und eine Typ 3-Fraktur (Fall 1) mit einer Resorb X-Platte und SonicWeld-Pins versorgt.

Die im Patientengut verwendeten Resorb X-Platten wurde mit Hilfe des SonicWeld-Systems befestigt. Das System weist gegenüber bioresorbierbaren Schrauben mehrere Vorteile auf. So muss für diese ein Gewinde in den Knochen geschnitten werden, was für die SonicWeld-Pins entfällt und darüber hinaus für die selbstschneidenden Titan-Schrauben nicht nötig wäre (Eckelt et al., 2007; Freudlsperger et al., 2014; Meara et al., 2012; Reichwein et al., 2009; Schneider et al., 2012). Dies kostet nicht nur Zeit (Eckelt et al., 2007; Meara et al., 2012; Schneider et

al., 2012, 2010) sondern auch Stabilität, da selbstschneidende Schrauben besser fixieren als solche, die schon in ein bestehendes Gewinde eingebracht werden (Bähr, 1989; Schneider et al., 2012). Durch das Entfallen des Gewindeschneidens ist nicht nur die Anwendung schneller (Eckelt et al., 2007; Schneider et al., 2012), sondern auch die Handhabung der Pins gegenüber den bioresorbierbaren Schrauben verbessert (Eckelt et al., 2007; Pilling et al., 2007b; Reichwein et al., 2009). Aufgrund des entfallenden Gewindeschneidens muss die Platte auch nicht extra dafür abgenommen und wieder repositioniert werden, was die Gefahr einer Dislokation der Platte minimiert (Reichwein et al., 2009). Des Weiteren können Torsionskräfte vermieden werden, welche bei den bioresorbierbaren Schrauben oftmals zu einem Abbrechen des Schraubenkopfes führen können (Eckelt et al., 2007; Freudlsperger et al., 2014; Meara et al., 2012; Schneider et al., 2012, 2010). Darüber hinaus wird es bei einer abnehmenden Knochendicke zunehmenden schwerer, ein Gewinde in den Kochen zu schneiden (Meara et al., 2012; Reichwein et al., 2009). Ein weitere Vorteil des SonicWeld-Systems besteht darin, dass sich die Achse zwischen Gitter und Pin unterscheiden kann (Pilling et al., 2007a). Eine mögliche Schädigung des Gewebes durch die beim Ultraschall entstehende Wärme konnte nicht beobachtet werden (Buijs et al., 2009), da bei der Ultraschallaktivierung höchstens Temperaturen von 33,1°C entstehen (KLS, n.d.), wobei erst bei Temperaturen von 50°C bis 60°C zu einer Nekrose der Osteozyten führt (Huiskes, 1980). Schneider et al. (Schneider et al., 2012) konnte beim Einsatz des SonicWeld-Systems weder klinisch noch histologisch bedingte entzündliche Prozesse feststellen, die auf den Ultraschall zurückzuführen wären. Ein weiterer Punkt, in dem das SonicWeld-Systems den konventionellen bioresorbierbaren Schrauben überlegen ist, besteht darin, dass die Fixierung des Knochens an die Platte nicht durch Druck erfolgt wie bei einer Schraube, sondern auf der einen Seite durch Verschmelzen mit der Platte und auf der anderen Seite durch das Ausfüllen der knöchernen Hohlräume (Eckelt et al., 2007; Pilling et al., 2007b), was den bioresorbierbaren Platten, im Vergleich zu den widerstandsfähigeren Titanplatten (Buijs et al., 2007b; Pilling et al., 2010), ihre Stabilität sichert (Eckelt et al., 2007; Pilling et al., 2007b; Schneider et al., 2012). Dabei ist die Dimension des Bohrloches gegenüber dem Pin-Durchmesser entscheidend, da für die Verflüssigung und damit einhergehende Penetration des Pins in den Kochen, ein optimaler Kontakt zwischen Kochen und Pin nötig ist, da nur dann dessen Aktivierung über den Ultraschall erfolgen kann (Schneider et al., 2010). Ist das Loch zu groß, ist nicht genügend Kochen-Pin-Kontakt vorhanden, wodurch der Pin nicht durch den Ultraschall aktiviert werden kann

(Schneider et al., 2010). Ist das Loch dahingegen zu klein, führt dies zu einem Überhitzen des Pins, was ein Umfließen der knöchernen Spongiosabälkchen verhindert (Schneider et al., 2010). In einer in vitro-Studie zeigte Buijs et al. (Buijs et al., 2009), dass die Steifheit, Biegung über die Fläche, sowie die Zugfestigkeit der SoniWeld-Pins im Vergleich zu den Schrauben der Resorb X-Reihe um das bis zu 11,5-fache besser abschnitten. Pilling et al. (Pilling et al., 2007b) zeigte, dass die SonicWeld-Pins im Biegetest über die Fläche, was ein postoperatives Anschwellen der Platte simuliert, ebenfalls bessere Resultate lieferten als die Schrauben der Resorb X-Reihe. Darüber hinaus stellte Cho et al. (Cho et al., 2011) in einer in vitro-Studie fest, dass SonicWeld-Pins und Titan-Schrauben in etwa die gleiche Höchstbelastung aushalten können. Zu diesem Resultat kam wiederum auch Schneider et al. (Schneider et al., 2010) in seiner in vitro-Studie, der auch in zwei anderen Untersuchungen zeigte, dass das SonicWeld-System im Vergleich zu Titan-Schrauben keine Nachteile aufweist (Schneider et al., 2013, 2011).

Komplikationen die in der Fachliteratur immer wieder in Zusammenhang mit bioresorbierbaren Osteosynthesematerialien auf PDLLA-Basis gebracht werden sind Tastbarkeit, Sichtbarkeit und Schmerzen, bis hin zu Fremdkörperreaktionen, Weichgewebsschwellungen, sterile Abszesse/Fisteln und Osteolyse (Aldana et al., 2011; Hillmann et al., 1991; Meara et al., 2012; Reichwein et al., 2009). Im eigenen Patientengut wies Fall 7, eine mit dem Resorb X- und SonicWeld-System therapierte rechtsseitige Typ 1-Fraktur, eine Komplikation in Form eines Fremdkörpergefühls auf, die auch in der Fachliteratur beschrieben wurde (Sukegawa et al., 2016). Dieses Fremdkörpergefühl kann in Zusammenhang mit einer Schwellung stehen, beispielsweise durch eine fibröse Kapsel, welche sich um das Implantat gebildet haben kann (Sukegawa et al., 2016). Darüber hinaus kann ein Fremdkörpergefühl insofern hervorgerufen werden, dass bioresorbierbare Platten, aufgrund ihrer schlechteren mechanischen Eigenschaften im Gegensatz zu Titanplatten (Buijs et al., 2007b), ein dickeres Profil besitzen (Kang et al., 2014a; Sukegawa et al., 2016) und damit eine Tastbarkeit aufweisen können (Sukegawa et al., 2016). Des Weiteren kann sich die Tastbarkeit und Sichtbarkeit einer solchen Platte auch auf den Abbauprozess zurückführen lassen, bei dem es auch noch Monate postoperativ zu einem Aufquellen des Materials kommen kann (Freudlsperger et al., 2014; Noureldin et al., 2016).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass PDLLA-basierte Osteosynthesematerialien vor allem für nicht lasttragende Bereiche des maxillofazialen Systems (Mast et al., 2012), wie beispielsweise die Vorderwand des Sinus frontalis, mit dem Hintergrund der

mechanischen und biokompatiblen Eigenschaften, eine suffiziente Alternative zu den konventionellen Osteosynthesematerialien aus Titan darstellen können. Dabei stellt das SonicWeld-System eine sinnvolle Ergänzung bezüglich der Fixation dar. So ist dieses den konventionellen bioresorbierbaren Schrauben in ihrer Stabilität überlegen, was auch die praktische Konsequenz hat, dass die Platten-Pin-Systeme in ihrer Form dünner ausgeführt werden können als konventionelle Platten-Schrauben-Systeme (Meara et al., 2012). Darüber hinaus kann man festhalten, dass das SonicWeld-System in seinen biomechanischen Eigenschaften in etwa der Fixierung mit Titanschrauben gleichwertig ist.

5.5.3 Gewebekleber

In den eigenen Untersuchungen wurden insgesamt zwei isolierte Impressionsfrakturen der Sinus frontalis-Vorderwand mit Gewebeklebern versorgt. Dabei wurde im Patientenfall 4 bei einer Typ 1-Fraktur der auf n-Butyl-2-Cyanoacrylat basierende (de Souza Vieira et al., 2016) synthetische Gewebekleber Histoacryl (Heiss and Schnettler, 2003) verwendet, welcher auch in der Fachliteratur als Knochenkleber angegeben wird (Dadaş et al., 2007; Kim, 1997; Schneider, 2009). Beim Patientenfall 15 mit einer Typ 3-Fraktur wurde der aus Albumin-Glutaraldehyd bestehende (Schneider, 2009) biologische Gewebekleber BioGlue (Heiss and Schnettler, 2003) angewendet. Dieser Gewebekleber ist in der Literatur vor allem bei Aortendissektionen indiziert (Coselli et al., 2000; Kazui et al., 2001; Raanani et al., 2001), kann aber auch als Hautkleber verwendet werden (Heiss and Schnettler, 2003). Zur Verwendung von BioGlue als Knochenkleber konnte keine Literatur gefunden werden.

Als zentrale Anforderungen an einen idealen Knochenklebstoff werden durch Heiss (Heiss and Schnettler, 2005) die Biokompatibilität, die Verbundfestigkeit, sowie die Applikation beschrieben. Im Weiteren soll anhand der Biokompatibilität und Verbundfestigkeit näher darauf eingegangen werden, inwiefern dies auf die Gewebekleber Histoacryl und BioGlue im Gebrauch als Knochenkleber zutrifft und ob diese eine suffiziente Alternative zu klassischen Osteosynthesematerialien wie Platten und Schrauben darstellt.

Histoacryl

Histoacryl gehört der zweiten Generation der Cyanoacrylat-Kleber an (Schneider, 2009), welche aufgrund ihrer langen Akrylatketten eine höhere Biokompatibilität aufweisen (Heiss and Schnettler, 2005; Kim, 1997; Leggat et al., 2007). Dabei zeigen die Butyl-Cyanoacrylate die geringste Toxizität auf (Avery and Ord, 1982), eine kanzerogene Wirkung konnte nicht bestätigt werden (Heiss and Schnettler, 2003).

Dadas et al. (Dadaş et al., 2007) führte eine Studie durch, in der Frakturen des Os zygomaticus bei Hasen mit Butyl-2-Cyanoacrylaten behandelt wurden. Dabei konnte beobachtet werden, dass weder Knochen- und Weichgewebsnekrosen, noch Knochenresorptionen auftraten (Dadaş et al., 2007). Kim (Kim, 1997) verwendete Histoacryl klinisch bei der Therapie von Vorderwandfrakturen des Sinus frontalis sowie Orbitadachfrakturen zur Fixierung von Knochenfragmenten. Dabei konnten am Patienten keine durch das Histoacryl verursachten Komplikationen beobachtet werden (Kim, 1997), es wurde jedoch bemerkt, dass die Verbundfestigkeit zwar für kleine, aber nicht für große Knochenfragmente ausreichend ist (Kim, 1997). Auch im Patientenfall 4, dessen Typ 1-Fraktur mit Histoacryl versorgt wurde, konnten keine Komplikationen festgestellt werden. In einer durch Amarante et al. (Amarante et al., 1995) durchgeführten Studie konnte anhand von Tierversuchen an Miniaturschweinen gezeigt werden, dass Butyl-2-Cyanoacrylate zur Osteosynthese im Bereich des Sinus frontalis und des Supraorbitalrandes, was die Gesichtspunkte Stabilität und Heilung angeht, ähnlich effektiv sind wie die Osteosynthese mit Platten und Schrauben. Dahingegen konnte in einem Versuch von de Souza Vieira et al. (de Souza Vieira et al., 2016) gezeigt werden, dass Titanschrauben mit 1,70 MPa eine höhere Verbundfestigkeit zwischen zwei Knochenblöcken aufweisen als Histoacryl mit 1,22 MPa. Allerdings handelt es sich bei dieser Studie (de Souza Vieira et al., 2016) um die Einzige, welche experimentell die Verbundfestigkeit von Histoacryl und Schrauben vergleicht. Abschließend lässt sich festhalten, dass Cyanoacrylate, wie das Histoacryl, unter den Gewebeklebern die am ehesten geeigneten Knochenkleber darstellen (Gosain and Plastic Surgery Educational Foundation DATA Committee, 2002). Allerdings ist aufgrund der mäßigen Anzahl an Fachliteratur die Aussage nicht gewährleistet, ob Knochenkleber eine gleichwertige Alternative zur Platten-Schrauben-Osteosynthese darstellen.

BioGlue

Im Folgenden wird der Gewebekleber BioGlue betrachtet. Dessen Biokompatibilität, vor allem die des beinhalteten Glutaraldehyds, sollte kritisch betrachtet werden (Fürst and Banerjee, 2005; Gough et al., 2002; LeMaire et al., 2007), da es sich bei Glutaraldehyd um eine als toxisch eingestufte Substanz handelt (Fürst and Banerjee, 2005; Vyas et al., 2000). So wurde in einer Studie von Fürst et al. (Fürst and Banerjee, 2005) nachgewiesen, dass BioGlue auch im auspolymerisierten Zustand Glutaraldehyd an die Umgebung abgibt. Dabei wurde 1ml BioGlue fachgerecht gemischt und zwei Minuten lang auspolymerisiert (Fürst and Banerjee, 2005). Anschließend wurde es in

5ml Kochsalzlösung für eine Minute inkubiert (Fürst and Banerjee, 2005). Die in der Kochsalzlösung gemessene Konzentration an Glutaraldehyd betrug 100 bis 200 µg/ml, wobei Untersuchungen zeigten, dass schon 12 µg/ml Glutaraldehyd ausreichen, um eine zytotoxische Wirkung auf Zellen auszuüben (Fürst and Banerjee, 2005). Darüber hinaus wurde in der von Fürst et al. (Fürst and Banerjee, 2005) durchgeführten Studie auch nachgewiesen, dass sich Glutaraldehyd im Tierversuch auf die untersuchten Leber- und Lungenzellen, in Form von hochgradigen Entzündungen, Ödemen und Nekrosen, toxisch auswirkt (Fürst and Banerjee, 2005). Im Gegensatz dazu rief BioGlue am Aortengewebe nur leichte bis mittelgradige Entzündungen hervor, was unter anderem auf den unterschiedlichen Aufbau des Aortengewebes im Vergleich zum Lungen- und Lebergewebe zurückzuführen ist, welches weniger Zellen und mehr extrazelluläre Matrix besitzt (Fürst and Banerjee, 2005). In einer weiteren Studie von Gough et al. (Gough et al., 2002) wurde auch die Zytotoxizität von Glutaraldehyd auf humane Osteoblasten festgestellt. LeMarie et al. (LeMaire et al., 2007) zeigte in Tierversuchen bei kardiovaskulären Operationen, dass der direkte Kontakt von BioGlue zum N. phrenicus, dessen Ausfall zur Folge haben kann. So kam es nach 3 min BioGlue-Exposition in 67% der Fällen zu einer Paralysis des Diaphragmas, nach 30 min lag dieser Wert schon bei 83% (LeMaire et al., 2007). Somit kann die Nervenschädigung eine mögliche Komplikation des Gewebeklebers BioGlue darstellen, was auch das Risiko erhöht, bei beispielsweise einer Vorderwandfraktur des Sinus frontalis mit Beteiligung des supraorbitalen Randes, wie es vor allem bei einer Typ 2, 4 und 5 Fraktur der Fall ist, eine Schädigung des N. supraorbitalis zu verursachen. In der Forschung gibt es verschiedene Ansätze, wie die Toxizität von Glutamininaldehyd herabgesetzt werden kann (Gough et al., 2002; LeMaire et al., 2007). Dies kann beispielsweise durch ein wasserlösliches Gel indirekt geschehen, welches BioGlue vom Kontakt mit umliegenden Gewebe abhält (LeMaire et al., 2007), oder direkt durch Substanzen wie IGF-1 oder Glutaminsäure, die das Glutaraldehyd von seiner toxischen Wirkung abhalten (Gough et al., 2002). Über die Verbundfestigkeit von BioGlue bei Knochen kann aufgrund der fehlenden Literatur keine Aussage getroffen werden. Lediglich der eigene Fall 15 kann darauf schließen lassen, dass diese eventuell nicht ausreichend ist. So kam es beim Patienten postoperativ zu einer im DVT sichtbaren, geringen Einziehung der Stirnkontur linksseitig (Abb. 10). Die eventuell abgeschwächte adhäsive Wirkung des Bioglues am Knochen kann möglicherweise durch sein Wirkungsprinzip erklärt werden. Dieses besteht in der Vernetzung des klebereigenen Albumins untereinander und mit den Proteinen des zu klebenden

Gewebes (Fürst and Banerjee, 2005). Allerdings ist im Extrazellularraum des Knochens nur eine kleinere Menge an Glykoproteinen und Proteoglykanen vorhanden (Lüllmann-Rauch, 2012), woraus eine möglicherweise schlechtere Verbindung des in sich vernetzten Albumins zum umliegenden Gewebe und somit auch eine abgeschwächtere adhäsive Wirkung resultiert. Abschließend lässt sich sagen, dass BioGlue als Knochenkleber aufgrund der fragwürdigen Biokompatibilität und Verbundfestigkeit kritisch zu betrachten ist.

Autologes Knochentransplantat

Im eigenen Patientengut wurde im Fall 16 ein vertikaler, ipsilateraler Defekt durch die Sinus frontalis-Vorderwand und die Orbita, zu dem der Zugang über die bestehende Verletzung erfolgte, mit einem autologen Knochentransplantat versorgt, welches der Tabula externa entnommen wurde. Auch in der Literatur wurde dieser Transplantattyp zur Rekonstruktion der Sinus frontalis-Vorderwand verwendet (Bockmühl, 2005; Grundmann and Kehrl, 2004). Knochentransplantate sind vor allem dann indiziert, wenn große knöcherne Defekte vorliegen (Chen et al., 2006; Kuttenger and Hardt, 2001; Mohr et al., 1994). Mohr et al. (Mohr et al., 1994) beschreibt, dass der Einsatz eines solchen Knochentransplantates ab einer Defektgröße von 25cm² sinnvoll ist, kleiner kann der Defekt beispielsweise auch mit einem Titangitter versorgt werden.

Die Vorteile des Transplantates bestehen in seiner Radioopazität und optimalen Biokompatibilität (Mokal and Desai, 2012). Darüber hinaus zeichnet sich das Tabula externa-Transplantat durch eine geringe Tendenz zur Resorption und durch ein gutes Verheilen der Entnahmestelle aus, im Sinne einer Wiedereinfügung in die Kontur der Stirn (Grundmann and Kehrl, 2004). Die Nachteile bestehen darin, dass dieses Osteosyntheseverfahren zeitaufwändiger ist und einen erhöhten operativen Aufwand mit sich bringt, sowie ein weiteres Operationsgebiet eröffnet wird (Grundmann and Kehrl, 2004; Mokal and Desai, 2012). Des Weiteren benötigt man trotz dem autologen Implantat auch alloplastische Materialien für dessen Fixation (Mokal and Desai, 2012). Bockmühl rekonstruierte die Vorderwand des Sinus frontalis mit einem Tabula externa-Transplantat (Bockmühl, 2005). Dabei kam der Autor zum Fazit, dass man mit einem solchen Transplantat optimale ästhetische Verhältnisse schaffen kann (Bockmühl, 2005). Grundmann and Kehrl (Grundmann and Kehrl, 2004) verwendete das Tabula externa-Transplantat zur Revision von Rekonstruierten Vorderwandfrakturen des Sinus frontalis, bei denen alloplastische Osteosynthesematerialien zu Komplikationen geführt haben. Dabei kamen die Autoren zu einem ästhetisch und funktionellen Ergebnis (Grundmann and Kehrl, 2004).

Im eigenen Patientengut kam im Fall 16 ein Tabula externa-Transplantat zum Einsatz, um ein Typ 4-Defekt zu rekonstruieren, verursacht durch ein Explosionstrauma, in dessen Folge es auch zu einer Augenprellung kam.

Abschließend lässt sich sagen, dass ein autologes Knochentransplantat für große Defekte der Sinus frontalis-Vorderwand ein suffizientes Osteosyntheseverfahren darstellt und dabei das Tabula externa-Transplantat aufgrund seiner Vorteile, das Transplantat der ersten Wahl darstellt. Jedoch muss man mit zunehmender Entwicklung der CAD-CAM-Technologie auch die Alternative PSI berücksichtigen, die mit ihrer Formstabilität dem Knochentransplantat auf langer Sicht überlegen sein kann. Auch muss für ein PSI kein zweites Operationsfeld eröffnet werden.

5.6 Drainage

Neben der ästhetischen Rehabilitation eines Sinus frontalis Defekts nimmt auch die Erhaltung des Drainagesystems einen wichtigen Aspekt ein (Kim et al., 2016; Robiony et al., 2014). Dieses kann auf der einen Seite direkt durch ein Trauma betroffen sein, was eine Obstruktion des Ductus nasofrontalis zur Folge haben kann (Gerbino et al., 2000; Ravindra et al., 2015), auf der anderen Seite kann auch durch eine Schwellung in der Nasenhöhle im lateral anterioren Bereich eine Obstruktion der Stirnhöhle entstehen (Ravindra et al., 2015). Typische Komplikationen die aus einer solchen Obstruktion hervorgehen können, sind die Sinusitis und Mukozelen (Kim et al., 2016). Der Sinus frontalis weist neben dem Ausführungsgang ein komplexes venöses und lymphatisches Drainagesystem auf, welches sich auch nach intracranial fortsetzt (Schütz et al., 2015; Yavuzer et al., 2005). Dies kann möglicherweise bei einem traumatisch bedingten Stillstand der Mukussektion infektiöse Komplikationen begünstigen (Yavuzer et al., 2005). Dabei kann es zu Meningitis und Hirnabszessen kommen, selbst wenn die Hinterwand des Sinus frontalis intakt ist. Eine klinisch signifikante und in der Fachliteratur oft genannte Struktur sind die Foramina Breschet (Kim et al., 2016; Schütz et al., 2015; Yavuzer et al., 2005). Über diese können sich nach einer Fraktur des Sinus frontalis pathogene Erreger auch intracranial in die duralen Venen ausbreiten (Kim et al., 2016; Schütz et al., 2015; Yavuzer et al., 2005) und infektiöse Erkrankungen wie beispielsweise eine Meningitis hervorrufen (Yavuzer et al., 2005).

Wenn eine Fraktur des Sinus frontalis ohne Beteiligung der Hinterwand vorliegt, diese aber den Ductus nasofrontalis mit einbezieht, ist es sinnvoll, die Funktion des Ausführungsganges wieder herzustellen (Gerbino et al., 2000). Dies kann wie durch Gerbino et al. (Gerbino et al., 2000) beschrieben beispielsweise durch den Einsatz

einer Portex Drainageröhre erfolgen, die in den Ductus nasofrontalis eingebracht wird, um diesen wieder durchgängig zu machen. Dabei wurde die Drainage zunächst 30 bis 40 Tage belassen, bevor die Rekonstruktion der Stirnhöhlenvorderwand erfolgte (Gerbino et al., 2000). Darüber hinaus ist es wichtig, dass die Drainageröhre einen ähnlichen Durchmesser wie der Ductus aufweist und auch lang genug in situ verbleibt, um eine vollständige Rehabilitation des Ausführungsganges zu erreichen (Gruss et al., 1989; Luce, 1987; Onishi et al., 1989; Rohrich and Hollier, 1996; Wilson et al., 1988). Gerbino kam durch Nachuntersuchungen der Patienten zu dem Ergebnis, dass der Ductus nasofrontalis rehabilitiert und das Infektionsrisiko minimiert werden konnte (Gerbino et al., 2000). Auch bei Zavattero kamen bei der Behandlung von Stirnhöhlenvorderwandfrakturen Drainagen zum Einsatz (Zavattero et al., 2013). Alternativ zu Drainageröhren fanden in der Fachliteratur auch Stents zur Rekonstruktion des Ductus nasofrontalis Verwendung (Gabrielli et al., 2004; Gerbino et al., 2000; Luce, 1987). Allerdings zeigte sich in einer Untersuchung von Koento (Koento, 2012), dass eine Entfernung des Stents in 30% aller Fälle eine Stenose des Ductus nasofrontalis zur Folge hatte.

Meikeljohn et al. gab darüber hinaus die Empfehlung, bei Vorderwandfrakturen des Sinus frontalis postoperativ darauf zu achten, dass der Patient seinen Kopf aufrecht hält, damit möglichst viel Sekret aus dem Sinus abfließen kann und die Drainagefähigkeit maximal ist (Meiklejohn et al., 2014).

Bei der Behandlung der eigenen Patienten erfolgte eine gezielte intraoperative Endoskopie bei Trümmerfrakturen zur Sicherung der Drainagefunktion des Ductus nasofrontalis

Abschließend lässt sich sagen, dass wenn man sich bei einer Vorderwandfraktur des Sinus frontalis unter Beteiligung des Ductus nasofrontalis für eine Rekonstruktion und gegen eine Obliteration entscheidet, wie es auch in der eigenen Studie geschehen ist, eine Drainage zum Abfluss des Sekrets und der Verhinderung möglicher Komplikationen als unabdingbar zu erachten ist.

5.7 Postoperative Komplikationen

Minor-Komplikationen

Auf die im eigenen Patientengut aufgetretenen Minor-Komplikationen, wie beispielsweise Fremdkörpergefühle, Wetterfühligkeit und Spannungskopfschmerzen, wurden bereits im Kapitel Osteosyntheseverfahren patientenspezifisch eingegangen, weshalb diese im folgenden Kapitel nicht noch einmal besprochen werden sollen.

Major-Komplikationen

Im Weiteren sollen die Major-Komplikationen betrachtet werden. Wenn man sich an der Komplikationseinteilung im Kapitel 1.3.6 orientiert, sind im eigenen Patientengut keine Major-Komplikationen bei der Versorgung von Vorderwandfrakturen des Sinus frontalis aufgetreten. Auch in der Fachliteratur gibt es mehrere Untersuchungen, in denen bei der Behandlung von Stirnhöhlenvorderwandfrakturen sogar keine Komplikationen auftraten (Gerbino et al., 2000; Lakhani et al., 2001; Robiony et al., 2014). Jedoch berichtet beispielsweise Chen et al. (Chen et al., 2006) von einer Sinusitis, die zwei Monate postoperativ nach einer isolierten Fraktur der Sinus frontalis Vorderwand auftrat. Diese wurde mit der Gabe intravenöser Antibiotika behandelt, was nach einer Woche den gewünschten Behandlungserfolg brachte (Chen et al., 2006). Auch traten in dieser Untersuchung drei Fälle von CSF bei isolierten Stirnhöhlenvorderwandfrakturen auf, die sich jedoch alle, im Gegensatz zu den Fällen, bei denen noch eine assoziierte Fraktur der Hinterwand vorlag, spontan auskuriert haben (Chen et al., 2006). Darüber hinaus stellte Chen et al. (Chen et al., 2006) in seinen Untersuchungen fest, dass bei isolierten Stirnhöhlenvorderwandfrakturen im Gegensatz zu Frakturen der Vorder- und Hinterwand eine signifikant höhere Wahrscheinlichkeit vorliegt, dass ein Enophthalmus oder Diplopie auftritt, wobei der Anteil der Orbitabeteiligungen in den beiden Untersuchungsgruppen nahezu gleich war. Auch im Allgemeinen kamen die Autoren zu der Schlussfolgerung, dass bei isolierten Stirnhöhlenvorderwandfrakturen im Gegensatz zu solchen, bei denen noch beispielsweise die Hinterwand betroffen ist, eine deutlich geringere Komplikationsrate vorlag (Chen et al., 2006). Eine Ursache für das Auftreten dieser orbitabezogenen Komplikationen können nach Grant et al. (Grant et al., 1997) eine postoperativ gesteigerte Weichgewebsatrophie darstellen, Manson et al. (Manson et al., 1986) beschreibt als mögliche Ursachen einen orbitalen Verlust an Ligamentunterstützung und den Rückgang knöcherner Orbitastrukturen. Mokal et al. (Mokal and Desai, 2012) beschreibt darüber hinaus als Komplikationen von Orbitadachfrakturen unter anderem einen postoperativen Schwund von orbitalem Gewebe. Chen et al. (Chen et al., 2006) vermutet jedoch hinter dem Auftreten des Enophthalmus eine unzureichende Rekonstruktion der Orbitawände, da in 12 von 16 Fällen eines aufgetretenen Enophthalmus eine Reparatur der Orbitawände zu Grunde lag und somit ein möglicher Zusammenhang zwischen Enophthalmus und Orbitawandrekonstruktion bestehen kann. Daher leiten die Autoren aus diesem Zustand die Erkenntnis ab, bei Sinus frontalis Frakturen mit Beteiligung der Orbita, besonders auf eine adäquate und fachgerechte Versorgung der assoziierten

Orbitawandfraktur zu achten (Chen et al., 2006).

Abschließend lässt sich sagen, dass Major-Komplikationen eine eher selten auftretende Erscheinung sind. Sollte jedoch solch eine Komplikation aufkommen, wie beispielsweise eine Sinusitis oder CSF, zeigt die Literatur, dass diese gut therapierbar sind.

Chronische Komplikationen

Typische chronische Komplikationen bei Frakturen der Sinus-Frontalis-Vorderwand sind Schmerzen, Asymmetrien, chronische Sinusitis und Mukozelenbildung.

Traumata des Gesichtes können Verletzungen von Nerven und somit auch Schmerzen zur Folge haben, entstehend durch direkte Verletzung des Nervs, Avulsion oder Traktion des Nervs aufgrund der Fraktur und/oder Frakturversorgung, Dissektionen, Inzisionen, Narbenbildung oder Knochenproliferation (Rosson et al., 2010). So können beispielsweise frontale Frakturen Bereiche des N. supraorbitalis betreffen (Renzi et al., 2004). Bestehen diese Schmerzen länger als sechs Monate, werden diese als chronische Schmerzen eingeordnet (Wall et al., 1984). Eine mögliche Therapielösung und erfolgreiche Behandlung des chronischen Schmerzes würde eine Neurolyse, als konservierende und nerverhaltende Maßnahme, darstellen (Rosson et al., 2010).

Asymmetrien können beispielsweise in Form einer unilateralen Proptosis als Symptom einer frontalen Mukozele (Cagigal et al., 2006) auftreten. Als mögliche Therapielösung zeigten Cagigal et al. (Cagigal et al., 2006), dass durch ein Entfernen der Mukozele diese Symptomatik auszukurieren ist. Darüber hinaus ist es bei der Osteosynthese von bestimmten Sinus frontalis Vorderwandfrakturen erschwert, beispielsweise mit der Plattenosteosynthese eine suffiziente Kontur der Stirn zu erreichen (Lakhani et al., 2001; Marks, 1995). Abhilfe kann neben einer exakten Reposition hier die Gitterosteosynthese leisten (Lakhani et al., 2001; Marks, 1995), aber auch durch ein PSI kann ein symmetrisches Endresultat erreicht werden, da hier in der präoperativen Phase bei der Gestaltung des Implantats beispielsweise die gesunde auf die frakturierte Seite gespiegelt werden kann (Schramm et al., 2009).

Wenn die Drainage und Ventilation der Stirnhöhle posttraumatisch nicht mehr möglich ist, kann sich eine chronische Sinusitis bilden, weil beispielweise intraoperativ eine nicht adäquate Enttrümmerung des Sinus frontalis Ausführungssystems stattfand und dieses anschließend durch Knochenfragmente und oder beschädigte Mukosa obliteriert wird (Emara et al., 2015). Deshalb ist es nach Emara et al. (Emara et al., 2015) wichtig, die Stirnhöhle zu enttrümmern, wobei die Enttrümmerung durch einen externen Zugang, sowie durch eine intraoperativ, endoskopische Enttrümmerung

erfolgen kann. Dabei können nach den Autoren (Emara et al., 2015) beide Verfahren zu einer erfolgreichen Behandlung führen.

Bei Mukozelen handelt es sich um eine Ansammlung von Mukus im Sinus, dessen physiologische Drainage obliteriert ist, was wiederum zu einer langsamen Ausdehnung und Resorption des umliegenden Knochens führen kann (Aggarwal et al., 2012). Das Krankheitsbild der Mukozele tritt am häufigsten (60-89%) im Sinus frontalis (Arrue et al., 1998) nach durchschnittlich acht Jahren (Bockmühl et al., 2006) auf. Prädisponierende Faktoren sind unter anderem Traumata, vorangegangene paranasale Operationen (Martel-Martín et al., 2015), aber auch eine chronische Sinusitis (du Mayne et al., 2012). Dabei kann die Mukozele in die benachbarten Nasennebenhöhlen, die Orbita, die Nasenhöhle sowie Intra- und Extrakranial extendieren (Bhandary et al., 2013; Cagigal et al., 2006). Die Dura wird nicht resorbiert und bleibt weitestgehend intakt, weshalb eine extradurale Ausdehnung meist unbemerkt bleibt (Bhandary et al., 2013; Dalziel et al., 2006). Ist die Mukozele aufgrund einer chronischen Infektion mit Eiter gefüllt spricht man von einer Pyozele (Aggarwal et al., 2012). Symptome der frontalen Mukozele sind Schmerzen, Schwellungen, Exophthalmus, Proptosis, Diplopie, Sehverlust, Meningitis, Meningocephalus, Pneumocephalus, Hirnabszesse und CSF, wobei eine Mukozele lange Zeit symptomfrei sein kann (Cagigal et al., 2006) und die vorliegenden Symptome abhängig von der Größe und Lokalisation sind (Martel-Martín et al., 2015). Die Diagnose erfolgt meist über ein CT (Cagigal et al., 2006). Als prophylaktische Maßnahme zur Verhinderung einer Mukozele lässt sich eine intraoperativ, endoskopische Enttrümmerung des Ausführungsganges der Stirnhöhle anführen, die einer möglichen chronischen Sinusitis (Emara et al., 2015) und somit einer daraus resultierenden Mukozelenbildung (du Mayne et al., 2012) entgegenwirkt. Zur Therapie einer bereits gebildeten Mukozele empfiehlt sich eine endoskopische Marsupialisation. Bei einer Marsupialisation handelt es sich um eine Fenestration der Mukozele, was eine Drainage des aufgestauten Mukus in die Nasenhöhle ermöglicht (Sharouny and Narayanan, 2014). Das Verfahren der endoskopischen Marsupialisation gilt als Standard (Aggarwal et al., 2012; Benkhatar et al., 2018), da es eine sichere und erfolgversprechende Technik darstellt (Benkhatar et al., 2018; Kang et al., 2014b; Martel-Martín et al., 2015; Sharouny and Narayanan, 2014) sowie eine geringe Rezidivrate aufweist (Benkhatar et al., 2018; Bockmühl et al., 2006; Har-El, 2001; Kennedy et al., 1989). Allerdings gibt es auch Einschränkungen, da vor allem laterale oder größere Mukozelen (du Mayne et al., 2012) mit oder ohne intracranialer

Ausdehnung (Cagigal et al., 2006) einen kombinierten, also endoskopisch und extern, (Cagigal et al., 2006; du Mayne et al., 2012) oder rein externen Zugang (Salam et al., 2018) benötigen, da der Sinus frontalis ansonsten endoskopisch nicht ganz einsehbar ist (Salam et al., 2018). Jedoch finden sich die meisten Mukozelen medial (Bhandary et al., 2013), weshalb dies nicht allzu sehr zum Tragen kommt.

In den Abbildungen 19 und 20 sind jeweils Patientenfälle aus dem Patientengut der Universitätsklinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg dargestellt, die das Krankheitsbild einer Mukozele beinhalten. In Abbildung 19 soll die intrakranielle Ausdehnung, die eine Mukozele erreichen kann, veranschaulicht werden. Bei dem in Abbildung 20 dargestellten Patientenfall handelt es sich um ein Rezidiv einer Mukozele der Strinhöhle links (Zustand 2008), die auf einen Arbeitsunfalls 1975 zurückgeht, bei dem es zu einer zentro-lateralen Mittelgesichtsfraktur (Orbitaboden rechts, Nasenpyramide, Stirnhöhlenvorderwand) mit Beteiligung der Frontobasis kam. Dieser Fall veranschaulicht, dass es auch noch Jahrzehnte nach einer Fraktur und anschließenden Behandlung der Stirnhöhle zur Ausbildung einer Mukozele kommen kann.

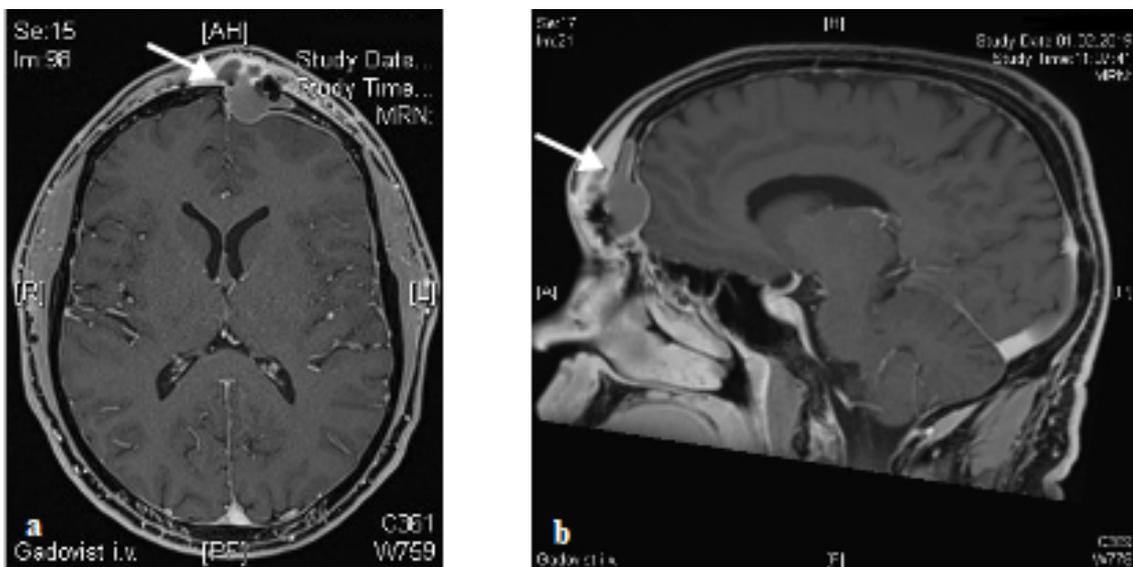


Abbildung 19: Postoperatives Zustandsbild nach Versorgung multipler Gesichtsfrakturen mit Osteosynthesematerial im Bereich der Stirnhöhlenvorderwand; MRT, axiale (a) und sagittale (b) Schicht, Kontrastmittelgabe 20ml Gadovist i.v., Zystische Raumforderung in Form einer Mukozele (26 x 38 x 26 x 23 mm) links frontal ((a) und (b) jeweils weißer Pfeil) mit knöcherner Arrosion, wobei diese nach intrakraniell an die Dura reicht

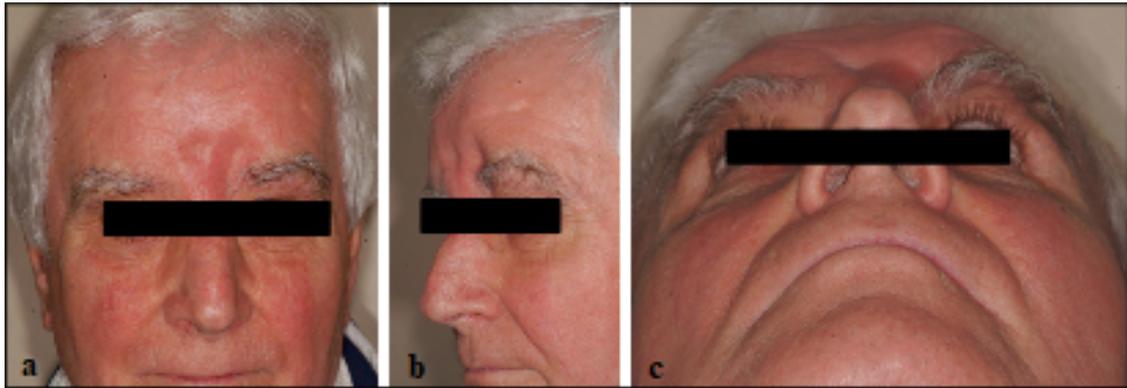


Abbildung 20: Postoperative Aufnahmen nach endoskopischer Kieferhöhlenfensterung rechts aufgrund einer chronischen Entzündung und offener Revision einer Mukozele im Bereich der Stirn links, in (a), (b) und (c) ist eine deutliche Impression im Bereich der Stirnmitte bzw. eine Asymmetrie im Sinne einer derben, nicht schmerzhaften Auftreibung oberhalb der linken medialen Augenbraue (Ausdehnung von ca. 4,5 x 2,5 cm)

Abschließend lässt sich sagen, dass isolierte Frakturen der Sinus frontalis Vorderwand ein geringes Komplikationsrisiko aufweisen. Typische chronische Komplikationen sind Schmerzen, Asymmetrien, chronische Sinusitis und Mukozelen, welche jedoch alle durch entsprechende Therapien suffizient zu behandeln sind. Davon traten in der eigenen Studie lediglich Schmerzen und Asymmetrien auf. Die eigenen Untersuchungen zeigten, dass es durchaus zum Auftreten von Minor-Komplikationen kommen kann, diese jedoch meistens in einem möglichen Zusammenhang mit dem verwendeten Osteosyntheseverfahren stehen.

5.8 Schlussfolgerungen

Alle verwendeten Osteosyntheseverfahren konnten nahezu komplikationsfrei durchgeführt werden und stellten ein suffizientes Mittel zur Rekonstruktion der Defekte dar. Aus dem eigenen Patientengut und der Fachliteratur konnten darüber hinaus Osteosynthesekonzepte für verschiedene Frakturtypen abgeleitet werden.

Bei einfachen Impressionsfrakturen der Sinus frontalis-Vorderwand und des oberen Orbitarandes ist am ehesten die Plattenosteosynthese indiziert. Dabei wiesen titanbasierte und PDLLA-basierte Osteosynthesematerialien ähnlich gute Ergebnisse auf. Auch Gewebekleber wie beispielsweise Histoacryl können für die Fixation von Knochenfragmenten verwendet werden, allerdings sind hierzu weitere Untersuchungen abzuwarten.

Liegen größere Impressionsfrakturen der Stirnhöhlenvorderwand und des oberen Orbitadaches vor, mit oder ohne Knochenverlust, ist eine Gitterosteosynthese am ehesten zu empfehlen. Es wurde gezeigt, dass man mit diesem Osteosyntheseverfahren die Stirnkontur einfach und schnell wiederherstellen und dabei auch kleinere Fehlstellen in der Knochensubstanz überbrücken kann. Eine Alternative stellt hier das PSI dar, dass vor allem bei größeren Defekten eine gute Stabilität, optimale Passung und ein sicheres ästhetisches Ergebnis sichert.

Falls mit dem Defekt ein größerer Verlust an Knochensubstanz einhergeht, bietet sich ein autologes Knochentransplantat an. Dabei gilt das Tabula externa-Transplantat für solche Fälle als das Mittel der Wahl. Das Transplantat kann durch Platten- oder Gitterosteosynthese fixiert werden. Aufgrund des Fortschrittes in der CAD-CAM-Technologie kann diese in Form eines PSIs als eine suffiziente Alternative gesehen werden.

Bei Trümmerfrakturen empfiehlt sich eine gezielte intraoperative Endoskopie zur Sicherung der Ventilation und Drainage des Sinus frontalis durch den Ductus nasofrontalis.

Darüber hinaus zeigte sich, dass man Stirnhöhlenvorderwandfrakturen nach der Klassifikation von Garg et al. gut einteilen kann. Dabei bietet sie eine sinnvolle topographische Einordnung und gute Hilfestellung für die Operationsplanung. Die Indikationsstellung der verwendeten Osteosynthesematerialien lässt sich zwar nicht genau von dieser ableiten, jedoch dient die Garg'sche Klassifikation hier als gute Orientierung.

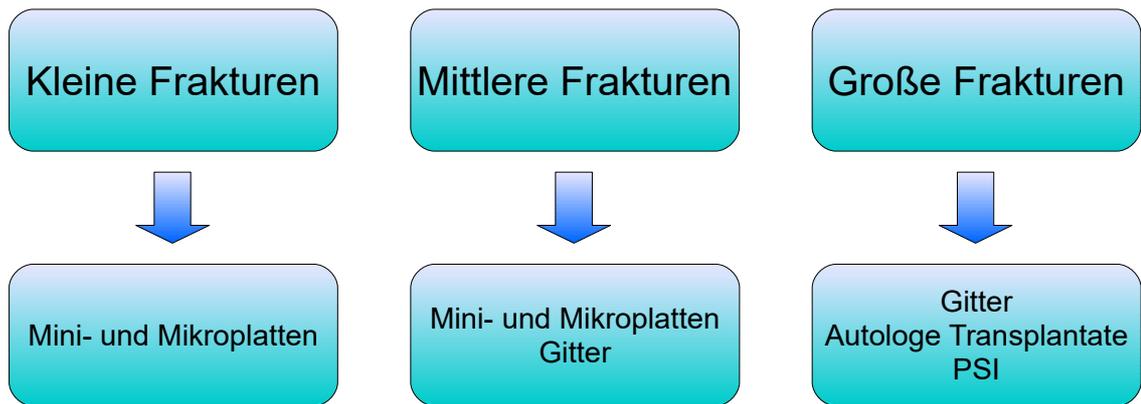


Abbildung 21: Behandlungsalgorithmus für isolierte Frakturen der Sinus frontalis Vorderwand und des Orbitadaches, eingeteilt nach Frakturgröße und darauf folgerbaren Osteosyntheseverfahren

6 Zusammenfassung

Isolierte Frakturen der Sinus frontalis Vorderwand und des Orbitadaches sind – unter Betrachtung aller Frakturen im MKG-Bereich – eher selten. Demnach muss dieser Frakturtyp im Hinblick auf Hochrasanztraumata im Repertoire berücksichtigt werden. Dazu erfolgte eine Auswertung des monozentrischen Patientengutes der Universitätsklinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie erfolgte im Zeitraum von Januar 2011 bis Juni 2017, bei der Datenmaterial bezüglich Vorderwandfrakturen des Sinus frontalis, mit Fokus auf die verwendeten Osteosynthesematerialien und Komplikationen, gesichtet wurde.

Im Zuge einer monozentrischen Untersuchung wurden 18 Patienten ermittelt, welche im Zeitraum von Januar 2011 bis Juni 2017 im Zusammenhang mit einer isolierten Sinus Frontalis-Vorderwandfraktur chirurgischer therapiert wurden. Dabei wurde das Alter und Geschlecht der Patienten erfasst, sowie der Unfallmechanismus, die Zugangsart, das verwendete Osteosyntheseverfahren und die aufgetretenen Komplikationen. Die Einteilung der Frakturen in Subtypen erfolgte nach Garg et al. (Garg et al., 2015). Die Nachbeobachtung erfolgte bis zu 5,5 Jahre.

Bei den 18 Fällen handelte es sich um überwiegend männliche Patienten. Bei einer Durchschnittsalter von 43,8 Jahre, muss mit einer Altersspanne von 17 bis 77 Jahren gerechnet werden. Den häufigste Unfallmechanismus stellt der Verkehrsunfall mit etwa 1/3 aller Fälle dar. Aus therapeutischer Sicht erfolgte der Zugangsweg bei mehr als Hälfte über die bestehende Wunde. Die anschließende Osteosynthese der Frakturen konnte überwiegend mit Mikroplatten (n=10), gefolgt von Titangittern (n=2), dem Resorb X- und SonicWeld-System (n=2) und Gewebeklebern (n=2) realisiert werden. Bei jeweils einem Patienten erfolgte die Osteosynthese über ein PSI (n=1) und ein Tabula externa-Transplantat (n=1). Die operative Versorgung war vergleichsweise frei von Komplikationen, ca. 2/3 aller Patienten wiesen postoperativ keine Komplikationen auf.

Alle verwendeten Osteosyntheseverfahren konnten nahezu komplikationsfrei durchgeführt werden und stellten ein suffizientes Mittel zur Rekonstruktion der Defekte dar. Aus dem eigenen Patientengut und der Fachliteratur konnten darüber hinaus Osteosynthesekonzepte für verschiedene Frakturtypen abgeleitet werden. So sollten kleine Frakturen eher mit Platten, mittlere mit Gittern und Größere mit autologen Knochentransplantaten oder PSIs osteosynthyiert werden.

7 Literaturverzeichnis

- Aggarwal, S.K., Bhavana, K., Keshri, A., Kumar, R., Srivastava, A., 2012. Frontal sinus mucocele with orbital complications: management by varied surgical approaches. *Asian J. Neurosurg.* 7, 135.
- Ahn, D.K., Sims, C.D., Randolph, M.A., O'connor, D., Butler, P., Amarante, M., Yaremchuk, M.J., 1997. Craniofacial skeletal fixation using biodegradable plates and cyanoacrylate glue. *Plast. Reconstr. Surg.* 99, 1508–15.
- Aldana, P.R., Wieder, K., Postlethwait, R.A., James, H.E., Steinberg, B., 2011. Ultrasound-aided fixation of biodegradable implants in pediatric craniofacial surgery. *Pediatr. Neurosurg.* 47, 349–353.
- Amarante, M., Constantinescu, M.A., O'connor, D., Yaremchuk, M.J., 1995. Cyanoacrylate fixation of the craniofacial skeleton: an experimental study. *Plast. Reconstr. Surg.* 95, 639–646.
- Anderson, J., Niven, H., Pelagalli, J., Olanoff, L., Jones, R., 1981. The role of the fibrous capsule in the function of implanted drug-polymer sustained release systems. *J. Biomed. Mater. Res.* 15, 889–902.
- Arrue, P., Kany, M.T., Serrano, E., Lacroix, F., Percodani, J., Yardeni, E., Pessey, J., Manelfe, C., 1998. Mucoceles of the paranasal sinuses: uncommon location. *J. Laryngol. Otol.* 112, 840–844.
- Aumüller, G., Aust, G., Doll, A., Engele, J., Kirsch, J., Mense, S., Reißig, D., Salvetter, J., Schmidt, W., Schmitz, F., Schulte, E., Spanel-Borowski, K., Wolff, W., Wurzinger, L.J., Zilch, H.-G., 2010. Duale Reihe - Anatomie, in: *Duale Reihe Anatomie*. Thieme, pp. 852f, 865, 945ff, 951, 953ff.
- Avery, B., Ord, R., 1982. The use of butyl cyanoacrylate as a tissue adhesive in maxillofacial and cranio-facial surgery. *Br. J. Oral Surg.* 20, 84–95.
- Bähr, W., 1989. The effects of pre-tapping on the miniscrew-bone interface in the midface. *J. Cranio-Maxillofac. Surg.* 17, 337–339.
- Bell, R.B., Kindsfater, C.S., 2006. The use of biodegradable plates and screws to stabilize facial fractures. *J. Oral Maxillofac. Surg.* 64, 31–39.
- Benkhatar, H., Khettab, I., Sultanik, P., Laccourreye, O., Bonfils, P., 2018. Mucocele development after endoscopic sinus surgery for nasal polyposis: A long-term analysis. *Ear. Nose. Throat J.* 97, 284–294.
- Bergsma, E.J., Rozema, F.R., Bos, R.R., De Bruijn, W.C., 1993. Foreign body reactions to resorbable poly (L-lactide) bone plates and screws used for the fixation of unstable zygomatic fractures. *J. Oral Maxillofac. Surg.* 51, 666–670.
- Bergsma, J.E., Rozema, F., Bos, R., Boering, G., de Bruijn, W., 2006. Late degradation tissue response to poly (L-lactide) bone plates and screws, in: *The Biomaterials: Silver Jubilee Compendium*. Elsevier, pp. 101–107.
- Bhandary, S.K., Bhat, V.S., Khanna, R.A., 2013. Frontal sinus mucocele following a trivial facial trauma, presenting as a pyocele—a case report. *Nitte Univ. J. Health Sci.* 3, 90.
- Bockmühl, U., 2005. Osteoplastic frontal sinusotomy and reconstruction of frontal defects, in: *The Frontal Sinus*. Springer, pp. 281–289.
- Bockmühl, U., Kratzsch, B., Benda, K., Draf, W., 2006. Surgery for paranasal sinus mucocoeles: efficacy of endonasal micro-endoscopic management and long-term results of 185 patients. *Rhinology* 44, 62–67.

- Boenninghaus, G., 1913. Die Operationen an den Nasennebenhöhlen der Nase. In: Katz L, Preysing H, Blumenfeld F (Hrsg) Handbuch der speziellen Chirurgie des Ohres und der oberen Luftwege, 1. ed. C Kabitzsch, Würzburg.
- Bos, R.R., Boering, G., Rozema, F.R., Leenslag, J.W., 1987. Resorbable poly (L-lactide) plates and screws for the fixation of zygomatic fractures. *J. Oral Maxillofac. Surg.* 45, 751–753.
- Bostman, O., Hirvensalo, E., Makinen, J., Rokkanen, P., 1990. Foreign-body reactions to fracture fixation implants of biodegradable synthetic polymers. *J. Bone Joint Surg. Br.* 72, 592–596.
- Brunner, F., 2006. Aktuelle Gesichtspunkte zur Osteosynthese des Mittelgesichts. *Current aspects in the osteosynthesis of the midface.* *HNO* 54, 918–921.
- Brunner, F., Kley, W., Plinkert, P., 1988. Anatomical studies and a correlative management of facial skeleton and skull base injuries with bone plate fixation. *Arch. Otorhinolaryngol.* 245, 61–68.
- Buijs, G.J., van der Houwen, E.B., Stegenga, B., Bos, R.R., Verkerke, G.J., 2007a. Torsion strength of biodegradable and titanium screws: a comparison. *J. Oral Maxillofac. Surg.* 65, 2142–2147.
- Buijs, G.J., van der Houwen, E.B., Stegenga, B., Bos, R.R., Verkerke, G.J., 2007b. Mechanical strength and stiffness of biodegradable and titanium osteofixation systems. *J. Oral Maxillofac. Surg.* 65, 2148–2158.
- Buijs, G.J., van der Houwen, E.B., Stegenga, B., Verkerke, G.J., Bos, R.R., 2009. Mechanical strength and stiffness of the biodegradable SonicWeld Rx osteofixation system. *J. Oral Maxillofac. Surg.* 67, 782–787.
- Cagigal, B.P., Lezcano, J.B., Blanco, R.F., Cantera, J.M.G., Cuéllar, L.S., Hernández, A.V., 2006. Frontal sinus mucocele with intracranial and intraorbital extension. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal* 11, E527–E530.
- Camarini, E.T., Tomeh, J.K., Dias, R.R., da Silva, E.J., 2011. Reconstruction of frontal bone using specific implant polyether-ether-ketone. *J. Craniofac. Surg.* 22, 2205–2207.
- Chen, K.-T., Chen, C.-T., Mardini, S., Tsay, P.-K., Chen, Y.-R., 2006. Frontal sinus fractures: a treatment algorithm and assessment of outcomes based on 78 clinical cases. *Plast. Reconstr. Surg.* 118, 457–468.
- Cho, P.W.J., Burton, R.G., Gratton, D., Cho, J.H., 2011. Biomechanical study of SonicWeld Rx pin in cortical bone graft layering technique. *J. Oral Maxillofac. Surg.* 69, 1519–1524.
- Choi, Y., Kim, S.Y., Kim, S.H., Park, T.G., Moon, H.T., Byun, Y., 2002. In vivo biocompatibility studies of poly (D, L-lactide)/poly (ethylene glycol)-poly (L-lactide) microspheres containing all-trans-retinoic acid. *J. Biomater. Sci. Polym. Ed.* 13, 301–322.
- Coselli, J.S., LeMaire, S.A., Köksoy, C., 2000. Thoracic aortic anastomoses. *Oper. Tech. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 5, 259–276.
- Cox, D., Vincent, D.G., McGwin, G., MacLennan, P.A., Holmes, J.D., Rue, L.W., 2004. Effect of restraint systems on maxillofacial injury in frontal motor vehicle collisions. *J. Oral Maxillofac. Surg.* 62, 571–575.
- Cutright, D.E., Hunsuck, E.E., 1971. Tissue reaction to the biodegradable polylactic acid suture. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.* 31, 134–139.
- Dadaş, B., Alkan, S., Cifci, M., Başak, T., 2007. Treatment of tripod fracture of zygomatic bone by N-2-butyl cyanoacrylate glue fixation, and its effects on the tissues.

- Eur. Arch. Otorhinolaryngol. 264, 539–544.
- Dalla Torre, D., Burtscher, D., Kloss-Brandstätter, A., Rasse, M., Kloss, F., 2014. Management of frontal sinus fractures—Treatment decision based on metric dislocation extent. *J. Craniomaxillofac. Surg.* 42, 1515–1519.
- Dalziel, K., Stein, K., Round, A., Garside, R., Royle, P., 2006. Endoscopic sinus surgery for the excision of nasal polyps: A systematic review of safety and effectiveness. *Am. J. Rhinol.* 20, 506–519.
- de Souza Vieira, J., Santos, F.R., de Freitas, J.V., Baratto-Filho, F., Gonzaga, C.C., de Araujo, M.R., 2016. Bond strength evaluation of cyanoacrylate-based adhesives and screws for bone fixation. *Oral Maxillofac. Surg.* 20, 157–160.
- Delaney, S.W., 2016. Treatment strategies for frontal sinus anterior table fractures and contour deformities. *J. Plast. Reconstr. Aesthet. Surg.* 69, 1037–1045.
- du Mayne, M.D., Moya-Plana, A., Malinvaud, D., Laccourreye, O., Bonfils, P., 2012. Sinus mucocele: natural history and long-term recurrence rate. *Eur. Ann. Otorhinolaryngol. Head Neck Dis.* 129, 125–130.
- Eckelt, U., Nitsche, M., Müller, A., Pilling, E., Pinzer, T., Roesner, D., 2007. Ultrasound aided pin fixation of biodegradable osteosynthetic materials in cranioplasty for infants with craniosynostosis. *J. Cranio-Maxillofac. Surg.* 35, 218–221.
- Ellis, D.S., Toth, B.A., Stewart, W.B., 1991. A micro system for rigid bony fixation in orbital surgery. *Ophthalm. Plast. Reconstr. Surg.* 7, 144–150.
- Emara, T.A., Elnashar, I.S., Omara, T.A., Basha, W.M., Anany, A.M., 2015. Frontal sinus fractures with suspected outflow tract obstruction: a new approach for sinus preservation. *J. Cranio-Maxillofac. Surg.* 43, 1–6.
- Ernoul, C., Bouletreau, P., Meyer, C., Aubry, S., Breton, P., Bachelet, J.-T., 2015. Reconstruction assistée par l'impression 3D en chirurgie maxillofaciale. *Rev. Stomatol. Chir. Maxillo-Faciale Chir. Orale* 116, 95–102.
- Essig, H., Dressel, L., Rana, Majeed, Rana, Madiha, Kokemueller, H., Ruecker, M., Gellrich, N.-C., 2013. Precision of posttraumatic primary orbital reconstruction using individually bent titanium mesh with and without navigation: a retrospective study. *Head Face Med.* 9, 18.
- Eufinger, H., Wehmöller, M., 1998. Individual prefabricated titanium implants in reconstructive craniofacial surgery: clinical and technical aspects of the first 22 cases. *Plast. Reconstr. Surg.* 102, 300–308.
- Freudlsperger, C., Castrillon-Oberndorfer, G., Baechli, H., Hoffmann, J., Mertens, C., Engel, M., 2014. The value of ultrasound-assisted pinned resorbable osteosynthesis for cranial vault remodelling in craniosynostosis. *J. Cranio-Maxillofac. Surg.* 42, 503–507.
- Fuchsberger, A., 1986. 1.1 Allgemeines, in: *Untersuchung Der Spanenden Bearbeitung von Knochen*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, p. 9.
- Fürst, W., Banerjee, A., 2005. Release of glutaraldehyde from an albumin-glutaraldehyde tissue adhesive causes significant in vitro and in vivo toxicity. *Ann. Thorac. Surg.* 79, 1522–1528.
- Gabrielli, M.F.R., Gabrielli, M.A.C., Hochuli-Vieira, E., Pereira-Fillho, V.A., 2004. Immediate reconstruction of frontal sinus fractures: review of 26 cases. *J. Oral Maxillofac. Surg.* 62, 582–586.
- Gander, T., Essig, H., Metzler, P., Lindhorst, D., Dubois, L., Rücker, M., Schumann, P., 2015. Patient specific implants (PSI) in reconstruction of orbital floor and wall fractures.

J. Craniomaxillofac. Surg. 43, 126–130.

Ganz, S.D., 2008. Computer-aided design/computer-aided manufacturing applications using CT and cone beam CT scanning technology. *Dent. Clin.* 52, 777–808.

Garg, R.K., Afifi, A.M., Gassner, J., Hartman, M.J., Levenson, G., King, T.W., Bentz, M.L., Gentry, L.R., 2015. A novel classification of frontal bone fractures: The prognostic significance of vertical fracture trajectory and skull base extension. *J. Plast. Reconstr. Aesthet. Surg.* 68, 645–653.

Gerber, P., 1909. *Die Komplikationen der Stirnhöhlenentzündungen*. Karger, Berlin.

Gerbino, G., Bianchi, F.A., Zavattoni, E., Tartara, F., Garbossa, D., Ducati, A., 2013. Single-step resection and reconstruction using patient-specific implants in the treatment of benign cranio-orbital tumors. *J. Oral Maxillofac. Surg.* 71, 1969–1982.

Gerbino, G., Rocchia, F., Benech, A., Caldarelli, C., 2000. Analysis of 158 frontal sinus fractures: current surgical management and complications. *J. Craniomaxillofac. Surg.* 28, 133–139.

Gerlach, K., 2000. Resorbierbare Polymere als Osteosynthesematerialien. *Mund. Kiefer. Gesichtschir.* 4, S091-S102.

Gerlach, K., 1993. In-vivo and clinical evaluations of poly (L-lactide) plates and screws for use in maxillofacial traumatology. *Clin. Mater.* 13, 21–28.

Gerlach, K., 1990. Treatment of zygomatic fractures with biodegradable poly (L-lactide) plates and screws. *Clin Implant Mat* 9, 573–578.

Godinho, R.M., O'Higgins, P., 2018. The biomechanical significance of the frontal sinus in Kabwe 1 (*Homo heidelbergensis*). *J. Hum. Evol.* 114, 141–153.

Gonty, A.A., Marciani, R.D., Adornato, D.C., 1999. Management of frontal sinus fractures: a review of 33 cases. *J. Oral Maxillofac. Surg.* 57, 372–379.

Gosain, A.K., Plastic Surgery Educational Foundation DATA Committee, 2002. The current status of tissue glues: I. For bone fixation. *Plast. Reconstr. Surg.* 109, 2581–2583.

Gough, J.E., Scotchford, C.A., Downes, S., 2002. Cytotoxicity of glutaraldehyde crosslinked collagen/poly (vinyl alcohol) films is by the mechanism of apoptosis. *J. Biomed. Mater. Res. Off. J. Soc. Biomater. Jpn. Soc. Biomater. Aust. Soc. Biomater. Korean Soc. Biomater.* 61, 121–130.

Grant, M.P., Iliff, N.T., Manson, P.N., 1997. Strategies for the treatment of enophthalmos. *Clin. Plast. Surg.* 24, 539–550.

Grundmann, T., Kehrl, W., 2004. Rekonstruktion der Stirnhöhle mit einem Calvarian-split-Galea-Periost-Transplantat nach entzündlichen Komplikationen. *HNO* 52, 57–62.

Gruss, J.S., Pollock, R.A., Phillips, J.H., Antonyshyn, O., 1989. Combined injuries of the cranium and face. *Br. J. Plast. Surg.* 42, 385–398.

Haers, P.E., Sailer, H.F., 1998. Biodegradable self-reinforced poly-L/DL-lactide plates and screws in bimaxillary orthognathic surgery: short term skeletal stability and material related failures. *J. Cranio-Maxillofac. Surg.* 26, 363–372.

Hakimi, M., Adetayo, O., Martin, M.C., 2011. Upper Eyelid Approach to Anterior Wall Frontal Sinus Fractures. *Plast. Reconstr. Surg.* 128, 111.

Har-El, G., 2001. Endoscopic management of 108 sinus mucocoeles. *The laryngoscope* 111, 2131–2134.

Haug, R.H., Foss, J., 2000. Maxillofacial injuries in the pediatric patient. *Oral Surg. Oral*

Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endod. 90, 126–134.

Haug, R.H., Van Sickels, J.E., Jenkins, W.S., 2002. Demographics and treatment options for orbital roof fractures. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endod.* 93, 238–246.

Heidemann, W., Jeschkeit, S., Ruffieux, K., Fischer, J.H., Wagner, M., Krüger, G., Wintermantel, E., Gerlach, K.L., 2001. Degradation of poly (D, L) lactide implants with or without addition of calciumphosphates in vivo. *Biomaterials* 22, 2371–2381.

Heiss, C., Schnettler, R., 2005. Bioresorbierbare Knochenklebstoffe. *Unfallchirurg* 108, 348–355.

Heiss, C., Schnettler, R., 2003. Bioresorbierbare Klebstoffe in der operativen. *BIOMaterialien* 4, 298–304.

Herford, A.S., Miller, M., Lauritano, F., Cervino, G., Signorino, F., Maiorana, C., 2017. The use of virtual surgical planning and navigation in the treatment of orbital trauma. *Chin. J. Traumatol.* 20, 9–13.

Hillmann, G., Hillman, B., Donath, K., 1991. Enzyme, lectin and immunohistochemistry of plastic embedded undecalcified bone and other hard tissues for light microscopic investigations. *Biotech. Histochem.* 66, 185–193.

Hosemann, W., Schroeder, H., Kaduk, W., Augst, D., Friedrich, J., 2005. Interdisziplinäres Management von Mittelgesichtsverletzungen/Interdisciplinary management of severe midfacial trauma. *HNO* 53, 479–500.

Huiskes, R., 1980. Heat-generation and conduction analysis of acrylic bone cement in situ. *Acta-Orthop. Scand. Suppl* 43–92.

Kallela, I., Iizuka, T., Salo, A., Lindqvist, C., 1999a. Lag-screw fixation of anterior mandibular fractures using biodegradable polylactide screws: a preliminary report. *J. Oral Maxillofac. Surg.* 57, 113–118.

Kallela, I., Laine, P., Suuronen, R., Ranta, P., Iizuka, T., Lindqvist, C., 1999b. Osteotomy site healing following mandibular sagittal split osteotomy and rigid fixation with polylactide biodegradable screws. *Int. J. Oral Maxillofac. Surg.* 28, 166–170.

Kang, I.G., Jung, J.H., Kim, S.T., Choi, J.Y., Sykes, J.M., 2014a. Comparison of titanium and biodegradable plates for treating midfacial fractures. *J. Oral Maxillofac. Surg.* 72, 762-e1.

Kang, I.G., Kim, S.T., Jung, J.H., Paik, J.Y., Woo, J.H., Cha, H.E., Chi, M.J., Jin, S.M., Lee, K.C., 2014b. Effect of endoscopic marsupialization of paranasal sinus mucoceles involving the orbit: a review of 27 cases. *Eur. Arch. Otorhinolaryngol.* 271, 293–297.

Kazui, T., Washiyama, N., Bashar, A.H.M., Terada, H., Suzuki, K., Yamashita, K., Takinami, M., 2001. Role of biologic glue repair of proximal aortic dissection in the development of early and midterm redissection of the aortic root. *Ann. Thorac. Surg.* 72, 509–514.

Kennedy, D.W., Josephson, J.S., Mattox, D.E., Goldsmith, M.M., Zinreich, S.J., 1989. Endoscopic sinus surgery for mucoceles: a viable alternative. *The Laryngoscope* 99, 885–895.

Kim, C.H., Kim, D.H., Song, S.Y., 2012. Treatment of frontal sinus fracture using bioabsorbable mesh plates. *J. Craniofac. Surg.* 23, 549–551.

Kim, Y.O., 1997. Use of cyanoacrylate in facial bone fractures. *J. Craniofac. Surg.* 8, 229–34.

Kim, Y.W., Lee, D.H., Cheon, Y.W., 2016. Secondary reconstruction of frontal sinus

fracture. *Arch. Craniofacial Surg.* 17, 103–110.

KLS, M., n.d. SonicWeld Rx - A New Era in Resorbable Craniofacial Osteosynthesis.
Koento, T., 2012. Current advances in sinus preservation for the management of frontal sinus fractures. *Curr. Opin. Otolaryngol. Head Neck Surg.* 20, 274–279.

Kolk, A., Köhnke, R., Saely, C.H., Ploder, O., 2015. Are biodegradable osteosyntheses still an option for midface trauma? Longitudinal evaluation of three different PLA-based materials. *BioMed Res. Int.* 2015.

Koudstaal, M., Van der Wal, K., Bijvoet, H., Vincent, A., Poublon, R., 2004. Post-trauma mucocele formation in the frontal sinus; a rationale of follow-up. *Int. J. Oral Maxillofac. Surg.* 33, 751–754.

Kübler, A., Mühling, J., 1998a. Chirurgische Behandlung, in: *Leitlinien Für Die Mund-, Kiefer-Und Gesichtschirurgie.* Springer, p. 98.

Kübler, A., Mühling, J., 1998b. Stirn- und Sinus frontalis-Verletzungen, in: *Leitlinien Für Die Mund-, Kiefer-Und Gesichtschirurgie.* Springer, pp. 45–48.

Kuttenberger, J.J., Hardt, N., 2001. Long-term results following reconstruction of craniofacial defects with titanium micro-mesh systems. *J. Craniomaxillofac. Surg.* 29, 75–81.

Laine, P., Kontio, R., Lindqvist, C., Suuronen, R., 2004. Are there any complications with bioabsorbable fixation devices?: a 10 year review in orthognathic surgery. *Int. J. Oral Maxillofac. Surg.* 33, 240–244.

Lakhani, R.S., Shibuya, T.Y., Mathog, R.H., Marks, S.C., Burgio, D.L., Yoo, G.H., 2001. Titanium mesh repair of the severely comminuted frontal sinus fracture. *Arch. Otolaryngol. Neck Surg.* 127, 665–669.

Lang, J., 1988. *Klinische Anatomie der Nase, Nasenhöle und Nebenhölen.* Thieme, Stuttgart, New York.

Lazaridis, N., Makos, C., Iordanidis, S., Zouloumis, L., 1998. The use of titanium mesh sheet in the frontozygma tico-orbital region. Case reports. *Aust. Dent. J.* 43, 223–228.

Leggat, P.A., Kedjarune, U., Smith, D.R., 2004a. Toxicity of cyanoacrylate adhesives and their occupational impacts for dental staff. *Ind. Health* 42, 207–211.

Leggat, P.A., Smith, D.R., Kedjarune, U., 2007. Surgical applications of cyanoacrylate adhesives: a review of toxicity. *ANZ J. Surg.* 77, 209–213.

LeMaire, S.A., Ochoa, L.N., Conklin, L.D., Schmittling, Z.C., Ündar, A., Clubb Jr, F.J., Wang, X.L., Coselli, J.S., Fraser Jr, C.D., 2007. Nerve and conduction tissue injury caused by contact with BioGlue. *J. Surg. Res.* 143, 286–293.

Luce, E.A., 1987. Frontal sinus fractures: guidelines to management. *Plast. Reconstr. Surg.* 80, 500–510.

Luhr, H.-G., 2000. Entwicklung der modernen Osteosynthese. *Mund. Kiefer. Gesichtschir.* 4, S084–S090.

Lüllmann-Rauch, R., 2012. 8.4.1 Extrazellulärmatrix des Knochens, in: *Taschenlehrbuch Histologie.* Georg Thieme Verlag, Stuttgart - New York, p. 694.

Macleod, S.P., Bainton, R., 1992. Extrusion of a microplate: an unusual complication of osteosynthesis. *J. Cranio-Maxillofac. Surg.* 20, 303–304.

Manolidis, S., Hollier Jr, L.H., 2007. Management of frontal sinus fractures. *Plast. Reconstr. Surg.* 120, 32S–48S.

- Manolidis, S., Weeks, B., Kirby, M., Scarlett, M., Hollier, L., 2002. Classification and surgical management of orbital fractures: experience with 111 orbital reconstructions. *J. Craniofac. Surg.* 13, 726–737.
- Manson, P.N., Grivas, A., Rosenbaum, A., Vannier, M., Zinreich, J., Iliff, N., 1986. Studies on enophthalmos: II. The measurement of orbital injuries and their treatment by quantitative computed tomography. *Plast. Reconstr. Surg.* 77, 203–214.
- Marao, H.F., Gulinelli, J.L., Pereira, C.C.S., de Souza Carvalho, A.C.G., Faria, P.E.P., Magro Filho, O., 2010. Use of titanium mesh for reconstruction of extensive defects in fronto-orbito-ethmoidal fracture. *J. Craniofac. Surg.* 21, 748–750.
- Marks, S.C., 1995. Titanium mesh plating for frontal sinus fractures. *Oper. Tech. Otolaryngol.-Head Neck Surg.* 2, 133–134.
- Martel-Martín, M., Gras-Cabrerizo, J.R., Bothe-González, C., Montserrat-Gili, J.R., De Juan-Delago, M., Masegur-Solench, H., 2015. Clinical analysis and surgical results of 58 paranasal sinus mucoceles. *Acta Otorrinolaringol. Engl. Ed.* 66, 92–97.
- Mast, G., Ehrenfeld, M., Cornelius, C., 2012. Maxillofaziale Frakturen: Mittelgesicht und interne Orbita. *Unfallchirurg* 115, 145–164.
- McMullin, B.T., Rhee, J.S., Pintar, F.A., Szabo, A., Yoganandan, N., 2009. Facial fractures in motor vehicle collisions: epidemiological trends and risk factors. *Arch. Facial Plast. Surg.* 11, 165–170.
- Meara, D.J., Knoll, M.R., Holmes, J.D., Clark, D.M., 2012. Fixation of Le Fort I osteotomies with poly-DL-lactic acid mesh and ultrasonic welding—a new technique. *J. Oral Maxillofac. Surg.* 70, 1139–1144.
- Mehta, M., Shah, K., Bhatt, R., 1987. Osteosynthesis of mandibular fractures with N-butyl cyanoacrylate: a pilot study. *J. Oral Maxillofac. Surg.* 45, 393–396.
- Meiklejohn, B.D., Lynham, A., Borgna, S.C., 2014. A simplified approach for the reduction of specific closed anterior table frontal sinus fractures. *Br. J. Oral Maxillofac. Surg.* 52, 81–84.
- Metzinger, S.E., Metzinger, R.C., 2009. Complications of frontal sinus fractures. *Craniofacial Trauma Reconstr.* 2, 27.
- Mohr, C., Seifert, V., Schettler, D., 1994. Osteoplasty of osseous defects of the frontal bone and orbital roof—indications, technique and results. *Fortschr. Kiefer. Gesichtschir.* 39, 43–46.
- Mokal, N.J., Desai, M.F., 2012. Titanium mesh reconstruction of orbital roof fracture with traumatic encephalocele: a case report and review of literature. *Craniofacial Trauma Reconstr.* 5, 11.
- Montovani, J.C., Nogueira, E.A., Ferreira, F.D., Lima Neto, A.C., Nakajima, V., 2006. Surgery of frontal sinus fractures: epidemiologic study and evaluation of techniques. *Rev. Bras. Otorrinolaringol.* 72, 204–209.
- Munro, I.R., Fearon, J.A., 1994. The coronal incision revisited. *Plast. Reconstr. Surg.* 93, 185–187.
- Nagarjuna, M., Ganesh, P., Srinivasaiah, V.S., Kumar, K., Shetty, S., Salins, P.C., 2015. Fabrication of Patient Specific Titanium Implants for Correction of Cranial Defects: A Technique to Improve Anatomic Contours and Accuracy. *J. Craniofac. Surg.* 26, 2409–2411.
- Nahum, A., 1975. The biomechanics of maxillofacial trauma. *Clin. Plast. Surg.* 2, 59–

64.

Niinomi, M., 1998. Mechanical properties of biomedical titanium alloys. *Mater. Sci. Eng. A* 243, 231–236.

Noureldin, M.G., Khalil, A.F., Kotb, A.R., Fahmy, M.H., Eleneen, S.E.D.A., 2016. Evaluation of resorbable mesh and plate with ultrasonic welded pins in the management of mandibular fractures in children (a comparative clinical study). *Alex. Dent. J.* 41, 261–268.

Onishi, K., Nakajima, T., Yoshimura, Y., 1989. Treatment and therapeutic devices in the management of frontal sinus fractures: our experience with 42 cases. *J. Craniomaxillofac. Surg.* 17, 58–63.

Owusu, J.A., Boahene, K., 2015. Update of patient-specific maxillofacial implant. *Curr. Opin. Otolaryngol. Head Neck Surg.* 23, 261–264.

Paquet, K.-J., Savic, B., 1978. Allgemeine Chirurgie für Zahnmediziner, in: Allgemeine Chirurgie Für Zahnmediziner. Springer Verlag Berlin - Heidelberg - New York, Heidelberg, pp. 75–80.

Patel, M., Langdon, J., 1991. Titanium mesh (TiMesh) osteosynthesis: a fast and adaptable method of semi-rigid fixation. *Br. J. Oral Maxillofac. Surg.* 29, 316–324.

Patel, N., Kim, B., Zaid, W., 2017. Use of virtual surgical planning for simultaneous maxillofacial osteotomies and custom polyetheretherketone implant in secondary orbito-frontal reconstruction: importance of restoring orbital volume. *J. Craniofac. Surg.* 28, 387–390.

Penfold, C., Lang, D., Evans, B., 1992. The management of orbital roof fractures. *Br. J. Oral Maxillofac. Surg.* 30, 97–103.

Pietrzak, W.S., 2000. Principles of development and use of absorbable internal fixation. *Tissue Eng.* 6, 425–433.

Pietrzak, W.S., Sarver, D.R., Verstynen, M.L., 1997. Bioabsorbable polymer science for the practicing surgeon. *J. Craniofac. Surg.* 8, 87–91.

Pilling, E., Eckelt, U., Loukota, R., Schneider, K., Stadlinger, B., 2010. Comparative evaluation of ten different condylar base fracture osteosynthesis techniques. *Br. J. Oral Maxillofac. Surg.* 48, 527–531.

Pilling, E., Mai, R., Theissig, F., Stadlinger, B., Loukota, R., Eckelt, U., 2007a. An experimental in vivo analysis of the resorption to ultrasound activated pins (Sonic weld®) and standard biodegradable screws (ResorbX®) in sheep. *Br. J. Oral Maxillofac. Surg.* 45, 447–450.

Pilling, E., Meissner, H., Jung, R., Koch, R., Loukota, R., Mai, R., Reitemeier, B., Richter, G., Stadlinger, B., Stelnicki, E., 2007b. An experimental study of the biomechanical stability of ultrasound-activated pinned (SonicWeld Rx®+ Resorb-X®) and screwed fixed (Resorb-X®) resorbable materials for osteosynthesis in the treatment of simulated craniosynostosis in sheep. *Br. J. Oral Maxillofac. Surg.* 45, 451–456.

Pohler, O.E., 2000. Unalloyed titanium for implants in bone surgery. *Injury* 31, D7–D13.

Prescher, A., 2009. Clinical anatomy of the paranasal sinuses. Descriptive anatomy, topography and important variations. *HNO* 57, 1039–50.

Raanani, E., Latter, D.A., Errett, L.E., Bonneau, D.B., Leclerc, Y., Salasidis, G.C., 2001. Use of “BioGlue” in aortic surgical repair. *Ann. Thorac. Surg.* 72, 638–640.

Rasse, M., Moser, D., Zahl, C., Gerlach, K.L., Eckelt, U., Loukota, R., 2007.

- Resorbable poly (D, L) lactide plates and screws for osteosynthesis of condylar neck fractures in sheep. *Br. J. Oral Maxillofac. Surg.* 45, 35–40.
- Ravindra, V.M., Neil, J.A., Shah, L.M., Schmidt, R.H., Bisson, E.F., 2015. Surgical management of traumatic frontal sinus fractures: Case series from a single institution and literature review. *Surg. Neurol. Int.* 6.
- Reichwein, A., Schicho, K., Moser, D., Seemann, R., Poeschl, P., Baumann, A., Ewers, R., 2009. Clinical experiences with resorbable ultrasonic-guided, angle-stable osteosynthesis in the panfacial region. *J. Oral Maxillofac. Surg.* 67, 1211–1217.
- Renzi, G., Carboni, A., Perugini, M., Giovannetti, F., Becelli, R., 2004. Posttraumatic trigeminal nerve impairment: a prospective analysis of recovery patterns in a series of 103 consecutive facial fractures. *J. Oral Maxillofac. Surg.* 62, 1341–1346.
- Robiony, M., Della Pietra, L., Bertossi, D., Albanese, M., Fresku, A., 2014. A Simple Method for the Repair of Frontal Sinus Fracture: The Bone Mesh Pull-Up Technique. *Cranio-maxillofacial Trauma Reconstr.* 7, 79.
- Rodriguez, E.D., Stanwix, M.G., Nam, A.J., Hilaire, H.S., Simmons, O.P., Christy, M.R., Grant, M.P., Manson, P.N., 2008. Twenty-six-year experience treating frontal sinus fractures: a novel algorithm based on anatomical fracture pattern and failure of conventional techniques. *Plast. Reconstr. Surg.* 122, 1850–1866.
- Rohrich, R., Hollier, L., 1996. The role of the nasofrontal duct in frontal sinus fracture management. *J. Cranio-Maxillofac. Trauma* 2, 31–40.
- Rosson, G.D., Rodriguez, E.D., George, P., Lee Dellon, A., 2010. Surgical algorithm for treatment of post-traumatic trigeminal nerve pain. *Microsurgery* 30, 614–621.
- Roux, W., 1895. *Gesammelte Abhandlungen über Entwicklungsmechanik der Organismen.* Wilhelm Engelmann.
- Ruffieux, K., 1997. *Degradables Osteosynthesesystem aus Polylactid für die maxillofaciale Chirurgie: ein Beitrag zur Werkstoff-und Prozessentwicklung.* ETH Zurich.
- Ryan, M.L., Thorson, C.M., Otero, C.A., Ogilvie, M.P., Cheung, M.C., Saigal, G.M., Thaller, S.R., 2011. Pediatric facial trauma: a review of guidelines for assessment, evaluation, and management in the emergency department. *J. Craniofac. Surg.* 22, 1183–1189.
- Salam, J., Kujur, S., Sachdeo, S., Garg, M., 2018. Sudden Onset Proptosis: Frontal Sinus Mucocele Could Be a Cause. *Off. Sci. J. Delhi Ophthalmol. Soc.* 28, 74–76.
- Santos, P.L. dos, Chihara, L.L., Alcalde, L.F.A., Masalskas, B.F., Sant'Ana, E., Faria, P.E.P., 2017. Outcomes in Surgical Treatment of Mucocele in Frontal Sinus. *J. Craniofac. Surg.* 28, 1702–1708.
- Sawatari, Y., Caceres, J., 2012. Frontal sinus fractures, in: *Current Therapy in Oral and Maxillofacial Surgery.* Elsevier Inc.
- Schick, B., Hendus, J., Abd El Rahman, E., Draf, W., 1998. Rekonstruktion der Stirnregion mit Tabula externa des Schädels. *Laryngo-Rhino-Otol.* 77, 474–479.
- Schneider, G., 2009. Tissue adhesives in otorhinolaryngology. *GMS Curr. Top. Otorhinolaryngol. Head Neck Surg.* 8.
- Schneider, M., Eckelt, U., Reitemeier, B., Meissner, H., Richter, G., Loukota, R., Stadlinger, B., 2011. Stability of fixation of diacapitular fractures of the mandibular condylar process by ultrasound-aided resorbable pins (SonicWeld Rx® System) in pigs. *Br. J. Oral Maxillofac. Surg.* 49, 297–301.

- Schneider, M., Loukota, R., Kuchta, A., Stadlinger, B., Jung, R., Speckl, K., Schmiedekampf, R., Eckelt, U., 2013. Treatment of fractures of the condylar head with resorbable pins or titanium screws: an experimental study. *Br. J. Oral Maxillofac. Surg.* 51, 421–427.
- Schneider, M., Loukota, R., Reitemeier, B., Meissner, H., Stadlinger, B., Eckelt, U., Richter, G., 2010. Bone block fixation by ultrasound activated resorbable pin osteosynthesis: a biomechanical in vitro analysis of stability. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endodontology* 109, 79–85.
- Schneider, M., Seinige, C., Pilling, E., Rasse, M., Loukota, R., Stadlinger, B., Mai, R., Eckelt, U., 2012. Ultrasound-aided resorbable osteosynthesis of fractures of the mandibular condylar base: an experimental study in sheep. *Br. J. Oral Maxillofac. Surg.* 50, 528–532.
- Schramm, A., Suarez-Cunqueiro, M., Rücker, M., Kokemueller, H., Bormann, K., Metzger, M., Gellrich, N., 2009. Computer-assisted therapy in orbital and mid-facial reconstructions. *Int. J. Med. Robot.* 5, 111–124.
- Schünke, M., Schulte, E., Schumacher, U., Voll, M., Wesker, K., 2006. Prometheus LernAtlas der Anatomie Kopf und Neuroanatomie, in: Prometheus LernAtlas Der Anatomie Kopf Und Neuroanatomie. Georg Thieme Verlag Stuttgart-New York, Stuttgart, pp. 136, 139.
- Schütz, P., Ibrahim, H.H.H., Rajab, B., 2015. Contemporary management of frontal sinus injuries and frontal bone fractures, in: *A Textbook of Advanced Oral and Maxillofacial Surgery Volume 2*. InTech.
- Sharouny, H., Narayanan, P., 2014. Endoscopic marsupialisation of the lateral frontal sinus mucocele with orbital extension: a case report. *Iran. Red Crescent Med. J.* 17.
- Shermak, M.A., Wong, L., Inoue, N., Crain, B.J., Im, M.J., Chao, E., Manson, P.N., 1998. Fixation of the craniofacial skeleton with butyl-2-cyanoacrylate and its effects on histotoxicity and healing. *Plast. Reconstr. Surg.* 102, 309–318.
- Stassen, L., McGuinness, A., 1999. A simple method of plate fixation of fractures of the frontal bone. *Br. J. Oral Maxillofac. Surg.* 37, 438–439.
- Statkiewicz, C., Faverani, L.P., Ramalho-Ferreira, G., Francisconi, G.B., Nogueira, L.M., Ferreira, S., Júnior, I.R.G., 2014. Reconstruction of extensive frontal fracture with titanium mesh. *J. Craniofac. Surg.* 25, 712–714.
- Staudenmaier, R., Happ, T., Grevers, G., 2002. Pneumosinus dilatans der Stirnhöhle. *HNO* 50, 479–482.
- Steinhart, H., Schroeder, H.-G., 1995. Einsatzmöglichkeiten von Mikroplatten in der HNO-Heilkunde. *Laryngo-Rhino-Otol.* 74, 432–436.
- Strong, E.B., Pahlavan, N., Saito, D., 2006. Frontal sinus fractures: a 28-year retrospective review. *Otolaryngol. Neck Surg.* 135, 774–779.
- Sukegawa, S., Kanno, T., Katase, N., Shibata, A., Takahashi, Y., Furuki, Y., 2016. Clinical evaluation of an unsintered hydroxyapatite/poly-L-lactide osteoconductive composite device for the internal fixation of maxillofacial fractures. *J. Craniofac. Surg.* 27, 1391.
- Villarreal-Gómez, A.M., Torregrosa-Coque, R., Martín-Martínez, J.M., 2013. Comparative Properties of Ethyl, n-Butyl, and n-Octyl Cyanoacrylate Bioadhesives Intended for Wound Closure, in: *Biologically Responsive Biomaterials for Tissue Engineering*. Springer, pp. 89–111.

- Vu, A.T., Patel, P.A., Chen, W., Wilkening, M.W., Gordon, C.B., 2015. Pediatric frontal sinus fractures: outcomes and treatment algorithm. *J. Craniofac. Surg.* 26, 776–781.
- Vyas, A., Pickering, C., Oldham, L., Francis, H., Fletcher, A., Merrett, T., Niven, R.M., 2000. Survey of symptoms, respiratory function, and immunology and their relation to glutaraldehyde and other occupational exposures among endoscopy nursing staff. *Occup. Environ. Med.* 57, 752–759.
- Wall, P.D., Melzack, R., Pinsky, J., Crue, B., 1984. Intensive Group Psychotherapy, Chapter 3G8, in: *Textbook of Pain*. Churchill Livingstone Edinburgh, Edinburgh, p. 823.
- Wallis, A., Donald, P.J., 1988. Frontal sinus fractures: a review of 72 cases. *The Laryngoscope* 98, 593–598.
- Weitman, E., Shilo, D., Emodi, O., Rachmiel, A., 2017. Solitary Frontal Sinus Fractures Compared to Multiple Facial Fractures, Energy Impact Dependency. *J. Craniofac. Surg.* 28, 1812–1815.
- Whited, R.E., 1979. Anterior table frontal sinus fractures. *The Laryngoscope* 89, 1951–1955.
- Wilson, B.C., Davidson, B., Corey, J.P., Haydon, R.C., 1988. Comparison of complications following frontal sinus fractures managed with exploration with or without obliteration over 10 years. *The Laryngoscope* 98, 516–520.
- Wittwer, G., Adeyemo, W.L., Voracek, M., Turhani, D., Ewers, R., Watzinger, F., Enislidis, G., 2005. An evaluation of the clinical application of three different biodegradable osteosynthesis materials for the fixation of zygomatic fractures. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endodontology* 100, 656–660.
- Wittwer, G., Adeyemo, W.L., Yerit, K., Voracek, M., Turhani, D., Watzinger, F., Enislidis, G., 2006. Complications after zygoma fracture fixation: Is there a difference between biodegradable materials and how do they compare with titanium osteosynthesis? *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endodontology* 101, 419–425.
- Xie, C., Mehendale, N., Barrett, D., Bui, C., Metzinger, S., 2000. 30-year retrospective review of frontal sinus fractures: The Charity Hospital experience. *J. Craniomaxillofac Trauma* 6, 7–15.
- Yamaguchi, K., Anderson, J.M., 1992. Biocompatibility studies of naltrexone sustained release formulations. *J. Controlled Release* 19, 299–314.
- Yavuzer, R., Sari, A., Kelly, C.P., Tuncer, S., Latifoglu, O., Celebi, M.C., Jackson, I.T., 2005. Management of frontal sinus fractures. *Plast. Reconstr. Surg.* 115, 79e–93e.
- Yerit, K.C., Enislidis, G., Schopper, C., Turhani, D., Wanschitz, F., Wagner, A., Watzinger, F., Ewers, R., 2002. Fixation of mandibular fractures with biodegradable plates and screws. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endodontology* 94, 294–300.
- Zavattero, E., Boffano, P., Bianchi, F.A., Bosco, G.F., Berrone, S., 2013. The use of titanium mesh for the reconstruction of defects of the anterior wall of the frontal sinus. *J. Craniofac. Surg.* 24, 690–691.

8 Thesen

1. Im Zeitraum von 01/2011 bis 06/2017 wurden 18 Patienten mit der Diagnose einer isolierten Sinus frontalis-Vorderwandfraktur behandelt. Dabei lag bei 14 Patienten eine Beteiligung der Orbita vor.
2. Die titanbasierte Plattenosteosynthese ist, neben der Gitterosteosynthese, für Mittelgesichtsfrakturen das Mittel der Wahl. Auch ist sie bei einfachen Impressionsfrakturen der Sinus frontalis-Vorderwand und des oberen Orbitarandes ist am ehesten indiziert. Dabei zeigen titanbasierte und PDLLA-basierte Osteosynthesematerialien ähnlich gute Ergebnisse.
3. Die Gitterosteosynthese ist eine einfache und schnelle Möglichkeit, die Stirnkontur anatomisch korrekt wieder herzustellen und darüber hinaus ein effizientes Mittel zur Überbrückung von kleinen Knochenverlusten.
4. PSI bieten vor allem bei größeren Defekten eine gute Stabilität, optimale Passung und ein sicheres ästhetisches Ergebnis.
5. Im Vergleich zu den Cyanoacrylaten ist BioGlue als Knochenkleber aufgrund der fragwürdigen Biokompatibilität und Verbundfestigkeit kritisch zu betrachten.
6. Für größerer Knochensubstanzverluste bietet sich ein autologes Knochentransplantat an. Hier stellt das Tabula externa-Transplantat aufgrund seiner Vorteile, das Transplantat der ersten Wahl dar. Die Fixation erfolgt durch Platten- oder Gitterosteosynthese.
7. Isolierte Frakturen der Sinus frontalis Vorderwand weisen ein geringes Komplikationsrisiko aufweisen. Zwar sind auftretende Minor-Komplikationen, teils durch Osteosynthesematerialien, manchmal nicht zu vermeiden, jedoch können Major-Komplikationen durch eine adäquate Therapie und Nachsorge vermieden werden.

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, Stephan Weinmann, geboren am 15.02.1996, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe angefertigt habe.

Ich habe mich dabei keiner anderen als der von mir angegebenen Quellen und Hilfen bedient.

Halle (Saale), den

Stephan Weinmann

Erklärung über frühere Promotionsversuche

Hiermit erkläre ich, Stephan Weinmann, dass ich bisher keine Promotionsversuche unternommen habe. Die vorliegende Dissertation wurde weder im In- noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form veröffentlicht.

Halle (Saale), den

Stephan Weinmann

Danksagung

Herrn Prof. Dr. Dr. S. Otto danke ich für die Möglichkeit der Promotion an der Universitätsklinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer-, und Plastische Gesichtschirurgie der Martin-Luther Universität Halle-Wittenberg.

Ebenfalls bedanke ich mich bei Herrn Prof. Dr. Dr. A. W. Eckert für die gewährte Unterstützung, die wissenschaftliche Anleitung sowie die Durchsicht des Manuskripts. Seine kreativen und kritischen Anmerkungen und Hinweise waren für das Erstellen der Arbeit sehr hilfreich.

Ein besonderer Dank gilt Herrn Dr. Dr. W. Reich für die Überlassung des Themas, die grundlegende Wegbereitung der Arbeit und für die wohlwollende Begleitung sowie für die Durchsicht des Manuskripts.

Mein herzlicher Dank gehört nicht zuletzt meinen Eltern, meinem Bruder und besonders meiner Schwester Frau Dr. K. Weinmann, die zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben.