

Aus der Klinik für Mund-Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

Univ.- Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Norbert R. Kübler

**Mediale Orbitawandfrakturen- ist eine operative
Versorgung mit einem patientenspezifischen Implantat
erforderlich?**

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin
der Medizinischen Fakultät
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

vorgelegt von

Merve Karahisarlioglu

2020

Als Inauguraldissertation gedruckt mit der Genehmigung der
Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
gez.:

Dekan: Univ.- Prof. Dr. med. Nikolaj Klöcker

Erstgutachter: Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Majeed Rana

Zweitgutachter: Univ.- Prof. Dr. med. Gerd Geerling

Für Sinem und Tülin

Zusammenfassung

Die Versorgung der Orbitafraktur wird nach wie vor kontrovers diskutiert. Wurden hauchdünne Bereiche wie die mediale Orbitawand oftmals nicht rekonstruiert, so lag dies an der Nähe zu sensiblen Strukturen und mangelnden Erfahrungen. Ein ästhetisch störender Enophthalmus wurde dabei in Kauf genommen. Das bisherige Versorgungsspektrum reichte von nicht-operativer Therapie, bis zur Rekonstruktion mit bioresorbierbaren, alloplastischen Materialien, die das Risiko des Formverlusts bergen. Dagegen ermöglichen moderne Operationstechniken erstmals eine dauerhafte, anatomisch exakte Rekonstruktion der knöchernen Orbita. Mithilfe neuer Methoden war es das Ziel dieser Arbeit, die Frage nach der operativen Versorgung der medialen Orbitawand zu klären. Hierzu wurden 261 Patienten der Universitätskliniken Düsseldorf und Hannover von 2008-2018 eingeschlossen. Patientenspezifische Implantate wurden bioresorbierbaren Folien und einer nicht-operativen Behandlung klinisch und radiologisch gegenübergestellt. Primäre Zielparameter waren radiologisch die intraorbitalen Winkel, Volumina und die Implantatposition. Klinische Parameter wurden nach ophthalmologischer Untersuchung erhoben. Die allgemeine Patientenzufriedenheit wurde entsprechend der erhaltenen Versorgung erfragt.

Der statistische Vergleich der Gruppen ergab, dass lediglich mit modernen Operationsverfahren eine signifikante Rekonstruktion der dreidimensionalen Anatomie erreicht wurde. Die Komplikationsrate bezüglich der Implantatposition lag bei etwa 1,1 %. Hinsichtlich der Volumenreduktion unterschieden sich die Gruppen signifikant. Postoperative Komplikationen wie ein Enophthalmus konnten bei Patienten mit bioresorbierbaren Folien signifikant häufiger gefunden werden als präoperativ. Die Versorgung mit modernen Techniken verbesserte dieses klinische Erscheinungsbild hingegen signifikant. Hinsichtlich der allgemeinen Patientenzufriedenheit erwies sich, dass unabhängig von der erhaltenen Therapie, das Arzt-Patienten-Verhältnis entscheidend ist.

Bei Einsatz moderner Operationsverfahren zeigten die Ergebnisse tendenziell eine zuverlässige Wiederherstellung von Form und Funktion. Zur Erzielung einer originalgetreuen Rekonstruktion kann langfristig gesehen die operative Versorgung der medialen Orbitawand nach Indikationsstellung befürwortet werden.

Summary

The proper treatment of the fractured orbit is still controversial. There is no consensus in the therapy of medial orbital wall fractures due to anatomically critical structures and the surgeons' lack of experience. Therefore an aesthetically disturbing enophthalmos was accepted. The treatments have ranged from non-operative therapy to reconstruction with bioresorbable alloplastic materials, which are related to instabilities. Modern operation techniques offer a reliable and permanent reconstruction of the bony orbit.

In order to clarify the question of the surgical treatment of the medial orbital wall, 261 patients between 2008 and 2018 at the University Hospitals of Düsseldorf and Hannover were included. Patient specific implants were compared to alloplastic bioresorbable foils and non-operative treatment. Primary outcome parameters were intraorbital angles and volumes, radiological implant position and ophthalmological parameters. Patients' satisfaction was inquired according to the received therapy.

Statistical comparisons between the groups showed, that there was only a significant reconstruction of the three-dimensional bony orbit with the use of modern operation techniques. Concerning the implant position, the complication rate was about 1,1 %. Regarding orbital volume reduction, significant differences between the groups were found. With the use of bioresorbable foils, postoperative enophthalmos was significantly more often than preoperatively. Compared to this, modern techniques lead to significant improvement of enophthalmos. Generally, patients' health related satisfaction depends more on psychological factors like the doctor-patient relationship than on the received therapy.

The use of modern operation techniques tends to enable a reliable reconstruction of orbital form and function. In order to achieve a true to original reconstruction of the bony orbit, surgical treatment of the medial orbital wall can be advocated in the long term, depending on the indication.

Abkürzungsverzeichnis

3-D	3-dimensional
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CAPP	<i>computer-assisted preoperative planning</i>
CAS	<i>computer-assisted surgery</i>
cm	Zentimeter
CT	Computertomographie
DICOM	<i>digital imaging and communication in medicine</i>
DVT	Digitale Volumetomographie
ICD	<i>International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems</i>
K	Kategorie
M.	Musculus
min	Minuten
ml	Milliliter
mm	Millimeter
MRT	Magnetresonanztomographie
N.	Nervus
NNH	Nasennebenhöhlen
o.g.	oben genannte
OP	Operation
OPG	Orthopantomogramm
OR	Odds Ratio
PACS	<i>picture archiving and communication system</i>
PDS	Poly-p-dioxanon
Proc.	Processus

PSI

Patientenspezifisches Implantat

SLM

selective laser melting

STL

Stereolithographie

vs.

versus

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1 Einführung	1
1.2 Entwicklung der modernen knöchernen Orbitachirurgie	2
1.2.1 Computerassistierte präoperative Planung	3
1.2.2 Computerassistierte Chirurgie.....	4
1.3 Anatomie der knöchernen Orbita	6
1.4 Traumatologie der Orbita	7
1.4.1 Allgemeine Traumatologie der Orbita	8
1.4.2 Spezielle Traumatologie der Orbita.....	9
1.5 Klinik und Diagnostik der Orbitafraktur.....	11
1.5.1 Symptome.....	11
1.5.2 Klinische Untersuchung des Patienten	13
1.5.3 Bildgebende Verfahren	13
1.6 Techniken der rekonstruktiven knöchernen Orbitachirurgie.....	15
1.6.1 Therapieformen.....	15
1.6.2 Materialien	18
1.7 Ziele der Arbeit.....	23
2. Material und Methoden	24
2.1 Material	24
2.1.1 Aktenzeichen des Ethikvotums	24
2.1.2 Patientenkollektiv	24
2.2 Methoden.....	27
2.2.1 Präoperativer Ablauf	27
2.2.2 Operationsablauf.....	28
2.2.3 Postoperative Kontrolle	30
2.2.4 Ophthalmologische Untersuchung	30
2.2.5 Qualitatives Interview	31
2.3 Datenauswertung.....	33
2.3.1 Auswertung der 3-D Datensätze	33
2.3.2 Auswertung des qualitativen Interviews	36
2.4 Statistische Analyse.....	37

3. Ergebnisse	38
3.1 Demographie des Patientenkollektivs	38
3.2 Radiologische Parameter.....	39
3.2.1 Implantatposition.....	39
3.2.2 Intraorbitale Winkel und Volumina	40
3.2.3 Defektgröße und Differenzen	43
3.3 Klinische Parameter.....	46
3.4 Lebensqualität.....	50
3.4.1 Stichprobenbeschreibung	50
3.4.2 Kategorien	50
3.5 Zusammenfassung aller Ergebnisse.....	55
3.6 Statistische Voraussetzungen.....	55
4. Diskussion	56
4.1 Methodenkritik.....	56
4.2 Ergebniskritik	62
4.3 Schlussfolgerung	70
4.4 Ausblick	71
5. Abbildungsverzeichnis	73
6. Tabellenverzeichnis	75
7. Literaturverzeichnis	76

1. Einleitung

1.1 Einführung

Die modernen Operationstechniken beschäftigen sich bereits seit Jahren mit dem Einsatz autologer, xenogener und alloplastischer Materialien zur Orbitarekonstruktion, wobei die funktionelle Versorgung stets ein Problem darstellt [1]. Die Orbita nimmt als knöchernen Grundlage für den Sehapparat eine relevante ästhetische und funktionelle Rolle ein. Mit einem insgesamt kleinen Raum und teilweise dünnen, fragilen Wänden, stellt sie einen kritischen Bereich dar, der bei Gesichtsschädeltraumata häufig verletzt wird. Die anatomische und funktionelle originalgetreue Rekonstruktion im Seitenvergleich ist demnach für den Chirurgen eine Herausforderung. Es existiert eine Vielzahl von Verfahren und Materialien, die abhängig vom Klinikstandort und der Erfahrung des Behandlers variieren. Heutzutage finden zweidimensionale Rekonstruktionen bis hin zu computerassistierten, dreidimensionalen Rekonstruktionen der Orbita durch patientenspezifische Implantate Anwendung. In der Orbitachirurgie besteht nach wie vor die Frage nach der Indikation zur operativen Versorgung, dem optimalen Zeitpunkt und der Auswahl des geeigneten Materials und so ist die bestmögliche Versorgung nach wie vor Gegenstand der Diskussion [2, 3]. Unter anderem ist bisher auch die Frage nach der chirurgischen Rekonstruktion der frakturierten medialen Orbitawand offen. War sie bisher oftmals gar nicht rekonstruiert worden, so machen neue computerassistierte Techniken eine anatomisch exakte Rekonstruktion erstmals möglich. Ob diese detailgenaue Rekonstruktion auch mit einem Vorteil für die Patienten in funktioneller und ästhetischer Hinsicht einhergeht, soll in der vorliegenden Arbeit untersucht werden. Hierzu werden erstmals zwei an unterschiedlichen Kliniken zeitgleich konventionell und durch patientenspezifische dreidimensionale Rekonstruktion behandelte Patientenkollektive systematisch miteinander verglichen.

1.2 Entwicklung der modernen knöchernen Orbitachirurgie

Die Anfänge der rekonstruktiven Orbitachirurgie wurden maßgeblich von Paul Tessier (1917-2008) geprägt. Als erster Chirurg, der autologen Knochen im Bereich der Orbita einbrachte, propagierte er die Notwendigkeit der dreidimensionalen orbitalen Rekonstruktion und setzte neue chirurgische Zugangswege im klinischen Alltag durch [4]. Paul Manson setzte diese Gedanken in der Gegenwart um und führte die Wiederherstellung der knöchernen Orbita mit Transplantaten der Calvaria fort. Er beschrieb langfristige posttraumatische Folgen, wie einen ästhetisch störenden Enophthalmus durch unzureichende Formstabilität des Rekonstruktionsmaterials und die Schwierigkeit einer sekundären Korrektur [5]. In Europa hat Beat Hammer in den 1990er Jahren zur Weiterentwicklung der dreidimensionalen Rekonstruktion unter Berücksichtigung der periorbitalen Weichgewebe beigetragen [6]. Er entwickelte die unter der Hammer-Technik bekannte Wiederherstellung der medialen Lidwinkelposition bei einem posttraumatischen Telekanthus.

Der Gebrauch von vorgefertigten Titangittern zur Rekonstruktion des Orbitabodens wurde 1992 erstmalig von Adrian Sugar publiziert. Als radioopakes, formstabiles Material, wurden diese intraoperativ an die individuelle Anatomie der Orbita angepasst [7]. Später entwickelte er gemeinsam mit seiner Arbeitsgruppe mittels Kaltverformung individualisierte Titan-Meshes auf präoperativen stereolithographischen Modellen der Orbita. Es konnte eine akkurate Wiederherstellung des orbitalen Volumens und eine sichere Rekonstruktion erzielt werden [8]. In der Entwicklung neuer, im selektiven Laserschmelzverfahren (SLM) hergestellter, patientenspezifischer Implantate (PSI) aus Titan, leistete die Arbeitsgruppe um Gellrich und Schramm Pionierarbeit (Abb.1). Seit 2014 kommen diese zur Rekonstruktion komplexer orbitaler Frakturen zum Einsatz und stellen derzeit die präziseste Rekonstruktionsmöglichkeit der Orbita dar [9]. Die Schritte bestehen im Wesentlichen aus computerassistierter, präoperativer Planung (CAPP), intraoperativer, navigationsassistierter Chirurgie und intra- oder postoperativer Bildgebung.

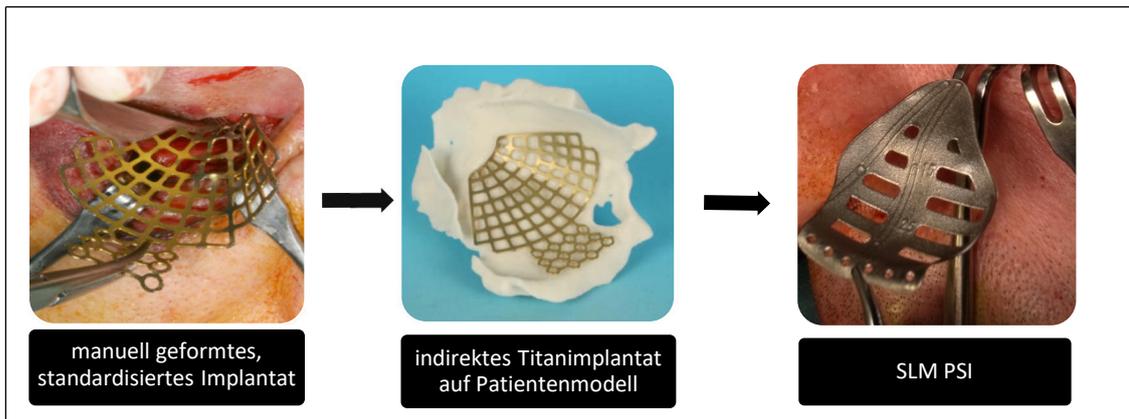


Abb. 1: Entwicklung verschiedener Titanimplantate zur Orbitarekonstruktion. Das linke Bild zeigt ein intraoperativ manuell geformtes Implantat für die rechte Augenhöhle. In dem mittleren Bild ist ein Titanimplantat abgebildet, das auf einem Patientenmodell bereits präoperativ vorgebogen wird. Rechts ist ein im Laserschmelzverfahren hergestelltes, patientenspezifisches Implantat zu sehen.

1.2.1 Computerassistierte präoperative Planung

Das Ziel der computerassistierten, präoperativen Planung in der Traumatologie ist die genaue Analyse der Fraktur und die Schaffung virtueller Modelle, anhand derer eine Simulation des Operationsablaufs und Rekonstruktionsergebnisses erfolgen kann [10]. Dafür bedarf es nach klinischer Befundung des Patienten einer dreidimensionalen Bildgebung in Form einer Computertomographie (CT) oder Digitalen Volumentomographie (DVT). Durch den Import dieser Datensätze in eine Planungssoftware gelingt es bei unilateralen Traumata, mittels Segmentierung der orbitalen Kavitäten und Spiegelung der nicht-betroffenen Seite, ein virtuelles, dreidimensionales Modell zu schaffen (Abb.2). So kann bereits präoperativ ein patientenspezifisches Implantat hergestellt werden [9]. Der Datensatz kann in der Planungsphase beliebig oft bis zum Erreichen des gewünschten Ergebnisses bearbeitet werden. Ziel ist die Steigerung der Vorhersagbarkeit der Rekonstruktion, die Erhöhung der intraoperativen Sicherheit und die optimale Versorgung des Patienten in nur einem Eingriff [11, 12]. Weiterhin können Titanmesh-Implantate bereits präoperativ mithilfe stereolithographischer (STL) Patientenmodelle aus Polyamid manuell vorgeformt werden. Die Modelle werden in einem, als *Rapid Prototyping* bezeichneten,

Vorgang gefräst oder ausgedruckt [13]. Dies ermöglicht eine präzise, individuelle Formung des Implantates und ersetzt die erstmalig intraoperative Anpassung an die knöcherne Orbita [14].

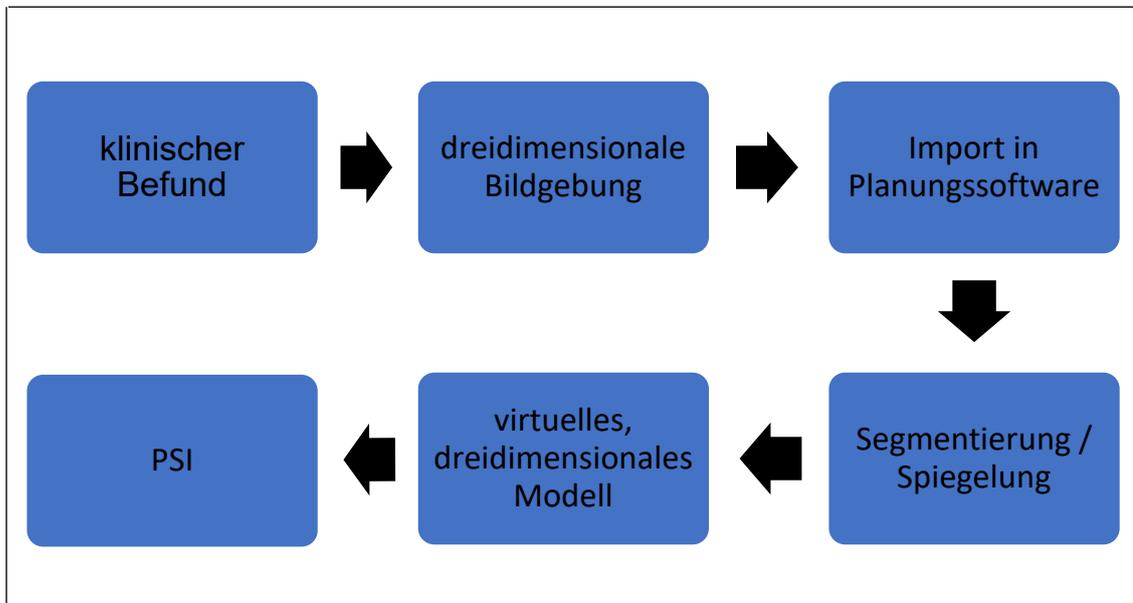


Abb. 2: Beispiel für den Ablauf der CAPP im klinischen Alltag. Dargestellt sind die wesentlichen Schritte in der Planung eines patientenspezifischen Implantates.

1.2.2 Computerassistierte Chirurgie

Die intraoperative Navigation erfolgt nach Abgleichung präoperativ erstellter Datensätze mit reellen Daten des Patienten. Dieser als Referenzierung bezeichnete Vorgang kann non-invasiv mit Navigationsschrauben versehenen, dentalen Tiefziehschienen oder invasiv durch temporäres Einbringen von Titanschrauben im Bereich der Schädelkalotte erfolgen [10, 15]. Die Referenzpunkte des Patienten werden mit einem Instrument abgetastet, das mit einem optischen System zur Lagebestimmung versehen ist [10]. Durch Digitalisierung der Daten im Navigationssystem ist es möglich, die exakte Position der Instrumente im Raum zu ermitteln [11]. Dies ermöglicht dem Chirurgen während der Operation, die Lage des Implantates und das präoperative, virtuelle Rekonstruktionsergebnis genau zu verfolgen (Abb.3).

Das Anbringen eines Referenzierungsterns (*skull reference array*) mit drei nicht-kollinear angeordneten Punkten im Bereich der Schädelkalotte, erlaubt bei Bewegungen des Kopfes und Operationstisches eine neue Kalkulation der dreidimensionalen Position der Instrumente [10]. Die navigationsassistierte Chirurgie ermöglicht es, Positionierungsfehler mit einhergehenden sekundären Korrekturen zu vermeiden. Verkürzte Operationszeiten in Kombination mit patientenspezifischen Implantaten und bis zu 1 mm genaue Rekonstruktionen können erzielt werden [11, 16-18]. Die Erfolgskontrolle setzt eine dreidimensionale Bildgebung im Anschluss an die Implantatinserterion voraus. Dies kann postoperativ oder intraoperativ bei bestehender Möglichkeit der Korrektur im selben Eingriff erfolgen. Letztere Methode stellt im Falle der erneuten Lagekorrektur eine größere Strahlenexposition für den Patienten dar, weil eine finale röntgenologische Kontrolle obligat ist [11].

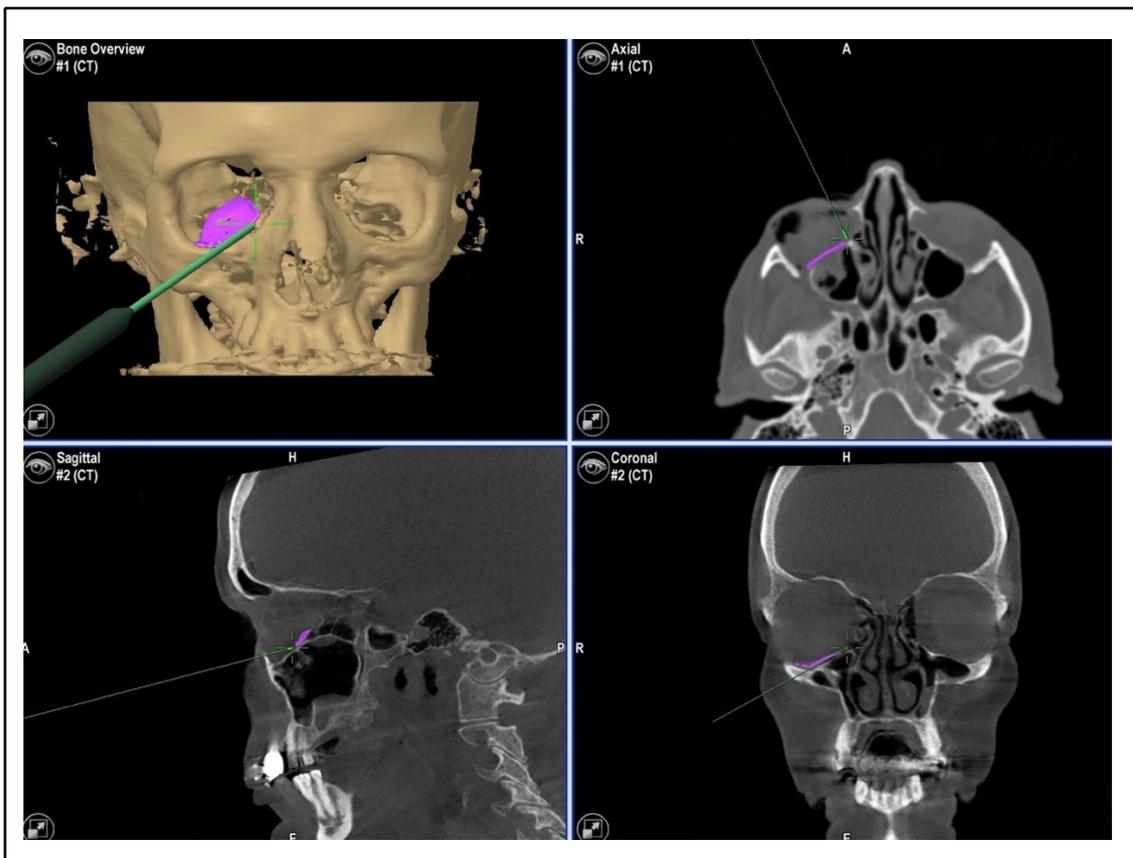


Abb. 3: Intraoperative Lagekontrolle des patientenspezifischen Implantates. Dargestellt sind die 3-dimensionale, axiale, sagittale und koronare Ansicht mit PSI (violett) im Brainlab® Navigationssystem.

1.3 Anatomie der knöchernen Orbita

Als Teil des Viszerocraniums kommt die Orbita in der vorderen Schädelgrube (Fossa cranii anterior) zu liegen. Ihre waagerechte, pyramidenförmige Gestalt beherbergt an der Spitze den Canalis opticus, während ihre Basis, der Aditus orbitalis, den Eingang zur Orbita darstellt (Abb.4). Insgesamt sind sieben Knochen an dem Aufbau ihrer Wände beteiligt. Das Orbitadach wird gebildet aus der Pars orbitalis des Stirnbeins und im posterioren Bereich aus dem kleinen Keilbeinflügel. An der Bildung der lateralen Orbitawand ist der große Keilbeinflügel sowie in geringen Anteilen das Jochbein und der Proc. zygomaticus ossis frontalis beteiligt. Bedingt durch ihren kräftigen Aufbau und die Funktion als knöcherner Stützpfeiler des Mittelgesichts, sind hier hohe Kräfte zur Frakturauslösung erforderlich. Der Orbitaboden zählt gemeinsam mit der medialen Orbitawand zu den dünneren Wänden. Als kürzester Teil wird dieser gebildet durch die Facies orbitalis maxillae mit einer Dicke von 0,5 mm sowie die Facies orbitalis ossis zygomatici und dem Proc. orbitalis ossis palatini. Der Canalis infraorbitalis beherbergt die Arteria sowie den Nervus infraorbitalis und stellt bei stumpfer Krafteinwirkung eine Schwachstelle dar [3]. Zudem bildet der Orbitaboden die knöcherne Begrenzung zur Kieferhöhle.

Die beinahe senkrecht zu liegen kommende mediale Orbitawand besteht aus dem Proc. frontalis der Maxilla, dem Os lacrimale, der Ala minor des Os sphenoidale und der Lamina orbitalis des Os ethmoidale. Letztere bildet an ihrem Oberrand die Durchtrittsstelle des Nervus ethmoidalis anterior et posterior sowie deren Begleitgefäße. Den dünnsten Bereich mit einer Dicke von 0,3 mm stellt die Lamina papyracea dar. Durch die unmittelbare Nachbarschaft zu den Siebbeinzellen und deren bienenwabenartige Struktur erfolgt eine Pufferung, so dass diese Wand insgesamt seltener frakturiert als der Orbitaboden. Durch die enge anatomische Lagebeziehungen ist der Übergriff von Entzündungen und Raumforderungen der Siebbeinzellen auf die Orbita möglich [19].

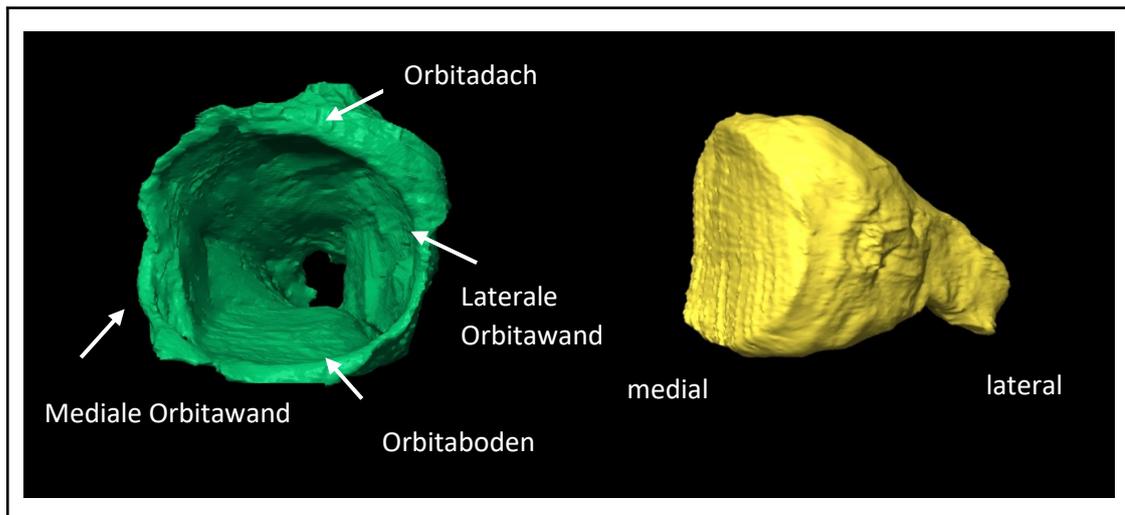


Abb. 4: Dreidimensionale Anatomie der linken Orbita in iPlan 3.0.5. Darstellung des knöchernen Rahmens der Augenhöhle mit Aditus orbitalis und Canalis opticus an der Spitze (links). Das pyramidenförmige orbitale Volumen ist gelb abgebildet (rechts).

1.4 Traumatologie der Orbita

Verletzungen der knöchernen Orbita sind meist auf stumpfe Traumata zurückzuführen [20, 21]. In 27-35 % aller Fälle reicht der Defekt bis zur medialen Orbitawand [22-24]. Die Fraktur kann entweder isoliert, oder in Kombination mit Orbitabodenfrakturen und anderen Mittelgesichtsfrakturen im Rahmen frontaler, nasoethmoidaler und maxillärer Verletzungen auftreten [22, 25-27]. Am häufigsten werden Nasenbeinfrakturen zusammen mit medialen Orbitawandfrakturen beobachtet. Burm et al. beschreiben eine Häufigkeit dieser Kombination von 51 %. Sie gehen davon aus, dass gleich große Kräfte erforderlich sind, um Frakturen des Nasenbeins und der medialen Orbitawand hervorzurufen [24]. Eine entscheidende Rolle spielt die superiore mediale Wand des Sinus maxillaris, der sogenannte *bony buttress*, der die Wände zu den Nasennebenhöhlen stabilisiert. Sein Aufbau ist im anterioren Teil kräftiger, während seine Beschaffenheit durch den Hiatus semilunaris in posteriorer Richtung abnimmt. Diese Tatsache stellt eine mögliche Erklärung für das häufige Auftreten medialer Orbitawandfrakturen in der mittleren Schicht dar [24].

In der Literatur sind zwei Frakturarten der Orbita beschrieben: die *blow-in-* und *blow-out*-Fraktur. Bei Letzterer kommt es zu einer Volumenvergrößerung durch extrakonale Verlagerung der Fragmente. Das orbitale Weichgewebe kann sich je nach Lokalisation in die angrenzenden Nasennebenhöhlen ausbreiten. Bei *blow-in*-Frakturen erfolgt eine Volumenverkleinerung durch intrakonale Fragmentverlagerung. Als Entstehungsmechanismus wird eine Kraft angenommen, die auf die Vorderwand des Sinus maxillaris gerichtet ist und auf den Orbitaboden weitergeleitet wird, welcher daraufhin aufgrund der Richtung der einwirkenden Energie in die Orbita frakturiert [28, 29]. Eine weitere Einteilung erfolgt nach der Form der Fragmentdislokation. Sogenannte *trapdoor*-Frakturen stellen in der koronaren Ansicht einer CT eine Art offene Falltür dar, die mit beiden Frakturende mit intaktem Knochen verbunden sind. Dies kann in Abhängigkeit von der Frakturlokalisierung in verschiedenen Variationen auftreten. Die *punched-out*-Fraktur liegt bei vollständiger Dislokation der Fragmente ohne Verbindung zu intaktem Knochen vor. Beide Formen können gemeinsam in einer Orbita auftreten [24]. Lineare Frakturen kennzeichnen sich durch einen röntgenologisch geraden Frakturverlauf mit kleiner Kontinuitätsunterbrechung ohne Dislokation und Fragmentierung des Knochens [30].

1.4.1 Allgemeine Traumatologie der Orbita

Zum Entstehungsmechanismus von Orbitafrakturen sind zwei Theorien beschrieben. Der hydraulische Mechanismus geht von einer intraokularen Druckerhöhung durch direkte Krafteinwirkung auf den Augapfel aus. Um Verletzungen des Bulbus zu vermeiden, dienen der Orbitaboden und die mediale Wand als Überdruckventil und frakturieren, vorausgesetzt die einwirkende Kraft ist groß genug und kann nicht entweichen [31, 32]. Dabei ist der Orbitaboden häufiger betroffen als die mediale Wand, was auf die größere puffernde Eigenschaft der Cellulae ethmoidales im Vergleich zum Sinus maxillaris zurückzuführen ist [3, 33].

Die Transmissionstheorie geht von einer Fortleitung einer einwirkenden Kraft von dem knöchernen Orbitarahmen auf schwächere Bereiche aus, die bei ausreichend hoher Energie frakturieren [34-36]. Bei orbitalen Traumata kann es zudem zur Interaktion beider Frakturmechanismen kommen, mit der Folge komplexerer Frakturen [36].

1.4.2 Spezielle Traumatologie der Orbita

Aus der Literatur gehen nur wenige Klassifikationen medialer Orbitawandfrakturen hervor. Eine geht auf Burm et al. zurück, welche eine radiologische Einteilung nach Defektgröße und Dislokationsgrad des Hart- und Weichgewebes in der koronaren Ansicht einer CT vorgenommen haben (Tabelle 1). In ihren Untersuchungen machten der moderate und schwere Typ einen Anteil von 76,1% aller medialer Orbitawandfrakturen aus [24].

Typ	Defektgröße	Dislokationsgrad
leicht	< 2 cm ²	< 3 mm
moderat	> 2 cm ²	> 3 mm
schwer	nahezu komplette Fraktur	nahezu vollständig

Tabelle 1: Klassifikation medialer Orbitawandfrakturen nach Burm et al., 1995 [24].

Die älteste Klassifikation geht zurück auf Nolasco und Mathog. Sie teilten verschiedene Frakturtypen nach Lokalisation und Beteiligung weiterer knöcherner Strukturen ein (Tabelle 2). Sie beobachteten Typ II Frakturen am häufigsten und stellten bei kombinierter Fraktur der medialen Orbitawand und des Orbitabodens eine erhöhte Inzidenz von Doppelbildern, Enophthalmus und Bulbusverletzungen fest [22]. Jaquiéry et al. führten 2006 eine Klassifikation ein, die ihren Schwerpunkt auf der Lokalisation der Fraktur innerhalb der knöchernen Augenhöhle hat. Es wurden von anterior nach posterior verschiedene Zonen festgelegt, welche die Komplexität des Defektes widerspiegeln (Tabelle 3).

In ihren Untersuchungen konnten sie 80 % aller orbitaler Traumata den Kategorien I und II mit Beteiligung der medialen Orbitawand und des Orbitabodens zuordnen [37]. Defekte im anterioren Bereich des Orbitabodens haben nur einen geringen Einfluss auf die Bulbusposition, während solche im Bereich der postero-medialen Wand häufiger zu Volumenverschiebungen und Enophthalmus führen können [6].

Typ	Lokalisation der Fraktur
I	mediale Orbitawand
II	mediale Orbitawand & Orbitaboden
III	mediale Orbitawand, Orbitaboden & Jochbein
IV	mediale Orbitawand, Orbitaboden & komplexe Mittelgesichtsfrakturen

Tabelle 2: Einteilung medialer Orbitawandfrakturen nach Nolasco und Mathog, 1995 [22].

Kategorie	Beschreibung
I	Isolierter Defekt des Orbitabodens oder der medialen Wand, 1-2 cm ² , innerhalb der Zonen 1 und 2
II	Defekt des Orbitabodens und / oder der medialen Wand, > 2 cm ² , innerhalb der Zonen 1 und 2, intakte superiore mediale Wand der Kieferhöhle
III	Defekt des Orbitabodens und / oder der medialen Wand, > 2 cm ² , innerhalb der Zonen 1 und 2, Fraktur der superioren medialen Wand der Kieferhöhle
IV	Defekt des gesamten Orbitabodens und der medialen Wand, bis ins posteriore Drittel (Zone 3)
V	Äquivalent zu Kategorie IV, mit Ausdehnung zum Orbitadach

Tabelle 3: Klassifikation von Orbitafrakturen nach Jaquiéry et al., 2006 [37].

1.5 Klinik und Diagnostik der Orbitafraktur

1.5.1 Symptome

Patienten mit Orbitafrakturen können eine Vielzahl klinischer Symptome aufweisen. Es wird zwischen sicheren und unsicheren Frakturzeichen bei Orbita- und Mittelgesichtsfrakturen unterschieden (Tabelle 4).

Sichere Frakturzeichen	Unsichere Frakturzeichen
Krepitation der Knochenfragmente	Schwellung, Hämatom
Dislokation	Emphysem
Stufenbildung	Doppelbilder
Abnorme Beweglichkeit	Funktionseinschränkung
Bildgebende Diagnostik	Sensibilitätsstörungen
	Schmerzen

Tabelle 4: Sichere und unsichere Frakturzeichen bei Orbita- und Mittelgesichtsfrakturen, modifiziert nach C. Deichmüller, H.-J. Welkoborsky [38].

Weiterhin werden knöcherne Verletzungen von Weichteilverletzungen unterschieden, die entweder isoliert oder kombiniert auftreten können. Letztere umfassen Riss-Quetsch-Wunden der Augenlider und direkte Bulbusverletzungen. Diese können zu retinaler Ischämie, Ablatio retinae, bis hin zur Amaurose führen. Weitere Traumafolgen des Auges umfassen die Bulbusruptur- und perforation, Hyposphagma, Hyphaema und retinale Blutungen [39]. Die mediale Orbitawandfraktur weist bei isoliertem Auftreten ähnliche Symptome wie eine Orbitabodenfraktur auf. Initial kann eine Epistaxis festgestellt werden, begleitet von einem periorbitalen Ödem, Ekchymosen, Diplopie und Motilitätsstörungen durch Inkarzeration des Musculus rectus medialis. Subkutane Emphyseme im Bereich der Augenlider, bedingt durch Luftaustritt aus den Cellulae ethmoidales und konsekutivem Knistern im Bereich des Ober- und Unterlids, werden beschrieben [3, 40-44].

Voraussetzung ist ein hoher Druck in den Siebbeinzellen, der bei gleichzeitigem Trauma des Nasoorbitoethmoidalkomplexes und nasaler Obstruktion gegeben ist, da unter diesen Bedingungen der Luftaustritt in die nasale Kavität eingeschränkt erfolgt [24]. Als Folge einer Scherverletzung des N. infraorbitalis durch stumpfe Krafteinwirkung kann es zu Hyp-, Par- oder Anästhesien in seinem Innervationsgebiet kommen [45]. Es wird angenommen, dass ein Enophthalmus bei gleichzeitigem Vorhandensein medialer Orbitawandfrakturen stärker ausgeprägt ist, als bei isolierter Fraktur des Orbitabodens [22, 46-48].

Neben dem knöchernen Defekt der orbitalen Wand sind konsekutive Volumenänderungen durch Herniation intraorbitalen Fettgewebes im Frakturspalt die Ursache für das Einsinken des Bulbus [46]. Durch Verlagerung orbitalen Weichgewebes kann es zu einem Tiefstand des Augapfels kommen [49]. In weiteren Studien werden die Atrophie des orbitalen Weichgewebes und Vernarbungsprozesse als wichtige Einflussfaktoren für einen Enophthalmus genannt [50, 51]. Burm et al. beschreiben, dass aufgrund der Häufigkeit, der geringen Diagnostikrate und der Defektgröße, mediale Orbitawandfrakturen Einfluss auf einen späteren Enophthalmus nehmen [24]. Durch die posttraumatische Schwellung können ophthalmologische Symptome und ein früher Enophthalmus kaschiert werden, sodass eine Beurteilung nach initialer Abschwellung erfolgen sollte [52]. Das klinische Gegenkorrelat, der Exophthalmus, kann durch retrobulbäre Hämatome und *blow-in*-Frakturen mit Verlagerung von Fragmenten in die Orbita ausgelöst werden [53].

Das Auftreten von Diplopie ist häufiger bei kombinierten Orbitaboden- und medialen Orbitawandfrakturen, als bei isolierten medialen Orbitawandfrakturen zu beobachten. Park et al. beschreiben in ihrer Studie einen prozentualen Anteil von Doppelbildern bei 21,4 % aller Patienten mit Defekten des Bodens, 23,6 % bei kombinierten Frakturen mit Ausdehnung bis zur medialen Wand und 10,4 % bei solchen der medialen Wand [54]. Es wird zudem eine Einklemmung des Musculus rectus medialis mit folgenden Motilitätsstörungen im Seitwärtsblick seltener beobachtet, als eine solche des Musculus rectus inferior mit Einschränkungen im Aufblick [24, 55, 56].

In Fällen einer Einklemmung der äußeren Augenmuskeln ist der Traktionstest positiv. Patienten mit isolierter medialer Orbitawandfraktur können asymptomatisch sein, sodass in Folge diskreter Klinik die radiologische Diagnostik ausbleibt [22]. Choi et al. beschreiben ein weites Feld von Folgeerscheinungen und stellen die Schwierigkeit der Festlegung bestimmter Symptome im klinischen Alltag dar [33].

1.5.2 Klinische Untersuchung des Patienten

Die Untersuchung erfolgt am aufrecht sitzenden Patienten und beginnt mit einer Inspektion, die bereits erste Hinweise auf Verletzungen geben kann. Veränderungen der periorbitalen Haut, insbesondere der Augenlider, Hämatome und die Stellung des Bulbus werden untersucht. Hierbei müssen die Befunde im Seitenvergleich betrachtet werden. Dies ist insbesondere bei der Palpation unabdingbar. Es gilt die Kontinuität des Infraorbitalrandes und weiterer Gesichtsschädelknochen durch mögliche Begleitfrakturen abzutasten. Die Augenlider können bei Vorhandensein eines Luftemphysems ein klassisches Knistern aufweisen [3]. Zudem sollte eine Beurteilung der Sensibilität der Gesichtsnerven, insbesondere des N. infra- und supraorbitalis, erfolgen. Dazu eignet sich die Zwei-Punkt-Diskriminationsmethode, bei welcher der Abstand zwischen zwei frei definierbaren Punkten stumpf im Seitenvergleich geprüft wird [57]. Ergänzend kann die Überprüfung der Sensibilität mit einer Watterolle erfolgen.

1.5.3 Bildgebende Verfahren

Bei Patienten mit Kontraindikation einer Strahlenbelastung, wie Kinder und Schwangere, bietet die Sonographie eine strahlenfreie Alternative. Es ist möglich, die Augenlider, Tränendrüsen und knöcherne orbitale Rahmen abzubilden. Bei Kontinuitätsunterbrechung des Knochens lässt sich diese darstellen [58]. Ein weiteres Einsatzgebiet ist die ultraschallgestützte intra-

und extrakonale Fremdkörperlokalisierung nach Traumata. Die Sonographie kann in solchen Fällen und bei Vorliegen nicht-metallischer Fremdkörper die Planung und Durchführung der operativen Entfernung erleichtern [59]. Nachteile erfährt diese Methode durch mangelnde Eindringtiefe in posteriore Abschnitte bis hin zur Orbitaspitze, sodass der Ultraschall in schweren traumatologischen Fällen ergänzend zur dreidimensionalen Bildgebung, jedoch nicht ersetzend Anwendung findet [60].

Zweidimensionale Röntgenaufnahmen in der Orbitatraumatologie umfassen Nasennebenhöhlen (NNH)- und Henkeltopfaufnahmen, sowie das Orthopantomogramm (OPG). Sie dienen weniger der Frakturdiagnostik, als der postoperativen Stellungskontrolle der Fragmente. Kontinuitätsunterbrechungen der medialen Orbitawand können aufgrund ihrer anatomischen Komplexität und knöchernen Überlagerungen in konventionellen Röntgenaufnahmen nicht oder nur schwer erkannt werden [41-43]. Untersuchungen von Nolasco und Mathog zeigen, dass diese aufgrund einer Diagnoserate von medialen Orbitawandfrakturen in 43 % für den klinischen Alltag ungeeignet sind [22].

Heutzutage haben dreidimensionale Bildgebungsverfahren in der Frakturdiagnostik einen großen Stellenwert (Abb.5). Durch die Aufnahme in dünnen Schichten, die Rekonstruktion axialer, koronarer und sagittaler Schichtebenen und die Möglichkeit der Darstellung im Knochen- und Weichteilfenster, erlaubt die CT eine zuverlässige Diagnostik. Zudem können die Frakturlinien und Raumforderungen im Bereich der Orbita genauestens beurteilt werden [61]. Die DVT ist ebenfalls in der Lage, knöcherne Verhältnisse und anatomische Strukturen präzise darzustellen. Mit nur einem Viertel der Strahlendosis und zwei Drittel der Kosten einer CT, stellt sie eine Alternative dar [62, 63]. Im Vergleich zur CT, die ein fächerförmiges Strahlenbündel nutzt, arbeitet die DVT mit einem kegelförmigen Strahlengang. Dieser wird nach einmaliger Umfahrung des Objektes mit Hilfe eines zweidimensionalen Detektors in einen dreidimensionalen Datensatz umgerechnet.

In der Bewertung von Weichteilstrukturen ist die Magnetresonanztomographie (MRT) bedingt durch den hohen Weichteilkontrast überlegen. Einklemmungen der äußeren Augenmuskeln, Herniation von orbitalem Fettgewebe und das retrobulbäre Gewebe können bei fehlender Strahlenbelastung beurteilt werden [3].

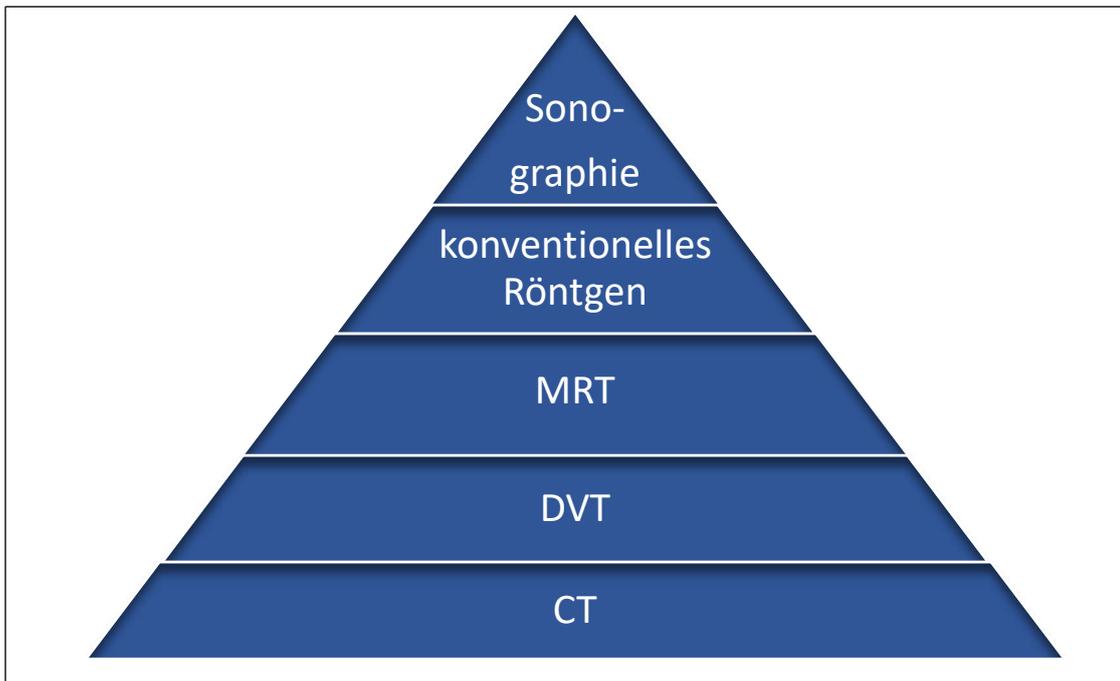


Abb. 5: Einsatzhäufigkeit verschiedener bildgebender Verfahren in der Orbitatraumatologie. Dargestellt sind die Häufigkeiten im klinischen Alltag der Mund-Kiefer- und Plastischen Gesichtschirurgie Düsseldorf. Von der Pyramidenspitze absteigend nimmt der Einsatz zu.

1.6 Techniken der rekonstruktiven knöchernen Orbitachirurgie

1.6.1 Therapieformen

Derweil gibt es keinen internationalen, allgemeingültigen Standard im Hinblick auf die operative Versorgung der medialen Orbitawand und des Orbitabodens. Abhängig vom Standort der Klinik gelten unterschiedliche Prinzipien. Die operative Versorgung der medialen Orbitawand wurde bisher nur in selektiven Fällen durchgeführt [3]. Nolasco und Mathog beschrieben im Jahre 1995, dass diese dokumentiert wurden, jedoch wenig Aufmerksamkeit bekamen.

Als Gründe wurden Mängel in radiologischen Bildgebungsverfahren und klinischer Diagnostik genannt [22]. Durch den Fortschritt in diesem Bereich und der Einführung der CT in der Frakturdiagnostik, hat sich dies geändert. Heutzutage beruht die Indikationsstellung zur Frakturversorgung auf einer Kombination aus radiologischer und klinischer Befunde [64]. In vielen Fällen helfen die radiologisch sichtbare Größe und Lokalisation der Fraktur bei der Entscheidungsfindung zur operativen Versorgung [65].

Es gibt Kontroversen über die Versorgung röntgenologisch kleiner Defekte, vor dem Hintergrund, dass eine Reaktion des orbitalen Weichgewebes schwer einzuschätzen ist [25, 64, 66, 67]. Kunz et al. schlagen eine konservative Behandlung für Frakturen mit einer Größe $< 3 \text{ cm}^2$ bei sonst unauffälliger Klinik vor [65]. Diese „kleinen“ Defekte sind zu berücksichtigen, da einige *trapdoor*-Frakturen unerkant bleiben können und sich so der radiologischen Diagnostik entziehen [68]. Klinische Symptome wie Diplopie, Motilitätsstörungen durch Muskelinkarzeration und ein Enophthalmus größer als 2 mm sind weitere Kriterien zur Indikationsstellung [3, 66]. Letzterer ist in der frühen posttraumatischen Phase aufgrund von Schwellungen und Hämatomen der seltenste und meist gewichtete klinische Parameter. Die übrigen Symptome können durch Kontusion und intramuskuläre Schwellungen auftreten [65]. Daher wird in Fällen, in denen keine notfallmäßige Intervention durchgeführt werden muss, ein abwartendes Prozedere empfohlen. Bei Vorhandensein eines retrobulbären Hämatoms mit Optikuskompression und akuter Visusverschlechterung ist eine sofortige Behandlung obligat [53, 69].

Speziell bei medialen Orbitawandfrakturen stellt sich die Frage, ob und ab wann sie einer Versorgung bedürfen. Nach Segrest und Dortzbach ist bei Einklemmung des Musculus rectus medialis mit konsekutiver Abduktionseinschränkung ein operativer Eingriff indiziert [70]. Burm et al. machen die operative Intervention neben klinischen Symptomen abhängig von der röntgenlogischen Diagnose der Fraktur der superioren medialen Wand des Sinus maxillaris, dem *bony buttress*.

Bei seiner Fraktur kollabiert die Stütze der medialen und inferioren Wand, sodass kein intraorbitaler Zusammenhalt mehr besteht [24]. Ordon et al. befürworten die Frakturversorgung der medialen Wand trotz aller Schwierigkeiten und sie stellten fest, dass postoperative Ergebnisse denen des Orbitabodens nicht unterlegen sind [46]. Insgesamt müssen nach Abwägung die Vorteile einer operativen Versorgung, trotz möglicher Komplikationen wie postoperative Mydriasis und verstärkte Diplopie, überwiegen [71, 72].

Sobald die Indikation zur operativen Versorgung gestellt wurde, muss der Zeitpunkt hierzu ausgewählt werden. Seit Einführung der CT in den 1980er Jahren zur Frakturdiagnostik gibt es Diskussionen über den Operationszeitpunkt und derweil hat sich kein internationaler Standard durchgesetzt [68]. Ähnliches gilt für das maximale Zeitintervall zwischen Trauma und Rekonstruktion, was in der Literatur keine Einheitlichkeit zeigt [73].

Grundsätzlich wird zwischen drei Rekonstruktionszeiten unterschieden: die sofortige, frühe und späte. Eine Einteilung nach Burnstine und Michael stellt Tabelle 5 dar. In Fällen, wo keine sofortige Intervention notwendig ist, wird innerhalb eines zweiwöchigen Rahmens ein abwartendes Prozedere zum besseren Beurteilen nach Abklingen initialer Schwellungen und Hämatome empfohlen [2, 74]. Die stetig voranschreitende, posttraumatische Fibrosierung des orbitalen Weichgewebes, welche spätere Folgeeingriffe erschweren könnte, muss hierbei berücksichtigt werden [75].

Es bedarf zudem einer individuellen, patientenabhängigen Entscheidung bezüglich der Operationsindikation und des Zeitpunktes. Abhängig vom Alter, koexistenten Läsionen und der allgemeinen Anamnese sind unterschiedliche Gewichtungen vorhanden, die das Intervall zwischen Trauma und Versorgung beeinflussen [2, 76].

Sofortige Rekonstruktion	Frühe Rekonstruktion	Späte Rekonstruktion
Innerhalb von Stunden	Innerhalb von 2 Wochen	Nach 2 Wochen
Retrobulbäres Hämatom	Große Defekte	Später Enophthalmus
Optikuskompression	Enophthalmus > 2 mm	Persistierende Diplopie
Akuter Visusverlust	Hypoglobus	Sekundäre Eingriffe
Früher Enophthalmus und Hypoglobus	Diplopie	
Muskelinkarzeration bei Kindern	Muskelinkarzeration	

Tabelle 5: Einteilung der Operationszeitpunkte nach klinischer Indikation nach Burnstine [2].

1.6.2 Materialien

Anders als bei klassischen Mittelgesichtsfrakturen besteht die Besonderheit der Orbitaversorgung darin, aufgrund ihrer Dreidimensionalität eine Rekonstruktion anstelle einer Reposition vorzunehmen. Die Auswahl des geeigneten Materials erfolgte bislang abhängig von klinischer Symptomatik, Lokalisation und Größe des Defektes sowie verbliebener Reststärke des Knochens [77]. Nicht zuletzt spielen bei der Entscheidungsfindung die persönlichen Erfahrungen des Chirurgen und der Klinikstandard eine Rolle. Es gilt der Anspruch der Wiederherstellung von Funktionalität und Ästhetik unter Gewährleistung der Vorhersagbarkeit des Rekonstruktionsergebnisses. Hierzu bedarf es neben einer ausreichenden Biokompatibilität und Radioopazität einer Formstabilität des verwendeten Materials.

Autogene Transplantate der Calvaria waren aufgrund der Biokompatibilität, Osteoinduktivität und -konduktivität lange Zeit der Goldstandard zur knöchernen Versorgung von Defekten im Gesichtsbereich (Abb.6). Durch unvorhersehbare Resorptionen und damit einhergehende Volumenverschiebungen der Orbita sowie mangelnde Formbarkeit des Materials, wurden die Ansprüche an eine dreidimensionale, dauerhaft formstabile Rekonstruktion nicht erfüllt [1].

Allogene Materialien wie lyophilisierte Dura mater oder homologer Spenderknochen haben aufgrund ihrer Verfügbarkeit und geringeren Morbidität Anwendung gefunden. Ihr Gebrauch wurde wegen des bestehenden Risikos der Transmission von Infektionskrankheiten wie Creutzfeld-Jakob-Erkrankungen eingestellt [3, 78].

Aktuelle Versorgungsgängen gehen zurück auf alloplastische Materialien, die durch ihre Formbarkeit und schnelle Verfügbarkeit an Popularität gewonnen haben. Weniger rigide, resorbierbare Materialien wie die Polydioxanon-Folie (PDS®; Ethicon GmbH Norderstedt, Deutschland) bergen das Potential einer Fremdkörperreaktion und übermäßigen Narbenbildung. Durch den Prozess der Biodegradation und den Formverlust bereits zwei Monate nach Insertion, bestehen Mängel in der dauerhaften Aufrechterhaltung des orbitalen Hart- und Weichgewebes [79, 80].

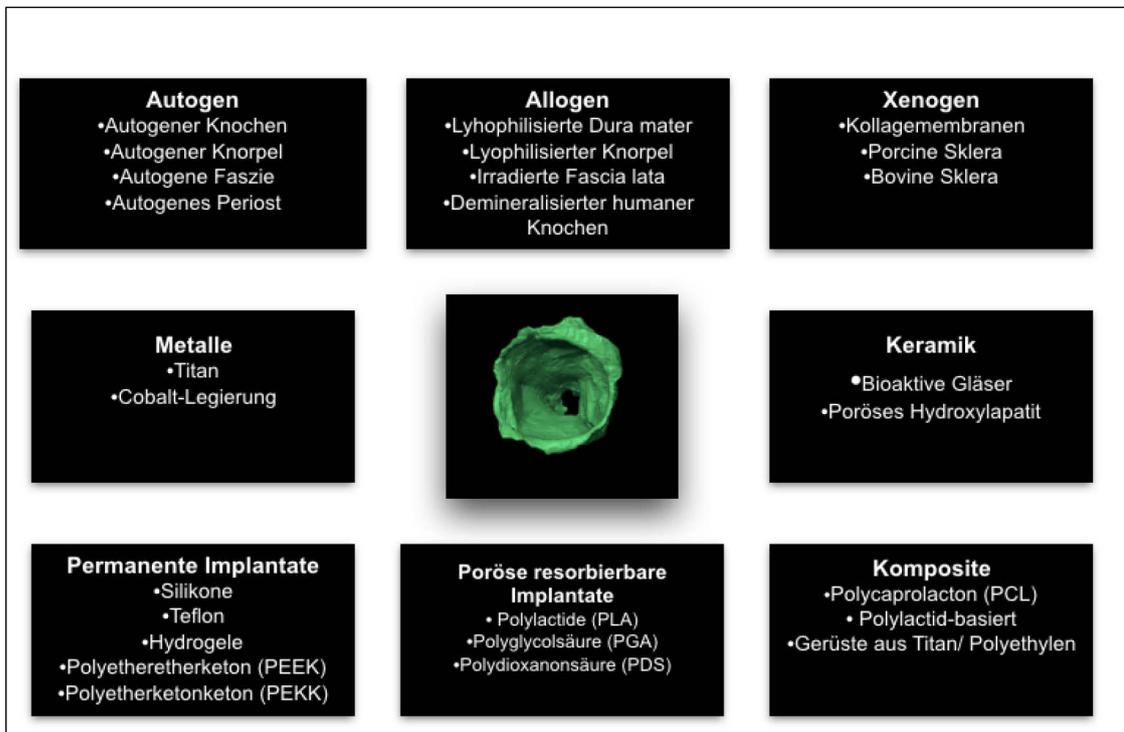


Abb. 6: Übersicht bisher verwendeter Materialien zur Orbitarekonstruktion. Die verschiedenen Materialien sind nach ihren Stoffeigenschaften gruppiert dargestellt.

In den Universitätskliniken Düsseldorf und Hannover kommen daher seit 2014 im Laserschmelzverfahren hergestellte, patientenspezifische Implantate aus Titan zur Rekonstruktion komplexer, ein- oder zweiwandiger Defekte zur Anwendung. Mit einer Dicke von 0,3 mm und einer ausreichenden mechanischen Festigkeit, Biokompatibilität und Radioopazität des Titans, erlaubt diese Versorgung derzeit die präziseste Rekonstruktion des orbitalen Volumens [9, 81]. Zu ihren Vorteilen gehören neben einer ausreichenden Steifigkeit zur Verhinderung von Deformitäten während des Einbringens, ihre runde, weichgewebsschonende Kontur. Durch Trajektionslinien auf der Oberfläche wird eine bessere Navigation zur Lagekontrolle des Implantats erreicht. Aufgrund von Kosten, die mit der Herstellung der PSIs und der Anschaffung der notwendigen Navigationssysteme verbunden sind, ist ihre Anwendung bisher auf wenige Standorte begrenzt [9].

Die Entscheidung über den operativen Zugang wird bestimmt durch die Frakturlokalisierung und dem zu verwendenden Material. Es bestehen weiterhin Kontroversen hierüber, da bisherige Schnittführungen Nachteile wie ästhetisch störende Narben, insuffiziente Visualisierung des Operationsfeldes und verlängerte Operationszeiten bergen [82]. Abhängig von der Fachdisziplin, persönlichen Präferenzen und den Erfahrungen des Chirurgen, wird zur Darstellung des Orbitabodens und der medialen Orbitawand zwischen transpalpebralen, transkonjunktivalen und endoskopischen Zugängen unterschieden.

Früher erfolgte die Darstellung der medialen Orbitawand mittels Lynch Inzision, welche im Jahre 1921 ursprünglich als Zugang zur externen Ethmoidektomie beschrieben wurde [83]. Als kutane Schnittführung wurde sie senkrecht zu den Hautspannungslinien im Bereich des superomedialen Orbitarands angelegt. Trotz schneller und übersichtlicher Darstellung der anteromedialen Orbitawand gilt sie heute aufgrund ästhetisch störender Narben als obsolet [84]. Daher etablierten sich in den folgenden Jahren weitere transpalpebrale Zugänge.

Der klassische Infraorbitalschnitt wird in einer Hautfalte im Übergang zwischen Lid- und Wangenhaut durchgeführt. Dadurch wird ein direkter Zugang zum Orbitaboden und zu Teilen der medialen Orbitawand geschaffen. Aufgrund von Lymphabflusswegen in diesem Bereich kann es häufiger zu postoperativen Ödemen und Narben kommen [85]. Der Subtarsalschnitt wird etwa 3 mm unterhalb der unteren Lidkante kaudal des Tarsus und parallel zum Wimpertrand durchgeführt. Unter Erhalt des Septum orbitale gelingt es, den Orbitaboden und den unteren Teil der medialen Orbitawand darzustellen.

Die subziliare Schnitfführung erfolgt unmittelbar unterhalb des Wimpernkranzes des Unterlids und wird vom medialen Lidwinkel ausgehend bis zum lateralen Orbitalrand geführt. Die anschließende Präparation kann vor, hinter oder durch den Musculus orbicularis oculi erfolgen. Es bedarf hierbei einer Schonung des Septum orbitale zur Vermeidung von Lidfehlstellungen infolge einer Kontraktion der Unterlidretraktoren [86].

Die transkonjunktivale Schnitfführung erhielt ihre Popularität durch Tessier in den 1970er Jahren [87]. Es wird zwischen einer präseptalen und postseptalen Präparation unterschieden. Dieser Zugang eignet sich sowohl für die Darstellung des Orbitabodens als auch der medialen Orbitawand (Abb.7). In den letzten 20 Jahren stieg die Anwendung dieser Schnitfführung, während die des infraorbitalen Zugangs zurückging [88]. Gründe hierfür sind die gute Visualisierung, das Fehlen sichtbarer Narben und ein geringeres Risiko eines Unterlidektropiums durch die Möglichkeit des Erhalts des orbitalen Septums [89, 90]. Zudem kann der transkonjunktivale Zugang durch eine zusätzliche transkarunkuläre Schnitfführung erweitert werden. Hierbei erfolgt ein etwa 10 mm langer, vertikaler Schnitt durch die Karunkel, wodurch ein übersichtliches Operationsfeld im Bereich der medialen Orbitawand unter Schonung des Musculus rectus medialis und der Ethmoidalgefäße gewährleistet wird [91].

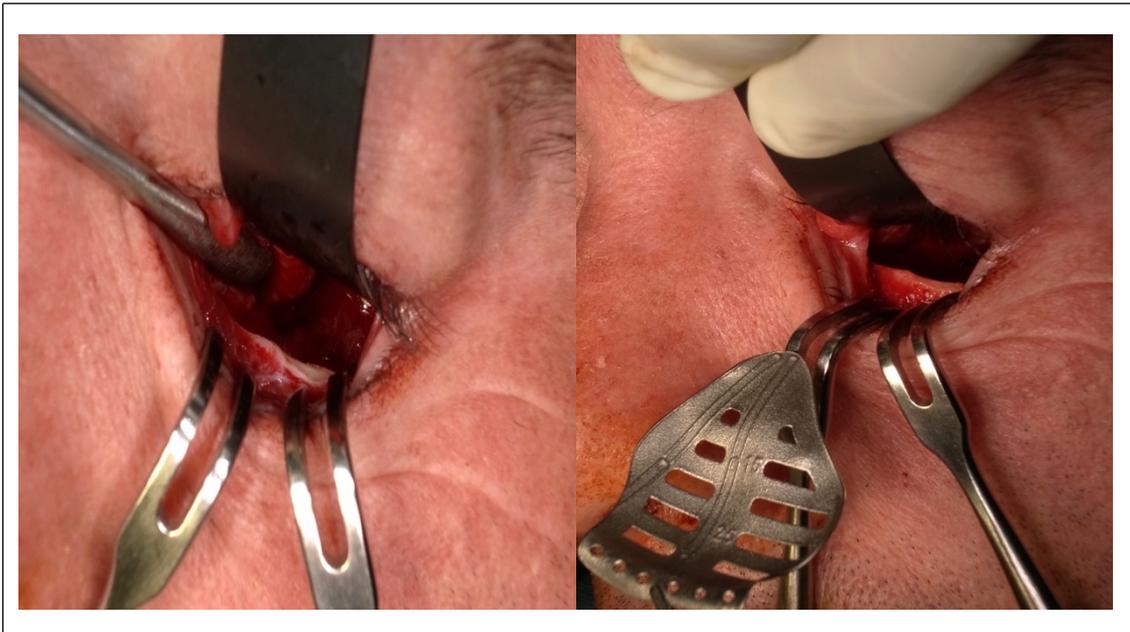


Abb. 7: Transkonjunktivaler Zugang zur Darstellung des Orbitabodens und der medialen Orbitawand. Der Bulbus wird mit einem Orbitaspatel abgehalten. Rechts ist das PSI vor Insertion zu sehen.

Durch Fortschritte in der minimalinvasiven Chirurgie kommt der Endoskopie eine bedeutende Rolle zu. Nach ihrer Etablierung in der Hals-Nasen-Ohrenheilkunde hat sich ihr Einsatz auch auf das Gebiet der Mund-Kiefer- und Gesichtschirurgie erweitert. Im Bereich der Orbitachirurgie wurde zunächst die Endoskopie begleitend zu klassischen Schnittführungen eingesetzt, bis Persons im Jahre 2002 sie als alleinige Zugangsmöglichkeit zur Orbita beschrieb [92]. Derweil findet an einigen Standorten speziell für die Versorgung medialer Orbitawandfrakturen der endoskopisch-transnasale Zugang Anwendung. Hierbei wird das Endoskop bis zum Nasenseptum eingeführt, die Ethmoidalzellen zur Visualisierung der Fraktur eröffnet und eine antero-posteriore Ethmoidektomie durchgeführt [93]. Zu den Vorteilen gehören neben der besseren Visualisierung der Augenhöhle, der vollständigen Reduktion des orbitalen Weichgewebes aus den Nasennebenhöhlen und einer geringen Morbidität, das fehlende Risiko der Liddeformität mit ästhetisch störenden Narben. Nachteilig sind die eingeschränkte Beurteilbarkeit der tiefen, posterior gelegenen Abschnitte der Orbita bei komplexen Frakturen sowie eine moderate Lernkurve in Abhängigkeit von den Erfahrungen des Behandlers [94].

1.7 Ziele der Arbeit

Ziel dieser Arbeit war es, zu eruieren, welche Therapie medialer Orbitawandfrakturen für den Patienten im Hinblick auf die Wiederherstellung von Form und Funktion am besten geeignet ist. Eine patientenspezifische Versorgung mit individuellen, im Laserschmelzverfahren hergestellten Titanimplantaten, wurde PDS-Folien und einer nicht-operativen Behandlung gegenübergestellt. Es galt zu überprüfen, ob sich der bisherige Forschungsstand auf die Versorgung der medialen Orbitawand übertragen lässt. Hierzu wurden folgende Parameter festgelegt:

- radiologisch die intraorbitalen Winkel und Volumina sowie die Implantatposition in der Gruppe PSI,
- klinische Parameter nach ophthalmologischer-orthoptischer Untersuchung,
- die allgemeine Patientenzufriedenheit anhand der erhaltenen Versorgung.

2. Material und Methoden

2.1 Material

Im Rahmen der retrospektiv-prospektiven, multizentrischen Studie wurden Patienten mit isolierter unilateraler medialer Orbitawandfraktur oder in Kombination mit einer Orbitaboden- und Jochbeinfraktur eingeschlossen. Dieser Nachweis musste durch radiologische Bildgebung erfolgt sein. Patienten mit Indikation zur Orbitarekonstruktion, bedingt durch Diplopie, Motilitätsstörungen, Sensibilitätsstörungen und einen Enophthalmus größer als 2 mm, wurden nachuntersucht. Zweiwandrekonstruktionen mithilfe patientenspezifischer Implantate, bioresorbierbare Materialien und nicht-operative Behandlungen wurden verglichen.

2.1.1 Aktenzeichen des Ethikvotums

Das Studienprotokoll wurde sowohl von der Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität (Studennummer 2018-212, 26.10.2018) als auch von der Medizinischen Hochschule Hannover (Studennummer 2281-2014, 06.06.2014) für ethisch und rechtlich bedenkenlos befunden.

2.1.2 Patientenkollektiv

Dieser Studie liegen die Datensätze eines Gesamtkollektivs von 261 Patienten vor, die von 2008-2018 in den Universitätskliniken Düsseldorf und Hannover in den Abteilungen für Mund-Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie behandelt wurden (Abb.8). Es erfolgte zunächst anhand der entsprechenden ICD-Codes für Orbitabodenrekonstruktionen und der Diagnose „Orbitabodenfraktur“ eine Auswahl von Patienten mit Fraktur der medialen Orbitawand und oben genannten Einschlusskriterien.

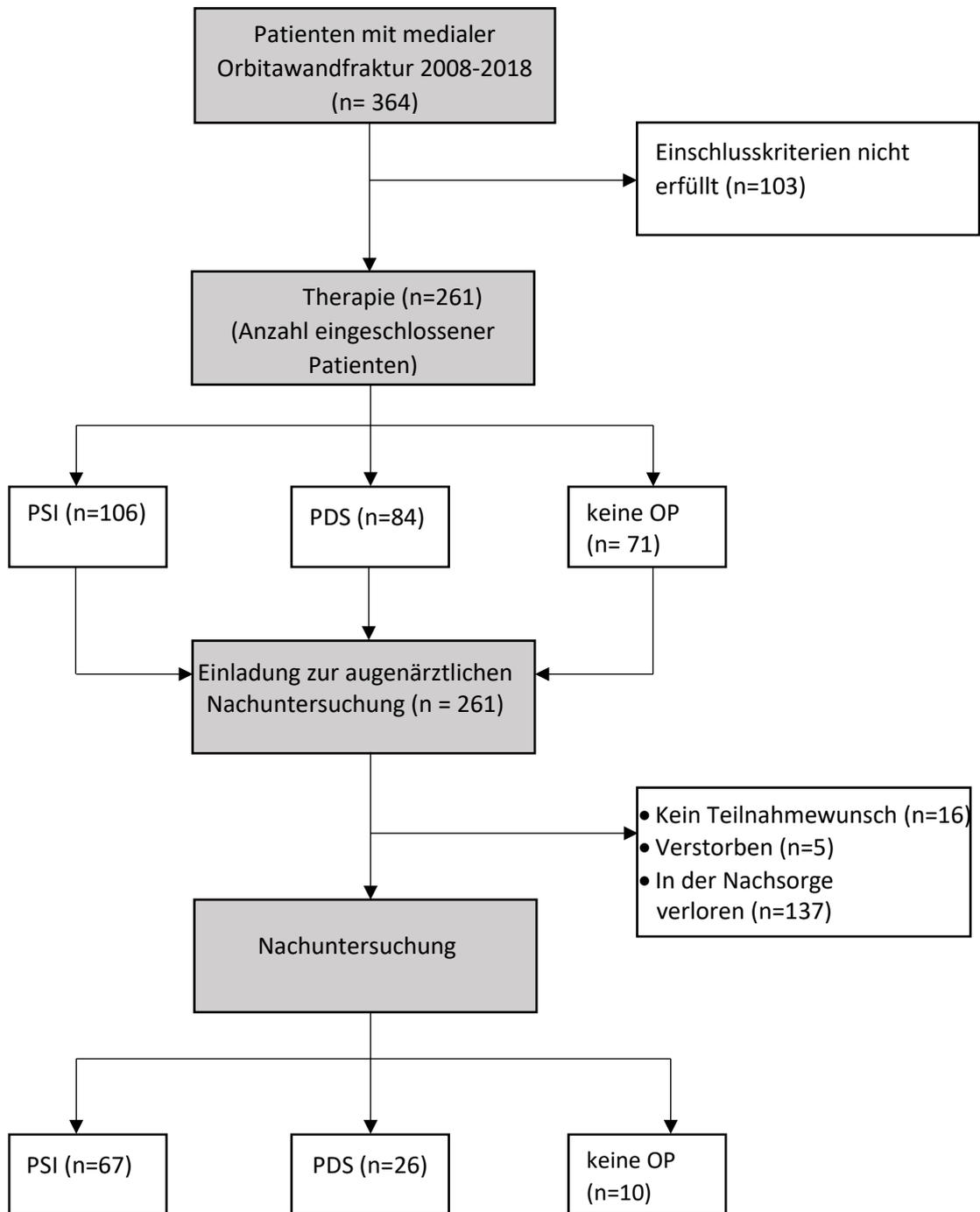


Abb. 8: Schaubild über die Patientenzusammensetzung und den Verlauf der klinischen Studie. In der Gruppe PSI sind 47 Patienten aus Düsseldorf und 59 Patienten aus Hannover enthalten. Insgesamt besteht diese Gruppe aus 106 Patienten. In den Gruppen PDS und keine OP sind nur Patienten aus Düsseldorf enthalten.

Hierzu wurden alle dreidimensionalen, präoperativen Bilder in einem *picture archiving and communication system* (PACS) über die multiplanare Ansicht in der koronaren Ebene auf das Vorhandensein einer medialen Orbitawandfraktur beurteilt. Die klinischen Daten, die aus radiologischen Befunden, augenärztlichen Konsilen, OP-Berichten, ambulanten Verlaufsdokumentationen und stationären Entlassungsbriefen bestanden, wurden anhand digitalisierter Patientenakten erhoben. Insgesamt ergaben sich nach dem Studienprotokoll drei Gruppen mit verschiedenen Therapien der Orbitafraktur (Tabelle 6).

Anzahl	PSI	PDS	keine OP
Gesamt	106	84	71
Männer	69	58	44
Frauen	37	26	27

Tabelle 6: Gesamtes Patientenkollektiv

Die Gruppe der nicht-operativ versorgten medialen Orbitawandfrakturen setzte sich zusammen aus Patienten, die eine Operation in diesem Bereich trotz bestehender Indikation ablehnten (n = 8) und aus solchen, bei denen aufgrund des schlechten Allgemeinzustandes (n = 2) oder aufgrund diskreter klinischer Symptomatik auf eine operative Versorgung verzichtet wurde (n = 42). Bei 19 Patienten liegen keine Angaben für den Grund einer nicht-operativen Versorgung vor. Die Therapie beschränkte sich in dieser Gruppe auf abschwellende Maßnahmen, Analgesie und eine Antibiotikaprophylaxe mit Unacid® 3 x 3 g (Phizer Pharma GmbH, New York, USA).

Bis 2017 wurden alle Patienten der Abteilung für Mund- Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie mit OP-Indikation routinemäßig mit 0,15 mm und 0,25 mm dicker PDS-Folie versorgt. Eine postoperative, dreidimensionale Bildgebung erfolgte bei Komplikationen. Standardmäßig wurden postoperativ zweidimensionale Henkeltopf- und NNH-Aufnahmen angefertigt.

Zudem wurden prä- und postoperative augenärztliche Konsile nicht routinemäßig, sondern nur in Fällen unklarer OP-Indikation und persistierender Beschwerden eingeholt. In den Universitätskliniken Hannover und Düsseldorf werden Orbitarekonstruktionen aufgrund neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse standardmäßig mithilfe patientenspezifischer Implantate durchgeführt. In diesem Kollektiv erhielten die Patienten ein individuelles, im Laserschmelzverfahren hergestelltes, patientenspezifisches Titanimplantat der Firmen KLS Martin® (Tuttlingen, Deutschland) und Synthes® (Umkirch, Deutschland).

2.2 Methoden

2.2.1 Präoperativer Ablauf

Nach Indikationsstellung zur Rekonstruktion der Orbita mit einem PSI erfolgte die Referenzierung des Patienten. Hierzu wurde ein DVT mit PaX-Zenith 3D der Firma orangedental® (Biberach, Deutschland) in 0,3 mm Schichten angefertigt. Während der Röntgenaufnahme trug der Patient eine individuelle, zahngetrage Navigationsschiene für den Oberkiefer mit Titanschrauben. Die Schiene wurde aus Duranfolie der Firma Scheu Dental (Iserlohn, Deutschland) mit 1 mm Schichtstärke hergestellt. Bei zahnlosen Patienten wurde aufgrund fehlender dentaler Referenzpunkte auf diesen Schritt verzichtet und es wurden intraoperativ temporäre Mini-Schrauben im Bereich der Schädelkalotte zur Referenzierung angebracht. Die gewonnenen radiologischen Datensätze wurden genutzt, um präoperativ am Computer durch Segmentierung und Spiegelung der gesunden Orbita ein Implantat für die frakturierte Seite zu planen (Abb.9). Dieser Vorgang kann vom Behandler selber oder von einem Ingenieur durchgeführt werden. Nach Übermittlung der Daten an die Firmen KLS-Martin® (Tuttlingen, Deutschland) oder Synthes® (Umkirch, Deutschland) erfolgte die Produktion im selektiven Laserschmelzverfahren. Nach etwa vier bis fünf Tagen wurde ein fertiges PSI geliefert.

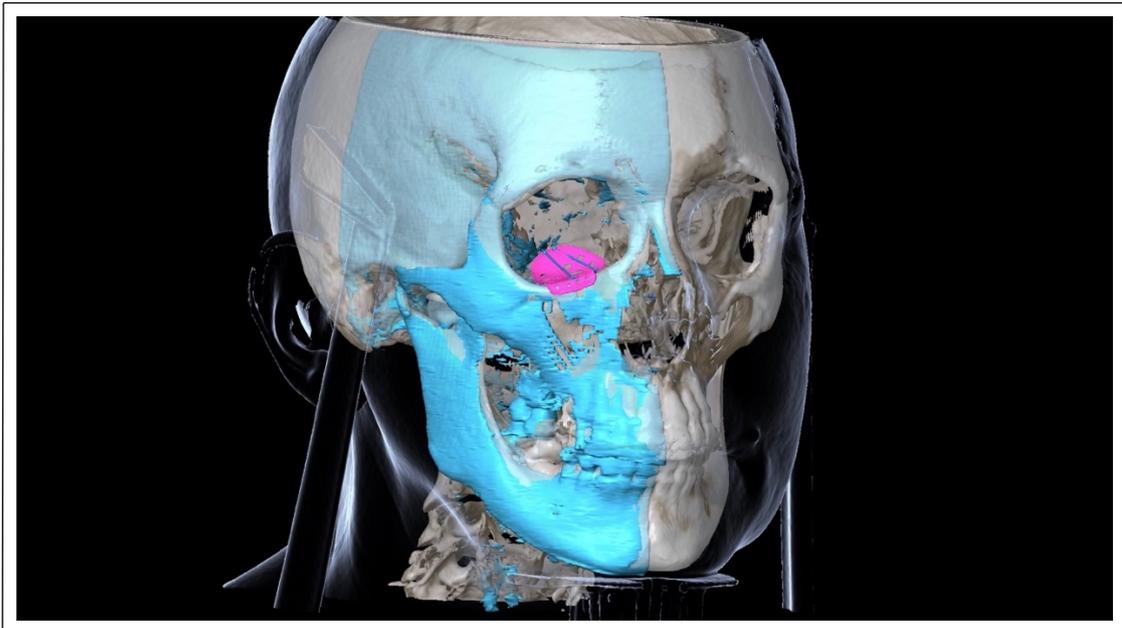


Abb. 9: Virtuelle Planung eines PSI der rechten Orbita in iPlan CMF 3.0.5. Das PSI wurde mit Trajektionslinien (dunkelblau) zur intraoperativen Navigation versehen.

2.2.2 Operationsablauf

Zu Beginn erfolgte in der Temporoparietalregion eine temporäre Osteosynthese zur Verankerung eines dynamischen Referenzierungsterns (Brainlab® *Skull Reference Array*), um bei Bewegungen des Patientenkopfes die dreidimensionale Lage der Instrumente zu kalkulieren (Abb.10). Die präoperativ angefertigte Navigationsschiene wurde zur Referenzierung des Patienten eingesetzt, wodurch es möglich war, reelle Patientendaten mit präoperativen Datensätzen mit dem Navigationssystem der Firma Brainlab® (Feldkirchen, Deutschland) zu vergleichen. Abhängig vom Operateur erfolgte in den meisten Fällen ein retroseptaler, transkonjunktivaler und ein mediopalpebraler Zugang zur Zweiwandrekonstruktion. Das Gewebe wurde in einigen Fällen unter Zuhilfenahme einer PDS-Folie retrahiert, sodass das Implantat störungsfrei eingebracht werden konnte. Ein Pointer ermöglichte die Durchführung einer trajektorienbasierten Navigation und einer intraoperativen Lagekontrolle des Implantates.

Bei guter knöcherner Auflage des Implantates und einem stabilen Sitz an der posterioren knöchernen Begrenzung des Orbitabodens, dem *posterior ledge*, konnte es mit einer Osteosyntheschraube fixiert werden. Am Ende der Operation erfolgte mittels Traktionstests die Überprüfung der passiven Beweglichkeit des Auges.

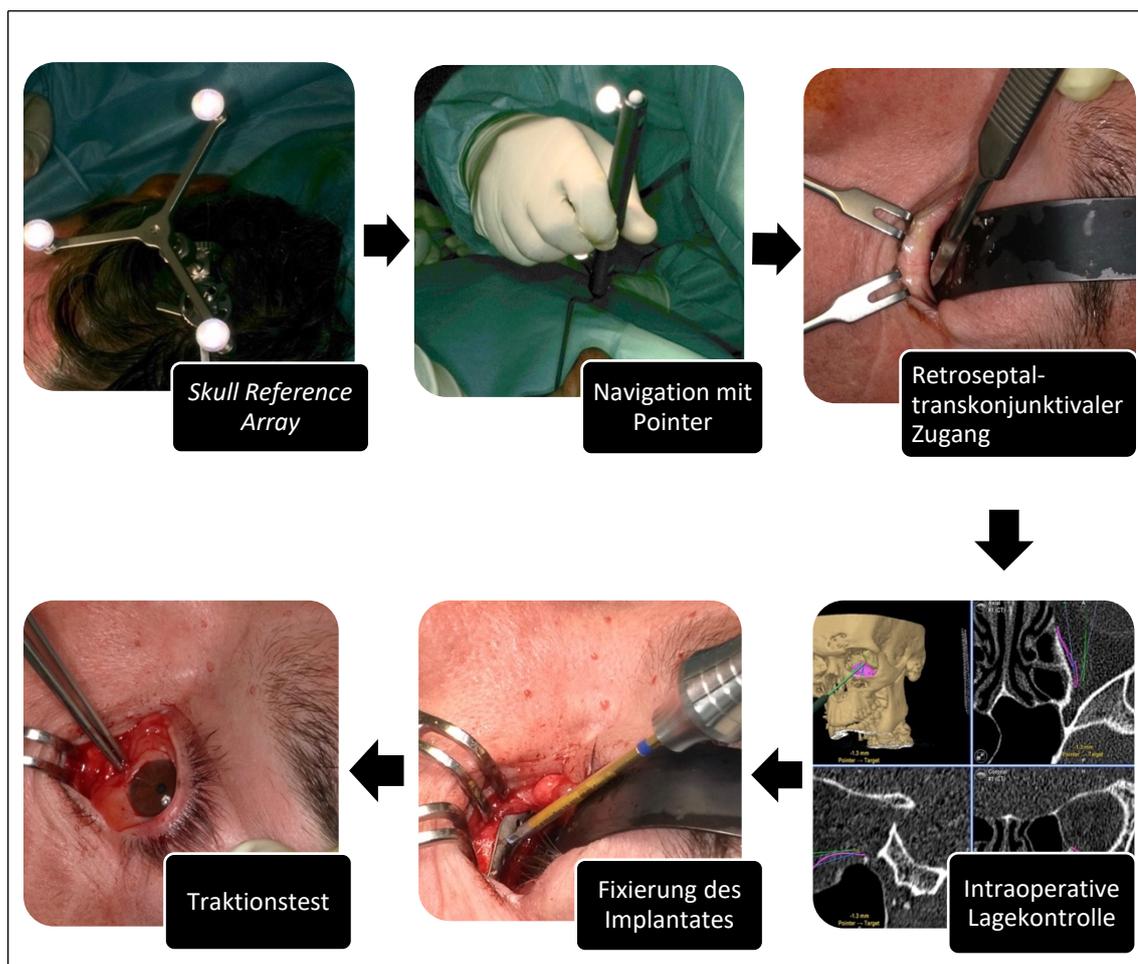


Abb. 10: Operationsablauf in der computerassistierten Chirurgie. Dargestellt sind die einzelnen Schritte der rekonstruktiven Orbitachirurgie.

2.2.3 Postoperative Kontrolle

Postoperativ wurde ein DVT zur Lagekontrolle des PSI durchgeführt. Bis zu 48 Stunden nach der Operation erfolgte eine regelmäßige Visus- und Motilitätskontrolle. Neben leichter Kühlung bekamen die Patienten bei Bedarf Analgetika. Weiterhin wurde ab 2017 ein postoperatives augenärztliches Konsil für alle Patienten angefordert. Einige Patienten haben diese Untersuchung nicht wahrgenommen und die Station entgegen ärztlichen Rates verlassen, weshalb für diese Fälle keine augenärztlichen Befunde vorliegen.

2.2.4 Ophthalmologische Untersuchung

Es wurden 261 Patienten zum augenärztlichen Nachsorgetermin eingeladen. Insgesamt erschienen 103 Patienten zur ophthalmologischen Untersuchung. Alle fachärztlichen Untersuchungen wurden von demselben Augenarzt durchgeführt. Nach Einwilligung der Studieneklärung erfolgte zunächst eine Inspektion der Augenlider im Hinblick auf Narben, Wundheilungsstörungen und Unterlidfehlstellungen wie Ektropium und Entropium.

Die anschließende Prüfung des Visus wurde mithilfe des Autorefraktometers KR-800S der Firma Topcon® (Topcon Corporation, Tokyo, Japan) durchgeführt. Hierzu sollte der Patient die eingeblendete Zahlen- und Buchstabenreihe ablesen. Die kleinste Zahlenreihe, die problemlos erkannt werden konnte, wurde notiert. Die Angabe des Visus erfolgte in Prozentzahlen. Der Stereosehtest nach Lang und der Streifengläserstest nach Bagolini wurden zur Prüfung des Binokularsehens durchgeführt. Für die Motilitätsprüfung musste der Patient den Fingern des Untersuchers in zehn Blickrichtungen folgen. Bei bestehenden Bewegungseinschränkungen und Diplopie wurde das entsprechende „ja“ Feld für die untersuchte Blickrichtung angekreuzt.

Dabei wurden Doppelbilder innerhalb eines Untersuchungsfelds von 30° als positiv gewertet. Die Beurteilung der vertikalen Bulbusposition erfolgte mittels Kestenbaumbrille. Anhand der Millimeterskalierung konnten Abweichungen im Seitenvergleich abgelesen werden. Bei vorhandenem Höherstand wurde das Feld für die entsprechende Seite angekreuzt und die geschätzte Differenz in Millimetern angegeben. Die Messung der sagittalen Bulbusposition erfolgte mittels Naugle Exophthalmometers (Oculus®, Wetzlar, Deutschland). Durch Abstützung auf dem superioren und inferioren orbitalen Rahmen wurden die Werte für das linke und rechte Auge sowie die interpupilläre Distanz in Millimetern erhoben. Ein ästhetisch störender Enophthalmus wurde definiert als sagittale Abweichung der Bulbusposition von über 2 mm. Es erfolgte zudem eine spitzstumpfe Sensibilitätsprüfung des N. infraorbitalis auf Anästhesie, Parästhesie, Hyp- und Hyperästhesie durch Palpation der Haut mit einer zahnärztlichen Sonde und einem Watteträger im Seitenvergleich.

2.2.5 Qualitatives Interview

Im Anschluss an die augenärztliche Nachsorge erfolgte mit 14 Patienten ein zehnminütiges, semi-strukturiertes Leitfadeninterview zur Evaluierung der Lebensqualität. Alle Interviews wurden nach Erstellung eines Leitfadens von einem Mitglied der Arbeitsgruppe geführt (Tabelle 7). Dieser beinhaltete ein Schema mit Fragen, das bei allen Patienten eingehalten wurde.

Es wurde vorab die folgende Studienerklärung formuliert, die bei allen Teilnehmern den gleichen Wortlaut hatte, um eine bessere Vergleichbarkeit der Gespräche zu erzielen: „Alle Patienten, die von uns in den letzten Jahren mit einem Augenhöhlenbruch behandelt wurden, erhielten eine Einladung zur augenärztlichen Nachsorge mit anschließender Befragung. Es gibt mittlerweile neue wissenschaftliche Erkenntnisse und Materialien zur Behandlung dieser Brüche, jedoch mit wenigen Erfahrungen. Daher sind wir interessiert an Ihren Erfahrungen mit der Versorgung, um in Zukunft eine optimale Therapie für unsere Patienten gewährleisten zu können“.

Leitfaden

Was ist für Sie eine optimale Therapie?

Wie definieren Sie Lebensqualität? Wie würden Sie diese nach dem Trauma bewerten?

Wie würden Sie Ihren Alltag nach dem Trauma beschreiben?

Wie würden Sie Ihr äußeres Erscheinungsbild nach dem Trauma / der Operation im Vergleich zu vorher einordnen?

Gab es nach dem Trauma Reaktionen Ihres Umfeldes im Hinblick auf die äußere Erscheinung?

Wie zufrieden sind Sie mit dem klinischen Ergebnis der Behandlung?

Was ist für Sie wichtiger? Ästhetik oder Funktionalität?

Tabelle 7: Interviewleitfaden

Weiterhin wurde ein Feld für eine Zusammenfassung des Gespräches und für Anregungen von Seiten des Patienten erstellt. Ziel war es, die Fragen offen und in einer einfachen und klaren Sprache zu formulieren, um möglichst viele unbeeinflusste Informationen zu erlangen. Daher wurde bei der Erstellung des Leitfadens auf dichotome Fragen und Begründungsfragen verzichtet. Zu Beginn erfolgte eine Aufklärung über das Vorgehen und Auskunft darüber, wie mit den Daten verfahren wird. Nach der Datenschutzaufklärung wurde mit dem Gespräch begonnen. Zur besseren Auswertbarkeit erfolgte eine Aufzeichnung aller Gespräche. Abhängig von der Gesprächssituation wurde die Reihenfolge der Fragen geändert und angepasst.

2.3 Datenauswertung

2.3.1 Auswertung der 3-D Datensätze

Alle prä- und postoperativen CT- und DVT Datensätze wurden in axialer Schicht im Weichteilfenster und einer Schichtdicke zwischen 0,75 mm und 1,25 mm im DICOM (*Digital imaging and communication in medicine*) Format auf einen lokalen Rechner heruntergeladen. Anschließend erfolgte der Import der Rohdaten über das DICOM-Importmodul der Planungs- und Navigationssoftware iPlan CMF 3.0.5 der Firma Brainlab® (Feldkirchen, Deutschland). Das Programm berechnete für jeden Patienten aus der axialen Ebene die koronare und sagittale Schicht. Der Export des Weichteilfensters ins Knochenfenster erfolgte über die Option „*predefined windowing*“. Alle Datensätze wurden nach der Frankfurter Horizontalen und Mittelsagittalebene ausgerichtet (Abb.11). Unter Zuhilfenahme der dreidimensionalen Ansicht war die symmetrische Ausrichtung beider Orbitae in allen Schichtebenen möglich.

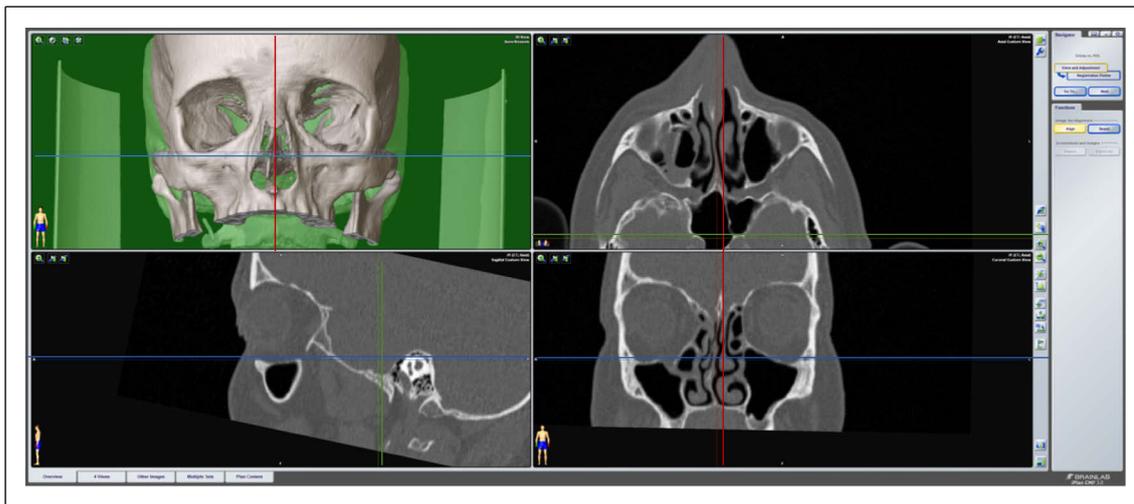


Abb. 11: Ausrichtung der Datensätze nach der Frankfurter Horizontalen in iPlan CMF 3.0.5 (3D, axial, sagittal und koronar). Die blaue Linie stellt die Frankfurter Horizontale dar, die rote Linie die Mittelsagittalebene.

Die Messung der Defektgröße des Orbitabodens und der medialen Orbitawand in der koronaren, axialen und sagittalen Ebene, erfolgte durch Festlegung beider Frakturenden als Referenzpunkte. Die jeweiligen Distanzen wurden in Millimetern ausgedrückt. Es erfolgte für die gesunde und frakturierte Orbita eine Winkelmessung zwischen der medialen Orbitawand in der koronaren Schicht mit drei definierten Punkten: die kraniale Begrenzung der medialen Wand, die Transitionszone und der Übergang des Orbitabodens zur lateralen Wand (Abb.12). Die Messung wurde für beide Seiten jeweils im anterioren, mittleren und posterioren Drittel der Orbita durchgeführt. Diese sind in der Sagittalebene definiert durch den anterioren knöchernen Orbitarand, die posteriore knöchernen Begrenzung, dem sogenannten *posterior ledge* und den Mittelpunkt auf dieser Strecke.

Zur Volumenmessung der gesunden und frakturierten Seite wurden über den Menüpunkt *object creation* beide orbitalen Kavitäten nach Auswahl durch das Programm segmentiert (Abb.13). Manuell wurden über die *smart shaper* Option die Umrisse des vergrößerten Volumens der frakturierten Seite gezogen, um die Volumina individuell zu definieren. Bei vorhandenen postoperativen dreidimensionalen Datensätzen erfolgten oben beschriebene Messungen analog zu präoperativen Datensätzen.

Zudem wurde in der Gruppe PSI die Implantatposition beurteilt. Eine Abweichung lag vor, wenn der knöchernen Defekt in der sagittalen und koronaren Schicht nicht ausreichend durch das Implantat gedeckt war, ein Abstand von > 4 mm zu den orbitalen Wänden vorlag und das Implantat nicht suffizient am *posterior ledge* auflag.

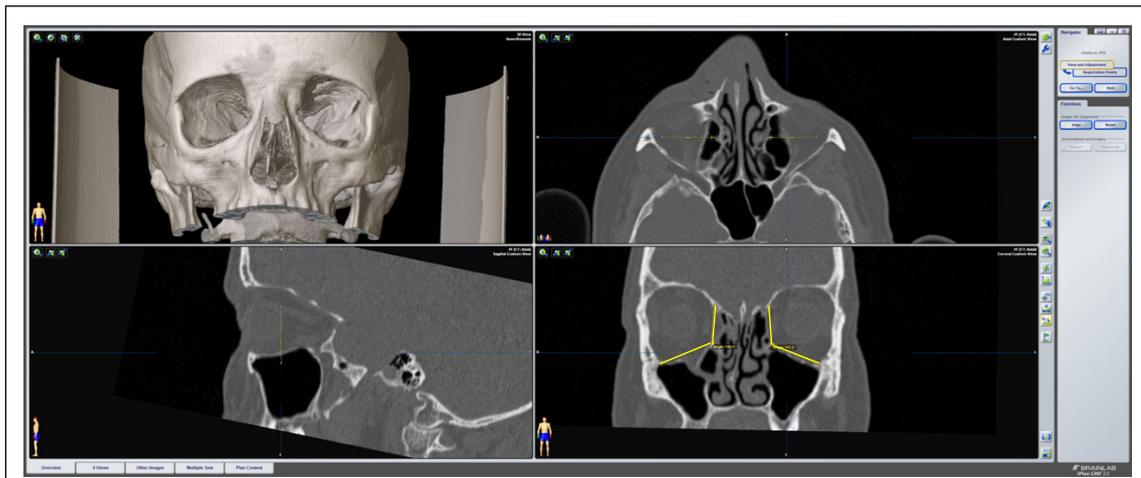


Abb. 12: Winkelmessung zwischen der medialen Orbitawand in iPlan CMF 3.0.5. in koronarer Schicht. Dargestellt sind die Datensätze in 3D, axial, sagittal und koronar. Unten rechts sind die Winkel beider Orbitae in Gelb zu sehen. Die Werte werden automatisch durch das Programm berechnet und nebenstehend angezeigt.

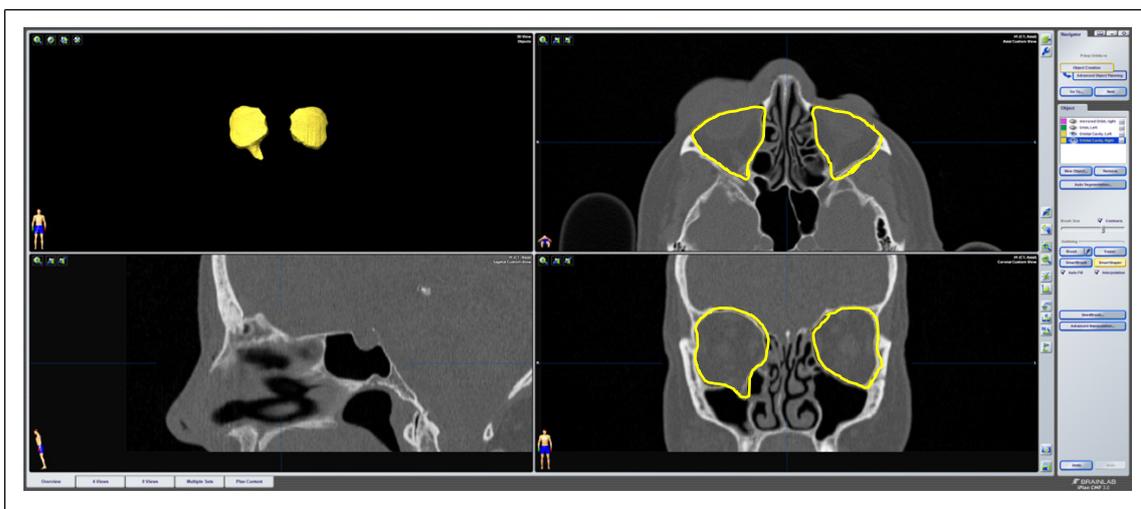


Abb. 13: Orbital cavity Algorithmus zur automatischen Volumenberechnung in iPlan CMF 3.0.5. Oben links sind die segmentierten orbitalen Kavitäten zu sehen. Rechts oben (axial) und rechts unten (koronar) sind die Umrisse der Orbita über die *smart shaper* Funktion gelb dargestellt. Der rechte Inhalt hängt durch die Fraktur des Orbitabodens „tropfenförmig“ in die Kieferhöhle.

2.3.2 Auswertung des qualitativen Interviews

Die Auswertung der Daten erfolgte mittels inhaltlich strukturierender Inhaltsanalyse. Hierzu wurden alle Aufnahmen schriftlich im Textverarbeitungsprogramm Microsoft Word™ (Word Version 16.15, Microsoft Corporation, Washington, USA) festgehalten. Es erfolgte eine vollständige Transkription des Inhalts des Gesagten in Schriftdeutsch.

Relevante Interviewpassagen wurden ausgewählt und in Bedeutungseinheiten unterteilt. Anschließend konnten diese in kurze Sätze mit neutraler Sprache zum Kürzen des Inhalts und zur besseren Vergleichbarkeit übertragen werden. Nach der ersten Analyse erfolgte die Erstellung von Kategorien (K) anhand der Aussagen (Tabelle 8). Die paraphrasierten Sätze wurden diesen zugeordnet und wenn notwendig durch weitere ergänzt. Das Kategoriensystem wurde so angeordnet, dass innerhalb dessen ein Zusammenhang besteht. In einem zweiten Durchgang wurde das gesamte Interviewmaterial vor diesem Hintergrund erneut durchgeschaut. In einem letzten Schritt wurden die Antworten bezogen auf die Fragestellung der Lebensqualität interpretiert. Anschließend konnte die Häufigkeit der Antworten mittels der Software SPSS® Version 25.0 (IBM SPSS, Chicago, USA) statistisch ausgewertet werden.

Kategorie	Name
K1	Definition einer optimalen Therapie
K2	Definition der Lebensqualität
K3	Lebensqualität nach dem Trauma
K4	Alltag nach dem Trauma
K5	Reaktionen des Umfelds
K6	Äußeres Erscheinungsbild im Vergleich zu vorher
K7	Belastungsempfinden
K8	Funktionalität vs. Ästhetik

Tabelle 8: Kategorienübersicht

2.4 Statistische Analyse

Die gesamte Datenerfassung- und speicherung erfolgte mittels Excel-Tabellenkalkulation (Excel 14.0, Microsoft Corporation, Washington, USA). Die statistischen Auswertungen wurden mit der Software SPSS® für Windows Version 25.0 (IBM SPSS, Chicago, USA) durchgeführt. Hierzu wurden die Daten der Excel Tabellen in das Programm importiert. Zur Erfassung statistischer Zusammenhänge zwischen den Gruppen und den Zeitpunkten erfolgte eine mehrfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung auf einem Faktor. Der Zusammenhang orbitaler Parameter hinsichtlich der Therapieform wurde mittels binär logistischer Regression, Chi-Quadrat-Tests und McNemar-Tests durchgeführt. Ergebnisse mit einem p-Wert kleiner als 0,05 wurden als signifikant angesehen.

3. Ergebnisse

3.1 Demographie des Patientenkollektivs

Von insgesamt 261 eingeschlossenen Patienten waren 65,5 % männlich (n = 171) und 34,5 % weiblich (n = 90). Das durchschnittliche Alter zum Zeitpunkt der Fraktur lag bei 47,2 Jahren (SD = 20,86). In 135 Fällen war die rechte und in 126 die linke Orbita betroffen. Bei 95 % der Patienten (n = 248) lag eine kombinierte Fraktur des Orbitabodens und der medialen Orbitawand vor, während 5 % eine isolierte mediale Orbitawandfraktur aufwiesen (n = 13). Ursächlich waren am häufigsten Rohheitsdelikte mit 38,7 %, gefolgt von Stürzen mit 35,2 % (Abb.14). Eine operative Versorgung mittels PSI oder PDS erhielten 72,8 %, während 27,2 % der Patienten nicht-operativ behandelt wurden. Die durchschnittliche Operationszeit von Schnitt bis Naht lag in der Gruppe PSI bei 90,8 min (SD = 56,88) und in der Gruppe PDS bei 68,8 min (SD = 48,14).

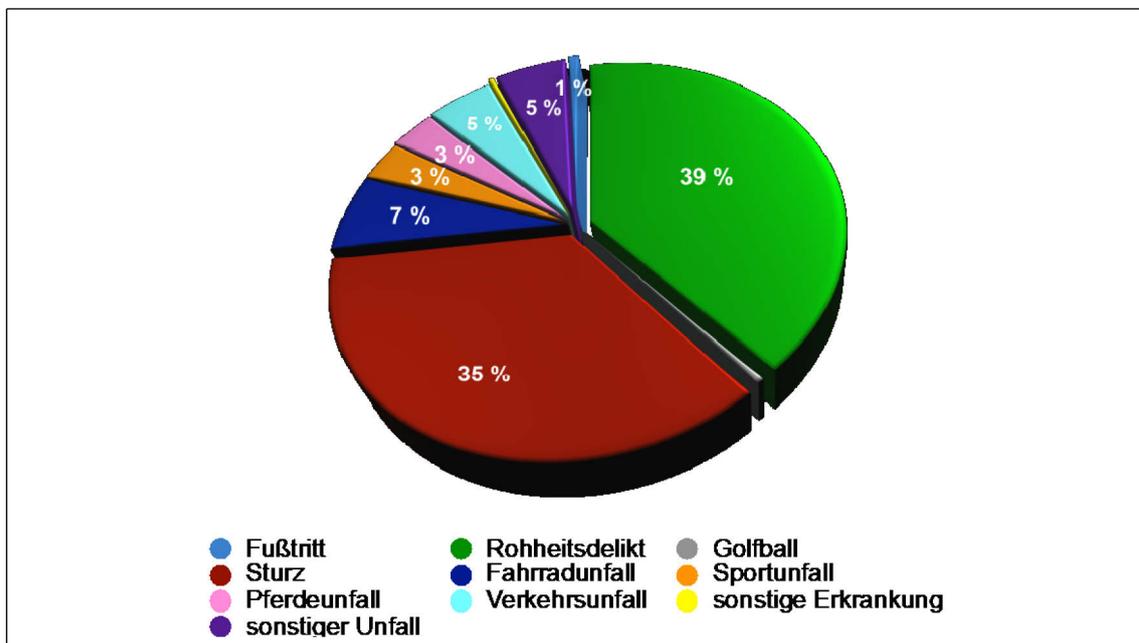


Abb. 14: Traumaursachen aller Patienten. Dargestellt ist die prozentuale Verteilung der Frakturätiologien.

Die häufigsten OP-Indikationen waren Doppelbilder ($n = 69$), Motilitätsstörungen ($n = 56$) und ein ästhetisch störender Enophthalmus ($n = 42$). Das durchschnittliche Volumen der gesunden Orbita betrug 29,7 ml (SD = 3,16), während das Volumen der frakturierten Seite bei Diagnosestellung bei 31,4 ml (SD = 3,89) lag. Nach erhaltener Therapie umfasste Letzteres im Mittel 30,2 ml (SD = 3,69).

3.2 Radiologische Parameter

3.2.1 Implantatposition

Es wurde erfasst, wie sich eine nicht-ideale Implantatposition auf die Auftretenswahrscheinlichkeit von pathologischen Augenbefunden auswirkt. Hierzu wurde ein Chi-Quadrat-Test mit logistischer Regression durchgeführt. Berücksichtigt wurden postoperative Augenbefunde ohne Nachsorge, da kein Patient mit abweichender Implantatposition nachuntersucht wurde. Bei einer Lage des Implantates von mehr als 4 mm kranial des Orbitabodens in der sagittalen und koronaren Ebene, wurde die Position als suboptimal bewertet. Insgesamt wiesen 11 von 106 Patienten eine abweichende Implantatposition auf.

Hinsichtlich postoperativer Doppelbilder wurde kein signifikanter Zusammenhang mit einer schlechten Implantatposition festgestellt ($X^2(1) = 0,77$; $p = 0,380$). So ergab sich ein nicht signifikant höheres Risiko für Diplopie ($OR = 1,80$ [95 % CI: 0,47; 6,86]; $p = 0,385$). Es hatten 6 von 10 Patienten mit schlechter Implantatposition postoperativ temporäre Doppelbilder. Weiterhin bestand kein signifikanter Zusammenhang mit einem postoperativen Enophthalmus ($X^2(1) = 0,36$; $p = 0,548$). Kein Patient, der eine abweichende Implantatposition aufwies, hatte einen Enophthalmus. Da kein Patient mit einer abweichenden Implantatposition einen Hyper- oder Hypoglobus aufwies, war kein Test für diese Befunde durchführbar.

3.2.2 Intraorbitale Winkel und Volumina

Die Gegenüberstellung der verschiedenen Behandlungen hinsichtlich orbitaler Parameter erfolgte mittels zweifaktorieller Varianzanalyse mit Messwiederholung auf einem Faktor. Zur Erzielung einer besseren Vergleichbarkeit wurden für diesen Test Patienten eingeschlossen, die vollständige radiologische und klinische Daten in der Nachsorge aufwiesen (Tabelle 9).

Parameter	PSI	PDS	keine OP
ant, med, post Winkel	99	34	7
Volumen	98	33	7

Tabelle 9: Anzahl der Patienten nach Gruppe und Parameter

Für den medialen Winkel ergab sich ein signifikanter Unterschied der Mittelwerte zwischen den Gruppen ($F(2, 137) = 24,58; p < 0,001$) (Abb.15). Es zeigte sich eine signifikante Veränderung zwischen den Untersuchungszeitpunkten je nach Therapieform ($F(2, 137) = 5,93; p = 0,003$). Bei isolierter Betrachtung des Effektes „Zeitpunkt“ ergab sich keine signifikante Veränderung des medialen Winkels ($F(1, 137) = 2,31; p = 0,131$).

Der Mittelwertsvergleich zwischen den Gruppen zeigte nach einem Bonferroni-korrigierten post-hoc-Test einen signifikanten Unterschied zwischen PSI und PDS ($p < 0,001$) sowie PSI und keiner OP ($p = 0,002$). Zwischen den Mittelwerten der Gruppen PDS und keine OP bestand kein signifikanter Unterschied ($p > 0,999$). Weiterhin erwies sich lediglich für die Versorgung mit einem PSI eine signifikante Veränderung des medialen Winkels von präoperativ $126,47^\circ$ (SD = 13,14) zu postoperativ $131,81^\circ$ (SD = 13,67) (Tabelle 10).

Ergebnisse

Parameter	PSI	PDS	keine OP	Total
ant Winkel frakturierte Seite prä	121,24 SD = 7,82	119,01 SD = 10,47	120,74 SD = 9,93	120,67 SD = 8,62
ant Winkel frakturierte Seite post	121,99 SD = 8,38	119,11 SD = 8,95	120,48 SD = 8,43	121,22 SD = 8,55
med Winkel frakturierte Seite prä	126,47 SD = 13,14	114,24 SD = 13,31	111,04 SD = 17,46	122,72 SD = 14,54
med Winkel frakturierte Seite post	131,81 SD = 13,67	112,62 SD = 9,72	113,93 SD = 17,05	126,25 SD = 15,55
post Winkel frakturierte Seite prä	132,56 SD = 12,25	128,19 SD = 14,24	126,34 SD = 8,76	131,19 SD = 12,72
post Winkel frakturierte Seite post	131,70 SD = 11,84	129,74 SD = 14,85	131,93 SD = 8,41	131,23 SD = 12,45
Volumen frakturierte Seite prä	30,54 SD = 4,08	32,76 SD = 3,47	29,96 SD = 3,05	31,04 SD = 3,99
Volumen frakturierte Seite post	29,52 SD = 3,57	32,11 SD = 3,60	29,86 SD = 3,03	30,16 SD = 3,69

Tabelle 10: Deskriptive Statistiken. Aufgeführt sind die Mittelwerte der anterioren, medialen und posterioren Winkel der frakturierten Seite in Grad. Die Einheit der mittleren Volumina ist ml.

Hinsichtlich der Rekonstruktion des anterioren Winkels zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den zwei Zeitpunkten ($F(1, 137) = 0,04$; $p = 0,835$), kein signifikanter Unterschied zwischen den Therapien ($F(2, 137) = 1,33$; $p = 0,267$) und keine signifikante Interaktion zwischen den beiden Faktoren ($F(2, 137) = 0,17$; $p = 0,841$). Auch bezüglich des posterioren Winkels gab es keinen signifikanten Unterschied zwischen den Zeitpunkten ($F(1, 137) = 2,04$; $p = 0,155$), den Behandlungen ($F(2, 137) = 1,08$; $p = 0,341$) und der Interaktion ($F(2, 137) = 1,76$; $p = 0,174$).

Bei Vergleich der Mittelwerte der Volumina ergab sich eine signifikante Veränderung zwischen den Zeitpunkten ($F(1, 135) = 12,25; p = 0,001$) und zwischen den Gruppen ($F(2, 135) = 5,37; p = 0,006$). Betrachtete man diese beiden Effekte gemeinsam, so zeigte sich keine signifikante Veränderung des Volumens zwischen dem Status prä und post je nach Behandlungsform ($F(2, 135) = 2,83; p = 0,062$) (Abb.16). Nach Durchführung der Post-hoc-Vergleiche konnte ein signifikanter Unterschied zwischen PSI und PDS hinsichtlich der Volumenrekonstruktion festgestellt werden ($p = 0,005$). Es konnte weder zwischen PSI und keiner OP ($p > 0,999$), noch zwischen PDS und keiner OP ($p = 0,306$) ein signifikanter Unterschied gezeigt werden. Bei Vergleich der prä- und postoperativen Volumina wurde eine signifikante Volumenreduktion sowohl mit einer PSI-Versorgung ($p < 0,001$), als auch mit einer PDS-Versorgung ($p = 0,002$) erreicht, während keine OP zu keiner signifikanten Veränderung des Volumens führte ($p = 0,821$).

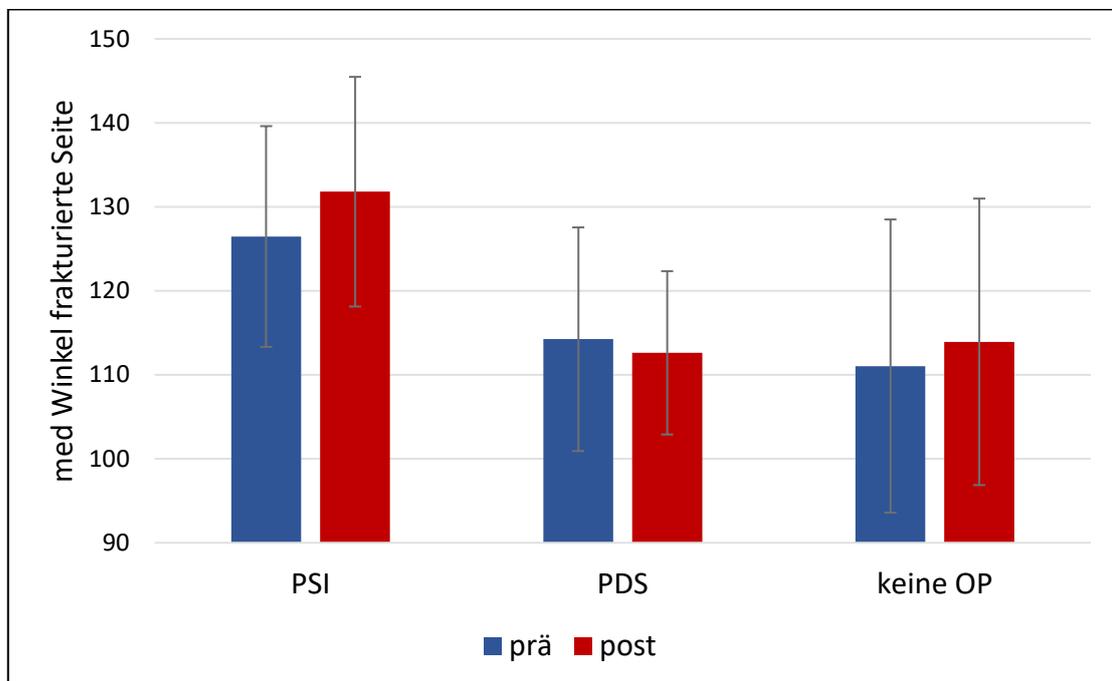


Abb. 15: Medialer Winkel der frakturierten Seite in Abhängigkeit von der Therapie und dem Zeitpunkt. Der mediale Winkel (y-Achse) wird in Grad angegeben. Auf der x-Achse sind die Therapieformen PSI, PDS und keine OP zu den jeweiligen Zeitpunkten prä (blau) und post (rot) dargestellt.

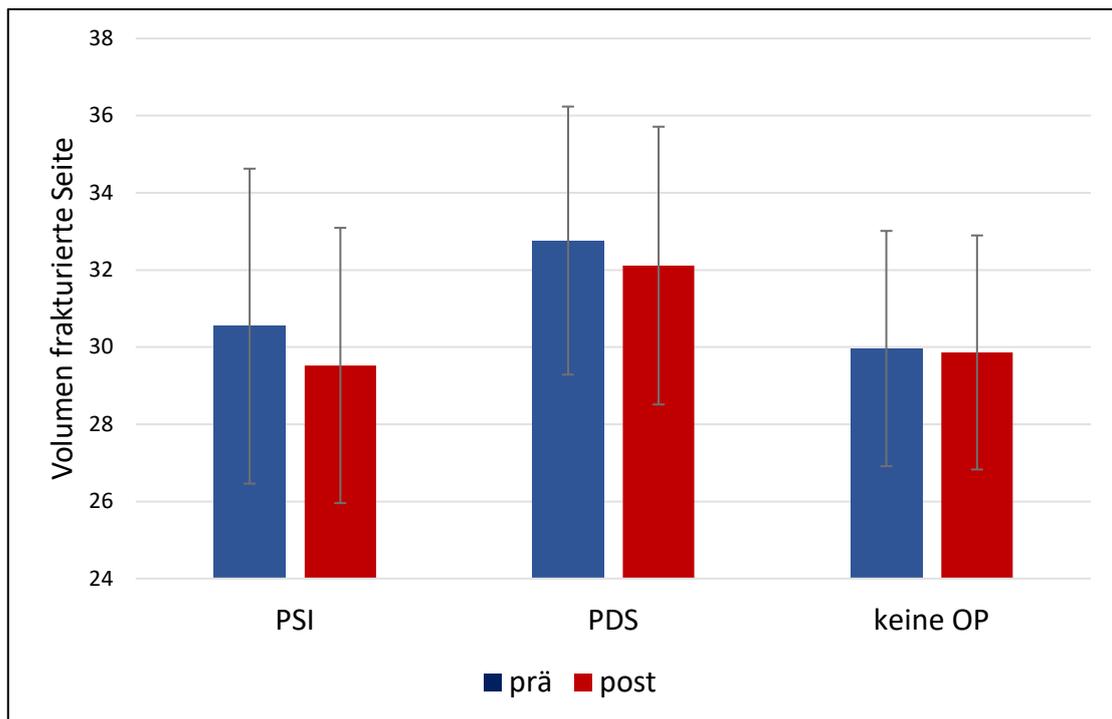


Abb. 16: Volumen der frakturierten Seite in Abhängigkeit von der Therapie und dem Zeitpunkt. Dargestellt ist das Volumen der frakturierten Seite in ml (y-Achse) in Abhängigkeit von den Therapieformen PSI, PDS und keine OP zu den Zeitpunkten prä (blau) und post (rot).

3.2.3 Defektgröße und Differenzen

Der Zusammenhang der radiologischen Defektgröße mit präoperativen, pathologischen Augenbefunden wurde mittels binär logistischer Regression zur Vorhersage der Auftretenswahrscheinlichkeit geprüft. Es zeigte sich ein signifikant höheres Risiko für präoperative Diplopie mit zunehmender Defektgröße koronar ($OR = 1,06$ [95 % CI : 1,02; 1,09]; $p = 0,001$), als auch sagittal ($OR = 1,05$ [95% CI : 1,02; 1,09]; $p = 0,001$) (Abb.17). Ein Enophthalmus ist signifikant wahrscheinlicher bei größeren Defekten in der koronaren ($OR = 1,09$ [95 % CI : 1,05; 1,14]; $p < 0,001$) und sagittalen Ebene ($OR = 1,14$ [95 % CI : 1,09; 1,2]; $p < 0,001$).

Für präoperative Motilitätsstörungen erwies sich ein nicht signifikant höheres Risiko bei Zunahme des Defektes koronar ($OR = 1,02$ [95 % CI : 0,99; 1,06]; $p = 0,165$) und sagittal ($OR = 1,01$ [95 % CI : 0,97; 1,04]; $p = 0,564$).

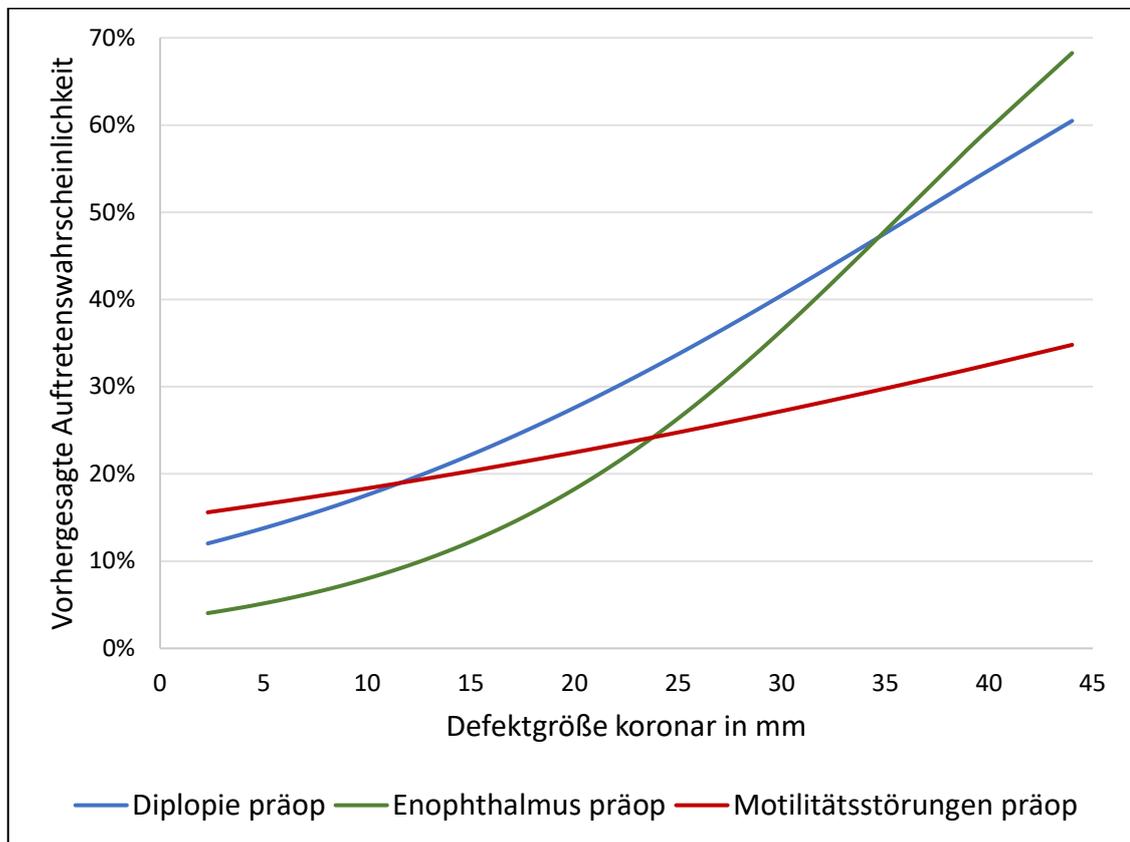


Abb. 17: Wahrscheinlichkeit pathologischer Augenbefunde in Abhängigkeit von der Defektgröße. Auf der y-Achse ist die Auftretenswahrscheinlichkeit in Prozent (%), auf der x-Achse die röntgenologische Defektgröße in der koronaren Ebene in mm dargestellt. Die Linie des präoperativen Befundes Diplopie ist blau, die des Enophthalmus grün und die der Motilitätsstörungen rot dargestellt.

Die Prüfung statistischer Zusammenhänge zwischen den Differenzen der objektiven orbitalen Parameter zur gesunden Gegenseite mit pathologischen Augenbefunden erfolgte mittels binär logistischer Regression. Es zeigte sich, dass mit zunehmender Differenz des medialen orbitalen Winkels zwischen frakturierter und intakter Seite die Wahrscheinlichkeit für präoperative Diplopie signifikant erhöht ist ($OR = 1,02$ [95 % CI : 1,0; 1,05]; $p = 0,044$) (Abb.18). Die Korrelation mit den Differenzen der prä- und postoperativen anterioren und

posterioren Winkel und der Volumina zeigte keine Signifikanzen. Die Wahrscheinlichkeit für einen präoperativen Enophthalmus ist mit zunehmender Differenz zwischen dem Volumen der gesunden und frakturierten Seite signifikant erhöht ($OR = 1,56$ [95 % CI : 1,24; 1,94]; $p < 0,001$). Weiterhin ergab sich postoperativ ein signifikant höheres Risiko mit zunehmender Differenz des medialen Winkels beider Orbitae ($OR = 1,07$ [95 % CI : 1,02; 1,13]; $p = 0,004$). Die Korrelation weiterer orbitaler Parameter zeigte bezogen auf einen Enophthalmus keine Signifikanzen. Für die Diagnosen Motilitätsstörungen, Hyper- und Hypoglobus ergaben sich bezogen auf die objektiven orbitalen Parameter sowohl prä-, als auch postoperativ keine signifikanten Zusammenhänge.

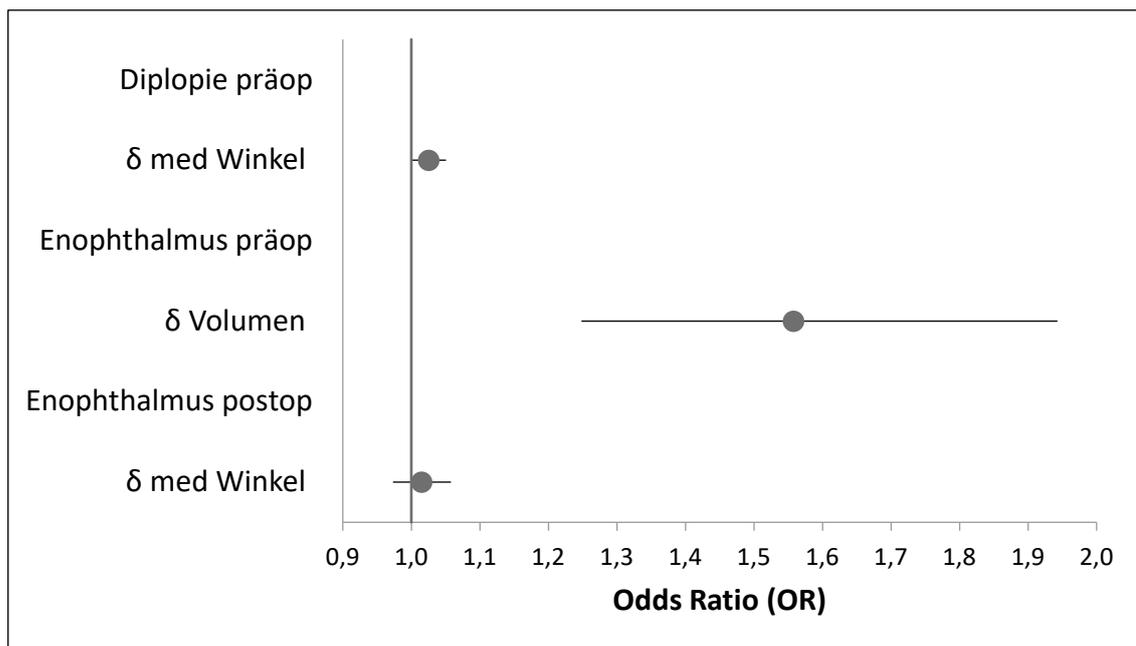


Abb. 18: Odds Ratio pathologischer Augenbefunde hinsichtlich der Differenzen objektiver orbitaler Parameter. Die Befunde Diplopie präop, Enophthalmus prä- und postop werden auf die jeweils darunter aufgeführten Differenzen (δ) bezogen. Die Kreise stellen das Odds Ratio dar, wobei ein Wert über 1,0 eine Erhöhung der Auftretenswahrscheinlichkeit bedeutet.

3.3 Klinische Parameter

Als operativer Zugang wurde in 107 Fällen (57,2 %) eine transkonjunktivale, in 58 Fällen (31,0 %) eine infraorbitale und in 22 Fällen (11,8 %) eine mediopalpebrale Schnittführung gewählt. Zur Erfassung statistischer Signifikanzen zwischen den klinischen Parametern Unterlidfehlstellung, Narben und Sensibilitätsveränderungen mit jeweiligen Zugängen, wurde ein Chi-Quadrat-Test durchgeführt.

Hinsichtlich des Auftretens von Narben zeigte sich ein signifikanter Zusammenhang mit den operativen Zugängen ($X^2(2) = 7,56$; $p = 0,023$; *Cramers V* = 0,48). Während bei 7 Patienten mit infraorbitalem (43,8 %) und 4 Patienten mit mediopalpebralem Schnitt (57,1 %) in der Nachuntersuchung eine Narbe zu sehen war, war diese bei keinem Patienten mit transkonjunktivalem Zugang zu erkennen (Abb.19).

Weiterhin ergab sich für das Vorhandensein von Hypästhesie und der Schnittführung ein signifikanter Zusammenhang ($X^2(2) = 7,54$; $p = 0,023$; *Cramers V* = 0,48). So wiesen 10 Patienten (62,5 %) mit infraorbitalem, 2 Patienten (28,6 %) mit mediopalpebralem und 1 Patient (10,0 %) mit transkonjunktivalem Zugang eine verminderte Sensibilität auf. Weitere Sensibilitätsstörungen wie Parästhesie ($X^2(2) = 4,89$; $p = 0,086$; *Cramers V* = 0,38) und Hyperästhesie ($X^2(2) = 0,72$; $p = 0,696$; *Cramers V* = 0,14) zeigten keine Signifikanz hinsichtlich des gewählten Zugangs. Es wurde ebenso kein signifikanter Zusammenhang zwischen Unterlidfehlstellungen wie Ektropium und Entropium und der Schnittführung festgestellt ($X^2(2) = 2,26$; $p = 0,323$; *Cramers V* = 0,26).

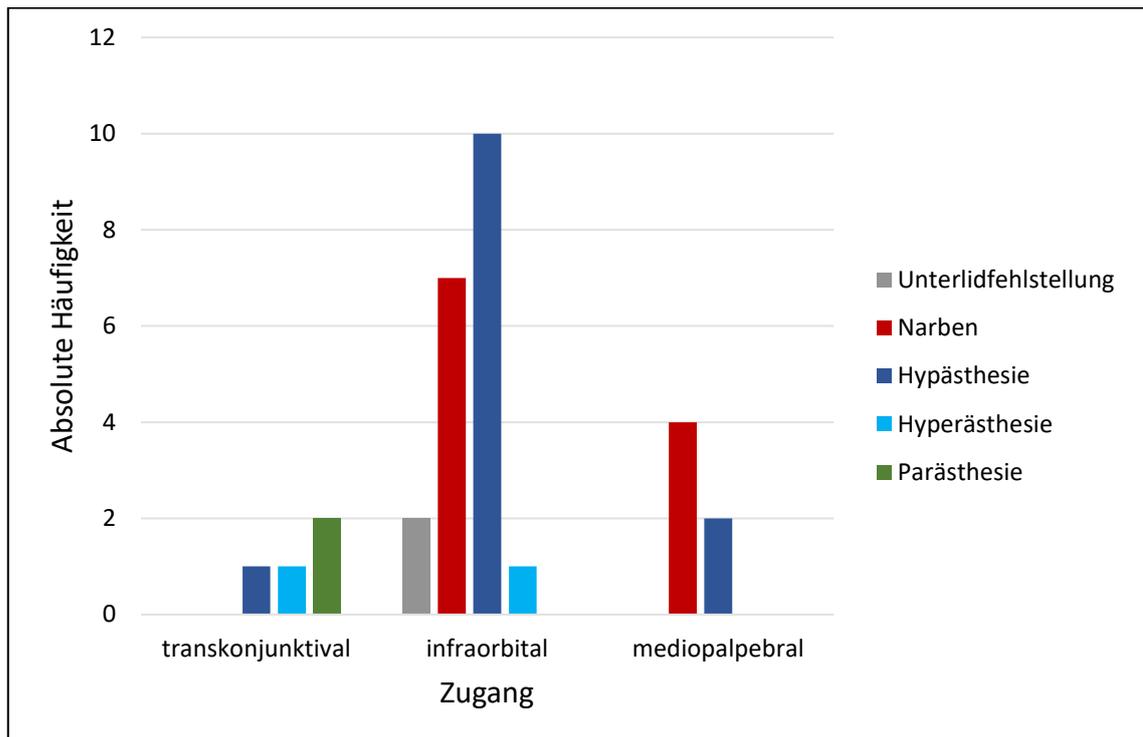


Abb. 19: Komplikationen verschiedener Zugänge. Zu sehen ist die absolute Häufigkeit klinischer Parameter in der Nachsorge (y-Achse) in Abhängigkeit von den Zugängen transkonjunktival, infraorbital und mediopalpebral (x-Achse). Unterlidfehlstellungen sind in der Farbe Grau, Narben Rot, Hypästhesie Blau, Hyperästhesie Hellblau und Parästhesie Grün dargestellt.

Der Vergleich der Häufigkeitsverteilung pathologischer Augenbefunde nach erhaltener Therapie erfolgte mittels Chi-Quadrat-Tests. Hinsichtlich des Auftretens postoperativer Diplopie zeigte sich ein signifikanter Zusammenhang mit der Therapieform ($X^2(2) = 16,91$; $p < 0,001$; *Cramers V* = 0,31). So traten Doppelbilder in der Gruppe ohne OP mit keiner betroffenen Person signifikant seltener auf als in der Gruppe PSI ($n = 45$) und PDS ($n = 21$). Patienten der Gruppe PDS und PSI unterschieden sich nicht signifikant voneinander. Ein postoperativer Enophthalmus größer als 2 mm zeigte einen signifikanten Zusammenhang mit der erhaltenen Therapie ($X^2(2) = 16,20$; $p < 0,001$; *Cramers V* = 0,30). Er trat mit 20,3 % in der Gruppe PDS signifikant häufiger auf als in der Gruppe PSI (3,1 %) (Abb.20). Nicht-operierte Patienten unterschieden sich nicht signifikant von operierten. Es wurde zudem eine Signifikanz zwischen postoperativer Hypästhesie und der Versorgung festgestellt ($X^2(2) = 11,15$; $p = 0,004$; *Cramers V* = 0,25). Eine verminderte Sensibilität trat in der Gruppe PDS

signifikant häufiger auf, als bei der Versorgung mit PSIs oder keiner OP. Letztere unterschieden sich nicht signifikant voneinander. Weiterhin erwies sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Behandlung und postoperativen Motilitätsstörungen ($X^2(2) = 7,72; p = 0,021; Cramers V = 0,21$). Mit 34 betroffenen Personen (35,4 %) waren in der Gruppe PSI unmittelbar postoperativ signifikant häufiger Bewegungseinschränkungen des Auges vorhanden, als in der nicht-operierten Gruppe mit einer betroffenen Person (5 %). Die Versorgung mit PDS-Folie unterschied sich mit 17 postoperativ betroffenen Personen nicht signifikant von der nicht-operativen Behandlung und der PSI-Versorgung.

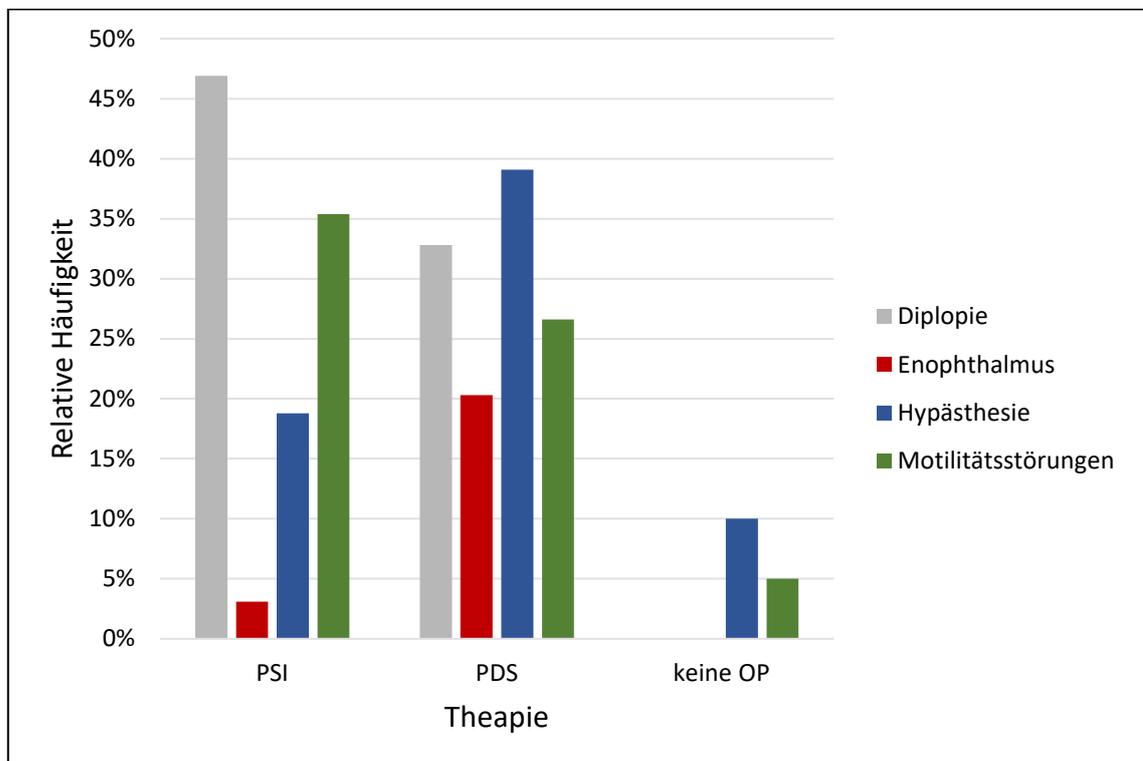


Abb. 20: Komplikationen der Therapieformen. Dargestellt ist die relative Häufigkeit postoperativer klinischer Parameter in Prozent (y-Achse) in Abhängigkeit von den Therapieformen PSI, PDS und keine OP. Der Befund Diplopie ist grau, Enophthalmus rot, Hypästhesie blau und Motilitätsstörungen grün abgebildet.

Zur Prüfung der Richtungsveränderung eines pathologischen Augenbefundes abhängig von der erhaltenen Therapie, wurde ein McNemar-Test durchgeführt. Die Untersuchungen in der Gruppe PSI ergaben, dass signifikant weniger Personen verglichen mit dem präoperativen Befund, postoperativ einen Enophthalmus hatten ($p < 0,001$). Waren es vor dem Eingriff 38 Patienten mit diesem Augenbefund, so waren es postoperativ noch 3 Patienten.

Umgekehrt verhielt es sich in der Gruppe PDS. Hier hatten signifikant mehr Personen postoperativ ($n = 13$) einen Enophthalmus, als präoperativ ($n = 1$) ($p = 0,002$). Dieser signifikante Zusammenhang wurde auch in der Nachsorge der Patienten beobachtet ($p = 0,004$). In der nicht-operierten Gruppe konnte mit diesem Test kein signifikanter Zusammenhang gefunden werden, da kein Patient unmittelbar nach dem Trauma oder in der Nachsorge einen Enophthalmus hatte.

Der Befund „Diplopie“ wurde in der Gruppe PDS in der Nachsorge signifikant seltener festgestellt ($p = 0,031$). Weiterhin konnten keine signifikanten Veränderungen in der Gruppe PSI ($p = 0,268$) und keine OP ($p = 0,500$) gezeigt werden. Hinsichtlich des Befundes „Motilitätsstörungen“ erwies sich keine signifikante Veränderung, sowohl bei Patienten mit PSI ($p = 0,349$) und PDS ($p = 0,678$), als auch bei keiner OP ($p > 0,999$). Auch für die Hypästhesie zeigte sich keine signifikante Verbesserung oder Verschlechterung für die Gruppe PSI ($p = 0,078$), PDS ($p = 0,383$) und keine OP ($p > 0,999$).

3.4 Lebensqualität

3.4.1 Stichprobenbeschreibung

Zur Befragung der Lebensqualität wurden 14 Patienten mit verschiedenen Behandlungen einer Orbitafraktur eingeschlossen. Das durchschnittliche Alter lag bei 55 Jahren (SD = 20,13), wobei 42,9 % (n = 6) weiblich und 57,1 % (n = 8) männlich waren. Drei Patienten wurden mit einem PSI versorgt (21,4 %), weitere 3 wurden nicht operiert (21,4 %) und 8 Patienten erhielten eine PDS-Folie (57,1 %).

3.4.2 Kategorien

K1 Beschreibung einer optimalen Therapie

Für 42,8 % der Befragten gehöre eine gute Aufklärung zu einer optimalen Therapie. Diese beinhalte die Folgen bei nicht-operativer Behandlung und eventuelle Risiken bei geplantem Zweiteingriff. Die Kommunikation mit dem Arzt auf gleicher Wellenlänge und eine gründliche Nachsorge zur Aufrechterhaltung der Symptommfreiheit wurden beschrieben. Die Wiederherstellung des vorherigen Zustands aus funktioneller und ästhetischer Sicht sei für 35,7 % der Patienten essentiell.

K2 Definition der Lebensqualität

Für die Mehrheit der Patienten (64 %) stand Gesundheit als Grundbaustein an erster Stelle. Weiterhin gaben 50 % der Patienten an, dass ein uneingeschränktes Leben für sie zu Lebensqualität dazugehöre und für weitere 35,7 % war persönlicher Wohlstand ausschlaggebend. Familie und Sicherheit waren für 28 % wichtig, während persönliches Glück mit 21,4 % und eine Wohnung mit 16,6 % eher eine untergeordnete Rolle spielten. In Abbildung 21 ist die prozentuale Antwortverteilung der Befragten dargestellt.

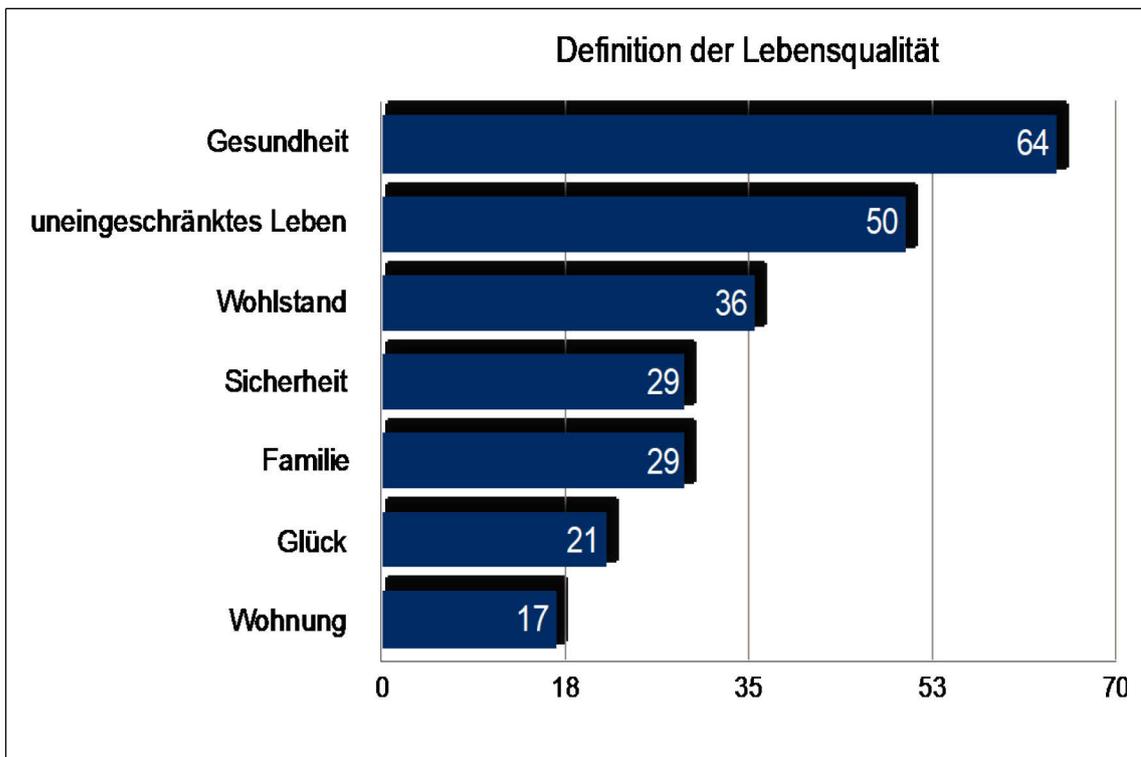


Abb. 21: Definition der Lebensqualität. Dargestellt ist die prozentuale Antwortverteilung aller Patienten (x-Achse) hinsichtlich der Definition von Lebensqualität (y-Achse).

K3 Lebensqualität nach dem Trauma

Die Frage nach der posttraumatischen Lebensqualität zeigte, dass der Großteil der Patienten mit 71,4 % diese als unverändert empfindet. Der jetzige, wiederhergestellte Zustand werde nach dem traumatischen Ereignis mehr geschätzt als vorher. Weitere 21,4 % der Befragten stufen die Lebensqualität als anfänglich eingeschränkt und 7,1 % als dauerhaft eingeschränkt ein (Abb.22). Dies sei unter anderem auf funktionelle Beeinträchtigungen des Alltags durch Doppelbilder und psychisches Leiden zurückzuführen. Letzteres äußere sich durch verstärkte Nachdenklichkeit und Schlafstörungen. Die Angst vor Erblindung und einem eventuellen Korrekturingriff sei belastend.

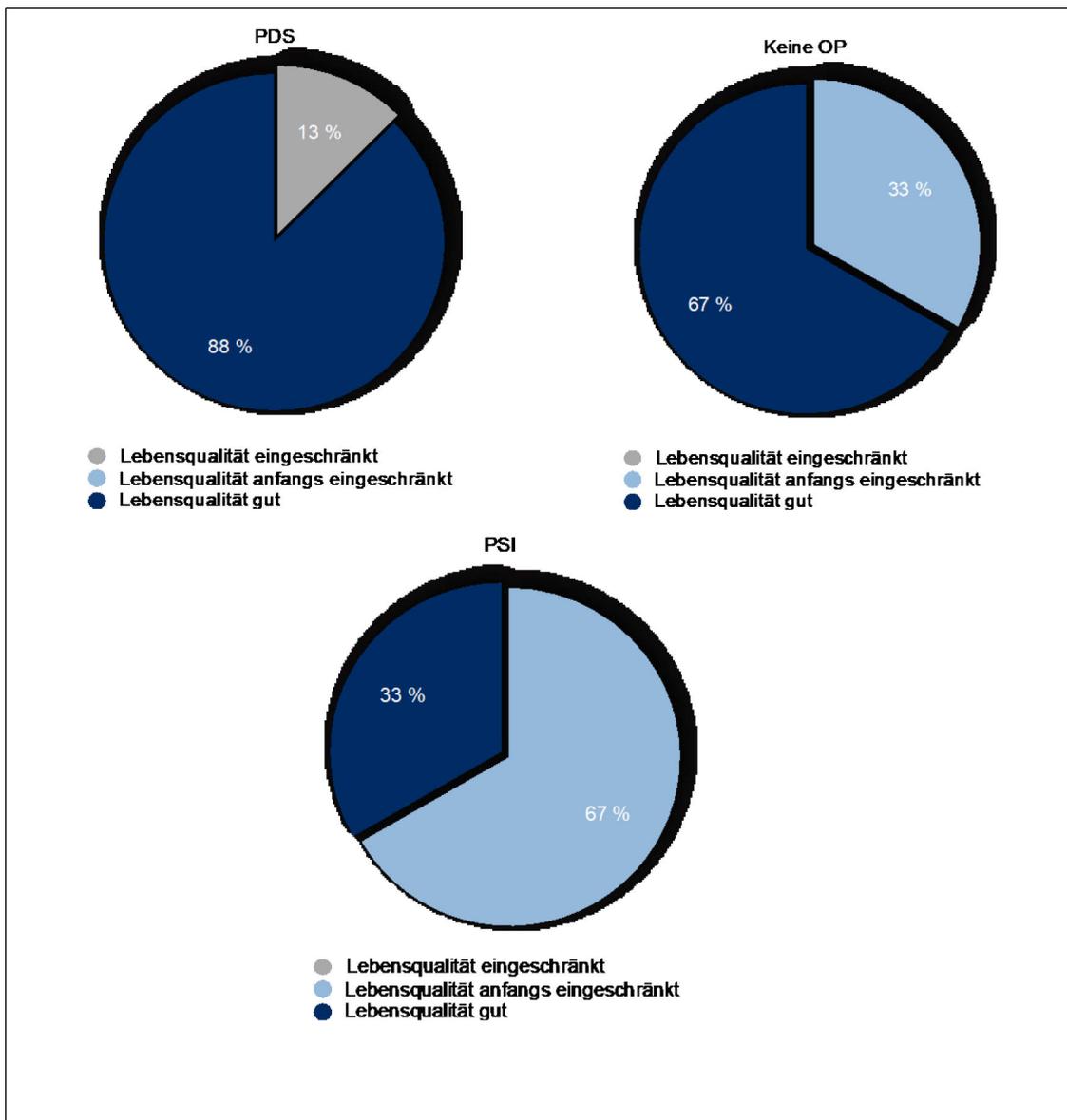


Abb. 22: Prozentuale Darstellung der Lebensqualität aufgeteilt nach erhaltener Versorgung. Zu sehen ist die Einschätzung der Lebensqualität der Patientengruppen. Der Anteil anfangs eingeschränkter Lebensqualität ist Hellblau, dauerhaft eingeschränkter Lebensqualität Grau und guter Lebensqualität Dunkelblau dargestellt.

K4 Alltag nach dem Trauma

Insgesamt beschrieben 85,7 % der Patienten ihren Alltag im Vergleich zu vorher als unverändert. Durch die Konfrontation mit der traumatischen Situation sei ein Leben ohne Ängste möglich. Für 14,3 % bestehe eine Veränderung dahingehend, im Alltag mehr Vorsicht zu zeigen und eine Schonhaltung zur Prävention einer erneuten Fraktur einzunehmen.

K5 Reaktionen des Umfelds

Unmittelbar nach dem Trauma beschrieben 53,8 % der Befragten eine Reaktion seitens des Umfeldes. Hierzu gehörten die Familie und enge Freunde, die aus Fürsorge und aufgrund auffälliger Wunden Fragen stellten. Dies sei nicht als belastend oder störend, sondern als positive Reaktion verspürt worden. In 46,2 % der Fälle sei keine Reaktion des Umfelds wahrgenommen worden. Es bestehe bei subjektivem Betrachten ein Unterschied im Seitenvergleich. Anfangs sei das Gesicht bedingt durch Schwellungen und Hämatome asymmetrisch gewesen, sodass eine soziale Interaktion teilweise vermieden wurde.

K6 Äußeres Erscheinungsbild im Vergleich zu vorher

Operierte Patienten beschrieben die Schwierigkeit der originalgetreuen Wiederherstellung des Ausgangszustands. Aus der Frage nach dem jetzigen Aussehen im Vergleich zu vorher ging hervor, dass 71,4 % mit dem Ergebnis ihrer Behandlung zufrieden seien. Nicht-operierte Patienten befürworteten bei fehlender klinischer Symptomatik den Verzicht auf einen invasiven Eingriff. So sei es ihnen wichtig, die Selbstheilungsprozesse des Organismus auszuschöpfen. Operierte Patienten mit sichtbaren Narben nahmen diese in Kauf, da diese zum Leben und zum Charme eines Menschen dazugehören würden. Weiterhin gaben 35,7 % der Befragten an, eine Veränderung zu sehen. Eine vertiefte Oberlidfurche sowie ein kleineres Auge seien subjektive Wahrnehmungen, die die Patienten aufgrund vollständiger Funktion nicht als störend empfänden.

K7 Belastungsempfinden

Weiterhin wurde erfasst, wie belastend der Zeitraum während und nach der Behandlung empfunden wurde. In 58,3 % der Fälle sei eine Belastung verspürt worden. Diese sei zum einen körperlich bedingt durch ein eingeschränktes Seh- und Bewegungsvermögen, zum anderen psychisch aufgrund des erlittenen Traumas und der sichtbaren Folgen.

Zum psychischen Leiden trug neben tätlichen Angriffen und Stürzen, die Frage nach der operativen Versorgung der Fraktur bei. So berichteten nicht-operierte Patienten über Ängste und Verzweiflung durch Uneinigkeit und Ratlosigkeit der Ärzte. Die Vorstellung eines Bruches in der Augenhöhle, der äußerlich nicht sichtbar ist, sei unangenehm. Insbesondere der Gedanke an Folgen bei nicht-operativer Behandlung belastete die Patienten. Weitere 41,7 % der Befragten konnten die gesamte Behandlung bedingt durch beruhigende Ärzte und fürsorgliche Besucher ohne Belastungsempfindung bewältigen.

K8 Funktionalität vs. Ästhetik

Zur Erfassung des Stellenwertes der Ästhetik aus Patientensicht, wurde diese der Funktionalität des Auges gegenübergestellt. Für 10 von 14 Befragten (71,4 %) ist die Funktionalität nach einer Orbitafraktur wichtiger. Das durchschnittliche Alter der Patienten mit dieser Antwort lag bei 60 Jahren (SD = 20,27). Die Ästhetik sei sekundär, da sich das Gesicht ungewollt mit dem Alter verändere. Insgesamt sei ein eingeschränktes Sehvermögen aufgrund der Angst, das Auge zu verlieren, schwerwiegender. Die Vorstellung, den Großteil aller Sinneseindrücke nicht wahrnehmen zu können, sei beängstigend. Weitere Begründungen waren der subjektive Wunsch nach besserer Funktionalität, wofür ästhetische Abstriche gemacht würden. Patienten, die sich für Funktionalität und Ästhetik entschieden, machten 28,6 % aller Antworten aus, waren durchschnittlich 38 Jahre alt (SD = 8,01) und zu 100% männlich. Ästhetik sei wichtig, da das Umfeld als erstes ins Gesicht schaue und dabei auf die Augen fokussiere. Subjektiv sei die Funktion für den Alltag maßgeblich und aufgrund des jungen Alters sei das Aussehen nicht zu vernachlässigen. Bei nur einer möglichen Antwort würden sich alle Patienten für die Funktionalität entscheiden.

3.5 Zusammenfassung aller Ergebnisse

Nach statistischem Vergleich der Gruppen ergab sich bezogen auf die radiologischen Hauptparameter ein signifikanter Unterschied zwischen den Kollektiven PDS und PSI hinsichtlich der Volumenreduktion. Es konnten keine signifikanten Veränderungen der radiologischen orbitalen Parameter bei Patienten ohne OP festgestellt werden. Weiterhin war die Veränderung des medialen orbitalen Winkels nur in der Gruppe PSI signifikant.

Hinsichtlich der klinischen Parameter konnte bei einer Versorgung mit PDS-Folien postoperativ signifikant häufiger ein ästhetisch störender Enophthalmus aufgefunden werden als präoperativ. Eine signifikante Verbesserung dieses Augenbefundes zeigte sich nach operativer Versorgung mit PSIs.

Bezogen auf die allgemeine Patientenzufriedenheit konnte gezeigt werden, dass für Patienten unabhängig von der erhaltenen Therapie das Arzt-Patienten-Verhältnis entscheidend ist. Aus Sicht des Patienten scheint die Funktionalität des Auges nach einer Orbitafraktur maßgeblich zu sein.

3.6 Statistische Voraussetzungen

Die Prüfung statistischer Zusammenhänge erfolgte nach Annahme der Normalverteilung der Variablen. Hierzu wurden der Kolmogorow-Smirnow-Test, Shapiro-Wilk-Test und die visuelle Darstellung der Verteilung mittels Histogramms durchgeführt. Die mehrfaktorielle Varianzanalyse erfolgte nach Prüfung der Variablen auf Homogenität mittels Levene-Tests, der mit $p > 0,05$ nicht signifikant war. Die Voraussetzungen waren somit erfüllt. Die Variablen waren intervallskaliert und die Annahme der Sphärizität war mit zwei Messzeitpunkten (prä- und postoperativ) gegeben. Für den Chi-Quadrat-Test war die erwartete Häufigkeit immer größer als 5.

4. Diskussion

4.1 Methodenkritik

Alle dieser Arbeit zugrundeliegenden Datensätze wurden mit der Planungssoftware iPlan 3.0.5 bearbeitet. Weitere Studien mit der Thematik patientenspezifischer Implantate bedienten sich ebenfalls dieses Programmes [9, 93, 96]. Die Ausrichtung der Datensätze erfolgte analog zu der vorliegenden Arbeit nach der Frankfurter Horizontalen und der Mediansagittalebene.

Die Messung orbitaler Winkel erfolgte nach Prüfung der Objektivität zwischen den Beobachtern (Interrater-Reliabilität). Hierzu wurde der Datensatz einer nicht-ingeschlossenen Person durch zwei Personen zu drei unterschiedlichen Zeitpunkten mehrmals nachgemessen. Bei gleichen Mittelwerten konnte eine Interobjektivität angenommen werden. Zur Vermeidung von Abweichungen wurden alle Messungen der Datensätze in Düsseldorf von derselben Person durchgeführt. Die Messungen für das Patientenkollektiv in Hannover wurden von einem anderen Mitglied der Arbeitsgruppe, jedoch unter den gleichen Kriterien durchgeführt. Ein ähnliches Vorgehen zur Prüfung der Interrater-Reliabilität ist von Lieger et al. beschrieben [97]. Durch eine manuelle Messung und Ausrichtung der Datensätze sind menschliche Fehler nicht auszuschließen. Jamali et al. berichten akkuratere Messergebnisse mithilfe von 3-D Schädelmodellen der Patienten [98]. Diese lagen in der eigenen Arbeit aufgrund des kombiniert retrospektiv-prospektiven Studiendesigns nicht vor.

Die röntgenologisch-basierte Bestimmung der Orbitavolumina mit 3-D Datensätzen stellt in der weltweiten Literatur einen Standard dar [49, 99-102]. In dieser Arbeit erfolgte die Volumenbestimmung mit der Option *cavity tools*. Es wurde eine automatische Segmentierung durch das Programm mit anschließender manueller Definition des vergrößerten Volumens durchgeführt. Ähnliche Vorgehensweisen sind in der Studie von Rana et al. und Zimmerer et al. zu finden [9, 96].

Weiterhin ist in der Literatur die manuelle Segmentierung der Orbita beschrieben. Diese ist aufgrund der Schwierigkeit der Definition der anterioren orbitalen Begrenzung bei mehreren Beobachtern, der Abhängigkeit von der Qualität der Segmentierung und dem zeitlichen Aufwand kritisch zu bewerten [97]. Die Problematik der Methode lag darin, dass nicht alle Datensätze ideale Voraussetzungen für die Planungssoftware lieferten. Durch den Einschluss von Patienten, die bis vor zehn Jahren behandelt wurden, lagen nicht in allen Fällen dünnschichtige CT-Aufnahmen vor. So konnten nur 3-D Datensätze mit einer maximalen Schichtdicke von 1,25 mm berücksichtigt werden.

Weiterhin lagen nicht von allen eingeschlossenen Patienten postoperative 3-D Aufnahmen vor. Diese wurden bei Komplikationen und persistierenden Beschwerden, jedoch nicht routinemäßig angefertigt. Die Problematik der Evaluierung der PDS-Folien liegt in ihrer mangelnden Röntgenopazität. So kann postoperativ keine genaue Aussage über die Lage der Folie in der Augenhöhle getroffen werden. Die Frage nach der Rekonstruktionsgenauigkeit bleibt in diesen Fällen offen.

Die fachärztlichen Untersuchungen wurden an den Standorten Düsseldorf und Hannover für eine bessere Vergleichbarkeit und Einhaltung gleicher Standards vom selben Augenarzt durchgeführt. Für rein visuelle Inspektionen wie die der Narben, Wundheilungsstörungen und Unterlidfehlstellungen ist dies essentiell, da keine Standards zur Beurteilung dieser Parameter existieren. Die Visusbestimmung erfolgte in dieser Studie mittels Autorefraktometers. Dies stellt eine objektive, Beobachter-unabhängige Methode dar. In vergleichbaren Studien wurden Visusmessungen mittels Snellen-Sehtests durchgeführt [95]. Diese Methode setzt eine Buchstabenkenntnis voraus und findet Einschränkungen bei Analphabeten oder Kindern.

Die Bestimmung der sagittalen Bulbusposition erfolgte analog zu vergleichbaren Studien mittels Naugle Exophthalmometers [52, 95, 96]. Der Vorteil gegenüber eines Hertel Exophthalmometers ist die akkurate und zuverlässige Messung der Bulbusposition unabhängig von assoziierten Jochbeinfrakturen bei lateralen Mittelgesichtsfrakturen [103].

Eine genauere Methode zur Quantifizierung der Bulbusposition stellen nicht-ionisierende, optische 3-D Bildgebungssysteme dar, deren Anwendung den Rahmen einer Routineuntersuchung überschreiten würde [96, 104]. Die Beurteilung der vertikalen Position des Augapfels erfolgte mittels millimeterskalierter Kestenbaumbrille, um eine genaue Aussage über das Ausmaß der Abweichung zu treffen [105, 106].

Doppelbilder wurden durch das Folgen von Fingerbewegungen des Untersuchers erfasst („*follow my finger*“ Test) [52, 95, 96]. Vergleichbare orthoptische Tests bedienten sich hierzu einer Tangententafel nach Harms, die eine Graduierbarkeit der Diplopie im Blickfeld zulässt [37, 65, 105]. In der eigenen Arbeit wurden zum Vergleich verschiedener Therapien bezüglich der Komplikationsrate nur Doppelbilder, die mit alltäglichen Blickrichtungen ohne Extrembewegungen auftreten, erfasst [107].

Die Sensibilität des zweiten Astes des N. trigeminus wurde durch spitz-stumpfe Palpation der Haut im Bereich der Nervenaustrittspunkte bewertet [100, 106]. Verfahren wie die Zwei-Punkt-Diskriminations-Methode erlauben es, zuverlässigere Aussagen über den Sensibilitätsstatus der Gesichtshaut zu treffen [108]. Die Schwierigkeit der augenärztlichen Untersuchungen bestand darin, dass bis 2017 keine einheitliche Nachsorge der Patienten in Düsseldorf geführt wurde. So wurden prä- und postoperative augenärztliche Konsile nicht routinemäßig, sondern bei Beschwerden eingeholt. Bedingt durch das durchschnittlich junge Alter und einem Alltag mit Verpflichtungen war es schwierig, bei jahrelanger Symptombefreiheit die Patienten erneut zur Vorstellung im Krankenhaus zu motivieren. Durch den Einschluss von Patienten, die bis vor zehn Jahren behandelt wurden, waren viele personenbezogene Daten nicht mehr aktuell.

In der weltweiten Fachliteratur sind nur wenige Ansätze zur Evaluierung der allgemeinen Patientenzufriedenheit nach erlittenem Orbitatrauma beschrieben. Untersuchungen in Form eines qualitativen Experteninterviews wurden in der Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie bei Patienten mit Mundhöhlenkarzinomen geführt.

Die Interviews im Rahmen dieser Arbeit erfolgten analog zu Rana et al. [109]. Der qualitative Ansatz wurde genutzt, um tiefere psychologische Aspekte in individuellen Gesprächen zu ergreifen, die durch standardisierte Fragebögen in Einzelfällen nicht erfasst werden könnten. Weiterhin war das Ziel, die Antworten der Patienten nicht nur zu analysieren, sondern zu verstehen und sich in diese hineinzusetzen [110]. Bedingt durch das qualitative Design ist eine Verallgemeinerbarkeit der gewonnenen Ergebnisse schwierig, jedoch ist die kontrastierende Stichprobe geeignet, um einen psychologischen Einblick in bisher wenig erforschte Thematiken zu bekommen. Das Problem dieser Methode besteht in der Selektion der Klientel. Es wurde versucht, eine homogene Stichprobe bezogen auf Geschlecht, Alter und Versorgung zu erhalten. Somit erfolgte eine bewusste Auswahl der Interviewpartner. Die Klientel (n = 14) wurde bezogen auf die Zielsetzung der qualitativen Forschung und der theoretischen Sättigung klein gehalten [111]. Die daraus resultierende Problematik der Überinterpretation von Prozentzahlen ist daher zu bedenken [109].

Eine in der Literatur beschriebene Alternative stellt die quantitative Datenerhebung mittels validierter Fragebögen dar. Allgemein für den Gesichtsbereich bestehen die *Derriford Appearance* Skalen zur Erfassung der Lebensqualität [112]. In einer vergleichbaren Studie von Hontscharuk et al. wurde dieser Fragebogen weiterentwickelt und als sogenannter *Orbital Appearance and Function Questionnaire* speziell auf die periorbitale Region bezogen [113].

Im Unterschied zu der eigenen Arbeit erfolgte zusätzlich die Befragung einer gesunden Kontrollgruppe. Dieser Ansatz hätte der besseren Einordnung der Antworten in einem gesundheitspsychologischen Kontext gedient. Er würde im Hinblick auf die Fragestellung dieser Arbeit bezüglich des Therapievergleichs keinen weiteren Nutzen bringen.

Vergleichbare internationale Studien mit dem Schwerpunkt auf Orbitabodenfrakturen umfassen ein Kollektiv von 12 bis 733 Patienten [9, 49, 114]. Untersuchungen der medialen Orbitawand weisen im Durchschnitt kleinere Fallzahlen auf, mit Patientenkohorten zwischen 7 und 273 [3, 22, 84]. Das dieser Arbeit zugrunde liegende Kollektiv stellt mit 261 eingeschlossenen Patienten einen internationalen Durchschnitt dar (Tabelle 11). Mit einem Geschlechterverhältnis von 1,9:1 (männlich zu weiblich) und einer Altersverteilung von 18 – 96, liegt das Patientenkollektiv dieser Arbeit bezogen auf oben genannte Studien im Mittel. Abhängig vom Standort der Klinik variiert die Hauptätiologie der Fraktur zwischen Rohheitsdelikten [88, 96, 114, 115], Stürzen [52, 65, 81] und Verkehrsunfällen [37, 116]. Isolierte mediale Orbitawandfrakturen sind analog zu der vorliegenden Arbeit (n = 13) mit Angaben zwischen 5 und 50 untersuchten Patienten in Vergleichsstudien selten, während kombinierte Frakturen mit dem Orbitaboden häufiger untersucht wurden [3, 46, 84, 117]. Das Volumen der gesunden Orbita liegt in dieser Studie bei 29,7 ml (SD = 3,16), während das der frakturierten Seite durchschnittlich 31,4 ml (SD = 3,89) beträgt. Vergleichbare Studien mit Volumenmessungen der Orbita weisen für die intakte Seite Werte zwischen 26,12 ml und 28,95 ml und für die frakturierte Seite präoperativ zwischen 27,01 ml und 30,74 ml auf [16, 49, 52, 115].

Die Volumina des vorliegenden Patientenkollektivs sind vergleichsweise etwas höher. Diese Varianzen könnten sowohl auf verschiedene Messprogramme als auf intra- und interindividuelle Variabilität bezüglich Geschlecht und Ethnie zurückgeführt werden [97, 102, 118]. Die Differenzen der gesunden zur frakturierten Gegenseite dieser Studie liegen mit 1,7 ml bezogen auf Vergleichsstudien mit Werten zwischen 0,7 ml und 4,6 ml im mittleren Bereich [16, 52, 115].

Autor/Jahr	n	Alter	m	w	Ätiologie	Therapie
Nolasco, Mathog, 1995 [22]	273	m:35,9 w:33,6	225	48	Rohheitsdelikt	Nicht-operativ, Titanmesh, autologer Knochen
Gellrich et al., 2002 [16]	18	15-61	15	3	/	Autologer Knochen
Scolozzi, 2011 [84]	10	23,5	9	1	Rohheitsdelikt	Titanmesh
Loba et al., 2012 [23]	52	41,8	45	7	/	Polypropylen Titanmesh Autologer Knochen
Gosau et al., 2011 [88]	189	43,7	148	41	Rohheitsdelikt	PDS Ethisorb® - Dura Titanmesh
Gander et al., 2015 [81]	12	53	11	1	Sturz	PSI
Zimmerer et al., 2018 [96]	144	41,5	109	35	Rohheitsdelikt	PSI
Karahisarlioglu et al., 2020	261	47,2	171	90	Rohheitsdelikt	PSI PDS Nicht-operativ

Tabelle 11: Internationale Studien im Vergleich. Verglichen werden die Gesamtanzahl der Patienten (n), das durchschnittliche Alter, die Anzahl von Männern (m) und Frauen (w), die häufigste Ätiologie der Fraktur und die erhaltene Versorgung.

In den Zahlen dieser Studie ist die nicht-operativ versorgte Gruppe enthalten, die eine hochselektierte Klientel darstellt. So setzt sich dieses Kollektiv mit insgesamt 71 Patienten überwiegend aus solchen zusammen, bei denen aufgrund diskreter klinischer Symptomatik kein chirurgischer Eingriff indiziert war (n = 42). Die Vergleichbarkeit der drei Gruppen dieser Arbeit ist durch eine Vorselektion bezüglich Defektgröße, Frakturlokalisierung und klinischer Symptomatik eingeschränkt. Hierzu eignet sich der Teil, der eine Operation trotz bestehender Indikation verweigerte, jedoch eine geringere Fallzahl aufweist (n = 8).

In vergleichbaren Studien mit nicht-operierten Patienten wurden solche mit kleiner bis mittlerer Defektgröße, Weichgewebsherniation bis 1,5 ml, fehlender Symptomatik und Kontraindikation für Allgemeinanästhesie eingeschlossen [65, 119, 120]. Die Gruppen der operativ versorgten Patienten mit PSI (n = 106) und PDS-Folie (n = 84) dieser Arbeit sind annähernd gleich groß und vergleichbar.

4.2 Ergebniskritik

Mit Hilfe von navigationsassistierter Chirurgie und patientenspezifischen Implantaten ist derzeit die präziseste Rekonstruktion der Orbita möglich [9, 95, 121-123]. Gander et al. zeigten in ihrer Studie, dass kein Patient mit PSI (n = 12) erneut operiert werden musste. Weiterhin konnten keine visuellen Beeinträchtigungen festgestellt werden [81]. In Untersuchungen von Schönegg et al. mit 41 eingesetzten PSIs erwies sich für jedes Implantat auf dem postoperativen Röntgenbild eine zufriedenstellende Position [52]. Zimmerer et al. untersuchten in einer multizentrischen Studie die röntgenologische Implantatform und Lage hinsichtlich klinischer Parameter. Es konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen unerwünschten Folgen und der Implantatposition festgestellt werden [96]. Dieses Ergebnis deckt sich mit dem der eigenen Arbeit. Hier wiesen von 106 eingeschlossenen Patienten mit PSI-Versorgung 11 eine abweichende Implantatposition auf. Es ergibt sich eine Komplikationsrate von etwa 1,1%. Dies kann bedingt durch die Erfahrung des behandelnden Chirurgen mit navigationsassistierter Chirurgie oder durch die intraoperative Schwierigkeit der Implantatpositionierung sein. Es konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen einer abweichenden Implantatposition und klinischen Parametern festgestellt werden. Bei diesen Ergebnissen wurde der Einfluss des orbitalen Weichgewebes auf das klinische Bild nicht betrachtet, denn trotz akkurater Rekonstruktion der Orbita sind temporäre postoperative Folgen nicht vermeidbar [96]. Die insgesamt geringe Anzahl fehlpositionierter Implantate zeigt tendenziell die Zuverlässigkeit computerassistierter Verfahren [9, 11, 16].

Die originalgetreue Rekonstruktion der Anatomie und des Volumens ist das Ziel der Orbitachirurgie. Umso wichtiger ist die Wiederherstellung orbitaler Winkel, welche von Rana et al. untersucht wurden [9]. Die Gegenüberstellung von im Laserschmelzverfahren hergestellter PSIs und vorgebogener Titan-Meshes ergab einen signifikanten Unterschied zwischen dem anterioren Winkel der gesunden und frakturierten Seite. Obwohl diese Studie Titan-Meshes als Vergleich heranzieht, erweist sich eine Überlegenheit individueller Implantate gegenüber anderen Materialien. Die Schlussfolgerung, dass eine akkuratere Rekonstruktion mittels PSIs hinsichtlich orbitaler Winkel erfolgen kann, deckt sich mit den Ergebnissen der eigenen Arbeit [9]. Hier zeigte sich ein signifikanter Unterschied des medialen Winkels zu den Zeitpunkten prä und post je nach Therapieform. Lediglich die Versorgung mit einem PSI führte zu einer signifikanten Veränderung des medialen orbitalen Winkels.

Die Wiederherstellung des Volumens unterschied sich in der Studie von Rana et al. zwischen den verglichenen Materialien signifikant [9]. Zimmerer et al. zeigten in ihren Untersuchungen ebenfalls einen signifikanten Volumenunterschied zwischen vorgefertigten Titanimplantaten und individualisierten Titanimplantaten. Die Varianz der Volumina zwischen gesunder und frakturierter Seite betrug für vorgefertigte Implantate $1,8 \text{ ml}^2$ verglichen mit $0,6 \text{ ml}^2$ für individualisierte [95]. Diese Ergebnisse zeigen analog zu der eigenen Studie, dass mittels patientenspezifischer Implantate eine präzisere Wiederherstellung des Volumens erfolgen kann.

Andere Ergebnisse konnten Strong et al. mit einem Vergleich zwischen individuell vorgebogenen Titanimplantaten an stereolithographischen Modellen, freihändig gebogenen und standardisierten Titanimplantaten zeigen. Es konnte kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Volumenrekonstruktion zwischen den Gruppen gefunden werden. Bezüglich der Wiederherstellung der orbitalen Kontur zeigten patientenspezifische Meshes die höchste Präzision, freihändig gebogene die geringste [124]. Kritisch ist an diesen Untersuchungen die geringe Fallzahl mit 15 prätraumatischen Schädeln und 5 STL-Modellen, da im klinischen Alltag nur posttraumatische Modelle hergestellt werden könnten.

Eine Gegenüberstellung von PSIs und PDS-Folien ist in der Literatur nicht beschrieben. Die isolierte Betrachtung von bioresorbierbaren Materialien zeigt, dass die Volumenunterschiede prä- und postoperativ nicht signifikant sind [106, 125]. You et al. stellten in der röntgenologischen Nachsorge verheilte orbitale Knochen fest, die asymmetrisch waren und im Vergleich zur gesunden Gegenseite eine Volumenvergrößerung aufwiesen [125]. In der eigenen Studie konnte eine signifikante Volumenreduktion mit PDS-Folien beobachtet werden, jedoch nicht in dem Ausmaß wie mit PSIs. Dies könnte im Vergleich zu You et al. (n = 22) auf die größere Fallzahl (n = 33) zurückzuführen sein. Weiterhin haben You et al. isolierte mediale Orbitawandfrakturen betrachtet, was die Vergleichbarkeit durch den Einschluss von Zweiwandfrakturen in der vorliegenden Arbeit einschränkt. Bei Betrachtung der Röntgenbilder 41 nicht-operierter Patienten konnten Young et al. in 91,4 % der Fälle eine Volumenreduktion und in 90,9 % eine Verknöcherung der Frakturenden beobachten [126]. In der eigenen Arbeit wurde bei einer nicht-operativen Behandlung lediglich eine Volumenreduktion von durchschnittlich 29,96 ml auf 29,86 ml, die im Vergleich zu Young et al. nicht signifikant war, beobachtet.

An der eigenen Arbeit ist die geringe Fallzahl in der Nachsorge der Gruppe „keine OP“ (n = 7) kritisch zu bewerten. Patienten, die eine Operation ablehnten, konnten schlecht motiviert werden, den Nachsorgetermin wahrzunehmen. Zudem ist diese Klientel hochselektiert und beinhaltet ohnehin Personen, die posttraumatisch eine mäßige Volumenvergrößerung aufgrund der Defektgröße aufwiesen. Daher sind diese Ergebnisse unter Berücksichtigung dieser Kritikpunkte zu betrachten.

Zu den häufigsten Symptomen bei Orbitafrakturen gehören Diplopie, Enophthalmus und Motilitätsstörungen [24, 54]. Untersuchungen zur Vorhersage dieser klinischen Erscheinungsbilder beziehen sich unter anderem auf die radiologische Defektgröße, um eine Entscheidung bezüglich der OP-Indikation treffen zu können [65]. Ploder et al. zeigten in ihrer Studie, dass ein signifikanter Zusammenhang zwischen der röntgenologischen Frakturausdehnung und einem Enophthalmus und Diplopie besteht.

Hinsichtlich Motilitätsstörungen und der Größe des Defektes erwies sich kein signifikanter Zusammenhang [99]. Diese Aussagen decken sich mit den Ergebnissen der eigenen Arbeit. Wie von Burm et al. dargestellt scheint weniger die Größe der Fraktur, als die direkte Verletzung der äußeren Augenmuskeln und des intraorbitalen Weichgewebes für Motilitätsstörungen verantwortlich zu sein [24, 99]. In dieser Studie wurde der Orbitaboden isoliert betrachtet, ohne den Einfluss der medialen Orbitawandfraktur zu berücksichtigen.

Jin et al. untersuchten den Zusammenhang zwischen klinischem Enophthalmus und der Defektgröße isolierter medialer Orbitawandfrakturen [127]. Sie fanden heraus, dass ein Enophthalmus von 2 mm bei einer Frakturausdehnung von bereits 1,9 cm² erwartet werden kann. Die Größe des Enophthalmus war proportional zu der Größe des Defektes. Die Aussagekraft ist hinsichtlich der Fallzahl mit neun eingeschlossenen Patienten kritisch zu bewerten. Das Verhältnis zwischen den Volumina beider Orbitae wurde in internationalen Studien mit einem Enophthalmus korreliert [50, 101, 128]. So zeigten Yang et al. einen signifikanten Zusammenhang zwischen Volumenvergrößerung und Grad des Enophthalmus [120].

Dieser Zusammenhang liegt ebenfalls in der eigenen Arbeit vor. In weiteren Studien konnte lediglich eine Signifikanz zwischen dem hernierten Volumen und einem Enophthalmus gefunden werden [50]. Es ist bei Betrachtung dieser Ergebnisse zu berücksichtigen, dass intraindividuelle Unterschiede der Orbitavolumina von 2% vorhanden sind und daher keine Überinterpretation erfolgen sollte [97]. Hinsichtlich der Differenzen der medialen orbitalen Winkel und klinischen Symptomen wie Enophthalmus und Diplopie konnten keine vergleichbaren Studien aufgefunden werden. Es liegt jedoch nahe, dass durch eine frakturbedingte Veränderung des intraorbitalen Zusammenhalts und der Anatomie, eine funktionelle oder ästhetische Beeinträchtigung erwartet werden kann.

Als Kritik an der eigenen Arbeit ist anzumerken, dass keine Einteilung der Fraktur nach Lokalisation erfolgte [24, 37, 65]. Ploder et al. zeigten in ihren Untersuchungen hingegen, dass die Lokalisation der Fraktur in antero-posteriorer Richtung aufgrund der Defektausdehnung keinen Unterschied hinsichtlich der Augenbefunde darstellte [99].

Weiterhin ist die isolierte Betrachtung zweier Faktoren (Defektgröße und Differenzen) hinsichtlich pathologischer Augenbefunde kritisch zu bewerten. Es bedarf vielmehr der Integration weiterer Einflüsse in die Ergebnisse, wie das Ausmaß des hernierten Volumens, die Stellung der Fragmente und die Einklemmung extraokulärer Muskeln [129]. Es können jedoch Tendenzen und Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten von Augenbefunden dargestellt werden, die im klinischen Alltag bei der Entscheidungsfindung der geeignetsten Therapie für Patienten von Bedeutung sind.

Die Auswahl des geeigneten operativen Zugangs ist unter anderem abhängig von der Lokalisation der Fraktur und den Präferenzen des Chirurgen. In der internationalen Literatur gewinnt der transkonjunktivale Zugang aufgrund hervorragender ästhetischer Resultate ohne störende Narbenbildung und einer ausreichenden Übersicht des Operationsfeldes bei Zweiwandfrakturen immer mehr an Bedeutung [84, 130-132]. Lee et al. führten bei 43 Patienten eine transkonjunktivale Schnittführung zur Rekonstruktion der medialen Orbitawand durch. Mit Hilfe dieses Zugangs konnten 90 % aller Frakturen erfolgreich dargestellt werden, ohne das lakrimale System zu beschädigen [117].

In zahlreichen klinischen Studien wurden transkutane Zugänge dem transkonjunktivalen gegenübergestellt. So berichten De Riu et al. von vermehrten sichtbaren Narben bei transkutanen Zugängen und bei subziliarer Schnittführung [90]. Die mediopalpebrale Inzision ermöglicht die Darstellung der medialen Orbitawand, birgt jedoch die Gefahr der Beschädigung des Tränenapparates und der Narbenbildung [33, 91, 130]. Bähr et al. verglichen in ihrer Studie transkutane Zugänge und konnten die meisten Komplikationen bei infraorbitaler Schnittführung feststellen [133].

Trotz des schnellen Zugangs zur Fraktur wird der infraorbitale Zugang bedingt durch sichtbare Narbenbildung von einigen Autoren abgelehnt [132, 133]. Diese Ergebnisse decken sich mit denen der eigenen Arbeit. Hier wiesen in der Nachuntersuchung 63,6 % aller Patienten mit infraorbitalem und 36,4% mit mediopalpebralem Zugang eine sichtbare Narbe auf. Bei transkonjunktivalem Schnitt waren keine ästhetisch störenden Narben zu erkennen.

Anders als in der eigenen Arbeit konnten Senese et al. keinen signifikanten Zusammenhang zwischen Hypästhesie und dem gewählten Zugang finden [134]. Nachteil der Ergebnisse ist das Problem der Abgrenzung der OP-Folgen von Traumafolgen. So kann nicht klar definiert werden, ob klinische Parameter wie Narben oder Sensibilitätsstörungen traumatisch oder operativ bedingt sind [33, 135].

Der direkte Vergleich der Therapieformen PSI, PDS und keine OP ist in der weltweiten Literatur nicht beschrieben. Bei isolierter Betrachtung der Versorgungen ergeben sich Tendenzen für langfristige Komplikationen. Die Studie von Schönegg et al. mit 41 PSI-Patienten zeigte eine Verbesserung der Augenbefunde nach erhaltener Therapie [52]. Waren es präoperativ noch 25 Patienten mit Doppelbildern und 20 mit einem Enophthalmus, so wiesen postoperativ noch 2 Personen eine Diplopie und 6 einen Enophthalmus auf.

Bezogen auf Motilitätsstörungen und Doppelbilder zeigten Zimmerer et al. ebenfalls eine Verbesserung nach Versorgung mit einem patientenspezifischen Implantat [95]. Von 15 Patienten, die präoperativ Motilitätsprobleme aufwiesen, waren 13 in der Nachuntersuchung beschwerdefrei. Eine ähnliche Verbesserung zeigte sich für Doppelbilder, mit präoperativ 25 und postoperativ 15 Betroffenen. Die in der eigenen Arbeit initial erhöhten Motilitätsstörungen in der Gruppe PSI sind am ehesten temporär und schwellungsbedingt. Weiterhin sind die meisten Doppelbilder ebenfalls auf die Schwellung zurückzuführen oder temporär, da das Gehirn diese mit der Zeit ausblendet.

Untersuchungen zu PDS-Folien und langfristigen Komplikationen zeigen andere Ergebnisse. Kontio et al. untersuchten 16 Patienten und stellten trotz röntgenologisch sichtbaren Knochenwachstums eine unzureichende Form und

Volumenreduktion fest [106]. Präoperativ wiesen 2 Personen einen Enophthalmus auf und in der Nachsorge waren es 6. Initiale Doppelbilder und Sensibilitätsstörungen verbesserten sich. Sie kamen zu dem Schluss, dass mit PDS-Folien aufgrund der Flexibilität und Degradation nach bereits 2 Monaten keine erfolgreiche Rekonstruktion erfolgen kann und die Knochenheilung in Fehlstellung verläuft [79, 106]. Kritisch ist an diesen Untersuchungen die fehlende Relation zur Defektgröße zu betrachten. Letztere wurde von Baumann et al. als weiterer Einflussfaktor genannt [107]. Von 32 Personen wiesen 7 postoperativ einen Enophthalmus auf, davon hatten 5 von 6 Patienten einen großen Defekt. Daraus ergab sich die Schlussfolgerung, dass PDS-Folien insbesondere bei großen Defekten keine ausreichende Stabilität zur Aufrechterhaltung des orbitalen Inhalts aufweisen.

In Studien mit nicht-operierten Patienten konnte in der Nachsorge vermehrt ein Enophthalmus gemessen werden [119, 126]. Die Befunde Motilitätsstörungen, Diplopie und Hypästhesie zeigten tendenziell eine Verbesserung [126]. In der eigenen Arbeit hatten, analog zu den genannten Studien, in der Gruppe PSI signifikant weniger Personen postoperativ einen Enophthalmus als präoperativ. Auch die Ergebnisse der Gruppe PDS decken sich mit denen internationaler Studien. Nach Erhalt dieser Versorgung wiesen signifikant mehr Personen, verglichen mit dem präoperativen Befund, postoperativ einen Enophthalmus auf. Bedingt durch die geringe Fallzahl in der Nachsorge der nicht-operierten Gruppe (n = 7) konnte keine Person mit diesem Befund untersucht werden. Für Motilitätsstörungen und Hypästhesie wurde keine signifikante Veränderung in eine Richtung festgestellt.

Weiterhin gibt es Studien, die keinen signifikanten Zusammenhang zwischen pathologischen Augenbefunden und dem Material gefunden haben [46, 136]. Die Beurteilung von Diplopie ist dahingehend kritisch zu sehen, dass kein direkter Rückschluss auf die Ursache erfolgen kann. Die traumatisch bedingte Verletzung extraokulärer Muskeln wird ebenfalls als Ursache betrachtet. Die konsekutive Schwellung kann postoperativ unabhängig von der Therapie anhalten und zu temporären Doppelbildern führen [137].

An den Untersuchungen zum Enophthalmus ist kritisch anzumerken, dass die Rolle des Jochbeins nicht diskutiert wurde. So kann eine Fehlstellung ebenfalls ein Einsinken des Augapfels begünstigen [107]. Zudem kann ein Enophthalmus präoperativ bedingt durch die Schwellung unerkannt bleiben und die Vergleichbarkeit mit postoperativen Befunden einschränken [52].

Die Wiederherstellung von Funktionalität, Ästhetik und Lebensqualität ist mitunter das Ziel der Orbitachirurgie [113]. Entscheidend ist in diesem Zusammenhang die psychologische Komponente, da Traumata im Gesichtsbereich eine Besonderheit darstellen [113, 138]. Hontscharuk et al. verglichen die Lebensqualität von Patienten nach Rekonstruktion unilateraler Orbitafrakturen mit einer gesunden Kontrollgruppe mittels validierter *Derriford Appearance* Skalen [112, 113]. Sie stellten trotz gelungener Rekonstruktion eine größere Belastung und mehr Stress bei traumatisierten Patienten fest, als bei der Kontrollgruppe. Weiterhin konnte verglichen mit ästhetischen Gesichtspunkten eine signifikant größere Belastung hinsichtlich funktioneller Parameter festgestellt werden. Dies stimmt mit den Ergebnissen der eigenen Interviews überein, bei denen 58,3 % der Befragten angaben, eine Belastung aufgrund der anfangs körperlichen und funktionellen Einschränkungen empfunden zu haben.

Folkestad et al. zeigten in ihrer Studie mit 46 Patienten, dass in der Nachsorge der Anteil unzufriedener Patienten hinsichtlich der äußeren Erscheinung abnahm [139]. Waren es präoperativ noch 25 % Unzufriedene, so fiel diese Zahl in der langfristigen Untersuchung auf 6% ab. Sie kamen zu der Schlussfolgerung, dass Traumafolgen wie Narben nicht in allen Fällen ein Leiden des Patienten bewirken müssen. Die Ergebnisse der eigenen Arbeit zeigen, dass 71,4 % der Patienten laut Aussage eine gute Lebensqualität haben und den wiederhergestellten Zustand schätzen. Die Funktionalität des Auges sei an erster Stelle und Patienten würden für eine uneingeschränkte Sehfunktion in jedem Fall ästhetische Abstriche machen und sichtbare Narben in Kauf nehmen.

In der weltweiten Literatur existiert keine Studie zur Lebensqualität von Patienten mit PSIs zur Orbitarekonstruktion. Aus den eigenen Untersuchungen lässt sich schließen, dass das Arzt-Patienten-Verhältnis eine Schlüsselstellung einnimmt. Der Patient scheint sich der erhaltenen Versorgung nicht bewusst zu sein und vertraut auf den ärztlichen Rat. Umso wichtiger erscheint in diesem Zusammenhang eine gute Aufklärung und ein Vertrauensverhältnis zum Arzt. In Fällen gescheiterter Kommunikation und Verunsicherung war die psychische Belastung größer und damit die Lebensqualität anfangs tendenziell schlechter. Weiterhin scheint der Patient sich der Vorteile einer PSI-Versorgung nicht bewusst zu sein. Es bedarf vielmehr einer psychologischen Unterstützung, um das Belastungsempfinden und die temporäre Einschränkung der Lebensqualität so gering wie möglich zu halten. Der Einfluss der Persönlichkeit auf die verspürte Belastung und den Umgang mit dem Trauma darf dabei nicht außer Acht gelassen werden [140, 141].

4.3 Schlussfolgerung

Die mediale Orbitawandfraktur ist nach Indikationsstellung versorgungswürdig, um Langzeitfolgen wie einen ästhetisch störenden Enophthalmus zu vermeiden. Die Schwierigkeit der Rekonstruktion dieses Bereiches liegt in der anspruchsvollen, dreidimensionalen Anatomie der knöchernen Orbita. Hinzu kommen kritische Strukturen wie die Ethmoidalgefäße und der Sehnerv, die bedingt durch eine schlechte Sicht im Operationsfeld eine Herausforderung für den Chirurgen darstellen. Weitreichende Folgen wie Motilitätsstörungen, Muskeleinklemmung, Blutung und Dislokation des Implantates erfordern eine für Patient und Behandler sichere Methode.

Patientenspezifische Implantate in Kombination mit einem transkonjunktivalen, retroseptalen Zugang stellen tendenziell eine zuverlässige Therapie dar. Neben einer signifikanten Volumenreduktion kann mit PSIs als einzige Methode eine signifikante Wiederherstellung der dreidimensionalen Anatomie erreicht werden.

Daher ist die Schlussfolgerung, dass wenn die Indikation zur operativen Behandlung der medialen Orbitawand gestellt wurde, moderne Operationstechniken tendenziell besser abschneiden. Hinsichtlich der allgemeinen Patientenzufriedenheit ist eine gute Aufklärung und ein Vertrauensverhältnis zum Arzt entscheidend.

4.4 Ausblick

Die CAS in Kombination mit patientenspezifischen Implantaten stellt eine erfolgversprechende Methode in der Orbitatraumatologie dar. Durch Fortschritte im Bereich der Bildqualität und Technik kommt neuen Verfahren eine wichtige Rolle zu. Wurde ihnen bisher aufgrund zusätzlicher Kosten und konservativem Denken mit Skepsis begegnet, so hat sich ihre Verwendung auf mehrere Fachdisziplinen wie die Neurochirurgie, Hals-Nasen-Ohrenheilkunde und Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie erweitert. Zunehmend wird der Bereich der modernen Operationstechniken durch Einsatz von visuellen Zusatzinformationen mit Hilfe von spezialisierten Sehhilfen im Rahmen der *Augmented Reality* erweitert. Die Einsicht in nicht sichtbare Bereiche wird somit verbessert. Auch zukünftig kann ein zunehmender Einsatz außerhalb der Medizin angenommen werden. Im Gegensatz hierzu bietet die *Virtual Reality* keinen direkten visuellen Bezug zur physischen Welt. Insgesamt tragen sowohl die *Virtual Reality* als auch die *Augmented Reality* zu einer Verbesserung der medizinischen Ausbildung, der Planung und Durchführung von Eingriffen bei [142]. Im Zeitalter der modernen Techniken dominiert das zunehmende Streben nach Sicherheit und Perfektion von Seiten des Chirurgen und des Patienten. Der Anspruch an anatomisch exakte Rekonstruktionen sowie funktionelle und ästhetische Bedürfnisse befürworten die Anwendung moderner Operationstechniken. Auch der erleichterten Ausbildung des Personals kommt eine bedeutende Rolle zu.

Herkömmliche Verfahren und Rekonstruktionsmaterialien werden vermutlich für Ausnahmeindikationen nicht vollständig verdrängt werden. Weiterhin fehlen Langzeitstudien zur Evaluation der PSIs mit größeren Fallzahlen. Die Frage nach der Zuverlässigkeit des Materials bei erneut erlittenem Orbitatrauma bleibt offen. Laut bisherigem Kenntnisstand zeigen moderne Operationstechniken Tendenzen in Richtung Präzision und Vorhersagbarkeit, weshalb der zukünftige internationale Einsatz befürwortet werden kann.

5. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Entwicklung verschiedener Titanimplantate zur Orbitarekonstruktion....	3
Abb. 2: Beispiel für den Ablauf der CAPP im klinischen Alltag.....	4
Abb. 3: Intraoperative Lagekontrolle des patientenspezifischen Implantates.....	5
Abb. 4: Dreidimensionale Anatomie der linken Orbita in iPlan 3.0.5	7
Abb. 5: Einsatzhäufigkeit verschiedener bildgebender Verfahren in der Orbitatraumatologie.....	15
Abb. 6: Übersicht bisher verwendeter Materialien zur Orbitarekonstruktion.....	19
Abb. 7: Transkonjunktivaler Zugang zur Darstellung des Orbitabodens und der medialen Orbitawand	22
Abb. 8: Schaubild über die Patientenzusammensetzung und den Verlauf der klinischen Studie.	25
Abb. 9: Virtuelle Planung eines PSI der rechten Orbita in iPlan CMF 3.0.5	28
Abb. 10: Operationsablauf in der computerassistierten Chirurgie	29
Abb. 11: Ausrichtung der Datensätze nach der Frankfurter Horizontalen in iPlan CMF 3.0.5 (3D, axial, sagittal und koronar).....	33
Abb. 12: Winkelmessung zwischen der medialen Orbitawand in iPlan CMF 3.0.5. in koronarer Schicht	35
Abb. 13: Orbital cavity Algorithmus zur automatischen Volumenberechnung in iPlan CMF 3.0.5..	35
Abb. 14: Traumaursachen aller Patienten.....	38
Abb. 15: Medialer Winkel der frakturierten Seite in Abhängigkeit von der Therapie und dem Zeitpunkt	42
Abb. 16: Volumen der frakturierten Seite in Abhängigkeit von der Therapie und dem Zeitpunkt	43
Abb. 17: Wahrscheinlichkeit pathologischer Augenbefunde in Abhängigkeit von der Defektgröße	44
Abb. 18: Odds Ratio pathologischer Augenbefunde hinsichtlich der Differenzen objektiver orbitaler Parameter	45
Abb. 19: Komplikationen verschiedener Zugänge.....	47
Abb. 20: Komplikationen der Therapieformen.....	48

Abbildungsverzeichnis

Abb. 21: Definition der Lebensqualität	51
Abb. 22: Prozentuale Darstellung der Lebensqualität aufgeteilt nach erhaltener Versorgung.....	52

6. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Klassifikation medialer Orbitawandfrakturen nach Burm et al., 1995 [24].....	9
Tabelle 2: Einteilung medialer Orbitawandfrakturen nach Nolasco und Mathog, 1995 [22].....	10
Tabelle 3: Klassifikation von Orbitafrakturen nach Jaquiéry et al., 2006 [37] ...	10
Tabelle 4: Sichere und unsichere Frakturzeichen bei Orbita- und Mittelgesichtsfrakturen, modifiziert nach C. Deichmüller, H.-J. Welkoborsky [38]	11
Tabelle 5: Einteilung der Operationszeitpunkte nach klinischer Indikation nach Burnstine [2].	18
Tabelle 6: Gesamtes Patientenkollektiv	26
Tabelle 7: Interviewleitfaden.....	32
Tabelle 8: Kategorienübersicht.....	36
Tabelle 9: Anzahl der Patienten nach Gruppe und Parameter.....	40
Tabelle 10: Deskriptive Statistiken	41
Tabelle 11: Internationale Studien im Vergleich	61

7. Literaturverzeichnis

1. Dubois, L., et al., *Controversies in orbital reconstruction-III. Biomaterials for orbital reconstruction: a review with clinical recommendations*. Int J Oral Maxillofac Surg, 2016. **45**(1): p. 41-50.
2. Burnstine, M.A., *Clinical recommendations for repair of orbital facial fractures*. Curr Opin Ophthalmol, 2003. **14**(5): p. 236-40.
3. Belli, E., C. Matteini, and N. Mazzone, *Evolution in diagnosis and repairing of orbital medial wall fractures*. J Craniofac Surg, 2009. **20**(1): p. 191-3.
4. Wolfe, S.A., *The influence of Paul Tessier on our current treatment of facial trauma, both in primary care and in the management of late sequelae*. Clin Plast Surg, 1997. **24**(3): p. 515-8.
5. Manson, P.N., E.J. Ruas, and N.T. Iliff, *Deep orbital reconstruction for correction of post-traumatic enophthalmos*. Clin Plast Surg, 1987. **14**(1): p. 113-21.
6. Hammer, B. and J. Prein, *Correction of post-traumatic orbital deformities: operative techniques and review of 26 patients*. J Craniomaxillofac Surg, 1995. **23**(2): p. 81-90.
7. Sugar, A.W., M. Kuriakose, and N.D. Walshaw, *Titanium mesh in orbital wall reconstruction*. Int J Oral Maxillofac Surg, 1992. **21**(3): p. 140-4.
8. Mustafa, S.F., et al., *Customized titanium reconstruction of post-traumatic orbital wall defects: a review of 22 cases*. Int J Oral Maxillofac Surg, 2011. **40**(12): p. 1357-62.

9. Rana, M., et al., *Increasing the accuracy of orbital reconstruction with selective laser-melted patient-specific implants combined with intraoperative navigation*. J Oral Maxillofac Surg, 2015. **73**(6): p. 1113-8.
10. Hohlweg-Majert, B., et al., *Navigational maxillofacial surgery using virtual models*. World J Surg, 2005. **29**(12): p. 1530-8.
11. Schramm, A., et al., *Computer-assisted therapy in orbital and mid-facial reconstructions*. Int J Med Robot, 2009. **5**(2): p. 111-24.
12. Schramm, A. and F. Wilde, *[Computer-assisted reconstruction of the facial skeleton]*. Hno, 2011. **59**(8): p. 800-6.
13. Choi, J.Y., et al., *Analysis of errors in medical rapid prototyping models*. Int J Oral Maxillofac Surg, 2002. **31**(1): p. 23-32.
14. Kim, Y.C., et al., *The accuracy of patient specific implant prebent with 3D-printed rapid prototype model for orbital wall reconstruction*. J Craniomaxillofac Surg, 2017. **45**(6): p. 928-936.
15. Schramm, A., et al., *Non-invasive referencing in computer-assisted surgery*. Med Biol Engin Comput 1999. **37**: p. 644-645.
16. Gellrich, N.C., et al., *Computer-assisted secondary reconstruction of unilateral posttraumatic orbital deformity*. Plast Reconstr Surg, 2002. **110**(6): p. 1417-29.
17. Dubois, L., et al., *Predictability in orbital reconstruction: A human cadaver study. Part II: Navigation-assisted orbital reconstruction*. J Craniomaxillofac Surg, 2015. **43**(10): p. 2042-9.

18. Rana, M., et al., *Development and demonstration of a novel computer planning solution for predefined correction of enophthalmos in anophthalmic patients using prebended 3D titanium-meshes--a technical note*. J Oral Maxillofac Surg, 2012. **70**(11): p. e631-8.
19. Deborah, D., Burkat. SCN., Lemke, BN., *Anatomy and its clinical Applications*, in *Duane's Ophthalmology*, T. W and J. EA, Editors. 2006, Lippincott Williams & Wilkins: Philadelphia.
20. Hosal, B.M. and R.L. Beatty, *Diplopia and enophthalmos after surgical repair of blowout fracture*. Orbit, 2002. **21**(1): p. 27-33.
21. Shere, J.L., et al., *An analysis of 3599 midfacial and 1141 orbital blowout fractures among 4426 United States Army Soldiers, 1980-2000*. Otolaryngol Head Neck Surg, 2004. **130**(2): p. 164-70.
22. Nolasco, F.P. and R.H. Mathog, *Medial orbital wall fractures: classification and clinical profile*. Otolaryngol Head Neck Surg, 1995. **112**(4): p. 549-56.
23. Loba, P., et al., *Management of persistent diplopia after surgical repair of orbital fractures*. J aapos, 2012. **16**(6): p. 548-53.
24. Burm, J.S., C.H. Chung, and S.J. Oh, *Pure orbital blowout fracture: new concepts and importance of medial orbital blowout fracture*. Plast Reconstr Surg, 1999. **103**(7): p. 1839-49.
25. Osguthorpe, J.D., *Orbital wall fractures: evaluation and management*. Otolaryngol Head Neck Surg, 1991. **105**(5): p. 702-7.
26. Converse, J.M., et al., *Orbital blowout fractures: a ten-year survey*. Plast Reconstr Surg, 1967. **39**(1): p. 20-36.

27. Crumley, R.L., et al., *Fractures of the orbital floor*. Laryngoscope, 1977. **87**(6): p. 934-47.
28. Hwang, K., H.J. Kim, and H.S. Lee, *Blow-in fracture of the orbit*. J Craniofac Surg, 2013. **24**(5): p. 1828-9.
29. Lighterman, I. and C. Reckson, *"Blow-in" fracture of the orbit*. Ann Plast Surg, 1979. **3**(6): p. 572-5.
30. Park, I.H., H.M. Lee, and K. Yanagi, *Endoscopic transantral and transnasal repair of orbital floor fracture with the ballooning technique, and classification and characterization of orbital floor fractures*. Am J Rhinol Allergy, 2015. **29**(6): p. 445-8.
31. Ahmad, F., et al., *Strain gauge biomechanical evaluation of forces in orbital floor fractures*. Br J Plast Surg, 2003. **56**(1): p. 3-9.
32. Waterhouse, N., et al., *An investigation into the mechanism of orbital blowout fractures*. Br J Plast Surg, 1999. **52**(8): p. 607-12.
33. Choi, M. and R.L. Flores, *Medial orbital wall fractures and the transcaruncular approach*. J Craniofac Surg, 2012. **23**(3): p. 696-701.
34. Fujino, T., *Experimental "blowout" fracture of the orbit*. Plast Reconstr Surg, 1974. **54**(1): p. 81-2.
35. Fujino, T. and K. Makino, *Entrapment mechanism and ocular injury in orbital blowout fracture*. Plast Reconstr Surg, 1980. **65**(5): p. 571-6.
36. Nagasao, T., et al., *Interaction of hydraulic and buckling mechanisms in blowout fractures*. Ann Plast Surg, 2010. **64**(4): p. 471-6.

37. Jaquierey, C., et al., *Reconstruction of orbital wall defects: critical review of 72 patients*. Int J Oral Maxillofac Surg, 2007. **36**(3): p. 193-9.
38. Welkoborsky, H.-J. and C. Deichmüller, *Traumatologie und traumatische Optikusneuropathie (TON)*, in *Orbita- interdisziplinäres Management der Orbitaerkrankungen*, H.-J. Welkoborsky, B. Wiechens, and M. Hinni, Editors. 2016: Stuttgart. p. 157.
39. Burnstine, M.A., *Clinical recommendations for repair of isolated orbital floor fractures: an evidence-based analysis*. Ophthalmology, 2002. **109**(7): p. 1207-10; discussion 1210-1; quiz 1212-3.
40. Rauch, S.D., *Medial orbital blow-out fracture with entrapment*. Arch Otolaryngol, 1985. **111**(1): p. 53-5.
41. Davidson, T.M., R.M. Olesen, and A.M. Nahum, *Medial orbital wall fracture with rectus entrapment*. Arch Otolaryngol, 1975. **101**(1): p. 33-5.
42. Dodick, J.M., et al., *Concomitant medial wall fracture and blowout fracture of the orbit*. Arch Ophthalmol, 1971. **85**(3): p. 273-6.
43. Leone, C.R., Jr., W.C. Lloyd, 3rd, and G. Rylander, *Surgical repair of medial wall fractures*. Am J Ophthalmol, 1984. **97**(3): p. 349-56.
44. Thering, H.R. and J.N. Bogart, *Blowout fracture of the medial orbital wall, with entrapment of the medial rectus muscle*. Plast Reconstr Surg, 1979. **63**(6): p. 848-52.
45. Brucoli, M., et al., *Analysis of complications after surgical repair of orbital fractures*. J Craniofac Surg, 2011. **22**(4): p. 1387-90.

46. Ordon, A.J., et al., *The influence of concomitant medial wall fracture on the results of orbital floor reconstruction*. J Craniomaxillofac Surg, 2018. **46**(4): p. 573-577.
47. Yab, K., S. Tajima, and S. Ohba, *Displacements of eyeball in orbital blowout fractures*. Plast Reconstr Surg, 1997. **100**(6): p. 1409-17.
48. Parsons, G.S. and R.H. Mathog, *Orbital wall and volume relationships*. Arch Otolaryngol Head Neck Surg, 1988. **114**(7): p. 743-7.
49. Essig, H., et al., *Precision of posttraumatic primary orbital reconstruction using individually bent titanium mesh with and without navigation: a retrospective study*. Head Face Med, 2013. **9**: p. 18.
50. Zhang, Z., et al., *Correlation between volume of herniated orbital contents and the amount of enophthalmos in orbital floor and wall fractures*. J Oral Maxillofac Surg, 2012. **70**(1): p. 68-73.
51. Clauser, L., et al., *Posttraumatic enophthalmos: etiology, principles of reconstruction, and correction*. J Craniofac Surg, 2008. **19**(2): p. 351-9.
52. Schonegg, D., et al., *Correlation between increased orbital volume and enophthalmos and diplopia in patients with fractures of the orbital floor or the medial orbital wall*. J Craniomaxillofac Surg, 2018.
53. Gerbino, G., G.A. Ramieri, and A. Nasi, *Diagnosis and treatment of retrobulbar haematomas following blunt orbital trauma: a description of eight cases*. Int J Oral Maxillofac Surg, 2005. **34**(2): p. 127-31.
54. Park, M.S., et al., *Prevalence of Diplopia and Extraocular Movement Limitation according to the Location of Isolated Pure Blowout Fractures*. Arch Plast Surg, 2012. **39**(3): p. 204-8.

55. Shetty, T.T., et al., *Posterior medial wall blow out fracture*. Br J Ophthalmol, 1995. **79**(4): p. 390.
56. Rumelt, M.B. and J.T. Ernest, *Isolated blowout fracture of the medial orbital wall with medial rectus muscle entrapment*. Am J Ophthalmol, 1972. **73**(3): p. 451-3.
57. Fogaca, W.C., et al., *Evaluation of cutaneous sensibility on infraorbital nerve area*. J Craniofac Surg, 2005. **16**(6): p. 953-6.
58. Jecker, P., *Ultraschalluntersuchungen der Nasennebenhöhlen und der Orbita*, in *Ultraschall im Kopf-Hals-Bereich*, W. H-J, et al., Editors. 2013, Thieme: Stuttgart.
59. Srirangam, R., et al., *Unusual intraorbital foreign body*. BMJ Case Rep, 2012. **2012**.
60. Welkoborsky, H-J., *Bildgebende Untersuchungen der Orbita*, in *Orbita-Interdisziplinäres Management der Orbitaerkrankungen*, W. H.-J., W. B, and H. M.L., Editors. 2016, Thieme: Stuttgart. p. 83-84.
61. Pangalu, A., Valavanis, A., *Bildgebende Untersuchungen der Orbita*, in *Orbita- interdisziplinäres Management der Orbitaerkrankungen*, W. H.-J., W. B, and H. M.L., Editors. 2016, Thieme: Stuttgart. p. 66-71.
62. Ziegler, C.M., et al., *Clinical indications for digital volume tomography in oral and maxillofacial surgery*. Dentomaxillofac Radiol, 2002. **31**(2): p. 126-30.
63. Zizelmann, C., et al., *Computer-assisted reconstruction of orbital floor based on cone beam tomography*. Br J Oral Maxillofac Surg, 2007. **45**(1): p. 79-80.

64. Dubois, L., et al., *Controversies in orbital reconstruction--I. Defect-driven orbital reconstruction: a systematic review*. Int J Oral Maxillofac Surg, 2015. **44**(3): p. 308-15.
65. Kunz, C., G.R. Sigron, and C. Jaquier, *Functional outcome after non-surgical management of orbital fractures--the bias of decision-making according to size of defect: critical review of 48 patients*. Br J Oral Maxillofac Surg, 2013. **51**(6): p. 486-92.
66. Bowers, J.F., *THE MANAGEMENT OF BLOW-OUT FRACTURE OF THE ORBITAL FLOOR*. Surv Ophthalmol, 1964. **9**: p. 237-43.
67. Emery, J.M., G.K. Noorden, and D.A. Sclernitzauer, *Orbital floor fractures: long-term follow-up of cases with and without surgical repair*. Trans Am Acad Ophthalmol Otolaryngol, 1971. **75**(4): p. 802-12.
68. Harris, G.J., *Orbital blow-out fractures: surgical timing and technique*. Eye (Lond), 2006. **20**(10): p. 1207-12.
69. Giroto, J.A., et al., *Blindness after reduction of facial fractures*. Plast Reconstr Surg, 1998. **102**(6): p. 1821-34.
70. Segrest, D.R. and R.K. Dortzbach, *Medial orbital wall fractures: complications and management*. Ophthalmic Plast Reconstr Surg, 1989. **5**(2): p. 75-80.
71. Bodker, F.S., et al., *Postoperative mydriasis after repair of orbital floor fracture*. Am J Ophthalmol, 1993. **115**(3): p. 372-5.
72. Biesman, B.S., et al., *Diplopia after surgical repair of orbital floor fractures*. Ophthalmic Plast Reconstr Surg, 1996. **12**(1): p. 9-16; discussion 17.

73. Dubois, L., et al., *Controversies in orbital reconstruction--II. Timing of post-traumatic orbital reconstruction: a systematic review*. Int J Oral Maxillofac Surg, 2015. **44**(4): p. 433-40.
74. Hawes, M.J. and R.K. Dortzbach, *Surgery on orbital floor fractures. Influence of time of repair and fracture size*. Ophthalmology, 1983. **90**(9): p. 1066-70.
75. Roth, A., P. Desmangles, and B. Rossillion, *[Early treatment of secondary muscle restriction due to orbital blow-out fractures]*. J Fr Ophtalmol, 1999. **22**(6): p. 645-50.
76. Matteini, C., et al., *Surgical timing in orbital fracture treatment: experience with 108 consecutive cases*. J Craniofac Surg, 2004. **15**(1): p. 145-50.
77. Wajih, W.A., B. Shahrudin, and N.H. Razak, *Hospital Universiti Sains Malaysia experience in orbital floor reconstruction: autogenous graft versus Medpor*. J Oral Maxillofac Surg, 2011. **69**(6): p. 1740-4.
78. Sakai, K., et al., *Graft-related disease progression in dura mater graft-associated Creutzfeldt-Jakob disease: a cross-sectional study*. BMJ Open, 2013. **3**(8): p. e003400.
79. Kontio, R., et al., *Biodegradable polydioxanone and poly(l/d)lactide implants: an experimental study on peri-implant tissue response*. Int J Oral Maxillofac Surg, 2005. **34**(7): p. 766-76.
80. Ellis, E., 3rd and E. Messo, *Use of nonresorbable alloplastic implants for internal orbital reconstruction*. J Oral Maxillofac Surg, 2004. **62**(7): p. 873-81.

81. Gander, T., et al., *Patient specific implants (PSI) in reconstruction of orbital floor and wall fractures*. J Craniomaxillofac Surg, 2015. **43**(1): p. 126-30.
82. Sanno, T., et al., *Endoscopic endonasal reduction for blowout fracture of the medial orbital wall*. Plast Reconstr Surg, 2003. **112**(5): p. 1228-37; discussion 1238.
83. RC, L., *The technique of a radical sinus operation which has given me the best result*. Laryngoscope, 1921: p. 31:1–5. doi: 10.1288/00005537-192101000-00001.
84. Scolozzi, P., *Reconstruction of severe medial orbital wall fractures using titanium mesh plates placed using transcaruncular-transconjunctival approach: a successful combination of 2 techniques*. J Oral Maxillofac Surg, 2011. **69**(5): p. 1415-20.
85. Wiechens, B., *Chirurgische Zugangswege zur Orbita*, in *Orbita-interdisziplinäres Management der Orbitaerkrankungen*, H.-J. Welkoborsky, Editor. 2016: Stuttgart. p. 346.
86. Rhim, C.H., et al., *Orbital floor fractures: a retrospective review of 45 cases at a tertiary health care center*. Craniomaxillofac Trauma Reconstr, 2010. **3**(1): p. 41-7.
87. Tessier, P., *The conjunctival approach to the orbital floor and maxilla in congenital malformation and trauma*. J Maxillofac Surg, 1973. **1**(1): p. 3-8.
88. Gosau, M., et al., *Retrospective analysis of orbital floor fractures--complications, outcome, and review of literature*. Clin Oral Investig, 2011. **15**(3): p. 305-13.

89. Ben Simon, G.J., et al., *External (subciliary) vs internal (transconjunctival) involuntional entropion repair*. Am J Ophthalmol, 2005. **139**(3): p. 482-7.
90. De Riu, G., et al., *Subciliary versus swinging eyelid approach to the orbital floor*. J Craniomaxillofac Surg, 2008. **36**(8): p. 439-42.
91. Baumann, A. and R. Ewers, *Transcaruncular approach for reconstruction of medial orbital wall fracture*. Int J Oral Maxillofac Surg, 2000. **29**(4): p. 264-7.
92. Persons, B.L. and G.B. Wong, *Transantral endoscopic orbital floor repair using resorbable plate*. J Craniofac Surg, 2002. **13**(3): p. 483-8; discussion 488-9.
93. Copelli, C., et al., *Endoscopic transnasal approach and intraoperative navigation for the treatment of isolated blowout fractures of the medial orbital wall*. J Craniomaxillofac Surg, 2015. **43**(10): p. 1974-8.
94. Fernandes, R., et al., *Endoscopic repair of isolated orbital floor fracture with implant placement*. J Oral Maxillofac Surg, 2007. **65**(8): p. 1449-53.
95. Zimmerer, R.M., et al., *A prospective multicenter study to compare the precision of posttraumatic internal orbital reconstruction with standard preformed and individualized orbital implants*. J Craniomaxillofac Surg, 2016. **44**(9): p. 1485-97.
96. Zimmerer, R.M., et al., *Is there more to the clinical outcome in posttraumatic reconstruction of the inferior and medial orbital walls than accuracy of implant placement and implant surface contouring? A prospective multicenter study to identify predictors of clinical outcome*. J Craniomaxillofac Surg, 2018. **46**(4): p. 578-587.

97. Lieger, O., et al., *How Symmetrical Are Bony Orbits in Humans?* J Oral Maxillofac Surg, 2019. **77**(1): p. 118-125.
98. Jamali, A.A., et al., *Linear and angular measurements of computer-generated models: are they accurate, valid, and reliable?* Comput Aided Surg, 2007. **12**(5): p. 278-85.
99. Ploder, O., et al., *Evaluation of computer-based area and volume measurement from coronal computed tomography scans in isolated blowout fractures of the orbital floor.* J Oral Maxillofac Surg, 2002. **60**(11): p. 1267-72; discussion 1273-4.
100. Safi, A.F., et al., *Influence of the volume of soft tissue herniation on clinical symptoms of patients with orbital floor fractures.* J Craniomaxillofac Surg, 2016. **44**(12): p. 1929-1934.
101. Choi, S.H. and D.H. Kang, *Prediction of Late Enophthalmos Using Preoperative Orbital Volume and Fracture Area Measurements in Blowout Fracture.* J Craniofac Surg, 2017. **28**(7): p. 1717-1720.
102. Forbes, G., et al., *Volume measurements of normal orbital structures by computed tomographic analysis.* AJR Am J Roentgenol, 1985. **145**(1): p. 149-54.
103. Jeon, H.B., et al., *Comparative Study of Naugle and Hertel Exophthalmometry in Orbitozygomatic Fracture.* J Craniofac Surg, 2016. **27**(1): p. 142-4.
104. Nkenke, E., et al., *Hertel exophthalmometry versus computed tomography and optical 3D imaging for the determination of the globe position in zygomatic fractures.* Int J Oral Maxillofac Surg, 2004. **33**(2): p. 125-33.

105. Ploder, O., et al., *Follow-up study of treatment of orbital floor fractures: relation of clinical data and software-based CT-analysis*. Int J Oral Maxillofac Surg, 2003. **32**(3): p. 257-62.
106. Kontio, R., et al., *Effectiveness of operative treatment of internal orbital wall fracture with polydioxanone implant*. Int J Oral Maxillofac Surg, 2001. **30**(4): p. 278-85.
107. Baumann, A., et al., *Orbital floor reconstruction with an alloplastic resorbable polydioxanone sheet*. Int J Oral Maxillofac Surg, 2002. **31**(4): p. 367-73.
108. Schultze-Mosgau, S., et al., *A prospective electromyographic and computer-aided thermal sensitivity assessment of nerve lesions after sagittal split osteotomy and Le Fort I osteotomy*. J Oral Maxillofac Surg, 2001. **59**(2): p. 128-38; discussion 138-9.
109. Rana, M., et al., *Doctors' tacit knowledge on coping processes of oral cancer patients: A qualitative study*. J Craniomaxillofac Surg, 2016. **44**(12): p. 1977-1983.
110. Mayring, P., *Qualitative Inhaltsanalyse- Grundlagen und Techniken* 2010, Weinheim und Basel, p.19
111. Guest, G., A. Bunce, and L. Johnson, *How Many Interviews Are Enough?: An Experiment with Data Saturation and Variability*. Field Methods, 2006. **18**(1): p. 59-82.
112. Harris, D.L. and A.T. Carr, *The Derriford Appearance Scale (DAS59): a new psychometric scale for the evaluation of patients with disfigurements and aesthetic problems of appearance*. Br J Plast Surg, 2001. **54**(3): p. 216-22.

113. Hontscharuk, R., et al., *Primary orbital fracture repair: development and validation of tools for morphologic and functional analysis*. J Craniofac Surg, 2012. **23**(4): p. 1044-9.
114. Chi, M.J., et al., *An analysis of 733 surgically treated blowout fractures*. Ophthalmologica, 2010. **224**(3): p. 167-75.
115. Andrades, P., et al., *Degrees of tolerance in post-traumatic orbital volume correction: the role of prefabricated mesh*. J Oral Maxillofac Surg, 2009. **67**(11): p. 2404-11.
116. Tong, L., R.J. Bauer, and S.R. Buchman, *A current 10-year retrospective survey of 199 surgically treated orbital floor fractures in a nonurban tertiary care center*. Plast Reconstr Surg, 2001. **108**(3): p. 612-21.
117. Lee, C.A., H. Sun, and J.Y. Yun, *Usefulness of a Transconjunctival Approach in the Reconstruction of the Medial Blow-Out Wall Fracture*. Arch Craniofac Surg, 2017. **18**(2): p. 76-81.
118. Khademi, Z. and P. Bayat, *Computed tomographic measurements of orbital entrance dimensions in relation to age and gender in a sample of healthy Iranian population*. J Curr Ophthalmol, 2016. **28**(2): p. 81-4.
119. Pansell, T., et al., *Ophthalmologic findings in patients with non-surgically treated blowout fractures*. Craniomaxillofac Trauma Reconstr, 2012. **5**(1): p. 1-6.
120. Yang, J.H., et al., *3-Dimensional Volumetric Analysis of Relationship Between the Orbital Volume Ratio and Enophthalmos in Unoperated Blowout Fractures*. J Oral Maxillofac Surg, 2018.

121. Novelli, G., et al., *Virtual surgery simulation in orbital wall reconstruction: integration of surgical navigation and stereolithographic models*. J Craniomaxillofac Surg, 2014. **42**(8): p. 2025-34.
122. Cai, E.Z., et al., *Computer-assisted navigational surgery improves outcomes in orbital reconstructive surgery*. J Craniofac Surg, 2012. **23**(5): p. 1567-73.
123. Schmelzeisen, R., et al., *Navigation-aided reconstruction of medial orbital wall and floor contour in cranio-maxillofacial reconstruction*. Injury, 2004. **35**(10): p. 955-62.
124. Strong, E.B., et al., *Preformed vs intraoperative bending of titanium mesh for orbital reconstruction*. Otolaryngol Head Neck Surg, 2013. **149**(1): p. 60-6.
125. You, J.P., et al., *Two-Year Follow-up on the Use of Absorbable Mesh Plates in the Treatment of Medial Orbital Wall Fractures*. Arch Plast Surg, 2013. **40**(6): p. 728-34.
126. Young, S.M., et al., *Conservatively Treated Orbital Blowout Fractures: Spontaneous Radiologic Improvement*. Ophthalmology, 2018. **125**(6): p. 938-944.
127. Jin, H.R., et al., *Relationship between the extent of fracture and the degree of enophthalmos in isolated blowout fractures of the medial orbital wall*. J Oral Maxillofac Surg, 2000. **58**(6): p. 617-20; discussion 620-1.
128. Choi, S.H., D.H. Kang, and J.H. Gu, *The Correlation between the Orbital Volume Ratio and Enophthalmos in Unoperated Blowout Fractures*. Arch Plast Surg, 2016. **43**(6): p. 518-522.

129. Shah, H.A., et al., *Use of fracture size and soft tissue herniation on computed tomography to predict diplopia in isolated orbital floor fractures*. Am J Otolaryngol, 2013. **34**(6): p. 695-8.
130. Lee, C.S., J.S. Yoon, and S.Y. Lee, *Combined transconjunctival and transcaruncular approach for repair of large medial orbital wall fractures*. Arch Ophthalmol, 2009. **127**(3): p. 291-6.
131. Santosh, B.S. and G. Giraddi, *Transconjunctival preseptal approach for orbital floor and infraorbital rim fracture*. J Maxillofac Oral Surg, 2011. **10**(4): p. 301-5.
132. Subramanian, B., et al., *Comparison of various approaches for exposure of infraorbital rim fractures of zygoma*. J Maxillofac Oral Surg, 2009. **8**(2): p. 99-102.
133. Bahr, W., et al., *Comparison of transcutaneous incisions used for exposure of the infraorbital rim and orbital floor: a retrospective study*. Plast Reconstr Surg, 1992. **90**(4): p. 585-91.
134. Senese, O., et al., *Retrospective analysis of 79 patients with orbital floor fracture: outcomes and patient-reported satisfaction*. Arch Craniofac Surg, 2018. **19**(2): p. 108-113.
135. Prachur, K., et al., *Evaluation of Neurosensory Changes in the Infraorbital Nerve following Zygomatic Fractures*. Journal of maxillofacial and oral surgery, 2012. **11**(4): p. 394-399.
136. Alhamdani, F., et al., *Diplopia and ocular motility in orbital blow-out fractures: 10-year retrospective study*. J Craniomaxillofac Surg, 2015. **43**(7): p. 1010-6.

137. Tahiri, Y., et al., *Preoperative diplopia: the most important prognostic factor for diplopia after surgical repair of pure orbital blowout fracture*. J Craniofac Surg, 2010. **21**(4): p. 1038-41.
138. Tebble, N.J., et al., *Anxiety and self-consciousness in patients with facial lacerations one week and six months later*. Br J Oral Maxillofac Surg, 2006. **44**(6): p. 520-5.
139. Folkestad, L., L. Aberg-Bengtsson, and G. Granstrom, *Recovery from orbital floor fractures: a prospective study of patients' and doctors' experiences*. Int J Oral Maxillofac Surg, 2006. **35**(6): p. 499-505.
140. Rana, M., et al., *Coping with oral cancer: the impact of health and disease-related personality traits*. Support Care Cancer, 2014. **22**(11): p. 2981-6.
141. Pereira-Morales, A.J., et al., *Personality traits and health-related quality of life: the mediator role of coping strategies and psychological distress*. Ann Gen Psychiatry, 2018. **17**: p. 25.
142. Elsayed, M., et al., *Virtual and augmented reality: potential applications in radiology*. Acta Radiol, 2020: p. 284185119897362.

Danksagung

Ich danke ganz besonders meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Majeed Rana, stellvertretender Direktor der Klinik für Mund-Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie des Universitätsklinikums Düsseldorf, für die Überlassung des Themas dieser Dissertation und seine allzeit kompetente, zielführende und motivierende Betreuung. Sein mit viel Zeitaufwand verbundenes Engagement hat wesentlich für den Erfolg dieser Arbeit beigetragen.

Ich danke Herrn Universitätsprofessor Dr. med. Dr. med. dent. Norbert R. Kübler, Direktor der Klinik für Mund- Kiefer und Plastische Gesichtschirurgie des Universitätsklinikums Düsseldorf, für die Zurverfügungstellung sämtlicher Geräte und Räumlichkeiten für die klinische Studie.

Ich danke meinem Co-Doktorvater PD Dr. med. Jan F. Cornelius, stellvertretender Direktor der Klinik für Neurochirurgie des Universitätsklinikums Düsseldorf, für die Co-Betreuung dieser Dissertation.

Ganz besonders danke ich meinem Betreuer Herrn Dr. med. Dr. med. dent. Christoph Sproll, geschäftsführender Oberarzt der Klinik für Mund-Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie, für seine Unterstützung bei der wissenschaftlichen Bearbeitung dieses Themas und seine engagierte Mitarbeit im Rahmen der klinischen Studie.

Bei Herrn Dr. med. Karsten Hufendiek, Oberarzt und Leiter der Orthoptik und Neuroophthalmologie der Medizinischen Hochschule Hannover, bedanke ich mich besonders für seine mit viel Arbeit verbundene Nachuntersuchung aller Patienten in Düsseldorf.

Auch danke ich Herrn Dr.med. Dr. med. dent. Daman Deep Singh für seine allzeit motivierende moralische Unterstützung.

Meinen Eltern Sevinç und Tamer sowie meinen Geschwistern Sinem und Tülin Karahisarlioglu danke ich vom ganzen Herzen für die stetige moralische Unterstützung.