

Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie
des Klinikums rechts der Isar
der Technischen Universität München

(Direktor: Univ.-Prof. Dr. Dr. Dr. h.c. (UMF Temeschburg) H.-H. Horch, em.)

**Vergleich der Darstellbarkeit von pathologischen Veränderungen
in der Orbita sowie der Orbitavolumina
bei ophthalmologisch auffälligen Patienten nach Orbitarekonstruktion
mittels MRT und CT**

Verena Herold (geb. Schott)

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Medizin
der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Medizin
genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. D. Neumeier

Prüfer der Dissertation:

1. Priv.-Doz. Dr. Dr. A. Kolk

2. Univ.-Prof. Dr. K.-D. Wolff

Die Dissertation wurde am 29.11.2007 bei der Technischen Universität München
eingereicht und durch die Fakultät für Medizin am 09.04.2008 angenommen.

Meinen Eltern

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	6
2	Theoretischer Teil	8
2.1	Grundlagen der Orbitatraumatologie	8
2.1.1	Anatomie der Orbita	8
2.1.2	Häufigkeit von Orbitafrakturen	10
2.1.3	Frakturmechanismen	10
2.1.4	Frakturreinteilung	12
2.2	Klinik, Diagnostik und Therapie von Orbitafrakturen	14
2.2.1	Klinik	14
2.2.2	Diagnostik	15
2.2.3	Therapie	16
2.3	Bildgebende Verfahren: Computertomographie und Magnetresonanztomographie	23
2.3.1	Vor- und Nachteile der Computertomographie	23
2.3.2	Vor- und Nachteile der Magnetresonanztomographie	25
2.4	Zielsetzung der Arbeit	26
3	Patientenkollektiv und Methodik	27
3.1	Patientengesamtkollektiv sowie Patientenvergleichskollektiv	27
3.2	Studienparameter	29
3.2.1	Einschlusskriterien	29
3.2.2	Häufigkeit von Frakturseite und Frakturlokalisierung	30
3.2.3	Klinische Untersuchungen	32
3.3	Technische Daten	33
3.3.1	Magnetresonanztomographie	33
3.3.2	Computertomographie	35
3.4	Auswertung der MRT- und CT- Aufnahmen	36
3.4.1	Befundung der MRT- und CT- Aufnahmen	36
3.4.2	Volumenmessung der knöchernen Orbita	42
3.5	Statistische Auswertung	49
4	Ergebnisse	50
4.1	Befundung der MRT- und CT-Aufnahmen	50
4.1.1	Frakturnachweis und Frakturbestimmung	50
4.1.2	Prolaps von Orbitainhalt	50
4.1.3	Foliendarstellung	54
4.1.4	Lage der Folie	56
4.1.5	Artefaktbildung	57
4.1.6	Verschattung in den Nasennebenhöhlen	58
4.1.7	Sonstige Befunde	58
4.2	Volumenmessung der knöchernen Orbita	59
4.2.1	Ergebnisse der Volumenmessung in der MRT	59
4.2.2	Ergebnisse der Volumenmessung in der CT	63
4.2.3	Vergleich der Volumenmessungen in der MRT versus CT	67
4.2.4	Univarianzanalyse zur Untersuchung der Abhängigkeit zwischen interokularer Volumendifferenz der knöchernen Orbita und verschiedenen Faktoren	72
5	Diskussion	74
5.1	Befundung der MRT- und CT-Aufnahmen	74
5.1.1	Prolaps von Orbitainhalt	74
5.1.2	Foliendarstellung und Lage der Folie	78
5.1.3	Artefaktbildung	81
5.1.4	Verschattung in den Nasennebenhöhlen	82

5.2	Volumenmessung der knöchernen Orbita	83
5.2.1	Ergebnisse der Volumenmessung in der MRT und CT	84
5.2.2	Univarianzanalyse zur Untersuchung der Abhängigkeit zwischen interokularer Volumendifferenz der knöchernen Orbita und verschiedenen Faktoren	86
6	Zusammenfassung	88
7	Literaturverzeichnis	90
8	Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen	101
8.1	Abbildungsverzeichnis	101
8.2	Tabellenverzeichnis	103
9	Anhang	104
9.1	Bilderanhang	104
9.2	Tabellenanhang	116
9.3	Sonstige Befunde	121
10	Danksagung	122

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erklärung
Abb.	Abbildung
bzw.	beziehungsweise
cm	Zentimeter
CT	Computertomographie
FOV	Field of view
HU	Hounsfield Unit
kV	Kilo-Volt
L, li	Links
♂	männlich
M.	Musculus
mAS	Milli-Ampere-Sekunde
min	Minute
MKG	Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie
mm	Millimeter
MRT	Magnetresonanztomographie
MSCT	Multislice-Computertomographie
o.g.	oben genannt
OP	Operation
PDS-Folie	Poly-p-Dioxanon-Folie
PDW	Protonendichte-Wichtung
postop.	postoperativ
praep.	praeeoperativ
R, re	Rechts
RdI	Klinikum rechts der Isar
s.	siehe
S.	Seite
SD	Standardabweichung
SE	Spinecho
Tab.	Tabelle
TE	Echozeit
TR	Repetitionszeit
TSE	Turbospinecho
TUM	Technische Universität München
U.-NUMMER/ U.-nr.	Untersuchungsnummer
vs.	versus
♀	weiblich
z.B.	zum Beispiel

1 Einleitung

Orbitafrakturen sind häufige Verletzungen, die in Form von Blow-out-Frakturen oder im Rahmen von Mittelgesichtsfrakturen im Besonderen bei Le Fort II/III-Frakturen vorkommen (Baumann et al. 2002 S. 367; Ellis III and Reddy 2004 S. 275; Horch 2007 S. 136).

Enophthalmus, Exophthalmus, Diplopie, Visusverlust und Bulbusmotilitätsstörungen stellen häufige Komplikationen dar, wobei zusätzlich auch die kosmetische Beeinträchtigung für den Patienten eine große Rolle spielt (Charteris et al. 1993 S. 100; Kontio et al. 2001 S. 278; Jank et al. 2003a S. 16; Mazock et al. 2004 S. 1298).

Seit der Einführung der Computertomographie, die heute routinemäßig bei Verdacht auf Orbitawandfrakturen durchgeführt wird, ist die Anzahl der erkannten Frakturen stark gestiegen (Manfre et al. 1993 S. 612; Burm et al. 1999 S. 1839; Ramieri et al. 2000 S. 302). Am häufigsten brechen der Boden und die mediale Wand der Orbita (Burm et al. 1999 S. 1839; Fan et al. 2003 S. 207).

Die Therapie der Wahl ist in der Regel die operative Rekonstruktion. Dabei wird das periorbitale Fett- und Muskelgewebe reduziert, um danach das korrekte Orbitavolumen sowie die korrekte Orbitaform mittels verschiedener alloplastischer Materialien wiederherzustellen (Mathog 2000 S. 620; Baumann et al. 2002 S. 367; Jank et al. 2003a S. 16; Potter and Ellis III 2004 S. 1280).

Posttraumatische orbitale und periorbitale Ödeme maskieren oft die Symptome von Orbitaverletzungen und führen somit zu unvollständigen Diagnosen und unzureichenden Therapien (Jin et al. 2000 S.617; Ploder et al. 2002a S. 153; Mazock et al. 2004 S. 1298). Die operative Zweitkorrektur eines sich z.B. postoperativ entwickelnden Enophthalmus ist allerdings sehr schwierig und oft nicht zufrieden stellend durchführbar (Ramieri et al. 2000 S. 302; Fan et al. 2003 S. 207).

Daher ist die Korrektur dieser Komplikationen eine ernsthafte Herausforderung (Manson et al. 1986b S. 204; Raskin et al. 1998 S. 25; Gellrich et al. 2002 S. 1417), die weitere bildgebende Diagnostik erfordert. Diese wird meist in Form weiterer CT-Aufnahmen geliefert, die bei wiederholter Anwendung zu einer erheblichen Strahlenbelastung des Kopfes und der Augenlinse (Dammann et al. 2000 S. 232; Zammit-Maempel et al. 2003 S. 418) bei oft unbefriedigenden Ergebnissen aufgrund mangelnder Weichteildifferenzierung führen (Zhan et al. 1995 S. 131; Kontio et al. 2001 S. 284). Die Magnetresonanztomographie dagegen, die zwar häufig als Zusatzdiagnostik aber nicht als Ersatz für die CT angewandt wird, erlaubt eine gute Darstellbarkeit des Weichgewebes sowie des eingesetzten

alloplastischen Materials ohne jegliche Belastung durch Röntgenstrahlung (Hell et al. 1990 S. 159; Zhan et al. 1995 S. 131; Williams et al. 1995 S. 127).

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Frage, ob die Magnetresonanztomographie eine adäquate oder sogar bessere Alternative zur Computertomographie als bildgebendes Verfahren bei postoperativen Komplikationen von Orbitawandfrakturen bzw. vor Sekundäroperationen ist.

2 Theoretischer Teil

2.1 Grundlagen der Orbitatraumatologie

2.1.1 Anatomie der Orbita

Die knöcherne Orbita bildet eine vierseitige Pyramide, deren Basis nach vorne und deren Spitze nach hinten medial gerichtet ist. Ihre Tiefe beträgt 40 - 50 mm (Long and Tann 2002 S. 249; Sachsenweger 2003 S. 49). Die Orbitawände werden von 7 Knochen gebildet (Richter 1992 S. 134; Schiebler et al. 1999 S. 404):

Os frontale:	Dach der Orbita
Os zygomaticum:	laterale Wand der Orbita
Os zygomaticum und Maxilla:	Boden der Orbita
Os lacrimale und Os ethmoidale:	mediale Wand der Orbita
Os palatinum und Os sphenoidale :	stumpfe Spitze der Orbitapyramide

Die Nachbarschaft der Orbita zu den umliegenden Strukturen hat große klinische Relevanz. Von der Kieferhöhle und den Siebbeinzellen ist die Orbita nur durch sehr dünne Knochenlamellen getrennt. Der Orbitaboden und die mediale Wand der Orbita sind zum Teil nur ca. 0,3 mm dick (Jones and Evans 1969 S. 1109; Hell et al. 1990 S. 154; Sachsenweger 2003 S. 49). Daher wird die mediale Wand auch als Lamina papyracea (orbitalis) bezeichnet (Schiebler et al. 1999 S. 404).

In weiterer unmittelbarer Umgebung liegen die Stirn- und Keilbeinhöhle, vordere und mittlere Schädelgrube, Sinus cavernosus sowie Sella turcica mit Hypophyse und Chiasma opticum.

Den von außen sichtbaren Inhalt der Orbita bildet der Bulbus oculi, der nur etwa ein Viertel der Augenhöhle einnimmt. Den verbleibenden Rest teilen sich neben dem Nervus opticus eine Reihe weiterer Nerven, die äußeren Augenmuskeln, verschiedene Gefäße, die Tränendrüse und fetthaltiges Bindegewebe, das den größten Teil der Orbita einnimmt.

Im Canalis infraorbitalis verläuft der N. infraorbitalis (Sachsenweger 2003 S. 50).

Nach Joos weist die knöcherne Orbita einerseits eine besondere Festigkeit im anterioren Rahmenbereich auf, dagegen besteht an den Wänden, insbesondere der medialen und kaudalen Wand, eine große Fragilität. Dies führt bei einem gezielten Schlag gegen den Bulbus dazu, dass eher Berstungsfrakturen der knöchernen Wände entstehen als dass eine Bulbusverletzung auftritt.

Diese äußere Rahmenkonstruktion des orbitalen Ringes ist nur im infraorbitalen Bereich durch das Foramen infraorbitale und nach medial zur Nase durch den Ductus nasolacrimalis unterbrochen (Joos 1996 S. 32).

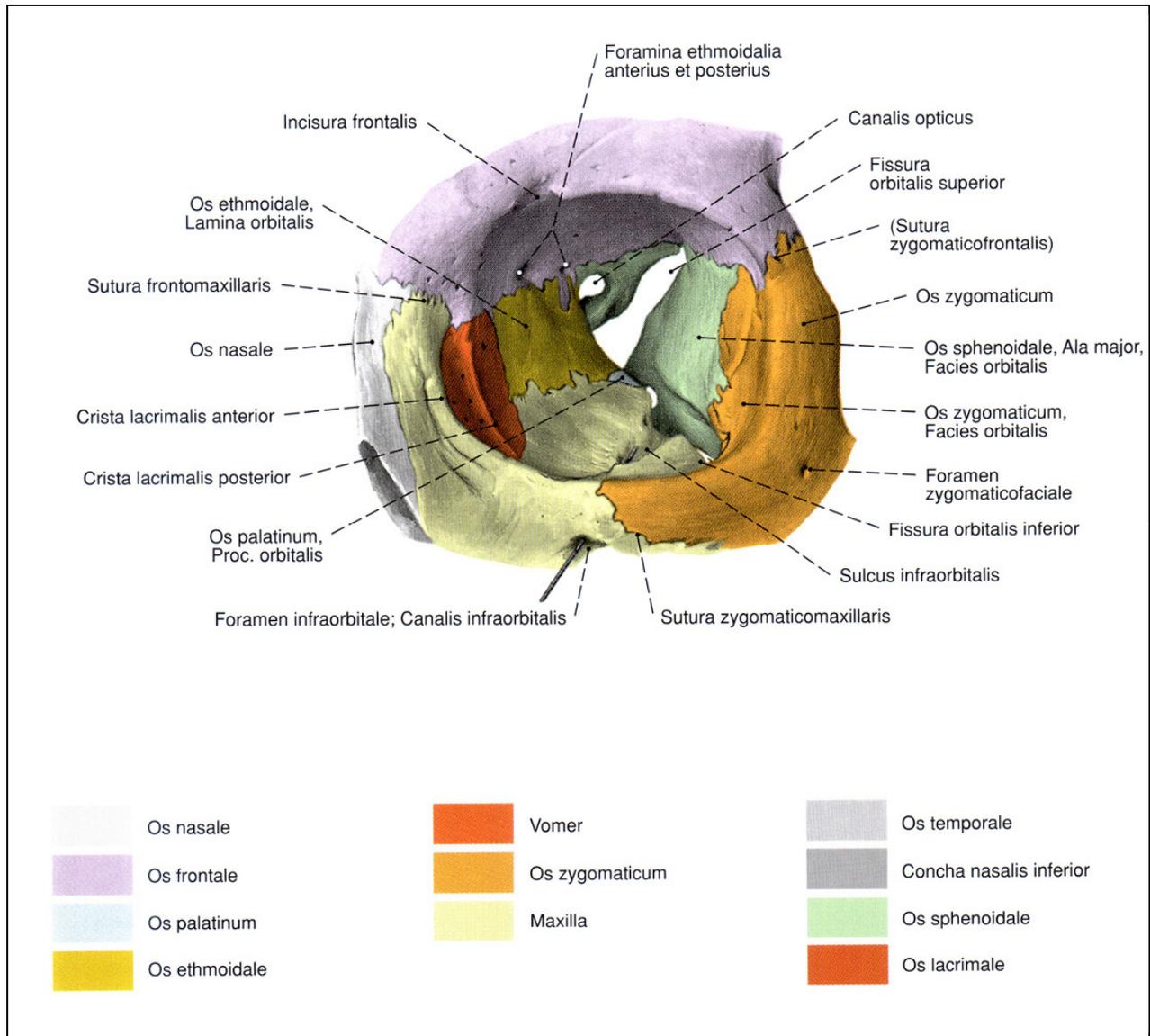


Abb. 1: Anatomie der linken Orbita: Koronare Ansicht
aus Sobotta Atlas – Anatomie des Menschen (Putz und Pabst 2000 S. 57)

2.1.2 Häufigkeit von Orbitafrakturen

Orbitafrakturen begleiten häufig Mittelgesichtsfrakturen, können jedoch auch als isolierte Frakturen der einzelnen Orbitawände auftreten (Chan et al. 2000 S. 438; Baumann et al. 2002 S. 367; 2007 S. 136). Sie werden in mehr als 40% aller maxillären Gesichtsverletzungen beobachtet und repräsentieren daher eine der häufigsten Frakturen des Mittelgesichts (Ellis III et al. 1985 S. 417; Ramieri et al. 2000 S. 302). Am häufigsten kommt es im Rahmen von lateralen und zentrolateralen Mittelgesichtsfrakturen zur Mitbeteiligung der Orbita (Horch 2007 S. 129).

Nach Joos treten 89,5% der Orbitafrakturen bei Verletzungen des zentralen, lateralen und zentrolateralen Mittelgesichts auf (Joos 1996 S. 32).

Mittelgesichtsfrakturen werden allgemein am häufigsten durch Verkehrs- und Arbeitsunfälle sowie durch Rohheitsdelikte, seltener durch Sturz oder Fall verursacht (Schettler 1991 S. 39; Reich and Otte 1991 S. 11; Richter 1992 S. 133).

Allerdings belegen neuere statistische Erhebungen die steigende Bedeutung von Freizeit- und Sportunfällen für Mittelgesichtsfrakturen. Laterale Mittelgesichtsfrakturen stellen mit 45–49% die größte Gruppe der Mittelgesichtsfrakturen dar. Die häufigsten Ursachen hierfür sind zu 40% Verkehrsunfälle, zu 20% Sportunfälle und zu jeweils 10% Rohheitsdelikte, Arbeitsunfälle und Stürze (Horch 2007 S.134).

2.1.3 Frakturmechanismen

Neben den Orbitafrakturen im Rahmen von Mittelgesichtsfrakturen sind auch isolierte Frakturen der Orbitawand möglich, bei denen der ringförmige anteriore Orbitarand intakt bleibt. Je nachdem, ob sich Frakturfragmente aus der Orbita heraus oder in die Orbita hinein verlegen, spricht man von einer Blow-out-Fraktur bzw. Blow-in-Fraktur (Schobel et al. 1991 S. 224; Howaldt and Neubert 1990 S. 228; Manfre et al. 1993 S. 612; Horch 2007 S. 136).

Seit Ende des vergangenen Jahrhunderts gibt es zwei Theorien zum Entstehungsmechanismus der isolierten Orbitawandfraktur:

1. Theorie der Knochentransmission (buckling theory)
2. Theorie der intraorbitalen Drucksteigerung (hydraulic theory)

(Austermann 1979 S. 220; Richter 1992 S. 136; Waterhouse et al. 1999 S. 608; Horch 2007 S. 137)

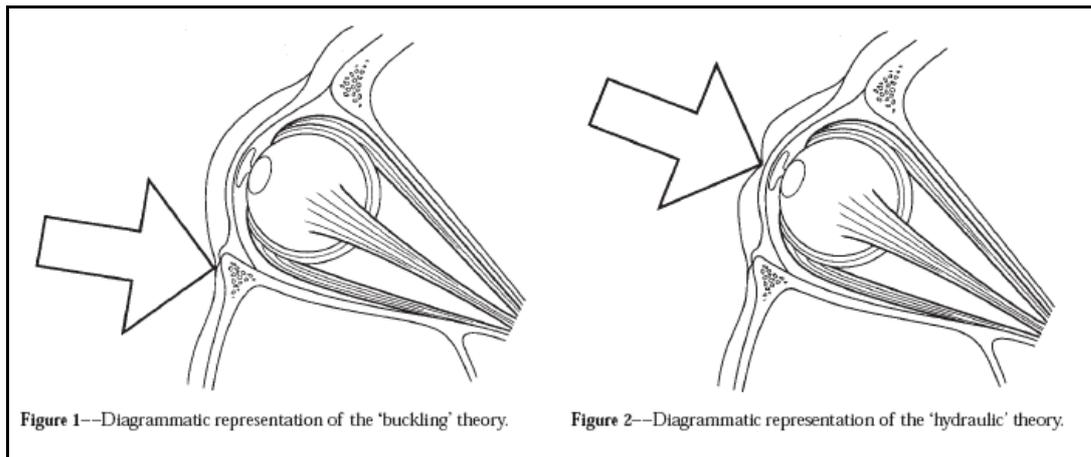


Abb. 2: Entstehungsmechanismen der Orbitafraktur (Waterhouse et al. 1999 S. 607):

Figure 1: Theorie der Knochentransmission

Figure 2: Theorie der intraorbitalen Drucksteigerung

Die Vermutung, dass eine auf die stabilen Knochenstrukturen des Orbitarandes einwirkende Kraft sich auf die dünnste Orbitawand fortleitet und dort zu einem isolierten Bruch führt, wurde zuerst von Fuchs und Le Fort geäußert (Fuchs 1893 S. 184; Le Fort 1901 S. 208).

Die Annahme, dass eine plötzliche intraorbitale Drucksteigerung hervorgerufen durch einen stumpfen Schlag auf den Bulbus einen isolierten Bruch der Orbitawände verursacht, favorisierten als erster Walser (Walser 1897 S. 201) und später Pfeiffer (Pfeiffer 1943 S. 301). 1957 führten Converse und Smith sowie Smith und Regan den Begriff der „Blow-out“-Fraktur ein und untermauerten damit weltweit die Theorie der intraorbitalen Drucksteigerung (Smith and Reagan 1957 S. 733; Converse and Smith 1957 S. 265). „Blow-out“ bedeutete in diesem Zusammenhang „Platzen bei Überdruck“ (Kriens 1980 S. 44; Kreusch et al. 1990 S. 190).

Dennoch wurde die Theorie der Knochentransmission nicht fallen gelassen und durch Arbeiten von Fujino sowie Austermann erneut belegt (Fujino 1974 S. 81; Austermann 1979 S. 223). Ihre Argumente gegen die intraorbitale Drucksteigerung als Ursache einer Orbitawandfraktur stützten sich auf klinische Beobachtungen, die mit dieser Form der Bruchentstehung nur schwer in Einklang zu bringen waren. Insbesondere sprachen jene klinischen Fälle dagegen, bei denen Orbitabodenfragmente nicht zur Kieferhöhle, sondern in Richtung Orbitahöhle dislozierten (Austermann 1979 S. 220).

Neuere Erkenntnisse lieferten Waterhouse et al., die in ihrer 1999 erschienenen Veröffentlichung beide Theorien an Orbitae von Leichen untersuchten. Dabei stellte sich heraus, dass durch Knochentransmission ausschließlich kleine Orbitabodenfrakturen im

anterioren und medialen Bereich entstanden. Ein Prolaps von Fett- und/oder Muskelgewebe war ungewöhnlich.

Bei gezielten Schlägen auf den Bulbus, der Theorie der intraorbitalen Drucksteigerung entsprechend, kam es zu großen kombinierten Frakturen des Orbitabodens und der medialen Wand mit häufiger Prolapsentstehung (Waterhouse et al. 1999 S. 610).

2.1.4 Fraktуреinteilung

Vor allem der Orbitaboden ist bei Mittelgesichtsfrakturen regelmäßig betroffen.

Je nach Art der Mittelgesichtsfraktur (vor allem bei Le Fort II und III) bricht der Boden an verschiedenen Stellen (Horch 2007 S. 137).

Die isolierten Orbitawandfrakturen bei den so genannten Blow-out-Frakturen können je nach Richtung und Intensität der stumpfen Gewalteinwirkung auf den Bulbus in vier Gruppen eingeteilt werden (Kriens 1980 S. 46):

Gruppe 1:

Bei Gewalteinwirkung von vorn:

Isolierte Orbitabodenfraktur (Typ I)

Fraktur des mittleren Anteils der Lamina orbitalis (Typ 2)

Fraktur des hinteren Anteils der Lamina orbitalis (Typ 3)

Gruppe 2:

Bei Gewalteinwirkung von seitwärts:

Isolierte Frakturen der Lamina orbitalis und lacrimoethmoidale Frakturen (Typ 4)

Gruppe 3:

Orbitadach-Platzfrakturen (selten)

Gruppe 4:

Frakturen der lateralen Orbitawand (eine Rarität)

Am häufigsten brechen aus bereits beschriebenen Gründen der Orbitaboden und die mediale Wand der Orbita (Jones and Evans 1969 S. 1109; Putterman 1987 S. 281; Hell et al. 1990 S. 154; Burm et al. 1999 S. 1839; Long and Tann 2002 S. 249; Fan et al. 2003 S. 207).

Aus verschiedenen Publikationen geht hervor, dass Orbitabodenfrakturen häufiger vorkommen als die der medialen Wand (Meier and Schmidt 1991 S. 220; Burm et al. 1999 S. 1839; Jank et al. 2003b S. 19), wobei dies vor allem für isolierte Frakturen zutrifft.

Austermann stellte fest, dass durch Schläge auf den Orbitarand (Transmissionstheorie) ausschließlich der Orbitaboden bricht, während bei gezielten Schlägen auf den Bulbus (Theorie der intraorbitalen Drucksteigerung) nur die mediale Wand frakturiert (Austermann 1979 S. 222).

2.2 Klinik, Diagnostik und Therapie von Orbitafrakturen

2.2.1 Klinik

Allein durch Inspektion und Palpation können einige Hinweise auf eine Orbitafraktur gesammelt werden. Stufenbildung im Orbitarand, Schwellungen, Brillen- und Monokelhämatome, Lidhämatome, Lidemphyseme und subkonjunktivale Blutungen weisen auf eine Orbitafraktur hin.

Die häufigsten posttraumatischen Komplikationen sind Diplopie, Bulbusmotilitätsstörungen, Enophthalmus, Exophthalmus, Visusverlust und kosmetische Beeinträchtigungen des Patienten (della Rocca and Maher 1990 S. 527; Samek et al. 1991 S. 193; Charteris et al. 1993 S. 100; Huber et al. 1993 S. 137; Kontio et al. 2001 S. 278; Mazock et al. 2004 S. 1298).

Bei Blow-out-Frakturen aber auch im Rahmen von Jochbein- und kombinierten Mittelgesichtsfrakturen kann es zu einer Kaudalverlagerung des Orbitabodens und damit des Bulbus kommen, wodurch Doppelbilder entstehen können.

Die Diagnose einer Diplopie ist anfangs aufgrund von meist im akuten Stadium bestehenden Orbita- und Lidödemen schwierig (Jin et al. 2000 S. 617; Mazock et al. 2004 S. 1298; Horch 2007 S. 136).

Außerdem führen Orbitabodenfrakturen häufig zu einer Hernienbildung von orbitalem Fettgewebe in die Kieferhöhle durch den Frakturspalt. Oft ist auch der M. rectus inferior und M. obliquus inferior bei einer Bodenfraktur, seltener der M. rectus medialis bei einer Fraktur der medialen Wand, im Rahmen eines Prolapses, im Frakturspalt eingeklemmt (Meier and Schmidt 1991 S. 220). Diese Traumatisierung von äußeren Augenmuskeln oder auch deren Nerven kann zu Motilitätsstörungen führen, im Falle des M. rectus und obliquus inferior zu einer Störung im Aufblick, der nicht durch eine Heberschwäche hervorgerufen wird.

Aber auch die Einklemmung von Bindegewebssepten und Fettgewebe kann eine Störung in der Bulbusbeweglichkeit verursachen (Horch 2007 S. 137).

Zur Kontrolle der passiven Bulbusbeweglichkeit wird daher intra operationem ein Traktionstest, auch „forced duction test“ genannt, durchgeführt. Hierbei wird mit einer feinen chirurgischen Pinzette, die am Limbus corneae ansetzt, die Bulbusbeweglichkeit getestet (Pearl 1987 S. 353; Sachsenweger 2003 S. 70).

Größere Frakturen mit dementsprechendem Prolaps von Orbitagewebe in den Sinus maxillaris oder ethmoidalis können einen Enophthalmus hervorrufen. Das prolabierte Gewebe stellt einen Verlust von Orbitafüllungsvolumen dar. Dadurch sinkt der Bulbus in die Orbita zurück,

wenn er nicht anfangs durch periorbitale Ödeme oder retrobulbäre Hämatome in Stellung gehalten wird.

Es wird aber auch eine Vergrößerung der knöchernen Orbita für die Enophthalmusentstehung verantwortlich gemacht (Bite et al. 1985 S. 503; Manson et al. 1986b S. 203; Schuknecht et al. 1996 S. 474, Ramieri et al. 2000 S. 305; Chan et al. 2000 S. 438; Fan et al. 2003 S. 207).

Diese Autoren bestätigen in ihren Veröffentlichungen die Zunahme des knöchernen Orbitavolumens als Hauptursache des Enophthalmus sowohl im Sinne einer prae- als auch postoperativen Komplikation.

Auch ein Exophthalmus kann durch retrobulbäre Blutungen und retroseptale Orbitahämatome entstehen.

Bei Quetschung oder Abriss des N. infraorbitalis, der im Canalis infraorbitalis des Orbitabodens verläuft, besteht ein Taubheitsgefühl im entsprechenden Ausbreitungsgebiet der Wangen (Putterman 1987 S. 281; Sachsenweger 2003 S. 70).

2.2.2 Diagnostik

Nach Inspektion, Palpation und Perkussion sollte zunächst eine konventionelle Röntgendiagnostik in Form von Nasennebenhöhlenaufnahme, Orbitaspezialaufnahme (hängender Tropfen) und Computertomographie erfolgen (Horch 2007 S. 144).

Vor allem Multislice-CT-Aufnahmen liefern heute die schnellste bestmögliche Darstellung von Knochen- und Weichteilgewebe bei möglichst geringer Strahlenbelastung in der Akutdiagnostik (McGurk et al. 1992 S. 71; Jackson and Whitehouse 1993 S. 655; Charteris et al. 1993 S. 100; Schuknecht et al. 1996 S. 474; Harris et al. 1998 S. 329; Ramieri et al. 2000 S. 302; Filatova et al. 2005 S. 9).

Außerdem ermöglicht die dreidimensionale Rekonstruktion der CT-Datensätze eine genauere Beurteilung der Orbita sowie eine zusätzliche Hilfe für den Chirurgen, sich die frakturierte Orbita in unversehrtem Zustand vorzustellen (Bite et al. 1985 S. 506; Carls et al. 1994 S. 23; Ramieri et al. 2000 S. 303; Deveci et al. 2000 S. 645; Ploder et al. 2002a S. 153).

Weitere bildgebende Verfahren, die zusätzliche Aufschlüsse der Verletzungen geben können, sind die A- und B-Bild-Echographie sowie die Magnetresonanztomographie. Diese beiden Verfahren können ohne jegliche Strahlenbelastung wertvolle Zusatzinformationen liefern (Chang and Bernardino 2004 S. 411; Horch, 2007 S. 151).

Gerade die MRT, deren Bilder ebenfalls dreidimensional rekonstruiert werden können, bietet eine hervorragende Weichteildifferenzierung, die für eine Prolapsdarstellung von Fett- und

Muskelgewebe sowie deren möglicher Inkarceration im Frakturspalt sehr hilfreich sein kann (Hell et al. 1990 S. 154 und 159; Zhan et al. 1995 S. 132; Williams et al. 1995 S. 127; Wiener et al. 2005 S. 1250; Kolk et al. 2005 S. 493).

2.2.3 Therapie

2.2.3.1 Operationsindikationen

Die Therapie der Orbitafrakturen besteht fast immer in einer chirurgischen Revision, nur in begründeten Ausnahmefällen ist eine konservative Therapie gerechtfertigt (Manolidis et al. 2002 S. 738). Da posttraumatische orbitale und periorbitale Ödeme oft die Symptome von Orbitaverletzungen maskieren und damit häufig zu unvollständigen Diagnosen führen, sollte die Indikation zur Operation großzügig gestellt werden (Jin et al. 2000 S. 617; Ploder et al. 2002a S. 153; Mazock et al. 2004 S. 1298; Horch 2007 S. 152).

Die Operation selbst sollte möglichst früh nach dem Trauma, wenn möglich innerhalb von 8-10 Tagen, erfolgen, da inkarzeriertes Orbitafett atrophisch oder sogar nekrotisch werden kann und somit schwer korrigierbare Spätschäden vor allem ophthalmologischer Art wie Bulbustiefstand, Enophthalmus oder Motilitätsstörungen mit Diplopie die Folge sein können. Grundsätzlich ist die operative Frühversorgung innerhalb der ersten ein bis zwei Tage nach dem Trauma anzustreben, da derartige Frühbehandlungen signifikant bessere Spätergebnisse aufweisen als Spätbehandlungen (Westphal et al. 1977 S. 12; Hawes and Dortzbach 1983 S. 1069; Mohr et al. 1990 S. 211; Hemprich and Breier 1993 S. 154; Joos 1996 S. 34; Koide et al. 2003 S. 396; Horch 2007 S. 153).

Die Indikation zur operativen Versorgung wird gestellt, wenn einer oder mehrere der folgenden Befunde erhoben werden können (Pearl 1987 S. 353; della Rocca and Maher 1990 S. 527; Jank et al. 2003b S. 22; Mazock et al. 2004 S. 1298):

- Dislokation der Fragmente der Orbitawandungen, insbesondere mit Bulbusverlagerung
- Einschränkung der Bulbusmotilität mit pathologischem Duktionstest (eingeschränkte passive Beweglichkeit des Bulbus beim „forced duction test“), in der Regel mit Diplopie verbunden
- Röntgenologisch eindeutig nachweisbarer Prolaps von Orbitainhalt in die anatomisch benachbarten Strukturen

Die chirurgische Therapie sollte dabei unter drei Zielsetzungen erfolgen (Lentrod 1991 S. 185; Kontio et al. 2001 S. 278; Baumann et al. 2002 S. 367; Potter and Ellis III 2004 S. 1280):

- Wiederherstellung von Form und Größe der knöchernen Orbita zur Verhinderung eines Bulbustiefstandes beziehungsweise eines Enophthalmus
- Befreiung eingeklemmter Strukturen zur Wiederherstellung sowohl der ungestörten Augenmotilität als auch der normalen Sensibilität
- Zurückverlagerung von orbitalem Weichgewebe bei hernienartigem Prolaps in die angrenzenden Nebenhöhlen

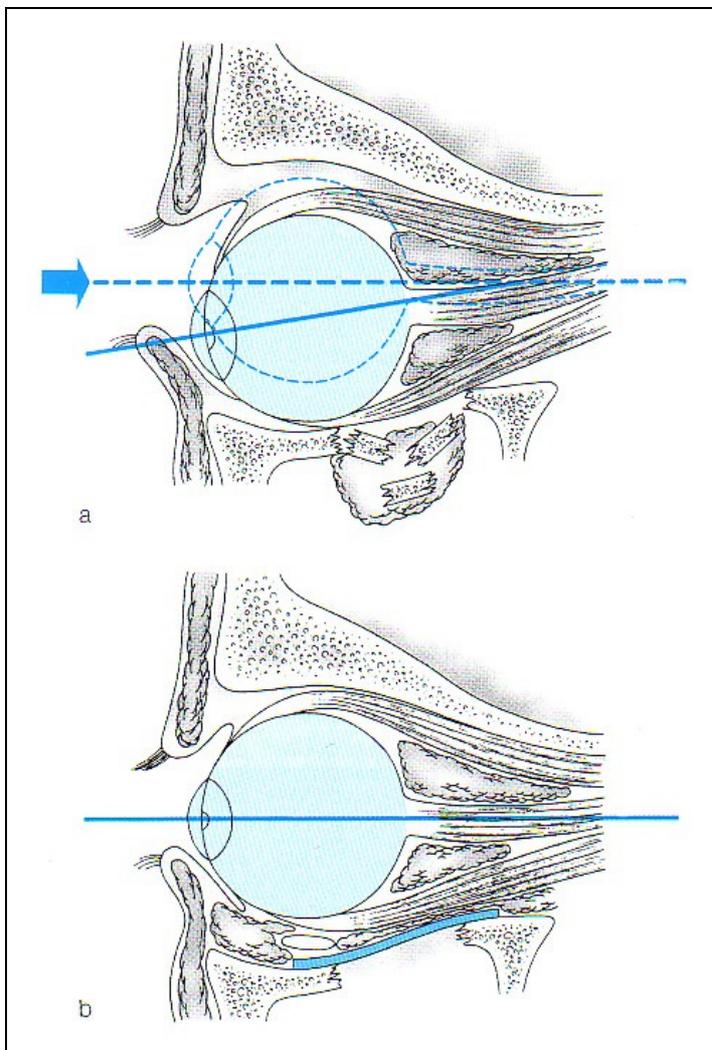


Abb. 3:Orbitabodendefektfraktur vor und nach operativer Rekonstruktion (Horch 2007 S. 137):

- a) Orbitabodenfraktur mit in die Kieferhöhle disloziertem Orbitagewebe; Kaudalverlagerung des Bulbus mit Abweichung der optischen Achse.
b) Orbitabodenrekonstruktion nach Reposition des Orbitaweichgewebes; Dadurch Erreichen der korrekten Bulbuslage.

Nach operativer Therapie tritt in den meisten Fällen eine Besserung der praeoperativen Symptomatik ein. Die klinische Erfahrung zeigt jedoch, dass trotz rechtzeitig gestellter Diagnose und adäquater Therapie die postoperative Position des Auges noch immer unvorhersehbar ist. Schon kleine Diskrepanzen in der Bulbusposition sowie in der Lage des periorbitalen Gewebes und ein eventuell noch vorhandener Restprolaps von orbitalem Fettgewebe führen regelmäßig zu kosmetischen und funktionellen Beeinträchtigungen (Okinaka et al. 1999 S. 1174; Kolk et al. 2005 S. 492).

Schönhardt et al. zeigten 1983, dass bei Patienten mit medialen Wandfrakturen noch nach einem Jahr Motilitätseinschränkungen beobachtet werden konnten (Schönhardt et al. 1983 S. 257). Die Langzeitprognose wird nicht ausschließlich durch die Folgen der Verletzung der Periorbita bestimmt, sondern auch durch die Kontusion des Orbitainhaltes mit Läsionen der Muskeln und Nerven (Schönhardt et al. 1983 S. 257; Meier and Schmidt 1991 S. 221).

2.2.3.2 Rekonstruktionsverfahren

Für eine heutzutage standardmäßige Rekonstruktion frakturierter Orbitawände wird das periorbitale Fett- und Muskelgewebe reduziert, um danach das korrekte Orbitavolumen sowie die korrekte Orbitaform mittels verschiedener alloplastischer Materialien wiederherzustellen (Mathog 2000 S. 620; Baumann et al. 2002 S. 367; Jank et al. 2003a S. 16; Potter and Ellis III 2004 S. 1280).

Das ideale Orbitaimplantat sollte

- eine gute strukturelle Unterstützung in dem Defektgebiet liefern, d.h. darüber liegende Strukturen adäquat abstützen und Knochenneubildung auf der frakturierten Seite anregen.
- eine mehrere Wochen bis einige Monate anhaltende mechanische Stabilität geben, die auch zur Stabilisierung größerer Defekte ausreicht.
- eine gute Gewebeverträglichkeit ohne nennenswerte Fremdkörperreaktion haben, d.h. es sollte reizlos und dauerhaft einheilen.
- langsam resorbiert werden unter Zurücklassung einer zarten Narbe.
- nicht karzinogen und frei von potentiellen Krankheitserregern sein.
- jederzeit verfügbar sein, ohne Sekundäreingriffe zu seiner Gewinnung durchführen zu müssen oder längere Vorbereitungszeiten vor seiner geplanten Verwendung zu benötigen.

(Höltje 1983 S. 65; Kontio et al. 2001 S. 278; Baumann et al. 2002 S. 367; Potter and Ellis III 2004 S. 1280).

Die bevorzugten Materialien für kleinere bis mittelgroße Orbitawanddefekte sind alloplastische resorbierbare Materialien wie Poly-p-Dioxanon-Folien (PDS-Folien) oder Poly-L-lactide-Platten.

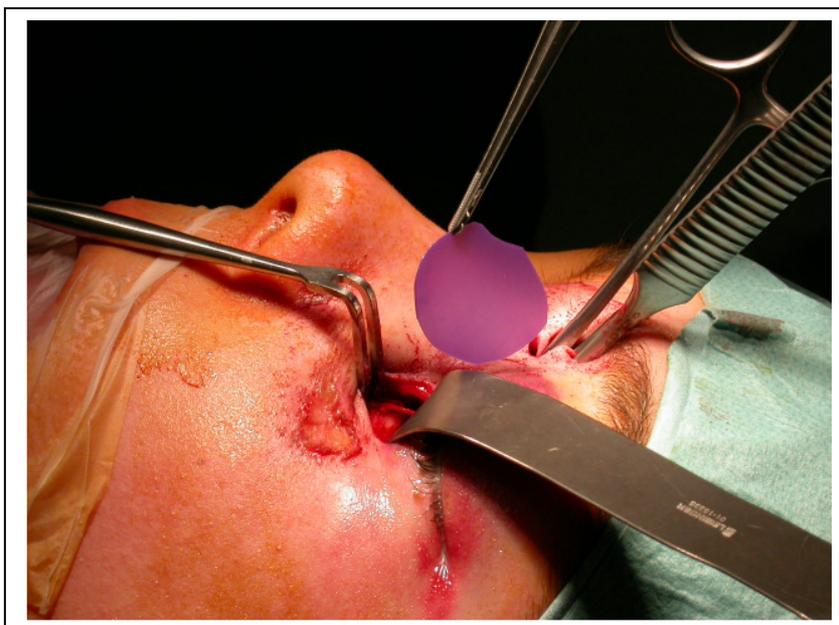
Das Poly-p-Dioxanon der PDS-Folien ist ein aliphatischer Polyester, der durch Polymerisation des Monomers p-Dioxanon entsteht. Die biologische Auflösung erfolgt durch hydrolytische Spaltung der Makromoleküle (Hidding et al. 1991 S. 195; Schliephake et al. 1991 S. 252).

Die PDS-Folie verliert 4-5 Wochen nach Einbringen in die Orbita 50% ihrer Stärke, ist jedoch nach 6 Wochen noch vollständig vorhanden. Sie sollte nach 7-12 Monaten vollständig resorbiert sein (Krainau et al. 1991 S. 217; Merten and Luhr 1994 S. 189; Baumann et al. 2002 S. 368).

Das Material wird sehr gut toleriert (Kontio et al. 2001 S. 278).

Seit 1991 gibt es die von Hidding et al. entwickelten und heute verwendeten Folien der Stärke 0,5 mm und 0,25 mm, seit 1996 steht auch eine Stärke von 0,15 mm zur Verfügung (Hidding et al. 1991 S. 195; Merten et al. 1999 S. 122).

Abbildung 4 zeigt ein intraoperatives Bild einer Orbitawandrekonstruktion (mediale Orbitawand) kurz vor Einlage einer 0,25 mm dicken PDS-Folie in der Mund-Kiefer- und Gesichtschirurgie des Klinikums rechts der Isar.



Die Folie ist verformbar und lässt sich so der Kontur der Orbita in idealer Weise anpassen. Histologisch bildet sich um die anisotrope PDS-Folie eine fibroblastenreiche Kapsel. Rissbildungen sind erst nach zwei Monaten zu erkennen (sog. Fragmentierung).

Abb. 4: PDS-Folie 0,25 mm, intraoperativer Situs
(Quelle: MKG des Klinikums RdI der TUM)

Nach vier Monaten ist eine zerbröckelte Folie sichtbar, die von einem Reaktionssaum aus zahlreichen Fibroblasten und Makrophagen umgeben ist (Hidding et al. 1991 S. 195).

Die Vorteile der PDS- Folie noch einmal zusammengefasst:

- Gute Formbarkeit
- Gute mechanische Stabilität
- Gute Gewebeerträglichkeit
- Resorbierbarkeit des Materials
- Einfache Handhabung
- Verfügbarkeit in gewünschter Dicke und Menge (Hidding et al. 1991 S. 195).

Für die Rekonstruktion des Orbitabodens bei einfachen Orbitabodenfrakturen sowie auch für einfache Frakturen der medialen Orbitawand hat sich die subperiostale Einlagerung von 0,25 bzw. 0,5 mm dicken, resorbierbaren PDS-Folien klinisch bewährt. Mit diesem Verfahren kann die weitaus größte Zahl der Orbitafrakturen, bei denen keine ausgedehnten Defektfrakturen vorliegen, in befriedigender Weise behandelt werden (Hessling et al. 1991 S. 208; Horch 2007 S. 171).

Auf die frühere Verwendung von allogenen oder xenogenen Implantaten (z.B. lyophilisierte Dura) sollte verzichtet werden, da hierbei das Vorkommen prionassoziierter Erkrankungen (Morbus Jakob-Creutzfeld) beschrieben wurde (Prichard et al. 1987 S. 1036; Thadani et al. 1988 S. 766; Potter and Ellis III 2004 S. 1287; Horch 2007 S. 171).

Bei größeren und sehr ausgedehnten Frakturen bis hin zum vollständigen knöchernen Orbitabodenverlust empfiehlt sich eine Rekonstruktion mit autogenem Rippenknorpel oder ein temporo-parietales Kalottentransplantat aus der Tabula externa.

Es kann auch für große Defekte auf andere alloplastische Materialien außer der PDS-Folie ausgewichen werden (Horch 2007 S. 170). Diese teilt man ein in nicht-resorbierbare und resorbierbare Implantate. Die nicht resorbierbaren Materialien bestehen aus dichter Aluminiumoxid-(BioloX®) oder Hydroxylapatit-Keramik, Mikro-Titangitter, Silikon, Polyethylen (Medpor®) und Teflon® (Kontio et al. 2001 S.279 ; Baumann et al. 2002 S.367; Jank et al. 2003a S.16 ; Potter and Ellis III 2004 S. 1289). Diese nicht resorbierbaren alloplastischen Materialien liegen als ständige Fremdkörper in der Orbita und müssen in einer Zweitoperation wieder entfernt werden (Baumann et al. 2002 S. 368; Jank et al. 2003a S. 16).

Die resorbierbaren Materialien, die bei ausgedehnten Orbitabodendefektfrakturen zur Anwendung kommen, bestehen aus Polydioxanon (PDS®-Schale) oder Polyglactin (Vicryl®) (Horch 2007 S. 171).

Bei der Sekundär- bzw. Spätversorgung von Orbitafrakturen findet man vor allem die disloziert verheilten Orbitafrakturen mit funktionellen ophthalmologischen Störungen.

Kleine bis mittelgroße mit einer PDS-Folie versorgte Frakturen heilen in der Regel komplikationslos aus (Baumann et al. 2002 S. 372). Ab einer bestimmten Defektgröße der Fraktur kann es zu einem sekundären Lagewechsel der Folie kommen oder die Folie deckt den Defekt nicht vollständig ab. Auch fehlt es der Narbe, die nach vollständiger Resorption der PDS-Folie gebildet wird, bei großen Defekten oft an genügender Stabilität, um den Bulbus in Position zu halten. Dies kann über eine mögliche Bulbusdislokation in Richtung des noch vorhandenen Defektes zu Komplikationen wie Enophthalmus, Bulbusmotilitätsstörungen und Diplopie führen (Kontio et al. 2001 S. 282; Baumann et al. 2002 S. 372; Potter and Ellis III 2004 S. 1294).

Ein eventuell noch vorhandener Orbitaboden- oder medialer Wanddefekt wird in diesen Fällen nach Lösen der Narbenplatte in der Regel durch weitere PDS-Folien gedeckt. Ein postoperativ weiterhin bestehender Enophthalmus ist auch durch die Rekonstruktion der Orbita mit autogenen Tabula-externa-Transplantaten äußerst schwierig.

2.2.3.3 Chirurgische Zugänge

Im Folgenden werden die chirurgischen Zugänge, die bei diesem Patientenkollektiv Anwendung fanden, beschrieben:

Orbitaboden:

In der Regel erfolgte der chirurgische Zugang über einen Infraorbitalschnitt.

Prinzipiell sind auch der transkonjunktivale sowie der subziliare Zugang für eine übersichtliche Darstellung der Infraorbital- und Orbitabodenregion geeignet. Jedoch waren bei diesem Patientenkollektiv die Frakturen für diese beiden Zugänge oft zu ausgedehnt.

Man erreicht etwa 5 mm unterhalb der Lidkante mit Präparation zwischen Septum orbitale und Musculus orbicularis oculi eine ausreichende Übersicht im Bereich des Orbitabodens bei Vermeidung sekundärer funktioneller Schäden und äußerst befriedigenden ästhetischen Ergebnissen. Nach Darstellung des unteren Orbitarandes geht man subperiostal in die Orbita ein und reponiert vorsichtig eingeklemmtes oder in die Kieferhöhle disloziertes Orbitagewebe. Dabei werden auch eventuell in den Frakturspalt eingeklemmte Anteile des Musculus rectus inferior befreit (Horch 2007 S. 169).

Mediale Wand der Orbita:

Der Zugang zur medialen Orbitawand erfolgte über einen W- oder Z-förmigen medialen Orbitaschnitt oder einen nasalen Medianschnitt.

Bei Mitbeteiligung der medialen Wand im Rahmen von schweren Mittelgesichtsfrakturen mit Dislokationen und Knochenaussprengungen in den Sinus frontalis oder auch bei bilateralen Frakturen erfolgte der Zugang über einen bikoronaren Bügelschnitt. Im Falle einer ausgedehnten supraorbitalen Platzwunde konnten im Rahmen einer Z-Plastik zusammen mit einem infraorbitalem Schnitt geeignete Zugänge geschaffen werden (Horch 2007 S. 170).

2.3 Bildgebende Verfahren: Computertomographie und Magnetresonanztomographie

Vor allem die Doppelbildwahrnehmung aufgrund von Bulbusmotilitätsstörungen und der Enophthalmus mit seinen ästhetischen Folgen führen den Patienten erneut in die Klinik (Jackson and Whitehouse 1993 S. 655; Freihofer 1995 S. 144; Schuknecht et al. 1996 S. 470; Ramieri et al. 2000 S. 302; Gellrich et al. 2002 S. 1417).

Allerdings ist die Zweitkorrektur der betroffenen knöchernen Orbita zur Behebung dieser Komplikationen schwierig und das Ergebnis oft unbefriedigend (Freihofer 1995 S. 144; Ramieri et al. 2000 S. 302; Fan et al. 2003 S. 207).

Daher stellt die sekundäre Operation der Orbita eine ernsthafte Herausforderung dar, die einen erfahrenen Chirurgen und weitere bildgebende Diagnostik erfordert (Kawamoto 1982 S. 423; Gellrich et al. 2002 S. 1417).

Diese wird meist in Form weiterer CT-Aufnahmen geliefert (Lemke et al. 2001 S. 435; Kontio et al. 2001 S. 279; Imhof et al. 2003 S. 34).

Die MRT dagegen, die zwar häufig als Zusatzdiagnostik aber nicht als Ersatz für die CT angewandt wird, liefert eine ebenso gute Darstellung ohne den großen Nachteil der Strahlenbelastung.

2.3.1 Vor- und Nachteile der Computertomographie

Die Multislice-CT und verbesserte Software-Entwicklungen ermöglichen die bildliche Darstellung der Orbita in allen Ebenen und ihre dreidimensionale Rekonstruktion, die zu einer genaueren praeoperativen Beurteilung der Orbita beiträgt (Charteris et al. 1993 S. 100; Carls et al. 1994 S. 23; Schuknecht et al. 1996 S. 470; Ramieri et al. 2000 S. 303; Ploder et al. 2001 S. 1438; Gellrich et al. 2002 S. 1417; Filatova et al. 2005 S. 9).

Die CT liefert geeignete Bilder, die eine nur kurze Messzeit erfordern (Huber 1989 S. 348). Dadurch können auch polytraumatisierte Patienten in schlechtem Allgemeinzustand unter Ausschluss von eventuellen Kontraindikationen einer Untersuchung unterzogen werden. Außerdem kommt es bei unruhigen Patienten zu weniger Bewegungsartefakten, da die Messzeit kürzer ist (Zhan et al. 1995 S. 131). Die CT ist besonders zur Knochendarstellung geeignet, was für einen Frakturachweis sehr von Vorteil ist. Gleichzeitig kann sie auch Weichteilgewebe darstellen und vom Knochengewebe differenzieren (Zhan et al. 1995 S. 132; Williams et al. 1995 S. 126; Harris et al. 1998 S. 329; Freund et al. 2002 S. 1128).

Ein Nachteil ist die auch bei Low-dose-Technik vorhandene Strahlendosis, die gerade für die Linse bei wiederholten Orbitaaufnahmen aufgrund von postoperativen Komplikationen eine große Strahlenbelastung darstellt (Dammann et al. 2000 S. 232; Zammit-Maempel et al. 2003 S. 420; Schulze et al. 2004 S. 83; Bassim et al. 2005 S. 531).

Metallartefakte von eingesetzten Schrauben und Mikroplatten, aber auch von Zahnimplantaten können die Bilder teils stark verzerren (Olsen et al. 2000 S. 699; Freund et al. 2002 S. 1130). Trotzdem stellt die CT vor allem bei akuter Klinik und schnell benötigter Diagnostik nach wie vor den klinischen Standard in den Krankenhäusern dar.



Abb. 5: 16-Zeilen-Multislice-Computertomograph der Firma Siemens AG (Sensation 16, Siemens Medical Solutions, Erlangen, Germany, Quelle: www.medical.siemens.com)

2.3.2 Vor- und Nachteile der Magnetresonanztomographie

Die MRT liefert eine bessere Weichteildarstellung als die CT und damit eine größere Effizienz beim Darstellen von Weichgewebshernien bei gleichzeitig guter Knochendarstellung (Hell et al. 1990 S. 154; Zhan et al. 1995 S. 131; Williams et al. 1995 S. 127; Okinaka et al. 1999 S. 1174; Kontio et al. 2001 S. 284; Freund et al. 2001 S. 316; Freund et al. 2002 S. 1127). Das Magnetfeld ermöglicht durch verschiedene technische Einstellungen optimierte Bildqualität angepasst an die jeweilige Fragestellung ohne jegliche Strahlenbelastung (Kauffmann et al. 2001 S. 109).

Nachteilig sind die im Vergleich zur CT längeren Messzeiten, die häufiger zu Bewegungsartefakten durch Augenbewegungen des Patienten führen können. Außerdem tolerieren manche Patienten aufgrund eines schlechten Allgemeinzustandes oder einer Klaustrophobie keine längeren Untersuchungszeiten.

Die schon oben genannten bei Orbitafrakturen verwendeten Osteosynthesematerialien, wie z.B. Miniplatten und Schrauben sowie auch Zahnimplantate, verursachen auch bei der MRT Metallartefakte (Kauffmann et al. 2001 S. 113).



**Abb. 6: Kernspintomographierät mit 1,5 Tesla Feldstärke der Firma Phillips©
(ACS NT Intera upgrade Phillips, Best, the Netherlands,
Quelle: www.medical.philips.com)**

2.4 Zielsetzung der Arbeit

Ziel dieser Arbeit ist es, die Darstellbarkeit der einzelnen Strukturen der Orbita und ihrer pathologischen Veränderungen, des Rekonstruktionsmaterials sowie die Segmentation und Volumetrierung von Orbitavolumina in der Magnetresonanz- und Computertomographie zu vergleichen.

3 Patientenkollektiv und Methodik

3.1 Patientengesamtkollektiv sowie Patientenvergleichskollektiv

Von September 2001 bis Oktober 2005 wurden 34 Patienten, die aufgrund von verschiedenen Frakturen im Schädel- und Gesichtsbereich mit Beteiligung der Orbita in der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie der Technischen Universität München behandelt wurden, im Rahmen dieser prospektiven Studie untersucht.

27 der Patienten waren männlichen, 7 weiblichen Geschlechts. Es wurden postoperativ MRT-Aufnahmen angefertigt, 3 Patienten erhielten auch praeoperativ eine MRT-Untersuchung, wobei einer dieser drei Patienten konservativ behandelt wurde (MRT-Aufnahmen insgesamt: n =52).

Die zum Vergleich benötigten postoperativen CT-Aufnahmen wurden nur bei entsprechender klinischer Indikation wie zum Beispiel postoperativen Komplikationen durchgeführt. Als postoperative Komplikation galten Doppelbildwahrnehmungen, Motilitätsstörungen und Enophthalmus. Die praeoperativen CT-Untersuchungen waren grundsätzlich für jeden Patienten als Routineuntersuchung bereits vorhanden.

Kein Patient erhielt eine CT - Aufnahme nur zu Zwecken dieser Studie. Daher musste auf bereits vorhandene oder indikationsbedingte CT-Bilder zurückgegriffen werden.

24 von 34 Patienten erhielten somit ein oder mehrere, prae- und/oder postoperative CT-Untersuchungen (n=30).

Aus diesem Gesamtkollektiv konnten jeweils 20 MRT- und CT- Untersuchungen (n=20) von 18 Patienten, die für den Vergleich zwischen MRT und CT geeignet und vorhanden waren, ausgewählt werden.

Von den 18 Patienten waren 14 männlichen und 4 weiblichen Geschlechts.

Das Durchschnittsalter zum Zeitpunkt der Operation lag für die Männer bei 37,14 Jahren, für die Frauen bei 67,5 Jahren und insgesamt bei 43,8 Jahren. Der jüngste Patient war 17 Jahre und die älteste Patientin 83 Jahre alt.

Bei den 20 MRT- und 20 CT- Aufnahmen handelte es sich um jeweils 17 postoperative und 3 praeoperative Untersuchungen, wobei eine der praeoperativen Aufnahmen von einem Patienten mit letztlich konservativer Therapie stammt.

Die Orbitafrakturen ereigneten sich bei 6 Patienten im Rahmen eines Verkehrsunfalls, bei weiteren 6 im Rahmen eines Rohheitsdeliktes, 4 Patienten erlitten Stürze und zwei zogen sich Orbitaverletzungen im Rahmen eines Fahrradunfalles zu.

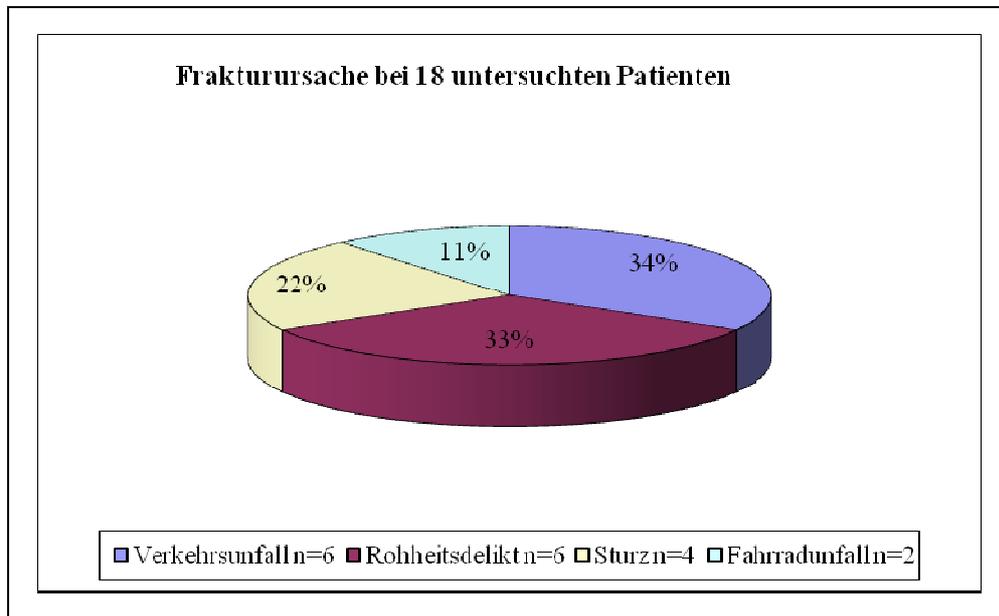


Abb. 7: Frakturursache im Patientenkollektiv (n=18)

Die Operation erfolgte in der Regel innerhalb von 7 Tagen nach dem Unfall.

Der Zeitraum zwischen Operation und Bildgebung lag für die MRT-Untersuchungen bei durchschnittlich 28,8 Tagen, der kürzeste Zeitraum betrug 3 Tage, der längste 138 Tage. Der Median lag bei 14 Tagen.

6 MRT-Untersuchungen fanden 25 Tage postoperativ statt, weitere 7 Untersuchungen zwischen 7 und 25 Tagen postoperativ, 5 zwischen 0-7 Tagen postoperativ.

3 MRT-Aufnahmen wurden praeoperativ bzw. bei konservativer Behandlung durchgeführt.

Für die CT - Aufnahmen lag der Zeitraum zwischen Operation und Bildgebung im Mittel bei 7,9 Tagen, die früheste Untersuchung war noch am Operationstag selbst, die späteste fand 52 Tage postoperativ statt. Der Median betrug 2 Tage.

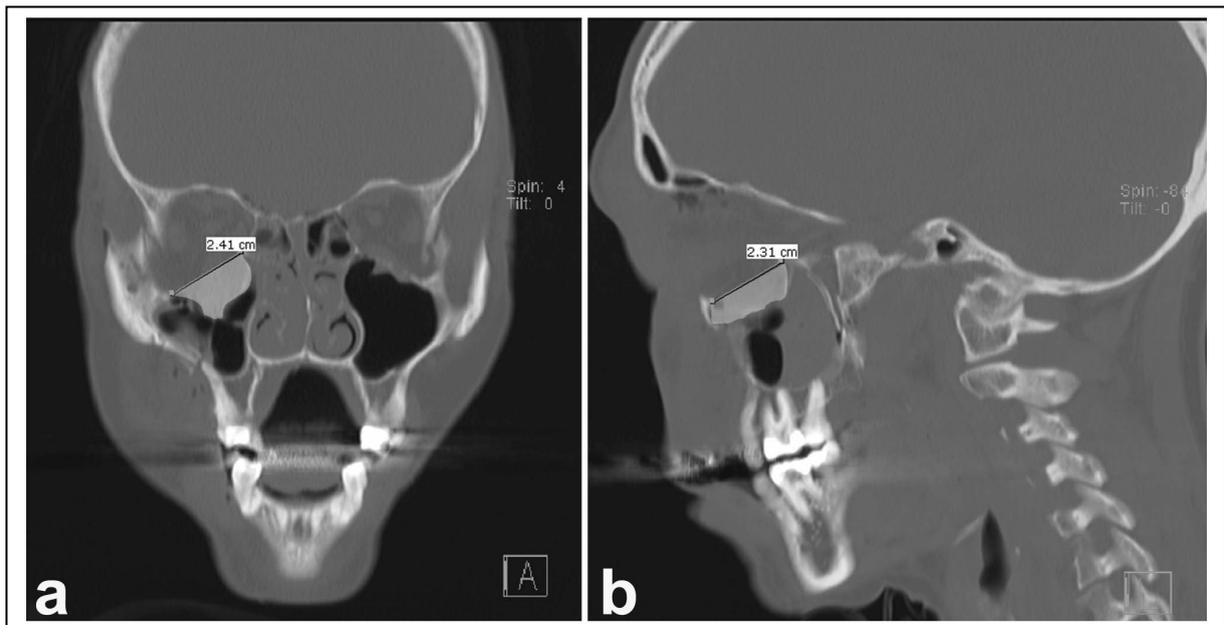
Zwei CT-Untersuchungen fanden 25 Tage postoperativ statt, zwei weitere zwischen 7 und 25 Tagen und 13 Untersuchungen in den ersten sieben Tagen.

3 CT-Aufnahmen wurden den MRT-Aufnahmen entsprechend praeoperativ bzw. bei konservativer Behandlung angefertigt (siehe dazu zusammenfassend Tab. 1).

3.2 Studienparameter

3.2.1 Einschlusskriterien

Einschlusskriterien für die Studie waren uni- oder bilaterale Frakturen des Orbitabodens oder der medialen Orbitawand, wobei es keine Rolle spielte, ob diese Frakturen isoliert oder als Begleitverletzungen, z.B. im Rahmen einer Mittelgesichtsfraktur, vorlagen. Die jeweiligen Frakturen wiesen praeoperativ mindestens eine Defektlänge oder Defektbreite von 2 cm (im Mittel 3,3 cm, Spannweite von 2,0 bis 4,7 cm) und eine korrespondierende Defektfläche von mindestens 3 cm² (im Durchschnitt 3,0 cm², Spannweite von 3,0 bis 5,3 cm²) auf. In Abb. 8 wurden Distanzmessungen von der medialen zur lateralen sowie von der ventralen zur dorsalen Frakturgrenze einer ausgedehnten rechtsseitigen Orbitabodenfraktur vorgenommen. Aus diesen Messungen wurde die Frakturfläche errechnet.



**Abb. 8: Bildliche Darstellung der Bestimmung und Berechnung der Frakturgröße
Coronare (a) und sagittale (b) MSCT-Bilder einer rechtsseitigen periorbitalen Fraktur**

Patienten mit Frakturen in anderen Bereichen der Orbita, wie z.B. des Orbitadaches, wurden nicht ausgeschlossen, solange gleichzeitig eine Fraktur des Orbitabodens oder der medialen Orbitawand vorlag.

Alle Patienten bis auf einen erhielten eine entsprechende Orbitawandrekonstruktion mittels einer oder mehrerer PDS-Folien der Schichtdicke 0,25 mm oder 0,5 mm (Ethicon, Johnson & Johnson, Brussels, Belgium).

3.2.2 Häufigkeit von Frakturseite und Frakturlokalisierung

Bei 12 Patienten war jeweils nur ein Auge betroffen, davon 9 rechts und 3 links. Bei den restlichen 6 Patienten lagen jeweils beidseitige Frakturen vor.

4 der 18 Patienten hatten eine einseitige Orbitabodenfraktur, 4 Patienten hatten eine einseitige Orbitabodenfraktur tief im Trichter mit Übergang nach medial, ein Patient hatte im Rahmen einer beidseitigen Orbitaverletzung auf der linken Seite eine isolierte Fraktur der medialen Orbitawand. Es lagen insgesamt 11 kombinierte Frakturen (Orbitaboden und mediale Orbitawand gleichzeitig betroffen) vor, davon 6 bei beidseitigen Frakturen und 5 bei einseitiger Fraktur (siehe Tab. 1).

Abb. 9 gibt einen Überblick über die vier kategorisierten Orbitafrakturlokalisationen, wobei nicht berücksichtigt wurde, ob diese bei ein- oder beidseitiger Fraktur vorlagen.

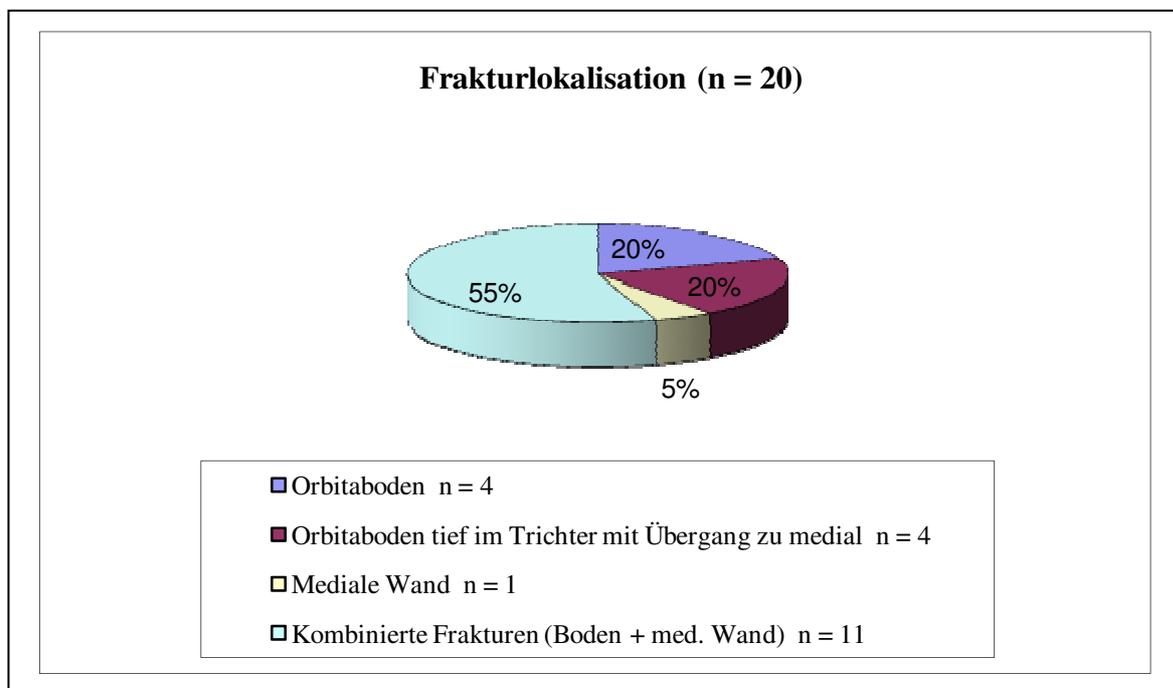


Abb. 9: Frakturlokalisierung in 4 Kategorien eingeteilt (n=20)

Tab. 1: Wichtige Kollektivparameter im Überblick

<i>Patienten</i>	Unter- suchungs- nummer	Geschlecht	Alter in Jahren	Frakturierte Seite der Orbita	Frakturtyp	Operation- MRT in Tagen	Operation- CT in Tagen
<i>Patient 1</i>	1	♂	28	Rechts	3	3	2
<i>Patient 2</i>	2	♂	45	Beidseitig	3	3	7
<i>Patient 3</i>	3	♀	83	Rechts	4	14	7
<i>Patient 4</i>	4	♂	52	Beidseitig	3	5	0
<i>Patient 5</i>	5	♀	79	Links	1	7	6
<i>Patient 6</i>	6	♀	72	Beidseitig	re = 4; li = 3	17	15
<i>Patient 7</i>	7	♂	17	Rechts	3	<i>praeoperativ</i>	<i>praeoperativ</i>
<i>Patient 8</i>	8	♂	57	Beidseitig	3	11	1
<i>Patient 9</i>	9	♂	46	Beidseitig	re = 3; li = 2	22	2
<i>Patient 10</i>	10	♂	44	Rechts	3	14	52
<i>Patient 11</i>	11a	♂	42	Rechts	4	23	1
	11b			Rechts	4	62	11
<i>Patient 12</i>	12	♂	21	Rechts	1	34	5
<i>Patient 13</i>	13a	♀	36	Rechts	4	<i>praeoperativ</i>	<i>praeoperativ</i>
	13b			Rechts	4	34	3
<i>Patient 14</i>	14	♂	36	Links	3	9	2
<i>Patient 15</i>	15	♂	21	Beidseitig	3	138	0
<i>Patient 16</i>	16	♂	56	Links	3	116	1
<i>Patient 17</i>	17	♂	36	Rechts	1	65	44
<i>Patient 18</i>	18	♂	19	Rechts	1	<i>konservativ</i>	<i>konservativ</i>

Frakturtyp:
 1= Orbitaboden
 2= Mediale Wand der Orbita
 3= Kombiniert = Orbitaboden + mediale Wand
 4= Orbitaboden tief im Trichter mit Übergang zu medial

Operation – MRT = Zeitspanne zwischen Operation und MRT in Tagen
 Operation – CT = Zeitspanne zwischen Operation und CT in Tagen
 Konservativ = Ohne Operation

3.2.3 Klinische Untersuchungen

Zur Bestimmung postoperativer Komplikationen wurden die Krankenakten der Patienten der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie des Klinikums rechts der Isar der TUM sowie die Konsile der Augenklinik des Klinikums rechts der Isar der TUM ausgewertet.

Alle Patienten wurden jeweils am 1., 4., 7. und 14. postoperativen Tag ophthalmologisch untersucht. Dabei wurde auf folgende Symptome besonders geachtet:

- Alternierende Bulbusposition oder Enophthalmus
- Diplopie
- Motilitätsstörungen

Die unterschiedlichen Bulbuspositionen wurden mit dem Exophthalmometer nach Hertel (Exophthalmometer nach Hertel, Oculus Optikgeräte, Wetzlar, Deutschland) bestimmt.

Eine Seitendifferenz von mehr als 2 mm wurde als Enophthalmus bewertet.

Doppelbilder und Motilitätsstörungen wurden mit dem Hornhautreflex, der monokularen Exkursion, dem Hellrot-Glas-Test sowie ggf. mit der Goldmann-Perimetrie oder dem Harmswand-Test nachgewiesen.

Dabei stellt die monokulare Exkursion den wichtigsten Test für Doppelbildwahrnehmung und Motilitätseinschränkung dar. Hier wird die Bewegungsstrecke des Auges in mm gemessen und mit vorgegebenen Richtwerten verglichen. Eine bestimmte Einschränkung der Bewegungsstrecke des Auges und damit eine Motilitätseinschränkung ruft eine dementsprechende Doppelbildwahrnehmung hervor.

Falls nötig wird dieser Test noch durch die Goldmann-Perimetrie für die Nähe und mit dem Harmswandtest für die Ferne erweitert.

3.3 Technische Daten

3.3.1 Magnetresonanztomographie

Die MRT-Untersuchungen wurden an einem Kernspintomographiegerät mit einer Feldstärke von 1,5 Tesla (ACS NT Intera upgrade Phillips, Best, the Netherlands), das mit dem Master-Gradienten-System ausgestattet ist, unter Einsatz einer zirkular polarisierten Kopfspule durchgeführt. Es wurden axiale und coronare Schichten in T1-, T2- und Protonendichte-Wichtung in Form von hochauflösenden Spinecho- (SE) und Turbospinecho-Sequenzen (TSE) aufgenommen.

Die T1- gewichteten Sequenzen wurden mit einer Repetitionszeit von TR 700 ms, einer Echozeit von TE 21 ms, einem FOV (field of view) von 180 mm, einer Matrixgröße von 512, einer Schichtdicke von 2,5 mm/gap 0,25 mm (gap=Abstand zwischen den Schichten), mit 3 Messmittlungen und einer Messzeit von je 7 Minuten gefahren.

Für die T2-gewichteten Bilder wurde eine TSE-Sequenz mit einer Repetitionszeit von TR 4000 ms, einer Echozeit von TE 100 ms, einem FOV von 180 mm, einer Matrixgröße von 512, einem Turbofaktor von 13, mit 4 Messmittlungen und einer Schichtdicke von 2,5 mm/gap 0,25 mm verwendet. Die Messzeit betrug 6 Minuten.

Für die Volumetrie wurden zusätzlich isotrope Sequenzen angefertigt, um die Bildschärfe zu erhöhen und damit die semiautomatische Segmentation des knöchernen Orbitavolumens überhaupt erst zu ermöglichen. Der isotrop gemessene Datensatz hatte eine Voxelgröße von $1 \times 1 \times 1 \text{ mm}^3$ und wurde primär transversal gemessen. Danach erfolgte die paracoronare Rekonstruktion des Datensatzes für die Segmentation (siehe 3.4.2. Volumenmessung der knöchernen Orbita).

Die Sequenzen der isotropen Protonendichte-Wichtung (PDW) für die Orbitavolumetrierung wurden mit einer TR von 5500 ms, einer TE von 25 ms, einem FOV von 230 mm, einer Matrixgröße von 256, einer Schichtdicke von 1 mm/gap 0, mit 4 Messmittlungen und einer Messzeit von je 6 Minuten durchgeführt.

Der Messbereich der Kopfspule in coronarer Ebene deckte die Orbita nach cranial und caudal komplett ab. In axialer Ebene wurde der gesamte Bereich des Kopfes gemessen.

<u>MRT-PARAMETER</u>	<u><i>T1</i></u>	<u><i>T2</i></u>	<u><i>PDW</i></u>
<i>TR in ms</i>	700	4000	5500
<i>TE in ms</i>	21	100	25
<i>FOV in mm</i>	180	180	230
<i>Matrixgröße</i>	512	512	256
<i>Turbofaktor</i>	-	13	-
<i>Schichtdicke in mm</i>	2,5	2,5	1
<i>Lücke (gap) in mm</i>	0,25	0,25	0
<i>Messmittlungen</i>	3	4	4
<i>Messzeit in min</i>	7	6	6

Tab. 2: MRT-Parameter im Überblick

3.3.2 Computertomographie

Die CT-Aufnahmen wurden mit dem 16-Zeilen-Multislice-Computertomographen Somatom Volume Zoome Scanner (Sensation 16, Siemens Medical Solutions, Erlangen, Germany) in axialer Ebene für 3-dimensionale Rekonstruktionen aufgenommen:

Röhrenspannung 120 kV, Röhrenstrom 300 mAS (Weichgewebs- und Knochenfenster), 0,75 mm Schichtkollimation bei 10 mm/Rotation Tischvorschub. Der rekonstruierte Datenblock wurde mit Hilfe des K70h kernel mit einer Schichtdicke von 2 mm (von 0,75 mm ausgehend) angefertigt.

<u>CT-PARAMETER</u>	<u>16-ZEILEN-MSCT</u>
<i>Röhrenspannung in kV</i>	120
<i>Röhrenstrom in mAS</i>	300
<i>Schichtkollimation in mm</i>	0,75
<i>Tischvorschub in mm/Rotation</i>	10
<i>kernel</i>	K70h
<i>Schichtdicke in mm</i>	2

Tab. 3: CT-Parameter im Überblick

3.4 Auswertung der MRT- und CT- Aufnahmen

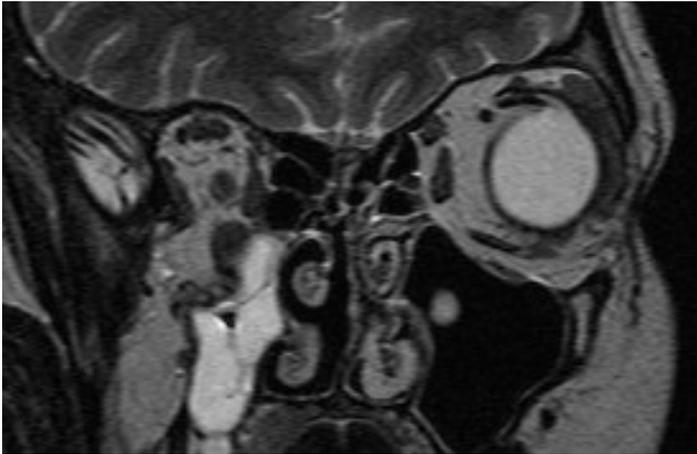
3.4.1 Befundung der MRT- und CT- Aufnahmen

Die MRT- sowie CT-Aufnahmen wurden nach verschiedenen Gesichtspunkten und Kriterien gemeinsam von immer demselben Radiologen und Mund-Kiefer-Gesichtschirurgen beurteilt und verglichen.

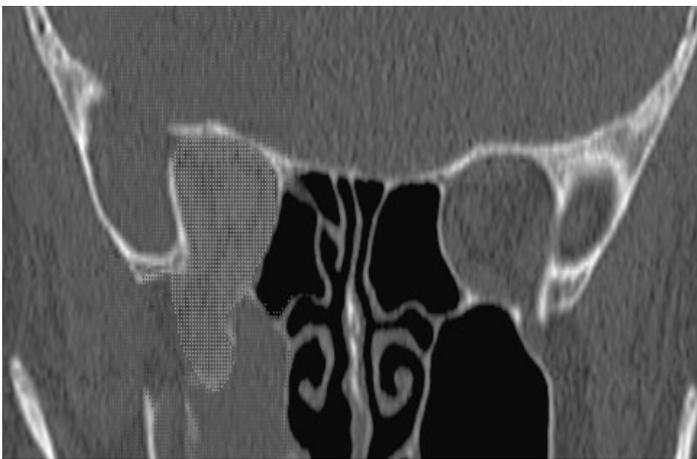
3.4.1.1 Frakturachweis und Frakturbestimmung

Frakturachweis und Frakturbestimmung erfolgten sowohl mittels praeoperativer Diagnostik als auch intra operationem.

Zwei praeoperative MRT- CT- Untersuchungen sind in diese Studie aufgenommen worden, um als zusätzliche Bestätigung für richtigen Frakturachweis und Frakturbestimmung zu dienen (siehe Tab. 1: Untersuchungsnummer: 7, 13a; Untersuchungsnummer 18 wurde konservativ behandelt).



10a: Coronare MRT-Aufnahme in T2-Wichtung



10b: Coronare CT-Aufnahme

Abb. 10: Praeoperative MRT- und CT-Aufnahme des Bodenprolaps der rechten Orbita von Untersuchungsnummer 13a

3.4.1.2 Prolaps von Orbitainhalt

Der jeweilige Prolaps wurde hinsichtlich seiner Beschaffenheit (Fettgewebs-, Muskelprolaps), seiner Lokalisation, seiner Darstellbarkeit in der MRT und CT, in Zusammenhang mit postoperativen Komplikationen sowie hinsichtlich seiner Größe bzw. seines Volumens beurteilt und eingeteilt.

Viele Patienten wiesen ophthalmologische Symptome wie Enophthalmus, Diplopie und Motilitätseinschränkungen auf. Um diese besser einordnen zu können, wurden die jeweiligen Symptome in Schweregrade eingeteilt.

Der Schweregrad des Enophthalmus wurde in drei Stufen, der Schweregrad der Diplopie und der Motilitätsstörungen in zwei Stufen eingeteilt:

Enophthalmus (bestimmt mit Exophthalmometer nach Hertel):

- I. = 0 - 2 mm, d.h. noch kein Enophthalmus, sondern nur alternierende Bulbusposition
- II. = 2 - 3 mm
- III. = über 3 mm

Diplopie:

- I. = Bei Blickwendung über 30 Grad
- II. = Bei Blickwendung von 0 – 30 Grad

Motilitätsstörungen:

- I. = Keine Motilitätseinschränkungen vorhanden
- II. = Motilitätseinschränkungen vorhanden

Die Volumina der einzelnen Prolapse wurden auf drei verschiedene Arten bestimmt:

Methode 1:

Die jeweils größte Ausdehnung in cranio-caudaler, ventro-dorsaler und medio-lateraler Richtung des prolabierten Gewebes wurde sowohl in den MRT- als auch in den CT-Aufnahmen ausgemessen und das Volumen durch Multiplikation dieser drei Werte ermittelt.

Dies stellte ein eher ungenaues Verfahren dar, das nur eine grobe Vorstellung der Volumengröße geben sollte.

Methode 2:

Das prolabierte Gewebe wurde auf die gleiche Art wie das knöcherne Orbitavolumen mit dem Easy-Vision-Segmentationsprogramm (siehe 3.4.2 Volumenmessung der knöchernen Orbita) segmentiert. Dies stellte eine sehr genaue Volumenbestimmung für die MRT-Aufnahmen dar. Mit der CT war der Weichteilkontrast selbst im Weichgewebsfenster zu schwach, so dass man den Prolaps weder exakt genug abgrenzen noch sein Volumen segmentieren konnte (siehe 3.4.2.2 Volumenmessung in der CT).

Methode 3:

Das Segmentationsprogramm „*ACR View Volume*“ (ACR View Volume by GDC Version 1.1, I. Skiljan R. Lorenz, Copy licensed to AKH Wien) ermöglichte eine weitere genaue Segmentation der einzelnen Prolapse (Ploder et al., 2003).

Dieses Programm berechnet zunächst die jeweilige umrandete Fläche einer jeden einzelnen Schicht des Prolapses, die der Benutzer manuell einzeichnet, und addiert am Ende diese Flächen zu einem dreidimensionalen Prolapsvolumen.

Dieses Programm wurde hauptsächlich für jene Prolapse verwendet, die mit dem Easy-Vision-Programm nicht segmentiert werden konnten (aufgrund fehlender PDW-Sequenzen der MRT - siehe 3.4.2.1). Außerdem dienten die damit errechneten Werte als Vergleich und Kontrolle der nach Methode 2 ermittelten Werte.

Die zusätzliche Bestimmung der Prolapsvolumina der CT-Aufnahmen wurde nicht durchgeführt, da hier der Vergleich der errechneten Werte nach Methode 2 fehlte.

Die Prolapsvolumenbestimmung nach Methode 1 bestätigte sich als sehr ungenau. Von 5 zum Vergleich geeigneten MRT- und CT-Prolapsmessungen war nur eine fast identisch. Die restlichen 4 Werte unterschieden sich sehr stark.

Methode 2 konnte nicht im Vergleich MRT versus CT erfolgen, jedoch konnten 9 Prolapse, die in der MRT nach Methode 1 und Methode 2 berechnet worden sind, miteinander verglichen werden. Auch hier unterschieden sich alle segmentierten Werte (Methode 2) stark von den grob berechneten Werten (Methode 1).

Die berechneten Werte nach Methode 3 unterstützten die Wertigkeit der segmentierten Werte der MRT-Aufnahmen nach Methode 2 und wurden dieser gleichgestellt.

So wurden nur die segmentierten Prolapswerte der MRT-Aufnahmen nach Methode 2 und 3 für weitere spätere Berechnungen wie für den Zusammenhang von Prolapsvolumen, Orbitavolumendifferenz und Enophthalmus verwendet.

Im Patientengesamtkollektiv konnten aufgrund der höheren Anzahl von MRT-Aufnahmen (n=62) mehr Prolapse (n=26) nach Methode 1, 2 und 3 bestimmt werden. Die Auswertung dieser Daten führte zur gleichen Erkenntnis wie in diesem Vergleichskollektiv. Auch im Gesamtkollektiv erwiesen sich nur die segmentierten Prolapsvolumina nach Methode 2 und 3 als aussagekräftig. Daher wurde für einige Fragestellungen das Gesamtkollektiv verwendet.

3.4.1.3 Foliendarstellung

Für die Beurteilung der Foliendarstellung wurden die 17 postoperativen MRT- und CT-Bilder mit einer oder mehrerer zur Rekonstruktion der Orbita eingesetzter PDS-Folien verwendet.

Die Beurteilung der Foliendarstellung wurde in 3 Stufen unterteilt:

- 1) Eindeutige Darstellung der Folie
- 2) Fragliche Darstellung der Folie
- 3) Keine Darstellung der Folie

3.4.1.4 Lage der Folie

Die Lage der Folie wurde in 4 verschiedene Merkmale unterteilt:

- 1) Regelrechte Lage (sichtbar, direkt an Kortikalis anliegend)
- 2) Hämatom unter der Folie bzw. Folie angehoben
- 3) Disloziert-prolabierte Folie
- 4) Nicht beurteilbare Folie (schlecht sichtbar)

3.4.1.5 Artefaktbildung in der MRT und CT

Verschiedene Formen von Artefakten zeigten sich.

Neben Bewegungsartefakten spielten vor allem die Metallartefakte eine große Rolle.

14 von 82 (n=52 (MRT), n=30 (CT)) MRT- und CT- Bildern konnten im Gesamtkollektiv aufgrund von Bewegungsartefakten nicht ausgewertet werden. Da außer Metallartefakten in der Bewertung dieses Vergleichskollektivs kaum Bewegungsartefakte gefunden werden konnten, beschränkte sich die Beurteilung von Artefakten auf das Vorhandensein von Metallartefakten.

3.4.1.6 Verschattung in den Nasennebenhöhlen

Die Lokalisation der Verschattung und der Schweregrad wurden wie folgt eingeteilt:

- 1) Sinus maxillaris
- 2) Sinus ethmoidalis
- 3) Sinus frontalis
 - a) Verschattung unter 50 %
 - b) Verschattung 50 – 100 %
 - c) Keinerlei Verschattung 0%

3.4.1.7 Sonstige Befunde

Bei verschiedenen Patienten konnten noch weitere verschiedene Befunde in der MRT und/oder CT erhoben werden, die keinen direkten Einfluss auf die eigentlichen Untersuchungskriterien hatten.

3.4.2 Volumenmessung der knöchernen Orbita

80 Orbitae aus jeweils 20 MRT- und CT-Bildern von 18 Patienten wurden volumetriert. Bei den 12 einseitigen Orbitafrakturen zählte die Gegenseite als Kontrolle. Bei den 6 Patienten mit den beidseitig betroffenen Orbitae wurde zunächst deren Mittelwert berechnet. Außerdem wurde der Mittelwert der einseitig frakturierten Orbitae sowie der Mittelwert deren Gegenseite berechnet. Daraus wurde der Mittelwert der Volumendifferenz zwischen frakturiertem und gesundem Auge bei den einseitig frakturierten Orbitae berechnet. Aus diesen Zahlen wurden standardisiert berechnete gesunde Orbitae für die 12 frakturierten Orbitae der 6 Patienten mit beidseitig betroffenen Orbitafrakturen erstellt, indem der Mittelwert der gegenseitigen Orbitae jeweils um den Mittelwert der Volumendifferenz nach oben oder unten korrigiert wurde. Dies entschied sich je nach dem, ob der tatsächliche Wert der 12 frakturierten Orbitae der beidseitig frakturierten Patienten größer oder kleiner war als der Mittelwert der einseitig frakturierten Orbitae.

Ein Beispiel mit einfachen Zahlen:

Mittleres Orbitavolumen einseitig frakturiert:	27 cm ³
Mittleres Orbitavolumen der Gegenseite:	25 cm ³
Mittlere Volumendifferenz:	2 cm ³
Patient X mit beidseitig frakturierten Orbitae:	
Gemessenes Orbitavolumen frakturiert rechts:	28,5 cm ³
frakturiert links:	26,1 cm ³

Daraus ergibt sich:

Patient X, Orbita rechts: 28,5 ist größer als 27, daher wird die angepasste gesunde Orbita nach oben korrigiert: $25+2=27$

Patient X, Orbita links: 26,1 ist kleiner als 27, daher wird die angepasste gesunde Orbita nach unten korrigiert: $25-2=23$

Somit erhält man aus einem Patienten mit beidseitig frakturierten Orbitae, zwei Wertepaare:

Frakturiert-gesund: $28,5 \text{ cm}^3 - 27 \text{ cm}^3$

Frakturiert-gesund: $26,1 \text{ cm}^3 - 23 \text{ cm}^3$

Daher werden aus vorher 6 Orbitapaaren von 6 Patienten jeweils 12 Orbitapaare mit einem frakturierten und einem angepassten gesunden Auge. Dieses Verfahren wurde sowohl für die MRT- als auch für die CT-Aufnahmen durchgeführt.

Es stehen also insgesamt 24 postoperative Orbitapaare bzw. 23 postoperative und ein konservativ behandeltes Orbitapaar sowie 2 praeoperative Orbitae mit 14 volumetrierten und 12 korrigierten Kontrollorbitae zur Verfügung (n=26).

3.4.2.1 Volumenmessung in der MRT

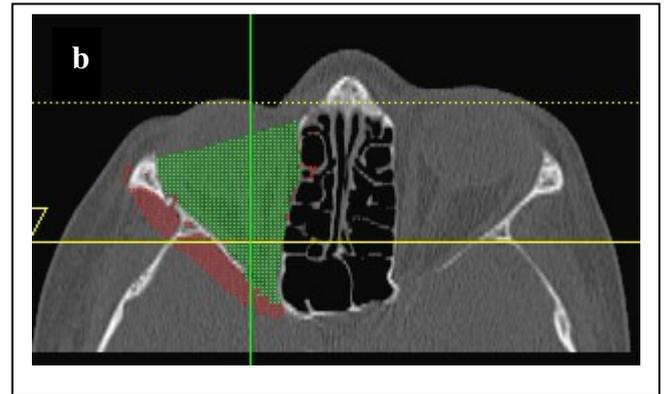
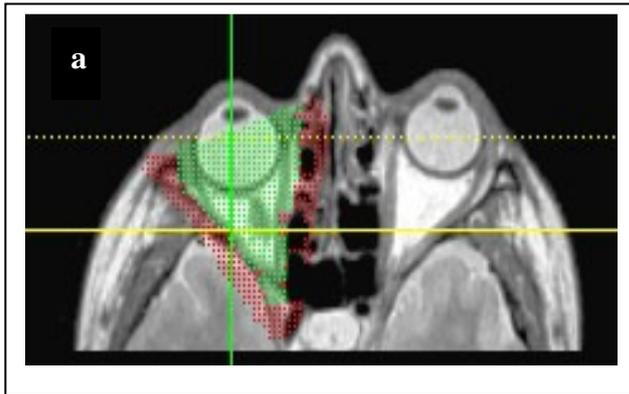
Anfangs wurden T1- und T2- gewichtete MRT-Bilder, die als DICOM-files zur Verfügung standen, mit Hilfe der Software Easy Vision von Phillips (Easy Vision 4.3, Phillips, Best, the Netherlands) bearbeitet. Um jedoch eine automatische Segmentierung durchführen zu können, reichten die Kontraste der T1- und T2-gewichteten Bilder nicht aus (Algorithmus-Problem). Das Programm konnte die einzelnen Gewebe der Orbita nicht ausreichend unterscheiden. Dies machte eine standardisierte Segmentation zunächst unmöglich.

Daher wurden zusätzlich zu den T1- und T2-gewichteten Bildern isotrope Protonendichtegewichtete axiale Aufnahmen erstellt und versucht, diese nach paracoronerer Rekonstruktion zu segmentieren. Mit dieser Wichtung war es nun möglich, zumindest eine semiautomatische Segmentation durchzuführen.

Allerdings musste die vordere und hintere Begrenzung der Orbita jeweils manuell festgelegt werden. Um hier ein standardisiertes Verfahren für die Festlegung der Orbitagrenzen zu etablieren, wurden diese vor jeder Orbitasegmentation in axialer Ebene eingezeichnet.

Die vordere Begrenzung bildete eine Linie von der Oberfläche des zygomaticofrontalen Fortsatzes zur nasomaxillären Sutur. Die gleiche Art der vorderen Begrenzung wählten auch einige andere Autoren, allerdings nur für Orbitavolumenbestimmungen mit der CT (Bite et al. 1985 S. 505; Forbes et al. 1985 S. 150; McGurk et al. 1992 S. 71; Carls et al. 1994 S. 24; Schuknecht et al. 1996 S. 471; Ramieri et al. 2000 S. 306; Deveci et al. 2000 S. 646).

Die hintere Begrenzung stellte das noch gut sichtbare Ende des knöchernen Orbitatrichters dar. Auch diese hintere Begrenzung wurde bereits von einigen Autoren gewählt (Bite et al. 1985 S. 505; Carls et al. 1994 S. 24; Schuknecht et al. 1996 S. 471), im Gegensatz zu jenen, die sich für den Sehnervenaustritt im Foramen opticum als hintere Begrenzung entschieden (McGurk et al. 1992 S. 70; Ramieri et al. 2000 S. 306; Deveci et al. 2000 S. 646; Fan et al. 2003 S. 208)).



a) Axiale PDW-Wichtung der MRT

b) Axiale CT-Aufnahme

Abb. 11: Vordere und hintere Orbitabegrenzung bei Untersuchungsnummer 13b

Diese Begrenzung wurde sowohl für die MRT- als auch für die CT-Segmentation beibehalten. Da die vordere und hintere Begrenzung manuell eingezeichnet werden musste, wurde für die ersten MRT-Volumetrierungen eine so genannte „3x3x3-Studie“ als Qualitätssicherung und als Beweis für die interindividuelle und intraindividuelle Untersucherunabhängigkeit durchgeführt.

Die Orbitae von drei unterschiedlichen Patienten, davon zwei mit einseitig frakturierter Orbita und eine gesunde Kontrollperson, wurden von drei verschiedenen Untersuchern, zwei Doktoranden und einem Radiologen, segmentiert. Dabei wurden die Orbitae der drei Patienten von jedem der drei Untersucher jeweils dreimal an unterschiedlichen Tagen volumetriert. Daraus ergaben sich 27 Werte, je 9 pro Untersucher, die mit dem Student's T-Test als signifikant zueinander bestätigt werden konnten. Dadurch war die interindividuelle und intraindividuelle Untersucherunabhängigkeit durch die Konstanz der Messergebnisse gewährleistet (siehe dazu auch Abb. 12).

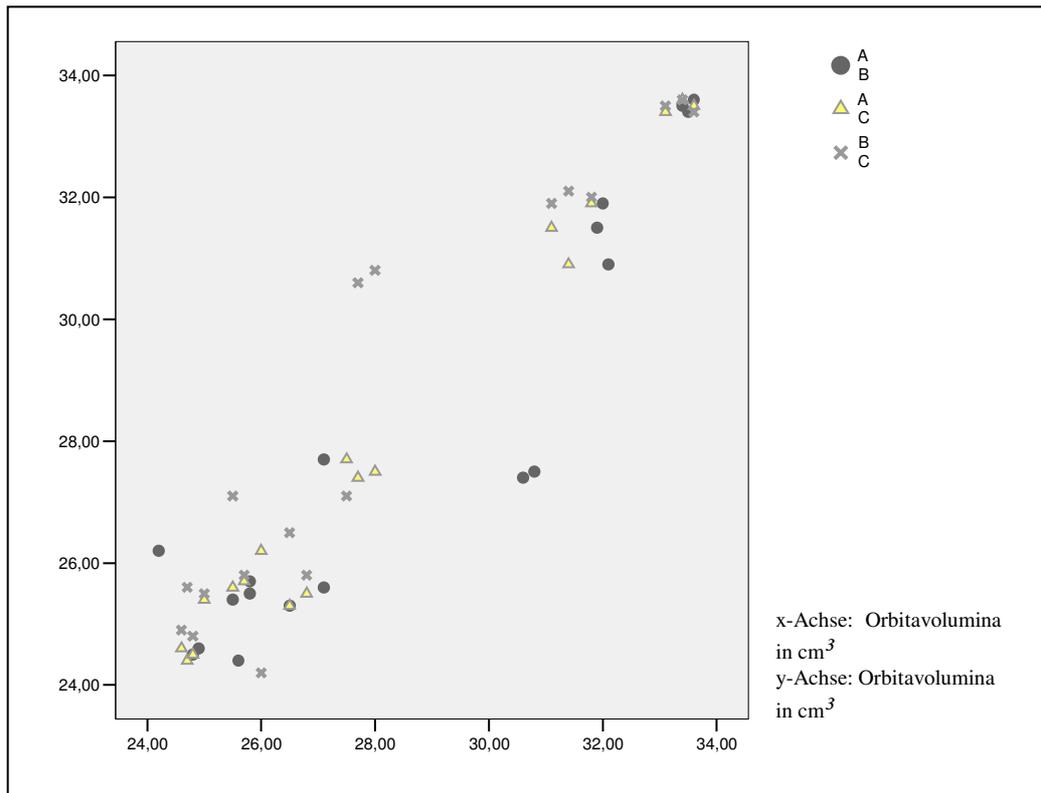


Abb. 12: Inter- und intraindividuelle Untersucherunabhängigkeit

Legende zu Abb. 12:

- A = 9 gemessene Orbitavolumina des 1. Untersuchers,
- B = 9 gemessene Orbitavolumina des 2. Untersuchers,
- C = 9 gemessene Orbitavolumina des 3. Untersuchers.

Das exakte Segmentationsverfahren mit der Easy Vision Software wurde folgendermaßen durchgeführt:

Nach Übertragung und Markierung der axialen PDW-Aufnahmen wurde zunächst aus den axialen Bildern ein paracoronarer Datensatz rekonstruiert:

- a) Aufrufen des Patientennamen über „data list“.
- b) Auswählen der axialen PDW-Aufnahme in pd-data, in oberer Bildschirmleiste „generate a sequence“  wählen, dann „orbita cor“ und „edit“.

- c) Bestätigung mit „Generate“, nachdem das zur Segmentation benötigte Orbitagebiet mit den gelben Markierungslinien richtig abgegrenzt worden ist.

Überprüfen, ob der gesamte Bulbus und der hintere Bereich des Orbitatrichters innerhalb der gelben Linien liegen.

Erstellung des paracoronaren Datensatzes durch den Computer.

- d) Markieren des neu erstellten Datensatz, „Tool“ und „Skelett“ wählen, dann auf „New“.



- e) Erscheinen des coronaren Bildes im 3-D-Modus, bereit zum Bearbeiten.

- f) Graustufenschwellwert auf 200 setzen. Ist die Schwelle gesetzt, färbt sich das Bild komplett in grün oder rot ein. Grün entspricht den Pixeln, die zur Volumenmessung verwendet werden, Rot entspricht den ausgeschlossenen Pixeln bzw. den nicht zum gesuchten Volumen gehörenden Anteilen (siehe auch Abbildung 11 und 13).

- g) Zweimal „Speck removal“ wählen, um überschüssige Pixel zu entfernen, und dann die rechte Maustaste drücken, um von der coronaren Ebene in die axiale Ebene zu wechseln.

- h) „select target“ und „edit target“ benutzen, um die Pixelfarben zu entfernen und ein normales MRT-Bild in Schwarz-weiß zu sehen.

- i) Betrachtung des kleinen coronaren Bildes am oberen rechten Bildschirmrand und Verschieben der horizontalen gelben Linie ungefähr in die Mitte des Bulbus.

- j) Wenn das Bild vor dem Entfernen der Farben mit „select target“ und „edit target“ grün war (falls nicht sollte es mit einem grünen „seed point“ geändert werden), dann das Lasso mit der Kennzeichnung „exclude exterior“ auswählen.

- k) Setzen des ersten Lassopunktes auf die ventralste Stelle des zygomaticofrontalen Fortsatzes und den zweiten Lassopunkt auf den vorderen Übergang der medialen Wand in das Os nasale zur Festlegung der vorderen Orbitabegrenzung.
- l) Um die hintere Begrenzung festzulegen, Aufsuchen der Schicht, in der der Orbitatrichter am längsten und weitesten dargestellt ist und dort Setzen des nächsten Lassopunktes ans Ende des Trichters. Nun sollte ein komplettes Lasso um den gewünschten Bereich liegen, wobei der Innenbereich grün und der Außenbereich rot dargestellt sein sollte. Dies bedeutet, dass das Programm die grünen Pixel zählt und als Volumen berechnet.
- m) Wechseln durch eine Schaltfläche links oben in den 2-D-Modus, um dort die Feinbearbeitung vorzunehmen.

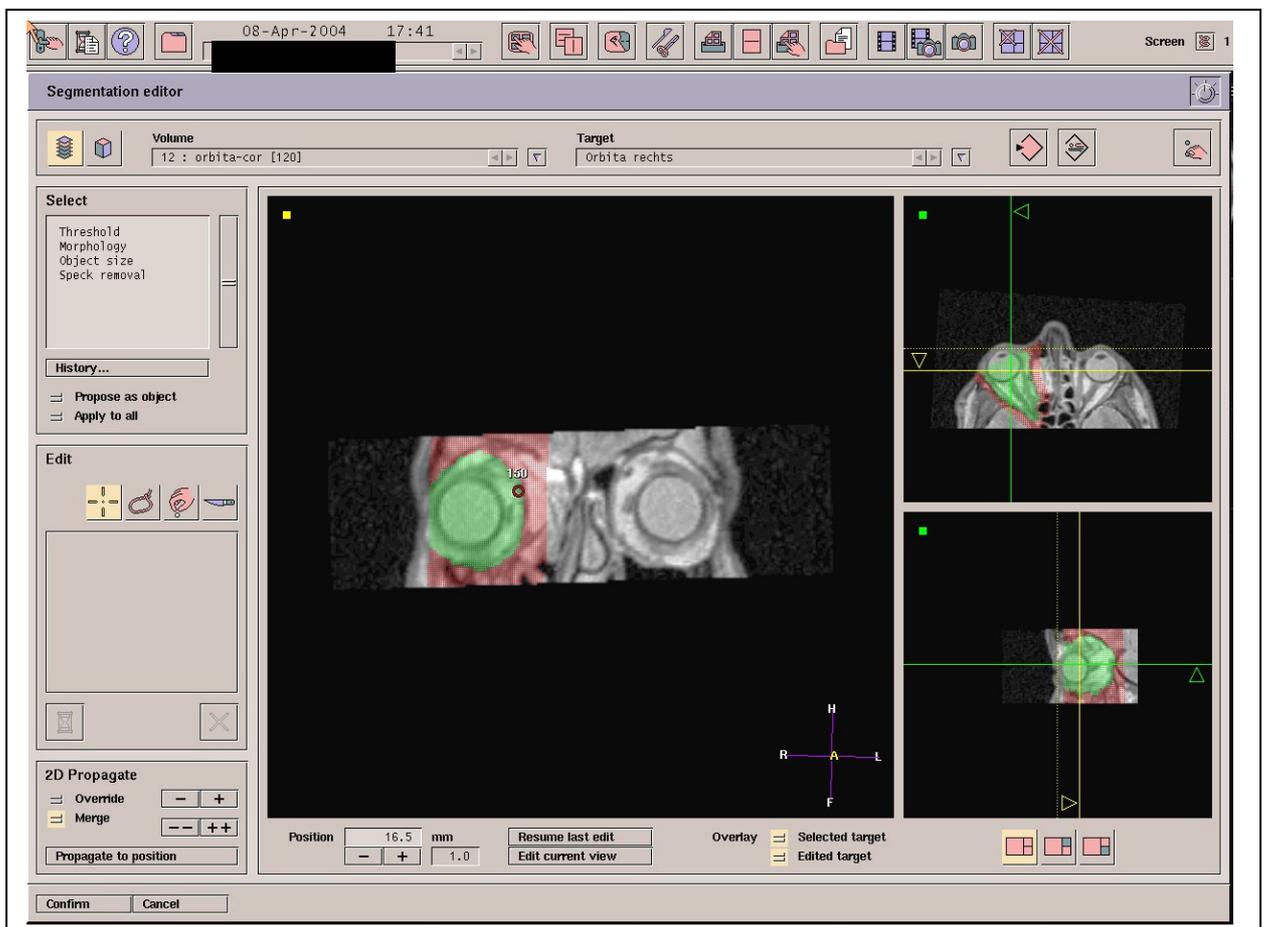


Abb. 13: Zweidimensionale Bildschirmansicht im Segmentationsprogramm Easy Vision

- n) Das Bild ist nun automatisch in coronarer Ebene eingestellt.
- o) Falls nicht, die rechte Maustaste im Bild drücken und die gewünschte Ebene wählen.
- p) Die knöcherne Orbitabegrenzung wird nun in coronarer Ebene Schicht für Schicht mit dem Schaltfeld „Messer“ ausgeschnitten und genau begrenzt. Nach wie vor sollte der

Orbitavolumenbereich grün und der Außenbereich rot dargestellt sein. Sollte in einer oder mehreren Schichten der Innenbereich rot oder Teile des Außenbereichs grün dargestellt werden, so lässt sich dies leicht mit den entsprechenden Seed-Punkten korrigieren.

- q) Das Zeichen (+/-) im unteren mittleren Drittel des Bildschirms verschiebt den gesamten Datensatz jeweils um eine Schicht nach vorne oder hinten.
- r) Tipp: Im oberen rechten Bildschirm liegt die Schaltfläche „Edit objects“. Im sich öffnenden Fenster die Option „Last edit reference“ wählen. Dadurch werden die störenden Zahlen, die neben jedem Lasso-, Messer- und Seed-Punkt entstehen, nicht länger angezeigt und das Bild kann wieder ohne Störfaktoren bearbeitet werden.
- s) Zur Fertigstellung der Segmentation „confirm“ wählen, und im nächsten Fenster „measurement“. Nun kann das segmentierte Volumen, das dem grünen Bildbereich entspricht, abgelesen werden.

Bei sehr großen Frakturen war die Segmentation oft schwierig, doch wurden Problemfälle immer dem betreuenden Radiologen und/oder Mund-Kiefer-Gesichtschirurgen vorgestellt und bei Bedarf nochmals überarbeitet. Als Problemfälle erwiesen sich große, noch postoperativ vorhandene Fettgewebprolapse, sehr ausgedehnte Frakturen im Rahmen von beidseitigen Mittelgesichtsfrakturen oder schwer darstellbare Grenzpunkte wie der Übergang der medialen Wand in das Os nasale bei Frakturen in diesem Bereich.

3.4.2.2 Volumenmessung in der CT

Die CT-Bilder wurden vom Siemens-MSCT auf die Easy Vision von Phillips übertragen und konnten dort genauso wie die MRT- Bilder bearbeitet werden. Siemens- und Phillips-Software erwiesen sich als kompatibel. Es wurde der axiale, 1 mm dicke Bilderdatensatz des Orbitabereichs im Knochenfenster, der immer komplett dargestellt war, für die Weiterbearbeitung ausgewählt. Einige der 30 CT-Bilder konnten aufgrund der starken Artefaktbildung durch Schraubenmaterial nicht korrekt segmentiert werden.

Das Segmentationsverfahren erfolgte genauso wie oben beschrieben, es ergab sich jedoch ein Unterschied in der Schwellensetzung, der hier erläutert wird:

a – e) siehe 3.4.2.1

f) Der Schwellenmodus muss zunächst neu eingestellt werden: „range“ wählen, dann die Schwelle zwischen -500 und + 500 HU (Hounsfield Units) einstellen.

g – s) siehe 3.4.2.1

3.5 Statistische Auswertung

Für sämtliche Werte wurden Mittelwerte und Intervalle und für Datenreihen statistisch signifikante Unterschiede mit dem Student's T-Test für gepaarte Stichproben berechnet und diese miteinander verglichen. Die ermittelten Volumenwerte bzw. ihre Differenz in cm³ wurden verschiedenen Faktoren wie den gefundenen klinischen Komplikationen gegenübergestellt und die statistische Signifikanz mittels einer Univarianzanalyse überprüft.

P-Werte $p \leq 0,05$ wurden als signifikant angesehen.

Die statistische Analyse wurde mit SPSS für Windows, Version 12.0 (SPSS Inc., Chicago, Ill. USA) in Absprache mit dem Institut für Medizinische Statistik und Epidemiologie des Klinikums rechts der Isar durchgeführt.

4 Ergebnisse

4.1 Befundung der MRT- und CT-Aufnahmen

4.1.1 Frakturachweis und Frakturbestimmung

Es konnten insgesamt 24 Frakturen bei den 18 Vergleichspatienten sowohl mittels praeoperativer Diagnostik als auch intra operationem nachgewiesen werden (siehe dazu Tab. 1 in 3.2.2 sowie Tab. 22 im *Tabellenanhang*).

4.1.2 Prolaps von Orbitainhalt

Bei 26 frakturierten Orbitae wurden 15 Fettgewebstrolapse (n=15) gefunden.

13 Prolapse fanden sich unter den 18 postoperativen Bildern, 2 bei den beiden praeoperativen Bildern. Der konservativ behandelte Patient (Untersuchungsnummer 18) wurde in diesem Fall in die Gruppe der postoperativen Fälle aufgenommen.

4.1.2.1 Prolapslokalisation

Von allen 15 Prolapsen fanden sich 9 tief im Trichter. Die restlichen 6 Prolapse befanden sich im zentralen und anterioren Bereich der Orbita.

4.1.2.2 Allgemeine Prolapsdarstellung

7 Fettgewebstrolapse konnten in der MRT und CT parallel nachgewiesen werden, darin inbegriffen die zwei praeoperativen Fälle. Die restlichen 8 Fettgewebstrolapse konnten jeweils nur in der MRT oder CT nachgewiesen werden (siehe Tab. 4).

In zwei Fällen wurde zusätzlich ein prolabierter Muskel gefunden (n=2). Ein Muskelprolaps konnte bei einer der praeoperativen Aufnahmen (Untersuchungsnummer 13a) sowohl in der MRT als auch in der CT erkannt werden. Der andere Muskelprolaps fand sich nur in der MRT (Untersuchungsnummer 9).

<u>PROLAPS</u>	<u>MRT</u>	<u>CT</u>	<u>MRT + CT</u>	<u>INSGESAMT</u>
<i>Fettgewebe</i>	5	3	7	15
<i>Muskelgewebe</i>	1	0	1	2

Tab. 4: Prolapsdarstellung in der MRT und CT

Insgesamt wurden von 15 vorhandenen Prolapsen 12 Prolapse in der MRT (80%) und 10 in der CT (66,6%) erkannt (n=15; MRT: 12/ CT: 10).

Bilderanhang: Abb. 14 und 15 zeigen verschiedene MRT- und CT-Aufnahmen von Fettgewebs- und Muskelprolapsen:

Abb. 14: Darstellung des Bodenprolaps der rechten Orbita bei Untersuchungsnummer 12

Abb. 15: Darstellung des Fettgewebe- und Muskelprolaps der medialen Wand der linken Orbita bei Untersuchungsnummer 9

4.1.2.3 Prolapsdarstellung in Zusammenhang mit postoperativen Komplikationen

12 von insgesamt 13 Patienten mit Fettgewebs- und Muskelprolapsen zeigten ophthalmologische Symptome wie Enophthalmus, Diplopie und Motilitätseinschränkungen.

Abb. 17 zeigt die schematische Darstellung eines Enophthalmus bei Untersuchungsnummer 1 anhand zweier Fotoaufnahmen (Quelle: MKG des Klinikums RdI der TUM). Das Zurückweichen des Bulbus ist durch die gelben Linien deutlich erkennbar.

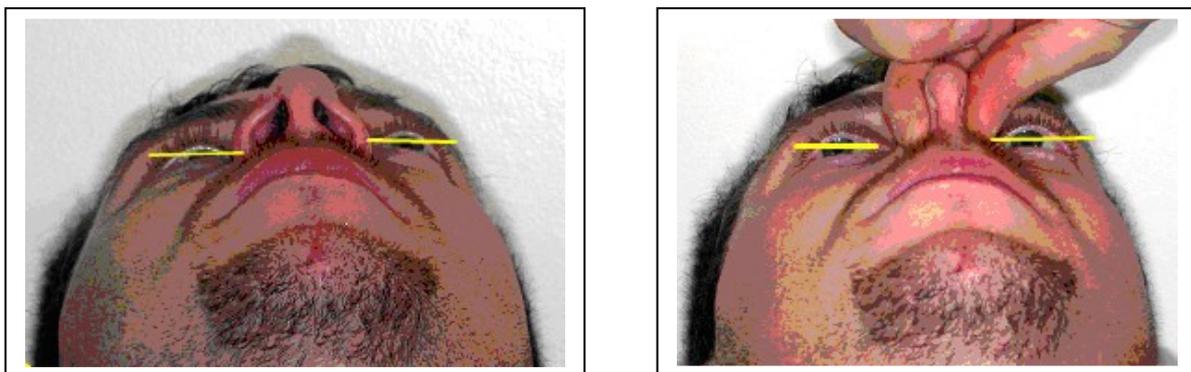


Abb. 16: Enophthalmusdarstellung bei Untersuchungsnummer 1 im Nasenblasversuch (Hervortreten des Bulbus auf der frakturierten Seite bei intraorbitaler Druckerhöhung)

Von den 6 Patienten mit in der MRT und CT 7 parallel gefundenen Prolapsen hatten 4 einen Enophthalmus über 2 mm (II. und III.), sahen 5 Patienten Doppelbilder bei Blickwendung über 30 Grad (I.) und zeigten die gleichen 5 Patienten Motilitätsstörungen (II.) (n=6; Enophthalmus: 4/Diplopie: 5/Motilitätsstörungen: 5).

Von den 4 Patienten mit 5 nur in der MRT gesehenen Prolapsen hatten 3 einen Enophthalmus über 2 mm (II. und III.), 3 sahen Doppelbilder bei Blickwendung über 30 Grad (II.) und 3 wiesen Motilitätseinschränkungen (II.) auf (n=4; 3/3/3).

Von den 3 Patienten mit nur 3 in der CT gesehenen Prolapsen wies nur einer Enophthalmus über 2mm (II.) auf, sahen alle 3 Patienten Doppelbilder bei Blickwendung von 0 – 30 Grad (I.) und zwei Patienten hatten Motilitätsstörungen (II.) (n=3; 1/3/2).

Insgesamt hatten 61,5% der 13 Patienten, die einen oder mehrere Fettgewebsprolapse aufwiesen, einen Enophthalmus, klagten 84,6% über Doppelbilder und hatten 76,9% Motilitätsstörungen.

	<i>PATIENTEN</i>	<i>PROLAPS</i>	<i>ENOPHTHALMUS</i>	<i>DIPLOPIE</i>	<i>MOTILITÄT</i>
<i>MRT + CT</i>	6	7	4	5	5
<i>MRT</i>	4	5	3	3	3
<i>CT</i>	3	3	1	3	2
<i>Insgesamt</i>	13	15	8 (61,5%)	11 (84,6%)	10 (76,9%)

Tab. 5: Zusammenhang zwischen Prolaps und ophthalmologischen Komplikationen

Tabellenanhang: Siehe dazu auch Tab. 23.

4.1.2.4 Prolapsvolumina

Die Volumina der einzelnen Prolapse wurden, wie in Patientenkollektiv und Methodik (3.4.1.2 Prolaps von Orbitainhalt) beschrieben, auf drei verschiedene Arten bestimmt.

<u>Untersuchungs-</u> <u>nummer</u>	<u>Prolaps-</u> <u>lokalisierung</u>	<u>Methode 1</u> <u>MRT</u>	<u>Methode 1</u> <u>CT</u>	<u>Methode 2 und 3</u> <u>MRT</u>
1	Tiefe Wand	0,100 cm ³	0,095 cm ³	1,511 cm ³
2	Zentrale Wand	0	1,539 cm ³	0
3	Zentrale Wand	0	0,306 cm ³	0
4	Tiefe Wand	0,858 cm ³	0	0,239 cm ³
7	Tiefer Übergang	0	0	1,195 cm ³
9	Zentrale Wand	0,405 cm ³	0,887 cm ³	0,856 cm ³
10	Zentrale Wand	0,660 cm ³	0,197 cm ³	0,815 cm ³
11a	Anteriore Wand	0,420 cm ³	0	1,135 cm ³
12	Zentraler Boden	0,372 cm ³	0,851 cm ³	0,917 cm ³
13a	Tiefer Boden	2,481 cm ³	3,036 cm ³	1,527 cm ³
13b	Tiefer Boden	2,137 cm ³	0	1,201 cm ³
14	Tiefe Wand	0,720 cm ³	0	0,280 cm ³
15	Tiefe Wand	0	1,264 cm ³	0

Tab. 6: Überblick über die nach Methode 1, 2 und 3 gemessenen Prolapsvolumina

Legende zu Tab. 6:

Tiefe/r Wand/Boden = Mediale Orbitawand/Orbitaboden tief im Trichter

Zentrale/r Wand/Boden = Mediale Orbitawand/Orbitaboden im mittleren Orbitabereich

Anteriore/ Wand/Boden = Mediale Orbitawand/Orbitaboden im vorderen Orbitabereich

(Die Volumina zweier Prolapse, die in der MRT und CT parallel gesehen werden konnten (n=7), wurden nicht ausgemessen und fehlen daher in Tabelle 6 (n=5). Die weiteren fehlenden Prolapse (=0) wurden in allen Fällen bis auf Untersuchungsnummer 7 nicht ausgemessen, weil sie im entsprechenden Bild nicht gesehen werden konnten. Der Prolaps von Untersuchungsnummer 7 wurde nur nach Methode 3 in den MRT-Bildern segmentiert).

Im Patientengesamtkollektiv konnten 26 Prolapse in der MRT nach Methode 2 und 3 festgestellt und volumetriert werden. Dabei ergab sich ein Durchschnittsvolumen der 26 Prolapse von 0,69 cm³, der kleinste Wert betrug 0,1 cm³, der größte 1,51 cm³ (SD: 0,53 cm³, Median: 0,54 cm³).

Es ergab sich ein signifikanter Zusammenhang mittels einer Univarianzanalyse zwischen der Größe der Prolapsvolumina und dem Vorkommen eines Enophthalmus ≥ 2 mm ($r = 0,72$,

p<0,05). Kein Zusammenhang konnte zwischen der Prolapsgröße und Motilitätsstörungen oder Doppelbildern festgestellt werden.

Bilderanhang: Abb. 17 und 18 zeigen MRT- und CT-Aufnahmen zur Prolapsbestimmung nach Methode 2 und 3:

Abb. 17: Darstellung des Bodenprolaps der rechten Orbita bei Untersuchungsnummer 12 nach Methode 2.

Abb. 18: Darstellung des Prolaps der medialen Wand der linken Orbita bei Untersuchungsnummer 9 nach Methode 3.

4.1.3 Foliendarstellung

Es standen 23 Folien (n=23) aus 17 postoperativen MRT- und CT-Bildern zur Verfügung, die nach der in Patientenkollektiv und Methodik gezeigten Einteilung (3.4.1.3 Foliendarstellung und 3.4.1.4 Lage der Folie) dargestellt werden konnten.

Die PDS-Folie war in der MRT in T1-Wichtung in 18 Fällen oder in 78% eindeutig darstellbar, in T2-Wichtung in 16 Fällen oder in 70%.

Die CT-Bilder zeigten in 17 Fällen bzw. in 74% eindeutig die PDS-Folie ((1): vorhandene Folien n=23; T1:18/ T2:16/ CT:17).

Eine fragliche Darstellung der Folie wurde in T1-Wichtung in 4 Fällen oder 17%, in T2-Wichtung in 6 Fällen oder 26% und in der CT in 6 Fällen oder 26% beobachtet ((2): n=23; 4/6/6).

In einem Fall konnte weder in T1- noch in T2-Wichtung die Folie dargestellt werden (jeweils 4%), während sie in den CT-Aufnahmen darstellbar war (0%) ((3): n=23; 1/1/0).

<u>FOLIE</u>	<u>T1-WICHTUNG</u>	<u>T2-WICHTUNG</u>	<u>CT</u>
(1) = eindeutig darstellbar	18 (78%)	16 (70%)	17 (74%)
(2) = fraglich darstellbar	4 (17%)	6 (26%)	6 (26%)
(3) = nicht darstellbar	1 (4%)	1 (4%)	0 (0%)

Tab. 7: Darstellbarkeit der Folie in T1- und T2-Wichtung der MRT und in der CT

Bilderanhang: Abb. 19 zeigt dazu MRT- und CT-Aufnahmen im Vergleich: Eindeutige Darstellung der PDS-Folie am Übergang Boden/mediale Wand der rechten Orbita bei Untersuchungsnummer 11b.

Die bessere Sequenz der MRT zur Darstellung der Folien konnte nicht eindeutig festgestellt werden, da von den 23 PDS-Folien jeweils 9 in T1- und 9 in T2-Wichtung besser, sowie 5 in beiden Sequenzen gleichgut dargestellt werden konnten.

Tabellenanhang: Tab. 8 gibt einen Überblick über die Foliendarstellung in T1- und T2-Wichtung der MRT.

MRT und CT entsprachen einander in der Foliendarstellung in 19 Fällen (davon in 2 Fällen unterschiedliche Beurteilung in T1- und T2-Wichtung);

in den verbleibenden 4 Fällen ergaben sich jeweils unterschiedliche Ergebnisse in MRT und CT, wobei es keinen Unterschied in den beiden MRT-Sequenzen gab.

In zwei dieser 4 Fälle (Untersuchungsnummer 2 und 12) zeigte die MRT deutlich die Folie, während sie in der CT nur als fraglich darstellbar bezeichnet werden konnte.

Im dritten Fall zeigte die MRT eine fragliche Darstellung der Folie, während die CT eine deutliche Darstellung ermöglichte (Untersuchungsnummer 16).

Im letzten Fall (Untersuchungsnummer 17) konnte die Folie in der MRT überhaupt nicht dargestellt werden, und auch die CT ermöglichte nur eine fragliche Darstellung der Folie.

Tabellenanhang: Tab. 9 fasst die einzelnen Foliendarstellbarkeiten zusammen.

4.1.4 Lage der Folie

Die Lage der Folie konnte in der MRT in 15 Fällen als regelrecht (Merkmal 1) bezeichnet werden, in der CT nur in 11 Fällen (alle vorhandenen Folien n=23; MRT: 15/CT: 11).

Bilderanhang: Siehe dazu Abb. 20: Regelrechte Lage der PDS-Folie am Übergang Boden/mediale Wand der rechten Orbita bei Untersuchungsnummer 3.

Das Merkmal 2 (Hämatom unter der Folie bzw. Folie angehoben) wiesen in der MRT 3 Folien, in der CT 7 Folien auf (n=23; 3/7).

Bilderanhang: Siehe dazu Abb. 21: Darstellung der PDS-Folie mit Hämatom unter der Folie im Orbitaboden- und Wandbereich der linken Orbita bei Untersuchungsnummer 6.

Eine disloziert-prolabierte Folie (Merkmal 3) wurde in der MRT in einem Fall, in der CT in 3 Fällen gesehen (n=23; 1/3).

Eine nicht beurteilbare Folie (Merkmal 4) fand sich in der MRT in 4 Fällen, in der CT in 2 Fällen, da sie schlecht sichtbar und damit schwer bis nicht beurteilbar waren (n=23; 4/2).

Bilderanhang: Siehe dazu Abb. 15: Darstellung des Fettgewebe- und Muskelprolaps der medialen Wand der linken Orbita bei Untersuchungsnummer 9 (Hier ist die Folie in allen Bildern sowohl der MRT als auch der CT schlecht abgrenzbar).

<u>FOLIENMERKMALE</u>	<u>MRT</u>	<u>CT</u>
(1) = <i>regelrecht</i>	15	11
(2) = <i>Hämatom unter Folie bzw. angehoben</i>	3	7
(3) = <i>disloziert-prolabiert</i>	1	3
(4) = <i>nicht beurteilbar</i>	4	2

Tab. 10: Lage der Folie im Vergleich zwischen MRT und CT (n=23)

In 12 Fällen konnte in der MRT und CT dieselbe Folienlage bestimmt werden, in 11 Fällen ergab sich ein unterschiedliches Ergebnis.

Tabellenanhang: Tab. 11 und 12 geben dazu eine genaue Aufstellung und Zusammenfassung: Tab. 11: Zusammenfassung aller in der MRT und CT entsprechend befundeter Folienlagen. Tab. 12: Zusammenfassung aller in der MRT und CT unterschiedlich befundeter Folienlagen.

4.1.5 Artefaktbildung

Von 26 bewerteten Orbitae konnten in der MRT in 14 Fällen Metallartefakte in verschiedener Position festgestellt werden, während in der CT in 17 Fällen Metallartefakte gefunden wurden.

Es fanden sich periorbitale, supraorbitale, lateroorbitale, infraorbitale und Glabella-nahe Metallartefakte, die durch Osteosynthesematerial wie Schrauben, Mini- und Mikroplatten aus Titan verursacht wurden.

Bilderanhang: Siehe dazu Abb. 22:

Metallartefakte in der MRT und CT bei Untersuchungsnummer 1.

In 7 Fällen wurden sowohl in der MRT als auch in der CT keine Metallartefakte gesehen, wobei hierzu die zwei praeoperativen Fälle und der konservativ behandelte Patient zählen. Also konnten von allen postoperativen Bildern nur 4 MRT-CT-Aufnahmen ohne Metallartefakte dargestellt werden.

In 12 Fällen konnten in der MRT und CT gleichzeitig Metallartefakte gefunden werden, wobei in der Regel die CT mehr Metallartefakte aufwies als die MRT.

2 MRT-Bilder zeigten Metallartefakte, während die entsprechenden CT-Bilder artefaktfrei waren und 5 CT-Bilder wiesen Metallartefakte auf, während sich die entsprechenden MRT-Bilder artefaktfrei zeigten.

Eine Übersicht liefert Tab. 13.

<u>METALLARTEFAKTE</u>	<u>MRT</u>	<u>CT</u>	<u>MRT + CT</u>
<u>Nicht vorhanden</u>	12	9	7 (4 postop.)
<u>Vorhanden</u>	14	17	12

Tab. 13: Metallartefakte im Vergleich zwischen MRT und CT

4.1.6 Verschattung in den Nasennebenhöhlen

Je nach Frakturlokalisation und nach individuellem Zustand der Patienten konnten in der MRT 36 Befunde und in der CT 38 Befunde bezüglich der Verschattung von Nasennebenhöhlen erhoben werden. Es wurden alle 20 MRT-CT-Untersuchungen herangezogen und verglichen.

Im Vergleich der betroffenen Gesichtsseiten (n=26) zwischen MRT und CT konnten 13 sich jeweils entsprechende und 13 unterschiedliche Befunde erhoben werden, wobei sich die Unterschiede zum Teil nur auf den Verschattungsgrad bezogen.

<u>MRT/CT</u>	<u>SINUS MAXILLARIS</u>	<u>SINUS ETHMOIDALIS</u>	<u>SINUS FRONTALIS</u>
<i>Keine Verschattung</i>	5 / 4	5 / 4	5 / 4
<i>0-50% Verschattung</i>	7 / 4	5 / 2	0 / 0
<i>Über 50% Verschattung</i>	9 / 14	8 / 14	2 / 0

Tab. 14: Verschattung der Nasennebenhöhlen in der MRT und CT

Bilderanhang: Siehe verschiedene Verschattungsgrade in den bisher gezeigten Bildern: Abb. 14, 15, 18, 19, 20, 21 und 22.

4.1.7 Sonstige Befunde

Bei verschiedenen Patienten konnten noch weitere verschiedene Befunde in der MRT und/oder CT erhoben werden, die jedoch für die Fragestellung dieser Arbeit und die bisherigen Ergebnisse keine Rolle spielen (Siehe dazu Anhang 9.3).

4.2 Volumenmessung der knöchernen Orbita

Das knöcherne Orbitavolumen wurde durch die Segmentation der MRT- und CT- Bilder sowohl im Patientengesamt- als auch im Patientenvergleichskollektiv ermittelt.

4.2.1 Ergebnisse der Volumenmessung in der MRT

Im Patientenvergleichskollektiv (n=26) der MRT-Aufnahmen betrug der Mittelwert des knöchernen Orbitavolumens der frakturierten Orbitae 32,75 (SD: 5,20) cm³,

der Mittelwert der gegenseitigen (gesunden) Orbitae 30,13 (SD: 4,30) cm³.

Die mittlere Volumendifferenz zwischen frakturierten und gegenseitigen Orbitae betrug 2,81 (SD: 2,07) cm³. Das mittlere knöcherne Orbitavolumen der frakturierten Orbita zeigte folglich eine Zunahme von 8%.

Die frakturierten Orbitae unterschieden sich signifikant von den gegenseitigen Orbitae bezüglich des knöchernen Volumens (Student's T-Test für gepaarte Stichproben: $p < 0,05$).

<u>ORBITAVOLUMINA</u> (in cm³)	<u>FRAKTURIERT</u>	<u>GEGENSEITE</u>	<u>DIFFERENZ</u>
<i>Mittelwert</i>	32,75	30,13	2,81
<i>Standardabweichung</i>	5,20	4,30	2,07
<i>Median</i>	32,40	29,05	2,3

Tab. 15: MRT–Orbitavolumina des Vergleichskollektivs (n=26)

Die Ergebnisse der Orbitavolumenberechnung des Vergleichskollektivs korrelieren mit den Werten des Gesamtkollektivs und werden durch diese bestätigt.

Tabellenanhang: Siehe dazu Tab. 16.

Abb. 23 und 24 zeigen jeweils ein Histogramm, Abb. 25 und 26 jeweils einen Boxplot für frakturierte und gesunde MRT-Orbitavolumina.

Abbildung 27 stellt die Größe und Korrelation von frakturierten und gesunden MRT-Orbitavolumina im Rahmen eines Streudiagramms bildlich dar.

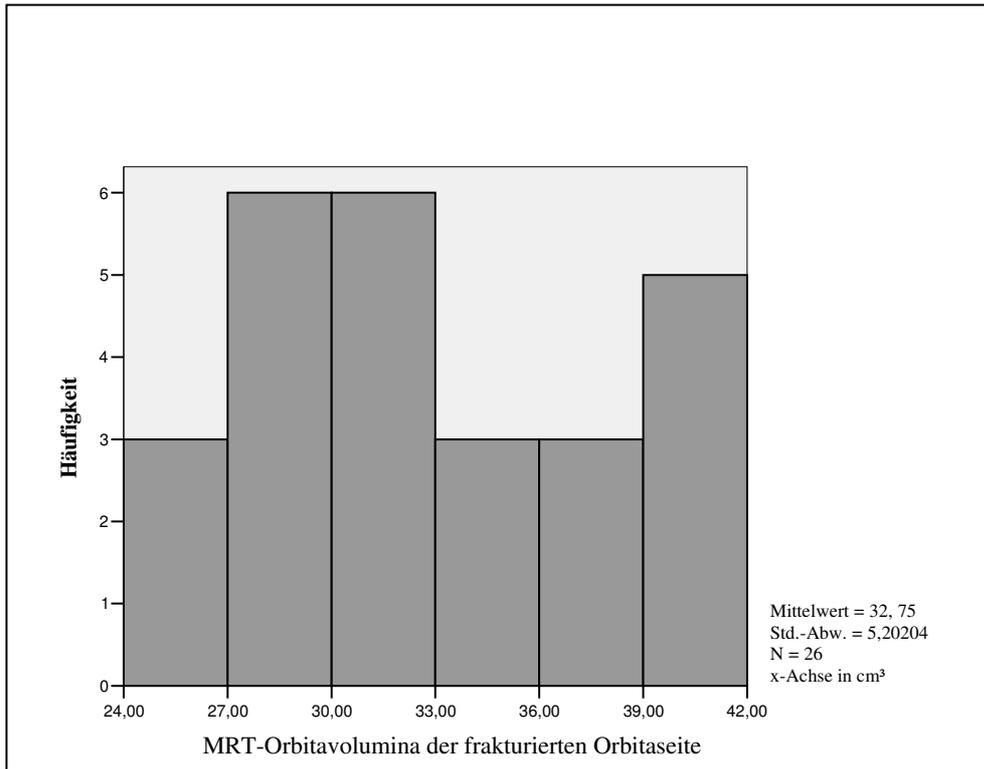


Abb. 23: Histogramm: MRT-Frakturierte Orbitavolumina in cm³

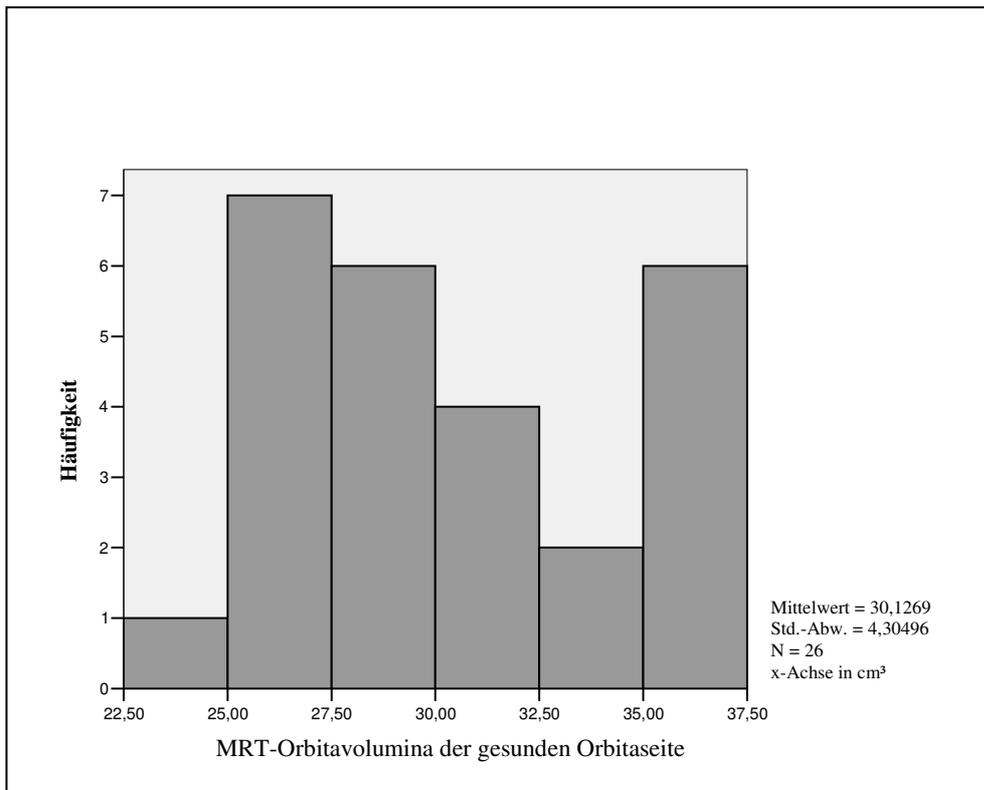


Abb. 24: Histogramm: MRT-Gesunde Orbitavolumina in cm³

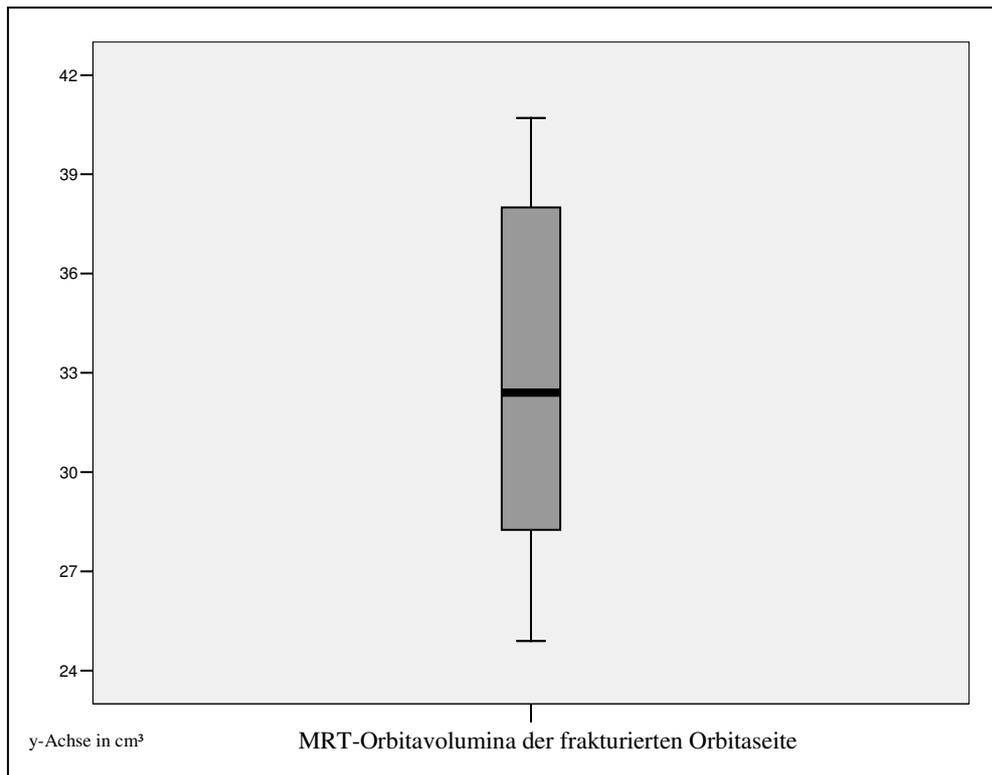


Abb. 25: Boxplot: MRT-Frakturierte Orbitavolumina in cm³

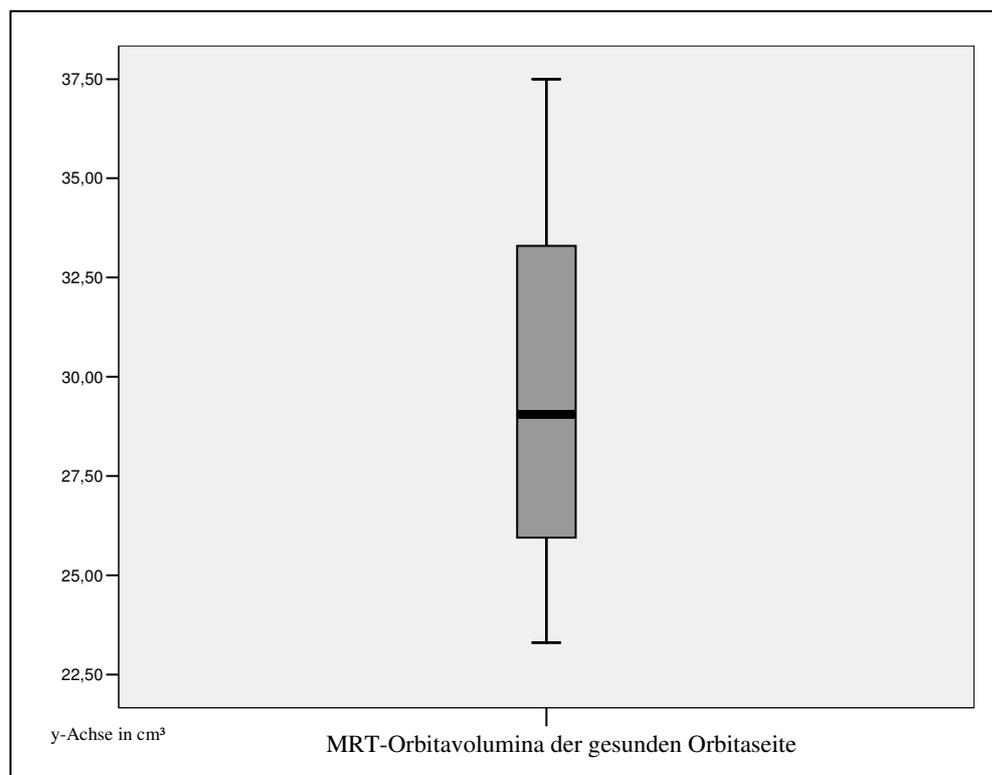


Abb. 26: Boxplot: MRT-Gesunde Orbitavolumina in cm³

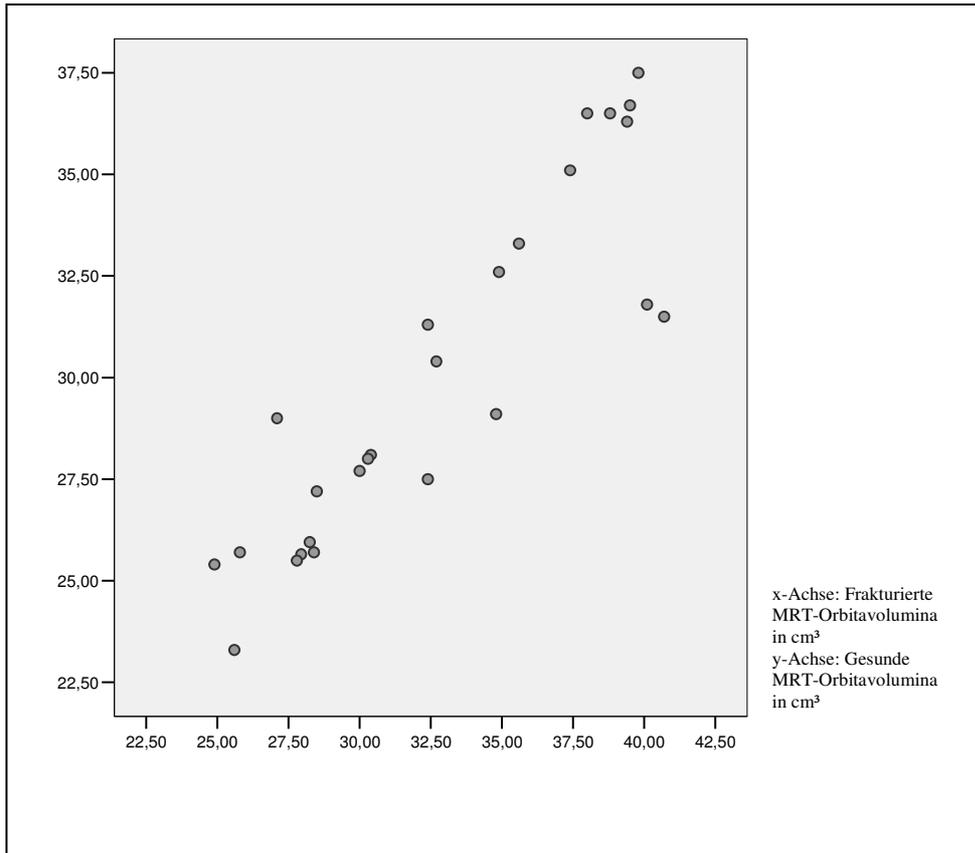


Abb. 27: Streudiagramm: MRT-Frakturierte versus gesunde Orbitavolumina in cm³

4.2.2 Ergebnisse der Volumenmessung in der CT

Im Patientenvergleichskollektiv (n=26) der CT-Aufnahmen betrug der Mittelwert des knöchernen Orbitavolumens der frakturierten Orbitae 29,06 (SD: 4,57) cm³.

Die Volumina der Gegenseite (gesunde Orbitae) betragen im Mittel 26,56 (SD: 3,34) cm³.

Die Volumendifferenz zwischen gegenseitiger und frakturierter Orbita betrug im Mittel 2,58 (SD: 2,88) cm³. Die Zunahme des mittleren knöchernen Orbitavolumens der frakturierten Orbitae betrug 8,6%.

Es wurde auch hier ein signifikanter Unterschied zwischen den frakturierten und gegenseitigen Volumina gefunden (Student's T-Test für gepaarte Stichproben: $p < 0,05$).

<u>ORBITAVOLUMINA</u> (in cm³)	<u>FRAKTURIERT</u>	<u>GEGENSEITE</u>	<u>DIFFERENZ</u>
<u>Mittelwert</u>	29,06	26,56	2,58
<u>Standardabweichung</u>	4,57	3,34	2,88
<u>Median</u>	28,40	26,45	2,15

Tab. 17: CT-Orbitavolumina des Vergleichskollektivs (n=26)

Auch hier korrelierten die Daten des Gesamtkollektivs mit den obigen des Vergleichskollektivs.

Tabellenanhang: Siehe dazu Tab. 18.

Abb. 28 und 29 zeigen jeweils ein Histogramm, Abb. 30 und 31 jeweils einen Boxplot für frakturierte und gesunde CT-Orbitavolumina.

Abb. 32 stellt die Größe und Korrelation von frakturierten und gesunden CT-Orbitavolumina im Rahmen eines Streudiagramms bildlich dar.

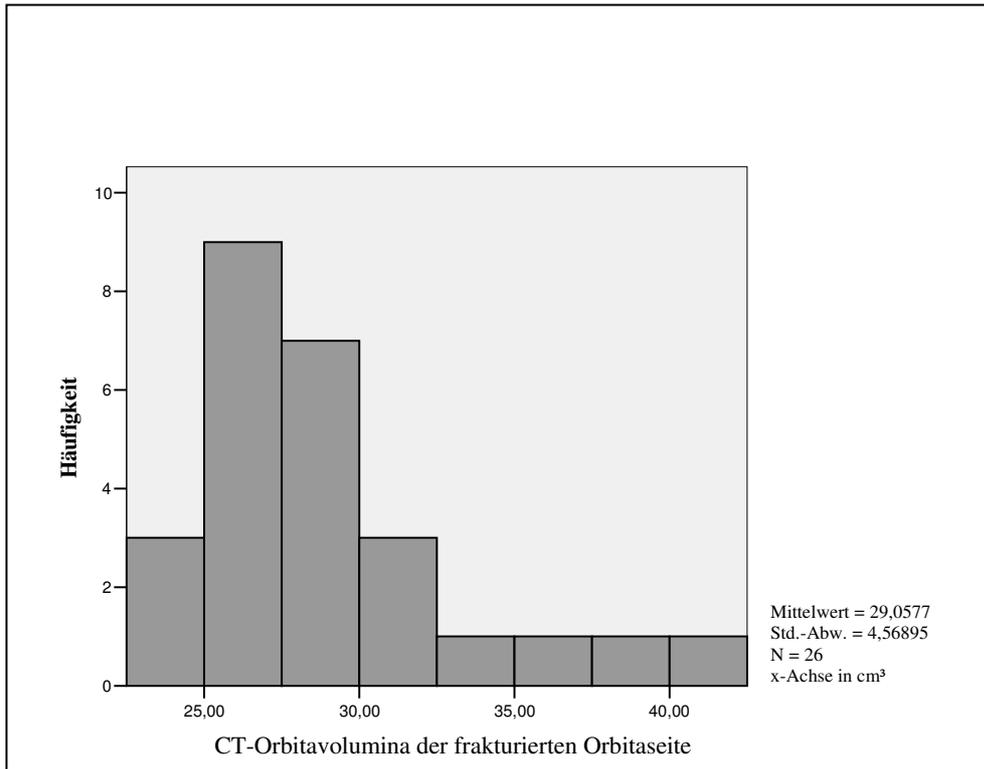


Abb. 28: Histogramm: CT-Frakturierte Orbitavolumina in cm³

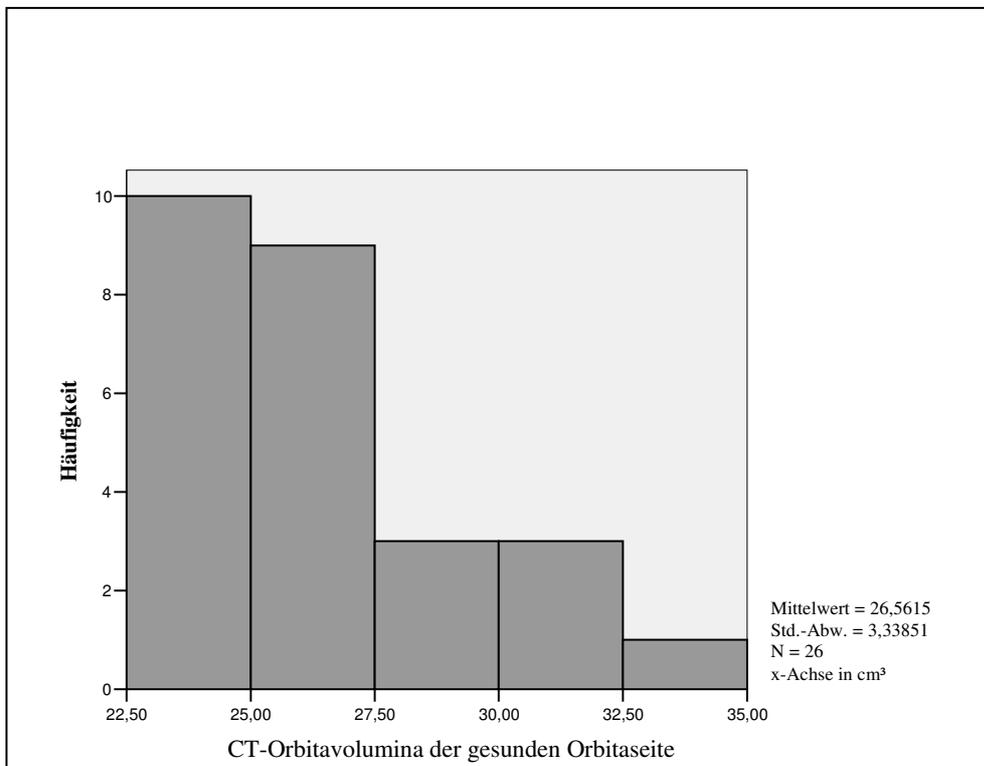


Abb. 29: Histogramm: CT-Gesunde Orbitavolumina in cm³

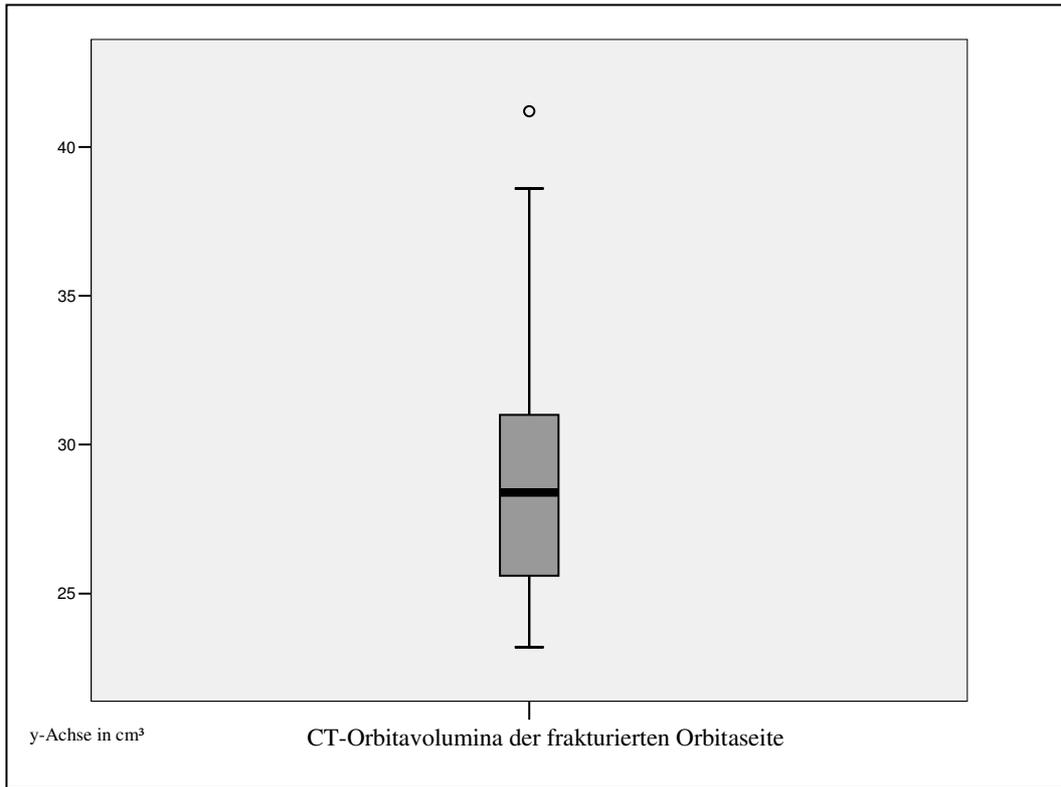


Abb. 30: Boxplot: CT-Frakturierte Orbitavolumina in cm³

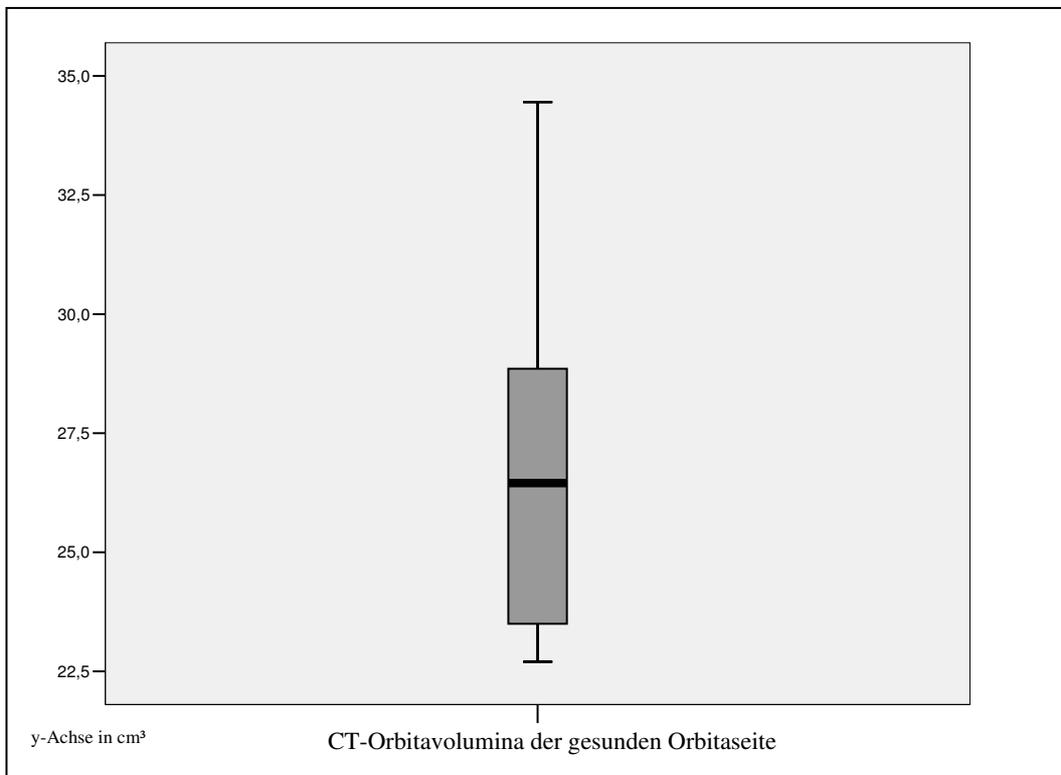


Abb. 31: Boxplot: CT-Gesunde Orbitavolumina in cm³

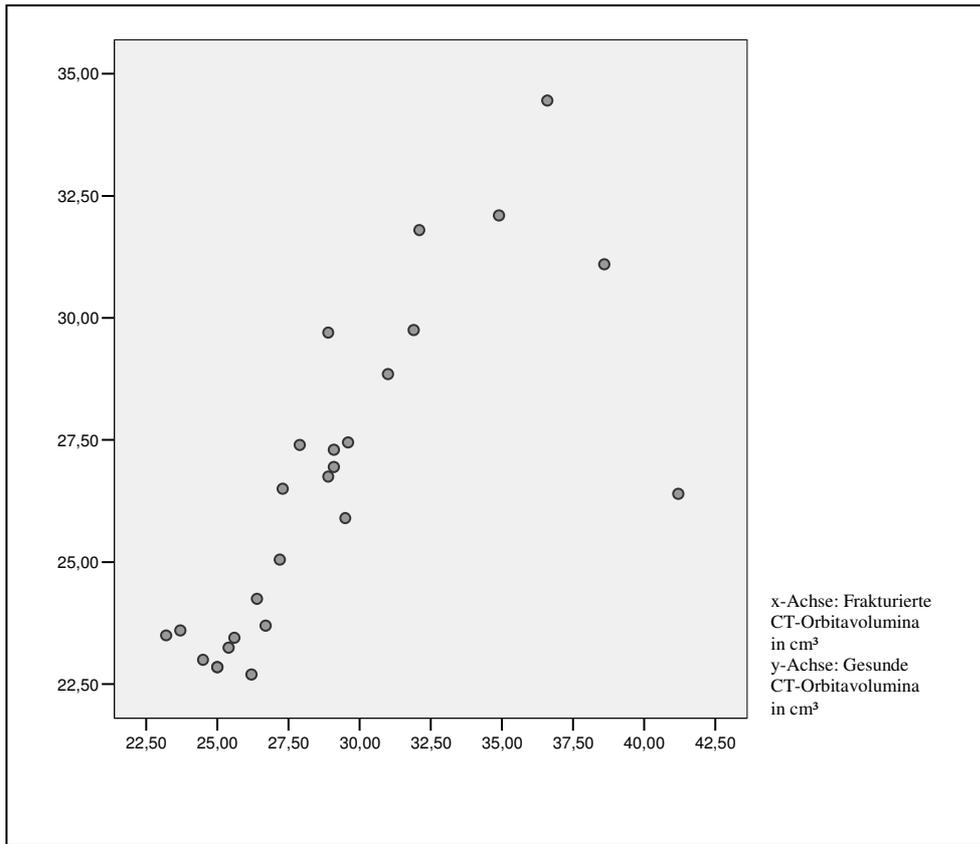


Abb. 32: Streudiagramm: CT-Frakturierte versus gesunde Orbitavolumina in cm³

4.2.3 Vergleich der Volumenmessungen in der MRT versus CT

Der Vergleich zwischen MRT und CT erfolgte nur im Patientenvergleichskollektiv.

Tab. 19 vergleicht die mittleren MRT- und CT-Orbitavolumina in einer Übersicht:

VERGLEICHS- KOLLEKTIV (n=26)	MRT	CT	MRT	CT
	Frakturierte Seite in cm ³	Frakturierte Seite in cm ³	Gegenseite in cm ³	Gegenseite in cm ³
<u>Mittelwert</u>	32,75	29,06	30,13	26,56
<u>SD</u>	5,20	4,57	4,30	3,34
<u>Median</u>	32,40	28,40	29,05	26,45

Tab. 19: Vergleich der mittleren MRT- und CT-Orbitavolumina

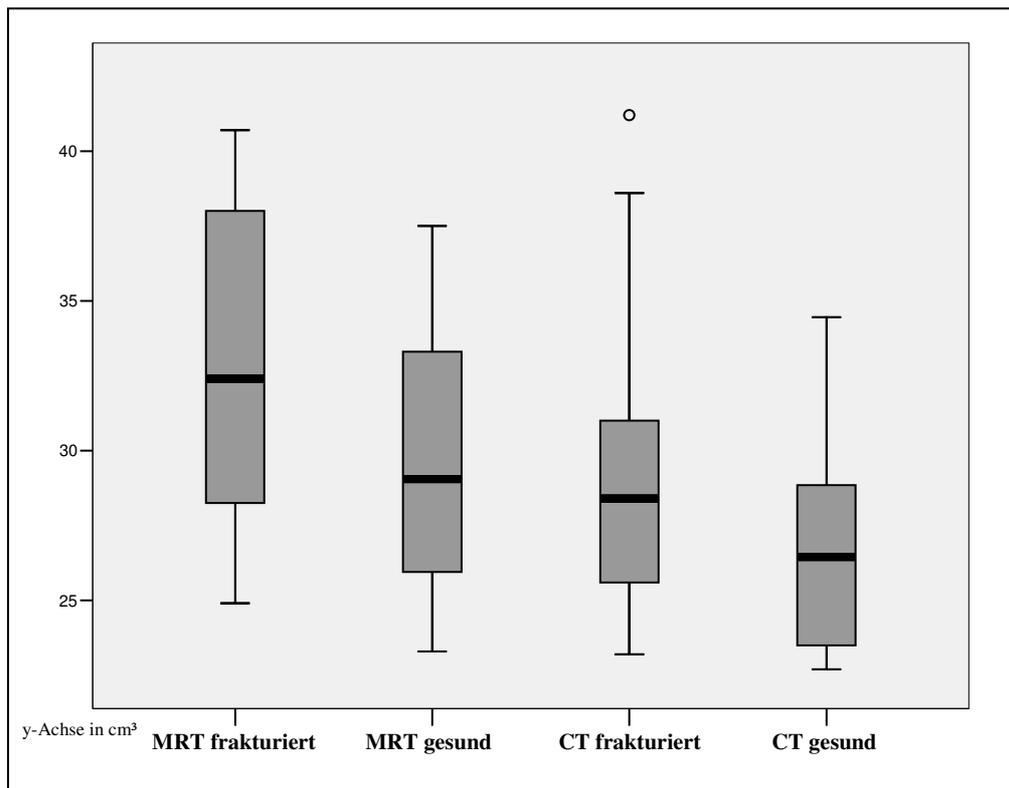


Abb. 33: MRT- und CT-Orbitavolumina im Vergleich in cm³ als Boxplot-Diagramme

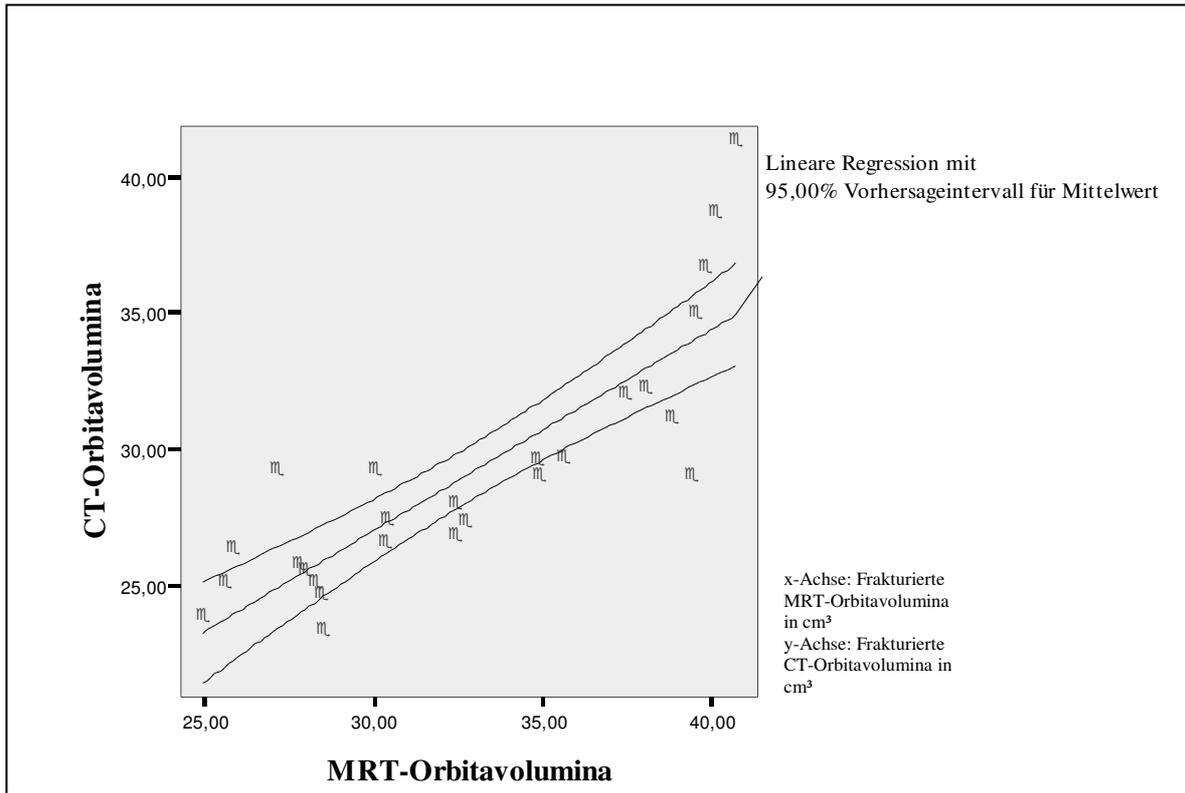


Abb. 34: MRT- und CT-Orbitavolumina der frakturierten Seite in cm³ als Streudiagramm

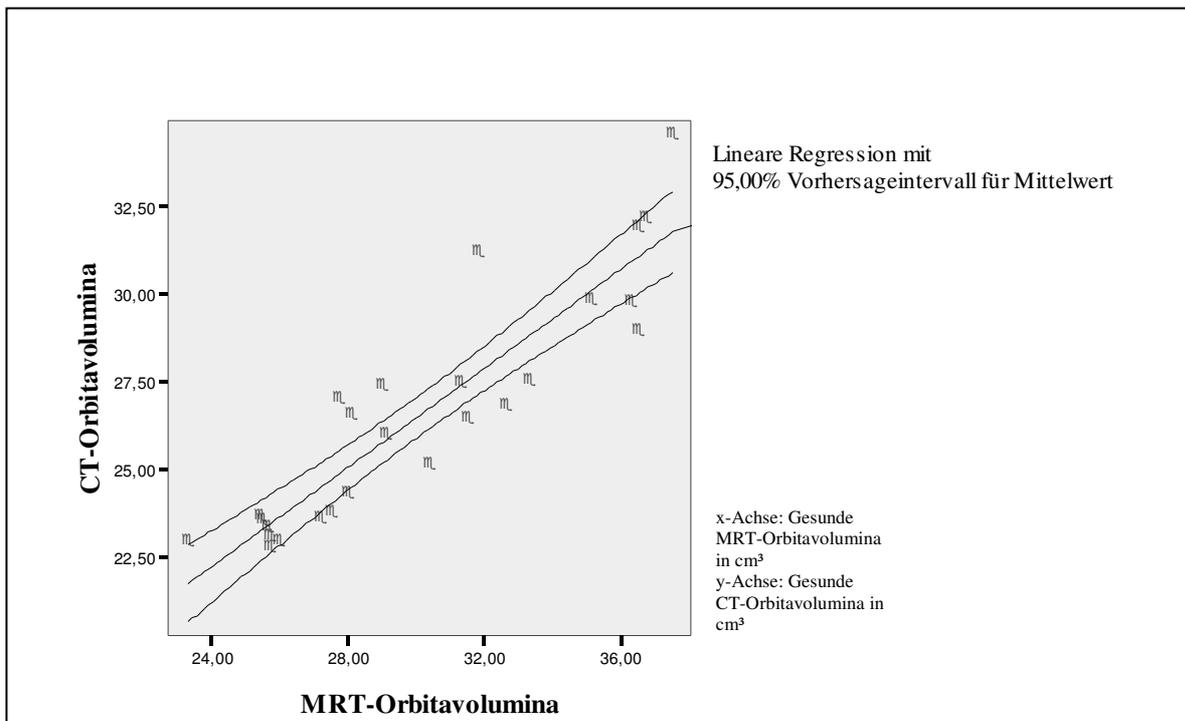


Abb. 35: MRT- und CT-Orbitavolumina der gesunden Seite in cm³ als Streudiagramm

Tabellenanhang: Tab. 23 zeigt die MRT- und CT-Volumendaten eines jeden einzelnen Patienten im Überblick.

4.2.3.1 Vergleich der mittleren Volumendifferenz in der MRT versus CT

Die mittlere Volumendifferenz zwischen frakturierten und gegenseitigen Orbitae wurde bereits oben für die MRT und die CT beschrieben.

Tab. 20 liefert dazu nochmals eine Zusammenfassung und direkte Gegenüberstellung, während Abb. 36 und 37 die mittlere Orbitavolumendifferenz anhand von zwei Histogrammen für die MRT und CT darstellen.

<u>VOLUMENDIFFERENZ</u>	<u>MRT</u>	<u>CT</u>
<u>Mittelwert in cm³</u>	2,81	2,58
<u>Volumenzunahme in %</u>	8	8,6
<u>Standardabweichung in cm³</u>	2,07	2,88
<u>Median in cm³</u>	2,3	2,15

Tab. 20: Vergleich der Differenz zwischen den Volumina der frakturierten und gegenseitigen Orbitae in der MRT und CT

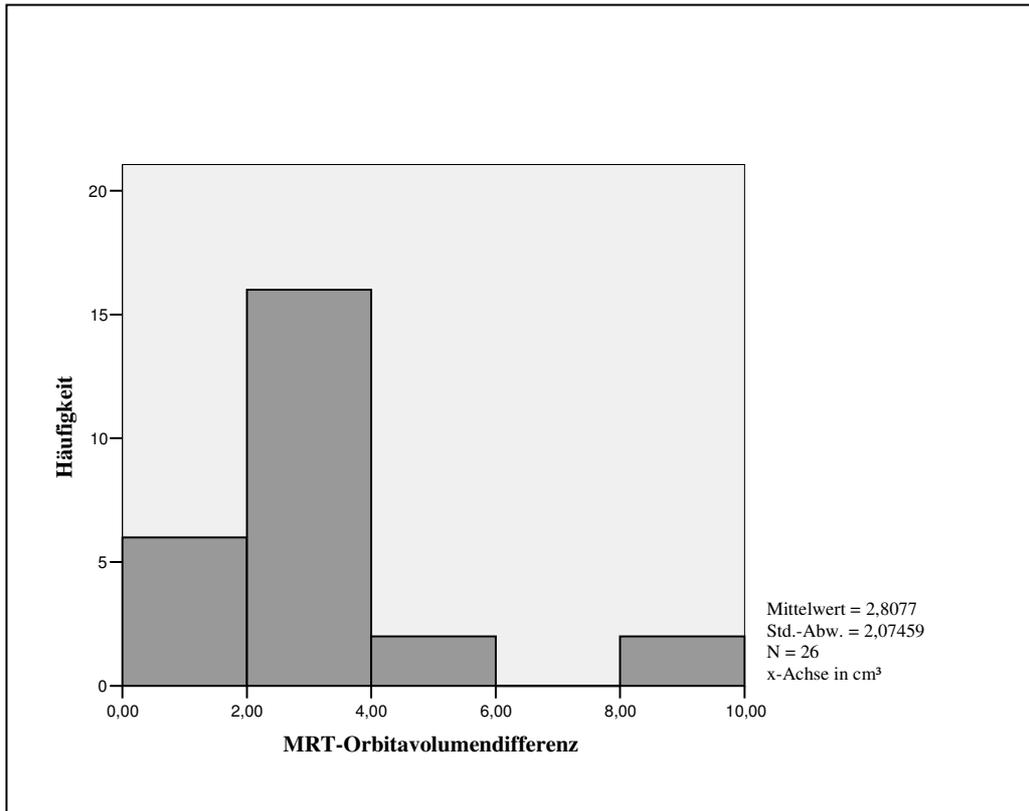


Abb. 36: Mittlere MRT-Orbitavolumendifferenz in cm³ als Histogramm

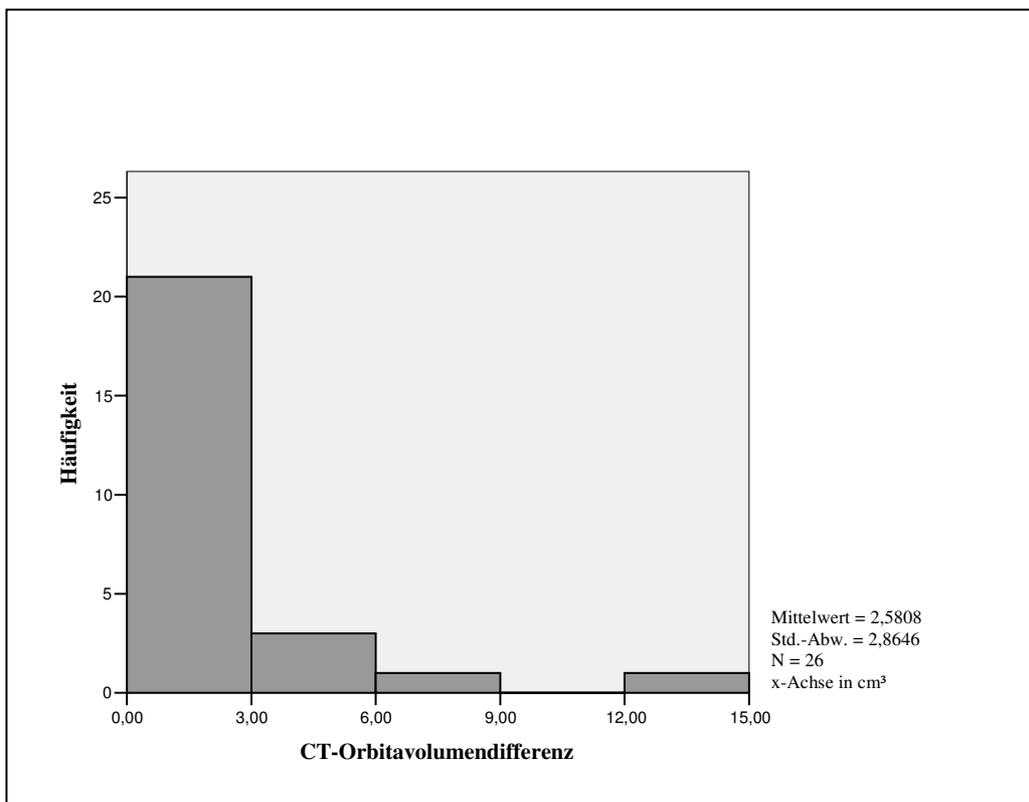


Abb. 37: Mittlere CT-Orbitavolumendifferenz in cm³ als Histogramm

Die mittlere Volumendifferenz zwischen der Volumenbestimmung in der MRT versus CT, d.h. die Differenz zwischen den frakturierten MRT- und frakturierten CT-Orbitavolumina bzw. gegenseitigen (gesunden) MRT- und gegenseitigen (gesunden) CT-Orbitavolumina, betrug für die frakturierten Orbitae 3,69 cm³ (Zunahme von 11,3%) und für die gegenseitigen Orbitae 3,57 cm³ (Zunahme von 11,8%).

Insgesamt (d.h. sowohl frakturierte als auch gegenseitige Orbitae) sind die in der MRT bestimmten Volumina im Mittel um 3,63 cm³ oder 11,5% größer als die in der CT bestimmten Volumina.

<u><i>DIFFERENZ MRT - CT</i></u>	<u><i>FRAKTURIERT</i></u>	<u><i>GEGENSEITE</i></u>
<u><i>Mittelwert in cm³</i></u>	3,69	3,57
<u><i>Volumenzunahme in %</i></u>	11,3	11,8

Tab. 21: Mittlere Volumendifferenz zwischen MRT und CT

Die Werte der Volumenbestimmung von frakturierten und gegenseitigen Orbitae konnten auch im Vergleich zwischen MRT und CT als signifikant bestätigt werden (Student's T-Test für gepaarte Stichproben: $p < 0,05$).

Bilderanhang: Abb. 38, 39, 40 und 41 zeigen die Darstellungen der segmentierten Orbitae in der MRT und CT mit dem Easy Vision Segmentationsprogramm in verschiedenen Ebenen jeweils für die frakturierte und gesunde Seite anhand von zwei unterschiedlichen Patienten.

Abb. 38: Orbitavolumenbestimmung der frakturierten Seite in der MRT und CT in drei Ebenen bei Untersuchungsnummer 10.

Abb. 39: Orbitavolumenbestimmung der gesunden Seite in der MRT und CT in drei Ebenen bei Untersuchungsnummer 10.

Abb. 40: Orbitavolumenbestimmung der frakturierten und gesunden Seite in der MRT und CT in axialer Ebene bei Untersuchungsnummer 13a (praeoperativ).

Abb. 41: Orbitavolumenbestimmung der frakturierten und gesunden Seite in der MRT und CT in axialer Ebene bei Untersuchungsnummer 13b (postoperativ).

4.2.4 Univarianzanalyse zur Untersuchung der Abhängigkeit zwischen interokularer Volumendifferenz der knöchernen Orbita und verschiedenen Faktoren

Die mittlere Differenz der Orbitavolumina in der MRT wurde auf den Zusammenhang mit postoperativen ophthalmologischen Komplikationen sowie der Lokalisation der einzelnen Orbitawandfrakturen geprüft.

Das jeweilige Auftreten von Doppelbildern oder Motilitätsstörungen bzw. die Persistenz eines Enophthalmus sowie die jeweilige Frakturlokalisierung (Orbitaboden, mediale Orbitawand, Kombination aus Orbitaboden + mediale Orbitawand, Übergang zwischen Orbitaboden und medialer Orbitawand) wurden mittels einer Univarianzanalyse in Abhängigkeit von der in der MRT ermittelten knöchernen Orbitavolumendifferenz gesetzt.

Da die Differenzen der Orbitavolumina sowohl im Vergleich MRT versus CT (siehe 4.2.3 sowie Abb. 33, 34, 35, Tab. 20, 21) als auch im Vergleichs- und Gesamtkollektiv der MRT (siehe 4.2.1 sowie Abb. 25, 26, 27, Tab. 15) und CT (4.2.2 sowie Abb. 30, 31, 32, Tab. 17) signifikant korrelieren, wurden hier nur die postoperativen MRT-Werte des Gesamtkollektivs verwendet (aufgrund der höheren Fallzahl). Jedoch wurden die 12 beidseitig frakturierten Orbitapaare nicht mit einer errechneten Kontrollorbita versehen, sondern es wurde die Differenz zwischen den beiden frakturierten Orbitae berechnet und verwendet. Außerdem wurden nur Volumendifferenzen einbezogen, bei denen das Volumen der frakturierten Orbita größer als das der Gegenseite war. Dabei ergab sich ein Kollektiv von n=42.

Es konnte eine signifikante lineare Korrelation zwischen der Volumendifferenz in der MRT und dem Auftreten eines Enophthalmus gefunden werden (n=42; p=0,034).

Der Grad des Enophthalmus (in mm) nahm mit einer Volumenzunahme im Sinne der Orbitavolumendifferenz stetig zu.

Abb. 42 verdeutlicht den Zusammenhang zwischen mittlerer MRT-Orbitavolumendifferenz und dem Vorhandensein eines Enophthalmus.

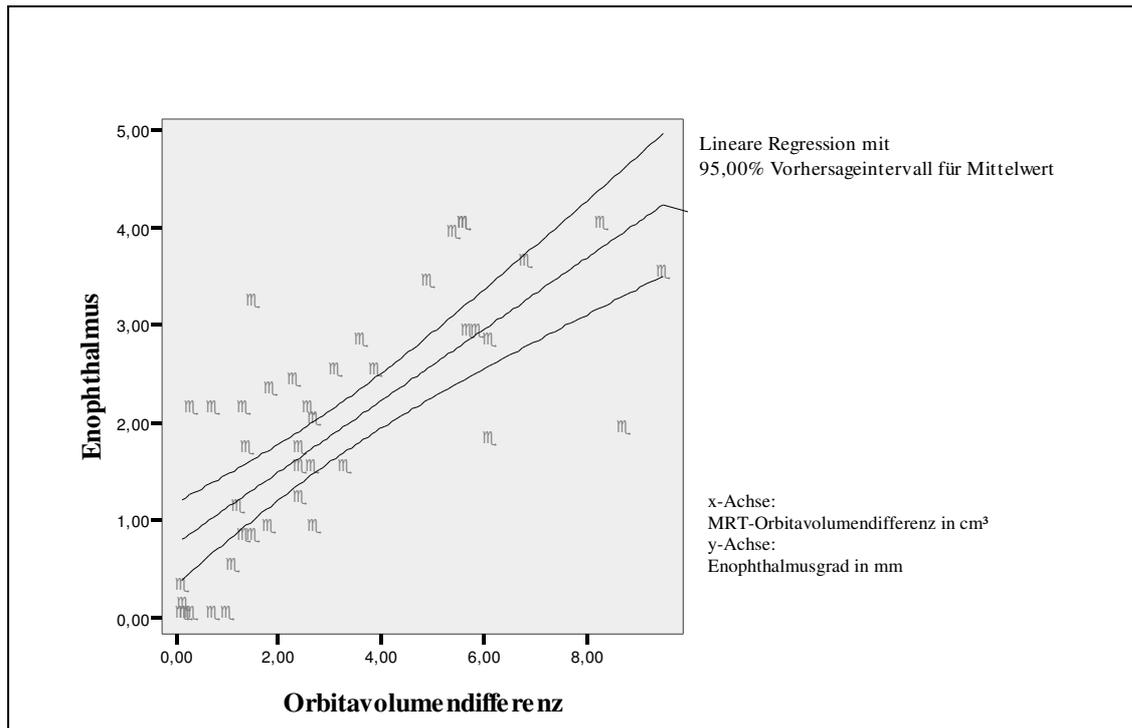


Abb. 42: Mittlere MRT-Orbitavolumendifferenz in Bezug zum Vorhandensein eines Enophthalmus

Zwischen der MRT-Volumendifferenz und dem Auftreten von Doppelbildern oder Motilitätsstörungen konnte kein signifikanter Zusammenhang festgestellt werden.

Auch die Frakturlokalisierung zeigte keine signifikante Korrelation zur Orbitavolumenzunahme.

5 Diskussion

5.1 Befundung der MRT- und CT-Aufnahmen

Die klinische Erfahrung zeigt, dass die operative Erstversorgung von komplexen Orbitawandfrakturen mit Wiederherstellung der ursprünglichen Anatomie der Orbita häufig inkomplett und unzureichend verläuft. Dafür wird einerseits die Komplexität der Frakturen, andererseits die damit verbundenen Weichgewebsschäden verantwortlich gemacht (Hammer and Prein 1995 S. 81). Umso wichtiger ist die bildliche Darstellung der einzelnen Strukturen der Orbita sowie auch ihres knöchernen Volumens, um bereits vor der primären, aber spätestens bei der sekundären operativen Rekonstruktion die genaue Ursache für ophthalmologische Symptome und Beschwerden zu kennen bzw. die Notwendigkeit einer operativen Versorgung versus einer konservativen Behandlung zu beurteilen (Forbes et al. 1985 S. 152; Hell et al. 1990 S. 154; Carls et al. 1994 S. 23; Gellrich et al. 2002 S. 1423).

5.1.1 Prolaps von Orbitainhalt

Manche Patienten weisen noch nach einer primären Operation einen Prolaps von Orbitainhalt auf, ohne ophthalmologische Symptome oder Beschwerden zu haben.

Ein Fettgewebeprolaps oder Muskelprolaps kann jedoch durchaus der Grund für Motilitätsstörungen, Doppelbildwahrnehmung oder Enophthalmus sein (Jank et al. 2003b S. 23; Mazock et al. 2004 S. 1302).

5.1.1.1 Prolapslokalisation

Die Lokalisation eines Prolaps spielt eine große Rolle. Gerade ein Prolaps im posterioren Orbitatrichter kann während der Operation übersehen werden. In dieser Arbeit befanden sich 60% der Prolapse (9 von 15) tief im Orbitatrichter. Carls et al. kamen zu einem ähnlichen Ergebnis, da dort die Dislokation von Teilen der knöchernen Orbita mit dementsprechendem Weichteilprolaps vorwiegend im hinteren Bereich des Orbitabodens lokalisiert war (Carls et al. 1994 S. 25).

5.1.1.2 Prolapsdarstellung und Prolapsvolumina in Zusammenhang mit postoperativen Komplikationen

Ein größerer Fettgewebeprolaps, z. B. in den Sinus maxillaris, kann zu einem solch großen Verlust an Orbitainhalt führen, dass nach Abschwellen des primär bestehenden Ödems oder Hämatoms ein Enophthalmus daraus resultiert (Fan et al. 2003 S. 210; Mazock et al. 2004 S. 1302).

Die hier dargestellten Ergebnisse zeigten, dass die meisten der operierten Orbitae, sogar im Falle von klinisch zufriedenstellender Rekonstruktion, d.h. ohne klinische Beschwerden oder Symptome, zumindest bis zu einem bestimmten Grad Volumenveränderung des knöchernen Orbitainhaltes aufwiesen.

In der Literatur werden horizontale Abweichungen der Bulbusposition von mehr als 2 mm klinisch als Enophthalmus definiert, der eine operative Korrektur erfordert (Raskin et al. 1998 S. 20; Jin et al. 2000 S. 619; Chan et al. 2000 S. 438).

In einer neueren Studie über Orbitavolumenbestimmungen mit Hilfe der Multislice-CT zeigten Jin et al., dass die Voraussage eines Enophthalmus vielmehr mit dem Volumen eines Fettgewebeprolapses als mit der Frakturfläche korreliert (Jin et al. 2000 S. 619). Auch Ploder et al. beschrieben ähnliche Ergebnisse bezüglich Orbitabodenfrakturen (Ploder et al. 2002b S. 1271).

Diese Erkenntnisse werden zusätzlich von den Ergebnissen von Kolk et al. und dieser Arbeit untermauert, da auch hier das Prolapsvolumen von $0,69 \text{ cm}^3$ des Gesamtkollektivs ($n=26$) einen signifikanten Zusammenhang zum generellen Auftreten eines Enophthalmus über 2 mm aufwies. Es konnte jedoch kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Prolapsvolumen und Motilitätsstörungen oder Doppelbildern festgestellt werden (Kolk et al. 2005 S. 497).

5.1.1.3 Muskelprolaps bzw. Muskeleinklemmung in Zusammenhang mit postoperativen Komplikationen

Bereits ein sehr kleiner Muskelprolaps kann zu starken Motilitätseinschränkungen führen.

Daher sind als weitere Ursachen für persistierende Doppelbildwahrnehmung Muskelkontusionen, Muskelprolapse, die durch verstärkten Zug von intraorbitalen Septen des Fettgewebes hervorgerufen werden, sowie direkte Muskeltraumata mit Ödemen und Hämatomen bekannt. Diese können in der Regel konservativ behandelt werden. Direkte Muskeleinklemmungen oder sogar -inkarzerationen sind sehr selten nachzuweisen und sollten operativ saniert werden (Jackson and Whitehouse 1993 S. 660; Burm et al. 1999 S. 1846). In dieser Arbeit fanden sich zwei Muskelprolapse bei zwei verschiedenen Patienten ohne Einklemmung oder Inkarzeration. Ein Patient wies Doppelbilder und Enophthalmus auf, während der andere keinerlei Beschwerden angab. Ein Muskelprolaps muss folglich nicht zwingend ophthalmologische Symptome hervorrufen.

Laut Mazock et al. sind die zwei am häufigsten an Muskelprolapsen beteiligten Augenmuskeln der M. rectus inferior und obliquus inferior, da sie beide in das Lockwood's Band münden (Mazock et al. 2004 S. 1302).

Die Lokalisation der beiden Muskelprolapse in dieser Arbeit lag für den Patienten mit Doppelbildern und Enophthalmus tief im posterioren Orbitabodenbereich, für den zweiten, beschwerdefreien Patienten im Bereich der medialen Wand.

5.1.1.4 Vergleich MRT versus CT in der Prolapsdarstellung

Gerade im Hinblick auf die Darstellung eines Weichgewebsprolapses spielt die MRT eine besondere Rolle, da Weichgewebe wie Fett und Muskulatur mit der MRT erwiesenermaßen besser dargestellt werden kann als mit der CT (Hell et al. 1990 S. 159; Zhan et al. 1995 S. 131; Williams et al. 1995 S. 127; Freund et al. 2002 S. 1132; Wiener et al. 2005 S. 1250; Kolk et al. 2005 S. 493).

Zwei Patienten in dieser Arbeit zeigten einen Muskelprolaps. Der eine Patient zeigte postoperativ keinerlei Symptome, es konnte jedoch in der MRT ein prolabierter M. rectus medialis gesehen werden, während die CT keinen Muskelprolaps darstellte. Beim anderen Patienten konnte ein Muskelprolaps sowohl in der MRT als auch in der CT gesehen werden. Hierbei handelt es sich um eine praeoperative Aufnahme des M. rectus inferior. Dieser Patient zeigte deutliche Motilitätsstörungen, die jedoch postoperativ sistierten. Diese Fälle bestätigen die obigen Ergebnisse anderer Autoren.

80% aller Fettgewebsprolapse von 13 Patienten dieser Arbeit konnten mit der MRT, nur 66,6% mit der CT erkannt werden. 12 dieser 13 Patienten zeigten ophthalmologische Symptome wie Enophthalmus, Diplopie und Motilitätseinschränkungen.

Dies bestätigt den Vorteil der MRT für die Darstellung von orbitalen Gewebeprolapsen. Eine weitere Verbesserung in der Darstellung von Weichgewebe der Orbita brachte die Anwendung einer Mikrospule (47 mm im Durchmesser) zusätzlich zur konventionellen Kopfspule der MRT. Hierbei gelang es, sowohl Weichteilprolapse als auch alloplastisches Material mit einer signifikant höheren Leistung und Trefferquote darzustellen als mit der konventionellen MRT und MSCT (Wiener et al. 2005 S. 1251; Kolk et al. 2005 S. 492).

Eine Revisionsoperation zur Korrektur des inadäquat rekonstruierten Orbitateilgebietes sollte zu einem frühen Zeitpunkt stattfinden, da ansonsten Narbenformationen im Frakturgebiet zu einer irreversiblen funktionellen Beeinträchtigung oder zu einer permanenten peribulbären Fettatrophie führen können (Parsons and Mathog 1988 S. 743; Whitaker and Yaremchuk 1990 S. 440; Okinaka et al. 1999 S. 1174; Manson et al. 2002 S. 491).

Die MRT kann hierbei helfen, die Indikation für eine Revisionsoperation schnell und sicher zu stellen, wogegen die CT eventuelle Weichgewebsprolapse schlechter oder gar nicht darstellen kann.

5.1.2 Foliendarstellung und Lage der Folie

Das heute am häufigsten verwendete resorbierbare alloplastische Material für Orbitawandrekonstruktionen bei Patienten mit ausgedehnten Orbitafrakturen ist die PDS-Folie (Kontio et al. 2001 S. 279; Jank et al. 2003a S. 16).

Die Vorteile dieser Folie sind ihre Stabilität und Flexibilität bei gleichzeitiger Resorbierbarkeit und breiten Verfügbarkeit (Hidding et al. 1991 S. 195; Hessling et al. 1991 S. 207). Allerdings leiden bis zu 50% der Patienten nach einer Rekonstruktion von kleinen bis mittelgroßen Orbitawandfrakturen postoperativ an Motilitätsstörungen, Doppelbildwahrnehmungen und Enophthalmus (Kontio et al. 2001 S. 284; Jank et al. 2003a S. 16).

Eine dislozierte, prolabierte oder anderweitig inadäquat positionierte Folie kann durchaus der Grund für eine der oben genannten ophthalmologischen Symptome und Komplikationen sein (Wiener et al. 2005 S. 1253; Kolk et al. 2005 S. 496). Da jedoch die Lage der Folie nicht im Rahmen einer klinischen Untersuchung festgestellt werden kann, erfolgt die Darstellung mit Hilfe von bildgebenden Verfahren. Die Multislice-CT wird bisher als routinemäßiges bildgebendes Verfahren für diese Fragestellung verwendet, obwohl sie mit einer hohen Strahlendosis für die Augenlinse (Czechowski et al. 2001 S. 711; Zammit-Maempel et al. 2003 S. 419; Bassim et al. 2005 S. 531) und einer fehlenden detaillierten Darstellung von Weichgewebe verbunden ist (Zhan et al. 1995 S. 131).

Bisher gibt es nur wenige Arbeiten, die sich mit der Darstellung von PDS-Folien im Vergleich zwischen MRT und CT beschäftigt haben. Zwei Arbeiten führten nicht nur einen Vergleich zwischen MRT und CT durch, sondern konnten mit Hilfe einer Mikrospule (Durchmesser 40 mm, siehe 5.1.1.4) hochauflösende MRT-Aufnahmen anfertigen, die nun ihrerseits mit den konventionellen MRT-Aufnahmen der üblichen Kopfspule verglichen wurden (Wiener et al. 2005 S. 1251; Kolk et al. 2005 S. 492).

Beide kamen zu dem Ergebnis, dass zwar die MRT-Aufnahmen zur Darstellung der Folie besser geeignet waren als die CT-Aufnahmen, jedoch die konventionellen Aufnahmen der MRT-Kopfspule oft keine genügend große räumliche Auflösung für die Darstellung von alloplastischem Material wie das der PDS-Folie aufwiesen. Die hochauflösenden MRT-Aufnahmen der Mikrospule jedoch ließen überwiegend eine sehr genaue Darstellung der Folie und ihrer Lage zu. Mit der Mikrospule konnten Wiener et al. in 80%, mit der MSCT in nur 68,4% eine genaue Foliendarstellung erreichen (Wiener et al. 2005 S. 1254).

Kolk et al. konnten die Folie mit der hochauflösenden Mikrospule in 100%, mit der konventionellen Kopfspule in 50%, mit der MSCT in 68,2% darstellen (Kolk et al. 2005 S. 495).

In dieser Arbeit wurden nur konventionell durchgeführte MRT-Aufnahmen mit CT-Bildern verglichen. Die PDS-Folie konnte mit Hilfe der MRT in 78%, mit Hilfe der CT in 74% eindeutig dargestellt werden. Die Darstellung mittels MRT erwies sich jedoch einige Male als gleichwertig oder sogar schlechter als die Darstellung mittels CT.

Dies lässt sich teilweise erklären: In zwei Fällen zeigte die MRT die Folie weniger deutlich als die CT (Untersuchungsnummer 16 und 17). Hier lagen jeweils zwischen Operation und MRT-Aufnahme 116 bzw. 65 Tage, während zwischen Operation und CT-Aufnahme nur ein Tag bzw. 44 Tage lagen. Dieser längere Abstand zwischen Operation und MRT-Aufnahme ist eine mögliche Erklärung für die schlechtere Darstellbarkeit der Folie in der MRT aufgrund bereits fortgeschrittener Resorption der Folie. Diese beiden Fälle mit längerem Abstand zwischen Operation und Bildgebung sind zwei von 5 Fällen, deren Bildgebung nicht innerhalb von 30 Tagen nach Operation erfolgt war.

Auch die Lage der Folie stellte sich nicht immer in MRT und CT gleichwertig dar:

In 52,2% konnte in der MRT und CT dieselbe Folienlage bestimmt werden, in 47,8% ergab sich ein unterschiedliches Ergebnis. Auch hierfür gibt es einige mögliche Erklärungen, weshalb die MRT oder die CT bessere Ergebnisse erzielten:

Untersuchungsnummer 3 zeigte in der MRT eine regelrecht liegende Folie, während in der CT die Folie nur indirekt durch ein darunterliegendes Hämatom gesehen werden konnte. Die MRT Aufnahme wurde 14 Tage nach Operation, die CT-Aufnahme bereits 7 Tage nach Operation durchgeführt. Dies erklärt ein eventuell schon stark zurückgebildetes Hämatom auf der MRT-Aufnahme, das nicht mehr zu sehen war.

Untersuchungsnummer 9 hat eine beidseitige Fraktur mit unterschiedlich beurteilter Folienlage in der MRT und CT auf beiden Orbitaseiten. In der MRT ist die Folie sowohl im rechten als auch im linken Auge aufgrund von sehr schlechter Bildqualität (Bewegungsartefakte) nicht beurteilbar. In der CT dagegen konnte im rechten Auge ein Hämatom unter der Folie und im linken Auge eine disloziert-prolabierte Folie festgestellt werden. Hier liegen Operation und Bildgebung nur 20 Tage auseinander. Das schlechte Ergebnis könnte hier hauptsächlich durch die eingeschränkte Qualität der MRT-Aufnahmen erklärt werden.

In zwei Fällen (Untersuchungsnummer 13b und 14), deren Folien sowohl in der MRT als auch in der CT als regelrecht liegend befundet wurden, war die Folie in der CT im ersten Fall (Untersuchungsnummer 13b) nur indirekt sichtbar. Dies bedeutet, dass die Folie nicht selbst, sondern nur die darunter- oder darüberliegenden Signalveränderungen des Orbitafettgewebes gesehen werden konnten.

Im zweiten Fall (Untersuchungsnummer 14) war die Folie in der CT-Aufnahme besonders gut durch Luft, die sich unter der Folie angesammelt hatte, sichtbar. Es hatte sich eine dichte schwarze Linie unter der Folie gebildet. Die Folie selbst war in diesem Fall nur bedingt gut darstellbar.

Diese Beispiele sind eine eventuelle Erklärung, weshalb die MRT einige Male die Folie schlechter oder nicht darstellen konnte. Insgesamt jedoch ist die CT der MRT in dieser Arbeit in Bezug auf die Foliendarstellbarkeit und auch der Bestimmung der Lage der Folie nicht unterlegen, es kommt vielmehr zu einer fast gleichguten bzw. gleichschlechten Darstellbarkeit der Folie in den MRT- und CT-Aufnahmen. Die MRT ist damit nicht das bessere bildgebende Verfahren zur Darstellung der Folie und deren Lage, jedoch sollte vor allem im Hinblick auf die hohe Strahlenbelastung der Linse der MRT aufgrund der in der Regel gleichguten bis besseren Ergebnisse der Vorzug gegeben werden.

Wiener et al. konnten die Folie mit Hilfe der Mikrospule als dünne, lineare Struktur mit niedriger Signalintensität ohne Unterschied zwischen T1- und T2-Wichtung darstellen. Dies entspricht den Ergebnissen in dieser Arbeit für konventionelle MRT-Aufnahmen, da hier die Folien in gleicher Anzahl in T1- oder T2-Wichtung mit Hilfe der normalen MRT-Kopfspule deutlicher dargestellt werden konnten (Wiener et al. 2005 S. 1254).

5.1.3 Artefaktbildung

Die Qualität der MRT-Bilder ist sehr anfällig für Bewegung, im Falle der Orbita für Kopf- und vor allem für Augenbewegungen. Das absolute Ruhighalten des Kopfes und der Augen ist für manche Patienten sehr schwierig, da dies über einen längeren Zeitraum von bis zu 30 Minuten durchgehalten werden muss. Daher sind in der CT in der Regel weniger Bewegungsartefakte zu sehen, da die CT-Aufnahmen in wenigen Minuten durchgeführt werden können (Huber 1989 S. 348; Zhan et al. 1995 S. 131). Trotzdem sind Bewegungsartefakte auch bei den CT-Aufnahmen häufige Ursache für eine schlechtere Bildqualität. Wenn man die Aufnahme nicht wiederholen kann, so ist oft nur eine lückenhafte Beurteilung der Bilder möglich (Kauffmann et al. 2001 S. 113; Graf et al. 2002 S. 1301).

Ausgeprägte Orbitawandfrakturen kommen häufig im Rahmen von komplexen Mittelgesichtsfrakturen vor, die häufig mit multiplen Metallosteosynthesen wie Schrauben und Miniplatten versorgt werden, was neben Zahnfüllungen zu ausgeprägten Metallartefakten führen kann (Fiala et al. 1993 S. 1231; Freund et al. 2002 S. 1130; Horch 2007 S. 156). Im Rahmen der Aufnahmetechnik der CT können Metallartefakte nur unter einem Verlust der Bildqualität oder mit einer höheren Strahlendosis reduziert werden (Wiener et al. 2005 S. 1251). Die MRT dahingegen erlaubt eine Reduktion der Metallartefakte ohne Verlust von Bildqualität, indem Turbospinechosequenzen mit kurzem Echo-Abstand/Echo-Intervall verwendet werden (Olsen et al. 2000 S. 711). Die räumliche Auflösung in der MRT ist jedoch letztendlich begrenzt durch die totale Messzeit. Eine gleichzeitige Verkürzung der MRT-Messzeit bei guter räumlicher Auflösung konnte mittels der bereits erwähnten Mikrospule erreicht werden (Wiener et al. 2005 S. 1251; Kolk et al. 2005 S. 492).

Metallartefakte waren in dieser Arbeit mit der konventionellen MRT in 53,8% vorhanden, in der CT in 65,4% der Fälle. Je nach Lage der Metallartefakte wurde die Befundung und Segmentation der Orbitae teils mehr, teils weniger, teils gar nicht beeinträchtigt. Die Metallartefakte in der MRT traten nur um 11,6% weniger auf als in der CT. Dies lässt sich dadurch erklären, dass für diese Arbeit nicht ausschließlich Turbospinechosequenzen verwendet wurden, da z.B. für die Segmentation der Orbita eine Protonendichte-gewichtete Sequenz benötigt wurde. Die schon genannten verwendeten Osteosynthesematerialien verursachen auch bei der MRT starke Metallartefakte (Kauffmann et al. 2001 S. 113), wenn sie nicht durch Turbospinechosequenzen vermindert werden.

Die Metallartefakte, die in dieser Arbeit bei den 20 MRT- und CT-Aufnahmen teilweise aufgetreten sind, beeinträchtigten die Beurteilung und Segmentation der Orbitae nur geringfügig bis mäßig.

5.1.4 Verschattung in den Nasennebenhöhlen

Verschattungen in den Nasennebenhöhlen und Frakturen der dünnen Wände können sowohl in der MRT als auch in der CT dargestellt werden. Einer Verschattung kann ein Nasenschleimhautpolyp oder eine Schleimhauthyperplasie zugrunde liegen, sie kann aber auch einen Prolaps von Orbitafettgewebe durch einen Frakturspalt darstellen (Kauffmann et al. 2001 S. 130). Diese Unterscheidung gelingt in der CT schwer, während die MRT Weichteilgewebe gut darstellen und damit diese Unterscheidung treffen kann. Vor allem Prolapse in die Kieferhöhle in coronaren und sagittalen Bildern oder in die Ethmoidalzellen in coronaren und axialen Aufnahmen können oft schnell und eindeutig in der MRT dargestellt werden, auch wenn es sich um sehr kleine Prolapse handelt (Williams et al. 1995 S. 126; Kontio et al. 2001 S. 282; Freund et al. 2002 S. 1131; Kolk et al. 2005 S. 498). Dahingegen können Knochendefekte der dünnen Wände der Nasennebenhöhlen in der MRT oft nur bei vorhandenen Prolapsen eindeutig diagnostiziert werden, während das Knochenfenster der CT-Aufnahme meist eine sehr gute Darstellung von dünnen Knochenlamellen ermöglicht (Kontio et al. 2001 S. 284; Freund et al. 2002 S. 1132). Dies hat sich auch in dieser Arbeit bestätigt. Die häufigere Verschattung über 50% der Kieferhöhle und Ethmoidalzellen in den CT-Aufnahmen in dieser Arbeit kann durch oft frühere Untersuchungszeitpunkte mittels CT postoperativ erklärt werden.

5.2 Volumenmessung der knöchernen Orbita

Um die Konstanz und Richtigkeit der Untersuchungsergebnisse zu gewährleisten, gibt es verschiedene Arten, die interindividuelle und intraindividuelle Untersucherunabhängigkeit zu bestimmen. Christiansen et al. versuchten, die interindividuelle Untersucherunabhängigkeit zu bestimmen, indem sie die Ergebnisse von linearen und angulären Messungen von CT-Aufnahmen menschlicher Mandibulae durch 16 verschiedene Untersucher verglichen. Je nach Problemstellung ergab sich eine akzeptable bis teils sehr große Abweichung zwischen den einzelnen Untersuchern bzw. Untersuchergruppen, die nach Fachrichtungen eingeteilt worden waren (Christiansen et al. 1986 S. 221).

In dieser Arbeit beschränkte sich die Untersucheranzahl für eine Abschätzung der intra- und interindividuellen Untersucherunabhängigkeit bei der Orbitavolumenbestimmung auf drei Untersucher (zwei Radiologen und ein Mund-Kiefer-Gesichtschirurg). Dafür wurden die MRT-Bilder von drei Patienten dreimal an drei verschiedenen Tagen von jedem Untersucher segmentiert. Hierbei konnte eine signifikante Korrelation zwischen den Ergebnissen der einzelnen Untersucher festgestellt werden.

Ein weiterer Punkt bei der Volumenbestimmung der knöchernen Orbita, der bedacht werden muss, ist neben der inter- und intraindividuellen Untersucherunabhängigkeit der intraindividuelle Seitenunterschied zwischen rechter und linker Orbita, der bei gesunden Patienten vorhanden ist. In der Literatur findet man dazu verschiedene Angaben.

Einige Autoren geben einen interindividuellen Seitenunterschied von 7-8% zwischen rechter und linker Orbita beim Gesunden an (Forbes et al. 1985 S. 152; Parsons and Mathog 1988 S. 745; Jin et al. 2000 S. 619; Ploder et al. 2002a S. 157). Andere Autoren fanden einen Seitenunterschied von 0-8%, im Mittel 0,6% (Schuknecht et al. 1996 S. 474) oder von 2% (Carls et al. 1994 S. 26).

Mc Gurk et al., Danko et. al. und Deveci et al. wiederum kamen zu dem Ergebnis, dass kein signifikanter Unterschied zwischen rechter und linker Orbita besteht und daher die nicht verletzte Orbita als Kontrollorbita beim Volumenvergleich zwischen frakturierter und gesunder Orbita verwendet werden kann (McGurk et al. 1992 S. 72; Danko and Haug 1998 S. 751; Deveci et al. 2000 S. 645).

In dieser Arbeit wurde von einem interindividuellen Seitenunterschied zwischen rechter und linker Orbita beim Gesunden von 0-5% ausgegangen.

5.2.1 Ergebnisse der Volumenmessung in der MRT und CT

Es gibt bereits viele Arbeiten zur Orbitavolumenbestimmung mit der CT (Forbes et al. 1985 S. 149; McGurk et al. 1992 S. 70; Carls et al. 1994 S. 23; Schuknecht et al. 1996 S. 470; Raskin et al. 1998 S. 19; Ramieri et al. 2000 S. 302; Deveci et al. 2000 S. 645; Gellrich et al. 2002 S. 1417; Fan et al. 2003 S. 207).

Die Orbitavolumenbestimmung mittels MRT sowie einen Vergleich zwischen MRT und CT führten nach derzeitigem Kenntnisstand erstmals Kolk et al. durch (Kolk et al. 2005 S. 493, Kolk et al. 2007 S. 1927).

Somit dürften diese Publikationen sowie diese Dissertation die ersten Daten zur Volumenbestimmung der knöchernen Orbita mittels MRT im Vergleich zur CT liefern.

Die CT-Daten der verschiedenen oben bereits genannten Studien entsprechen weitgehend den Ergebnissen in dieser Arbeit. Für das mittlere Orbitavolumen der gesunden Orbitae ergab sich in den verschiedenen Studien ein Wert zwischen 23,63 cm³ und 28,41 cm³. Carls et al., Schuknecht et al. und Gellrich et al. entsprachen mit ihren Mittelwerten von 26,4 cm³, 26,8 cm³ und 26,12 cm³ am ehesten dem Mittelwert dieser Arbeit von 26,56 cm³ (Carls et al. 1994 S. 25; Schuknecht et al. 1996 S. 471; Gellrich et al. 2002 S. 1420).

Für das mittlere Orbitavolumen der frakturierten Orbitae ergab sich in verschiedenen Studien ein Wert zwischen 25,41 und 31,7 cm³ (Bite et al. 1985 S. 503; Carls et al. 1994 S. 25; Schuknecht et al. 1996 S. 473; Ramieri et al. 2000 S. 308; Gellrich et al. 2002 S. 1420). Auch hier passt sich der Mittelwert dieser Arbeit mit 29,04 cm³ den bisherigen Angaben in der Literatur an.

Die teils unterschiedlichen Ergebnisse in der Orbitavolumenbestimmung mit der CT in der Literatur lassen sich durch die verschiedenen Kollektivgrößen, die unterschiedliche Geschlechterverteilung, eine unterschiedliche Begrenzung der knöchernen Orbita, durch unterschiedliche Größe der Orbitawandfrakturen, durch die intra- und interindividuelle Untersucherunabhängigkeit und durch unterschiedliche CT-Aufnahmetechniken (Schichtdicke, fortgeschrittene Technik) erklären. Daher ist ein direkter Vergleich nicht immer möglich.

Die mittlere Orbitavolumendifferenz der CT-Aufnahmen zwischen frakturierter und gesunder Orbita beträgt in dieser Arbeit 8,6%. Da entsprechend die mittlere Orbitavolumendifferenz der MRT-Aufnahmen zwischen frakturierter und gesunder Orbita 8,0% beträgt, kann man nach entsprechenden statistischen Tests sagen, dass die MRT-Werte signifikant mit den CT-

Daten korrelieren, die sich wiederum den Werten in der Literatur annähern (siehe oben). Damit ist die Orbitavolumenbestimmung mittels MRT eine aussagekräftige Alternative zur CT.

Da die Therapie von postoperativ vorhandenem Enophthalmus hauptsächlich auf der korrekten Reposition von prolabiertem Orbitafettgewebe sowie der korrekten und vollständigen Abdeckung von Orbitawanddefekten basiert, ist es essentiell notwendig, dass das Volumen des implantierten Materials sowie des reponierten Orbitainhaltes der posttraumatischen Volumenzunahme zum Ausgleich des Enophthalmus entspricht (Kolk et al. 2007 S. 1932).

Eine empirische Bestimmung des zur Behebung des Enophthalmus notwendigen Volumens ist unsicher und schwierig. Daher sind präzise Volumenbestimmungen der knöchernen Orbita eine äußerst wichtige Planungsgrundlage vor einer sekundären Korrekturoperation (Fan et al. 2003 S. 211; Kolk et al. 2007 S. 1932).

In dieser Arbeit konnten sowohl mit der MRT als auch mit der CT präzise Orbitavolumenbestimmungen mit statistisch signifikanter Datenkorrelation durchgeführt werden. Das mittlere MRT-Orbitavolumen der gesunden Orbitaseite war um 11,8% und das der frakturierten Orbitaseite um 11,3% höher als die entsprechenden mittleren CT-Orbitavolumina. Dies kann durch die präzisere Messung des prolabierten Orbitafettgewebes sowie durch die genauere Darstellung der Grenzen in der orbitalen Apexregion durch die MRT erklärt werden.

Während der Segmentation der einzelnen Orbitavolumina der MRT- und CT-Aufnahmen erwies sich durchwegs die Segmentation der MRT-Bilder als leichter, da der Weichteilkontrast vor allem bei prolabiertem Fettgewebe eine genauere Begrenzung der Orbita in den einzelnen coronaren Schichten zuließ. In den CT-Aufnahmen konnten manchmal die genauen Begrenzungen erst nach mehrmaligem Betrachten in verschiedenen Ebenen durch den betreuenden Radiologen und/oder Mund-Kiefer-Gesichtschirurgen bestimmt werden. Jedoch ist in jedem Fall die Knochendarstellung gerade der teils sehr dünnen Orbitawände in der CT genauer und präziser. Diesen Vorteil kann die MRT allerdings meist durch die hervorragende Weichteildarstellung ausgleichen, da eine Orbitawandfraktur oft durch prolabiertes Orbitagewebe gesehen werden kann.

5.2.2 Univarianzanalyse zur Untersuchung der Abhängigkeit zwischen interokularer Volumendifferenz der knöchernen Orbita und verschiedenen Faktoren

Seit 1985, als Bite et al. die Computertomographie erstmals zur Bestimmung des Orbitavolumens verwendeten, zeigen Studien immer wieder eine lineare Korrelation zwischen der Zunahme des Orbitavolumens nach Orbitawandfrakturen und dem Vorhandensein eines Enophthalmus (Bite et al. 1985 S. 502; Manson et al. 1986b S. 208; Carls et al. 1994 S. 25; Whitehouse et al. 1994 S. 619; Schuknecht et al. 1996 S. 473; Raskin et al. 1998 S. 22; Ramieri et al. 2000 S. 310; Ploder et al. 2002b S. 1271; Gellrich et al. 2002 S. 1423; Fan et al. 2003 S. 210; Mazock et al. 2004 S. 1301; Ellis III and Reddy 2004 S. 282; Ye et al. 2006 S. 512, Kolk et al. 2007 S. 1932). Auch in dieser Arbeit konnte eine signifikante lineare Korrelation zwischen der Volumenzunahme der frakturierten Orbita gegenüber der Gegenseite und dem Auftreten eines Enophthalmus gefunden werden ($p=0,034$). Hier jedoch erfolgte die Analyse anhand von MRT-Daten. Die Vorhersage eines Enophthalmus in Abhängigkeit von der berechneten Orbitavolumendifferenz ist allerdings limitiert durch den bereits erwähnten intraindividuellen Volumenunterschied zwischen rechtem und linkem Auge von 0-8% bzw. 0-5% (Parsons and Mathog 1988 S. 745; McGurk et al. 1992 S. 72; Deveci et al. 2000 S. 645).

Pearl und Vistnes hoben sowohl in klinischer als auch in experimenteller Arbeit die Bedeutung der Frakturlokalisierung von Orbitawandfrakturen für das Auftreten eines Enophthalmus hervor. Sie beschrieben, dass anteriore Frakturen der Orbita nicht in dem Maße mit einem Enophthalmus verbunden sind wie das bei posterioren Frakturen der Orbita der Fall ist (Pearl and Vistnes 1987 S. 350; Pearl 1990 S. 132; Pearl 1992 S. 110; Pearl 1998 S. 354). In dieser Arbeit konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen Orbitavolumenzu- oder -abnahme und der Frakturlokalisierung bewiesen werden, jedoch zeigte sich, dass 60% der Fettgewebsprolapsen im posterioren Bereich der Orbita lagen, die wiederum gehäuft zu ophthalmologischen Symptomen führten.

Inkorrekte Rekonstruktion in diesem Gebiet während der operativen Erstversorgung scheint der Hauptgrund für postoperativ noch vorhandenen Enophthalmus zu sein, denn oft muss das fehlende Volumen intraoperativ geschätzt werden.

Eine weitere Theorie für die Ursache der erschwerten Rekonstruktion ist folgende Veränderung: Aus der konvexen Form der knöchernen Orbita wird eine konkave Form (Manson et al. 1986b S. 214; Ramieri et al. 2000 S. 305; Chan et al. 2000 S. 438; Kolk et al.

2005 S. 497). Umso wichtiger ist die exakte und präzise Rekonstruktion dieser Strukturen (Grant et al. 1997 S. 540; Schmelzeisen et al. 1997 S. 87; Fan et al. 2003 S. 210).

Gelingt es dem Operateur nicht, den knöchernen Rahmen der Orbitahöhle adäquat zu fixieren, so verliert dieser seine Form und das anliegende Fettgewebe wird narbig und zieht sich zusammen (Parsons and Mathog 1988 S. 743; Whitaker and Yaremchuk 1990 S. 448; Okinaka et al. 1999 S. 1176). Dieses Misslingen der Wiederherstellung der Kontinuität der Orbitawände führt weiterhin unvermeidbar zu fortschreitender Atrophie und Kontraktion von prolabiertem und eingeklemmtem Orbitainhalt und gefährdet damit die Ergebnisse der Rekonstruktion (Okinaka et al. 1999 S. 1176).

Obwohl das orbitale Fettgewebe häufig reduziert ist beziehungsweise durch Narbengewebe ersetzt wurde, zeigen einige Studien, dass diese Fettgewebsreduktion oft nicht verantwortlich für einen Enophthalmus ist, sondern vielmehr die Vergrößerung des knöchernen Orbitavolumens (Bite et al. 1985 S. 504; Manson et al. 1986a S. 193; Manson et al. 1986b S. 208; Parsons and Mathog 1988 S. 743; Carls et al. 1994 S. 26; Schuknecht et al. 1996 S. 474; Yab et al. 1997 S. 1410; Jin et al. 2000 S. 619).

Dies korreliert mit den Daten dieser Arbeit, da hier nur eine signifikante Korrelation für die Volumenzunahme der knöchernen frakturierten Orbita und dem Vorhandensein eines Enophthalmus gefunden werden konnte. Eine Korrelation zwischen der Orbitavolumenzunahme und dem Vorhandensein von Doppelbildern sowie Motilitätsstörungen oder der Frakturlokalisation konnte nicht nachgewiesen werden.

Auch Raskin et al. konnten in ihrer Arbeit keinen statistischen Zusammenhang zwischen Motilitätsstörungen und einer Orbitavolumenzunahme feststellen (Raskin et al. 1998 S. 23).

6 Zusammenfassung

Von September 2001 bis Oktober 2005 wurden 34 Patienten mit verschiedenen Orbitawandfrakturen im Rahmen dieser Arbeit untersucht. Ziel war es, verschiedene pathologische Veränderungen sowie das knöcherne Orbitavolumen zwischen den beiden bildgebenden Verfahren Magnetresonanztomographie und Computertomographie zu vergleichen.

Zunächst wurde die Darstellbarkeit der einzelnen Gewebestrukturen der Orbita, des Rekonstruktionsmaterials (PDS-Folien) sowie weiterer pathologischer Veränderungen beurteilt und verglichen. Danach erfolgte die jeweilige Segmentation und Volumetrierung der knöchernen Orbita. Schließlich sollte die Prolapsgröße sowie eine signifikante Volumenveränderung der frakturierten Orbita auf den Zusammenhang mit dem Auftreten von ophthalmologischen Symptomen wie Enophthalmus, Diplopie und Motilitätsstörungen untersucht werden.

20 MRT- und 20 CT- Untersuchungen von 18 Patienten wurden für diesen Vergleich herangezogen. Dabei konnten 80% der Fettgewebsprolapse und 100% der Muskelprolapse in der MRT, demgegenüber 66,6% der Fettgewebsprolapse und 50% der Muskelprolapse in der CT festgestellt werden. 92,3% der Patienten mit Orbitaprolapsen zeigten ophthalmologische Symptome wie Enophthalmus, Diplopie und Motilitätseinschränkungen.

Es ergab sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Größe der Prolapsvolumina und dem Vorkommen eines Enophthalmus ≥ 2 mm. Kein Zusammenhang konnte zwischen der Prolapsgröße und Motilitätsstörungen oder Diplopie festgestellt werden.

Die PDS-Folie war mittels MRT in 78% und mittels CT in 74% eindeutig darstellbar.

In 52,2% konnte in der MRT und CT dieselbe Folienlage bestimmt werden, in 47,8% ergab sich hierbei ein unterschiedliches Ergebnis.

Weiterhin wurden die MRT- und CT-Bilder nach dem Vorhandensein von Metallartefakten und einer Verschattung der Nasennebenhöhlen beurteilt. Es fanden sich sowohl in der MRT als auch in der CT verschieden lokalisierte Metallartefakte, die jedoch die jeweilige Bildgebung nur geringfügig bis mäßig beeinträchtigten. Eine Verschattung der Nasennebenhöhlen konnte in den meisten Bildern in unterschiedlich starkem Ausmaß gesehen werden.

Das mittlere Orbitavolumen der frakturierten Seite in der MRT betrug $32,75 \text{ cm}^3$, in der CT $29,06 \text{ cm}^3$. Das mittlere Orbitavolumen der Gegenseite betrug in der MRT $30,13 \text{ cm}^3$, in der CT $26,56 \text{ cm}^3$.

Folglich betrug die mittlere Volumendifferenz zwischen frakturierter Orbita und der Gegenseite für die MRT 2,81 cm³ und für die CT 2,58 cm³. Es zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen den frakturierten Orbitavolumina und den Volumina der Gegenseite sowohl für die MRT- als auch für die CT. Die mittlere Volumendifferenz zwischen der Volumenbestimmung in der MRT versus CT für die frakturierten Orbitae zeigte eine Zunahme von 11,3% und für die Gegenseite von 11,8%.

Aus diesen Werten und den statistischen Tests ging hervor, dass die MRT-Volumendaten der knöchernen Orbita signifikant mit den CT-Volumendaten korrelierten. Diese wiederum korrelierten mit den CT-Daten, die in der Literatur angegeben werden.

Schließlich wurde die mittlere MRT-Orbitavolumendifferenz auf einen Zusammenhang mit postoperativen ophthalmologischen Komplikationen sowie der Lokalisation der einzelnen Orbitawandfrakturen geprüft.

Es konnte eine signifikante lineare Korrelation zwischen der MRT-Orbitavolumendifferenz und dem Auftreten eines Enophthalmus festgestellt werden. Der Grad des Enophthalmus nahm mit der Vergrößerung des knöchernen Orbitavolumens stetig zu.

Aufgrund der bereits erwähnten Vorteile der MRT im Hinblick auf die nicht vorhandene Röntgenstrahlung, die bessere Weichteil- und Prolapsdarstellung, die gleichwertige Darstellung des implantierten Materials und meist adäquate Knochendarstellung bei einer präziseren Orbitavolumenbestimmung ist die MRT nach den in dieser Studie generierten Ergebnissen im Vergleich zur CT das Verfahren der Wahl für sekundäre Operationsplanung und Durchführung der Korrektur einer Orbitawandfraktur.

7 Literaturverzeichnis

1. Austermann, K.-H.
Untersuchungen zum Entstehungsmechanismus der "Blow-out"-Fraktur.
Dtsch. Z. Mund Kiefer GesichtsChir. 3 (1979) 220-223
2. Bassim, M.K., Ebert, C.S., Sit, R.C., Senior, B.A.
Radiation dose to the eyes and parotids during CT of the sinuses.
Otolaryngol Head Neck Surg. 133 (2005) 531-533
3. Baumann, A., Burggasser, G., Gauss, N., Ewers, R.
Orbital floor reconstruction with an alloplastic resorbable polydioxanone sheet.
Int J Oral Maxillofac Surg. 31 (2002) 367-373
4. Bite, U., Jackson, I. T., Forbes, G. S., Gehring, D.G.
Orbital volume measurements in enophthalmos using three-dimensional CT imaging.
Plast Reconstr Surg. 75 (1985) 502-508
5. Burm, J. S., Chung, C. H., Oh, S.J.
Pure orbital blowout fracture: new concepts and importance of medial orbital blowout fracture.
Plast Reconstr Surg. 103 (1999) 1839-1849
6. Carls, F. R., Schuknecht, B., Sailer, H.F.
Orbital volumetry as a planning principle for reconstruction of the orbital wall.
Fortschr Kiefer GesichtsChir. 39 (1994) 23-27
7. Chan, C. H., Spalton, D. J., McGurk, M.
Quantitative volume replacement in the correction of post-traumatic enophthalmos.
Br. J. Oral Maxillofac. Surg. 38 (2000) 437-440
8. Chang, E. L., Bernardino, C.R.
Update on orbital trauma.
Curr Opin Ophthalmol. 15 (2004) 411-415
9. Charteris, D. G., Chan, C. H., Whitehouse, R. W., Noble, J. L.
Orbital volume measurement in the management of pure blowout fractures of the orbital floor.
Br J Ophthalmol 77 (1993) 100-102
10. Christiansen, E. L., Thompson, J. R., Kopp, S.
Intra- and inter-observer variability and accuracy in the determination of linear and angular measurements in computed tomography. An in vitro and in situ study of human mandibles.
Acta Odontol Scand. 44 (1986) 221-229
11. Converse, J.M., Smith, B.
Enophthalmos and diplopia in fracture of the orbital floor.
Br J Plast Surg 9 (1957) 265-274

12. Czechowski, J., Janeczek, J., Kelly, G., Johansen, J.
Radiation dose to the lens in sequential and spiral CT of the facial bones and sinuses.
Eur Radiol 11 (2001) 711-713
13. Dammann, F., Momino-Traserra, E., Remy, C., Pereira, P. L., Baumann, I.,
Koitschev, A., Claussen, C. D.
Radiation exposure during spiral-CT of the paranasal sinuses.
Rofo Fortschr Geb Rontgenstr Neuen Bildgeb Verfahr 172 (2000) 232-237
14. Danko, I., Haug, RH.
An experimental investigation of the safe distance for internal orbital dissection.
J Oral Maxillofac Surg. 56 (1998) 749-751
15. della Rocca, R. C., Maher, E. A.
Diagnostic and surgical approaches to orbital fractures.
Curr Opin Ophthalmol. 1 (1990) 527-531
16. Deveci, M., Ozturk, S., Sengezer, M., Pabuscu, Y.
Measurement of orbital volume by a 3-dimensional software program:
An experimental study.
J Oral Maxillofac Surg. 58 (2000) 645-648
17. Ellis, E., III, el Attar, A., Moos, K. F. Moos
An analysis of 2,067 cases of zygomatico-orbital fracture.
J Oral Maxillofac Surg. 43 (1985) 417-428
18. Ellis, E., III, Reddy, L.
Status of the internal orbit after reduction of zygomaticomaxillary complex fractures.
J Oral Maxillofac Surg. 62 (2004) 275-283
19. Fan, X., Li, J., Zhu, J., Li, H., Zhang, D.
Computer-assisted orbital volume measurement in the surgical correction of late
enophthalmos caused by blowout fractures.
Ophthal Plast Reconstr Surg. 19 (2003) 207-211
20. Fiala, T. G., Novelline, R. A., Yaremchuk, M.J.
Comparison of CT imaging artifacts from craniomaxillofacial internal fixation
devices.
Plast Reconstr Surg. 92 (1993) 1227-1232
21. Filatova, I.A., Tishkova, A.P., Beraia, M., Poliakova, L., Tkhelidze, N.R.
Computed tomography in diagnosing and determining treatment policy in patients
with posttraumatic pathology of the eye and orbit.
Vestn Oftalmol. 121 (2005) 9-14
22. Forbes, G., Gehring, D.G., Gorman, C.A., Brennan, M.D., Jackson, I.T.
Volume Measurements of Normal Orbital Structures by Computed Tomographic
Analysis.
Am J Roentgenol 145 (1985) 149-154
23. Freihofer, H. P.
Effectiveness of secondary post-traumatic periorbital reconstruction.
J Craniomaxillofac Surg. 23 (1995) 143-150

24. Freund, M., Hähnel, S., Sartor, K.
The value of magnetic resonance imaging in the diagnosis of orbital floor fractures.
Eur Radiol 12 (2002) 1127-1133
25. Freund, M., Hähnel, S., Sommer, C., Martmann, M., Kiessling, M., Tronnier, V., Sartor, K.
CT and MRI findings in gliomatosis cerebri: a neuroradiologic and neuropathologic review of diffuse infiltrating brain neoplasms.
Eur Radiol 11 (2001) 309-316
26. Fuchs, E.
Demonstration eines Falles von traumatischer Lähmung des Obliquus inferior mit Enophthalmus.
Klin.Wschr. 6 (1893) 184
27. Fujino, T.
Experimental "blowout" fracture of the orbit.
Plast Reconstr Surg. 54 (1974) 81-82
28. Gellrich, N.C., Schramm, A., Hammer, B., Rojas, S., Cufi, D., Lagreze, W., Schmelzeisen, R.
Computer-assisted secondary reconstruction of unilateral posttraumatic orbital deformity.
Plast Reconstr Surg. 110 (2002) 1417-1429
29. Graf, H., Heuschmid, M., Küttner, A., Kopp, A.F., Claussen, C.D., Schick, F.
Characterization of Motion Artifacts in Multi-Slice Spiral CT.
Fortschr Roentgenstr. 174 (2002) 1301-1308.
30. Grant, M. P., Iliff N. T., Manson, P. N.
Strategies for the treatment of enophthalmos.
Clin Plast Surg. 24 (1997) 539-550
31. Hammer, B., Prein, J.
Correction of post-traumatic orbital deformities: operative techniques and review of 26 patients.
J Craniomaxillofac Surg. 23 (1995) 81-90
32. Harris, G. J., Garcia, G.H., Logani, S. C., Murphy, M. L., Sheth, B. P., Sehth A. K.
Orbital blow-out fractures: correlation of preoperative computed tomography and postoperative ocular motility.
Trans Am Ophthalmol Soc. 96 (1998) 329-347
33. Hawes, M. J., Dortzbach, R.K.
Surgery on orbital floor fractures. Influence of time of repair and fracture size.
Ophthalmology 90 (1983) 1066-1070
34. Hell, B., Woerner, H., Brill, G.
Kernspintomographie in der Diagnostik funktionell wirksamer Orbitafrakturen.
Dtsch. Z. Mund Kiefer Gesichtschir. 14 (1990) 154-160
35. Hemprich, A., Breier, T.
Secondary correction of traumatogenic enophthalmus with auto-and alloplastic

- implants.
Rev Stomatol Chir Maxillofac 94 (1993) 37
36. Hessling, K.H., Eckardt, A., Schmelzeisen, R., Mayer, H.
Indikation, Technik und Ergebnisse der Rekonstruktion von traumatischen Defekten des knöchernen Orbitabodens.
Fortschr Kiefer GesichtsChir. 36 (1991) 207-209
 37. Hidding, J., Deitmer, T., Hemprich, A., Ahrberg, W.
Primary correction of orbital fractures using PDS-foil.
Fortschr Kiefer GesichtsChir. 36 (1991) 195-196
 38. Höltje, W. J.
Wiederherstellung von Orbitabodendefekten mit Polyglactin.
Fortschr Kiefer GesichtsChir. 28 (1983) 65-67
 39. Horch, H.H.
Traumatologie des Gesichtsschädels.
In: "Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie"
Horch, H.H. (Hrsg.) Urban & Fischer bei Elsevier,
München-Jena, 2007, 4. Auflage, 127-177
 40. Howaldt, H.-P., Neubert, J.
Blow-in-Frakturen der Orbita - eine Indikation zur Sofortoperation.
Dtsch. Z. Mund Kiefer GesichtsChir. 14 (1990) 228-229
 41. Huber, A., Fischer, J., Simbrunner, J.
An unusual case of a blow-out fracture. Entrance of a bone fragment into the frontal lobe after ski accident.
Neurochirurgia 36 (1993) 137-139
 42. Huber, P.
Computerized tomography in the assessment of orbital lesions.
Klin Monatsbl Augenheilkd 194 (1989) 341-349
 43. Imhof, H.
Spiral CT and radiation dose.
Eur J Radiol. 47 (2003) 29-37
 44. Jackson, A., Whitehouse, R. W.
Low-dose computed tomographic imaging in orbital trauma.
Br J Radiol. 66 (1993) 655-661
 45. Jank, S., Emschhoff, R., Schuchter, B., Strobl, H., Brandlmaier, I., Norer, B.
Orbital floor reconstruction with flexible Ethisorb patches: a retrospective long-term follow-up study.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 95 (2003a) 16-22
 46. Jank, S., Schuchter, B., Strobl, H., Emschhoff, R., Baldissera, I., Nicasi, A., Norer, B.
Posttraumatische Bulbusmotilität bei Orbitabodenfrakturen.
MundKieferGesichtsChir 7 (2003b) 19-24

47. Jin, H. R., Shin, S. O., Choo, M. J., Choi, Y. S.
Relationship between the extent of fracture and the degree of enophthalmos in isolated blowout fractures of the medial orbital wall.
J Oral Maxillofac Surg. 58 (2000) 617-620
48. Jones, D.E., Evans, J.N.
Blow-out" fractures of the orbit: An investigation into their anatomical basis.
J Laryngol Otol. 81 (1967) 1109-20
49. Joos, U.
Therapy of orbital fractures.
Fortschr Kiefer GesichtsChir. 41 (1996) 32-38
50. Kauffmann, G., Moser, E., Sauer, R.
Strahlenpathologie, Röntgendiagnostik, Klinische Radiologie.
In: "Radiologie"
Kauffmann, G., Moser, E., Sauer, R. (Hrsg.), Urban&Fischer Verlag
München-Jena, 2001, 2. Auflage, 59 - 244, 325 - 330
51. Kawamoto, H. K.
Late posttraumatic enophthalmos: a correctable deformity?
Plast Reconstr Surg. 69 (1982) 423-432
52. Koide, R., Ueda, T., Takano, K., Tsuchiya, A., Totsuka, N., Inatomi, M.
Surgical outcome of blowout fracture: early repair without implants and the usefulness of balloon treatment.
Jpn J Ophthalmol. 47 (2003) 392-397
53. Kolk, A., Pautke, C., Wiener, E., Ploder, O., Neff, A.
A Novel High-Resolution Magnetic Resonance Imaging Microscopy Coil as an Alternative to the Multislice Computed Tomography in Postoperative Imaging of Orbital Fractures and Computer-Based Volume Measurement.
J Oral Maxillofac Surg. 63 (2005) 492-498
54. Kolk, A., Pautke, C., Schott, V., Ventrella, E., Wiener, E., Ploder, O., Horch, H.H., Neff, A.
Secondary Posttraumatic Enophthalmos: High-resolution magnetic resonance imaging compared with multislice computed tomography in postoperative orbital volume measurement.
J Oral Maxillofac Surg. 65 (2007) 1926-1934
55. Kontio, R., Suuronen, R., Salonen, O., Paukku, P., Kontinen, Y.T., Lindqvist, C.
Effectiveness of operative treatment of internal orbital wall fracture with polydioxanone implant.
Int J Oral Maxillofac Surg. 30 (2001) 278-285
56. Krainau, R., Klesper, B., Hellner, D., Reinhardt, R.
Long-term results following orbital comminuted fractures with special reference of orbital floor reconstruction using an absorbable PDS-plate.
Fortschr Kiefer GesichtsChir. 36 (1991) 217-218

57. Kreusch, T., Fleiner, B., Friedrich, D.
Orbitabodenfraktur.
Dtsch. Z. Mund Kiefer GesichtsChir. 14 (1990) 190-192
58. Kriens, O.
Blowout fractures - maxillofacial-surgical aspects on diagnosis and treatment.
Ber Zusammenkunft Dtsch Ophthalmol Ges. 78 (1980) 44-48
59. Le Fort, R.
Etude experimentale sur les fractures de la machoire superieure.
Rev. Chir Paris. 23 (1901) 208-479
60. Lemke, A.J., Hosten, N., Foerster, P.I., Foerster, M. H.
Using high resolution sectional imaging in diagnosis of the eye and orbit.
Ophthalmologe 98 (2001) 435-445
61. Lentrodt, J.
Therapy of orbital fractures.
Fortschr Kiefer GesichtsChir. 36 (1991) 184-186
62. Long, J., Tann. T.
Orbital trauma.
Ophthalmol Clin North Am 15 (2002) 249-253
63. Manfre, L., Nicoletti, G., Lombardo, M., Consoli, V., Pero, G., Albanese, V.
Orbital "blow-in" fracture: MRI.
Neuroradiology 35 (1993) 612-613
64. Manolidis, S., Weeks, B.H., Kirby, M., Scarlett, M., Hollier, L.
Classification and surgical management of orbital fractures: experience with 111
orbital reconstructions.
J Craniomaxillofac Surg. 13 (2002) 726-738
65. Manson, P. N., Clifford, C. M., Iliff, N.T., Morgan, R.
Mechanisms of global support and posttraumatic enophthalmos. 1. The anatomy of the
ligament sling and its relation to intramuscular cone orbital fat.
Plast Reconstr Surg. 77 (1986a) 193-202
66. Manson, P. N., Grivas, A., Rosenbaum, A., Vannier, M., Zinreich, J., Iliff, J.
Studies on enophthalmos. 2. The measurement of orbital injuries and their treatment
by quantitative computed-tomography.
Plast Reconstr Surg. 77 (1986b) 203-214
67. Manson, P. N., Iliff, N., Robertson, B.
Trapdoor fracture of the orbit in a pediatric population - Discussion.
Plast Reconstr Surg. 109 (2002) 490-495
68. Mathog, R. H.
Relationship between the extent of fracture and the degree of enophthalmos in isolated
blowout fractures of the medial orbital wall - Discussion.
J Oral Maxillofac Surg. 58 (2000) 620-621

69. Mazock, J., Schow, S., Triplett, G.
Evaluation of ocular changes secondary to blowout fractures.
J Oral Maxillofac Surg.62 (2004) 1298-1302
70. McGurk, M., Whitehouse, R.W., Taylor, P.M., Swinson, B.
Orbital volume measured by a low-dose CT scanning technique.
Dentomaxillofac Radiol. 21 (1992) 70-72
71. Meier, K., Schmidt, T.
Diagnostic and therapeutic aspects in medial orbital fractures.
Fortschr Kiefer GesichtsChir. 36 (1991) 220-222
72. Merten, H.A., Hönig, J.F., Wiltfang, J., Mühlendyck, H., Luhr, H.G.
Orbitabodenplastik mit einer biodegradierbaren Kunststoff-Folie (PDS-Folie).
Osteologie 8 (1999) 122
73. Merten, H. A., Luhr, H. G.
Resorbable synthetics (PDS foils) for bridging extensive orbital wall defects in an animal experiment comparison.
Fortschr Kiefer GesichtsChir. 39 (1994) 186-190
74. Mohr, C., Esser, J., Heesen, J.
Zur Orbitabodenrevision im Rahmen der Mittelgesichtstraumatologie.
Dtsch. Z. Mund Kiefer GesichtsChir. 14 (1990) 209-211
75. Okinaka, Y., Hara, J., Takahashi, M.
Orbital blowout fracture with persistent mobility deficit due to fibrosis of the inferior rectus muscle and perimuscular tissue.
Ann Otol Rhinol Laryngol. 108 (1999) 1174-1176
76. Olsen, R.V., Munk, P.L., Lee, M.J., Janzen, D.L., MacKay, A.L., Xiang, Q., Masri, B.
Metal artifact reduction sequence: early clinical applications.
Radiographics. 20 (2000) 699-712
77. Parsons, G.S., Mathog, R.H.
Orbital wall and volume relationships.
Arch Otolaryngol Head Neck Surg. 114 (1988) 743-747
78. Pearl, R.M.
Surgical management of volumetric changes in the bony orbit.
Ann Plast Surg. 19 (1987) 349-358
79. Pearl, R.M.
Treatment of enophthalmos.
Clin Plast Surg. 19 (1992) 99-111
80. Pearl, R.M.
Prevention of enophthalmos: A hypothesis.
Ann Plast Surg. 25 (1990) 132-133
81. Pearl, R.M.
Enophthalmos correction: principles guiding proper treatment.
Oper Tech Plast Reconstr Surg 5 (1998) 352-354

82. Pearl, R.M., Vistnes, L.
Orbital blow-out fractures: An approach to management.
Ann Plast Surg. 19 (1987) 349-351
83. Pfeiffer, R.L.
Traumatic enophthalmos.
Adv Ophthalmic Plast Reconstr Surg. 6 (1943) 301-312
84. Ploder, O., Klug, C., Backfrieder, W., Voracek, M., Czerny, C., Tschabitscher, M.
2D- and 3D-based measurements of orbital floor fractures from CT scans.
J Craniomaxillofac Surg. 30 (2002a) 153-159
85. Ploder, O., Klug, C., Voracek, M., Backfrieder, W., Tschabitscher, M., Czerny, C.,
Baumann, A.
A computer-based method for calculation of orbital floor fractures from coronal
computed tomography scans.
J Oral Maxillofac Surg. 59 (2001) 1437-1442
86. Ploder, O., Klug, C., Voracek, M., Burggasser, G., Czerny, C.
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. 60 (2002b) 1267-1272
87. Ploder, O., Oeckher, M., Klug, C., Voracek, M., Wagner, A., Burggasser, G.,
Baumann, A., Czerny, C.
Follow-up study of treatment of orbital floor fractures: relation of clinical data and
software-based CT-analysis.
Int J Oral Maxillofac Surg. 32 (2003) 257-262
88. Potter, J., Ellis III, E.
Biomaterials for Reconstruction of the Internal Orbit.
J Oral Maxillofac Surg. 62 (2004) 1280-1297
89. Prichard, J., Thadani, V., Kalb, R., Manuelidis, E.
Rapidly progressive dementia in a patient who received a cadavaric dura mater graft.
JAMA 257 (1987) 1036
90. Putterman, A.M.
Editorial: Management of Orbital Floor Blowout Fractures.
Adv Ophthalmic Plast Reconstr Surg. 6 (1987) 281-285
91. Putz, R., Pabst, R.
Kopf, Hals, obere Extremität.
In: "Sobotta Atlas der Anatomie des Menschen"
Putz, R., Pabst, R. (Hrsg.), Urban und Fischer Verlag,
München-Jena, 2000, 21. Auflage, 57
92. Ramieri, G., Spada, M.C., Bianchi, S.D., Berrone, S.
Dimensions and volumes of the orbit and orbital fat in posttraumatic enophthalmos.
Dentomaxillofac Radiol. 29 (2000) 302-311

93. Raskin, E.M., Millman, A.L., Lubkin, V., della Rocca, R.C., Lisman, R., Maher, E.A.
Prediction of late enophthalmos by volumetric analysis of orbital fractures.
Ophthal Plast Reconstr Surg. 14 (1998) 19-26
94. Reich, R., Otte, D.
Verletzungsmechanismen bei Mittelgesichtsfrakturen im Straßenverkehr.
Fortschr Kiefer Gesichtschir. 36 (1991) 11-14
95. Richter, W.C.
Klinik und Diagnostik.
In: "Kopf- und Halsverletzungen"
Richter, W.C. (Hrsg.), Georg Thieme Verlag,
Stuttgart-New York, 1992, 2. Auflage, 133-163
96. Rowe, N. L.
The diagnosis of periorbital injuries.
Fortschr Kiefer Gesichtschir. 22 (1977) 3-9
97. Sachsenweger, M.
Orbita.
In: "Augenheilkunde"
Sachsenweger, M. (Hrsg.), Klauß, V., Nasemann, J., Ugi, J., Georg Thieme Verlag,
Stuttgart, 2003, 2. Auflage, 49-72
98. Samek, M., Pape, H. D., Rüßmann W., Berg, S.
Lokalisation und Ausmaß von Orbitabodendefekten und Indikation zur
Defektdeckung.
Fortschr Kiefer Gesichtschir. 36 (1991) 193-194
99. Schettler, D.
Zeitpunkt der definitiven Versorgung schwerer Orbita- und
Mittelgesichtsverletzungen.
Fortschr Kiefer Gesichtschir. 36 (1991) 39-41
100. Schiebler, T. H.
Kopf und Hals.
In: "Anatomie"
Schiebler, T. H., Schmidt, W., Zilles, K. (Hrsg.), Springer Verlag,
Berlin-Heidelberg, 1999, 8. Auflage, 397-427
101. Schliephake, H., Neukam, F.W., Klosa, D.
Animal experiments for the determination of in-vivo absorption of PDS osteosynthesis
material.
Fortschr Kiefer Gesichtschir. 36 (1991) 252-255
102. Schmelzeisen, R., Husstedt, H., Zumkeller, M., Rittierodt, M.
Preserving and improving the profile in primary and secondary orbital reconstruction.
MundKieferGesichtschir 1 (1997) 87-89
103. Schobel, G.A., Millesi, W., Watzke, I.M., Steiner, E., Papapanos, P.
Blow-in-Frakturen - Vergleich operative und konservative Therapie.
Fortschr Kiefer Gesichtschir. 36 (1991) 224-228

104. Schönhardt, R. E., Horch, H. H., Lochner, M., Rüßmann, W.
Mediale Orbitafrakturen.
Z.prakt.Augenheilkd. 5 (1983) 255-257
105. Schuknecht, B., Carls, F., Valavanis, A., Sailer, H.F.
CT assessment of orbital volume in late post-traumatic enophthalmos.
Neuroradiology 38 (1996) 470-475
106. Schulze, D., Heiland, M., Thurmann, H., Adam G.
Radiation exposure during midfacial imaging using 4- and 16-slice computed tomography, cone beam computed tomography systems and conventional radiography.
Dentomaxillofac Radiol. 33 (2004) 83-86
107. Smith, B., Reagan, W.F.
Blowout fracture of the orbit: Mechanism and correction of internal orbital fracture.
Am J Ophthalmol 44 (1957) 733-739
108. Thadani, V., Penar, P.L., Partington, J., Kalb, R., Janssen, R., Schönberger, L.B., Rabkin, C.S., Prichard, J.
Creutzfeld-Jakob disease probably acquired from a cadaveric dura mater graft.
J Neurosurg, 69 (1988) 766-769
109. Walser, B.
Vorläufige Mitteilung über Versuche experimenteller Erzeugung von Lidemphysem am Cadaver.
Graefes Arch.Ophth. 48 (1897) 201
110. Waterhouse, N., Lyne, J., Urdang, M., Garey, L.
An investigation into the mechanism of orbital blowout fractures.
Br J Plast Surg 52 (1990) 607-612
111. Westphal, D., Koblin, I., Loewen, U.
Orbitabodenfrakturen. Häufigkeit, Diagnostik, Therapie und Spätergebnisse anhand von 139 Fällen.
Fortschr Kiefer GesichtsChir. 22 (1977) 12
112. Whitaker, L.A., Yaremchuk, M.J.
Secondary reconstruction of posttraumatic orbital deformities.
Annals of Plastic Surgery 25 (1990) 440-449
113. Whitehouse, R. W., Batterbury, M., Jackson, A., Noble, J. L.
Prediction of enophthalmos by computed tomography after 'blow out' orbital fracture.
Br. J. Ophthalmol. 78 (1994) 618-620
114. Wiener, E., Kolk, A., Neff, A., Settles, M., Rummeny, E.
Evaluation of reconstructed orbital wall fractures: high-resolution MRI using a microscopy surface coil versus 16-slice MSCT.
Eur Radiol 15 (2005) 1250-1255
115. Williams, G., Jackson, A., Whitehouse, R.W., Kwartz, J.
The role of CT and MRI in the investigation of orbital roof fractures.
Eur J Radiol. 19 (1995) 124-127

116. Yab, K., Tajima, S., Ohba, S.
Displacements of eyeball in orbital blowout fractures.
Plast Reconstr Surg. 100 (1997) 1409-1417
117. Ye, J., Kook, K.H., Lee S.Y.
Evaluation of computer-based volume measurement and porous polyethylene channel implants in reconstruction of large orbital wall fractures.
Invest Ophthalmol Vis Sci. 47 (2006) 509-513
118. Zammit-Maempel, I., Chadwick, C. L., Willis, S. P.
Radiation dose to the lens of eye and thyroid gland in paranasal sinus multislice CT.
Br J Radiol. 76 (2003) 418-420
119. Zhan, Y., Engel, M., Kujat, C., Backens, M., Kubale, R., Kramann, B.
Proton spin tomography of the orbit in post-traumatic motility disorders.
Rofo Fortschr Geb Rontgenstr Neuen Bildgeb Verfahr 163 (1995) 127-133

8 Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen

8.1 Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abb. 1: Anatomie der linken Orbita	9
Abb. 2: Entstehungsmechanismen der Orbitafraktur	11
Abb. 3: Orbitabodendefektfraktur vor und nach operativer Rekonstruktion	17
Abb. 4: PDS-Folie 0,25 mm, intraoperativer Situs	19
Abb. 5: 16-Zeilen-Multislice-Computertomograph der Firma Siemens AG	24
Abb. 6: Kernspintomographiegerät, 1,5 Tesla, der Firma Phillips©	25
Abb. 7: Frakturursache im Patientenkollektiv (n=18)	28
Abb. 8: Bildliche Darstellung der Bestimmung und Berechnung der Frakturgröße	29
Abb. 9: Frakturlokalisierung in 4 Kategorien eingeteilt (n=20)	30
Abb. 10: Praeoperative MRT- und CT-Aufnahme des Bodenprolaps der rechten Orbita von Untersuchungsnummer 13a	37
Abb. 11: Vordere und hintere Orbitabegrenzung bei Untersuchungsnummer 13b	44
Abb. 12: Inter- und intraindividuelle Untersucherunabhängigkeit	45
Abb. 13: Zweidimensionale Bildschirmansicht im Segmentationsprogramm Easy Vision	47
Abb. 14: Darstellung des Bodenprolaps der rechten Orbita bei Untersuchungsnummer 12	104
Abb. 15: Darstellung des Fettgewebe- und Muskelprolaps der medialen Wand der linken Orbita bei Untersuchungsnummer 9	105
Abb. 16: Enophthalmusdarstellung bei Untersuchungsnummer 1 im Nasenblasversuch	51
Abb. 17: Darstellung des Bodenprolaps der rechten Orbita bei Untersuchungsnummer 12 nach Methode 2	106
Abb. 18: Darstellung des Prolaps der medialen Wand der linken Orbita bei Untersuchungsnummer 9 nach Methode 3	107
Abb. 19: Eindeutige Darstellung der PDS-Folie am Übergang Boden/mediale Wand der rechten Orbita bei Untersuchungsnummer 11b	108

Abb. 20:	Regelrechte Lage der PDS-Folie am Übergang Boden/mediale Wand der rechten Orbita bei Untersuchungsnummer 3	109
Abb. 21:	Darstellung der PDS-Folie mit Hämatom unter der Folie im Orbitaboden- und Wandbereich der linken Orbita bei Untersuchungsnummer 6	110
Abb. 22:	Metallartefakte in der MRT und CT bei Untersuchungsnummer 1	111
Abb. 23:	Histogramm: MRT–Frakturierte Orbitavolumina in cm ³	60
Abb. 24:	Histogramm: MRT–Gesunde Orbitavolumina in cm ³	60
Abb. 25:	Boxplot: MRT–Frakturierte Orbitavolumina in cm ³	61
Abb. 26:	Boxplot: MRT–Gesunde Orbitavolumina in cm ³	61
Abb. 27:	Streudiagramm: MRT-Frakturierte versus gesunde Orbitavolumina	62
Abb. 28:	Histogramm: CT–Frakturierte Orbitavolumina in cm ³	64
Abb. 29:	Histogramm: CT–Gesunde Orbitavolumina in cm ³	64
Abb. 30:	Boxplot: CT–Frakturierte Orbitavolumina in cm ³	65
Abb. 31:	Boxplot: CT–Gesunde Orbitavolumina in cm ³	65
Abb. 32:	Streudiagramm: CT-Frakturierte versus gesunde Orbitavolumina	66
Abb. 33:	MRT- und CT-Orbitavolumina im Vergleich in cm ³ als Boxplot-Diagramme	67
Abb. 34:	MRT- und CT-Orbitavolumina der frakturierten Seite in cm ³ als Streudiagramm	68
Abb. 35:	MRT- und CT-Orbitavolumina der gesunden Seite in cm ³ als Streudiagramm	68
Abb. 36:	Mittlere MRT-Orbitavolumendifferenz in cm ³ als Histogramm	70
Abb. 37:	Mittlere CT-Orbitavolumendifferenz in cm ³ als Histogramm	70
Abb. 38:	Orbitavolumenbestimmung der frakturierten Seite in der MRT und CT in drei Ebenen bei Untersuchungsnummer 10	112
Abb. 39:	Orbitavolumenbestimmung der gesunden Seite in der MRT und CT in drei Ebenen bei Untersuchungsnummer 10	113
Abb. 40:	Orbitavolumenbestimmung der frakturierten und gesunden Seite in der MRT und CT in axialer Ebene bei Untersuchungsnummer 13a	114
Abb. 41:	Orbitavolumenbestimmung der frakturierten und gesunden Seite in der MRT und CT in axialer Ebene bei Untersuchungsnummer 13b	115
Abb. 42:	Mittlere MRT-Orbitavolumendifferenz in Bezug zum Vorhandensein eines Enophthalmus	73

8.2 Tabellenverzeichnis

	Seite	
Tab. 1:	Wichtige Kollektivparameter im Überblick	31
Tab. 2:	MRT-Parameter im Überblick	34
Tab. 3:	CT-Parameter im Überblick	35
Tab. 4:	Prolapsdarstellung in der MRT und CT	51
Tab. 5:	Zusammenhang zwischen Prolaps und opht. Komplikationen	52
Tab. 6:	Überblick über die nach Methode 1, 2 und 3 gemessenen Prolapsvolumina	53
Tab. 7:	Darstellbarkeit der Folie in T1- und T2-Wichtung der MRT und CT	54
Tab. 8:	Vergleich zwischen T1- und T2-Wichtung der MRT in der Foliendarstellung	116
Tab. 9:	Zusammenfassung der einzelnen Foliendarstellbarkeiten	116
Tab. 10:	Lage der Folie im Vergleich zwischen MRT und CT (n=23)	56
Tab. 11:	Zusammenfassung aller in der MRT und CT entsprechend befundeter Folienlagen	117
Tab. 12:	Zusammenfassung aller in der MRT und CT unterschiedlich befundeter Folienlagen	117
Tab. 13:	Metallartefakte im Vergleich zwischen MRT und CT	57
Tab. 14:	Verschattung der Nasennebenhöhlen in der MRT und CT	58
Tab. 15:	MRT-Orbitavolumina des Vergleichskollektivs (n=26)	59
Tab. 16:	MRT-Orbitavolumina des Gesamtkollektivs (n=62)	118
Tab. 17:	CT-Orbitavolumina des Vergleichskollektivs (n=26)	63
Tab. 18:	CT-Orbitavolumina des Gesamtkollektivs (n=30)	118
Tab. 19:	Vergleich der mittleren MRT- und CT- Orbitavolumina	67
Tab. 20:	Vergleich der Differenz zwischen den Volumina der frakturierten und gegenseitigen Orbitae in der MRT und CT	69
Tab. 21:	Mittlere Volumendifferenz zwischen MRT und CT	71
Tab. 22:	Frakturtypen und Frakturlokalisierung, ophthalmologische Komplikationen, Darstellung des Prolaps und der Folie in der MRT und CT	119
Tab. 23:	MRT- und CT-Volumendaten in cm ³ eines jeden einzelnen Patienten im Überblick	120

9 Anhang

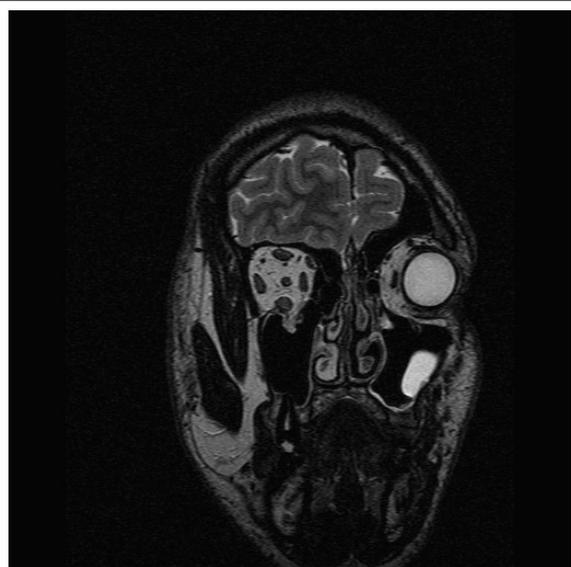
9.1 Bilderanhang

Sämtliche MRT- und CT-Aufnahmen stammen aus dem Institut für Röntgendiagnostik des Klinikums rechts der Isar der Technischen Universität München.

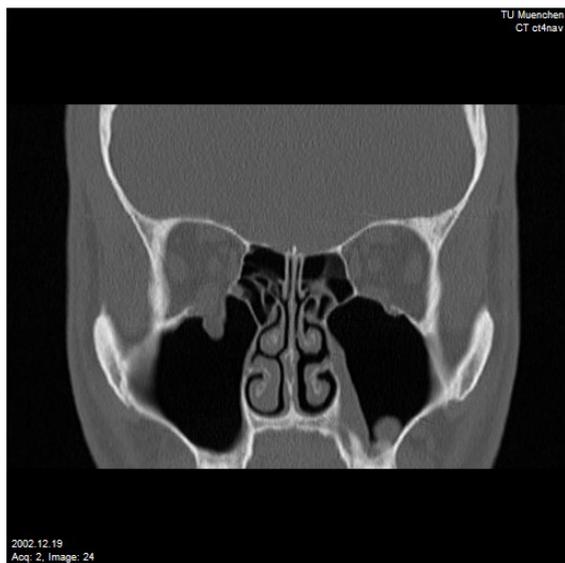


14a: Coronare T1-Wichtung der MRT

Abb. 14:
Darstellung des Bodenprolapses
der rechten Orbita bei
Untersuchungsnummer 12



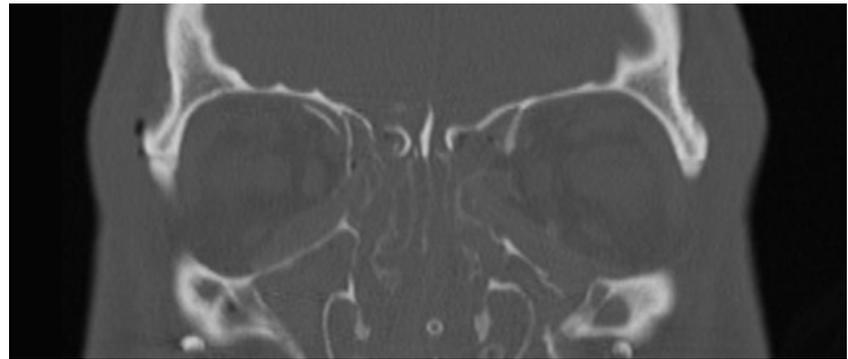
14b: Coronare T2-Wichtung der MRT



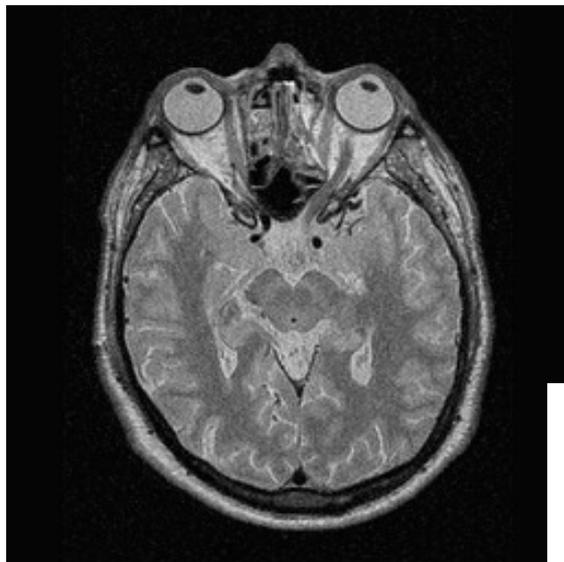
14c: Coronare CT-Aufnahme



15a: Coronare PDW-Aufnahme der MRT



15b: Coronare CT-Aufnahme

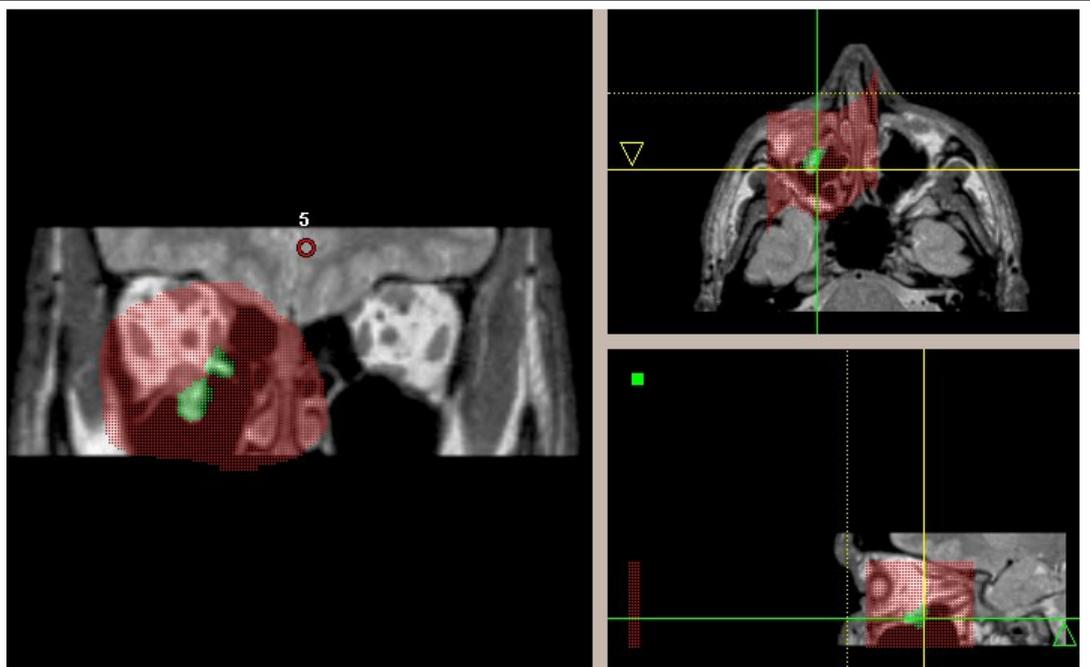


15c: Axiale PDW-Aufnahme der MRT

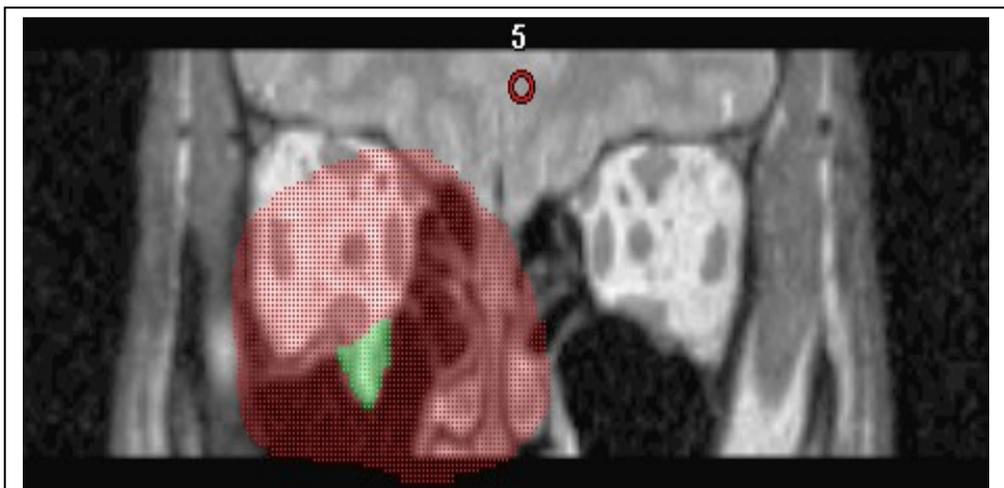
Abb. 15:
Darstellung des Fettgewebe- und
Muskelprolaps der medialen
Wand der linken Orbita bei
Untersuchungsnummer 9



15d: Axiale CT-Aufnahme

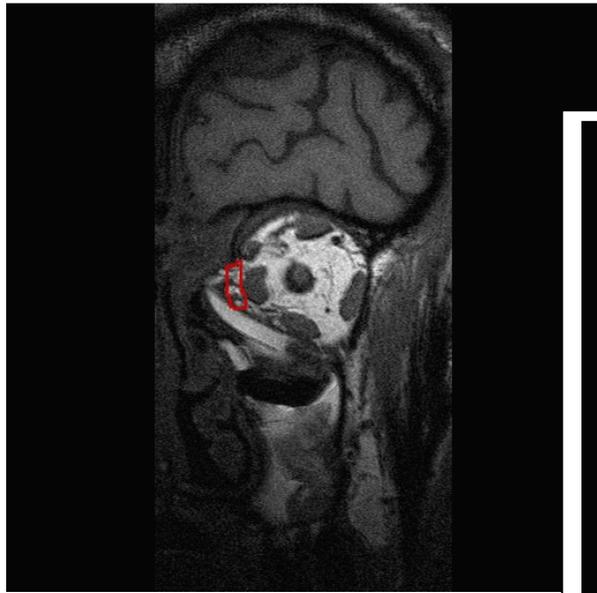


17a: Coronare, sagittale und axiale PDW-Aufnahme der MRT

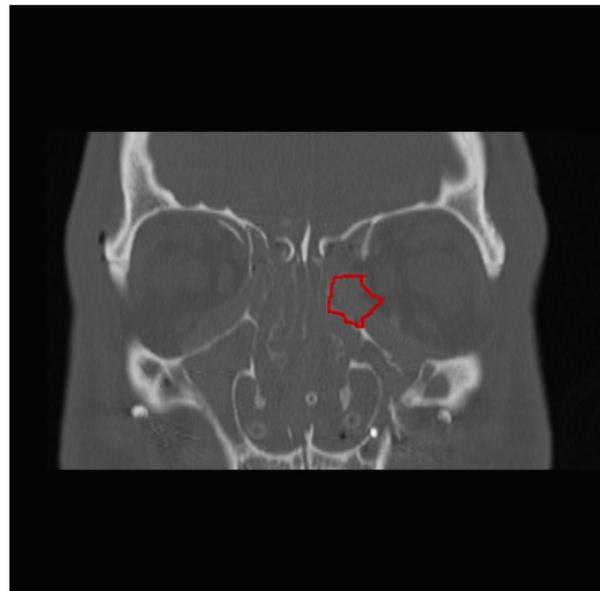


17b: Coronare PDW-Aufnahme der MRT

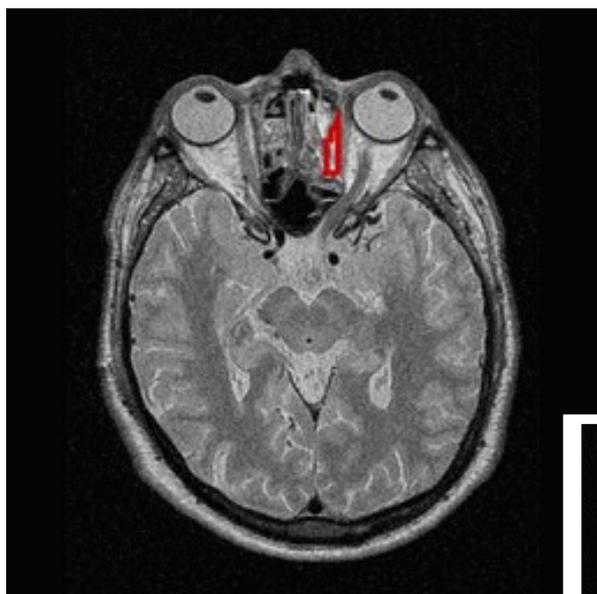
Abb. 17:
Darstellung des Bodenprolaps der rechten Orbita
bei Untersuchungsnummer 12 nach Methode 2



18a: Coronare T2-Wichtung der MRT

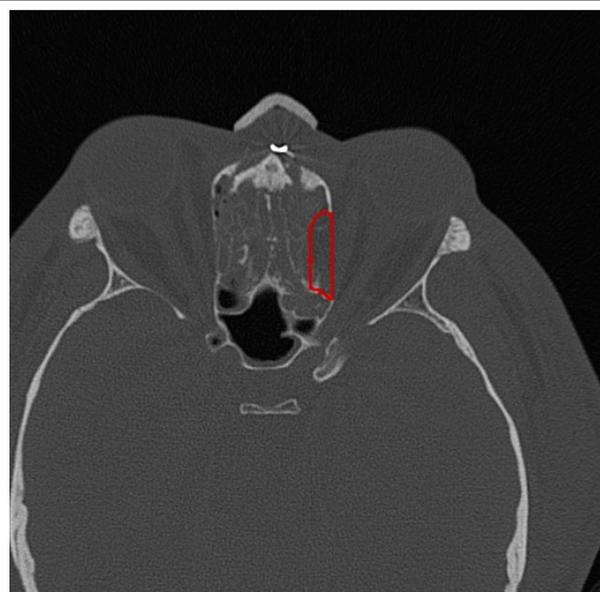


18b: Coronare CT-Aufnahme

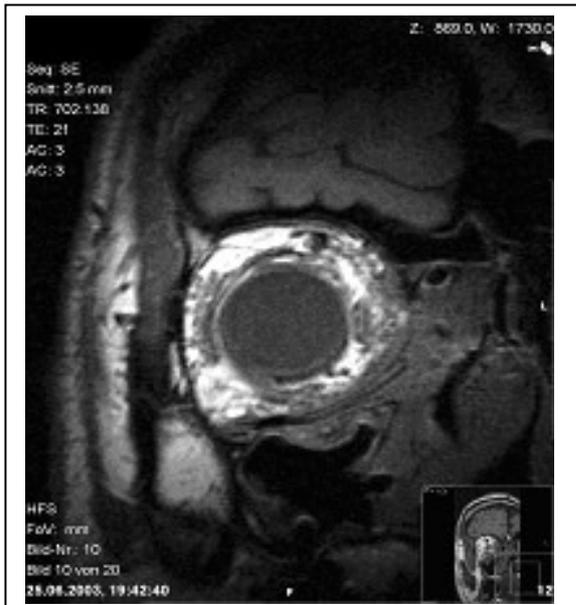


18c: Axiale PDW-Aufnahme der MRT

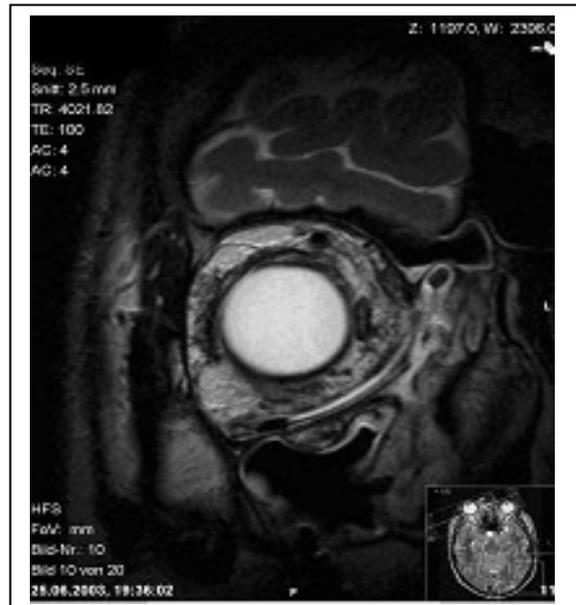
Abb. 18:
Darstellung des Prolaps der
medialen Wand der linken Orbita
bei Untersuchungsnummer 9 nach
Methode 3



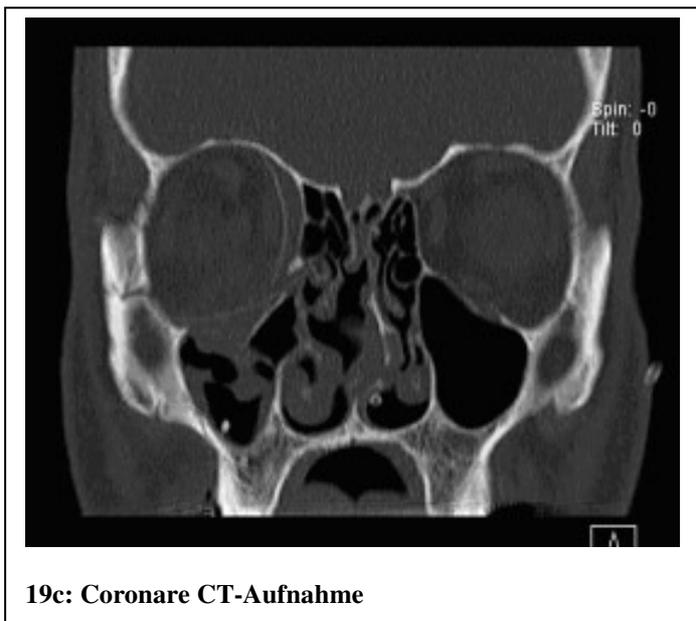
18d: Axiale CT-Aufnahme



19a: Coronare T1-Wichtung der MRT



19b: Coronare T2-Wichtung der MRT



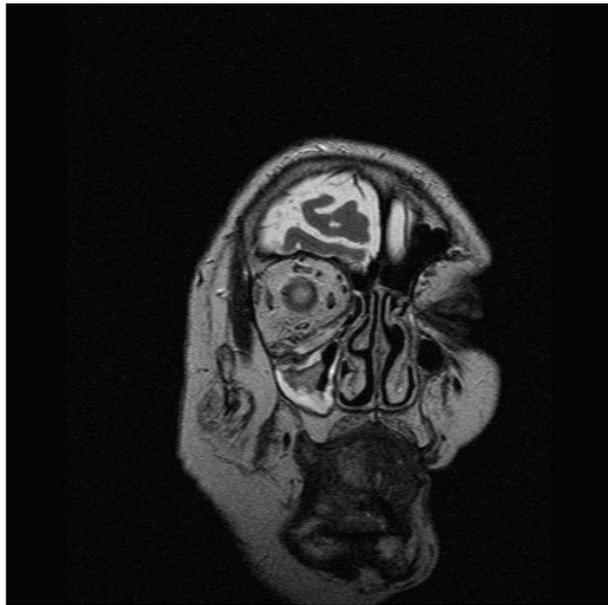
19c: Coronare CT-Aufnahme

**Abb. 19:
Eindeutige Darstellung der
PDS-Folie am Übergang
Boden/mediale Wand der
rechten Orbita bei
Untersuchungsnummer 11b**



20a: Coronare T1-Wichtung der MRT

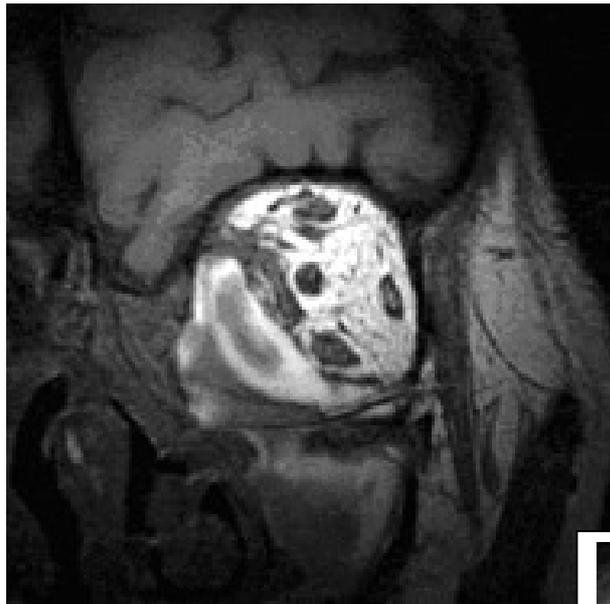
Abb. 20:
Regelrechte Lage der PDS-Folie
am Übergang Boden/mediale
Wand der rechten Orbita bei
Untersuchungsnummer 3



20b: Coronare T2-Wichtung der MRT

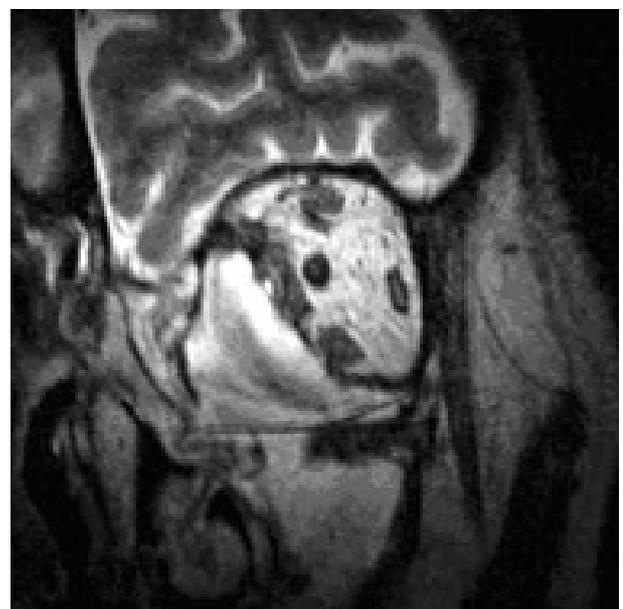


20c: Coronare CT-Aufnahme



21a: Coronare T1-Wichtung der MRT

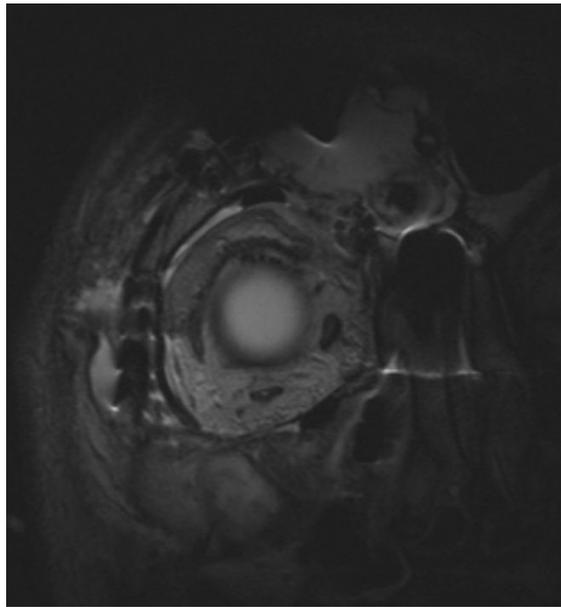
Abb. 21:
Darstellung der PDS-Folie mit
Hämatom unter der Folie im
Orbitaboden- und Wandbereich
der linken Orbita bei
Untersuchungsnummer 6



21b: Coronare T2-Wichtung der MRT

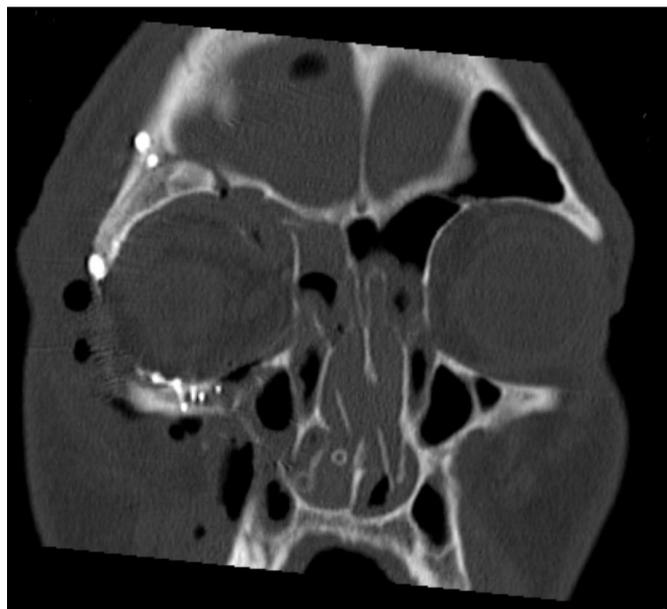


21c: Coronare CT-Aufnahme

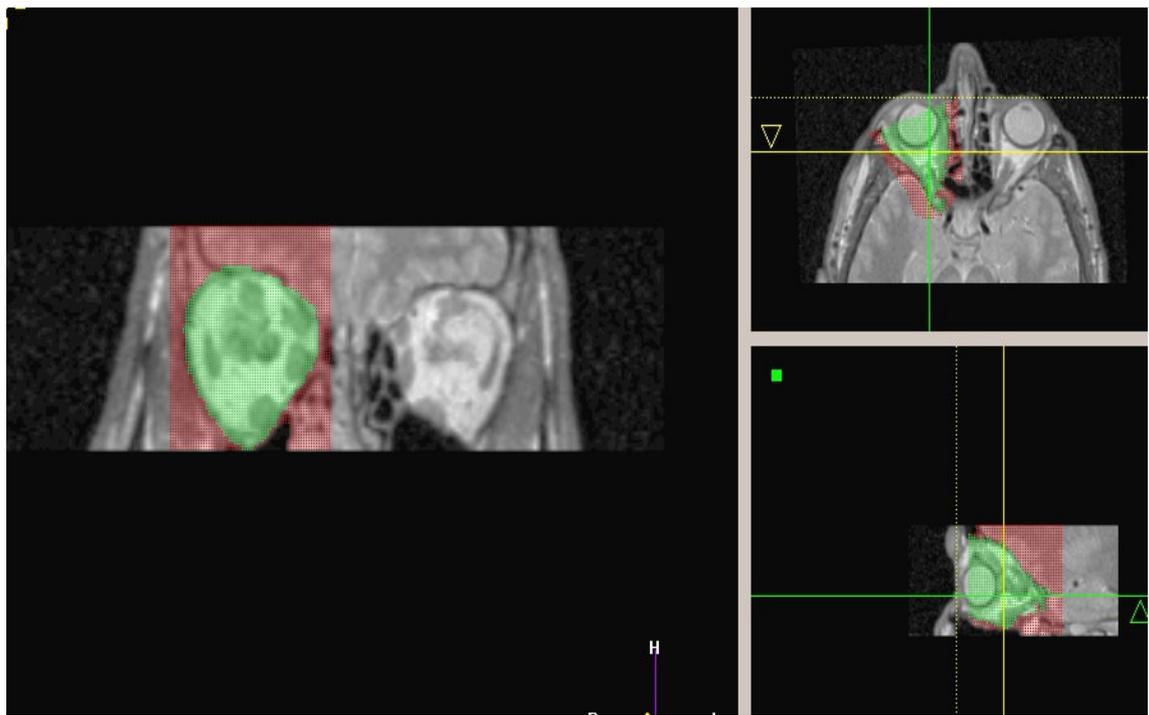


22a: Coronare T2-Wichtung der MRT

Abb. 22:
Metallartefakte in der
MRT und CT bei
Untersuchungsnummer 1

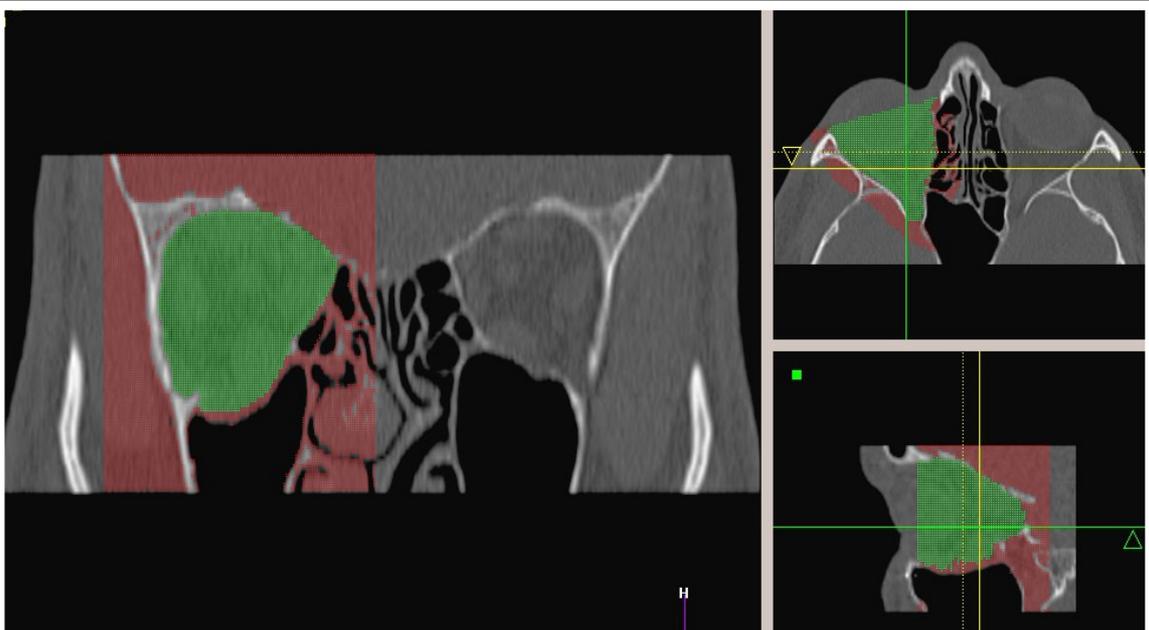


22b: Coronare CT-Aufnahme

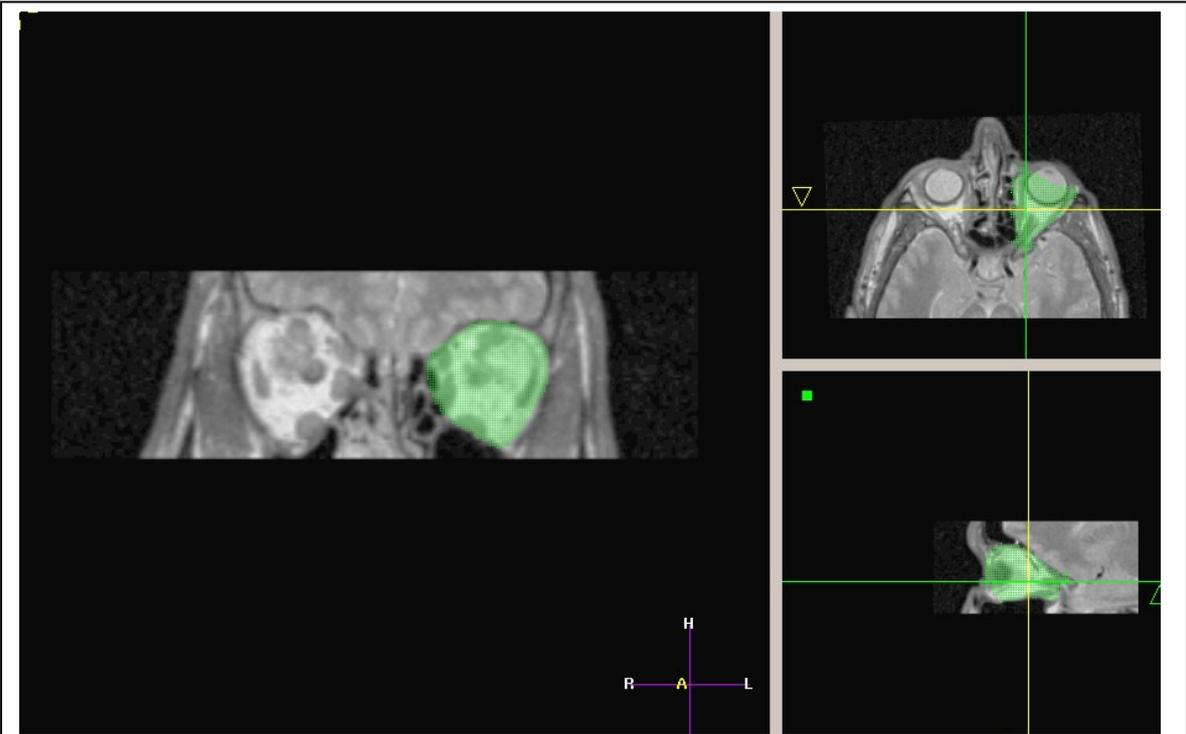


38a: Coronare, axiale und sagittale MRT-Aufnahme: Orbitavolumen rechts

Abb. 38:
 Orbitavolumenbestimmung der frakturierten Seite in der MRT
 und CT in drei Ebenen bei Untersuchungsnummer 10

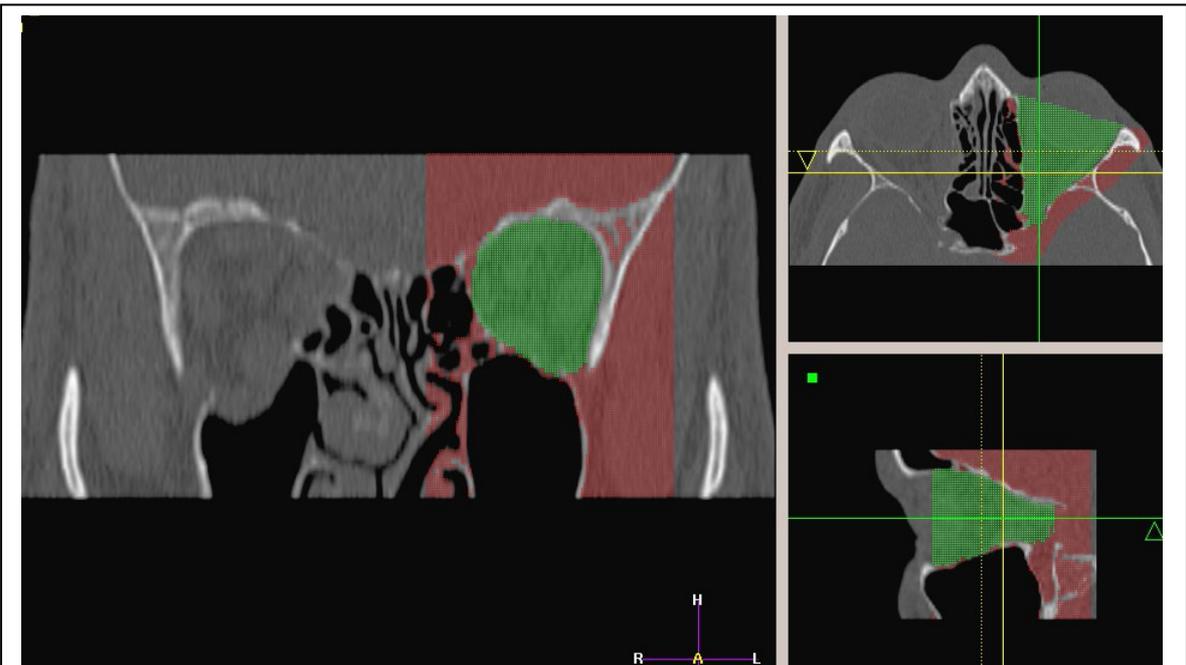


38b: Coronare, axiale und sagittale CT-Aufnahme: Orbitavolumen rechts

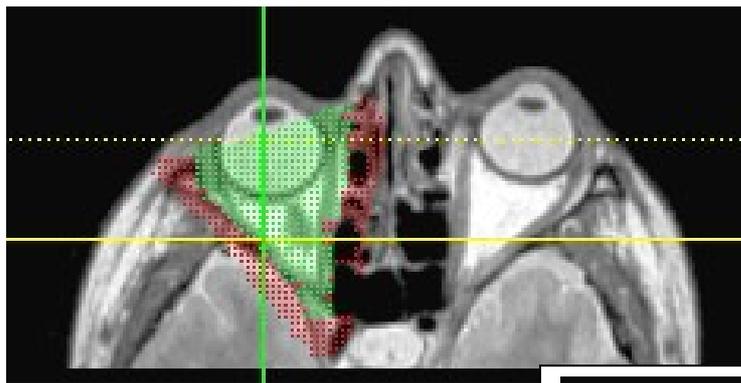


39a: Coronare, axiale und sagittale MRT-Aufnahme: Orbitavolumen links

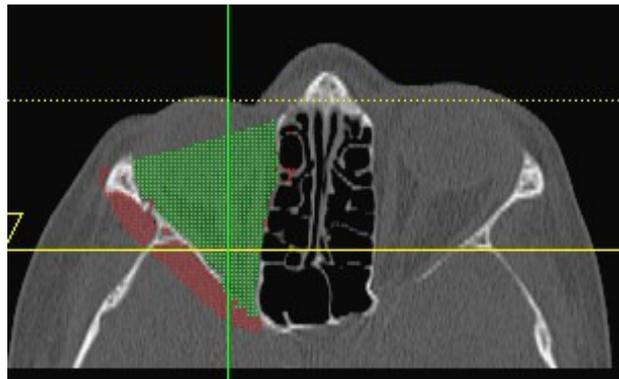
Abb. 39:
Orbitavolumenbestimmung der gesunden Seite in der MRT
und CT in drei Ebenen bei Untersuchungsnummer 10



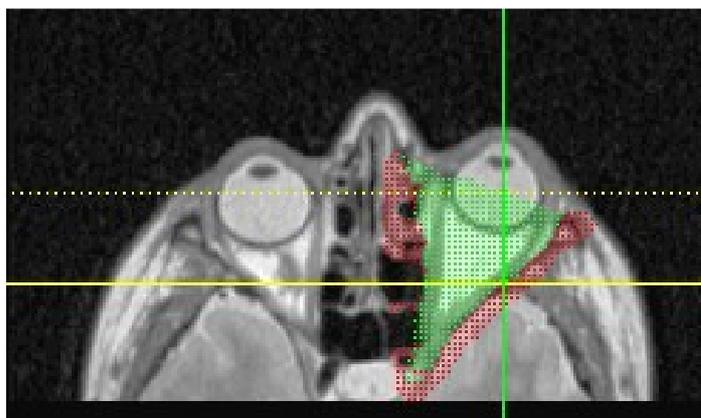
39b: Coronare, axiale und sagittale CT-Aufnahme: Orbitavolumen links



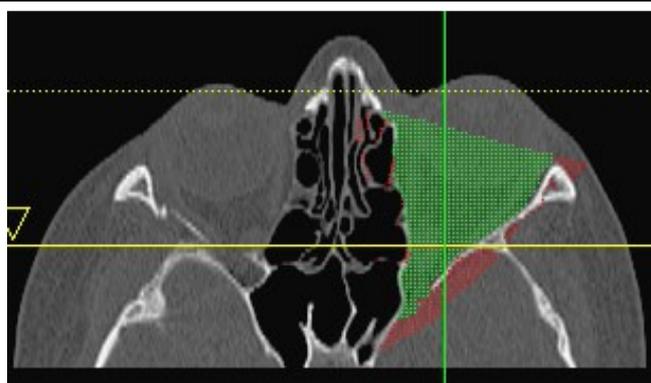
**40a: Axiale PDW-Aufnahme der MRT
Orbitavolumen rechts (frakturierte Seite)**



**40b: Axiale CT-Aufnahme
Orbitavolumen rechts (frakturierte Seite)**

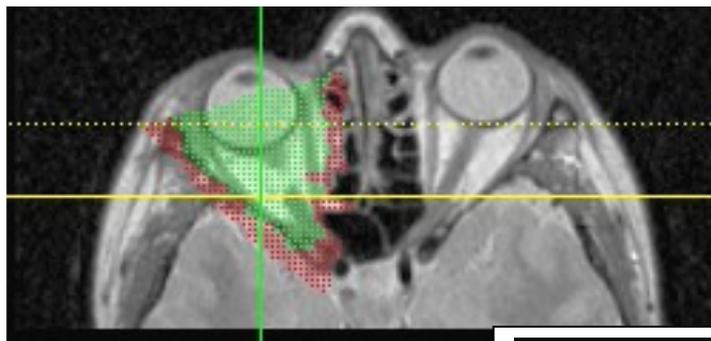


**40c: Axiale PDW-Aufnahme der MRT
Orbitavolumen links (gesunde Seite)**

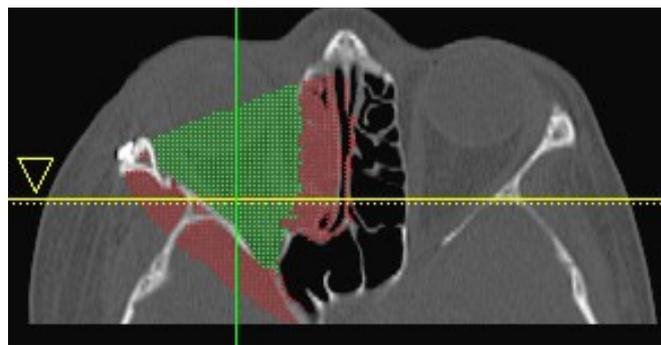


**40d: Axiale CT-Aufnahme
Orbitavolumen links (gesunde Seite)**

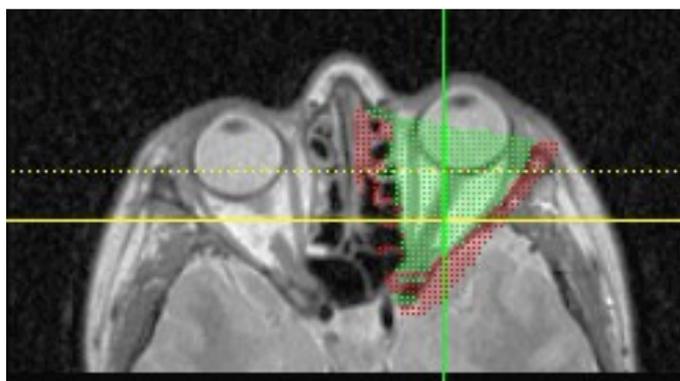
Abb. 40:
Orbitavolumenbestimmung der
frakturierten und gesunden Seite
in der MRT und CT in axialer
Ebene bei Untersuchungsnummer
13a (praeoperativ)



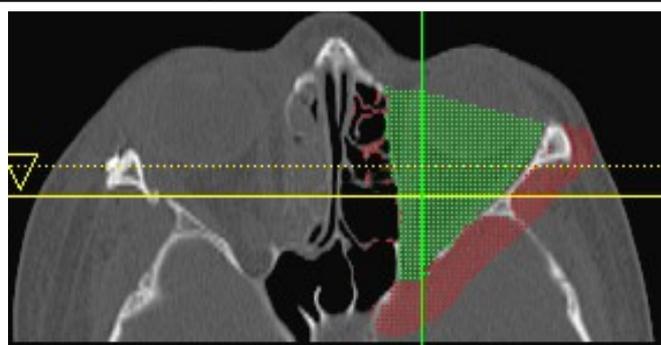
**41a: Axiale PDW-Aufnahme
Orbitavolumen rechts (frakturierte Seite)**



**41b: Axiale CT-Aufnahme
Orbitavolumen rechts (frakturierte Seite)**



**41c: Axiale PDW-Aufnahme
Orbitavolumen links (gesunde Seite)**



**41d: Axiale CT-Aufnahme
Orbitavolumen links (gesunde Seite)**

Abb. 41:
Orbitavolumenbestimmung
der frakturierten und
gesunden Seite in der MRT
und CT in axialer Ebene bei
Untersuchungsnummer 13b
(postoperativ)

9.2 Tabellenanhang

<u>23 PDS-FOLIEN</u>	<u>T1-WICHTUNG</u>	<u>T2-WICHTUNG</u>	<u>T1- + T2-WICHTUNG</u>
<i>Besser darstellbar</i>	9	9	5
<i>Schlechter darstellbar</i>	9	9	5

Tab. 8: Vergleich zwischen T1- und T2-Wichtung der MRT in der Foliendarstellung

<u>U.-nr.</u>	<u>MRT-T1</u>	<u>MRT-T2</u>	<u>CT</u>	<u>MRT + CT</u>
1	1	1	1	Übereinstimmung
2	1	1	1	Übereinstimmung
	1	1	2	Keine Übereinstimmung
3	1	1	1	Übereinstimmung
4	1	1	1	Übereinstimmung
	1	1	1	Übereinstimmung
5	1	1	1	Übereinstimmung
6	1	1	1	Übereinstimmung
	1	1	1	Übereinstimmung
8	1	2	1	Übereinstimmung
	1	1	1	Übereinstimmung
9	2	2	2	Übereinstimmung
	2	2	2	Übereinstimmung
10	2	2	2	Übereinstimmung
11a	1	1	1	Übereinstimmung
11b	1	1	1	Übereinstimmung
12	1	1	2	Keine Übereinstimmung
13b	1	1	1	Übereinstimmung
14	1	2	1	Übereinstimmung
15	1	1	1	Übereinstimmung
	1	1	1	Übereinstimmung
16	2	2	1	Keine Übereinstimmung
17	3	3	2	Keine Übereinstimmung

Tab. 9: Zusammenfassung der einzelnen Foliendarstellbarkeiten

(siehe 3.4.1.3 zur Einteilung der Foliendarstellung)

<u>U.-nr.</u>	<u>Frakturierte Seite</u>	<u>Lage der Folie in der MRT</u>	<u>Lage der Folie in der CT</u>
2	Rechts	3	3
	Links	1	1
4	Rechts	1	1
	Links	1	1
5	Links	2	2
6	Rechts	1	1
8	Rechts	1	1
	Links	1	1
13b	Rechts	1	1
14	Links	1	1
15	Links	1	1
17	Rechts	4	4

Tab. 11: Zusammenfassung aller in der MRT und CT entsprechend befundeter Folienlagen (siehe 3.4.1.4 zur Lage der Folie)

<u>U.-nr.</u>	<u>Frakturierte Seite</u>	<u>Lage der Folie in der MRT</u>	<u>Lage der Folie in der CT</u>
1	Rechts	2	1
3	Rechts	1	2
6	Links	1	2
9	Rechts	4	2
	Links	4	3
10	Rechts	1	2
11a	Rechts	1	2
11b	Rechts	1	2
12	Rechts	2	4
15	Rechts	1	3
16	Rechts	4	1

Tab. 12: Zusammenfassung aller in der MRT und CT unterschiedlich befundeter Folienlagen (siehe 3.4.1.4 zur Lage der Folie)

<u>ORBITAVOLUMINA</u> (in cm ³)	<u>FRAKTURIERT</u>	<u>GEGENSEITE</u>	<u>DIFFERENZ</u>
<u>Mittelwert</u>	31,97	29,47	2,50
<u>Standardabweichung</u>	4,48	4,31	0,17
<u>Median</u>	32,15	29,10	3,05

Tab. 16: MRT-Orbitavolumina des Gesamtkollektivs (n=62)

<u>ORBITAVOLUMINA</u> (in cm ³)	<u>FRAKTURIERT</u>	<u>GEGENSEITE</u>	<u>DIFFERENZ</u>
<u>Mittelwert</u>	28,53	26,43	2,1
<u>Standardabweichung</u>	3,77	3,01	0,76
<u>Median</u>	28,40	26,58	1,82

Tab. 18: CT-Orbitavolumina des Gesamtkollektivs (n=30)

Legende zu Tab. 22:

Frakturlokalisierung:

Boden = Orbitaboden

Wand = Mediale Wand der Orbita

Boden + Wand = Orbitaboden und mediale Wand der Orbita kombiniert

Übergang = Zwischen Orbitaboden und medialer Wand

Enophthalmus:

- 0 – 2 mm, d.h. noch kein Enophthalmus, sondern nur alternierende Bulbusposition (I.)

+ 2 – 3 mm (II.)

++ über 3 mm (III.)

Diplopie:

- Keine Diplopie

+ Bei Blickwendung über 30° (I.)

++ Bei Blickwendung von 0 – 30° (II.)

Motilitätsstörung:

- Keine Motilitätsstörungen (I.)

+ Motilitätsstörungen vorhanden (II.)

Darstellung des Fettgewebeprolaps und Muskelprolaps:

- Keine Darstellung

+ Darstellung möglich

++ Eindeutige Darstellung möglich

Darstellung der PDS-Folie in der MRT und CT:

- Keine Darstellung

+ Darstellung möglich

(+) Darstellung fraglich

++ Eindeutige Darstellung möglich

Tab. 22: Frakturtypen und Frakturlokalisation, ophthalmologische Komplikationen, Darstellung des Prolaps und der Folie in der MRT und CT

<u>U.- NUMMER</u>	<u>FRAKTUR- LOKALISATION</u>	<u>ENOPHTHALMUS</u>	<u>DIPLOPIE</u>	<u>MOTILITÄTS- STÖRUNG</u>	<u>FETTPROLAPS</u>		<u>MUSKELPROLAPS</u>		<u>PDS-FOLIE</u>	
					MRT	CT	MRT	CT	MRT	CT
1	R: Boden + Wand L: Kontrollorbita	++	+	+	++	+	-	-	+	+
2	R: Boden + Wand L: Boden + Wand	-	++	+	-	+	-	-	+	+
3	R: Übergang L: Kontrollorbita	-	++	+	-	+	-	-	+	+
4	R: Boden + Wand L: Boden + Wand	-	+	-	+	-	-	-	+	+
5	R: Kontrollorbita L: Boden	-	-	-	-	-	-	-	+	+
6	R: Übergang L: Boden + Wand	-	++	+	-	-	-	-	+	+
7	R: Boden + Wand L: Kontrollorbita	++	++	+	+	+	-	-	praoperativ	
8	R: Boden + Wand L: Boden + Wand	+	+	-	-	-	-	-	+	+
9	R: Boden + Wand L: Wand	-	-	-	-	-	-	-	(+)	(+)
10	R: Boden + Wand L: Kontrollorbita	+	++	+	++	++	-	-	(+)	(+)
11a	R: Übergang L: Kontrollorbita	++	+	+	+	-	-	-	+	+
11b	R: Übergang L: Kontrollorbita	+	+	+	-	-	-	-	+	+
12	R: Boden L: Kontrollorbita	-	++	+	+	+	-	-	+	(+)
13a	R: Übergang L: Kontrollorbita	++	+	+	+	+	+	+	praoperativ	
13b	R: Übergang L: Kontrollorbita	+	-	+	+	-	-	-	+	+
14	R: Kontrollorbita L: Boden + Wand	+	++	+	+	-	-	-	+	+
15	R: Boden + Wand L: Boden + Wand	++	++	-	-	+	-	-	+	+
16	R: Kontrollorbita L: Boden + Wand	-	-	-	-	-	-	-	(+)	+
17	R: Boden L: Kontrollorbita	-	++	+	-	-	-	-	-	(+)
18	R: Boden L: Kontrollorbita	-	-	-	-	-	-	-	konservativ	

Tab. 23: MRT- und CT-Volumendaten in cm³ eines jeden einzelnen Patienten im Überblick

<u>U.- NUMMER</u>	<u>FRAKTURIERTE SEITE</u>	<u>MRT- RECHTE ORBITA</u>	<u>MRT- LINKE ORBITA</u>	<u>CT- RECHTE ORBITA</u>	<u>CT- LINKE ORBITA</u>	<u>MRT- DIFFERENZ</u>	<u>CT- DIFFERENZ</u>
1	Rechts	40,1	31,8	38,6	31,1	8,3	7,5
2	Beidseits	39,8	37,4	36,6	31,9	2,4	4,7
3	Rechts	32,4	31,3	27,9	27,4	1,1	0,5
4	Beidseits	28,25	25,6	25	25	2,65	0
5	Links	25,7	28,4	23	24,5	2,7	1,5
6	Beidseits	30,3	32,7	26,4	27,2	2,4	0,8
7	Rechts	40,7	31,2	41,2	26,4	9,5	14,8
8	Beidseits	38,8	34,9	31	28,9	3,9	2,1
9	Beidseits	27,95	27,8	25,4	25,6	0,15	0,2
10	Rechts	34,8	29,1	29,5	25,9	5,7	3,6
11a	Rechts	38	36,5	32,1	31,8	1,5	0,3
11b	Rechts	39,4	36,3	28,9	29,7	3,1	0,8
12	Rechts	25,8	25,7	26,2	22,7	0,1	3,5
13a	Rechts	32,4	27,5	26,7	23,7	4,9	3,0
13b	Rechts	28,5	27,2	23,2	23,5	1,3	0,3
14	Links	28,1	30,4	26,5	27,3	2,3	0,8
15	Beidseits	35,6	30	29,6	29,1	5,6	0,5
16	Links	36,7	39,5	32,1	34,9	2,8	2,8
17	Rechts	27,1	29	29,1	27,3	1,9	1,8
18	Rechts	24,9	25,4	23,7	23,6	0,5	0,1

9.3 Sonstige Befunde

Bei verschiedenen Patienten konnten noch weitere verschiedene Befunde in der MRT und/oder CT erhoben werden, die für die bisherigen Ergebnisse keine Rolle spielen.

Untersuchungsnummer 5 zeigte einen destruierten Bulbus links.

Untersuchungsnummer 8 wies ein kleines Hämatom supraorbital auf.

Untersuchungsnummer 10 zeigte eine umschriebene Signalanhebung in der T2-Wichtung der MRT in beiden Crus cerebri.

Untersuchungsnummer 11 zeigte ein Hypophysenadenom und eine Septumverschiebung der Nase.

Untersuchungsnummer 17 hatte zusätzlich zur Orbitabodenfraktur eine Orbitadachfraktur sowie eine Kalottenfraktur.

Untersuchungsnummer 18 wies eine Bulbusruptur rechts auf.

10 Danksagung

Mein besonderer Dank gilt dem früheren Direktor der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie der Technischen Universität München, Herrn Univ.-Prof. Dr. Dr. Dr. h.c. H.-H. Horch, für die Möglichkeit zur Durchführung dieser Arbeit.

Auch danke ich dem neuen Direktor der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie der Technischen Universität München, Herrn Univ.-Prof. Dr. Dr. K.-D. Wolff, für die Gelegenheit, diese Arbeit unter seiner Klinikleitung abzuschließen.

Zu Dank verpflichtet bin ich ebenso dem Direktor des Institutes für Röntgendiagnostik der Technischen Universität München, Herrn Univ.-Prof. Dr. E. J. Rummeny, für die Möglichkeit der Anfertigung und Bearbeitung der MRT- und CT-Aufnahmen an seinem Institut.

Herzlichen Dank richte ich besonders an Herrn Priv.-Doz. Dr. Dr. A. Kolk für die Überlassung des Themas sowie für die unermüdliche Betreuung und die vielen Stunden des Erhebens und Befundens von Patientendaten im Rahmen dieser Arbeit.

Für die radiologische Betreuung und Beantwortung sämtlicher Fragen bezüglich der MRT- und CT-Diagnostik der Orbita danke ich Herrn Dr. med. E. Wiener.

Für Erstellung und Etablierung der Segmentationsmethode, die einige Zeit und Nerven gekostet hat, bin ich Herrn Dipl.-Phys. M. Settles zu großem Dank verpflichtet.

Für die gute Zusammenarbeit und Arbeitsteilung bei einem gemeinsamen Patientenpool für diese Dissertation danke ich besonders Frau E. Ventrella.

Meiner Familie, insbesondere meinem Großvater, danke ich für ihr stetes Interesse am Werdegang meiner Dissertation.

Herrn T. Herold möchte ich meinen Dank für seine Hilfe bei sämtlichen Computerproblemen und die dafür oft benötigte Geduld aussprechen.

Zuletzt sei den Patienten gedankt, die in dieser Studie erfasst wurden, sowie allen anderen Personen, die bei der Entstehung dieser Arbeit mitgewirkt haben.

LEBENS LAUF

PERSÖNLICHE DATEN

Name: Verena Maria Theresia Schott
Geburtsdatum: 11. September 1979
Geburtsort: Starnberg
Nationalität: Deutsch
Familienstand: Ledig

AUSBILDUNG

1986 – 1990: Carl-Orff-Volksschule Andechs
1990 – 1999: Gymnasium Tutzing - Abitur
Seit 1999: Studium der Humanmedizin an der TUM
2002: I. Staatsexamen
2004: II. Staatsexamen
2005 – 2006: Praktisches Jahr
24.04.2006: III. Staatsexamen
11.05.2006: Approbation als Ärztin

VORTRÄGE

Schott V., Kolk A., Wiener E., Ventrella E., Neff A., Settles M., Rummeny E.J.
Vergleich der hochauflösenden MRT mit dem 16 Zeilen-MSCT zur postoperativen
Kontrolle symptomatischer Patienten nach Orbitawandrekonstruktionen.
Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der bildgebenden Verfahren
(RöFo), Band 177, April 2005, S. 253, VO 4084

BERUFLICHER WERDEGANG

Seit August 2006 Assistenzärztin in der Inneren Abteilung im Krankenhaus
Landshut-Achdorf

München, 26. November 2007