

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

**Einsatz der MRT in der Diagnostik postoperativer Komplikationen
nach Orbitawandfrakturen**

Esther Ventrella

**Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Medizin der Technischen
Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines Dok-
tors der Medizin genehmigten Dissertation**

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

Prüfer der Dissertation: 1. Priv.-Doz. Dr. Dr. A. Kolk

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

Die Dissertation wurde am 19.02.2008 bei der Technischen Universität München ein-
gereicht und durch die Fakultät der Medizin am 17.12.2008 angenommen.

Mum und Dad

Gliederung		Seite
1	Einführung und Zielsetzung	5
2	Anatomie und Traumatologie der Orbita	8
2.1	Anatomie der Orbita	8
2.2	Traumatologie der Orbita	9
2.2.1	Häufigkeit von Orbitawandfrakturen	11
2.2.2	Frakturmechanismen	11
2.2.3	Funktionelle Folgen einer Orbitawandfraktur	14
3	Chirurgische Rekonstruktionen	17
3.1	Operationsindikationen und Zielsetzung	17
3.2	Schnittführung und Technik der Versorgung von Orbitabodenfrakturen an der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie an der TU München (infraorbitaler Zugang)	18
3.3	Schnittführung und Technik der Versorgung medialer Orbitawandfrakturen an der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie an der TU München (kombinierter supraorbitaler, paranasaler und infraorbitaler Zugang)	19
3.4	Alloplastische Materialien zur Orbitawandrekonstruktion	20
3.4.1	PDS-Folie (Höltje, 1983, Merten et al. 1994, Hidding et al. 1991, Merten et al. 1999)	20
3.4.2	Hydroxylappartitkeramik (Osborne und Spannakis 1991)	21
3.5	Postoperative Komplikationen	22
4	Studiendesign und Methodik	24
4.1	Studiendesign	24
4.2	Ophthalmologische Untersuchungsverfahren	26
4.3	Technische Daten des MRT	28
4.3.1	Technische Daten der Kopfspule des 1,5 Tesla MRT	28
4.3.2	Technische Daten der Mikropule des 1,5 Tesla MRT	30
4.4	Auswertung der MRT-Aufnahmen	31
4.4.1	Auswahl der Wichtung	31
4.4.2	Foliendarstellung und Lage der Folie	33
4.4.3	Orbitavolumenbestimmung	35
4.4.4	Volumenmessung des Bulbus	41
4.4.5	Prolapse von Orbitainhalt und deren Volumenbestimmung	43
4.4.6	Sonstige Pathologien	45
4.5	Statistische Auswertung	46
4.6	Patientenkollektiv	47
4.6.1	Patientenkollektiv I	47
4.6.2	Patientenkollektiv II	48
5	Ergebnisse und Diskussion	50
5.1	Foliendarstellung und Lage der Folie	50

5.2	Orbitavolumen.....	54
5.3	Bulbusvolumen.....	55
5.4	Prolapsvolumen.....	56
5.5	Zusammenhang zwischen Prolapsvolumen, Orbitavolumenzunahme und Enophthalmus.....	61
5.6	Zusammenhang zwischen Frakturlokalisierung und Enophthalmus.....	66
5.7	Darstellung anderer Pathologien.....	66
5.7.1	Motilitätseinschränkung.....	67
5.7.2	Bewegungsartefakte.....	67
5.7.3	Metallostensynthesen.....	67
5.7.4	Verschattungen der Nasenneben-, Kiefer- und Stirnhöhlen.....	68
5.7.5	Signalveränderungen.....	69
5.7.6	Doppelbilder.....	69
5.8	Qualität der Darstellung in der MRT.....	69
5.8.1	Frakturdarstellung.....	70
5.8.2	Darstellung des Weichteilgewebes.....	70
5.8.3	Darstellung der knöchernen Orbita.....	71
5.8.4	Verwendete Schichtung und Wichtung.....	72
6	Zusammenfassung.....	73
7	Literaturverzeichnis.....	76
8	Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen.....	83
8.1	Verzeichnis der Abbildungen.....	83
8.2	Verzeichnis der Tabellen.....	84
9	Danksagung.....	85

1 Einführung und Zielsetzung

1957 führten Smith und Regan den Terminus „blow-out fracture“ ein. Sie beschrieben einen bestimmten Frakturtyp des Orbitabodens, ohne Bruch des Orbitarandes, und mit Einklemmung von mindestens einer Struktur des Orbitainhalts. Hierbei kommt es zu eingeschränkter Augenbeweglichkeit und infolgedessen zu Doppelbildwahrnehmung und einem Enophthalmus.

Sie waren davon überzeugt, dass eine frühe Korrektur des Enophthalmus notwendig sei, um Spätfolgen vorzubeugen (Smith et al., 1957) (Converse et al., 1957 und 1978).

Auch heutzutage überwiegt die Meinung, dass eine frühe operative Korrektur mögliche Folgeschäden reduzieren kann. Deshalb wird routinemäßig bei Verdacht auf Orbitawandfrakturen eine Computertomographie durchgeführt. Als Folge dieser Maßnahme ist die Anzahl der diagnostizierten Frakturen stark gestiegen (Manfre et al., 1993) (Burm et al., 1999) (Ramieri et al., 2000).

Wegen der fast papierdünnen anatomischen Struktur der knöchernen Orbita brechen am häufigsten der Boden und die mediale Wand (Burm et al., 1999) (Fan et al., 2003), die im Regelfall operativ versorgt werden. Hierbei wird unter Beibehaltung des Orbitavolumens periorbitales Fett- und Muskelgewebe reduziert und die korrekte Orbitaform durch alloplastische Materialien wiederhergestellt (Mathog, 2000) (Baumann et al., 2002) (Jank et al., 2003a) (Potter and Ellis. III, 2004).

Posttraumatische orbitale und periorbitale Ödeme maskieren oft die Symptome von Orbitaverletzungen und führen somit zu unvollständigen Diagnosen und unzureichenden Therapien (Jin et al., 2000) (Ploder et al., 2002a) (Mazock et al., 2004). Die operative Nachkorrektur eines sich beispielsweise postoperativ entwickelnden Enophthalmus ist allerdings sehr schwierig und oft nicht zufrieden stellend behandelbar (Ramieri et al., 2000) (Fan et al., 2003). Die Korrektur stellt eine große Herausforderung dar (Manson et al., 1986b) (Raskin et al., 1998) (Gellrich et al., 2002), die weitere bildgebende Diagnostik erfordert.

Der postoperative Enophthalmus gilt als eine der schwerwiegendsten Komplikationen nach Rekonstruktion einer ausgedehnten Orbitawandfraktur.

Vor Planung einer potentiell erforderlichen Sekundärkorrektur ist in der Regel die 3-D Darstellung der Orbita zur Abklärung der Ursache erforderlich, die in der Regel in einer erheblichen Volumenzunahme der Orbita im Seitenvergleich liegt.

Bis vor kurzer Zeit galt folgende Meinung bezüglich der postoperativen Kontrolle:

- „Ein direkter koronarer und axillarer CT-Scan ist das Standardverfahren der Bildgebung bei Orbita-Traumen“ (Charteris et al., 1993) (Sandler et al., 1999).
- “Außer dem Gebrauch des CT-Scans gibt es zurzeit keine erreichbare Methode, um Größe und Lokalisation von blow-out Frakturen zu bestimmen“(Mathog, 2000).

Aufgrund dieser (damals gültigen) Auffassung und der geringen Aussagekraft der CT-Aufnahmen wurde früher oft unnötig operiert. (Kolk et al, 2005). Bislang ist das MSCT immer noch Mittel der Wahl für die Diagnostik bei der Entscheidungsfindung für eine mögliche Intervention (Kontio et al., 2001) (Imhof et al., 2003) (Lemke et al., 2001).

Jedoch geht das CT mit einer erheblichen Strahlenbelastung des Kopfes und der Augenlinse, insbesondere bei wiederholten Messungen, einher (Dammann et al., 2000) (Zammit-Maempel et al., 2003). Zusätzlich kommt es aufgrund mangelnder Weichteildifferenzierung oft zu unbefriedigenden Ergebnissen (Zhan et al., 1995) (Kontio et al., 2001). Es besteht außerdem eine limitierte Darstellung alloplastischer Materialien und eine erhöhte Anzahl von durch Osteosynthesematerial bedingten Artefakten.

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 Strahlenbelastung (Hell et al., 1990) (Williams et al., 1995) (Zhan et al., 1995).

Das pd-gewichtete MRT mit der Oberflächenspule bietet hier eine viel versprechende Alternative für die 3-dimensionale Volumenbestimmung.

Zu Beginn dieser Studie war es primäres Ziel, die Möglichkeiten der MRT zur Planung einer Revisionsoperation aufzuzeigen.

Hierzu sollten postoperative Komplikationen mit Hilfe der MRT dargestellt werden, sowie anhand einer Volumenmessung die Orbitavolumina von gesunden und frakturierten Orbitae miteinander verglichen und ein möglicher Zusammenhang zwischen Muskel- bzw. Fettgewebeprolapsen und Volumenänderungen (z.B. Enophthalmus) nachgewiesen werden

Folgende Sachverhalte waren genauer zu untersuchen:

- eine postoperative Lagekontrolle der PDS-Folie
- Orbitavolumenbestimmung

- Bulbusvolumenbestimmung
- Prolapsdarstellung und Aufzeigen eines möglichen Zusammenhanges von Orbitavolumenzunahme und Enophthalmus
- Darstellung anderer Pathologien

Als sich zu einem fortgeschrittenen Stand der Studie noch die Möglichkeit bot, zusätzlich zur Kopfspule eine 47mm Mikrospule einzusetzen, wurde auch diese in die Studie mit einbezogen. Des Weiteren sollten in Teilbereichen beide MRT-Aufnahmeverfahren miteinander verglichen werden.

Es sollte durch diese Arbeit gezeigt werden, welche Möglichkeiten die MRT für eine postoperative Kontrolle bei Komplikationen nach Orbitawandfrakturen bietet um beurteilen zu können, ob die MRT als standardisiertes Untersuchungsverfahren ohne zusätzlichen Einsatz einer die Linse schädigenden CT-Aufnahme angewandt werden kann.

2 Anatomie und Traumatologie der Orbita

2.1 Anatomie der Orbita

Die Orbita kann mit einer vierseitigen Pyramide verglichen werden, die nach hinten spitz zuläuft. Der Eingang der Orbita wird Aditus orbitalis genannt (K.J. Moll, Anatomie 1997, S.612).

Die Wände der Orbita werden aus insgesamt sieben Knochen gebildet:

Dach: Os frontale (= Stirnbein) und Ala minor des Os sphenoidale (= Keilbein)

Laterale Wand: Os zygomaticum und Ala major des Os sphenoidale

Mediale Wand: Os lacrimale (=Tränenbein) und Os ethmoidale (=Siebbein)

Boden: Maxilla (=Oberkiefer), Os zygomaticum (= Jochbein) und Os palatinum (=Gaumenbein)

Die Orbita nimmt mit ihrer annähernd trichterförmigen Form den Augensbulbus und die periorbitalen Weichteile auf.

Die mediale Wand der Orbita ist papierdünn. In diesem Bereich können von den Cellulae ethmoidales Entzündungen auf die Orbita übergreifen. (K.J. Moll, Anatomie 1997, S.612)

Durch diese anatomischen Gegebenheiten besitzt die Orbita im anterioren Bereich einen stabilen Rahmen, wogegen sie an den medialen und kaudalen Wänden leichter frakturiert.

Infraorbital wird der orbitale Ring durch das Foramen infraorbitale und nach medial zur Nase durch den Ductus nasolacrimalis unterbrochen. Unter dem orbitalen Periost, der Periorbita, mit der die Augenhöhle ausgekleidet ist, verlaufen Nerven und Gefäße, die für die Funktion und die Beweglichkeit des Auges von Bedeutung sind (Joos, 1996, S. 32).

Abb. 1 zeigt eine Darstellung der knöchernen Orbita aus dem Sobotta-Atlas der Anatomie des Menschen (Putz and Pabst, 2000)

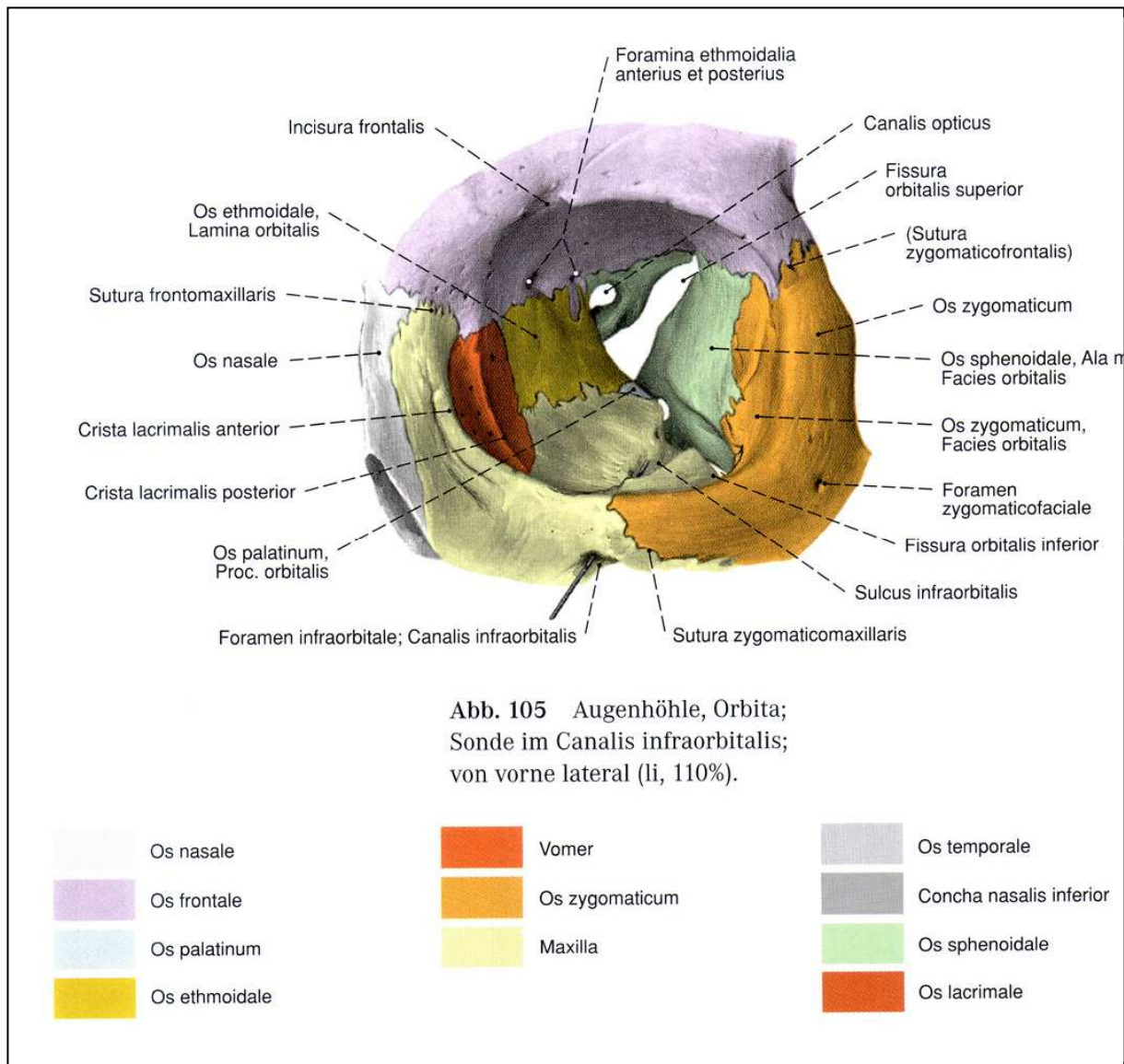


Abb. 1: Anatomie der Orbita (von vorne lateral (links))

2.2 Traumatologie der Orbita

Bei Auto- und Sportunfällen, sowie auch bei Körperverletzungen mit Schlägen ins Gesicht kann es oft zu einer Schädigung der knöchernen Orbita mit Frakturen von Orbitaböden und medialer Orbitawand kommen. Solche Traumata, z.B. die typische Blow-out-Fraktur, führen in der Regel eher zu Berstungsfrakturen der knöchernen Wände, als zu Verletzungen des Bul-

bus selbst. Medial grenzen an die Orbita die Ethmoidalzellen, kaudal die Hohlräume der Kieferhöhlen und kranial die der Stirnhöhlen an.

In Abb. 2 wird der Mechanismus gezeigt, der zur Entstehung einer Orbitabodenfraktur führt (Pschyrembel).

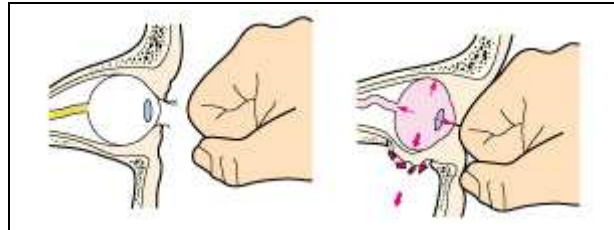


Abb. 2: Blow-out-Fraktur: Frakturmechanismus

So können schwere Verletzungen der medial liegenden Lamina papyracea dorsal zu Verletzungen des Nervus opticus führen (Joos, 1996, S. 32), während im anterioren Bereich der Ductus nasolacrimalis mit betroffen sein kann. Der Nervus trochlearis und der Nervus oculomotorius können bei Orbitadachfrakturen betroffen sein, was zum Ausfall der Augenmuskulatur und des Augensphincters führen kann.

Bei Frakturen der medialen und kranialen Orbitawand kann die Frontobasis eröffnet werden. Dies kann eine Liquorrhoe nach sich ziehen. Ursächlich hierfür ist die in diesem Bereich fest anhaftende Dura mater, die leicht einreißt (Joos, 1996, S. 32).

Abb. 3 stellt eine Orbitabodenfraktur in verschiedenen Wichtungen dar, wie sie im Rahmen dieser Arbeit Verwendung finden.

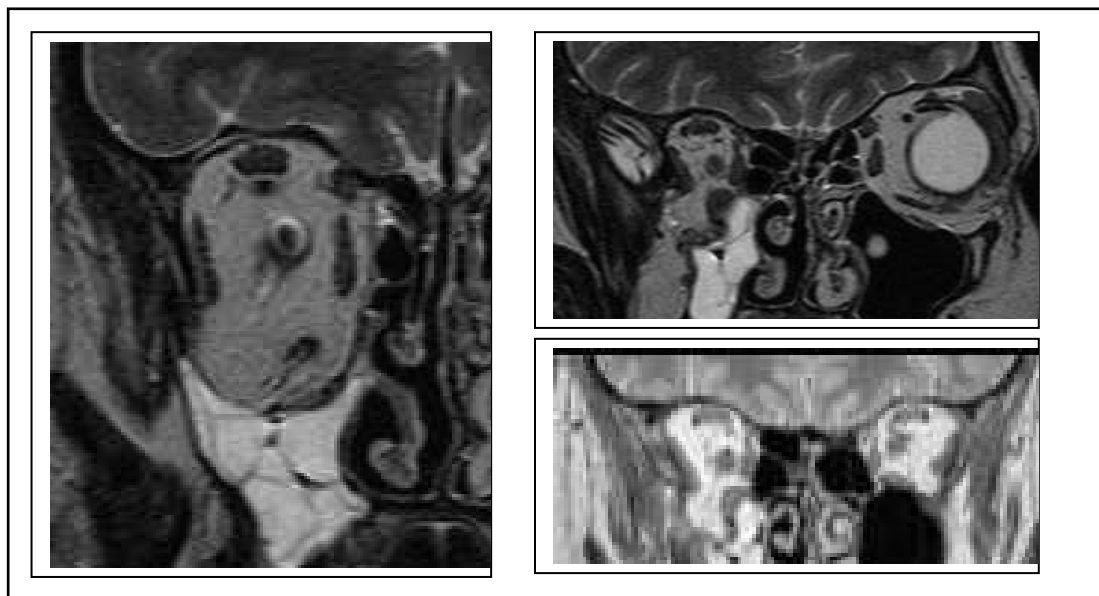


Abb. 3: Praeoperative MRT-Aufnahmen einer Orbitabodenfraktur –

Links: Koronare T2-Wichtung-Ausschnitt

Rechts oben: Koronare T2-Wichtung-Überblick

Rechts unten: Koronare PD-Wichtung-Überblick

Im Folgenden soll auf die Häufigkeit und die Entstehungsmechanismen dieser Frakturen eingegangen werden.

2.2.1 Häufigkeit von Orbitawandfrakturen

Orbitafrakturen werden bei mehr als 40 % aller maxillaren Gesichtsverletzungen beobachtet und repräsentieren daher eine der häufigsten Frakturen des Mittelgesichts (Ellis, III et al., 1985) (Ramieri et al., 2000). Im Rahmen von lateralen und zentrolateralen Mittelgesichtsfrakturen kommt es gehäuft zur Mitbeteiligung der Orbita (H.-H.Horch, 1990). Sie können jedoch auch als isolierte Frakturen der einzelnen Orbitawände auftreten (H.-H.Horch, 1990) (Chan et al., 2000) (Baumann et al., 2002). Nach Joos treten 89,5% der Orbitafrakturen bei Verletzungen des zentralen, lateralen und zentrolateralen Mittelgesichts auf (Joos, 1996).

Die häufigsten Mittelgesichtsfrakturen werden durch Verkehrs- und Arbeitsunfälle sowie durch Rohheitsdelikte mit Schlägen in das Gesicht verursacht. Seltener geschieht dies durch einen Sturz oder Fall (Schettler, 1991) (Reich and Otte, 1991) (Richter, 1992).

Allerdings belegen neuere statistische Erhebungen die steigende Bedeutung von Freizeit- und Sportunfällen bei Mittelgesichtsfrakturen (H.-H.Horch, 1990).

Mit 45–49% stellen laterale Mittelgesichtsfrakturen die größte Gruppe aller Mittelgesichtsfrakturen dar. Hierfür sind zu 40% Verkehrsunfälle, zu 20% Sportunfälle und zu jeweils 10% Rohheitsdelikte, Arbeitsunfälle und Stürze ursächlich (H.-H.Horch, 1990).

2.2.2 Frakturmechanismen

Außer den Orbitafrakturen im Rahmen von Mittelgesichtsfrakturen gibt es auch isolierte Frakturen der Orbitawand, bei denen der ringförmige anteriore Orbitarand intakt bleibt. Abhängig davon, ob sich Frakturfragmente aus der Orbita heraus oder in die Orbita hinein verlegen, spricht man von einer Blow-out-Fraktur bzw. Blow-in-Fraktur (H.-H.Horch, 1990) (Schobel et al., 1990) (Howaldt and Neubert, 1990) (Manfre et al., 1993).

Seit Ende des vergangenen Jahrhunderts kennt man zwei Theorien zum Entstehungsmechanismus der isolierten Orbitawandfrakturen:

- Theorie der Knochentransmission (buckling theory)

- Theorie der intraorbitalen Drucksteigerung (hydraulic force mechanism) (Austermann, 1979) (H.-H.Horch, 1990) (Richter, 1992) (Waterhouse et al., 1999).

Abb. 4 zeigt eine bildliche Darstellung der beiden Entstehungsmechanismen der Orbitafraktur (Waterhouse et al., 1999).

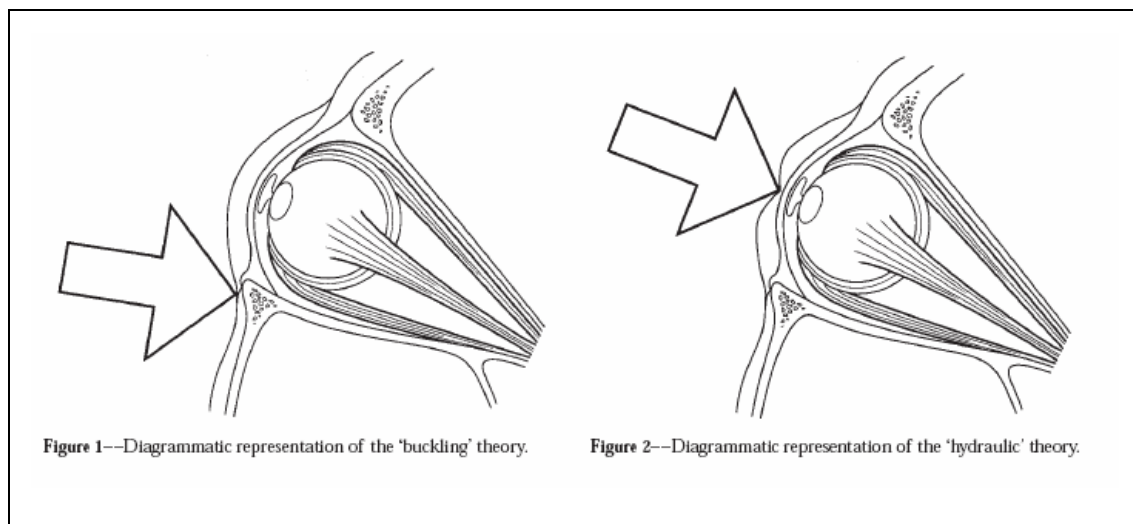


Abb. 4: Entstehungsmechanismen der Orbitafraktur (linke Seite/buckling theory – rechte Seite/hydraulic force mechanism)

Fuchs und Le Fort vermuteten als Erste, dass eine auf die stabilen Knochenstrukturen des Orbitarandes einwirkende Kraft sich auf die dünnste Orbitawand fortleitet und dort zu einem isolierten Bruch führt (Fuchs, 1893) (Le Fort, 1901).

Walser äußerte als Erster die Annahme, dass eine plötzliche intraorbitale Drucksteigerung, durch ein stumpfes Trauma auf den Bulbus hervorgerufen, einen isolierten Bruch der Orbitawände verursachen kann (Walser, 1897). Später schloss sich Pfeiffer dieser Vermutung an (Pfeiffer, 1943).

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 (Converse and Smith, 1957) (Smith and Reagan, 1957). „Blow-out“ bedeutete in diesem Zusammenhang „Platzen bei Überdruck“ (Kriens, 1980) (Kreusch et al., 1990).

Dennoch wurde die Theorie der Knochentransmission nicht fallen gelassen und durch Arbeiten von Fujino sowie Austermann erneut belegt (Fujino, 1974) (Austermann, 1979).

Deren Argumente gegen die intraorbitale Drucksteigerung als Ursache einer Orbitawandfraktur stützten sich auf klinische Beobachtungen, die mit der oben genannten Form der Bruch-

entstehung 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).

Waterhouse et al. lieferten 1999 neue Erkenntnisse. Sie hatten beide Theorien an Orbitae von Leichen untersucht. Dabei stellte sich heraus, dass ausschließlich kleine Orbitabodenfrakturen im anterioren und medialen Bereich durch Knochentransmission entstanden waren. Ein Pro-laps 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 und auch zu gehäufte Pro-lapsentstehung (Waterhouse et al., 1999).

Orbitafrakturen werden nach Kriens folgendermaßen eingeteilt (Kriens, 1982, S. 46):

Gruppe 1: Bei Gewalteinwirkung von vorne:

Typ 1: Isolierte Orbitabodenfraktur

Typ 2: Fraktur des mittleren Anteils der Lamina orbitalis

Typ 3: Fraktur des hinteren Teils der Lamina orbitalis

Gruppe 2: Bei Gewalteinwirkung von seitwärts:

Typ 4: Isolierte Frakturen der Lamina orbitalis und lacrimo-ethmoidale Frakturen

Gruppe 3: Orbitadachplatzfrakturen

Gruppe 4: Frakturen der seitlichen Orbitawand

In mehr als 40% aller Kiefer- und Gesichtsverletzungen werden Orbitawandfrakturen beobachtet. Sie stellen deshalb die häufigsten Frakturen des Mittelgesichts dar (Ellis et al., 1985) (Jank et al., 2003).

Seit der Einführung der Computertomographie (CT) zur Routinedarstellung der knöchernen Orbita ist die Anzahl der diagnostizierten medialen und kaudalen Orbitafrakturen angestiegen (Burm et al., 1999) (Manfre et al., 1993) (Jin et al., 2000).

Die Entscheidung, operativ vorzugehen, wird von einer Vielzahl Faktoren beeinflusst (Burm et al., 1999) (Mathog et al., 1991) (Mathog et al., 2000), so zum Beispiel durch das Vorhandensein und den Schweregrad von eingeschränkter Bulbusbeweglichkeit, den Grad des trau-

matisch bedingten Enophthalmusses und die Ausbreitung des Bruches ((Manfre et al., 1993) (Jin et al., 2000).

2.2.3 Funktionelle Folgen einer Orbitawandfraktur

Bei Verlagerung, bzw. Inkarzeration von Orbitainhalt in einer Bruchspalte oder bei direkter Traumatisierung des Muskelbandapparates kann es zu Beweglichkeitsstörungen des Bulbus mit Diplopie, Bulbusfehlstand und Bulbusretraktion kommen. Durch die lokale Schädigung des Musculus sphincter pupillae und der Ziliarnerven können Pupillenstarre und Akkomodationsstörungen entstehen.

Läsionen des Nervus opticus wie auch Akkomodationsstörungen und ein vorübergehender Astigmatismus können eine Visuserabsetzung zur Folge haben.

Sogar leichte Unterschiede bei der Lage des Bulbus oder der periorbitalen Anteile können häufig zu kosmetischen oder funktionellen Problemen führen (Manson et al., 2002) (Okinawa et al., 1999).

Bis zu 50% aller Patienten leiden nach Rekonstruktion kleiner bis mittelgroßer Frakturen ein bis zwei Wochen postoperativ unter Schwierigkeiten in der Beweglichkeit des Augapfels und unter Doppelbildern (Jank et al., 2003) (Kontio et al., 2001). Von ihnen zeigten 25% eine Doppelbildwahrnehmung und bei 38% ließ sich ein signifikanter Enophthalmus sogar noch nach einer Zeitspanne von 36 Wochen nachweisen (Jank et al., 2003) (Kontio et al., 2001).



Abb. 5: Eingeschränkte Hebung u. Senkung links nach Blow-out-Fraktur (Psyhyrembel)

Zusätzlich können posttraumatische Schwellungen der Hämatome (s. Abb. 6) für eine Doppelbildwahrnehmung verantwortlich sein. Diese gehen jedoch im Normalfall nach einigen Wochen von selbst zurück.

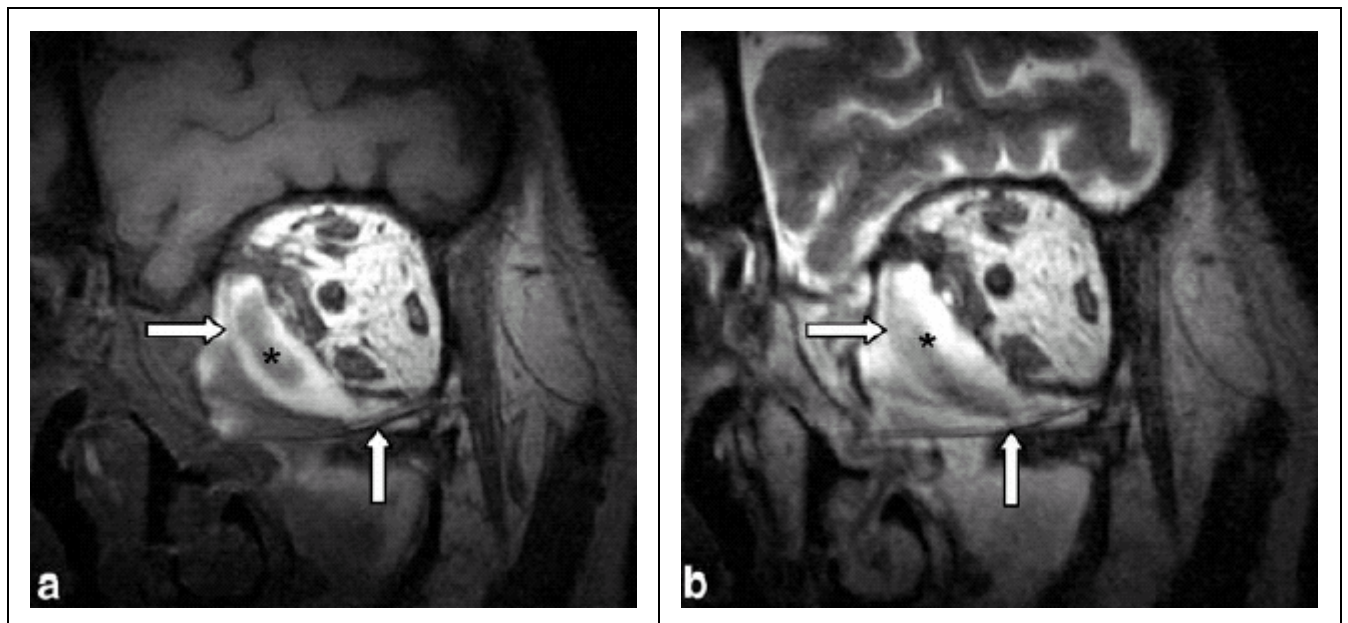


Abb. 6: Hochauflösende coronare T1-(a) und T2-(b) gewichtete MRT-Bilder mit einem großen Hämatom (Sterne) auf zwei Folien (Pfeile), das auf das Fettgewebe und die äußeren Augenmuskeln drückt.

Auf der anderen Seite kann ein akuter Enophthalmus auch von einem posttraumatischen Ödem maskiert sein und erst nach 14 Tagen sichtbar werden, wenn die Schwellung zurückgeht (Whitehouse et al., 1994) (Chan et al., 2000).

Es ist für den Kieferchirurgen wichtig zu wissen, ob den Beweglichkeitsstörungen eine mechanische Ursache zugrunde liegt. In Frage kommen:

- Einklemmungen des Bindegewebsapparates oder eines extraokulären Augenmuskels,
- Verlagerung des Orbitainhaltes in den angrenzenden Sinus maxillaris und / oder ethmoidalis,
- frakturbedingte Ausweitung der Orbita sowie direkte Schädigung der Orbitaweichteile durch Ödeme, Hämatome, Zerreißung oder Vernarbung (Jank et al, 2003) (Whitehouse et al., 1994) (Linnau et al., 2003).

Bei Unfällen als Frakturursache kommt es eher selten zur Einklemmung eines Muskels (Hammerschlag et al., 1982).

3 Chirurgische Rekonstruktionen

Im Folgenden sollen zum besseren Verständnis und zur Einbindung in den medizinischen Gesamtkontext Voraussetzungen und Möglichkeiten der chirurgischen Rekonstruktion dargestellt werden, auch wenn diese nicht Hauptgegenstand dieser Arbeit sind.

3.1 Operationsindikationen und Zielsetzung

Eine operative Versorgung ist angezeigt bei

- eingeschränkter Bulbusbeweglichkeit, die mit einer Diplopie verbunden sein kann,
- größeren Orbitawanddislokationen, insbesondere mit Bulbusverlagerung,
- röntgenologisch eindeutig nachweisbarem Prolaps von Orbitainhalt in die anatomisch benachbarten Strukturen (Freitag et al., 1977, S170).

Die Zielsetzungen eines operativen Eingriffs sind

- Loslösung eingeklemmten Orbitainhaltes, um eine ungestörte Augenbeweglichkeit und eine normale Sensibilität wieder herzustellen,
- Rückverlagerung eventueller orbitaler Weichgewebsprolapse,
- Wiederherstellung von Form und Größe der knöchernen Augenhöhle zur Verhinderung eines Bulbustiefstandes bzw. eines Enophthalmus, zur Korrektur der richtigen Stellung der Bulbi und zum Erhalt des extraokulären muskulären Gleichgewichts durch Wiederherstellung der Geometrie der Periorbita (Lendrot, 1991, S. 185).

Die optimale Behandlung besteht im Zurückverlagern von periorbitalem Fettgewebe und Muskulatur, gefolgt von der Rekonstruktion des frakturierten Gebietes durch Abdecken mit verschiedenen alloplastischen und allogenen Materialien, um den Zustand vor dem Trauma wiederherzustellen (Jank et al., 2003) (Mathog et al., 2000) (Baumann et al., 2002).

Das am häufigsten benutzte Material ist eine Folie aus resorbierbarem polydioxanon Sulfat (PDS) (Kontio et al., 2001) (Baumann et al., 2002) mit einer variablen Dicke von 0,15mm bis 0,5mm. Diese verliert 50% ihrer Stärke innerhalb der ersten 4 Wochen nach dem Eingriff und ist nach 3 bis 4 Monate komplett resorbiert (Merten et al., 1994).

Obwohl es nach operativen Interventionen meistens zu einer Besserung der Symptomatik kommt, können dennoch bis zu einem Jahr Störungen der Augenbeweglichkeit auftreten. Die Langzeitprognose wird nicht ausschließlich durch die Folgen der Verletzung der Periorbita bestimmt, sondern auch durch die Kontusion des Orbitainhalts mit Läsionen der Augenmuskeln und Nerven (Schönhart, 1983, S. 257, Meyer und Schmidt, 1991, S. 221).

Im Falle eines notwendigen Eingriffes gibt es mehrere Methoden zur Behandlung einer Orbita-Boden-Fraktur:

- Antral-Ballon-Katheter,
- Orbita-Implantate (alloplastische und allogene Materialien) oder eine
- Kombination beider Methoden (Mayer et al., 1996) (Steward et al., 1995) (Milewski et al., 1991).

Die Wahl der richtigen Methode hängt von Größe und Lokalisation der Fraktur sowie von der Erfahrung des Chirurgen ab (Sachs 1987).

Im Hinblick auf Beweglichkeit und Position des Bulbus beschreiben einige Autoren sehr gute Resultate bei Gebrauch des Antralbalkenkatheters (Mayer et al., 1996) (Milewski et al., 1991) bei kleinen und mittelgroßen Frakturen. Im Gegensatz dazu werden bei der Behandlung größerer Frakturen des Orbitabodens Implantate empfohlen (Mayer et al., 1996) (Steward et al., 1995) (Gatot et al., 1991).

Im Folgenden soll ein kleiner Überblick über die Schnittführungen des infraorbitalen und des kombiniert infra- und supraorbitalen, paranasalen Zugangs gegeben werden, die in der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie an der Technischen Universität München zur Versorgung von Orbitawandfrakturen angewandt werden.

3.2 Schnittführung und Technik der Versorgung von Orbitabodenfrakturen an der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie an der TU München (infraorbitaler Zugang)

Die Inzision erfolgt entlang des Unterlides (mittlerer Unterlidschnitt) und folgt soweit möglich den natürlichen Hautfalten. Mit einem Rasparatorium wird streng superiostal in Richtung auf den Orbitaboden vorpräpariert. Nach Darstellung der Fraktur wird der Weichteilprolaps mit dem Rasparatorium luxiert. Während der Bulbus von dem Frakturspalt weg gehalten wird, werden Frakturreste aus dem Spalt entfernt. Nach Darstellung der Fraktur wird eine vorge-

schnittene und vorkonturierte PDS-Folie, in der Regel 0,25 Millimeter stark, über den infraorbitalen Zugang über die Fraktur gelegt.

Nach Durchführung des Forced-Duction-Tests wird die Folie mit dem Rasparatorium auf korrekten Sitz und ausreichende Dimensionierung hin überprüft. Die Wunde wird mit Subkutanähten der Stärke 4+0 und Hautnähten (Einzelknopfnähte, z.B. Pralon 6/0) unter Einlage einer Minidrainage verschlossen.

3.3 Schnittführung und Technik der Versorgung medialer Orbitawandfrakturen an der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie an der TU München (kombinierter supraorbitaler, paranasaler und infraorbitaler Zugang)

Unter Ausnützung natürlicher Hautfalten erfolgt die Inzision am medialen Ende der Augenbraue, bzw. am Oberrand der Augenbraue. Sie folgt natürlichen Hautfalten, die durch den Musculus korrugatus supracilii, bzw. durch den Musculus procerus vorgegeben werden und relativ konstant im Nasenwurzelbereich anzutreffen sind. Der Schnitt wird W-, bzw. Z-förmig zwischen Angulus oculi medialis und Nasenrücken, gegebenenfalls bis kurz oberhalb des medialen Ligamentum palpebrale nach unten geführt. Es wird von kranial nach kaudal präpariert. Aus Gründen der Übersicht wird der Schnitt durch eine infraorbitale Inzision (mittlerer Unterlidschnitt) ergänzt. Es wird mit dem Rasparatorium streng periostal entlang der medialen Orbitawand in Richtung auf den Orbitaboden unter Schonung der Trochlea und Umgebung des anterior liegenden Saccus lacrimalis vorpräpariert.

Nach Darstellung der Fraktur wird eine Arterienklemme unter Führung eines Rasparatoriums zwischen Prolaps und Frakturspalt vorgeschoben und kommt über den infraorbitalen Zugang zur Darstellung. Die vorgeschchnittene PDS-Folie wird über den infraorbitalen Zugang eingeführt und mit der Klemme gefasst. Nun wird die Folie über die Fraktur auf die mediale Orbitawand gelegt. Nach Durchführung des Forced-Duction-Tests erfolgt die Kontrolle über den medialen Orbitazugang sowie von infraorbital durch Austasten der Folienübergänge. Mit Subkutan- und Hautnähten und unter Einlage einer Minidrainage wird die Wunde verschlossen.

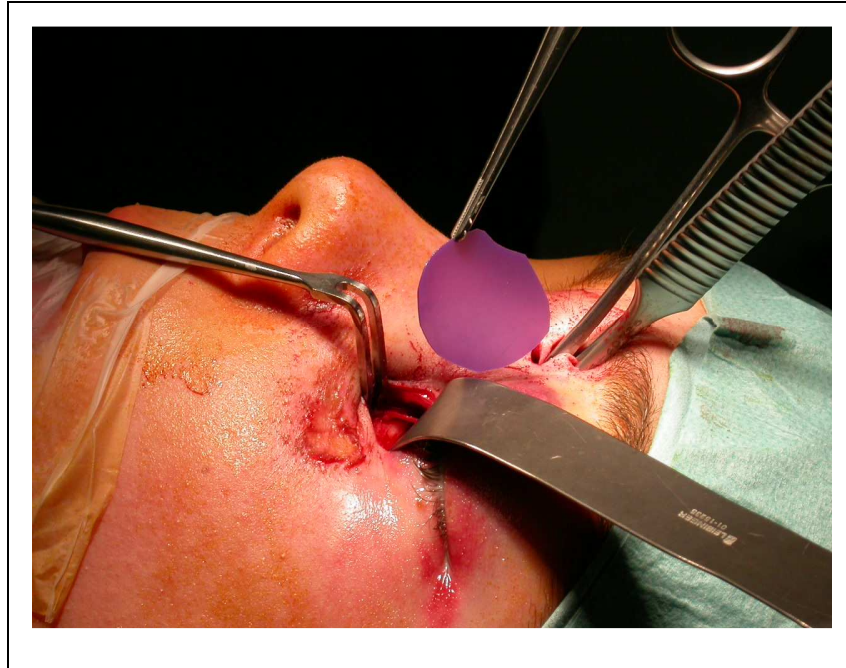


Abb. 7: PDS-Folie 0,25mm kurz vor Einlage in die mediale Orbitawand

3.4 Alloplastische Materialien zur Orbitawandrekonstruktion

Bei der Orbitawandrekonstruktion finden verschiedene Materialien Anwendung. Im Nachstehenden sollen zwei Materialien, sowie ihre jeweils spezifischen Vor- und Nachteile vorgestellt werden.

3.4.1 PDS-Folie (Höltje, 1983, Merten et al. 1994, Hidding et al. 1991, Merten et al. 1999)

Eine PDS-Platte wurde 1983 erstmals von Höltje vorgestellt. Es handelte sich um ein 1,5 Millimeter starkes uhrglasförmiges Plättchen aus Polyglactin (Höltje 1983, S. 65). Sowohl Graignau et al. als auch Merten et al. stellten allerdings 1991 fest, dass diese Folie zwar konturierbar, aber zur Überbrückung mehrwandiger Orbitadefekte weniger gut geeignet war (Merten et al. 1991, S. 249).

Da das Material von Höltje sich als zu rigide und zu dick erwies, entwickelten 1991 Hidding et al. die derzeit verwendeten Folien der Stärken 0,5 Millimeter und 0,25 Millimeter. Seit 1996 steht auch eine Stärke von 0,15 Millimeter zur Verfügung (Merten et al., 1999, S. 122). Eine PDS-Folie wird aus einem alifatischen Polyester, dem Poly-P-Dioxanon, hergestellt. Dieser wiederum entsteht durch Polymerisation des Monomers P-Dioxanon. Die biologische Auflösung erfolgt durch hydrolytische Spaltung der Makromoleküle (Hidding et al. 1991, S.

195, Schliephake et al. 1991, S. 252). Da die Folie verformbar ist, lässt sie sich der Kontur der Orbita in idealer Weise anpassen. Histologisch bildet sich um die anisotrope PDS-Folie eine fibroblastenreiche Kapsel. Das Material ist nach sechs Wochen noch komplett erhalten. Histologische Rissbildungen sind erst nach zwei Monaten zu erkennen (sog. Fragmentierung). 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 dieser Folie sind

- gute Verformbarkeit,
- gute mechanische Stabilität,
- gute Gewebeverträglichkeit,
- Resorbierbarkeit des Materials,
- einfache Handhabung sowie
- Verfügbarkeit in gewünschter Stärke und Menge (Hidding et al. 1991, S. 196).

PDS Folien sind semirigide, flexible Platten mit einer Stärke, die zwischen 0,15 und 0,50mm variiert und 50% ihrer Stärke in den ersten postoperativen Monaten verliert (Merten et al., 1999).

Kleine bis mittelgroßen Frakturen heilen oft komplikationslos und ohne Einschränkung der Beweglichkeit des Bulbus. (Baumann et al., 2002). Bei ausgedehnteren Frakturen kann das implantierte Material nachträglich verrutschen oder deckt nicht den kompletten Frakturspalt ab, wodurch eine Dislokation des Bulbus in den Frakturspalt erfolgen kann. Hierdurch kann es zu Motilitätsstörungen, Doppelbildwahrnehmungen und Enophthalmus kommen (Kontio et al., 2001) (Zhan et al., 1995) (Ramieri et al., 2000). Auch eine leichte Bulbusdislokation führt zu funktionalen und kosmetischen Problemen (Manson et al., 2002) (Okinawa et al., 1999). Deshalb ist es bei postoperativ symptomatischen Patienten wichtig, frühzeitig eine bildgebende Diagnostik einzuleiten. Bis jetzt ist das Multislice-CT (MSCT) Mittel der Wahl im Falle einer notwendigen Revision (Jin et al 2000) (Imhof et al., 2003) (Lemke et al., 2001) (Kontio et al., 2001).

3.4.2 Hydroxylappartitkeramik (Osborne und Spannakis 1991)

Osborne und Spannakis entwickelten 1991 ein Implantat aus dichter Hydroxylappartitkeramik (Osprovid).

Nach Angabe der Autoren weist das Material folgende *Vorteile* auf:

- einfache Handhabung,
- Ortstreue infolge Verwachsung,
- ideale Kurz- und Langzeitverträglichkeit,
- anatomische Form sowie
- problemlose Darstellbarkeit mit allen bildgebenden Verfahren (Osborne und Spannakis 1991, S.199).

Folgende *Nachteile* wurden beobachtet:

- eingeschränkte Formbearbeitung,
- langfristige Doppelbildwahrnehmung bei vielen Patienten, falls Keramik zu voluminös bzw. zu dick,
- Kompensation durch Resorptions- und Umbauvorgänge.

3.5 Postoperative Komplikationen

Vor allem der Enophthalmus mit seinen ästhetischen Folgen und die Doppelbildwahrnehmung aufgrund von Bulbusmotilitätsstörungen führen die bereits operierten Patienten erneut in die Klinik (Jackson and Whitehouse, 1993) (Freihofer, 1995) (Schuknecht et al., 1996) (Ramieri et al., 2000) (Gellrich et al., 2002).

Eine Zweitkorrektur der betroffenen knöchernen Orbita zur Behebung dieser Komplikationen ist jedoch schwierig und das Ergebnis oft nicht befriedigend (Freihofer, 1995) (Ramieri et al., 2000) (Fan et al., 2003). Deshalb stellt eine Re-Operation der Orbita eine ernsthafte Herausforderung dar, die einen erfahrenen Chirurgen und weitere bildgebende Diagnostik erfordert (Kawamoto, 1982) (Gellrich et al., 2002).

Diese wurde bislang meistens in Form von CT-Kontroll-Aufnahmen geliefert (Lemke et al., 2001) (Kontio et al., 2001) (Imhof et al., 2003).

Fehler bei der primären posttraumatischen Wiederherstellung der knöchernen Orbita können - als häufige post-operative Komplikation - zu einem Enophthalmus führen, der zu kosmetischen Problemen und zur Doppelbildwahrnehmung führen kann, wenn die Funktion der Augenmuskeln beeinträchtigt ist (Gellrich et al., 2002).

Das Vorkommen eines klinischen Enophthalmusses ist meistens Folge eines vergrößerten Orbitavolumens, welches zu einer Rückverlagerung des Bulbus führt. Dies geschieht, wenn das retrobulbäre Fettgewebe und Muskeln in den Bruchspalt eintreten (Cunningham et al., 2005) (Ramieri et al 2001). Chirurgen beurteilen den Schwund von Orbitainhalt intraoperativ aufgrund ihrer klinischen Erfahrung.

Weder die klinischen Beurteilungen, noch die ophthalmologischen Einschätzungen eines postoperativen Enophthalmusses sind sehr verlässlich und auch die Ergebnisse werden oft falsch gedeutet (Mazock et al., 2004).

In etlichen Studien wurde das Orbitavolumen mit Hilfe der Bildgebung folgendermaßen berechnet:

Die Orbita wurde Schicht für Schicht am knöchernen Rand „ausgeschnitten“ und die Volumina aller Schnittbilder wurden zu einem Gesamtvolumen addiert.

Diese Methode ist zwar sehr zeitaufwendig, hat sich jedoch als sehr genau erwiesen.

4 Studiendesign und Methodik

4.1 Studiendesign

Von Bedeutung für die Studie waren uni- und bilaterale Frakturen der medialen Wand und des Orbitabodens, die operativ im Klinikum rechts der Isar versorgt worden waren. Die Frakturen konnten sowohl isoliert, als auch als Begleiterscheinung einer Mittelgesichtsfraktur vorliegen.

Präoperativ lagen uns Frakturen mit einer Defektlänge oder -breite ab 2cm (im Mittel 3,3cm, Spannweite von 2,0 bis 4,7cm) und einer korrespondierenden Defektfläche von mind. 3cm² (im Durchschnitt 3,0cm², Spannweite von 3,0 bis 5,3cm²) vor.

Patienten, bei denen zusätzlich noch Frakturen in anderen Bereichen als dem Orbitaboden auftraten, wurden zur Studie dazugenommen, sofern auch eine Fraktur der medialen Wand oder des Bodens vorlag.

Mit einer Ausnahme wurden alle Patienten intraoperativ mit einer oder mehreren PDS-Folien der Schichtdicken 0,25mm oder 0,5mm (Ethicon, Johnson & Johnson, Brussels Belgium) versorgt.

Geplant war es, mit ca. 40 Patienten als Patientengut zu arbeiten. Diese Patienten sollten drei bis vier Wochen nach dem operativen Eingriff eine MRT-Diagnostik erhalten. Die Aufnahmen sollten sowohl in T1- als auch in T2-Wichtung und in einer protonendichten Wichtung erstellt werden.

Mit Hilfe dieser Aufnahmen sollte die Position der Folie und der Zustand der Nasenneben- und Kieferhöhlen überprüft und ein Prolaps ausgeschlossen werden.

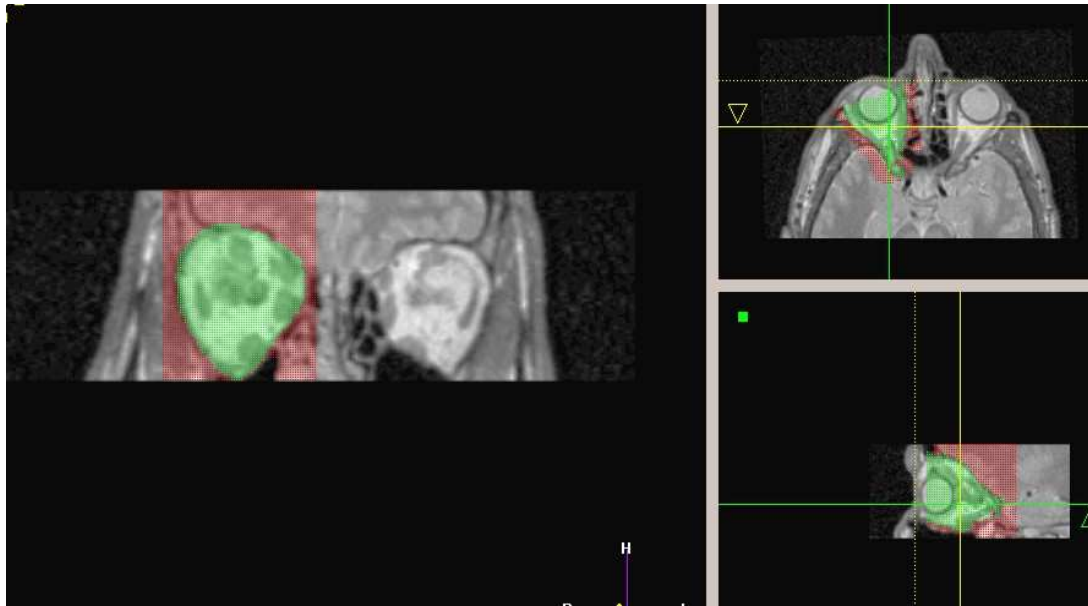


Abb. 8: Coronare, axiale und saggitale MRT-Aufnahme Orbitavolumen rechts (frakturierte Seite)

Bei der Auswertung sollte überprüft werden, ob

- sich eine eventuelle Vergrößerung des Orbitavolumen postoperativ ergab oder
- eine Schrumpfung des Bulbus oder
- ein vergrößertes Orbitavolumen signifikant mit einem Enophthalmus einhergeht.

Dazu wurden die Patienten mit dem 1,5 T MRT mit Kopfspule in der radiologischen Abteilung des Klinikums rechts der Isar untersucht.

Als sich im Laufe der Studie noch die Möglichkeit bot, zusätzlich zur Kopfspule eine 47mm Mikropule einzusetzen, wurde auch diese in die Studie mit einbezogen.

Die MRT-Bilder wurden hinsichtlich

- der Fraktur,
- des Muskelprolapses,
- des Fettgewebsprolapses,
- der Darstellbarkeit der Folie,
- retrobulbärer und bulbärer Pathologien untersucht.

Des Weiteren sollten die Bilder einer Orbitavolumenbestimmung dienen und die Volumina der Bulbi bestimmt werden.

Auch sollten Zusammenhänge zwischen den MRT-Ergebnissen und der klinischen Symptomatik gefunden werden.

So sollte z.B. die Frage Beantwortung finden, ob das Vorhandensein eines Prolapses mit einem Enophthalmus einhergeht.

Hierfür wurden Orbitaprolapse vermessen (s. Abb. 9) und mit Konsilen der Augenklinik im Klinikum rechts der Isar verglichen.

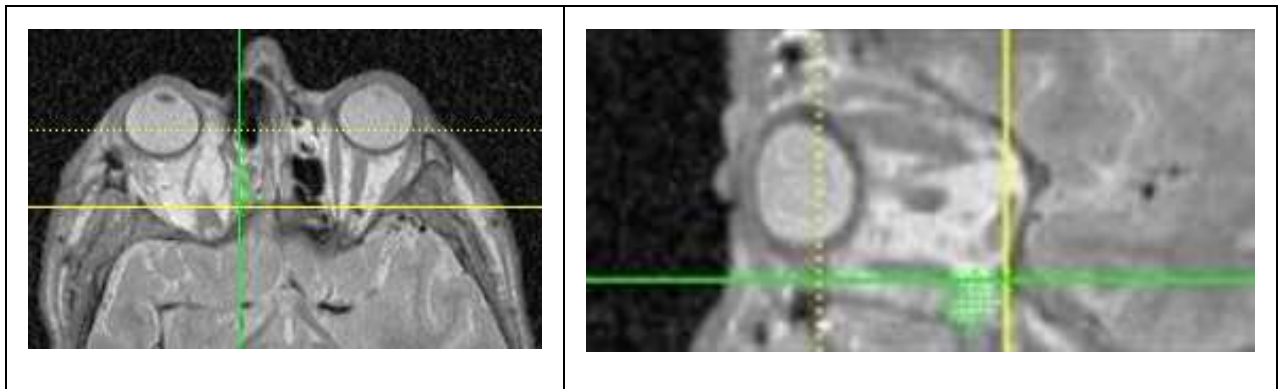


Abb. 9: Darstellung des Bodenprolapses der rechten Orbita nach Methode 2 - Axiale PDW-Aufnahme (oben), sagittale PDW-Aufnahme (unten)

Da die Nachkontrolle meistens ambulant durchgeführt wurde, kam es einige Male zu organisatorischen Problemen wegen der teilweise sehr langen Anfahrtswege zur Klinik (z.B. Südtirol, Sachsen).

Außerdem mussten einige Patienten aus der Studie genommen werden, weil sie aufgrund von Klaustrophobie nicht untersucht werden konnten oder nicht in der Lage waren, sich aufgrund hoher Alkoholpegel während der Aufnahmen ruhig zu verhalten.

4.2 Ophthalmologische Untersuchungsverfahren

Alle Patienten wurden am 1., 4., 7. und 14. postoperativen Tag nach bestimmten Parametern ophthalmologisch untersucht. Diese sollen nachstehend näher beschrieben werden.

Enophthalmus

Ein Enophthalmus wird durch eine Diskrepanz von Orbitainhalt zu einem vergrößerten Volumen der knöchernen Augenhöhle erzeugt.

Der Enophthalmus der Patienten wurde mit dem Exophthalmometer nach Härtel (s.a. Rodenstock, Ottobrunn, Deutschland) bestimmt. Es besteht aus zwei, auf einer Gleitschiene verschiebbaren Rahmen mit je zwei übereinander gekreuzten und zu den Sagittalachsen der Augäpfel im Winkel von 45° geneigten Spiegeln. An der Außenseite der Rahmen ist eine Millimeterskala angebracht, die im oberen Spiegel beobachtet wird, während sich im unteren der Hornhautscheitel spiegelt. Das Gerät wird mit der Not an dem verschiebbaren Rahmen auf die

äußeren Orbitaländer aufgesetzt. Während der Patient geradeaus in die Ferne sieht, wird im oberen Spiegel die Höhe des Hornhautscheitels abgelesen. Auf der Gleitschiene wird außerdem die Entfernung der äußeren Orbitaländer in Millimetern für spätere Vergleichsuntersuchungen ermittelt.

Entscheidend ist nicht der Absolutwert sondern der Vergleich zwischen dem rechten und linken, sprich dem gesunden und verletzten Auge. Eine Differenz von einem Millimeter ist dabei als Toleranz anzusehen.

Zur Überprüfung der durch den Test nach Härtel ermittelten Ergebnisse wird der Patient einer weiteren Untersuchung unterzogen. Der Untersuchende tritt hinter den Patienten, hebt gleichzeitig mit den Zeigefingern dessen Oberlider an und blickt über dessen Stirn zu den Wangen. Ein Enophthalmus lässt sich so leicht erkennen.

Visus

Die Visusbestimmung folgt in typischer Weise unter Verwendung eines Sehzeichenprojektors (Firma Bonoptik, Lübeck, Deutschland) in einem Abstand von fünf Metern. Die Angabe erfolgte als Quotient aus Prüfungsabstand zu Sollentfernung, bei Vorliegen einer Sehhilfe als Quotient cum Korrektione, bzw. ohne Sehhilfe als Quotient sine Korrektione.

Beweglichkeit

Die Beweglichkeit wurde als einfache Motilitätsprüfung in Kombination mit dem einseitigen Abdecktest überprüft. Um genauere Ergebnisse zu erhalten, wurde noch zusätzlich der alternierende Abdecktest durchgeführt.

4.3 Technische Daten des MRT

4.3.1 Technische Daten der Kopfspule des 1,5 Tesla MRT

Wir untersuchten alle Patienten mit einem Kernspintomographieverät mit einer Feldstärke von 1,5 Tesla (ACS NT Intera upgrade Phillips, Best, the Netherlands), ausgestattet mit dem Master-Gradienten-System (s. Abb. 10).

Eine zirkular polarisierte Kopfspule, mit der im Regelfall Aufnahmen des Schädels oder Gehirns durchgeführt werden, wurde für die Detailgenauigkeit benutzt.

Es wurden axiale und coronare Schichten in T1-, T2- und Protonendichte-Wichtung in Form von hochauflösenden Spinecho- (SE) und Turbospinecho-Sequenzen (TSE) aufgenommen.



Abb. 10: Kernspintomographieverät, 1,5 Tesla

Die T1- gewichteten Sequenzen wurden mit einer Repetitionszeit von TR 700ms, einer Echozeit von TE 21ms, einem FOV (field of view) von 180mm, einer Matrixgröße von 512, einer Schichtdicke von 2,5mm/gap 0,25mm (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 TR von 4000ms, TE von 100ms, einem FOV von 180mm, einer Matrixgröße von 512, Turbofaktor 13, 4 Messmittlungen und einer Schichtdicke von 2,5mm/gap 0,25mm 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 sowie die vollautomatische Bulbussegmentation überhaupt erst zu ermöglichen.

Der isotrop gemessene Datensatz hatte eine Voxelgröße von 1x1x1 mm³ 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 Orbitavolumetrie wurden mit einer Repetitionszeit von TR 5500ms, einer Echozeit von TE 25ms, einem FOV von 230mm, einer Matrixgröße von 256, einer Schichtdicke von 1mm/gap 0, mit 4 Messmittlungen und einer Messzeit von je 6 Minuten durchgeführt.

Die Sequenzen der isotropen T2-Wichtung für die Messung des Bulbus wurden mit einer Repetitionszeit von TR 5600ms, einer Echozeit von TE 70ms, einem FOV von 230mm einer Matrixgröße von 256, einer Schichtdicke von 1mm/gap 0, mit 3 Messmittlungen und einer Messzeit von je 7.30 Minuten gefahren.

Parameter	<i>T1</i>	<i>T2</i>	<i>T2 Isotrop</i>	<i>PDW Isotrop</i>
<i>TR in ms</i>	700	4000	5600	5500
<i>TE in ms</i>	21	100	70	25
<i>FOV in mm</i>	180	180	230	230
<i>Matrixgröße</i>	512	512	256	256
<i>Turbofaktor</i>	-	13	-	-
<i>Schichtdicke in mm</i>	2,5	2,5	1	1
<i>Lücke (gap) in mm</i>	0,25	0,25	0	0
<i>Messmittlungen</i>	3	4	3	4
<i>Messzeit in min</i>	7	6	7.30	6

Tab. 1: MRT-Parameter

Der Messbereich in coronarer Ebene wurde so gewählt, dass die Orbita nach cranial und caudal komplett abgedeckt war. In axialer Ebene wurde der gesamte Bereich des Kopfes gemessen.

Am Anfang war der coronare Bereich nicht immer ausreichend groß voreingestellt, sodass die Volumetrie der knöchernen Orbita bei einigen Patienten wegen Fehlens der oberen oder unteren Begrenzung der Orbita nicht exakt durchgeführt werden konnte.

4.3.2 Technische Daten der Mikropule des 1,5 Tesla MRT

Der 1,5 Tesla MRT kann sowohl mit der Kopfspule als auch zusätzlich mit der Mikropule zum Einsatz kommen. Als sich im Laufe der Studie die Möglichkeit bot, zusätzlich zur Kopfspule eine 47mm Mikropule einzusetzen, wurde auch diese in die Studie mit einbezogen. Die Mikropule mit einem Diameter von 47mm (Phillips) wurde für die koronare Bildgebung benutzt. Zusätzlich wurde die zirkulär polarisierte Kopfspule mit der Mikropule kombiniert. Im Vergleich zur Kopfspule erhöhte die Mikropule das SRV um ca. den Faktor 4 bei gleichen Bild-Parametern und gleicher Messzeit mit einer viel größeren Detailgenauigkeit.

Parameter	PDw (isotropic)	T2w (TSE)	T2w (isotropic)	T1w (SE)
Coil	Head	Head/Microscopy (47 mm)	Head/Microscopy (47 mm)	Head/Microscopy (47 mm)
Repetition time (msec)	5500	4000	5600	700
Echo time (msec)	25	100	70	21
Turbo factor	NA	13	NA	NA
Matrix	256x256	512x512	256x256	512x512
FOV (mm)	230	180	230	180
Slice thickness (mm)	1/gap 0 mm	2.5/gap 0.25 mm	1/gap 0 mm	2.5/gap 0.25 mm
No. of signal acquired	4	4	3	3
Acquisition time	6 minutes 15 seconds	6 minutes 15 seconds	7 minutes 30 seconds	7 minutes 04 seconds

Tab. 2: Technische Daten

4.4 Auswertung der MRT-Aufnahmen

4.4.1 Auswahl der Wichtung

Folgende Schichten wurden bei den Bildern für die Nachkontrolle verwendet:

Coronare und saggitale Aufnahme in T1-Wichtung (Abb. 11), coronare und saggitale Aufnahme in T2-Wichtung (Abb. 12) sowie saggitale Aufnahme in Protonendichte-Wichtung (PDW) (Abb. 13).

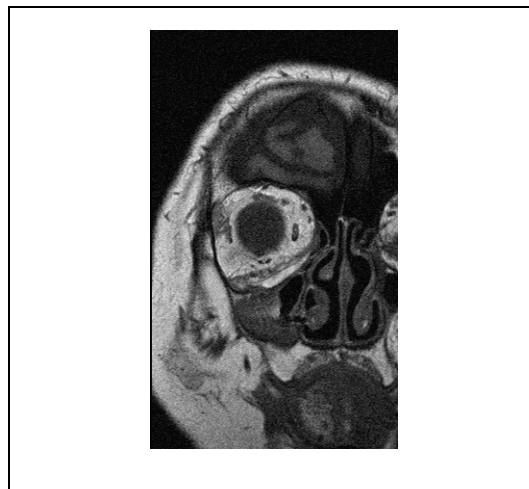


Abb. 11: Coronare T1-Wichtung

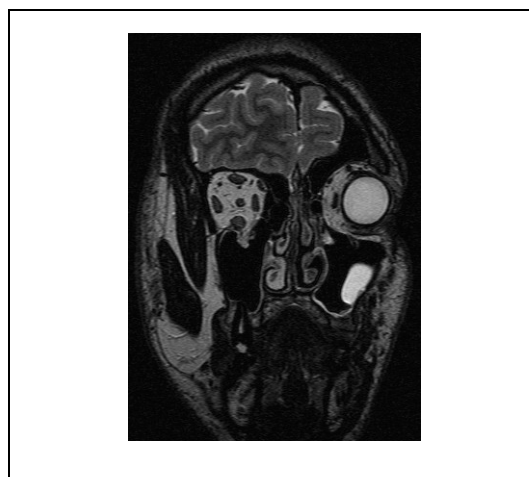


Abb. 12: Coronare T2-Wichtung

Dabei wurden die PD-gewichteten Bilder erst im Verlauf der Studie aufgenommen, da sich herausstellte, dass die Orbitavolumetrie durch die verbesserten Kontraste leichter durchführbar war.

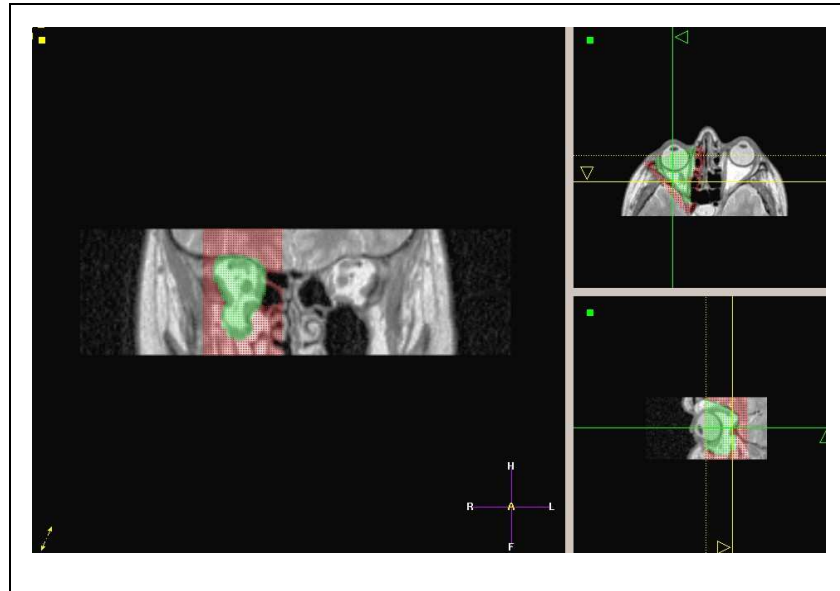


Abb. 13: Coronare, sagittale, axiale PDW-Aufnahme

Die T2-Wichtung wurde für die Auswertung des Volumens der Bulbi benutzt, da sich die Bulbi in der T2-Wichtung durch den hohen Wasseranteil sehr hell darstellen und deshalb gut segmentiert werden konnten.

Die Darstellung der Folien zur post-operativen Lagekontrolle war komplizierter als erwartet, da sich sowohl in der T1- als auch in der T2-Aufnahme die Unterscheidung zwischen „Folie“ und „knöcherner Orbitawand“ als schwierig erwies.

Deshalb wurde experimentell versucht, eine Folie, die in ein Stück tierischen Specks eingebracht wurde, mit verschiedenen Aufnahmesequenzen möglichst genau darzustellen. Hierbei hat sich die protonengewichtete Aufnahmetechnik als die effektivste herausgestellt.

Die MRT-Kopfspulenaufnahmen und Mikrospulen-Aufnahmen wurden von demselben Radiologen und Mund-Kiefer-Gesichtschirurgen nach verschiedenen Gesichtspunkten und Kriterien verglichen und beurteilt. Zusätzlich wurde anhand dieser Gesichtspunkte die Darstellungsqualität beider Aufnahmetechniken verglichen.

Auffallend ist, dass die MRT eine bessere Weichteildarstellung als die CT liefert und damit eine größere Effizienz bei der Darstellung von Weichgewebeprolapsen oder –hernien bei

gleichzeitig guter Knochendarstellung (Hell et al., 1990) (Williams et al., 1995) (Zhan et al., 1995) (Okinaka et al., 1999) (Kontio et al., 2001) (Freund et al., 2001) (Freund et al., 2002). Das Magnetfeld ermöglicht durch verschiedene technische Einstellungen optimierte Bildqualität angepasst an die jeweilige Fragestellung ohne jegliche Strahlenbelastung (Kauffmann et al., 2001).

4.4.2 Foliendarstellung und Lage der Folie

Für die Beurteilung der Foliendarstellung wurden die postoperativen MRT-Bilder der Orbitae verwendet, in die eine oder mehrere PDS-Folien zur Rekonstruktion eingesetzt worden waren. Im Rahmen der Untersuchung wurde die Orbita sowohl in T-1 und T2-gewichteten Sequenzen als auch in protonengewichteter Aufnahmetechnik dargestellt.

In diesen Bildern sollte versucht werden, die Darstellbarkeit der Folie zu bestimmen.

In den T-1 und T2- und protonendichtegewichteten Bildern erschien die PDS-Folie als dünne, schwach signalintensive lineare Struktur (Abb. 14).

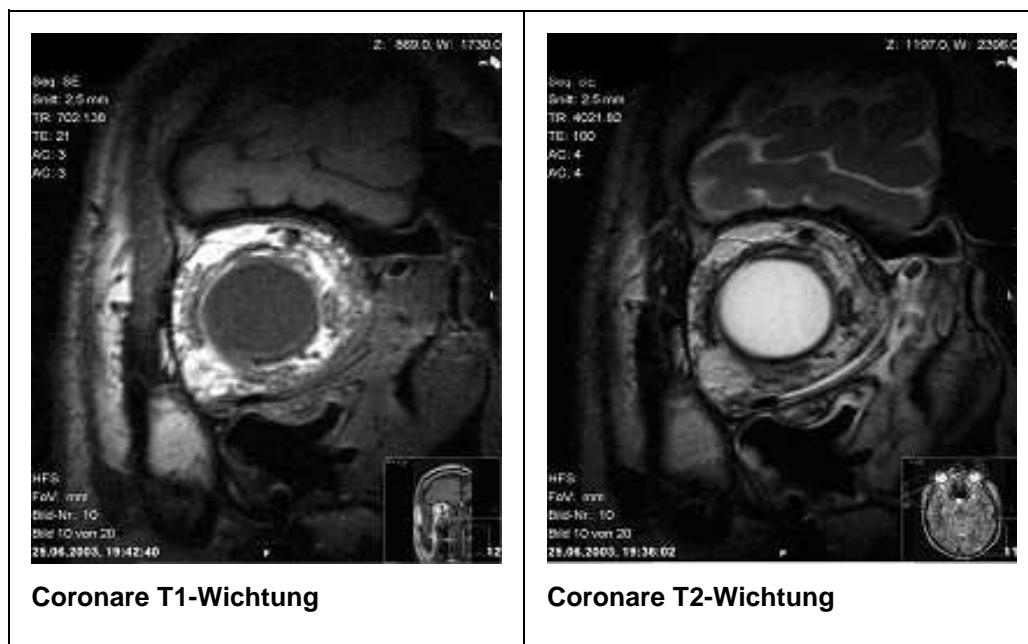


Abb. 14: Eindeutige Darstellung der PDS-Folie am Übergang Boden/mediale Wand der rechten Orbita

Die Beurteilung der Foliendarstellung wurde in 3 Stufen unterteilt:

- eindeutige Darstellung der Folie
- fragliche Darstellung der Folie
- keine Darstellung der Folie

Die Lage der Folie wurde in 5 verschiedene Merkmale unterteilt:

- regelrechte Lage (sichtbar, direkt an Kortikalis anliegend)
- Hämatom unter der Folie bzw. Folie angehoben
- disloziert-prolabierte Folie
- nicht beurteilbare Folie (schlecht sichtbar)

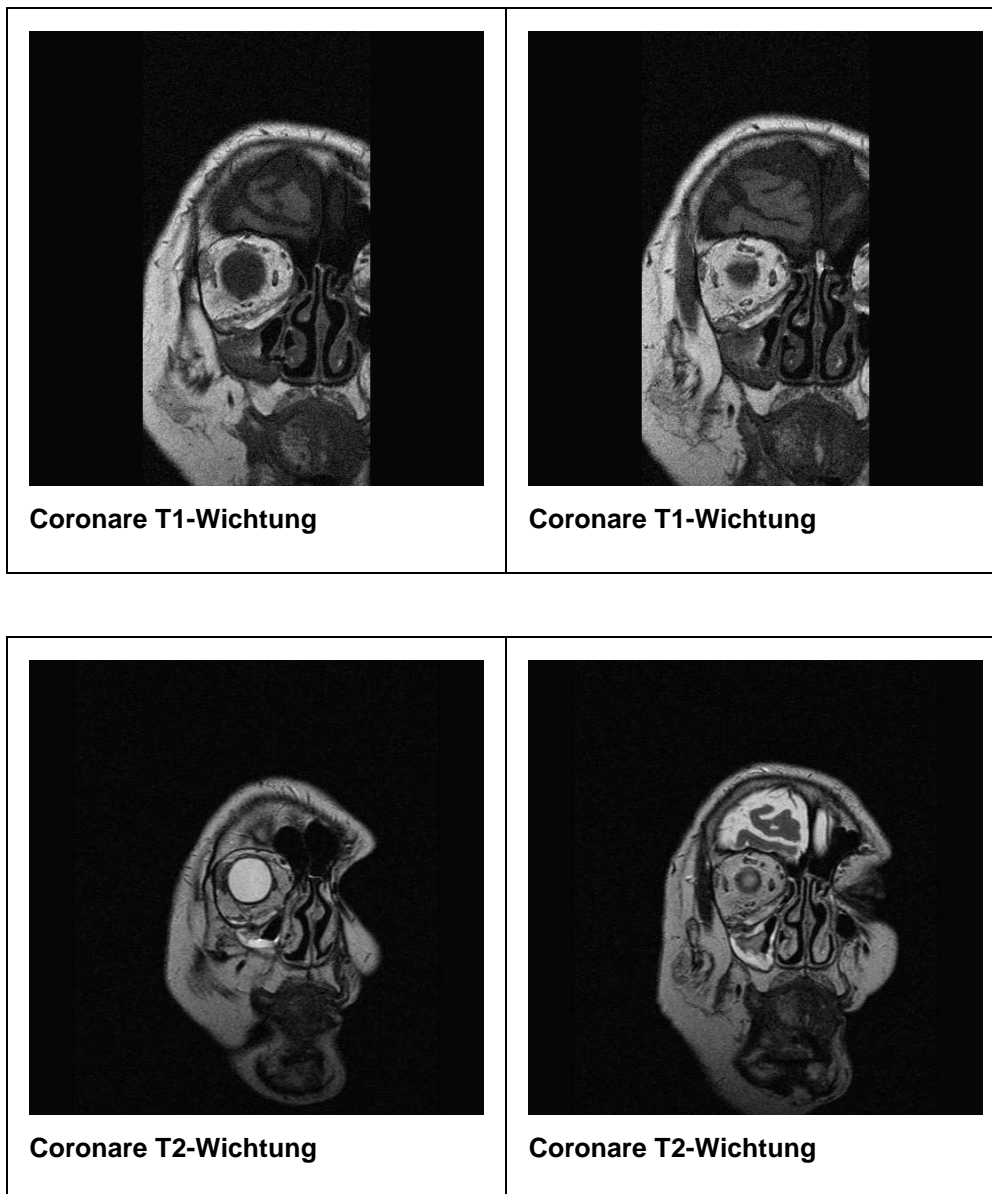


Abb. 15: Regelrechte Lage der PDS-Folie am Übergang Boden/mediale Wand der rechten Orbita - Darstellung in verschiedenen Schichten

4.4.3 Orbitavolumenbestimmung

Zu Beginn unserer Untersuchungen wurden T1- und T2- gewichtete MRT-Bilder, die als DICOM-files zur Verfügung standen, untersucht. Diese wurden mit Hilfe der Software Easy Vision von Phillips (Easy Vision 4.3, Phillips, Best, the Netherlands) bearbeitet. Die Kontraste der T1- und T2-gewichteten Bilder reichten jedoch nicht aus, um eine automatische Segmentierung durchführen zu können (Algorithmus-Problem) und die einzelnen Gewebe der Orbita waren nicht ausreichend zu unterscheiden.

Eine standardisierte Segmentierung erwies sich zunächst als unmöglich.

Es wurden zusätzlich zu den T1- und T2-gewichteten Bildern weitere isotrope protonendichtegewichtete axiale Aufnahmen hinzu genommen und versucht, diese nach paracoronerer Rekonstruktion zu segmentieren (s. Abb. 16).

Nun mehr war es möglich, zumindest eine semiautomatische Segmentierung durchzuführen.

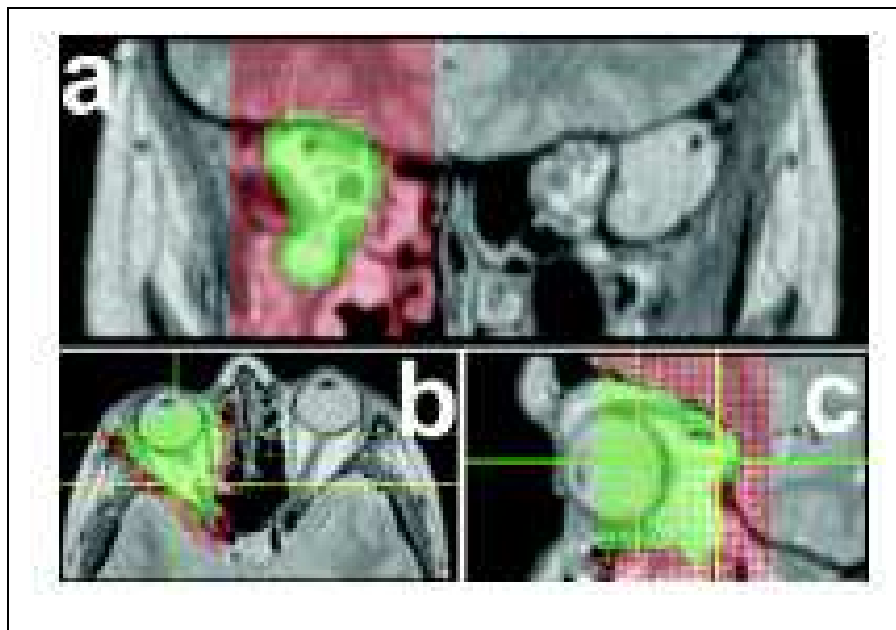


Abb. 16: (a) coronare, (b) axiale und (c) sagittale Sicht von hochauflösenden PD-gewichteten MRT-Bildern (3D) für die Volumetrie der Orbita: Deformation der frakturierten Orbita mit einer veränderten Orbitageometrie.

Nach anfänglichen Problemen bei der Volumenbestimmung der Orbita in der T1-Wichtung, wurde ein Versuch unternommen, die Patienten in einer Protonendichte-Wichtung aufzunehmen. Dies brachte sehr gute Ergebnisse. Nachdem das Auswertungsprogramm auf der Easy-Vision nicht für Auswertungen dieser Art geplant war, mussten alternative Programme aus-

probiert werden, bis eines gefunden wurde, welches für die Segmentation am ehesten geeignet erschien.

Es stellte sich als unmöglich heraus, die Volumenbestimmung im 3D-Datensatz durchzuführen, da keine Kontrastschwelle gefunden werden konnte, die das „Auslaufen“ der Saatpunkte über die Orbitagrenze hinaus verhinderte. Deshalb wurde die gesamte Volumetrie im 2D-Datensatz durchgeführt, was bedeutet, dass eine Orbita von ca. 6 cm Tiefe in Einmillimeter-schichten Schicht für Schicht ausgeschnitten werden musste. So mussten ca. 60 Schichten pro Orbita einzeln ausgeschnitten und addiert werden.

Die zu berechnende Orbita wurde folgendermaßen begrenzt:

Den fronto-lateralsten Teil des Jochbogens (in der Schicht, in der die Pupillen voll sichtbar sind) setzten wir als *lateralen Punkt* fest.

Den *medialen Begrenzungspunkt* stellte die gedachte Verbindungslinie zwischen Nasenbein und Wand der Siebbeinzellen (was ungefähr dem Tränenbein entspricht) dar.

Eine Verbindungslinie zwischen *lateralem* und *medialem* Begrenzungspunkt stellte die vordere Begrenzung der Orbita dar. Die gleiche Art der vorderen Begrenzung wählten auch einige andere Autoren, allerdings bislang nur für Orbitavolumenbestimmungen mit der CT (Bite et al., 1984) (Forbes et al., 1985) (McGurk et al., 1992) (Carls et al., 1994) (Schuknecht et al., 1996) (Deveci et al., 2000) (Ramieri et al., 2000).

Die dorsale Begrenzung stellte das noch gut sichtbare Ende des knöchernen Orbitatrichters nach Abgang des Nervus opticus dar (Abb. 17). Auch diese hintere Begrenzung wurde bereits von einigen Autoren gewählt (Bite et al., 1984) (Carls et al., 1994) (Schuknecht et al., 1996), im Gegensatz zu jenen, die sich für den Sehnervenaustritt im Foramen opticum als hintere Begrenzung entschieden (McGurk et al., 1992) (Deveci et al., 2000) (Ramieri et al., 2000) (Fan et al., 2003).

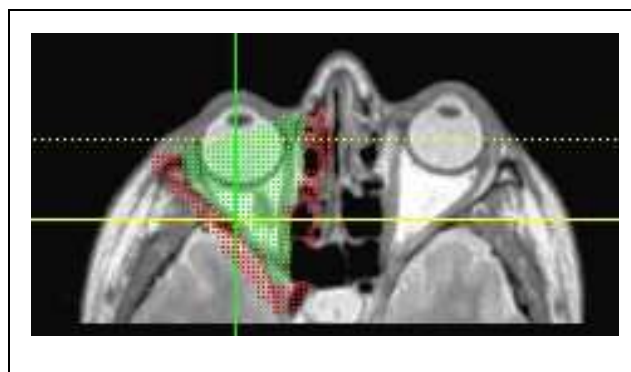


Abb. 17: Vordere und hintere Orbitabegrenzung (Quelle: Institut für Röntgendiagnostik des Klinikums rechts der Isar der Technischen Universität München)

Da die vordere und hintere Begrenzung manuell eingezeichnet werden musste, wurde als Qualitätssicherung und als Beweis für die interindividuelle und intraindividuelle Untersucherunabhängigkeit für die ersten MRT-Volumenberechnungen eine so genannte 3x3x3-Studie 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 an unterschiedlichen Tagen jeweils dreimal volumetriert.

Es ergaben sich 27 Werte (je neun pro Untersucher), die mit dem Student's T-Test als signifikant zueinander bestätigt werden konnten.

Somit war die interindividuelle und intraindividuelle Untersucherunabhängigkeit durch die Konstanz der Messergebnisse gewährleistet.

Abb. 18 und Abb. 19 stellen die Ergebnisse der 3x3x3-Studie nochmals bildlich dar.

(A, B und C entsprechen den jeweilig segmentierten Orbitawerten der drei Patienten, die von allen drei Untersuchern an drei verschiedenen Tagen ermittelt wurden.)

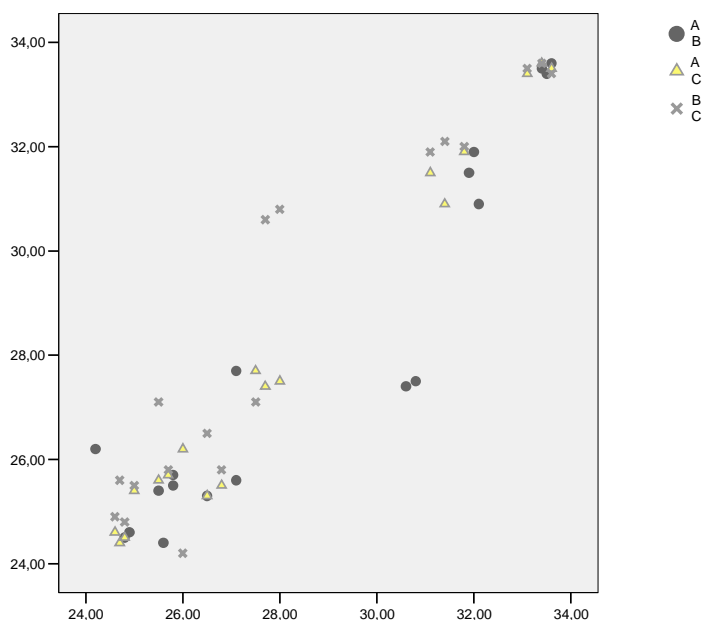


Abb. 18: Inter- und intraindividuelle Untersucherunabhängigkeit

A=Patient 1 ; B=Patient 2 ; C=Patient 3

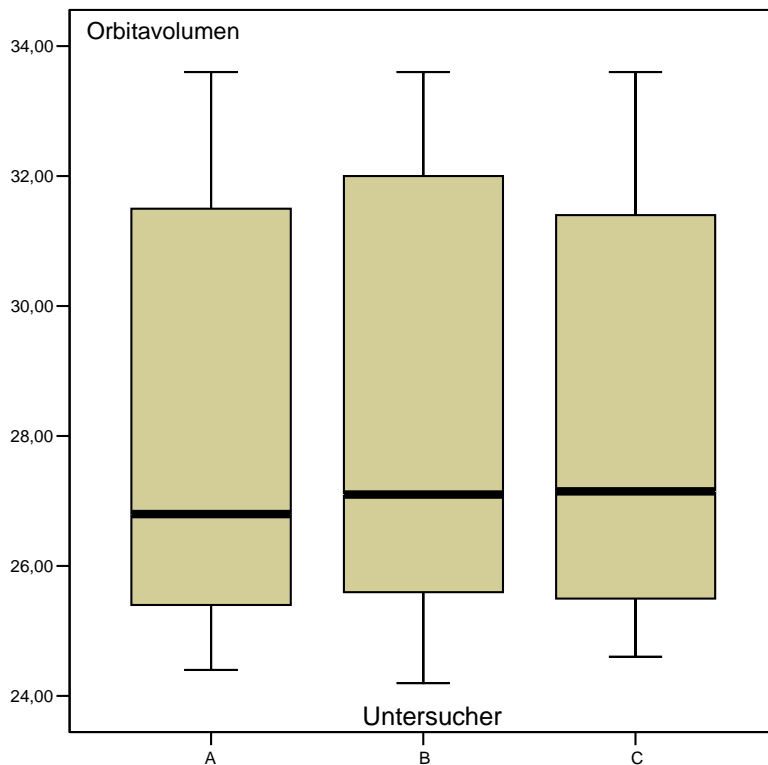

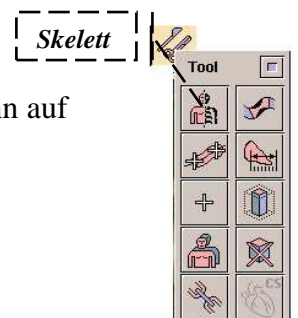


Abb. 19: Orbitavolumen

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:

- Aufrufen des Patientennamen über „data list“.
- Auswählen der axialen PDW-Aufnahme in pd-data, in oberer Bildschirmleiste „generate a sequence“  wählen, dann „orbita cor“ und „edit“.
- 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.
- Markieren des neu erstellten Datensatz, „Tool“ und „Skelett“ wählen, dann auf „New“.
- Erscheinen des coronaren Bildes im 3-D-Modus, bereit zum Bearbeiten.



- 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 Teilen.
- Zweimaliges Anklicken von „Speck removal“, um überschüssige Pixel zu entfernen, und dann die rechte Maustaste drücken, um von der coronaren Ebene in die axiale Ebene zu wechseln.
- „select target“ und „edit target“ benutzen, um die Pixelfarben zu entfernen und das MRT-Bild in schwarz-weiß zu sehen.
- Betrachtung des kleinen coronaren Bildes am oberen rechten Bildschirmrand und Verschieben der horizontalen gelben Linie ungefähr in die Mitte des Bulbus.
- Auswählen des Lassos mit der Kennzeichnung „exclude exterior“ bei vor dem Entfernen der Farben mit „select target“ und „edit target“ grün gefärbtem Bild (sonst Ändern mit einem grünen „seed point“)
- Setzen des ersten Lassopunktes auf die ventralste Stelle des zygomatikofrontalen Fortsatzes und den zweiten Lassopunkt auf den vorderen Übergang der medialen Wand in das Os nasale zur Festlegung der vorderen Orbitabegrenzung.
- Festlegung der hinteren Begrenzung: Suchen der Schicht, in welcher der Orbitatrichter am längsten und weitesten dargestellt ist und dort Setzen des nächsten Lassopunktes ans Ende des Trichters. Ergebnis: Vorhandensein eines um den gewünschten Bereich geschlossenen Lassos, wobei der Innenbereich grün und der Außenbereich rot dargestellt sein sollte. Das Programm zählt die grünen Pixel und berechnet auf diese Weise das Volumen.
- Wechseln durch eine Schaltfläche links oben in den 2-D-Modus, um dort die Feinbearbeitung vorzunehmen
- Das Bild ist nun automatisch in coronarer Ebene eingestellt.
- Ansonsten Klicken mit der rechten Maustaste im Bild und Auswählen der gewünschten Ebene.
- Ausschneiden der knöchernen Orbitabegrenzung in coronarer Ebene Schicht für Schicht mit dem Schaltfeld „Messer“. (Der Orbitavolumenbereich ist grün und der Außenbereich rot dargestellt. Bei falscher farblicher Darstellung des Innen- und Außenbereichs, Korrektur mit roten oder grünen Seed-Punkten.)

Das Zeichen (+/-) im unteren mittleren Drittel des Bildschirms verschiebt den gesamten Datensatz jeweils um eine Schicht nach vorne oder hinten.

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 ohne Störfaktoren weiter bearbeitet werden.

Zur Fertigstellung der Segmentation „confirm“ wählen, und dann „measurement“. Nun kann das segmentierte Volumen, das dem grünen Bildbereich entspricht, abgelesen werden.

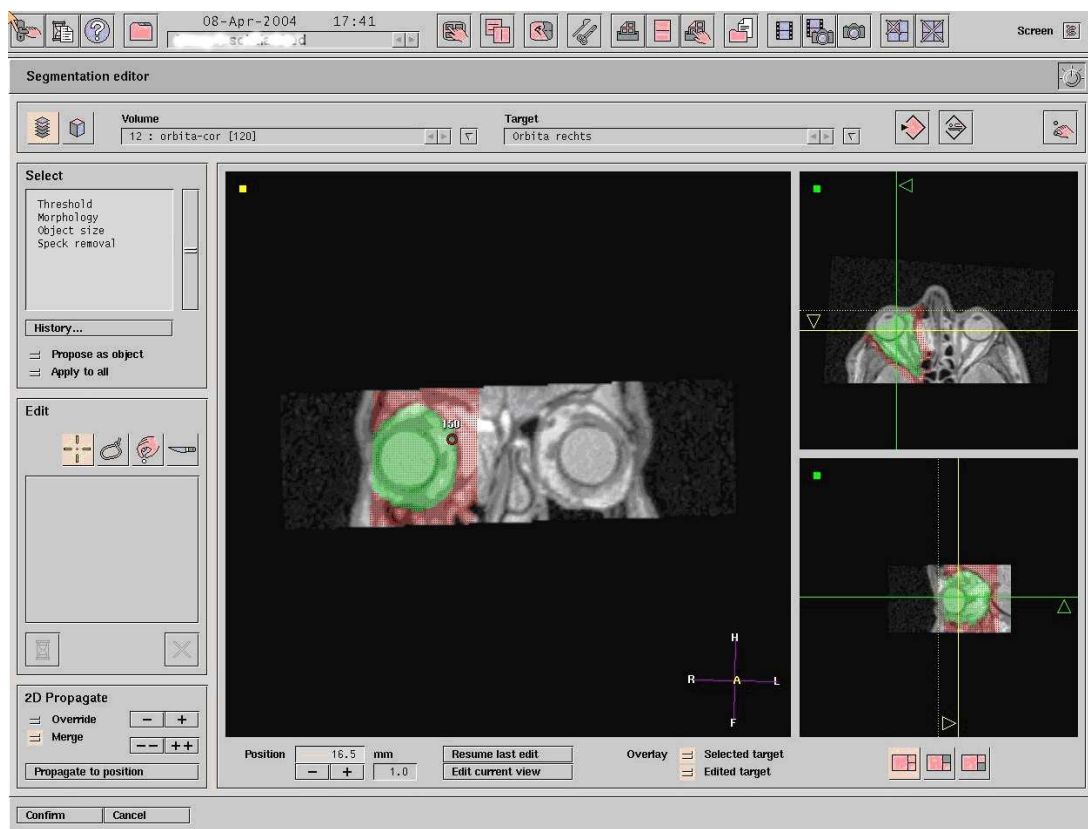


Abb. 20: Zweidimensionale Bildschirmansicht im Segmentationsprogramm Easy Vision

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 Fettgewebeprolapse, 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).

Die Volumenbestimmung der 25 Patienten, die zusätzlich mit der Mikropsule untersucht worden waren, stellte sich durch den verbesserten Kontrast und die bessere Auflösung als einfacher dar.

4.4.4 Volumenmessung des Bulbus

Um herauszufinden, ob es postoperativ möglicherweise zu einer Schrumpfung des Bulbus kommt, volumetrierten wir die Bulbi der gesunden und verletzten Augen mit Hilfe T2-gewichteter MRT-Aufnahmen.

Für diese Volumenmessung standen insgesamt 62 Bulbi von fakturierten Orbitae und 38 Bulbi von gesunden Orbitae zur Verfügung

So war eine Gegenüberstellung von krankem zu gesundem Auge in 38 Fällen möglich.

Einige Bulbusvolumina konnten nicht segmentiert werden, da es entweder keine T2-Aufnahmen gab oder jeweils das gesunde Auge nicht gemessen wurde.

Einige dieser fehlenden Volumenmessungen konnten durch entsprechende Segmentation von PDW-Aufnahmen ersetzt werden, was sich jedoch als schwieriger und ungenauer verglichen mit der Segmentation der T2-Aufnahmen erwies.

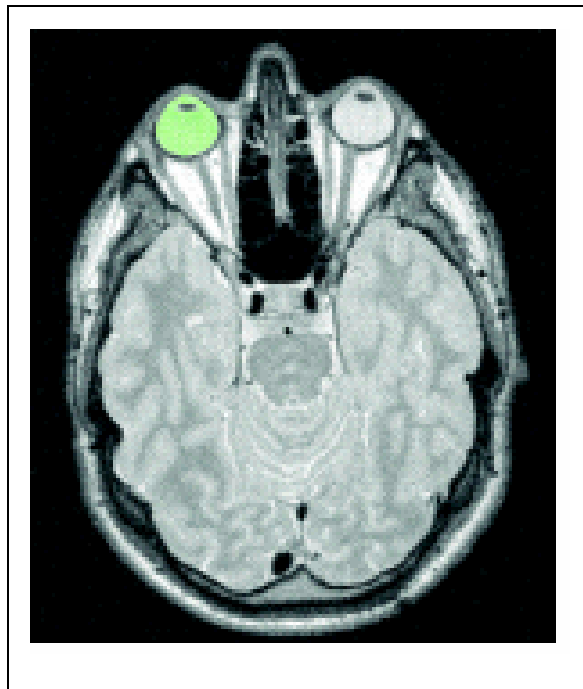


Abb. 21: PD-gewichtete MRT-Aufnahme für die Volumenbestimmung des Bulbus

Die Messung der Bulbusvolumina gestaltete sich einfacher, als die der Orbitavolumina. Sie konnte in isotropen T2-gewichteten Aufnahmen mit Hilfe einer vollautomatischen Segmenta-

tion durchgeführt werden. Diese lieferte genügend Kontrast für die Unterscheidung von Bulbus und restlichem Orbitagewebe und konnte somit schnell und standardisiert durchgeführt werden.



Abb. 22: Isotrope hochauflösende T2-gewichtetes MRT-Bild zur Volumensegmentation des Bulbus

Methodik der Bulbussegmentation:

- Aufrufen des Patientennamen über „data list“
- Auswählen des isotropen T2-gewichteten Bildes in pd-data, danach „tool“, „Skelett“ und „Werkzeug“ wählen, dann auf „New“
- Nun erscheint das axiale Bild im 3-D-Modus, bereit zum Bearbeiten.
- Die Schwelle muss so gesetzt werden, dass bei Doppelklick auf den Bulbus mit einem grünen Seed-Punkt sich dieser automatisch grün färbt, während der Rest komplett rot bleibt. Die Graustufenschwellenwerte sind bei jedem Bild unterschiedlich und bewegen sich im Durchschnitt zwischen 400 und 600.
- Bei Doppelklick mit dem grünen Seed-Punkt färbt sich allein der Bulbus grün und die Segmentation ist vollständig.
- Beenden mit „confirm“, um im nächsten Fenster mit „measurement“ das Bulbusvolumen zu bestimmen.

4.4.5 Prolapse von Orbitainhalt und deren Volumenbestimmung

Das Gesamtkollektiv wurde hinsichtlich vorhandener Muskel- und Fettgewebeprolapse untersucht.

Schon ein kleiner Muskelprolaps kann zu starken Motilitätseinschränkungen führen.

Direkte Muskeleinklemmungen oder sogar –inkarzerationen sind sehr selten nachzuweisen und sollten operativ saniert werden (Jackson et al., 1993) (Whitehouse et al., 1993) (Burm et al., 1999).

Laut Mazok et al. sind die beiden Augenmuskeln, die am häufigsten an Muskelprolapsen beteiligt sind der Muskulus rectus inferior und der Muskulus obliquus inferior, da beide Muskeln in das Lockwood`s Band münden (Mazock et al., 2004).

Prolapsvolumina

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 prolabierte Gewebes wurde in den MRT-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 4.4.3 Orbitavolumenbestimmung) segmentiert.

Das Resultat war eine sehr genaue Volumenbestimmung in den MRT-Aufnahmen.

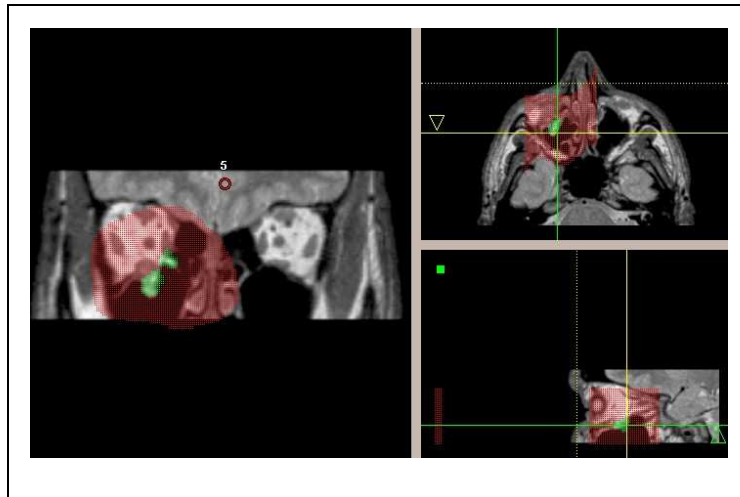


Abb. 23: Coronare, sagittale, axiale PDW-Aufnahme

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. Am Ende addiert er diese Flächen zu einem dreidimensionalen Prolapsvolumen. Das Programm wurde hauptsächlich für jene Prolapse verwendet, die mit dem Easy-Vision-Programm nicht segmentiert werden konnten (aufgrund fehlender PDW-Sequenzen der MRT). Außerdem dienten die errechneten Werte dem Vergleich und der Kontrolle der nach Methode 2 ermittelten Werte.

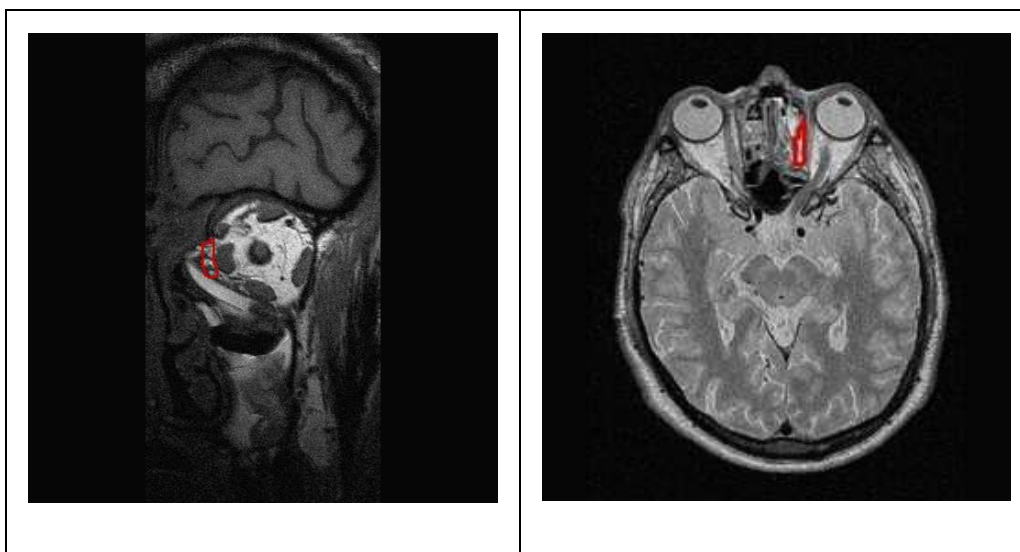


Abb. 24: Darstellung des Prolaps der medialen Wand der linken Orbita nach Methode 3 in coronarer T2-Wichtung und axialer PDW-Aufnahme

4.4.6 Sonstige Pathologien

Viele Patienten wiesen ophthalmologische Symptome wie Enophthalmus, Diplopie und Beweglichkeitseinschränkungen auf.

Muskelkontusionen oder Muskelprolapse, die durch verstärkten Zug von intraorbitalen Septen des Fettgewebes hervorgerufen werden, sowie direkte Muskeltraumata mit Ödemen und Hämatomen können für eine persistierende Doppelbildwahrnehmung verantwortlich sein. Diese können in der Regel konservativ behandelt werden.

Direkte Muskeleinklemmungen oder gar –inkarzerationen sind sehr selten nachzuweisen und sollten operativ saniert werden (Jackson et al., 1993) (Whitehouse et al., 1994) (Burm et al., 1999). Um diese Komplikationen besser darstellen 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:

= 0 - 2 mm, d.h. noch kein Enophthalmus, sondern nur alternierende Bulbusposition

= 2 - 3 mm

= über 3 mm

Diplopie:

= Bei Blickwendung über 30 Grad

= Bei Blickwendung von 0 – 30 Grad

Motilitätsstörungen:

= Keine Motilitätseinschränkungen vorhanden

= Motilitätseinschränkungen vorhanden

Artefaktbildung in der MRT

Artefakte gehen häufig mit einer Verschlechterung der Bildqualität einher.

Neben Bewegungsartefakten spielen vor allem Metallartefakte eine große Rolle.

Da außer Metallartefakten in der Bewertung dieses Vergleichskollektivs kaum Bewegungsartefakte gefunden werden konnten, beschränkte sich die Beurteilung von Artefakten auf das Vorhandensein von Metallartefakten.

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%

Sonstige Befunde

Bei verschiedenen Patienten konnten noch weitere verschiedene Befunde wie z.B. Augenspiegel, Hypophysentumor o.ä. in der MRT erhoben werden, die jedoch keinen direkten Einfluss auf die eigentlichen Untersuchungskriterien haben und auf die deshalb nicht näher eingegangen werden soll.

4.5 Statistische Auswertung

Die statistische Analyse wurde mit SPSS für Windows, Version 11.5.1 (SPSS Inc., Chicago, Ill. USA) in Absprache mit dem Institut für Medizinische Statistik und Epidemiologie des Klinikums rechts der Isar durchgeführt.

Die Daten wurden weitestgehend mit deskriptiver Statistik ausgewertet. Weitergehende statistische Auswertungsergebnisse werden in dieser Arbeit nur dargestellt, wenn die Daten signifikant unterschiedlich sind.

4.6 Patientenkollektiv

4.6.1 Patientenkollektiv I

Aus dem traumatologischen Patientengut der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie der Technischen Universität München wurden in das Patientenkollektiv I 49 Patienten mit versorgten Orbitaboden-, Orbitawand- und Mittelgesichtsfrakturen (Zeitraum von September 2001 bis einschließlich Oktober 2004) aufgenommen. Alle ausgewählten Patienten wurden postoperativ mit einem 1,5 T MRT mit Hilfe einer Kopfspule untersucht.

40 Patienten waren männlichen, 9 weiblichen Geschlechts. Das Durchschnittsalter zum Zeitpunkt der operativen Versorgung lag bei den Männern bei 37,7 Jahren, bei den Frauen bei 44,2 Jahren. Die älteste Patientin war 83 Jahre und der jüngste 11 Jahre alt.

Es wurden postoperativ ein oder mehrere MRT-Aufnahmen pro Patient angefertigt. Für diese Studie wurde aber jeweils nur die erste postoperative Aufnahme in den Datenbestand aufgenommen.

Einfache rechtsseitige Frakturen bestanden bei 19 Patienten, einfache linksseitige bei 14 und beidseitige Frakturen bei 16 Patienten. Ursächlich für oben genannte Frakturen waren

- Verkehrsunfälle (n=28) 57,2%,
- Sportunfälle (n=11) 22,4% und
- Schlägereien (n=10) 20,4%.

Über die Einteilung der Frakturtypen geben Tab. 3 und Abb. 25 einen Überblick.

		Häufigkeit	Prozent
Gültig	Medial	15	30,6
	Kaudal	4	8,2
	kaudal mit Übergang zu medial	25	51,0
	Lateral	5	10,2
	Gesamt	49	100,0

Tab. 3: Einteilung der Frakturtypen

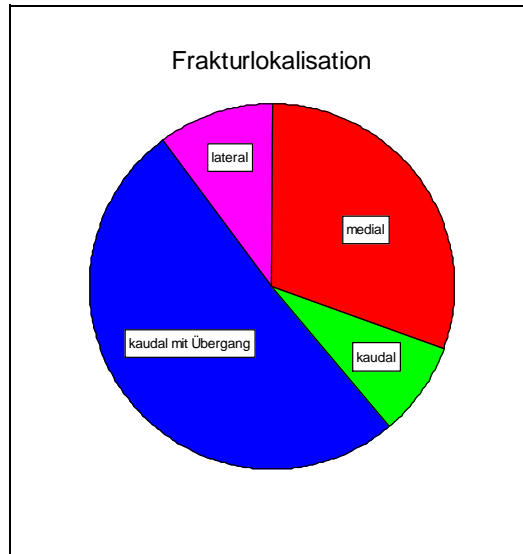


Abb. 25: Frakturtypen Patientenkollektiv I

4.6.2 Patientenkollektiv II

Als sich im Laufe der Studie noch die Möglichkeit bot, zusätzlich zur Kopfspule eine 47mm Mikropule einzusetzen, wurden bei einem Kollektiv von 25 Patienten zusätzlich mit dieser Aufnahmetechnik Bilder gemacht, um herauszufinden, welche Vorteile diese neue Aufnahmetechnik bietet.

Frakturursache bei den oben genannten 25 Patienten war:

Autounfälle (n=11)

Sportunfälle (n=08)

Schlägereien (n=06)

Von diesen 25 waren 16 (64%) männlichen und 9 (36%) weiblichen Geschlechts und das mittlere Alter lag bei 28 Jahren (Range: 17-55).

15 Patienten litten an ein- oder beidseitigen isolierten medialen Orbitawandfrakturen, gefolgt von 10 kombinierten medialen Orbitawand- und –bodenfrakturen. Alle Frakturen gingen mit Mittelgesichtsfrakturen einher.

Nach Rekonstruktion von 27 ausgedehnten Orbitawandfrakturen und Orbitabodenfrakturen (kleinste Ausdehnung beträgt 2cm, gemessen im präoperativen CT) wurden die Patienten mit einem 1,5 T MRT unter Verwendung einer 47mm Mikrooberflächenspule untersucht.

Sechs von 25 Patienten (mit 8 Frakturen) zeigten eine Verbesserung aller klinischen Symptome bis zum 12. postoperativen Tag, so dass eine Untersuchung mit dem MSCT nicht notwendig war.

Bei 19 von 25 Patienten (mit 19 Frakturen) mit persistierender pathologischer Bulbusstellung, Doppelbildwahrnehmung oder eingeschränkter Beweglichkeit des Auges wurde eine MSCT-Aufnahme als Goldstandard zusätzlich zum MRT angefertigt. Keiner der betreuten Patient erhielt ein CT nur zu Studienzwecken.

Der Zeitraum zwischen Operation und Bildgebung lag für das MRT bei durchschnittlich 28,8 Tagen. Der kürzeste Abstand betrug 3 Tage, der längste 138 Tage. Der Median betrug 14 Tage. Dieses Intervall ist wichtig, um schwellende Einflüsse zu minimieren.

5 Ergebnisse und Diskussion

Im folgenden Teil der Arbeit werden die Ergebnisse der Auswertung der MRT-Aufnahmen zur Darstellbarkeit der Folien, der Orbita- und Bulbusvolumetrie, der Prolapsdarstellung und der Darstellung anderer Pathologien zusammengefasst. Außerdem werden mögliche Zusammenhänge zwischen einem vorhandenen Enophthalmus und weiteren Untersuchungsbefunden analysiert. Die dargestellten Pathologien werden mit den Befunden der augenärztlichen Untersuchungen verglichen.

5.1 Foliendarstellung und Lage der Folie

Wie bereits in Kap. 3 dargestellt, werden Patienten mit ausgedehnten Frakturen der Orbitawand im Klinikum rechts der Isar durch Einbringen einer PDS-Folie behandelt. Diese Folie besteht aus alloplastischem Material und bietet Vorteile in ihrer Stabilität und Flexibilität bei gleichzeitiger Resorbierbarkeit und breiter Verfügbarkeit. In MRT-Bildern erscheint die Folie in den T1-, T2- und protonendichtegewichteten Bildern als eine dünne, schwach signalintensive Struktur (Abb. 26).

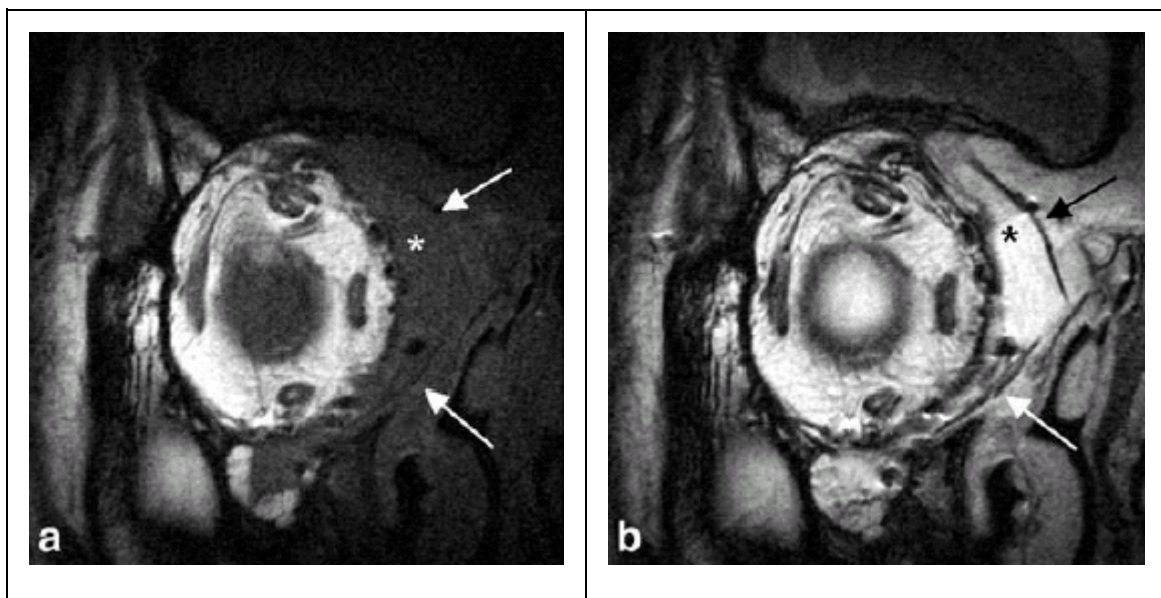


Abb. 26: In MRT-Bildern a und b mit Pfeilen markierte Lage der Folie

Bis zu 50% aller Patienten leiden nach einer Orbitawandrekonstruktion mit der PDS-Folie an Motilitätsstörungen, Doppelbildwahrnehmung oder einem Enophthalmus (Kontio et al., 2001) (Jank et al., 2003a). Grund für derartige Beschwerden kann eine dislozierte, prolabierte oder falsch positionierte Folie sein. Weil eine solche fehlerhafte Folienlage jedoch nicht durch eine ophthalmologische Nachuntersuchung festgestellt werden kann, müssen bildgebende Verfahren zur Lokalisation eingesetzt werden.

Im **Patientenkollektiv I** konnte die Folie mit der Kopfspule in der T1-Wichtung 30mal (61,2%) klar dargestellt werden. 6mal (12,2%) war sie fraglich darstellbar und 13mal (26,5%) resorbiert bzw. nicht darstellbar (s. Tab. 4).

		Häufigkeit	Prozent
gültig	darstellbar	30	61,2
	fraglich darstellbar	6	12,2
	resorbiert bzw. nicht darstellbar	13	26,5
	gesamt	49	100,0

Tab. 4: Darstellung der Folie in T1-Wichtung

Bei den T2-gewichteten Aufnahmen war sie 28mal (57,1%) darstellbar, 8mal (16,3%) fraglich darstellbar und 13mal (26,5%) resorbiert bzw. nicht darstellbar (s. Tab. 5).

		Häufigkeit	Prozent
gültig	darstellbar	28	57,1
	fraglich darstellbar	8	16,3
	resorbiert bzw. nicht darstellbar	13	26,5
	gesamt	49	100,0

Tab. 5: Darstellung der Folie in T2-Wichtung

Bei den protonendichtegewichteten Aufnahmen konnte die Folie 32mal (65,3%) klar dargestellt werden, 4mal (8,2%) war sie fraglich darstellbar und 13mal (26,5%) resorbiert bzw. nicht darstellbar (s. Tab. 6).

		Häufigkeit	Prozent
gültig	darstellbar	32	65,3
	fraglich darstellbar	4	8,2
	resorbiert, bzw. nicht darstellbar	13	26,5
	gesamt	49	100,0

Tab. 6: Darstellung der Folie in PD-Wichtung

Im Vergleich der verschiedenen Wichtungen T1, T2 und PDW finden sich, was die Darstellbarkeit der Folie betrifft, keine großen Unterschiede. Eine „beste“ Sequenz zur Darstellung der Folien durch die MRT konnte nicht eindeutig gefunden werden.

Die Lage der darstellbaren Folien wurde bei den T1-gewichteten Bildern folgendermaßen erkannt: Es lagen 22 regelrecht, bei 6 Aufnahmen war unter der Folie ein Hämatom bzw. die Folie angehoben und 2mal war diese disloziert. Bei den T2-gewichteten Bildern wurden folgende Ergebnisse erzielt: Es lagen 21 regelrecht, bei 6 Aufnahmen war unter der Folie ein Hämatom bzw. die Folie angehoben und 1mal war diese disloziert

Im **Patientenkollektiv II**, welches mit der hochauflösenden Mikrospule untersucht wurde, konnte die Folie bei 20 Patienten (80%) nachgewiesen werden. Die Folie konnte als eine dünne, lineare Struktur mit niedriger Signalintensität dargestellt werden. Es wurden keine Unterschiede in Aufnahmen in T1- zu T2- und pd-gewichteten Bilder festgestellt.

Bei 6 symptomfreien Patienten konnte das postoperative MRT die korrekte Folienlage ohne Weichteilgewebseinklemmungen oder große Hämatome nachweisen. Die Lage der Folie wurde bei den pd-gewichteten Bildern folgendermaßen erkannt:

Von den in 48 Augen darstellbaren 48 Folien lagen 28 regelrecht, bei 8 Aufnahmen war unter der Folie ein Hämatom (s. Abb. 27) bzw. die Folie war angehoben, 9mal war diese disloziert und 3mal ins Fettgewebe disloziert.

Wie bei den konventionellen Aufnahmen mit der Kopfspule stellten sich auch bei Aufnahmen mit der Mikrospule keine gravierenden Unterschiede in der Darstellungsqualität der PDS-Folie zwischen den verschiedenen Wichtungen heraus.

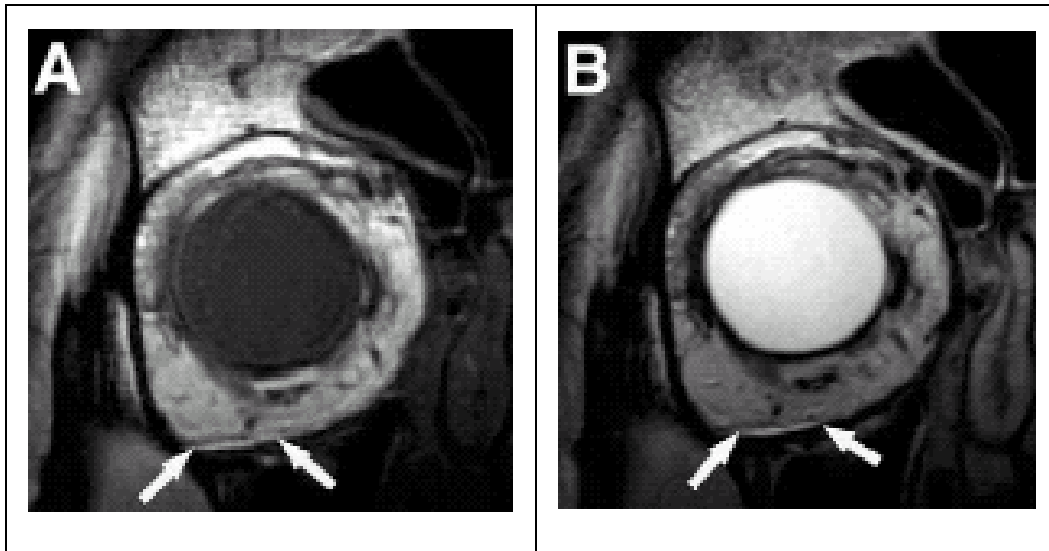


Abb. 27: Hochauflösende (A) T1- und (B) T2-gewichtete Mikrospulen-MRT-Bilder mit einer regulären PDS-Folienlage, die nahe der Folie kleine Hämatome zeigen (Pfeile). (Kolk et al. Microscopy MR Coil for Orbital Imaging. J Oral Maxillofac Surg 2005)

Im Vergleich zur Kopfspule erhöhte die Mikrospule das Signalrauschverhältnis (SRV) um ca. den Faktor 4 bei gleichen Bild-Parametern und gleicher Messzeit mit einer viel größeren Detailgenauigkeit.

Bei 5 von 22 Orbitae der mit der Mikrospule untersuchten Patienten zeigte sich eine klare Indikation zur Korrektur dislozierter Folien. In weiteren 6 Fällen deckte die Untersuchung auf, dass die Fraktur durch die PDS-Folie nicht ausreichend abgedeckt wurde, so dass diese in einem weiteren Eingriff ausgetauscht werden mussten.

Bei beiden Verfahren ist die PDS-Folie gut zu sehen, wenn sie ins Fettgewebe disloziert ist. Dies gilt sowohl in T1, T2 als auch in pd-gewichteten Bildern. Liegt die Folie korrekt auf dem Knochen, ist sie schlecht darstellbar. In diesem Fall kann das MRT nur zur Ausschlussdiagnostik benutzt werden.

Kolk et al. kamen 2004 zu dem Ergebnis, dass MRT-Aufnahmen zur Darstellung der PDS-Folie besser geeignet sind als CT-Aufnahmen. Konventionelle Aufnahmen mit der Kopfspule wiesen jedoch oft keine große räumliche Auflösung für die Darstellung von alloplastischem Material wie dem der PDS-Folie auf.

Hinsichtlich der Sensitivität der Darstellung und Lokalisation der PDS-Folie erwies sich die Mikrospule als eindeutig präziser als die Kopfspule. Auch in der Darstellung der Fraktur und eines evtl. dislozierten Orbitainhaltes war die Mikrospule der Kopfspule klar überlegen.

5.2 Orbitavolumen

Als Ergebnis der Auswertung der pd-gewichteten MRT-Bilder standen beim Patientenkollektiv I zuverlässige Volumenangaben für 30 Augenpaare (60 Orbitae) zur Verfügung. Bei den 20 einseitigen Orbitafrakturen dienten die gesunden Orbitae als Kontrolle. Die Ergebnisse der Auswertung sind in Tab. 7 und Abb. 28 zusammenfassend dargestellt.

Bei den *einseitig frakturierten* Orbitae betrug der Mittelwert des Volumens bei rechtsseitiger Orbitafraktur für diese Seite 32,7 cm³ und für die linke Seite (gesund) 29,6 cm³. Bei linksseitiger Orbitafraktur betrug der Mittelwert für diese Seite 29,0 cm³ und für die rechte Seite (gesund) 27,0 cm³. Der Mittelwert für die Volumina der frakturierten Orbitae betrug 31,6 cm³ und für die gesunde Orbitae 28,7 cm³.

Bei den *beidseitig frakturierten* Orbitae betrug der Mittelwert des Volumens für die rechte Seite 33,2 cm³ und für die linke Seite 31,8 cm³.

Der Gesamtmittelwert aller frakturierten Orbitae betrug 32,1 cm³, der Gesamtmittelwert der gesunden Orbitae betrug 28,7 cm³. Es zeigt sich eine Zunahme des Orbitavolumens von gesunder zu frakturierter Orbita von fast 12 %.

frakturierte Orbita (Seite)		Orbita rechts	Orbita links
rechts	Mittelwert	32,704	29,450
	N	14	14
	Standardabweichung	3,9207	1,9771
links	Mittelwert	26,950	29,033
	N	6	6
	Standardabweichung	4,0545	4,8028
beidseits	Mittelwert	33,240	31,800
	N	10	10
	Standardabweichung	4,6208	4,2353
	N	30	30
	Standardabweichung	4,7247	3,5678

Tab. 7: Orbitavolumina Patientenkollektiv I

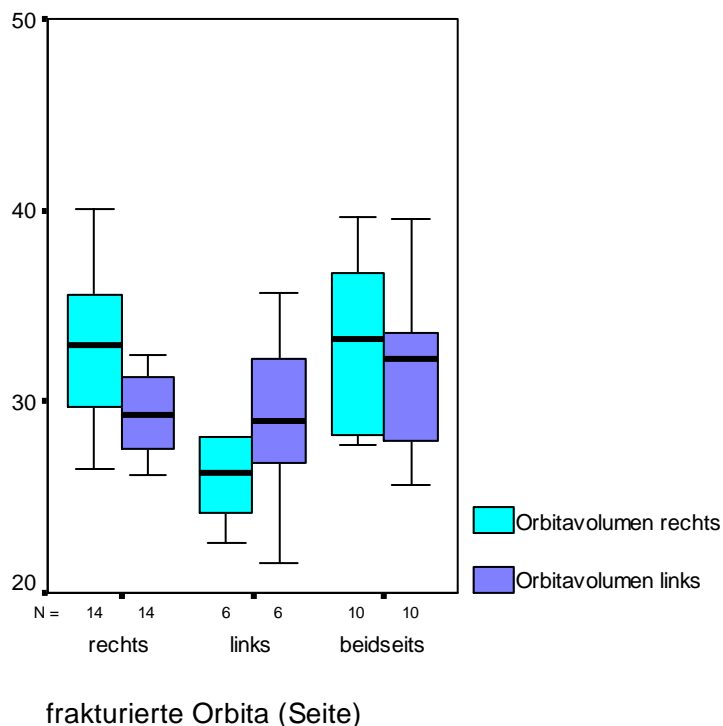


Abb. 28: Orbitavolumina Patientenkollektiv I

5.3 Bulbusvolumen

Im Patientenkollektiv I konnten in 30 Fällen die Bulbi intakter Orbitae mit den Bulbi von frakturierten Orbitae miteinander verglichen werden. In weiteren 12 Fällen stehen für beidseitige Orbitafrakturen Bulbusvolumina zur Verfügung. Wie bereits im Vorfeld beschrieben, wurden T2-gewichtete Aufnahmen zur Auswertung verwendet. Die Ergebnisse der Auswertung sind in Tab. 8 und Abb. 29 zusammenfassend dargestellt.

Bei den *einseitig frakturierten* Orbitae betrug der Mittelwert des Volumens bei rechtsseitiger Orbitafraktur für diese Seite $6,36 \text{ cm}^3$ und für die linke Seite (gesund) $6,41 \text{ cm}^3$. Bei linksseitiger Orbitafraktur betrug der Mittelwert für diese Seite $6,47 \text{ cm}^3$ und für die rechte Seite (gesund) $6,34 \text{ cm}^3$. Der Mittelwert für die Bulbusvolumina der frakturierten Orbitae betrug $6,41 \text{ cm}^3$ und für die gesunde Orbitae $6,38 \text{ cm}^3$.

Bei den *beidseitig frakturierten* Orbitae betrug der Mittelwert des Volumens für die rechte Seite $6,25 \text{ cm}^3$ und für die linke Seite $6,28 \text{ cm}^3$. Der Gesamtmittelwert aller frakturierten Orbitae betrug $6,35 \text{ cm}^3$.

Die Auswertungen zeigten keinen signifikanten Unterschied zwischen den Bulbusvolumina von intakten und traumatisierten Orbitae.

frakturierte Orbita (Seite)		Bulbusvolumen rechts	Bulbusvolumen links
rechts	Mittelwert	6,3604	6,4114
	N	17	17
	Standardabweichung	,79865	,86196
links	Mittelwert	6,3383	6,4685
	N	13	13
	Standardabweichung	1,38918	1,13537
beidseits	Mittelwert	6,2469	6,2828
	N	12	12
	Standardabweichung	,42649	,55982

Tab. 8: Bulbusvolumina

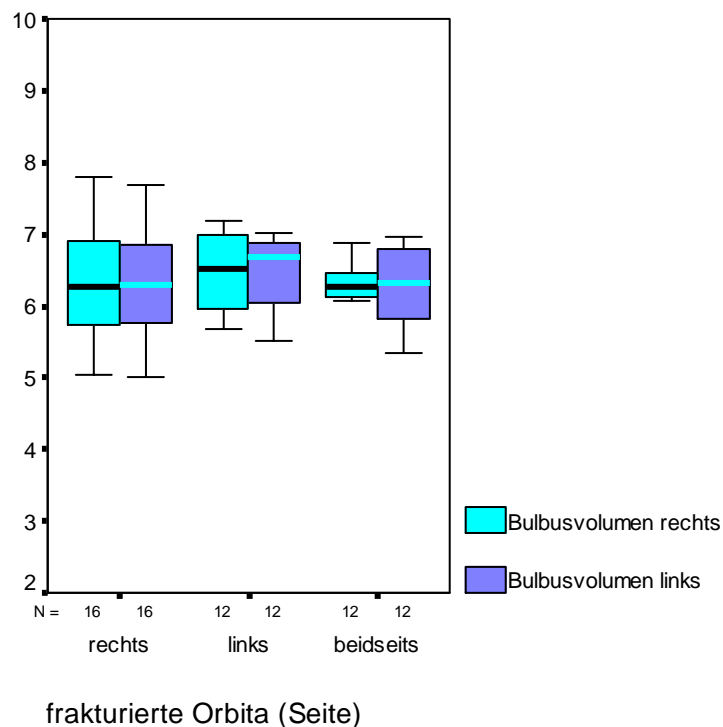


Abb. 29: Bulbusvolumina

Auf Grund der Ergebnisse im Patientenkollektiv I wurde beim Patientenkollektiv II auf eine Untersuchung der Bulbusvolumina verzichtet.

5.4 Prolapsvolumen

Bei den 49 untersuchten Patienten des Patientenkollektivs I wurden 17 Fettgewebeprolapse gefunden. Dabei betrug das Durchschnittsvolumen der 17 Prolapse 0,67 cm³. Der kleinste

Wert betrug $0,15 \text{ cm}^3$, der größte $1,51 \text{ cm}^3$ (SD: $0,41 \text{ cm}^3$). Die Ergebnisse zur Lokalisation sind in Tab. 9, die Ergebnisse des mittleren Volumens in Abhängigkeit zur Lokalisation in Tab. 10 zusammengefasst.

		Häufigkeit	Prozent
gültig	keiner	32	65,3
	Orbitaboden	2	4,1
	mediale Wand	6	12,2
	Übergang	1	2,0
	Wand tief im Trichter	8	16,3
	gesamt	49	100,0

Tab. 9: Lokalisation der Prolapse (Patientenkollektiv I)

		Volumen
Lokalisation	Orbitaboden	0,5335
	mediale Wand	0,5099
	Übergang	0,6279
	Wand tief im Trichter	0,8338

Tab. 10: Prolapsvolumina in Abhängigkeit zur Lokalisation

15 Prolapse bei 13 Patienten aus dem Patientenkollektiv I wurden genauer hinsichtlich Lokalisation, Darstellung und Zusammenhängen zu postoperativen Komplikationen untersucht. Die folgenden 4 Abbildungen zeigen Prolapse an verschiedenen Lokalisationen der Orbitawand. Abb. 30 zeigt einen Bodenprolaps der rechten Orbita, Abb. 31 einen kleinen Prolaps periorbitalen Weichteilgewebes medial ohne Einklemmung des M. rectus medialis und des M. obliquus superior. In Abb. 32 ist ein eingeklemmter M. rectus medialis zu sehen nach ungenügender Abdeckung durch die PDS-Folie. Abb. 33 stellt einen medialen Fettgewebe- und Muskelprolaps der linken Orbita dar.

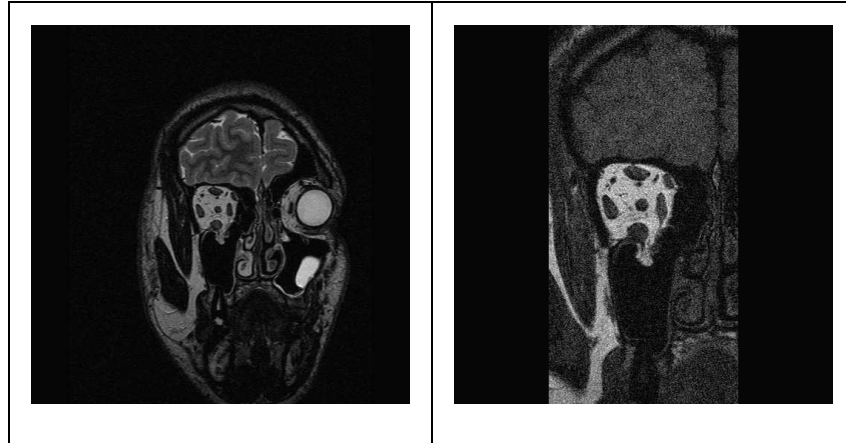


Abb. 30: Coronare Darstellung des Bodenprolapses einer rechten Orbita in T2-Wichtung (links) und T1-Wichtung (rechts)

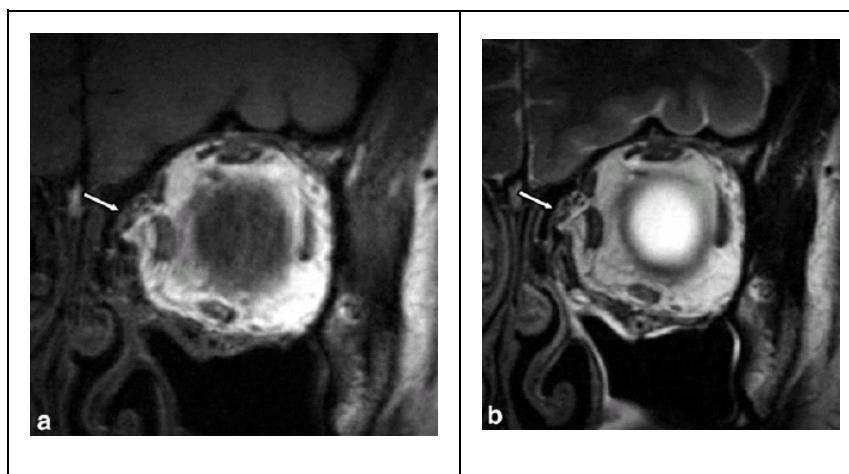


Abb. 31: Hochauflösende koronare T1-(a) und T2-(b) gewichtete MRT-Bilder eines Patienten mit persistierender Doppelbildwahrnehmung, die einen kleinen Prolaps periorbitalen Weichteilgewebes ohne Einklemmung des M. rectus medialis und des M. obliquus superior zeigen (Pfeil).

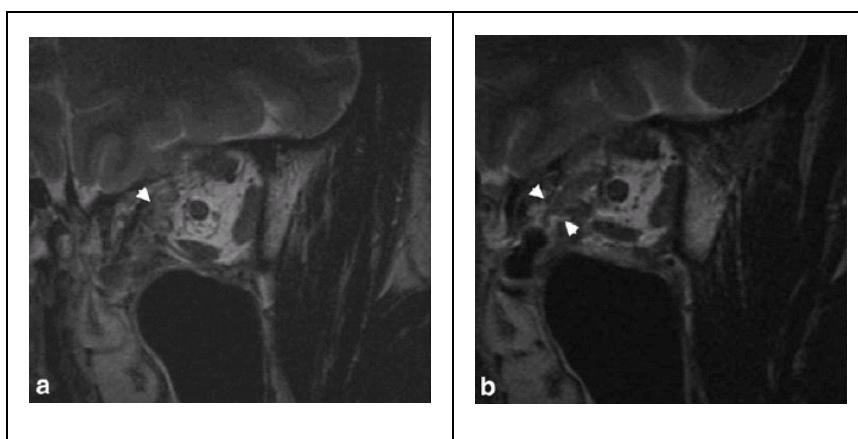


Abb. 32: Hochauflösende coronare T2-gewichtete MRT-Bilder (a, b), die eine Einklemmung des M. rectus medialis (Pfeile) tief in der Augenhöhle nach einer ungenügenden Abdeckung durch die Folie zeigen.

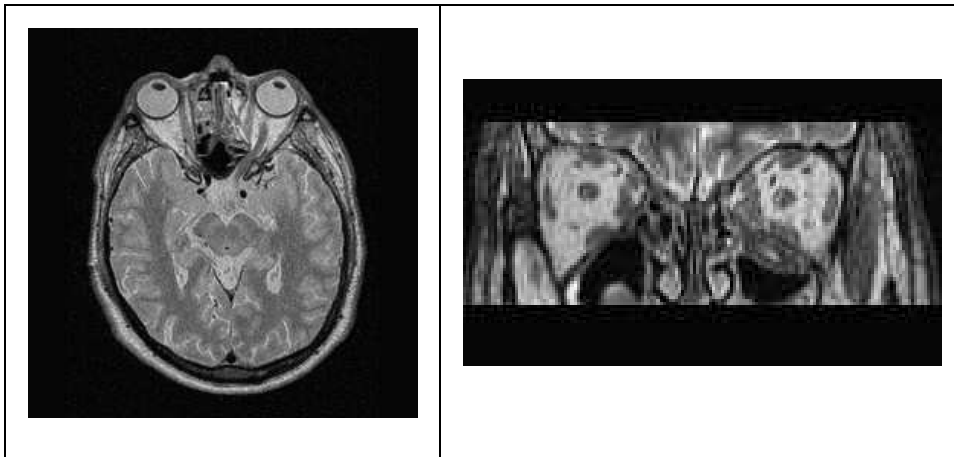


Abb. 33: Darstellung eines Fettgewebe- und Muskelprolapses der medialen Wand der linken Orbita in axialer (links) und coronarer pd-gewichteter Aufnahme (rechts)

Von den 15 detaillierter untersuchten Prolapsen befanden sich 8 tief im Trichter. Die restlichen 6 Prolapse waren im zentralen und anterioren Bereich der Orbita. 12 Patienten mit Fettgewebs- und Muskelprolapsen zeigten ophthalmologische Symptome wie Enophthalmus (8mal), Diplopie (11mal) und Motilitätseinschränkungen (10mal).

Muskelprolaps fanden sich bei zwei Patienten (s. Abb. 33). Dies spricht für die Seltenheit von Muskeleinklemmungen oder –inkarzerationen, da keiner der beiden Patienten einen eingeklemmten oder inkarzerierten Muskel aufwies. Einer der Patienten klagte über Doppelbildwahrnehmungen und einen Enophthalmus, während der andere keinerlei Beschwerden hatte. Ein Muskelprolaps muss folglich nicht zwingend ophthalmologische Symptome hervorrufen. Die Muskelprolaps der beiden o.g. Patienten lagen bei dem Patienten mit ophthalmologischen Beschwerden tief im Orbitabodenbereich, bei dem zweiten Patienten ohne Symptome im Bereich der medialen Wand.

Wie in Kap. 4.4.5 bereits beschrieben, wurden die Prolapsvolumina nach 3 Methoden bestimmt und die Ergebnisse analysiert.

Methode 1:

Die jeweils größte Ausdehnung in cranio-caudaler, ventro-dorsaler und medio-lateraler Richtung des prolabierte Gewebes wurde im Rahmen der Befundung der MRT-Bilder von einem Radiologen und einem Mund-Kiefer-Gesichtschirurgen und aus diesen Größen das Volumen berechnet. Dies sollte einen groben Anhaltspunkt für das Prolapsvolumen darstellen.

Methode 2:

Das prolabierte Gewebe wurde auf die gleiche Art wie das knöcherne Orbitavolumen mit dem Easy-Vision-Segmentationsprogramm (siehe 4.4.3 Orbitavolumenbestimmung) segmentiert.

Methode 3:

Das Segmentationsprogramm „*ACR View Volume*“ (Ploder et al. 2002) berechnet zunächst die jeweilige umrandete Fläche einer jeden einzelnen Schicht des Prolapses, die der Benutzer manuell einzeichnet. Am Ende addiert der Benutzer diese Flächen zu einem dreidimensionalen Prolapsvolumen.

In Tab. 11 sind die mit den vorgenannten Methoden der Volumenbestimmung berechneten Prolapsvolumina zusammengefasst dargestellt.

<u><i>Prolapslokalisation</i></u>	<u><i>Methode 1 – MRT</i></u>	<u><i>Methode 2 und 3 MRT</i></u>
tiefe Wand	0,100 cm ³	1,511 cm ³
zentrale Wand	1,539 cm ³	0
zentrale Wand	0,306 cm ³	0
tiefe Wand	0,858 cm ³	0,239 cm ³
tiefer Übergang	0	1,195 cm ³
zentrale Wand	0,405 cm ³	0,856 cm ³
zentrale Wand	0,660 cm ³	0,815 cm ³
anteriore Wand	0,420 cm ³	1,135 cm ³
zentraler Boden	0,372 cm ³	0,917 cm ³
tiefer Boden	2,481 cm ³	1,527 cm ³
tiefer Boden	2,137 cm ³	1,201 cm ³
tiefe Wand	0,720 cm ³	0,280 cm ³
tiefe Wand	1,264 cm ³	0

Tab. 11: Überblick über die nach Methode 1, 2 und 3 gemessenen Prolapsvolumina
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

Im Folgenden sollen die verschiedenen Methoden zur Prolapsvolumenmessung (s. Kap. 4.4.5) anhand der Ergebnisse diskutiert werden.

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

Es wurden 9 Prolapse, die im MRT nach Methode 1 und Methode 2 berechnet worden waren, miteinander verglichen. Auch hier unterschieden sich alle segmentierten Werte (Methode 2) stark von den grob berechneten Werten (Methode 1).

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

Über das Patientenkollektiv 1 hinausgehend standen insgesamt 62 MRT-Aufnahmen zur Verfügung. Aus diesem Patientenkollektiv wurden 26 Prolapse nach Methode 1, 2 und 3 bestimmt. Die Auswertung dieser Daten führte zur gleichen Erkenntnis wie oben. Nur die nach Methode 2 und 3 segmentierten Prolapsvolumina erwiesen als aussagekräftig.

Für alle Berechnungen wurden deshalb nur die segmentierten Prolapswerte der MRT-Aufnahmen nach Methode 2 und 3 verwendet.

5.5 Zusammenhang zwischen Prolapsvolumen, Orbitavolumenzunahme und Enophthalmus

Abweichungen der Augapfelstellung von mehr als 2 mm in der Horizontalen definiert man klinisch als Enophthalmus. Diese erfordern eine operative Korrektur (Jin et al., 2000) (Chan et al., 2000) (Schmitz et al., 1999).

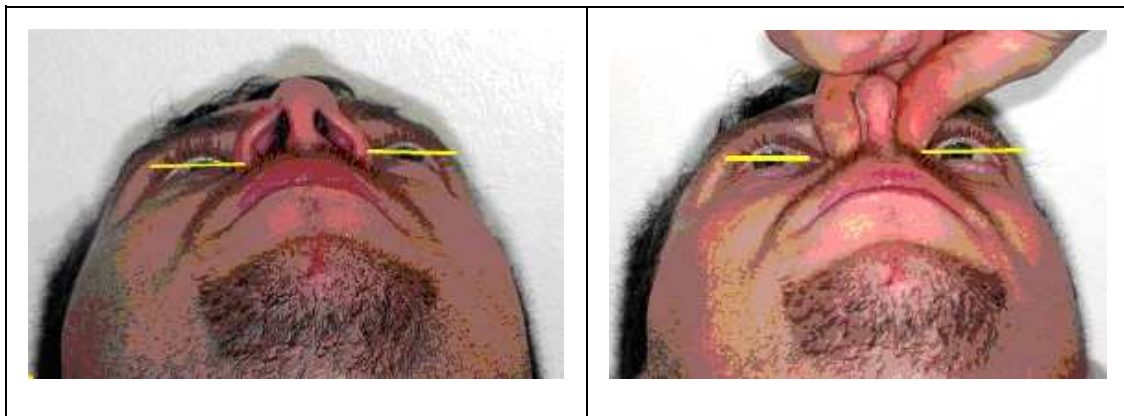


Abb. 34: Darstellung eines Enophthalmus (Quelle: Dr. Dr. Andreas Kolk, MKG des Klinikums rechts der Isar der Technischen Universität München)

Abb. 34 zeigt die schematische Darstellung eines Enophthalmus anhand zweier Fotoaufnahmen aus der Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie des Klinikums rechts der Isar. Das Zurückweichen des Bulbus ist durch die gelben Linien deutlich erkennbar.

Ein Enophthalmus kann durch Schwund des orbitalen Fettgewebes durch Abmagerung, Alter oder narbige Schrumpfung bzw. nach Verletzung oder Dislokation der knöchernen Wand (Enophthalmus traumaticus), z.B. bei Blow-out-Frakturen, entstehen. Es kann zu Doppelbildern, eingeschränkter Augenbeweglichkeit (durch Einklemmung des M. rectus inf.) oder zu einem Monokelhämatom kommen. Ein scheinbarer Enophthalmus kann z.B. beim Horner-Syndrom durch die schmale Lidspalte entstehen (Pschyrembel-Online).

Bei der Diagnosefindung sind 3-dimensionale Orbitavolumenmessungen entscheidend für das Erkennen einer postoperativen Volumenänderung und infolgedessen für die Risikoeinschätzung des Ausmaßes eines Enophthalmus.

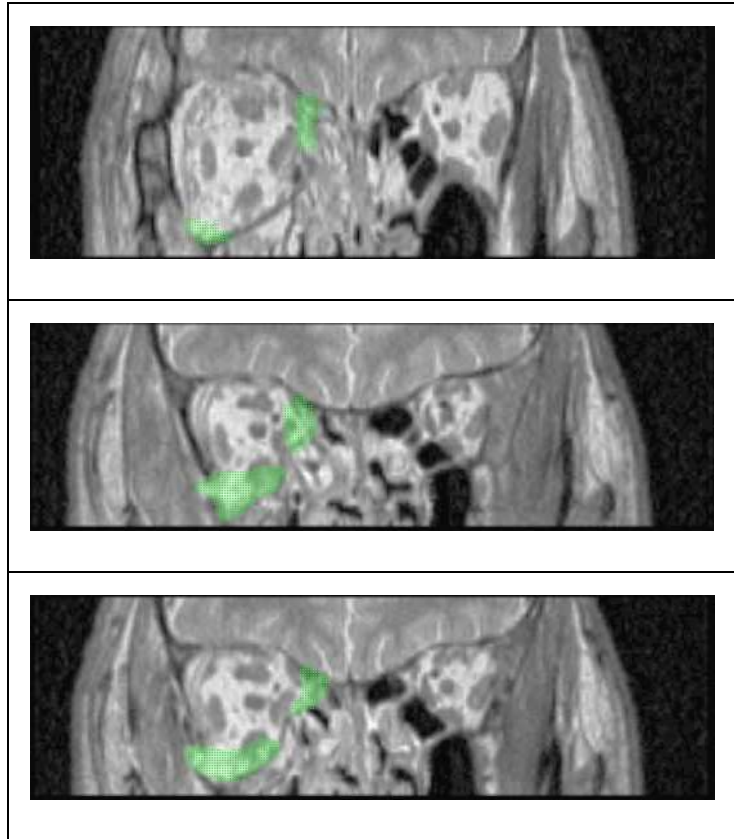


Abb. 35: Coronare PDW-Aufnahmen des Prolaps in unterschiedlichen Schichten von ventral (oberstes Bild) nach dorsal (unterstes Bild)

Seitdem Bite et al 1984 die Orbitavolumenmessung mit der CT einführten, konnten mehrere Studien einen linearen Zusammenhang zwischen Volumenvergrößerung und Grad des Enophthalmus nachweisen (Charteris et al., 1993) (Raskin et al., 1998) (Whitehouse et al., 1993) (Jin et al, 2000). Auch Ploder et al. kamen 2002 zu gleichen Ergebnissen bei Orbitabodenfrakturen.

In dieser Arbeit soll ein möglicher Zusammenhang anhand der Auswertungen von MRT-Aufnahmen aufgezeigt werden. Im Folgenden werden zunächst die Ergebnisse für das Patientenkollektiv I dargestellt. Für die 17 bestimmten Fettgewebeprolapse standen für 14 Patienten Enophthalmuswerte zur Verfügung.

Es ergab sich mittels einer Korrelationsanalyse ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Größe der Prolapsvolumina und dem Vorkommen eines Enophthalmus (s. Tab 12).

		Volumen Fettgew.pr.	Enophthalmus
Volumen Fettgew.pr.	Korrelation nach Pearson	1	,596(*)
	Signifikanz (2-seitig)	.	,024
	N	20	14
Enophthalmus	Korrelation nach Pearson	,596(*)	1
	Signifikanz (2-seitig)	,024	.
	N	14	14

* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

Tab. 12: Korrelation zwischen Prolapsvolumina und Enophthalmus

Abb. 36 stellt als Streudiagramm den Zusammenhang von Enophthalmus und Volumen des Fettgewebeprolapses dar.

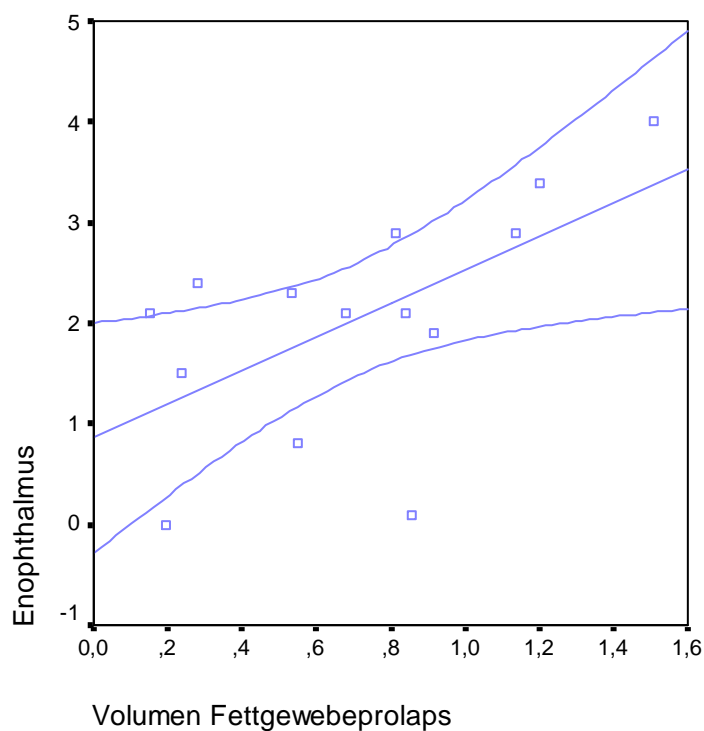


Abb. 36: Streudiagramm Enophthalmus-Volumen Fettgewebeprolaps

Kein Zusammenhang konnte zwischen der Prolapsgröße und Beweglichkeitsstörungen oder Doppelbildern festgestellt werden.

Im Patientenkollektiv 1 standen für 30 Patienten mit gemessenen Orbitavolumendifferenzen bei 26 Patienten Enophthalmuswerte zur Verfügung.

Es ergab sich mittels einer Korrelationsanalyse ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Größe der Orbitavolumendifferenz und dem Vorkommen eines Enophthalmus (s. Tab 13).

Korrelationen

		Enophthalmus	Orbitavolumendifferenz
Enophthalmus	Korrelation nach Pearson	1	,712(**)
	Signifikanz (2-seitig)	.	,000
	N	26	26
Orbitavolumendifferenz	Korrelation nach Pearson	,712(**)	1
	Signifikanz (2-seitig)	,000	.
	N	26	30

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

Tab. 13: Korrelation zwischen Orbitavolumendifferenz und Enophthalmus

Abb. 37 stellt als Streudiagramm den Zusammenhang von Enophthalmus und Orbitavolumendifferenz zwischen gesundem und frakturiertem Auge dar.

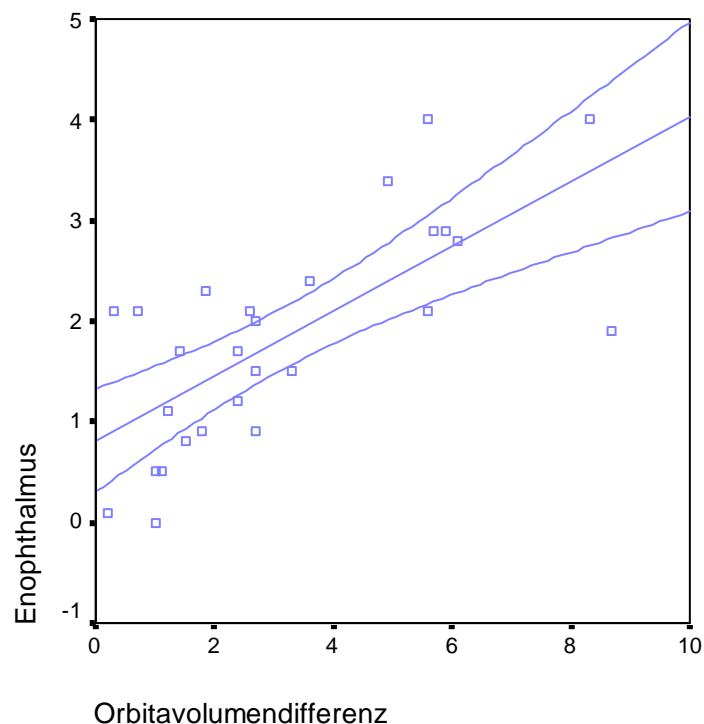


Abb. 37: Streudiagramm Enophthalmus – Orbitavolumendifferenz

Von Kolk et al. wurden aus unserem Gesamtpatientenkollektiv 32 Patienten ausgewählt mit Frakturen mit einem Mindestdurchmesser von 2 cm (n=36 Orbitae). Diese gehen bekanntermaßen mit einer größeren Anzahl postoperativer Komplikationen einher (Kolk et al., 2005).

In 11 Fällen zeigte sich ein signifikanter Enophthalmus von >2 cm, der normalerweise operativ korrigiert werden muss und der bei einem Prolapsvolumen von $> 0,65\text{cm}^3$ zu erwarten ist. Bei 22 der 36 nur mit der pd-Wichtung untersuchten Orbitae wurde ein Restprolaps gefunden, der ein mittleres Volumen von $0,63\text{cm}^3$ hatte (Kolk et al., 2005). Die Anzahl ($n=14$) der postoperativen Komplikationen der Orbitae ($n=36$), welche mit pd-Wichtung untersucht wurde, ist größer als in anderen vergleichbaren Studien (z.B. Kontio et al., 2001).

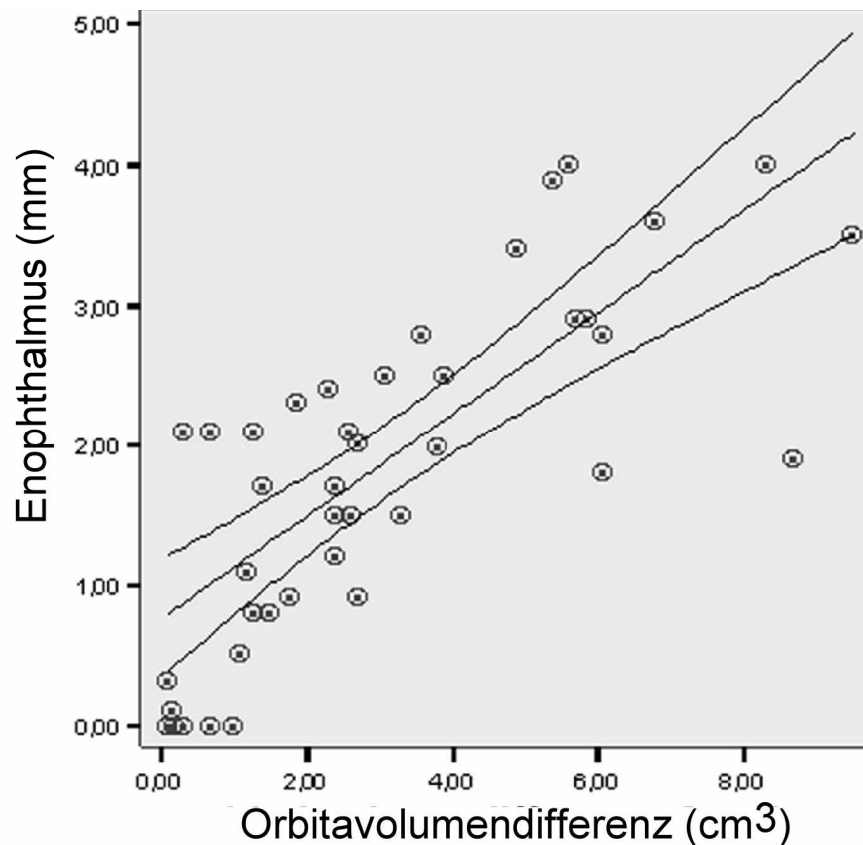


Abb. 38: Regression zwischen Enophthalmus und Orbitavolumenvergrößerung ($p<0,01$) (Kolk et al., 2005)

Bei verschiedenen Studien schwankt die Korrelation von $0,47\text{mm}$ bis $0,89\text{mm}$ Enophthalmus pro 1cm^3 Orbitavolumenzunahme. Die Studie von Kolk et al. zeigt, dass 1cm^3 Orbitavolumenzunahme durchschnittlich zu $0,93\text{mm}$ Enophthalmus führen (Kolk et al., 2005).

Den Unterschied der Daten der vorliegenden Arbeit und der von Kolk et al. zu denen von Raskin und Mitarbeitern (Raskin et al 1998) kann durch die Tatsache erklärt werden, dass diese den Focus auf 2-dimensionale praeoperative Bilder setzten, während in der vorliegenden Arbeit die Ergebnisse aus postoperativen, 3-dimensionalen Aufnahmen abgeleitet wurden.

Diese Orbitae haben möglicherweise zusätzliche Weichteilgewebseffekte im Hinblick auf die Position des Augapfels.

5.6 Zusammenhang zwischen Frakturlokalisierung und Enophthalmus

Es gibt experimentell und klinisch klare Aussagen, dass mediale Wandfrakturen eine Hauptrolle beim traumatischen Enophthalmus spielen (Mathog et al., 2000). Die Stellung der medialen Orbitawand wirkt an der Lage des Augapfels mit (Ramieri et al., 2000) (Manson et al., 2002).

Wenn die Ausbreitung des Orbitavolumens bis zu 2 ml beträgt, hängt die Schwere des Enophthalmus vor allem von der Vergrößerung der medialen Wandausbreitung ab. Der Orbitaboden und die dort lokalisierte Frakturen tragen wenig zur Entstehung eines Enophthalmus bei. Dieses Ergebnis stimmt mit den anatomischen Charakteristika des koronaren Anteils des Orbita-kegels überein.

Tab. 15 zeigt die Lokalisationen der Orbitafrakturen für das Patientenkollektiv I mit klinisch nachgewiesenem Enophthalmus (n=26) und bestätigt damit die vorgenannten Aussagen.

Frakturlokal.	Anzahl Enophthalmus
medial	6
kaudal	1
kaudal mit Übergang zu medial	15
lateral	4
Insgesamt	26

Tab. 14: Frakturlokalisierung bei Enophthalmus

5.7 Darstellung anderer Pathologien

In diesem Kapitel sollen noch einmal kurz die bereits beschriebenen Pathologien der Orbita zusammengefasst werden:

5.7.1 Motilitätseinschränkung

Bei 49 mit T1-, T2- und pd-gewichteten Aufnahmen untersuchten Patienten bestand bei 27 Patienten keine Motilitätseinschränkung, während 22 Patienten mit diesem Problem konfrontiert waren (n=44%).

5.7.2 Bewegungsartefakte

Weil es bei Aufnahmen mit der Kopfspule vor allem wegen der langen Aufnahmezeiten, die bis zu einer halben Stunde dauern, häufig zu Bewegungsartefakten durch Kopf- und Augenbewegungen kommt, sind kernspintomographische Bilder sehr anfällig für jede Art von Bewegungen (Zhan et al., 1995).

Bewegungsartefakte sind oft Ursache für eine schlechte Bildqualität. Ist eine Wiederholung der Untersuchung nicht möglich, so ist oft nur eine lückenhafte Beurteilung der Bilder möglich (Kaufmann et al., 2001).

Im Rahmen der eigenen Untersuchungen waren 11 Bilder des Patientenkollektiv I auf Grund von Bewegungsartefakten nicht auswertbar. Im Patientenkollektiv II waren 4 mit der Mikrospule aufgenommene Bilder durch Augenbewegungen für die Auswertung nur eingeschränkt verwendbar. Artefakte durch Augenbewegungen waren bei 4 Mikrospulenaufnahmen und bei 5 Kopfspulenaufnahmen sichtbar.

5.7.3 Metallostensynthesen

Im Rahmen von komplexen Mittelgesichtsfrakturen kommt es häufig zu ausgeprägten Orbitawandfrakturen. Mittelgesichtsfrakturen müssen meistens mit multiplen Metallostensynthesen wie Schrauben und Miniplatten versorgt werden, was neben Zahnfüllungen zu ausgeprägten Metallartefakten (MAs) führen kann (H.-H. Horch, 1990) (Fiala et al., 1993).

In der MRT können Metallartefakte ohne Verlust von Bildqualität reduziert werden, indem Turbospinechosequenzen mit kurzem Echo-Abstand/ Echo-Intervall verwendet werden (Olsen et al., 2000). 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., 2004) (Kolk et al., 2005).

Bei den von uns untersuchten Patienten des Patientenkollektiv I konnten infra- und lateroorbitale MAs dreimal dargestellt werden, lateroorbitale MAs zweimal. Periorbitale MAs (n=3) und supraorbitale MAs (n=7) waren häufiger zu beobachten. Gleichzeitige supra- und infraorbitale MAs waren einmal zu sehen, alleinige infraorbitale MAs viermal (s. Tab. 15). Zusätzlich konnte zweimal eine infraorbitale Platte dargestellt werden.

		Häufigkeit	Prozent
gültig	infra- und lateroorbital	3	6,1
	lateroorbital	2	4,1
	periorbital	3	6,1
	supraorbital	7	14,3
	supra- und infraorbital	1	2,0
	infraorbital	4	8,2
	gesamt	20	40,8
fehlend	System	29	59,2
gesamt		49	100,0

Tab. 15: Metallartefakte

Im Patientenkollektiv II waren bei den mit der Mikrospeule aufgenommenen Bildern 6mal Metallartefakte sichtbar.

5.7.4 Verschattungen der Nasenneben-, Kiefer- und Stirnhöhlen

Einer Verschattung der Nasennebenhöhlen kann ein Schleimhautpolyp oder eine Schleimhauthyperplasie zugrunde liegen, sie kann jedoch auch durch einen Prolaps von Weichteilgewebe (z.B. orbitales Fettgewebe) durch den Frakturspalt entstehen (Kauffmann et al., 2001). Die MRT stellt Weichteilgewebe gut dar und erleichtert so die Differentialdiagnose. Vor allem Prolapse in die Kieferhöhle in coronaren Bildern oder in die Ethmoidalzellen in coronaren und sagittalen Aufnahmen können schnell und eindeutig in der MRT dargestellt werden, selbst wenn es sich um kleine Prolapse handelt (Williams et al., 1995) (Kontio et al., 2001) (Freund et al., 2002) (Kolk et al., 2005).

Knochendefekte der dünnen Wände der Nasennebenhöhlen sind in der MRT oft nur bei vorhandenen Prolapsen eindeutig zu diagnostizieren (Kontio et al., 2001) (Freund et al., 2002).

Tab. 16 gibt einen Überblick zum Untersuchungsergebnis:

		Häufigkeit	Prozent	gültige Prozente	kumulierte Prozente
gültig	Sinus max. < 50%	7	14,3	20,6	20,6
	Sinus max. > 50 %	7	14,3	20,6	41,2
	Sinus ethmoid. < 50%	12	24,5	35,3	76,5
	Sinus ethmoid. > 50 %	7	14,3	20,6	97,1
	Sinus frontalis > 50 %	1	2,0	2,9	100,0
	gesamt	34	69,4	100,0	
fehlend	System	15	30,6		
gesamt		49	100,0		

Tab. 16: Verschattung der Nasenneben-, Kiefer- und Stirnhöhlen

5.7.5 Signalveränderungen

Es kam bei den Aufnahmen des Patientenkollektivs I zu folgenden Signalveränderungen:

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	hypodens	2	4,1	4,1	4,1
	isodens	8	16,3	16,3	20,4
	hyperdens	1	2,0	2,0	22,4
	keine Pathologie im vergleich zur Muskulatur	38	77,6	77,6	100,0
	Gesamt	49	100,0	100,0	

Tab. 17: Signalveränderungen

5.7.6 Doppelbilder

Die Patienten des Patientenkollektiv I wurden augenärztlich im Hinblick auf Doppelbilder untersucht.

Zur *Doppelbildwahrnehmung bei Blickwendung* kam es bei 0° bis 30°: 14mal
und bei über 30° : 13mal.

5.8 Qualität der Darstellung in der MRT

Konventionelle Kopf- oder Oberflächenspulen, die normalerweise für die Bildgebung der knöchernen Orbita benutzt werden, zeigten Einschränkungen in der Detailgenauigkeit der

unterschiedlichen Strukturen innerhalb des frakturierten Gebietes wegen des niedrigen Signal-Rausch-Verhältnisses (SRV), welches zu einer niedrigen Signalintensität führt (Linnau et al., 2003). Eine größere Detailgenauigkeit kann durch eine Kombination mit der hochauflösenden Mikrospule erreicht werden, die zuvor nur für Skelettdarstellungen Verwendung fand (Yoshioka et al., 2003). 25 Patienten des Gesamtkollektivs wurden zusätzlich zu den Aufnahmen mit der Kopfspule noch mit der Mikrospule untersucht. Mit diesem Verfahren gelang es, sowohl Weichteilprolapse als auch alloplastisches Material mit einer signifikant höheren Leistung und Trefferquote darzustellen, als mit der konventionellen MRT oder CT (Wiener et al., 2004) (Kolk et al., 2005).

5.8.1 Frakturdarstellung

36 ausgedehnte Orbitawandfrakturen wurden sowohl mit der Kopf- als auch mit der Mikrospule untersucht. 29 Frakturen (n=81%) konnten klar mit der Mikrospule dargestellt werden, während dies mit den Kopfspulen-Scans lediglich bei 25 (n=69%) Frakturen gelang.

Im Gegensatz zur Kopfspule gewährleistet die Mikrospule eine schnelle und hohe Auflösung und somit eine klare Unterscheidung möglicher postoperativer Komplikationen, wie beispielsweise eine Dislokation der PDS-Folie mit Weichteilgewebe-Einklemmung als Folge und eingeschränkter Augenbeweglichkeit oder Enophthalmus.

5.8.2 Darstellung des Weichteilgewebes

Auch in der Darstellung von Weichteilgewebe zeigte sich die Mikrospule der Kopfspule gegenüber überlegen. Acht Hämatome wurden sowohl bei Aufnahmen mit der Kopf- als auch mit der Mikrospule gesehen (s. Abb. 39 und 40).

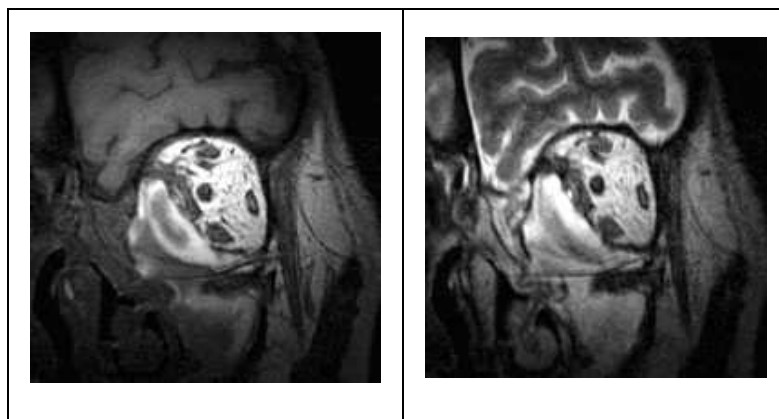


Abb. 39: Darstellung der PDS-Folie mit Hämatom unter der Folie im Orbitaboden- und Wandbereich der linken Orbita

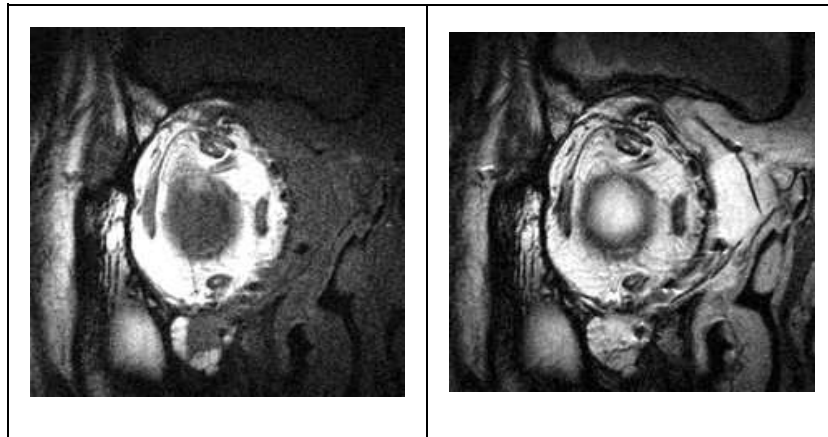


Abb. 40: Darstellung der PDS-Folie mit Hämatom unter der Folie im Orbitaboden- und Wandbereich der rechten Orbita

Sechsmal sah man mit der Mikropsule mehr als $0,65\text{cm}^3$ verrutschten (durch ungenügende Foliendeckung entstandenen) Orbitainhaltes, der nur viermal auch bei Aufnahmen mit der Kopfspule sichtbar war.

Mehr als $0,65\text{cm}^3$ wegen Foliendislokation eingeklemmtes Weichteilgewebe ($n=5$) konnte fünfmal mit der Mikropsule und dreimal mit der Kopfspule nachgewiesen werden.

Von acht Muskelödemen waren acht mit der Mikropsule und sechs mit der Kopfspule zu sehen.

Die Signalintensität von den unteren geraden und schrägen Augenmuskeln zwischen Frakturen in Regionen dislozierten Gewebes unterschied sich zu der des gesunden Gegenauges nicht signifikant ($p<.01$) (Kolk et al., 2005).

In Fällen mit mehreren verrutschten Weichteilgewebeprolapsen von mehr als $0,65\text{cm}^3$ wurde mit der Mikropsule keine Einklemmung der Augenmuskulatur beobachtet.

5.8.3 Darstellung der knöchernen Orbita

Zur Orbitavolumenbestimmung mit der CT gibt es bereits eine große Anzahl von Arbeiten (Forbes et al., 1985) (McGurk et al., 1992) (Carls et al., 1994) (Schuknecht et al., 1996) (Raskin et al., 1998) (Ramieri et al., 2000) (Deveci et al., 2000) (Gellrich et al., 2002) (Fan et al., 2003), jedoch bisher noch keine zur Orbitavolumenbestimmung mit Hilfe der MRT.

Die Orbitavolumenbestimmung mit der MRT sowie einen Vergleich zwischen MRT und CT führten erstmals Kolk et al. durch (Kolk et al., 2005). Somit liefern die Publikationen von Kolk et al. sowie diese Dissertation die ersten Daten zur Volumenbestimmung der knöchernen Orbita mit der MRT.

Die CT-Daten der verschiedenen oben bereits genannten Studien entsprechen weitgehend den Ergebnissen dieser Arbeit. Für das mittlere Orbitavolumen der gesunden Orbitae ergab sich in den verschiedenen Studien ein Wert zwischen 23,63 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 28,7 cm³ (Carls et al., 1994) (Schuknecht et al., 1996) (Gellrich et al., 2002).

Für das mittlere Orbitavolumen der frakturierten Orbitae ergab sich in verschiedenen Studien ein Wert zwischen 25,41 und 31,7 cm³ (Bite et al., 1984) (Carls et al., 1994) (Schuknecht et al., 1996) (Ramieri et al., 2000) (Gellrich et al., 2002). Auch hier passt sich der Mittelwert dieser Arbeit mit 32,1 cm³ den bisherigen Angaben in der Literatur an.

Die Messzeit für Aufnahmen mit der Kopfspule beträgt häufig mehr als 25 Minuten. Dies ist für frisch operierte Patienten nur schwer tolerierbar. Im Gegensatz dazu reduziert sich die Untersuchungszeit durch das viermal höhere Signal-Rausch-Verhältnis bei einer Mikrospulenaufnahme auf nur noch ungefähr 7 Minuten.

Bei 9 von 22 Orbitae mit schweren postoperativen Komplikationen war eine Revisions-Operation laut der Befunde der Mikrospulenaufnahmen 15 bis 18 Tage nach dem Eingriff nicht angezeigt.

5.8.4 Verwendete Schichtung und Wichtung

Es wurden axiale und coronare Schichten in T1-, T2- und Protonendichte-Wichtung in Form von hochauflösenden Spinecho- (SE) und Turbospinecho-Sequenzen (TSE) aufgenommen.

Für die Volumetrie der Orbita wurden zusätzlich isotrope Sequenzen angefertigt, um die Bildschärfe zu erhöhen und damit die semiautomatische Segmentation des knöchernen Orbitavolumens sowie die vollautomatische Bulbussegmentation überhaupt erst zu ermöglichen.

Der Messbereich in coronarer Ebene wurde so gewählt, dass die Orbita nach cranial und caudal komplett abgedeckt war. In axialer Ebene wurde der gesamte Bereich des Kopfes gemessen. Die Volumetrie der Bulbi wurde in coronaren T2-Aufnahmen durchgeführt.

Die Folien waren in allen verwendeten Wichtungen ungefähr gleich gut sichtbar (siehe 5.1.1). Für die Volumetrie und Darstellbarkeit von Weichteilgewebeprolapsen hat sich die Protonendichte-Wichtung als geeignet herausgestellt.

6 Zusammenfassung

Zunächst einmal ist anzumerken, dass es bisher keine Vergleichswerte zur Orbitavolumetrie in der MRT in der Literatur gibt. Ein Ziel dieser Arbeit war es zu zeigen, dass eine postoperative Nachuntersuchung ohne Strahlenbelastung des CT nur mit der Kernspintomographie möglich ist. Hierfür wurde eine Methodik zur Volumetrie der Orbita und des Bulbus mit der MRT entwickelt und Aufnahmen mit zwei verschiedene Spulen und drei verschiedenen Aufnahmemodi miteinander verglichen.

Nach meinem Kenntnisstand ist dies bislang die erste Studie, die basierend auf Aufnahmen mit der Mikrospule die Lage der PDS-Folie und die Messung „verrutschten“ Orbitainhaltes nach einer operativen Wandrekonstruktion quantitativ untersucht. In der Literatur waren jedenfalls keine Daten verfügbar.

Der Nutzen des 3D MSCT ist bei der posttraumatischen Versorgung von Orbitae gut dokumentiert (Jin et al., 2000) (Yoshioka et al., 2003). Jedoch haben die meisten CT-Untersuchungen nur in einer kurzen Zeitspanne nach dem Trauma Veränderungen des Orbitainhaltes belegt (Jin et al., 2000) (Raskin et al., 1998) (Ploder et al. 2002) (Manson et al 1986).

In den neuesten Veröffentlichungen werden einige Langzeitbeobachtungen beschrieben, die postoperativ mit dem MSCT durchgeführt wurden (Ramieri et al., 2000) (Fan et al., 2003) (Gellrich et al., 2002).

Die Einführung moderner Spiral-CT-Techniken sowie auch von neuer Software zur Anpassung der effektiven Bestrahlung reduzierten die Strahlendosis für die Linse auf 30% (Imhof et al., 2003) (Schulze et al., 2004) (Czechowski et al., 2001) (Kopka et al., 1995). Dennoch sind MSCT-Scans mit 1mm dicken Schnitten, die für eine detaillierte 3D-Darstellung der Orbita nötig sind, noch immer mit einer hohen Strahlenbelastung der Linse verbunden, vor allem bei wiederholten Untersuchungen (Czechowski et al., 2001).

Außerdem stellen Artefakte durch Osteosynthesematerial und Zahnfüllungen (Fiala et al., 1993), Metallartefakte (Manfre et al., 1993) (Kontio et al., 2001) und eine ungenügende Detailgenauigkeit beim Weichteilgewebe (Burm et al., 1999) (Manson et al., 1986) Nachteile des CT-Scans der Orbita dar.

Im Gegensatz dazu ist die MRT kombiniert mit der konventionellen Oberflächen- oder Kopfspule gut dazu geeignet, Weichteilgewebeprolapse oder Narben in der Orbitawand aufzuzeigen (Kontio et al., 2001) (Baumann et al., 2002) (Zhan et al., 1995) (Okinawa et al., 1999).

Jedoch ist die räumliche Auflösung, die durch die Gesamtmesszeit und das Signal-Rausch-Verhältnis (SRV) begrenzt wird, nicht für die genaue Darstellung alloplastischen Materials, wie beispielsweise der PDS-Folie geeignet. Obwohl eine Reduktion der Metallartefakte eingeführt wurde, (Olsen et al., 2000) kommen diese weiterhin bei Aufnahmen mit der konventionellen Oberflächen- bzw. Kopfspule vor.

Bei frisch operierten Patienten wird im Normalfall eine Untersuchung, die länger als 25 Minuten dauert, nicht toleriert. Dies erschwert eine Nachkontrolle.

Im Rahmen dieser Arbeit bestand die Möglichkeit, eine neue hochauflösende Spule zusätzlich zur Kopfspule bei einem Patientenkollektiv von 25 Personen hinzuzunehmen. Im Gegensatz zu den konventionellen Spulen, die eine lange Messzeit benötigen, um eine niedrige SRV auszugleichen, erlaubte die neue Oberflächenspule hochauflösende Bildgebung mit viermal höherer SRV und einer besseren PDS-Foliendarstellung innerhalb einer angemessenen Untersuchungszeit von ungefähr sieben Minuten.

Prolapse, falsch liegende Folien, Hämatome usw. konnten meistens klar dargestellt werden. Außerdem konnten Artefakte durch eingesetztes Metall und Augenbewegungen reduziert werden. Die so entstandenen Bilder waren deutlich klarer und detailgenauer, als die Aufnahmen, die lediglich mit der Kopfspule gemacht worden waren.

Die klinische Erfahrung zeigt, dass die Erstversorgung einer Orbitawandfraktur oft unzureichend ist, sei es wegen der Komplexität der Frakturen oder aufgrund der damit verbundenen Weichteilgewebeschäden (Hammer et al., 1995). Ein Großteil der Patienten muss sich deshalb einer Revisionsoperation unterziehen. Diese Operationen sollten möglichst frühzeitig stattfinden, da ansonsten Einklemmungen im Frakturspalt zu irreversiblen funktionellen Schäden führen können. Es kann auch zu einer permanenten bulbären Fettatrophie kommen (Ellis et al., 1985) (Manson et al., 1986) (Okinawa et al., 1999) (Whitaker et al., 1990) (Parsons et al., 1988).

In der Literatur wird belegt, dass Weichteilgewebekontraktionen und Fibrose die begrenzenden Faktoren einer erfolgreichen operativen Korrektur sind. Aus diesem Grunde müssen das oben liegende Weichgewebe und die Bänder stets eine eigene Beweglichkeit haben.

Ein rechtzeitiger Eingriff kann einen Enophthalmus verhindern (Hawes et al., 1983) und die Funktion des Augapfels normalisieren (Merten et al., 1999) (Okinaka et al., 1999) (Raskin et al., 1998). Dies rechtfertigt eine frühzeitige Untersuchung mit der MRT bei symptomatischen Patienten, die wegen ausgedehnten Orbitawandfrakturen voroperiert wurden. So können wichtige Informationen über das Zusammenspiel von alloplastischem Material mit infraorbitalen Strukturen wie Augenmuskel oder bulbärem Fettgewebe gewonnen werden.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass sich die MRT, besonders in Kombination von Kopf- und Mikrospule, für die postoperative Lagekontrolle bei auftretenden Komplikationen, insbesondere was die Entscheidung bezüglich einer Revisionsoperation betrifft, im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen als ein überlegenes Verfahren erwiesen hat. Sie ist in der Detailgenauigkeit einer CT-Aufnahme deutlich überlegen und ermöglicht bei der Kombination beider Spulen eine mit der Aufnahmezeit der Computertomographie vergleichbar kurze Messzeit. Die MRT kann somit eindeutig als standardisiertes Untersuchungsverfahren bei postoperativen Komplikationen angewandt und empfohlen werden.

7 Literaturverzeichnis

- 1) Austermann, K.-H., 1979, Untersuchungen zum Entstehungsmechanismus der "Blow-out"-Fraktur: Dtsch.Z.Mund-Kiefer-Gesichts-Chir., v. 3, p. 220-223.
- 2) Baumann, A., G. Burggasser, N. Gauss, and R. Ewers, 2002, Orbital floor reconstruction with an alloplastic resorbable polydioxanone sheet: Int.J.Oral-Maxillofac.Surg., v. 31, no. 4, p. 367-373.
- 3) Bite, U., I. T. Jackson, G. S. Forbes, and D. G. Gehring, 1984, Orbital volume measurements in enophthalmos using three-dimensional CT imaging: Plast.Reconstr.Surg., v. 75, no. 4, p. 502-508.
- 4) Burm, J. S., C. H. Chung, and S. J. Oh, 1999, Pure orbital blowout fracture: new concepts and importance of medial orbital blowout fracture: Plast.Reconstr.Surg., v. 103, no. 7, p. 1839-1849.
- 5) Carls, F. R., B. Schuknecht, and H. F. Sailer, 1994, Orbital volumetry as a planning principle for reconstruction of the orbital wall: Fortschr.Kiefer Gesichtschir., v. 39, p. 23-27.
- 6) Chan, C. H., D. J. Spalton, and M. McGurk, 2000, Quantitative volume replacement in the correction of post-traumatic enophthalmos: Br.J.Oral-Maxillofac.Surg., v. 38, no. 5, p. 437-440.
- 7) Charteris, D. G., C. H. Chan, R. W. Whitehouse, and J. L. Noble, 1993, Orbital volume measurement in the management of pure blowout fractures of the orbital floor: Br.J.Ophthalmol., v. 77, no. 2, p. 100-102.
- 8) Converse, J. M., and B. Smith, 1957, Enophthalmos and diplopia in fracture of the orbital floor: Br.J.Plast.Surg., v. 9, p. 265-274.
- 9) Converse, J. M., B. Smith, M. F. Obear, D. Wood-Smith, 1957, Orbital blowout fractures: a ten year survey: Plast.Surg., v. 39, p. 20-36.
- 10) Converse, J. M., B. Smith, 1978, On the treatment of blow-out fractures of the orbit: Plast.Reconstr.Surg., v 62, p. 100-104.
- 11) Cunningham L. L., G.P. Peterson, R.H. Haug, 2005, The relationship between enophthalmos, linear displacement, and volume change in experimentally recreated orbital fractures: J.Oral-Maxillofac.Surg.,v. 63, p. 1169-1173.
- 12) Czechowski, J., J. Janeczek, G. Kelly, and J. Johansen, 2001, Radiation dose to the lens in sequential and spiral CT of the facial bones and sinuses: Eur.Radiol., v. 11, no. 4, p. 711-713.
- 13) Dammann, F., E. Momino-Traserra, C. Remy, P. L. Pereira, I. Baumann, A. Koitschev, and C. D. Claussen, 2000, Radiation exposure during spiral-CT of the paranasal sinuses: Rofo.Fortschr.Geb.Rontgenstr.Neuen Bildgeb.Verfahr., v. 172, no. 3, p. 232-237.

- 14) Deveci, M., S. Ozturk, M. Sengezer, and Y. Pabuscu, 2000, Measurement of orbital volume by a 3-dimensional software program: An experimental study: *J.Oral-Maxillofac.Surg.*, v. 58, no. 6, p. 645-648.
- 15) Ellis, E., III, A. el Attar, and K. F. Moos, 1985, An analysis of 2,067 cases of zygomatico-orbital fracture: *J.Oral-Maxillofac.Surg.*, v. 43, no. 6, p. 417-428.
- 16) Fan, X., J. Li, J. Zhu, H. Li, and D. Zhang, 2003, Computer-assisted orbital volume measurement in the surgical correction of late enophthalmos caused by blowout fractures: *Ophthalm.Plast.Reconstr.Surg.*, v. 19, no. 3, p. 207-211.
- 17) Fiala, T. G., R. A. Novelline, and M. J. Yaremchuk, 1993, Comparison of CT imaging artifacts from craniomaxillofacial internal fixation devices: *Plast.Reconstr.Surg.*, v. 92, no. 7, p. 1227-1232.
- 18) Forbes, G., D. G. Gehring, C. A. Gorman, M. D. Brennan, and I. T. Jackson, 1985, Volume Measurements of Normal Orbital Structures by Computed Tomographic Analysis: *Am.J.Roentg.*, v. 145, no. 1, p. 149-154.
- 19) Freihofer, H. P., 1995, Effectiveness of secondary post-traumatic periorbital reconstruction: *J.Craniomaxillofac.Surg.*, v. 23, no. 3, p. 143-150.
- 20) Freund, M., S. Hähnel, and K. Sartor, 2002, The value of magnetic resonance imaging in the diagnosis of orbital floor fractures: *Eur.Radiol.*, v. 12, p. 1127-1133.
- 21) Freund, M., S. Hähnel, C. Sommer, M. Martmann, M. Kiessling, V. Tronnier, and K. Sartor, 2001, CT and MRI findings in gliomatosis cerebri: a neuroradiologic and neuropathologic review of diffuse infiltrating brain neoplasms: *Eur.Radiol.*, v. 11, p. 309-316.
- 22) Fuchs, E., 1893, Demonstration eines Falles von traumatischer Lähmung des Obliquus inferior mit Enophthalmus: *Klin.Wschr.*, v. 6, p. 184-188.
- 23) Fujino, T., 1974, Experimental "blowout" fracture of the orbit: *Plast.Reconstr.Surg.*, v. 54, no. 1, p. 81-82.
- 24) Gatot A., F. Tovi, 1991, Early treatment of orbital floor fractures with catheter balloon in children: *Int.J.Pediatr.otorhinolaryngol.*, v. 21, p. 97-101.
- 25) Gellrich, N. C., A. Schramm, B. Hammer, S. Rojas, D. Cufi, W. Lagreze, and R. Schmelzeisen, 2002, Computer-assisted secondary reconstruction of unilateral posttraumatic orbital deformity: *Plast.Reconstr.Surg.*, v. 110, no. 6, p. 1417-1429.
- 26) Hammer, B., and J. Prein, 1995, Correction of post-traumatic orbital deformities: operative techniques and review of 26 patients: *J.Craniomaxillofac.Surg.*, v. 23, no. 2, p. 81-90.
- 27) Hammerschlag S. B., S. Hughes, G. V. O'Reilly, M H. Nasheedy, and C. L. Rumbauch, 1982, Blow-out fractures of the orbit: A comparison of computed tomography and conventional radiography with anatomical correlation: *J.Radiology*, v. 143, p. 487-492.
- 28) Hammerschlag S.B., S. Hughes, G. V. O'Reilly, A. L. Weber, 1982, Another look at blow-out fractures of the orbit: *Am.J.Roentgenol.*, v. 139, p. 133-137.

- 29) Harris G. J., G. H. Garcia, S. C. Logani, M. L. Murphy, 2000, Correlation of preoperative computed tomography and postoperative ocular motility in orbital blowout fractures: *Ophthalmol.Plast.Reconstr.Surg.*, v. 16, p. 179-187.
- 30) Hawes, M. J., and R. K. Dortzbach, 1983, Surgery on orbital floor fractures. Influence of time of repair and fracture size: *J.Ophthalmology*, v. 90, no. 9, p. 1066-1070.
- 31) Hell, B., H. Woerner, and G. Brill, 1990, Kernspintomographie in der Diagnostik funktionell wirksamer Orbitafrakturen: *Dtsch.Z.Mund-Kiefer-Gesichts-Chir.*, v. 14, p. 154-160.
- 32) Hidding, J., T. Deitmer, A. Hemprich, and W. Ahrberg, 1991, Primary correction of orbital fractures using PDS-foil: *Fortschr.Kiefer Gesichtschir.*, v. 36, p. 195-196.
- 33) Höltje, W. J., 1983, Wiederherstellung von Orbitabodendefekten mit Polyglactin: *Fortschr.Kiefer Gesichtschir.*, v. 28, p. 65-67.
- 34) H.-H.Horch, 1990, H.-H.Horch Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie I: München-Wien-Baltimore, Urban & Schwarzenberg.
- 35) Howaldt, H.-P., and J. Neubert, 1990, Blow-in-Frakturen der Orbita - eine Indikation zur Sofortoperation: *Dtsch.Z.Mund-Kiefer-Gesichts-Chir.*, p. 228-229.
- 36) Imhof H, N. Schibany, A. Ba-Ssalamah, C. Czerny, A. Hojreh, F. Kainberger, C. Krestan, H. Kudler, I. Nobauer, R. Nowotny, 2003, Spiral CT and radiation dose: *Eur.J.Radiol.*, v. 47, p. 29-37.
- 37) Jackson, A., and R. W. Whitehouse, 1993, Low-dose computed tomographic imaging in orbital trauma: *Br.J.Radiol.*, v. 66, no. 788, p. 655-661.
- 38) Jank, S., R. Emshoff, B. Schuchter, H. Strobl, I. Brandlmaier, and B. Norer, 2003, Orbital floor reconstruction with flexible Ethisorb patches: a retrospective long-term follow-up study: *Oral Surg.Oral Med.Oral Pathol.Oral Radiol.Endod.*, v. 95, no. 1, p. 16-22.
- 39) Jin, H. R., S. O. Shin, M. J. Choo, and Y. S. Choi, 2000, Relationship between the extent of fracture and the degree of enophthalmos in isolated blowout fractures of the medial orbital wall: *J.Oral Maxillofac.Surg.*, v. 58, no. 6, p. 617-620.
- 40) Joos, U., 1996, Therapy of orbital fractures: *Fortschr.Kiefer Gesichtschir.*, v. 41, p. 32-38.
- 41) Kauffmann, G., E. Moser, and R. Sauer, 2001, Radiologie: München, Jena, Urban&Fischer Verlag.
- 42) Kawamoto, H. K., 1982, Late posttraumatic enophthalmos: a correctable deformity?: *Plast.Reconstr.Surg.*, v. 69, no. 3, p. 423-432.
- 43) Kolk, A., C. Pautke, E. Wiener, O. Ploder, and A. Neff, 2005, 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.*, v. 63, p. 492-498.
- 44) Kontio, R., R. Suuronen, O. Salonen, P. Pauku, Y. T. Kontinen, and C. Lindqvist, 2001, Effectiveness of operative treatment of internal orbital wall fracture with polydioxanone implant: *Int.J.Oral Maxillofac.Surg.*, v. 30, no. 4, p. 278-285.

- 45) Kopka L, M. Funke, N. Breiter, An anatomically adapted variation of the tube current in CT. Studies on radiation dosage reduction and image quality: *Rofo.Fortschr.Geb.Rontgenstr Neuen Bildgeb.Verfahr.*, v. 163, p.383-387.
- 46) Kreuzsch, T., B. Fleiner, and D. Friedrich, 1990, Orbitabodenfraktur: *Dtsch.Z.Mund-Kiefer-Gesichts-Chir.*, p. 190-192.
- 47) Kriens, O., 1980, Blowout fractures - maxillofacial-surgical aspects on diagnosis and treatment (author's transl): *Ber.Zusammenkunft.Dtsch.Ophthalmol.Ges.*, v. 78, p. 805-814.
- 48) Le Fort, R., 1901, Etude experimentale sur les fractures de la machoire superieure: *Rev Chir de Paris*, v. 23, p. 208-479.
- 49) Lemke, A. J., N. Hosten, P. I. Foerster, and M. H. Foerster, 2001, Using high resolution sectional imaging in diagnosis of the eye and orbit: *Ophthalmologe*, v. 98, no. 5, p. 435-445.
- 50) Lentrodt, J., 1991, Therapy of orbital fractures: *Fortschr.Kiefer Gesichtschir.*, v. 36, p. 184-186.
- 51) Linnau K. F., D. K. Hallam, F. M. Lomoschitz, 2003, Orbital apex injury: Trauma at the junction between the face and the cranium: *Eur J Radiol*, v. 48, p. 5-16.
- 52) Manfre, L., G. Nicoletti, M. Lombardo, V. Consoli, G. Pero, and V. Albanese, 1993, Orbital "blow-in" fracture: MRI: *Neuroradiology*, v. 35, no. 8, p. 612-613.
- 53) Manson, P. N., A. Grivas, A. Rosenbaum, M. Vannier, J. Zinreich, and N. Iliff, 1986, Studies on Enophthalmos .2. the Measurement of Orbital Injuries and Their Treatment by Quantitative Computed-Tomography: *Plastic and Reconstructive Surgery*, v. 77, no. 2, p. 203-214.
- 54) Manson, P. N., N. Iliff, and B. Robertson, 2002, Trapdoor fracture of the orbit in a pediatric population - Discussion: *Plastic and Reconstructive Surgery*, v. 109, no. 2, p. 490-495.
- 55) Mathog R. H., 1991, Management of orbital blow-out fractures: *Otolaryngol.Clin.North Am.*, v. 24, p. 79-91.
- 56) Mathog, R. H., 2000, Relationship between the extent of fracture and the degree of enophthalmos in isolated blowout fractures of the medial orbital wall - Discussion: *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, v. 58, no. 6, p. 620-621.
- 57) Mayer S. M., T. Smith, S. Spiesse, 1996, Methodology of surgical management of orbital floor-fractures: a comparison from ophthalmologic viewpoint between implant and antral balloon (in German): *Klin.Monatsbl.Augenheilkunde*, v. 208, p. 203-209.
- 58) Mazock, J., S. Schow, and G. Triplett, 2004, Evaluation of Ocular Changes Secondary to Blowout Fractures: *J.Oral Maxillofac.Surg.*, v. 62, p. 1298-1302.
- 59) McGurk, M., R. W. Whitehouse, P. M. Taylor, and B. Swinson, 1992, Orbital volume measured by a low-dose CT scanning technique: *Dentomaxillofac.Radiol.*, v. 21, no. 2, p. 70-72.

- 60) Meier, K., and T. Schmidt, 1991, Diagnostic and therapeutic aspects in medial orbital fractures: *Fortschr.Kiefer Gesichtschir.*, v. 36, p. 220-222.
- 61) Merten, H. A., J. F. Hönig, J. Wiltfang, H. Mühlendyck, and H.-G. Luhr, 1999, Orbitabodenplastik mit einer biodegradierbaren Kunststoff-Folie (PDS-Folie): *Osteologie 8 Suppl.*, v. 1, p. 122.
- 62) Merten, H. A., and H. G. Luhr, 1994, Resorbable synthetics (PDS foils) for bridging extensive orbital wall defects in an animal experiment comparison: *Fortschr.Kiefer Gesichtschir.*, v. 39, p. 186-190.
- 63) Milewski C., 1991, Treatment of fractures of the orbital floor (in german): *HNO*, v. 39, p. 138-144.
- 64) Okinaka, Y., J. Hara, and M. Takahashi, 1999, Orbital blowout fracture with persistent mobility deficit due to fibrosis of the inferior rectus muscle and perimuscular tissue: *Ann.Otol.Rhinol.Laryngol.*, v. 108, no. 12, p. 1174-1176.
- 65) Olsen, R. V., P. L. Munk, M. J. Lee, D. L. Janzen, A. L. MacKay, Q. S. Xiang, and B. Masri, 2000, Metal artifact reduction sequence: early clinical applications: *Radiographics*, v. 20, no. 3, p. 699-712.
- 66) Parsons, G. S., and R. H. Mathog, 1988, Orbital wall and volume relationships: *Arch.Otolaryngol.Head Neck Surg.*, v. 114, no. 7, p. 743-747.
- 67) Pfeiffer, R. L., 1943, Traumatic enophthalmos: *Adv.Ophthalmic Plast.Reconstr.Surg.*, v. 6, p. 301-312.
- 68) Ploder, O., C. Klug, W. Backfrieder, M. Voracek, C. Czerny, and M. Tschabitscher, 2002a, 2D- and 3D-based measurements of orbital floor fractures from CT scans: *J.Craniomaxillofac.Surg.*, v. 30, no. 3, p. 153-159.
- 69) Ploder, O., C. Klug, M. Voracek, G. Burggasser, and C. Czerny, 2002b, 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.*, v. 60, no. 11, p. 1267-1272.
- 70) Ploder, O., M. Oeckher, C. Klug, M. Voracek, A. Wagner, G. Burggasser, A. Baumann, and C. Czerny, 2003, Follow-up study of treatment of orbital floor fractures: relation of clinical data and software-based CT-analysis: *Int.J.Oral Maxillofac.Surg.*, v. 32, no. 3, p. 257-262.
- 71) Potter, J., and E. Ellis, III, 2004, Biomaterials for Reconstruction of the Internal Orbit: *J.Oral Maxillofac.Surg.*, v. 62, p. 1280-1297.
- 72) Putz, R., and R. Pabst, 2000, *Sobotta Atlas der Anatomie des Menschen: München-Jena.*
- 73) Ramieri, G., M. C. Spada, S. D. Bianchi, and S. Berrone, 2000, Dimensions and volumes of the orbit and orbital fat in posttraumatic enophthalmos: *Dentomaxillofac.Radiol.*, v. 29, no. 5, p. 302-311.
- 74) Raskin, E. M., A. L. Millman, V. Lubkin, R. C. della Rocca, R. D. Lisman, and E. A. Maher, 1998, Prediction of late enophthalmos by volumetric analysis of orbital fractures: *Ophthal.Plast.Reconstr.Surg.*, v. 14, no. 1, p. 19-26.

- 75) Reich, R., and D. Otte, 1991, Verletzungsmechanismen bei Mittelgesichtsfrakturen im Straßenverkehr: Fortschr.Kiefer Gesichtschir., v. 36, p. 11-14.
- 76) Richter, W. C., 1992, Kopf- und Halsverletzungen: Klinik und Diagnostik: Georg Thieme Verlag Stuttgart - New York.
- 77) Sandler N. A., R. L. Carran, M. W. Ochs, 1999, The use of maxillary sinus endoscopy in the diagnosis of orbital floor fractures: J.Oral Maxillofac.Surg., v. 57, p. 399-403.
- 78) Sachs M. E., 1987, Orbital floor fractures: the maxillary approach: Adv.ophtalmic.Plast.Reconstr.Surg., v. 6, p. 387-391.
- 79) Schettler, D., 1991, Zeitpunkt der definitiven Versorgung schwerer Orbita- und Mittelgesichtsverletzungen: Fortschr.Kiefer Gesichtschir., v. 36, p. 39-41.
- 80) Schliephake, H., F. W. Neukam, and D. Klosa, 1991, Animal experiments for the determination of in-vivo absorption of PDS osteosynthesis material: Fortschr.Kiefer Gesichtschir., v. 36, p. 252-255.
- 81) Schmitz J. P., W. Parks, I. F. Wilson, 1999, The use of the Naugle orbitometer in maxillofacial trauma: J.Craniomaxillofac.Trauma., v. 5, p.13-18.
- 82) Schobel, A., W. Millesi, I. Watzke, E. Steiner, and P. Papapanos, 1990, Blow-in-Frakturen - Vergleich operative/konservative Therapie: Dtsch.Z.Mund-Kiefer-Gesichts-Chir., p. 224-228.
- 83) Schönhardt, R. E., H.-H. Horch, M. Lochner, and W. Rübmann, 1983, Mediale Orbitafrakturen: Z.prakt.Augenheilkd., v. 5, p. 255-257.
- 84) Schuknecht, B., F. Carls, A. Valavanis, and H. F. Sailer, 1996, CT assessment of orbital volume in late post-traumatic enophthalmos: Neuroradiology, v. 38, no. 5, p. 470-475.
- 85) Schulze D, M. Heiland, H. Thurmann, 2004, Radiation exposure during midfacial imaging using 4- and 16-slice computed tomography, cone beam computed tomography systems and conventional radiography. Dentomaxillofac.Radiol., v. 33, p. 83-86.
- 86) Smith B., and W. F. Jr. Reagan, 1957, Blowout fracture of the orbit: Mechanism and correction of internal orbital fracture: Am.J.Ophthalmol., v. 44, p.733-739.
- 87) Steward M. G., J. R. Patrinely, W. D. Appling, 1995, Late ptosis following orbital floor fracture repair: Ach.Otolaryngol. Head Neck Surg., v. 121, p. 649-653.
- 88) Tian S., Y. Nishida, B. Isberg, G. Lennerstrand, 2000, MRI measurements of normal extraocular muscles and other orbital structures: Graefes Arch.Clin.Exp.Ophthalmol., v. 238, p. 393-404.
- 89) Tonami H., I. Yamamoto, M. Matsuda, H. Tamamura, H. Yokota, T. Nakagawa, A. Takarada, T. Okimura, 1991, Orbital fractures: surface coil MR imaging: J.Radiology, v. 179, p. 789-794.
- 90) Walser, B., 1897, Vorläufige Mitteilung über Versuche experimenteller Erzeugung von Lidemphysem am Cadaver: Graefes Arch.Ophth., v. 48, p. 201.

- 91) Waterhouse, N., J. Lyne, M. Urdang, and L. Garey, 1999, An investigation into the mechanism of orbital blowout fractures: *Br.J.Plast.Surg.*, v. 52, no. 8, p. 607-612.
- 92) Whitaker, L. A., and M. J. Yaremchuk, 1990, Secondary Reconstruction of Posttraumatic Orbital Deformities: *Annals of Plastic Surgery*, v. 25, no. 6, p. 440-449.
- 93) Whitehouse, R. W., M. Batterbury, A. Jackson, and J. L. Noble, 1994, Prediction of enophthalmos by computed tomography after 'blow out' orbital fracture: *Br.J.Ophthalmol.*, v. 78, no. 8, p. 618-620.
- 94) Wiener E., A. Kolk, A. Neff, M. Settles, E. Rummeny, 2005, Evaluation of reconstructed orbital wall fractures: high-resolution MRI using a microscopy surface coil versus 16-slice MSCT: *Eur.J.Radiol.*, v. 15, p. 1250-1255.
- 95) Williams, G., A. Jackson, R. W. Whitehouse, and J. Kwartz, 1995, The role of CT and MRI in the investigation of orbital roof fractures: *Eur.J.Radiol.*, v. 19, p. 124-127.
- 96) Yab K., S. Tajima, S. Ohba, 1997, Displacements of eyeball in orbital blowout fractures: *Plast.Reconstr.Surg.*, v. 100, p. 1409-1417.
- 97) Yoshioka H., T. Ueno, T. Tanaka T, 2003, High-resolution MR imaging of triangular fibrocartilage complex (TFCC): Comparison of microscopy coils and a conventional small surface coil: *Skeletal Radiol.*, v. 32, p. 575-581.
- 98) Zammit-Maempel, I., C. L. Chadwick, and S. P. Willis, 2003, Radiation dose to the lens of eye and thyroid gland in paranasal sinus multislice CT: *Br.J.Radiol.*, v. 76, no. 906, p. 418-420.
- 99) Zhan, Y., M. Engel, C. Kujat, M. Backens, R. Kubale, and B. Kramann, 1995, Proton spin tomography of the orbit in post-traumatic motility disorders: *Rofo.Fortschr.Geb.Rontgenstr.Neuen Bildgeb.Verfahr.*, v. 163, no. 2, p. 127-133.

8 Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen

8.1 Verzeichnis der Abbildungen

Abb. 1: Anatomie der Orbita (von vorne lateral (links))	9
Abb. 2: Blow-out-Fraktur: Frakturmechanismus	10
Abb. 3: Praeoperative MRT-Aufnahmen einer Orbitabodenfraktur –	10
Abb. 4: Entstehungsmechanismen der Orbitafraktur (linke Seite/buckling theory – rechte Seite/hydraulic force mechanism	12
Abb. 5: Eingeschränkte Hebung u. Senkung links nach Blow-out-Fraktur (Pschyrembel)	15
Abb. 6: Hochauflösende coronare T1-(a) und T2-(b) gewichtete MRT-Bilder mit einem großen Hämatom (Sterne) auf zwei Folien (Pfeile), das auf das Fettgewebe und die äußeren Augenmuskeln drückt.	15
Abb. 7: PDS-Folie 0,25mm kurz vor Einlage in die mediale Orbitawand	20
Abb. 8: Coronare, axiale und sagittale MRT-Aufnahme Orbitavolumen rechts (frakturierte Seite)	25
Abb. 9: Darstellung des Bodenprolapses der rechten Orbita nach Methode 2 - Axiale PDW-Aufnahme (oben), sagittale PDW-Aufnahme (unten)	26
Abb. 10: Kernspintomographiegerät, 1,5 Tesla	28
Abb. 11: Coronare T1-Wichtung	31
Abb. 12: Coronare T2-Wichtung	31
Abb. 13: Coronare, sagittale, axiale PDW-Aufnahme	32
Abb. 14: Eindeutige Darstellung der PDS-Folie am Übergang Boden/mediale Wand der rechten Orbita	33
Abb. 15: Regelrechte Lage der PDS-Folie am Übergang Boden/mediale Wand der rechten Orbita - Darstellung in verschiedenen Schichten	34
Abb. 16: (a) coronare, (b) axiale und (c) sagittale Sicht von hochauflösenden PD-gewichteten MRT-Bildern (3D) für die Volumetrie der Orbita: Deformation der frakturierten Orbita mit einer veränderten Orbitageometrie.	35
Abb. 17: Vordere und hintere Orbitabegrenzung (Quelle: Institut für Röntgendiagnostik des Klinikums rechts der Isar der Technischen Universität München)	36
Abb. 18: Inter- und intraindividuelle Untersucherunabhängigkeit	37
Abb. 19: Orbitavolumen	38
Abb. 20: Zweidimensionale Bildschirmansicht im Segmentationsprogramm Easy Vision	40
Abb. 21: PD-gewichtete MRT-Aufnahme für die Volumenbestimmung des Bulbus	41
Abb. 22: Isotrope hochauflösende T2-gewichtetes MRT-Bild zur Volumensegmentation des Bulbus	42
Abb. 23: Coronare, sagittale, axiale PDW-Aufnahme	44
Abb. 24: Darstellung des Prolaps der medialen Wand der linken Orbita nach Methode 3 in coronarer T2-Wichtung und axialer PDW-Aufnahme	44
Abb. 25: Frakturtypen Patientenkollektiv I	48
Abb. 26: In MRT-Bildern a und b mit Pfeilen markierte Lage der Folie	50
Abb. 27: Hochauflösende (A) T1- und (B) T2-gewichtete Mikrospulen-MRT-Bilder mit einer regulären PDS-Folienlage, die nahe der Folie kleine Hämatome zeigen (Pfeile). (Kolk et al. Microscopy MR Coil for Orbital Imaging. J Oral Maxillofac Surg 2005)	53
Abb. 28: Orbitavolumina Patientenkollektiv I	55
Abb. 29: Bulbusvolumina	56
Abb. 30: Coronare Darstellung des Bodenprolapses einer rechten Orbita in T2-Wichtung (links) und T1-Wichtung (rechts)	58
Abb. 31: Hochauflösende koronare T1-(a) und T2-(b) gewichtete MRT-Bilder eines Patienten mit persistierender Doppelbildwahrnehmung, die einen kleinen Prolaps periorbitalen	

Weichteilgewebes ohne Einklemmung des M. rectus medialis und des M. obliquus superior zeigen (Pfeil).	58
Abb. 32: Hochauflösende coronare T2-gewichtete MRT-Bilder (a, b), die eine Einklemmung des M. rectus medialis (Pfeile) tief in der Augenhöhle nach einer ungenügenden Abdeckung durch die Folie zeigen.	58
Abb. 33: Darstellung eines Fettgewebe- und Muskelprolapses der medialen Wand der linken Orbita in axialer (links) und coronarer pd-gewichteter Aufnahme (rechts)	59
Abb. 34: Darstellung eines Enophthalmus (Quelle: Dr. Dr. Andreas Kolk, MKG des Klinikums rechts der Isar der Technischen Universität München)	61
Abb. 35: Coronare PDW-Aufnahmen des Prolaps in unterschiedlichen Schichten von ventral (oberstes Bild) nach dorsal (unterstes Bild)	62
Abb. 36: Streudiagramm Enophthalmus-Volumen Fettgewebeprolaps	63
Abb. 37: Streudiagramm Enophthalmus – Orbitavolumendifferenz	64
Abb. 38: Regression zwischen Enophthalmus und Orbitavolumenvergrößerung ($p < 0,01$) (Kolk et al., 2005)	65
Abb. 39: Darstellung der PDS-Folie mit Hämatom unter der Folie im Orbitaboden- und Wandbereich der linken Orbita	70
Abb. 40: Darstellung der PDS-Folie mit Hämatom unter der Folie im Orbitaboden- und Wandbereich der rechten Orbita	71

8.2 Verzeichnis der Tabellen

Tab. 1: MRT-Parameter	29
Tab. 2: Technische Daten	30
Tab. 3: Einteilung der Frakturtypen	47
Tab. 4: Darstellung der Folie in T1-Wichtung	51
Tab. 5: Darstellung der Folie in T2-Wichtung	51
Tab. 6: Darstellung der Folie in PD-Wichtung	52
Tab. 7: Orbitavolumina Patientenkollektiv I	54
Tab. 8: Bulbusvolumina	56
Tab. 9: Lokalisation der Prolapse (Patientenkollektiv I)	57
Tab. 10: Prolapsvolumina in Abhängigkeit zur Lokalisation	57
Tab. 11: Überblick über die nach Methode 1, 2 und 3 gemessenen Prolapsvolumina 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	60
Tab. 12: Korrelation zwischen Prolapsvolumina und Enophthalmus	63
Tab. 13: Korrelation zwischen Orbitavolumendifferenz und Enophthalmus	64
Tab. 14: Frakturlokalisierung bei Enophthalmus	66
Tab. 15: Metallartefakte	68
Tab. 16: Verschattung der Nasenneben-, Kiefer- und Stirnhöhlen	69
Tab. 17: Signalveränderungen	69

9 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 der Durchführung dieser Arbeit.

Außerdem 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, die MRT-Aufnahmen in seinem Institut anzufertigen und zu bearbeiten.

Ich bedanke mich besonders bei meinem Betreuer Herrn PD Dr. Dr. A. Kolk für die Überlassung des Themas sowie die Geduld und Unterstützung bei der Recherche und Studienplanung.

Für die radiologische Betreuung danke ich Herrn Dr. med. E. Wiener und bin Herrn Dipl.-Phys. M. Settles zu großem Dank verpflichtet, der die Segmentationsmethode erstellt und etabliert hat, was viel Zeit und Nerven gekostet hat.

Ich bedanke mich herzlich bei Frau V. Schott für die gemeinsamen Stunden beim Erfassen von Patientendaten des gemeinsamen Patientenkollektivs und für die große Unterstützung in den letzten 6 Jahren der Erstellung dieser Arbeit.

Einen großen Dank möchte ich meinen Eltern aussprechen, die mich stets bei Computerproblemen und in der Korrektur mit großer Geduld unterstützt haben.

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

CURRICULUM VITAE

PERSÖNLICHE DATEN

Name: Esther Pia Maria Ventrella, geb. Fritzsche
Geburtsdatum: 22. Januar 1979
Geburtsort: München
Nationalität: deutsch

AUSBILDUNG

1985-1989: Grundschule an der Dieselstraße
1989-1998: Gymnasium München/Moosach - Abitur
seit 1999: Studium der Humanmedizin
2002: I. Staatsexamen
2004: II. Staatsexamen
2004-2005: Praktisches Jahr
2005: III. Staatsexamen
Nov. 2005: Approbation als Ärztin

BERUFLICHER WERDEGANG

2005-2007: Stationsärztin auf einer geschlossenen gerontopsychiatrischen Station
im Isar-Amper-Klinikum München Ost
seit 01/ 2007: Assistenzärztin für Kinder- und Jugendpsychiatrie und Psychotherapie
am Heckscher Klinikum München

München, den 4.2.2008