

Aus dem Fachbereich Medizin  
der Johann Wolfgang Goethe-Universität  
Frankfurt am Main

aus der  
Klinik für Augenheilkunde  
Direktor: Professor Dr. Thomas Kohnen

betreut am  
Klinikum Frankfurt am Main Höchst

**Analyse verschiedener Endotamponaden in der  
Makulaforamenchirurgie:  
Ein Vergleich zwischen Luft- und SF<sub>6</sub>-Gas-Endotamponade.**

Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades der Medizin  
des Fachbereichs Medizin  
der Johann Wolfgang Goethe-Universität  
Frankfurt am Main

vorgelegt von  
Chrysanthi Papadopoulou Laiou  
aus Athen, Griechenland

Frankfurt am Main, 2020

Dekan: Prof. Dr. Stefan Zeuzem  
Referent: Prof. Dr. Claus Eckardt  
Korreferent: Prof. Dr. Thomas Kohnen  
Tag der mündlichen Prüfung: 09.02.2021

<b><u>Inhaltsverzeichnis</u></b>	i
<b><u>Abbildungsverzeichnis</u></b>	vi
<b><u>Tabellenverzeichnis</u></b>	vii
<b><u>Abkürzungsverzeichnis</u></b>	viii
<b><u>1. Einleitung</u></b>	1
1.1 Allgemeine Einführung	1
1.2 Epidemiologie des primären Makulaforames	1
1.3 Pathogenese des primären Makulaforamens	2
1.4 Klassifikation des Makulaforamens	2
1.4.1 <i>Klinische Klassifikation nach Gass</i>	2
1.4.2 <i>OCT-basierte IVTS-Klassifikation</i>	4
1.4.3 <i>Vergleich zwischen alter (nach Gass) und neuer Klassifikation (IVTS-Klassifikation)</i>	5
1.5 Symptomatik	6
1.6 Spontanverlauf	6
1.7 Verfahren zur Diagnose eines Makulaforamens	7
1.7.1 <i>Klinische- funktionelle Diagnostik</i>	7
1.7.1.1 <i><u>Biomikroskopische Untersuchung und Watzke-Allen-Test</u></i>	7
1.7.1.2 <i><u>Amsler-Gittertest</u></i>	7
1.7.2 <i>Apparative Diagnostik</i>	8
1.7.2.1 <i><u>Optische Kohärenztomographie</u></i>	8
1.8 Behandlung des primären Makulaforamens	8
1.8.1 <i>Pars plana Vitrektomie</i>	8
1.8.2 <i>Peeling der Membrana limitans interna</i>	9
1.8.3 <i>Färbetechniken</i>	9
1.8.4 <i>Endotamponade</i>	10
1.8.4.1 <i><u>Intraokulare Gase</u></i>	10
1.8.4.2 <i><u>Luft</u></i>	10
1.8.5 <i>Postoperative „Gesicht nach unten“-Lagerung</i>	10
1.9 Prognostische Faktoren	11
1.10 Ziel der Arbeit	11
<b><u>2. Material und Methoden</u></b>	12

<b>2.1 Studiendesign</b>	12
<b>2.2 Patientenkollektiv</b>	12
<b>2.2.1 Gruppenverteilung</b>	12
<b>2.2.2 Demographische Daten</b>	12
<b>2.2.3 Diagnosesicherung</b>	12
<b>2.2.4 Klassifikation des Makulaforamens</b>	12
<b>2.3 Einschlusskriterien bzw. Ausschlusskriterien</b>	13
<b>2.4 Präoperative Untersuchungen</b>	13
<b>2.4.1 Anamneseerhebung</b>	13
<u>2.4.1.1 Allgemeinanamnese</u>	13
<u>2.4.1.2 Ophthalmologische Anamnese</u>	13
<u>2.4.1.3 Dauer der präoperativen Symptome</u>	13
<b>2.4.2 Präoperative klinische Untersuchung</b>	14
<u>2.4.2.1 Visusbestimmung</u>	14
<u>2.4.2.2 Amsler-Gittertest</u>	14
<u>2.4.2.3 Gesichtsfeldbestimmung</u>	14
<u>2.4.2.4 Augeninnendruckmessung</u>	14
<u>2.4.2.5 Spaltlampenbiomikroskopie des vorderen Augenabschnittes</u>	15
<u>2.4.2.6 Funduskopie</u>	15
<u>2.4.2.7 Optische Kohärenztomographie</u>	15
<u>2.4.2.8 Achsenlängenmessung</u>	15
<b>2.5 Operationsbedingungen</b>	16
<b>2.5.1 Operateure</b>	16
<b>2.5.2 Anästhesie</b>	16
<b>2.5.3 Vorbereitung des zu operierenden Auges</b>	16
<b>2.5.4 Operationsmethoden und Instrumente</b>	16
<u>2.5.4.1 Pars plana Vitrektomie</u>	16
<u>2.5.4.2 Intraoperativ verwendete Färbetechniken</u>	17
<u>2.5.4.3 Endolaserkoagulation</u>	17
<u>2.5.4.4 Endodrainage</u>	17
<u>2.5.4.5 Endotamponade</u>	17
<u>2.5.4.6 Simultane Phakoemulsifikation</u>	18
<b>2.5.5 Operationsende</b>	18

<b>2.6 Postoperative Maßnahmen</b>	18
<b>2.6.1 Postoperative Positionierung</b>	18
<b>2.6.2 Infektionsprophylaxe</b>	18
<b>2.6.3 Postoperative klinische Untersuchung</b>	19
<b>2.6.4 Postoperative Kontrolle des anatomischen Befundes</b>	19
<b>2.7 Reoperation</b>	20
<b>2.8 Entlassungsbefund</b>	20
<b>2.8.1 Entlassungszeitpunkt</b>	20
<b>2.8.2 Anatomischer Befund bei der Entlassung</b>	20
<b>2.8.3 Entlassungsvisus</b>	22
<b>2.9 Letzte postoperative Nachkontrolle</b>	22
<b>2.9.1 Untersuchungen</b>	22
<b>2.9.2 Nachbeobachtungszeit</b>	22
<b>2.10 Abschließende Behandlungsergebnisse</b>	22
<b>2.10.1 Anatomisches Ergebnis</b>	22
<b>2.10.2 Funktionelles Ergebnis</b>	23
<b>2.11 Erhebung und Verarbeitung der Daten</b>	23
<b>2.11.1 Erhebungsbogen</b>	23
<b>2.11.2 Datenauswertung und Statistik</b>	24
<b><u>3. Ergebnisse</u></b>	25
<b>3.1 Demographische Daten</b>	25
<b>3.1.1 Gruppenverteilung</b>	26
<b>3.2 Präoperative Befunde</b>	26
<b>3.2.1 Dauer der Anamnese</b>	26
<b>3.2.2 Präoperativer Visus</b>	26
<b><u>3.2.2.1 Fernvisus</u></b>	26
<b><u>3.2.2.2 Nahvisus</u></b>	27
<b>3.2.3 Amsler-Gittertest</b>	27
<b>3.2.4 Gesichtsfeld</b>	27
<b>3.2.5 Achsenlänge</b>	27
<b>3.2.6 OCT-Befund / IVTS-Klassifikation</b>	28
<b><u>3.2.6.1 Makulaforamen-Größe</u></b>	28
<b><u>3.2.6.2 Glaskörperstatus: mit oder ohne VMT</u></b>	28

<b>3.2.7 Stadieneinteilung nach Gass</b>	30
<b>3.2.8 Linsenstatus</b>	30
<b>3.2.9 Begleitende Augenerkrankungen</b>	30
<b>3.3 Intraoperative Parameter</b>	31
<b>3.3.1 Anästhesie</b>	31
<b>3.3.2 Operateur</b>	31
<b>3.3.3 Simultane Phakoemulsifikation</b>	31
<b>3.3.4 Glaskörperstatus: partielle oder komplette Glaskörperabhebung/ Intraoperative Glaskörperablösung</b>	32
<b>3.3.5 Peripherer Netzhautbefund/ Intraoperative Laserkoagulation bzw. Kryokoagulation</b>	32
<b>3.3.6 Färbetechniken vor Peeling der Membrana limitans interna</b>	33
<b>3.3.7 Makulabefund nach Endodrainage</b>	33
<b>3.4 Postoperative Befunde</b>	33
<b>3.4.1 Postoperative Positionierung</b>	33
<b>3.4.2 Verschluss des Makulaforamens</b>	34
<b>3.5 Erneute Operation bei nicht geschlossenem Makulaforamen</b>	35
<b>3.6 Entlassungsbefund</b>	36
<b>3.6.1 Entlassungsvisus</b>	36
<b>3.6.2 Anatomischer Befund bei der letzten Untersuchung vor Entlassung</b>	37
<b>3.7 Letzte postoperative Nachkontrolle</b>	37
<b>3.7.1 Nachbeobachtungszeit</b>	37
<b>3.7.2 Befunde</b>	38
<u>3.7.2.2 Visus bei der letzten Nachkontrolle</u>	38
<u>3.7.2.3 Amsler-Gittertest</u>	38
<u>3.7.2.4 Gesichtsfeld</u>	39
<u>3.7.2.5 Linsenstatus</u>	39
<u>3.7.2.6 OCT-Befund</u>	39
<b>3.9 Abschließende Ergebnisse</b>	42
<b>3.9.1 Verschlussrate / Einfluss der Endotamponade</b>	42
<b>3.9.2 Einfluss präoperativer Parameter auf die Verschlussrate</b>	42
<u>3.9.2.1 Einfluss der Dauer der Symptome</u>	42

<u>3.9.2.2 Einfluss der präoperativen Sehschärfe</u>	43
<u>3.9.2.3 Einfluss der Makulaforamengröße</u>	43
<u>3.9.2.4 Einfluss einer im OCT sichtbaren vitreomakulären Traktion</u>	45
<u>3.9.2.5 Einfluss des Stadiums des Makulaforamens</u>	45
<u>3.9.2.6 Einfluss der Achsenlänge</u>	46
<b>3.9.3 Einfluss intraoperativer Parameter auf die Verschlussrate</b>	46
<u>3.9.3.1 Einfluss des Operateurs</u>	46
<u>3.9.3.2 Einfluss der Färbetechnik</u>	46
<b>3.9.4 Einfluss postoperativer Parameter auf die Verschlussrate</b>	47
<u>3.9.4.1 Einfluss der „Gesicht nach unten“-Lagerung („Bauchlage“)</u>	47
<b>3.9.5 Funktionelles Ergebnis</b>	48
<u>3.9.5.1 Postoperative Visusentwicklung im</u>	
<u>Nachbeobachtungszeitraum</u>	48
3.9.5.1.1 Fernvisus	48
3.9.5.1.2 Nahvisus	48
<b>3.9.10 Komplikationen</b>	49
<b>3.9.11 Fallbeispiele</b>	52
<b>3.9.11.1 Partieller Verschluss mit „bridge“-Formation</b>	52
<b>3.9.11.2 Kompletter Verschluss am 1. postoperativen Tag</b>	53
<b>3.9.11.3 Verschluss des Makulaforamens nach 2. ppV</b>	53
<b>3.9.11.4 Persistierendes Makulaforamen nach 2. ppV</b>	54
<b>3.9.11.5 Wiedereröffnung des Makulaforamens am 6.</b>	
<b>postoperativen Tag</b>	54
<b><u>4. Diskussion</u></b>	55
<b><u>5. Zusammenfassung</u></b>	69
<b><u>6. Summary</u></b>	71
<b><u>7. Anhang</u></b>	73
<b>7.1 Literaturverzeichnis</b>	73
<b>7.2 Erhebungsbogen</b>	83
<b>7.3 Visusumrechnungstabellen</b>	86
<b>7.4 Danksagung</b>	87
<b>7.5 Schriftliche Erklärung</b>	88

## Abbildungsverzeichnis

<b>Abb. 2.1</b>	Modifiziertes Fourier-domain-Topcon-3D-OCT-1000-Gerät (Topcon, Tokyo, Japan)	19
<b>Abb. 2.2</b>	Einteilung der Augen anhand der postoperativen Morphologie der Fovea in der optischen Kohärenztomographie	21
<b>Abb. 2.3</b>	Einteilung der fovealen Kontur der geschlossenen Makulaforamina in vier Kategorien	23
<b>Abb. 3.1</b>	Altersverteilung zum Operationszeitpunkt	25
<b>Abb. 3.2</b>	Darstellung retinaler Auffälligkeiten nach Makulaforamen- Chirurgie durch optische Kohärenztomographie	41
<b>Abb. 3.3</b>	Balkendiagramm der Verschlussrate nach einer Operation je nach Makulaforamengröße in beiden Tamponadegruppen	44
<b>Abb. 3.4</b>	Balkendiagramm des Makulaforamenverschlusses nach einer einzigen Operation je nach Einhaltung der „Bauchlage“	47
<b>Abb. 3.5</b>	Fallbeispiel mit partiellem Verschluss des Makula- foramens einen Tag nach ppV und SF <sub>6</sub> -Gastamponade	52
<b>Abb. 3.6</b>	Fallbeispiel mit komplettem Verschluss des Makulaforamens einen Tag nach ppV und Lufttamponade	53
<b>Abb. 3.7</b>	Fallbeispiel mit Verschluss des Makulaforamens erst nach zweiter ppV	53
<b>Abb. 3.8</b>	Persistierendes Makulaforamen auch nach zweiter ppV	54
<b>Abb. 3.9</b>	Wiedereröffnung des Makulaforamens nach partiellem Verschluss	54



## Tabellenverzeichnis

<b>Tab. 1.1</b>	Stadieneinteilung des Makulaforamens nach Gass	4
<b>Tab. 1.2</b>	„International Vitreomacular Traktion Study Group“- Klassifikation des Makulaforamens (IVTS-Klassifikation)	5
<b>Tab. 1.3</b>	Klassifikation des Makulaforamens nach Gass und IVTS im Vergleich	6
<b>Tab. 2.1</b>	Einteilung der Augen anhand des anatomischen Makulabefundes in der optischen Kohärenztomographie	21
<b>Tab. 3.1</b>	Geschlechtsverteilung in den Endotamponadegruppen	26
<b>Tab. 3.2</b>	Demographische Daten und präoperative Parameter	29
<b>Tab. 3.3</b>	Begleitende Augenerkrankungen zum Operationszeitpunkt	31
<b>Tab. 3.4</b>	Primärer Verschlussrate in den ersten postoperativen Tagen	34
<b>Tab. 3.5</b>	Mobilisationstag der Patienten nach erfolgreicher Re- Vitrektomie	36
<b>Tab. 3.6</b>	Einteilung der Augen anhand des postoperativen anatomischen Makulabefundes im OCT-Bild	37
<b>Tab. 3.7</b>	Einteilung der geschlossenen Foramina anhand der retinalen Auffälligkeiten im OCT-Bild 3 Monate nach der Operation	40
<b>Tab. 3.8</b>	Verschlussrate	42
<b>Tab. 3.9</b>	Einfluss des präoperativen Stadiums des Makulaforamens auf die Verschlussrate nach einer Operation	45
<b>Tab. 3.10</b>	Postoperative Entwicklung des bestkorrigierten logMAR- Visus (Median)	48
<b>Tab. 3.11</b>	Komplikationen	49

## **Abkürzungsverzeichnis**

Abb.	Abbildung
AION	anteriore ischämische Optikusneuropathie
BKSS	bestkorrigierte Sehschärfe
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	Hexafluorethan
C <sub>3</sub> F <sub>8</sub>	Perfluorpropan
d.h.	das heißt
Dm.	Durchmesser
dpt	Dioptrien
engl.	englisch
et al.	et alii
GK	Glaskörper
ICG	Indozyaningrün
ILM	Membrana limitans interna
i.o.	intraoperativ
IOL	Intraokularlinse
IS/OS	photoreceptor inner segment and outer segment junction
IVTS	International Vitreomacular Traction Study Group
J.	Jahr
LASIK	Laser in situ Keratomileusis
Lj.	Lebensjahr
logMAR	logarithm of the minimal angle of resolution
m	männlich
MF	Makulaforamen
min.	minimal
MRT	Magnetresonanztomographie
M-W	Mann-Whitney-U-Test
N	Anzahl
Nd:YAG	Neodym-dotierter Yttrium-Aluminium-Granat
NH	Netzhaut
OCT	optische Kohärenztomographie

o.g.	oben genannt
OP	Operation
p	Überschreitungswahrscheinlichkeit, Signifikanzwert; Englisch p-value von probability, engl. für Wahrscheinlichkeit
PD	Papillendurchmesser
ppV	pars plana Vitrektomie
RPE	retinales Pigmentepithel
s.	siehe
SD	Standardabweichung
SF <sub>6</sub>	Schwefelhexafluorid
Sig.	Signifikanz
STMF	Stadium des Makulaforamens
Tab.	Tabelle
u.	und
u.g.	unten genannt
v.a.	vor allem
V.a.	Verdacht auf
VK	Vorderkammer
VMA	vitreomakuläre Adhäsion
VMT	vitreomakuläre Traktion
VRI	vitreoretinal interface
w	weiblich
WHO	World Health Organisation
x <sup>2</sup> -Test	chi-Quadrant-Test
z.B.	zum Beispiel
ZMÖ	zystoides Makulaödem
Z.n.	Zustand nach

# **1. Einleitung**

## **1.1 Allgemeine Einführung**

Makulaforamina sind als Krankheitsbild bereits seit der Erstbeschreibung eines traumatischen Makulaforamens im Jahr 1869 von Knapp<sup>1</sup> bekannt. „Idiopathische“ Makulaforamina wurden erst später beschrieben.<sup>2</sup>

Es handelt sich bei einem Makulaforamen um einen anatomischen umschriebenen durchgreifenden Substanzdefekt der Netzhaut im Bereich der Fovea, meist mit umgebender zystoider Netzhautverdickung. Vom „idiopathischen“ Makulaforamen werden das seltenere traumatische Makulaforamen und Makulaforamina anderer Genese unterschieden (z.B. nach Netzhautablösung, bei myopischer Makulopathie, zystoidem Makulaödem, Makuladystrophie, Entzündungen, nach Laserverletzung).<sup>3,4</sup>

Ätiologie und Pathogenese des Makulaforamens wurden lange kontrovers diskutiert.<sup>4</sup> Die Entwicklung der optischen Kohärenztomographie ermöglichte eine bessere Darstellung der morphologischen Verhältnisse zwischen Glaskörper und der vitreoretinalen Grenzschicht (engl.: vitreoretinal interface, VRI) und bestätigte die Bedeutung der Interaktion von Glaskörper und zentraler Netzhaut für die Pathogenese eines durchgreifenden Makulaforamens.

Das idiopathische Makulaforamen galt für lange Zeit als nicht therapierbar. Die erste erfolgreiche chirurgische Behandlung wurde von Kelly und Wendel im Jahr 1991 beschrieben.<sup>5</sup> Sie führten eine pars plana Vitrektomie mit Entfernung der hinteren Glaskörperrinde, Entfernung eventuell vorhandener epiretinaler Membranen, Gas-Endotamponade und „Gesicht nach unten“-Lagerung durch. Heutzutage wird von den meisten Chirurgen zusätzlich die Membrana limitans interna entfernt. Andere Details werden aber immer noch kontrovers diskutiert, so dass unter vitreoretinalen Chirurgen kein evidenzbasierter Konsens über alle Schritte der Vitrektomie beim primären Makulaforamen besteht.

## **1.2 Epidemiologie des primären Makulaforamens**

Das primäre (oder altersabhängige) durchgreifende Makulaforamen tritt typischerweise im höheren Lebensalter auf. Frauen sind 2- bis 3-mal häufiger als Männer betroffen.<sup>6,7</sup> In einer Registerstudie über die Jahre 2011 bis 2015 wurde in der gesamten südkoreanischen Bevölkerung eine durchschnittliche

Inzidenz von operationsbedürftigen Makulaforamina von 3,14 pro 100000 Personenjahre ermittelt, wobei das Risiko in der Altersgruppe der 65 bis 69 Jahre alten Personen am höchsten war. Das Verhältnis betroffener Frauen zu Männern betrug 2,15 zu 1.<sup>8</sup> Das Risiko für eine Beteiligung des Partnerauges beträgt etwa 7-15 % in einem Zeitraum von 4-6 Jahren nach Diagnose am ersten Auge.<sup>4</sup>

### **1.3 Pathogenese des primären Makulaforamens**

Lange war unklar, ob die strukturellen Veränderungen Folge einer tangentialen oder einer anterior-posterioren Traktion des Glaskörpers auf die Fovea ist.

Gass<sup>6,9</sup> entwickelte bereits vor Entwicklung der optischen Kohärenztomographie (OCT) anhand biomikroskopischer Beobachtungen die Theorie der tangentialen Traktion, während Gaudric et al.<sup>10</sup> unter Berücksichtigung der Ergebnisse der OCT die Rolle einer anterior-posterioren Traktion hervorhoben.

Der Pathomechanismus des Makulaforamens ist anhand neuer OCT-basierter Kenntnisse sowohl durch anterior-posteriore Zugkräfte des Glaskörpers auf die Retina in den Anfangsstadien, als auch durch eine tangential, d.h. netzhautoberflächenparallele, Traktion in fortgeschrittenen Stadien zu erklären.<sup>11,12</sup> Die Entwicklung eines durchgreifenden Makulaforamens wurde mithilfe von OCT-Bildern von Duker et al. ausführlich beschrieben.<sup>12</sup>

### **1.4 Klassifikation des Makulaforamens**

Die Unterscheidung verschiedener Stadien ist für die Behandlung und Prognose des Makulaforamens von Bedeutung.

#### ***1.4.1 Klinische Klassifikation nach Gass 1995 (Tabelle 1.1)***

Die von Gass<sup>6</sup> erstmals im Jahr 1988 eingeführte und im Jahr 1995 modifizierte klinische Stadieneinteilung des Makulaforamens<sup>9</sup> ist bis heute unverändert im Alltag nützlich.

Stadium 1a: „drohendes Makulaforamen“. Stadium 1b: Abhebung der Foveola ohne durchgreifenden Defekt: Das normalerweise nicht sichtbare gelbe Makulapigment, das Xanthophyll, ist klinisch als gelber Fleck (Stadium 1a) bzw.

gelber Ring (Stadium 1b) erkennbar. Im Stadium 1b ist ein Einriss im Bereich der Photorezeptoren vorhanden. Im Makulabereich wird eine partielle Glaskörperabhebung mit einer vitreofovealen Adhäsion beobachtet.

Stadium 2: Ein durchgreifendes Makulaforamen mit einem Durchmesser bis zu 400 µm ist entstanden. Ophthalmoskopisch besteht meistens ein exzentrischer fovealer Einriss. Die inneren und äußeren Netzhautschichten sind im Bereich der Fovea eingerissen. Es besteht weiterhin eine vitreofoveale Adhäsion bzw. Traktion.

Stadium 3: Das durchgreifende Makulaforamen hat eine Größe von mehr als 400 µm. Bei der Ophthalmoskopie kann ein scharf begrenzter ovaler bzw. runder zentraler Netzhautdefekt beobachtet werden, der eventuell ödematöse und abgehobene Ränder haben kann. Die foveale Glaskörperrinde löst sich ab, während der Glaskörper zirkulär um das Foramen noch anliegt. Bei bis zu 75% der Patienten tritt ein verdichtetes Gewebe vor dem Makulaforamen, das so genannte „Pseudooperkulum“, auf. Histologische Untersuchungen dieser Pseudooperkula konnten proliferierte Astrozyten und Müller-Zellen, in einigen Fällen auch neuronale bzw. Photorezeptorzell-Elemente nachweisen.<sup>3</sup>

Stadium 4: Es besteht ein durchgreifendes Makulaforamen mit einer vollständigen hinteren Glaskörperabhebung. Die hintere Glaskörperabhebung ist funduskopisch als „Weiss“-Ring bzw. „Martegiani“-Ring zu erkennen.

**Tabelle 1.1** Stadieneinteilung des Makulaforamens nach Gass<sup>9</sup>

Stadium	Klinisches Bild	Status des Glaskörpers
1	1a: -punktförmiger gelber Foveolarreflex (1a) 1b: -ringförmiger gelber Foveolarreflex	-vitreofoveale Adhäsion -perifoveale Glaskörperabhebung
2	-exzentrischer fovealer Einriss - < 400 µm	-vitreofoveale Adhäsion -perifoveale Glaskörperabhebung
3	-runder oder ovaler retinaler Defekt - > 400 µm -häufig „Pseudooperkulum“	-prämakuläre Glaskörperabhebung -Glaskörper an der Papille adhärent
4	-runder oder ovaler retinaler Defekt - „Martegiani“-Ring	-Glaskörper vollständig von Papille und hinterem Pol abgelöst

#### **1.4.2 OCT-basierte IVTS-Klassifikation (Tabelle 1.2)**

2013 wurde eine neue Klassifikation für Erkrankungen der vitreomakulären Grenzfläche durch die „International Vitreomacular Traktion Study Group“ (IVTS-Klassifikation) publiziert.<sup>12</sup> Sie basiert auf der OCT und unterscheidet drei Kriterien (Tab. 1.2):

Größe des Makulaforamens:

- klein: kleiner als 250 µm
- mittelgroß: zwischen 251 und 400 µm
- groß: größer als 400 µm

Glaskörperstatus:

- mit vitreomakulärer Traktion
- ohne vitreomakuläre Traktion

Ätiologie:

- primär
- sekundär (z.B. bei Trauma, zystoidem Makulaödem, myopischer Makulopathie, nach Netzhautablösung oder Lichtschäden)

**Tabelle 1.2** „International Vitreomacular Traktion Study Group“-Klassifikation<sup>12</sup> des Makulaforamens (IVTS-Klassifikation)

<b>Klassifikation</b>	<b>Definition</b>	<b>Subklassifikation</b>
vitreomakuläre Adhäsion (VMA)	-Glaskörperadhäsion im Makulabereich -perifoveale GK-Abhebung -regelrechte Netzhautschichten -keine Symptome	-Größe: fokal ( $\leq 1500 \mu\text{m}$ ) großflächig ( $> 1500 \mu\text{m}$ ) -isoliert/mit Begleiterkrankung
vitreomakuläre Traktion (VMT)	-Traktion des Glaskörpers im Makulabereich -perifoveale GK-Abhebung -intraretinale Veränderungen -visuelle Symptome	-Größe: fokal ( $\leq 1500 \mu\text{m}$ ) großflächig ( $> 1500 \mu\text{m}$ ) -isoliert/mit Begleiterkrankung
durchgreifendes Makulaforamen	-Defekt erfasst alle retinalen Schichten von ILM bis zum RPE -visuelle Symptome	-Größe: klein ( $\leq 250 \mu\text{m}$ ) mittelgroß ( $251-400 \mu\text{m}$ ) groß ( $> 400 \mu\text{m}$ ) -mit/ohne VMT -primär/sekundär

### **1.4.3 Vergleich zwischen alter (nach Gass) und neuer Klassifikation (IVTS-Klassifikation)**

Im Folgenden erfolgt ein kurzer Vergleich zwischen der Klassifikation nach Gass und der neuen IVTS-Klassifikation (Tabelle 1.3):

- Ein nicht durchgreifendes Makulaforamen im Stadium 1 nach Gass entspricht in der neuen IVTS-Klassifikation einer vitreomakulären Traktion (VMT) mit Abhebung der äußeren Schichten der Foveola vom retinalen Pigmentepithel („drohendes“ Makulaforamen).
- Ein Makulaforamen im Stadium 2 entspricht einem kleinen bzw. mittelgroßen durchgreifenden Makulaforamen mit VMT.
- Ein Makulaforamen im Stadium 3 nach Gass entspricht einem großen durchgreifenden Makulaforamen mit VMT.



- Ein Makulaforamen im Stadium 4 (Makulaforamen mit vollständiger Ablösung der hinteren Glaskörpergrenzmembran) entspricht in der neuen Klassifikation einem durchgreifenden Makulaforamen, unabhängig von der Größe, ohne gleichzeitig vorliegende vitreomakuläre Traktion.

**Tabelle 1.3** Klassifikation des Makulaforamens nach Gass und IVTS im Vergleich.<sup>12</sup>

Klassifikation nach Gass	IVTS-Klassifikation
Makulaforamen Stadium 1	vitreomakuläre Traktion (VMT)
Makulaforamen Stadium 2	- kleines durchgreifendes Makulaforamen (< 250 µm) mit VMT - mittleres durchgreifendes Makulaforamen (251-400 µm) mit VMT
Makulaforamen Stadium 3	großes durchgreifendes Makulaforamen (> 400 µm) mit VMT
Makulaforamen Stadium 4	durchgreifendes Makulaforamen ohne VMT (unabhängig von der Größe)

### 1.5 Symptomatik

Die ersten subjektiven Symptome eines Makulaforamens sind das Fehlen von Buchstaben beim Lesen bzw. das Vorhandensein von Metamorphopsien. Zusätzlich klagen die meisten Patienten über eine Herabsetzung der zentralen Sehschärfe bzw. über ein zentrales Skotom.<sup>9,13,14</sup>

Bei gutem Visus des Partnerauges kann das Makulaforamen asymptomatisch sein. Erst nach Abdeckung des Partnerauges bemerkt der Patient die Visusminderung bzw. das Vorhandensein von Metamorphopsien.<sup>3</sup>

### 1.6 Spontanverlauf

Makulaforamina Stadium 1 nach Gass zeigen bis zu 60% eine spontane Regression.<sup>6,15,16</sup> Bei einem durchgreifenden Makulaforamen (ab Makulaforamen Stadium 2 nach Gass) ist eine spontane Regression und damit eine Visusverbesserung selten (0-30%), so dass meist eine Operationsindikation gegeben ist.<sup>3,17-19</sup> Im weiteren Verlauf kann sich ein

Makulaforamen mit einem Durchmesser von größer als 400 µm entwickeln<sup>6,19</sup> (Tab. 1.1 und 1.3).

Typischerweise tritt bei Patienten mit einem durchgreifenden Makulaforamen ein allmählicher Visusverlust auf. In fortgeschrittenen Fällen mit großem Lochdurchmesser kann der Visus unter 0,05 abfallen.<sup>19</sup> Obwohl die Patienten orientierungsfähig bleiben, da nur die zentrale Sehschärfe herabgesetzt ist, liegt bei der Mehrheit der Patienten eine reduzierte Lebensqualität vor, vor allem aufgrund des Verlustes der Lesefähigkeit.

## **1.7 Verfahren zur Diagnose eines Makulaforamens**

### **1.7.1 Klinische- funktionelle Diagnostik**

#### 1.7.1.1 Biomikroskopische Untersuchung und Watzke-Allen-Test

Ein Makulaforamen kann funduskopisch an der Spaltlampe erkannt werden. Die stereoskopische Untersuchung der Makula an der Spaltlampe sollte mit hoher Vergrößerung und bei maximal erweiterter Pupille erfolgen.

Der ophthalmoskopische Befund variiert je nach dem vorhandenen Stadium des Makulaforamens (Tab. 1.1), von einem ovalen bis zu einem runden tief exkavierten, scharf begrenzten Defekt in der Fovea, der eventuell ödematöse und abgehobene Rändern haben kann.<sup>6,17,20</sup> Beim Stadium 4 zeigt sich eine hintere Glaskörperabhebung, die durch einen „Weiss“-Ring charakterisiert ist.<sup>6</sup> Dieser Ring entsteht, wenn sich die hintere Glaskörpergrenzmembran im Bereich der Papille abhebt. Eine epiretinale Membran kann bei bis zu 14% der Betroffenen vorhanden sein.<sup>20</sup>

Der Watzke-Allen-Test<sup>21</sup> wird an der Spaltlampe mit einem dünnen Lichtspalt durchgeführt. Der Patient wird gebeten, direkt auf diesen Spalt zu schauen. Der Test ist positiv, wenn der Lichtspalt unterbrochen, eingeschnürt oder geknickt erscheint. Wenn der Lichtspalt unterbrochen ist, liegt höchstwahrscheinlich ein Makulaforamen vor.<sup>21,22</sup>

#### 1.7.1.2 Amsler-Gittertest

Die ersten Hinweise auf eine Makula-Erkrankung, die Metamorphopsien, werden mit einem 10 x 10 cm großen Liniengitter (Amsler-Netz) untersucht.<sup>23</sup>

Konzentrische kissenförmige Metamorphopsien ohne subjektive Skotome wurden als wichtiges Merkmal von Makulaforamen beschrieben.<sup>14</sup>

## **1.7.2 Apparative Diagnostik**

### 1.7.2.1 Optische Kohärenztomographie

Bei der 1991 eingeführten optischen Kohärenztomographie<sup>24</sup> (OCT) handelt sich um ein nichtinvasives, hochauflösendes Abbildungsverfahren, das anhand von Lichtwellen In-vivo-Schnittbilder der Netzhaut und deren Umgebung erteilt und damit eine gute Beurteilung vor allem der Makula erlaubt.<sup>24</sup> Die Befunde sollten immer im Zusammenhang mit dem klinischen Befund interpretiert werden. Eine Pupillenerweiterung verbessert die Qualität der Befunde. Ausgeprägte Veränderungen der optischen Medien (z.B. Katarakt) können eine erfolgreiche Untersuchung verhindern.

Mithilfe der optischen Kohärenztomographie kann eine Klassifikation vorgenommen werden, bei der die Größe des Defektes und die Interaktion des Glaskörpers mit der Netzhautoberfläche analysiert werden. Die Lochgröße wird anhand des kleinsten Durchmessers erfasst.<sup>25</sup> Eine vitreomakuläre Traktion wird ebenfalls bewertet. Die OCT ermöglicht auch eine Verlaufskontrolle.

Außerdem können die Differenzialdiagnosen Makulaschichtforamen, epiretinale Gliose oder zystoides Makulaödem erfasst und von einem durchgreifenden Makulaforamina abgegrenzt werden.

## **1.8 Behandlung des primären Makulaforamens**

Das idiopathische Makulaforamen galt lange als nicht behandelbar. 1991 wurde die pars plana Vitrektomie erstmals von Kelly und Wendel<sup>5</sup> für die Behandlung des Makulaforamens eingesetzt. In ihrer Pilotstudie erreichten sie einen anatomischen Verschluss des Foramens bei 58% der behandelnden Patienten.<sup>5</sup>

### **1.8.1 Pars plana Vitrektomie**

1971 führte Machemer die pars plana Vitrektomie ein.<sup>26</sup> Diese ermöglicht die chirurgische Entfernung des Glaskörpers im geschlossenen System. Durch eine Infusion wird verhindert, dass das Auge bei der Entfernung des Glaskörpers

kollabiert. Zusätzlich werden Instrumente über die Pars plana in das Auge eingeführt, um andere Strukturen, wie Netzhaut oder Linse, nicht zu schädigen. Die Technik der transkonjunktivalen 23-Gauge pars plana Vitrektomie, die bei den Augen dieser Studie durchgeführt wurde, wurde 2005 von Eckardt beschrieben.<sup>27</sup>

### **1.8.2 Peeling der Membrana limitans interna**

Epiretinale Membranen wurden bereits in der ersten Phase der chirurgischen Therapie des Makulaforamens entfernt. Die bewusste Entfernung einer noch feineren Membran an der vitreoretinalen Grenzfläche um das Makulaforamen wurde ab ca. 1995 nur von wenigen Chirurgen vorgenommen.<sup>28</sup> Yoon et al.<sup>29</sup> konnten in den entfernten epimakulären Membranen bei Patienten mit idiopathischem Makulaforamen in 11 von 12 Augen die Membrana limitans interna (internal limiting membrane oder ILM) nachweisen. Eckardt et al.<sup>30</sup> führten an 39 Augen von 37 Patienten routinemäßig ein Peeling der Membrana limitans interna durch und konnten mit 20%igem C<sub>3</sub>F<sub>8</sub> und „Bauchlage“ in den ersten 8 Tagen eine Verschlussrate von 92% erreichen. Eine elektronenmikroskopische Untersuchung an 23 der entfernten Membranen bestätigte, dass es sich um die Membrana limitans interna handelte.

Das ILM-Peeling wurde seitdem von vielen vitreoretinalen Chirurgen als essentieller Operationsschritt bei der Behandlung von Makulaforamina angesehen. Es wird vermutet, dass die Entfernung der ILM tangential Zugkräfte auf die Ränder des Makulaforamens beseitigen kann. Die hierdurch erzielte erhöhte Mobilität der Lochränder und die Induktion einer glialen Proliferation soll zu höheren anatomischen und funktionellen Erfolgsraten führen.<sup>31</sup>

### **1.8.3 Färbetechniken**

Die Entfernung der sehr dünnen und transparenten Membrana limitans interna ist auch für erfahrene Chirurgen eine Herausforderung. Versuche, die Membrana limitans interna mit der Pinzette zu greifen, können zu iatrogenen Verletzungen der Netzhautoberfläche führen und den funktionellen Erfolg herabsetzen.<sup>32</sup> Eine bessere Visualisierung durch den Einsatz von

Vitalfarbstoffen hat die Präparation der ILM erleichtert. Als erster Farbstoff wurde Indozyaningrün (ICG) eingesetzt.<sup>33</sup> Wegen möglicher toxischer Effekte dieses Farbstoffs wurden weitere Farbstoffe mit besserer Biokompatibilität, wie z.B. Trypanblau<sup>34</sup> und Brilliantblau<sup>35</sup> entwickelt.<sup>36</sup>

#### **1.8.4 Endotamponade**

Am Ende einer pars plana Vitrektomie wird der Glaskörperraum durch Luft oder Gase mit unterschiedlich langer Verweildauer gefüllt. Intravitreale Gase drücken die Netzhaut von innen gegen die Pigmentschicht und die Aderhaut. Zusätzlich wird durch die Gas-/Luftblase der Kontakt des Makulaforamens mit Flüssigkeit verhindert. Der postoperative Visus wird durch eine intraokulare Gastamponade allerdings erheblich reduziert, bis mindestens 50% des Gases aus dem Glaskörperraum resorbiert worden sind.

##### 1.8.4.1 Intraokulare Gase

Perfluorpropan ( $C_3F_8$ ), Hexafluorethan ( $C_2F_6$ ) oder Schwefelhexafluorid ( $SF_6$ ) haben ein hohes Molekulargewicht und sind wie Luft chemisch neutral. In der Regel werden nicht expansive Gas-Konzentrationen verwendet, um unkontrollierte Druckanstiege zu vermeiden.<sup>37,38</sup>

##### 1.8.4.2 Luft

Studien konnten zeigen, dass auch durch eine Luft-Tamponade mit einer kürzeren postoperativen Lagerung ein Lochverschluss erreicht werden kann.<sup>39-48</sup> Luft wird im Gegensatz zu o.g. Gasen innerhalb einer Woche resorbiert, sodass eine schnellere Mobilisation bzw. Rehabilitation der Patienten möglich ist.

#### **1.8.5 Postoperative „Gesicht nach unten“-Lagerung**

Eine möglichst vollständige und lang andauernde Füllung des Glaskörperraums und eine postoperative „Bauchlage“ wurde zunächst als eine notwendige Voraussetzung für eine erfolgreiche Makulaforamenchirurgie angesehen<sup>49-51</sup>, da eine Tamponadenwirkung nur bei einem direkten Kontakt der Gas- bzw. Luftblase mit der zentralen Netzhaut erzielt wird. So soll die Gefahr, dass das Foramen vor dem Verschluss mit Flüssigkeit in Kontakt kommt, minimiert

werden. Die Notwendigkeit einer postoperativen „Gesicht nach unten“-Lagerung bzw. „Bauchlage“ wird aber unterschiedlich eingeschätzt.<sup>52-55</sup>

### **1.9 Prognostische Faktoren**

Als prognostisch günstig für bessere anatomische und funktionelle Ergebnisse nach einer Makulaforamenchirurgie wurden in der Literatur folgende Faktoren genannt: eine kurze Dauer der Symptome, eine Makulaforamengröße bis zu 400 µm und eine bessere präoperative Sehschärfe.<sup>51,56-59</sup>

### **1.10 Ziel der Arbeit**

Das Ziel dieser Arbeit war, zwei unterschiedlich lange wirksame Endotamponaden (Luft oder 20%-SF<sub>6</sub>-Gas) im Hinblick auf deren Erfolgsaussichten bzw. Verschlussraten idiopathischer Makulaforamina einander gegenüberzustellen und die Hypothese: „Vergleichbare Verschlussraten zwischen Luft- und 20%-SF<sub>6</sub>-Gas-Tamponade mit dem Vorteil einer früheren postoperativen Mobilisation der Patienten bei Luft-Tamponade“ zu überprüfen.

## **2. Material und Methoden**

### **2.1 Studiendesign**

Im Rahmen einer retrospektiven Studie wurden die präoperativen, intraoperativen sowie postoperativen Ergebnisse von insgesamt 117 Augen von 117 konsekutiven Patienten ausgewertet, die im Zeitraum von Juli 2009 bis Oktober 2010 in der Augenklinik Frankfurt Höchst wegen eines primären durchgreifenden Makulaforamens durch Vitrektomie mit oder ohne extrakapsulärer Kataraktoperation und Linsenimplantation und entweder mit Luft oder mit 20%-SF<sub>6</sub>-Gas zur postoperativen Tamponade versorgt wurden. Ein positives Votum der Ethikkommission der Landesärztekammer Hessen für die Durchführung dieser retrospektiven Studie (FF 160/2013) liegt vor.

### **2.2 Patientenkollektiv**

#### ***2.2.1 Gruppenverteilung***

In Gruppe I wurde bei 66 Augen eine Luft-Endotamponade und in Gruppe II wurde bei 51 Augen 20%-SF<sub>6</sub>-Gas-Endotamponade durchgeführt.

#### ***2.2.2 Demographische Daten***

Zu den präoperativ erfassten personenbezogenen Daten gehörten:

- Alter und Geschlecht des Patienten
- Rechtes bzw. linkes Auge

#### ***2.2.3 Diagnosesicherung***

In allen Fällen erfolgte die klinische Diagnose durch eine präoperative Funduskopie. Zusätzlich wurde der Makulabefund bei jedem Patienten mittels optischer Kohärenztomographie unter der Verwendung eines Fourier-domain-Topcon-3D-OCT-1000-Geräts (Topcon, Tokyo, Japan) bestätigt und dokumentiert (Einzelscan bzw. Volumenscan).

#### ***2.2.4 Klassifikation des Makulaforamens***

Die Klassifikation der Makulaforamina erfolgte klinisch nach der Klassifikation

nach Gass<sup>9</sup> (s. Tab. 1.1) und wurde zusätzlich nach der oben erwähnten IVTS-Klassifikation<sup>12</sup> (s. Tab. 1.2) analysiert.

## **2.3 Einschlusskriterien bzw. Ausschlusskriterien**

Eingeschlossen wurden ausschließlich Patienten mit primärem, durchgreifendem Makulaforamen.

Von der Studie wurden Augen mit folgenden Merkmalen ausgeschlossen:

- Augen mit pathologischer Myopie oder Trauma in der Vorgeschichte
- lamelläres Makulaforamen bzw. Makulaforamen Stadium 1
- vorausgegangene Vitrektomie
- Partneraugen der Patienten, die bereits mit dem ersten Auge in der Studie eingeschlossen wurden.

## **2.4 Präoperative Untersuchungen**

### **2.4.1 Anamneseerhebung**

#### 2.4.1.1 Allgemeinanamnese

Die Patienten wurden nach Allgemein-Erkrankungen und der aktuellen Medikation befragt.

#### 2.4.1.2 Ophthalmologische Anamnese

Die Anamneseerhebung beinhaltete folgende Informationen über das zu operierende Auge:

- Entwicklung und Dauer der aktuellen Beschwerden wie Sehschärfenminderung, Verlust der Lesefähigkeit und Vorhandensein von Metamorphopsien
- vorherige Augenerkrankungen, Voroperationen bzw. Laserbehandlungen
- Anwendung von Augentropfen (z.B. antiglaukomatöse Therapie)
- vorhandene Refraktionsanomalien bzw. Amblyopie

#### 2.4.1.3 Dauer der präoperativen Symptome

Die subjektive Dauer der Symptome wurde dokumentiert.



## ***2.4.2 Präoperative klinische Untersuchung***

Neben der Bestimmung der Sehschärfe sowie der objektiven Refraktion wurde auch eine Bestimmung der Achsenlänge und meist auch des Gesichtsfeldes, eine Beurteilung der vorderen Augenabschnitte an der Spaltlampe, eine Messung des Augeninnendruckes, eine Funduskontrolle durch indirekte Ophthalmoskopie sowie eine Untersuchung des Makulabefundes mittels optischer Kohärenztomographie durchgeführt.

### ***2.4.2.1 Visusbestimmung***

Die Sehschärfe wurde für die Ferne (5m) mit Sehzeichenprojektoren und Zahlen oder Buchstaben und für die Nähe mit den Oculustafeln bestimmt. Der nicht korrigierte sowie der bestkorrigierte Fernvisus wurden monokular in Miosis erhoben. Der Nahvisus wurde mit der entsprechenden Nahkorrektur ermittelt. Die Prüfdistanz lag bei 40 cm.

Der bestkorrigierte Dezimal-Fernvisus wurde anschließend nach Tabelle in logarithmischen Einheiten (logMAR) umgerechnet, um eine aussagekräftigere statistische Datenanalyse zu ermöglichen (s. Anhang / 7.3).

### ***2.4.2.2 Amsler-Gittertest***

Bei allen Patienten wurde präoperativ das Vorhandensein von Metamorphopsien bzw. von einem zentralen Skotom mithilfe des Amsler-Netzes monokular mit einer Nahkorrektur geprüft.

### ***2.4.2.3 Gesichtsfeldbestimmung***

Die Bestimmung des zentralen Gesichtsfeldes wurde mittels Computer-Perimetrie (Octopus 101 Perimeter, Haag Streit International, Programm G2) bestimmt, um ein zentrales bzw. parazentrales Skotom zu erfassen.

### ***2.4.2.4 Augeninnendruckmessung***

Eine applanatorische Augeninnendruckbestimmung nach Goldmann wurde bei jedem Patienten durchgeführt.

#### 2.4.2.5 Spaltlampenbiomikroskopie des vorderen Augenabschnittes

Der vordere Augenabschnitt wurde an der Spaltlampe untersucht. Dabei wurden Auffälligkeiten, wie zum Beispiel die Position, die Tiefe und das Ausmaß von Hornhautveränderungen, dokumentiert.

Das Patientenkollektiv wurde anhand der präoperativen Linsenstatus in folgende Kategorien unterteilt:

- Klare Linse
- beginnende Linsentrübung
- mäßige bis deutliche Linsentrübung
- Pseudophakie (mit oder ohne Nachstar)

#### 2.4.2.6 Funduskopie

Eine binokulare, indirekte Ophthalmoskopie erfolgte nach Applikation von Phenylephrin 5% und Tropicamid 0,5% Augentropfen, um die Diagnose zu stellen und eventuell andere Netzhautveränderungen bzw. das Vorhandensein von Netzhautforamina und anderen Amotiovorstufen zu dokumentieren.

#### 2.4.2.7 Optische Kohärenztomographie

Der präoperative Einsatz der OCT war zur Diagnosesicherung, Befunddokumentation sowie zur präoperativen Klassifikation (Größe- und Glaskörperstatusbestimmung) der Makulaforamina erforderlich. Auch diese Untersuchung wurde in medikamentöser Mydriasis durchgeführt.

Bei allen in die Studie eingeschlossenen Patienten wurde präoperativ die Größe des Makulaforamens bzw. des kleinsten Durchmessers mithilfe der Caliper-Funktion des OCT-Gerätes bestimmt<sup>25</sup> und der Glaskörperstatus (mit oder ohne vitreomakuläre Traktion) untersucht. Außerdem wurde der Durchmesser an der Basis des Makulaforamens dokumentiert.

#### 2.4.2.8 Achsenlängenmessung

Die Achsenlänge wurde mit dem IOL-Master (Carl Zeiss Meditec, Inc.) bestimmt. Dies erfolgte auch bei pseudophaken Augen.

## **2.5 Operationsbedingungen**

Mehrere intraoperative Parameter wurden dokumentiert, um deren Assoziation mit dem postoperativen Befund darzustellen. Die Daten wurden von den Operationsprotokollen der Patienten erhoben.

### **2.5.1 Operateure**

Die Operation wurde von fünf Operateuren (Operateuren A, B, C, D, E) der Augenklinik Frankfurt Höchst mit der gleichen Operationstechnik durchgeführt. Erfasst werden sollte, ob in beiden Gruppen Operateure mit gleicher Erfahrung etwa gleich häufig vertreten waren und ob ein möglicher Zusammenhang zwischen Operateur und den postoperativen Ergebnissen vorlag. Aus diesem Grund wurden die Operateure in die folgenden Kategorien unterteilt:

- sehr erfahren (A)
- erfahren (B, C)
- Anfänger (D, E)

### **2.5.2 Anästhesie**

Je nach Allgemeinzustand und Präferenz der Patienten wurde entweder eine peribulbäre Anästhesie oder eine Intubationsnarkose gewählt.

### **2.5.3 Vorbereitung des zu operierenden Auges**

Es erfolgte eine präoperative lokale Applikation antibiotischer Augentropfen (Levofloxacin 5mg/ml Augentropfen, Oftaquix®, Santen GmbH, München) viermal täglich 24 Stunden präoperativ. Zur Pupillenerweiterung wurden Phenylephrin und Tropicamid Augentropfen appliziert.

### **2.5.4 Operationsmethoden und Instrumente**

#### **2.5.4.1 Pars plana Vitrektomie**

Eine standardisierte transkonjunktivale, 23-Gauge (23G-) pars plana Vitrektomie mit drei mit Ventilen versehenen Trokaren wurde bei allen Augen durchgeführt. Das Instrumentarium inklusive der Trokare stammt von der Firma D.O.R.C. (Zuidland, Niederlande). In Fällen ohne vollständige hintere Glaskörperablösung wurde diese mit dem Vitrektom im Bereich der Papille

begonnen. Nach einer möglichst vollständigen Entfernung des zentralen und peripheren Glaskörpers wurde ein Peeling der Membrana limitans interna um das Makulaforamen durchgeführt. Die Membran wurde maximal bis zu den Gefäßbögen entfernt.

#### 2.5.4.2 Intraoperativ verwendete Färbetechniken

Falls zur besseren Visualisierung bzw. Darstellung der durchsichtigen Membrana limitans interna erforderlich, erfolgte eine Anfärbung des hinteren Pols für ca. 30 Sekunden mit den Vital-Farbstoffen Brilliant blau (Brilliant Peel<sup>®</sup>, Fluoron GmbH, Ulm, Deutschland) oder Trypanblau (Membrane Blue<sup>®</sup>, D.O.R.C.).

#### 2.5.4.3 Endolaserkoagulation

Im Falle bereits vorhandener bzw. intraoperativ aufgetretener Netzhautdefekte mit oder ohne Begleitmotio erfolgte intraoperativ eine Laserkoagulation bzw. Kryokoagulation.

#### 2.5.4.4 Endodrainage

Nach abgeschlossenem ILM-Peeling, Untersuchung der gesamten Netzhaut-Peripherie unter Skleraeindellung und Flüssigkeit-Luft-Austausch erfolgte mit Hilfe einer 27G-Teflon Kanüle (D.O.R.C.) eine vorsichtige Drainage subretinaler Flüssigkeit am Makulaforamen. In einzelnen Fällen wurde aufgrund eines reduzierten Einblickes am Ende der Operation, z.B. durch eine Hornhauttrübung, auf eine Endodrainage verzichtet.

Die Größe des Makulaforamens wurde nach der Endodrainage vom Operateur in folgende Kategorien eingeteilt:

- Kategorie 1: Makulaforamen unverändert
- Kategorie 2: Makulaforamen kleiner
- Kategorie 3: Makulaforamen geschlossen
- Kategorie 4: Makulabefund nicht beurteilbar

#### 2.5.4.5 Endotamponade

Als Endotamponade wurde in Gruppe I Luft eingesetzt. In Gruppe II wurden 15ml einer 20%igen SF<sub>6</sub>-Gas-Luftmischung in das luftgefüllte Auge injiziert.

#### 2.5.4.6 Simultane Phakoemulsifikation

Bei über 50-jährigen Patienten mit einer bereits beginnenden bis deutlichen Katarakt wurde eine kombinierte Phakovitrektomie durchgeführt, um eine spätere Katarakt-Operation zu vermeiden und um eine möglichst vollständige Glaskörperentfernung und am Ende der Operation eine möglichst große Luft- oder Gas-Blase im Glaskörperaum zu erreichen.

#### **2.5.5 Operationsende**

Nach Entfernung der Trokare wurden die Sklerainzisionen und die Bindehaut durch Massage verschlossen. Bei einer sichtbaren Leckage wurden Sklerotomien und Bindehaut durch eine Naht mit 10-0 Nylon (Alcon, Freiburg im Breisgau, Deutschland) oder 8-0 Vicryl (Ethicon, Johnson&Johnson, Norderstedt, Deutschland) verschlossen. Ein antibiotischer Salbenverband wurde angelegt.

### **2.6 Postoperative Maßnahmen**

#### **2.6.1 Postoperative Positionierung**

Um eine wirksame Endotamponade des Foramens zu gewährleisten, wurden postoperativ alle Patienten aufgefordert, möglichst oft eine „Gesicht nach unten“-Lagerung einzuhalten. Die Lagerung wurde vom Personal der Klinik (Ärzte und Schwestern) kontrolliert und nach Patientenangaben dokumentiert. Konnte die Lagerung nicht eingehalten werden, wurde der Grund dokumentiert. Die Lagerung wurde beendet, sobald der Verschluss des Makulaforamens im OCT nachgewiesen werden konnte.

#### **2.6.2 Infektionsprophylaxe**

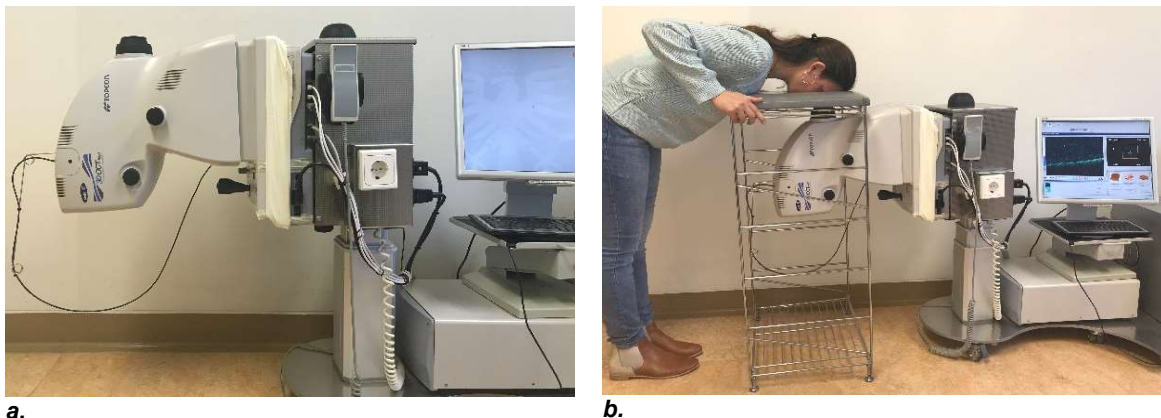
Die postoperative Behandlung umfasste eine mehrmals tägliche lokale Applikation von kombinierten Antibiotikum-Steroid-Augentropfen (Dexamethason 1 mg/ml, Neomycin sulfat 3500 I.E./ml, Polymyxin B sulfat 6000 I.E./ml = Isoptomax<sup>®</sup>, Novartis Pharma GmbH, Nürnberg, Deutschland). Die Dosierung variierte entsprechend dem individuellen intraokularen postoperativen Reizzustand. Die Therapie wurde über 3 Wochen ausgeschlichen.

### **2.6.3 Postoperative klinische Untersuchung**

Bei jedem Patienten wurden bis zur Entlassung Sehschärfe und Augeninnendruck bestimmt sowie die vorderen und hinteren Augenabschnitte beurteilt.

### **2.6.4 Postoperative Kontrolle des anatomischen Befundes**

Die erste postoperative Kontrolle des Makulaforamens durch eine OCT erfolgte am ersten postoperativen Tag und an jedem weiteren Tag bis zur Bestätigung des Verschlusses bzw. bis zur Entlassung des Patienten. Eingesetzt wurde ein modifiziertes Fourier-domain-Topcon-3D-OCT-1000-Gerät (Topcon, Tokyo, Japan) nach der von Eckardt et al. im Jahr 2008 beschriebenen Methode.<sup>43</sup> Das modifizierte OCT-Gerät ermöglicht postoperativ auch bei Füllung des Auges mit Gas (oder Luft) eine Untersuchung des Makulabereiches, indem der Patient mit dem Gesicht nach unten in das um 90° nach oben rotierte OCT blickt. Der Laserstrahl des OCT-Gerätes trifft so vertikal auf die intraokulare Gasblase, die sich unabhängig von der Größe der Blase immer vor dem hinteren Pol des Auges befindet. Störende Reflexe, die bei einer OCT in aufrechter Position durch den Gas-Meniskus entstehen, können so vermieden werden (Abb. 2.1).



**Abbildung 2.1** a. Modifiziertes Fourier-domain-Topcon-3D-OCT-1000-Gerät (Topcon, Tokyo, Japan) nach Eckardt et al.<sup>43</sup> Das Gerät wurde für die postoperative Kontrolle des Makulaforamens benutzt. b. Die Patienten blicken mit dem Gesicht nach unten in das um 90° nach oben rotierte OCT.

Sobald der anatomische Verschluss des Makulaforamens im OCT bestätigt wurde, konnte die postoperative „Gesicht nach unten“-Positionierung beendet werden.

Bei schlechter Bildqualität durch Trübungen der optischen Medien (z.B. bei einer Nachblutung im Glaskörper oder der Vorderkammer, bei einer zu engen Pupille oder Fibrinbildung) wurde die OCT verschoben und der Zeitpunkt des ersten aussagekräftigen OCT-Befundes dokumentiert.

## **2.7 Reoperation**

Bei den Augen, bei denen der durchgreifende Defekt persistierte, und bei einem Auge, bei dem sich das zunächst geschlossene Makulaforamen wieder öffnete, wurde zwischen dem vierten und sechsten postoperativen Tag eine erneute Vitrektomie durchgeführt, bei der nach Einsetzen des Trokarsystems die Rhexis der Membrana limitans interna erweitert wurde, sofern die ursprüngliche Rhexis zu klein erschien, um dann unter Luft eine erneute vorsichtige Endodrainage am Lochrand vorzunehmen und abschließend entweder Luft oder 20%-iges SF<sub>6</sub> als Endotamponade einzusetzen. Der Patient wurde gebeten, die „Gesicht nach unten“-Lagerung fortzusetzen.

## **2.8 Entlassungsbefund**

### ***2.8.1 Entlassungszeitpunkt***

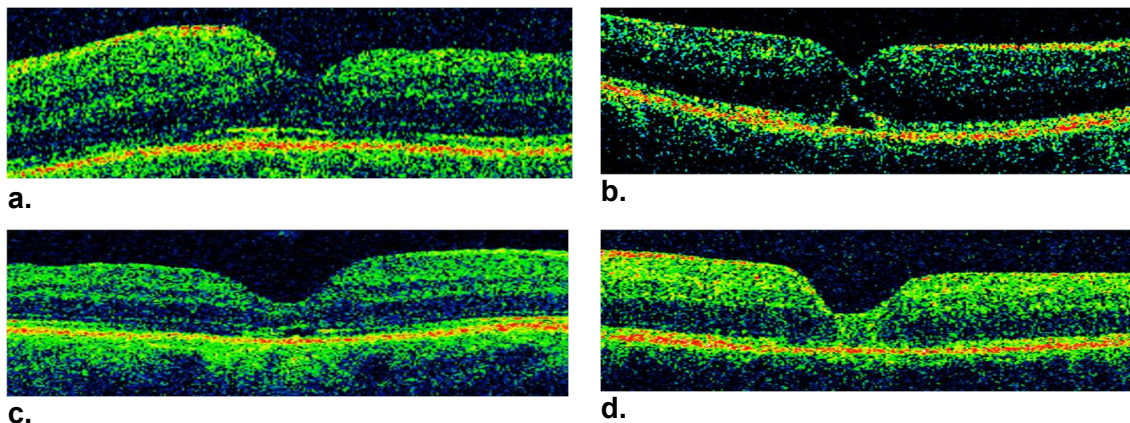
Der postoperative Makulabefund wurde postoperativ täglich mittels OCT untersucht. Wenn ein anatomischer Verschluss des Makulaforamens im OCT nachgewiesen werden konnte, wurde die Lagerung beendet und der Patient je nach übrigem Befund am gleichen oder am nächsten Tag entlassen. Drei Patienten wurden mit einer gering ausgeprägten Nachblutung, die eine Beurteilung der Makula verhinderte, entlassen. Bei der poststationären Kontrolle war das Makulaforamen bei allen 3 Patienten klinisch und im OCT geschlossen.

### ***2.8.2 Anatomischer Befund bei der Entlassung***

Anhand der OCT-Morphologie der Fovea vor bzw. bei der Entlassung wurden die Patienten einer in der Tabelle 2.1 dargestellten Kategorien zugeordnet. In der Abbildung 2.2 wurden Beispiele des anatomischen Makulabefundes von OCT-Bildern dargestellt.

**Tabelle 2.1** Einteilung der Augen anhand des anatomischen Makulabefundes in der optischen Kohärenztomographie (OCT)

Kategorie	Postoperativer Makulabefund in der OCT-Untersuchung
1	Vollständiger MF-Verschluss nach der 1. Vitrektomie (Abb. 2.1a)
2	Verschluss der inneren Netzhautschichten („bridge“-Formation) <sup>60</sup> nach der 1. Vitrektomie (Abb. 2.1b)
3	Verschluss mit retinalem Defekt der äußeren Netzhautschichten (IS/OS- bzw. RPE-Defekt) nach der 1. Vitrektomie (Abb. 2.1c)
4	MF-Verschluss mit „Plug“ nach der 1. Vitrektomie (Abb. 2.1d)
5	Makulaforamen-Verschluss erst nach der 2. Vitrektomie
6	Rezidiv nach primärem Verschluss nach der 1. Vitrektomie
7	Kein Verschluss des Makulaforamens nach 2. Vitrektomie



**Abbildung 2.2** Einteilung der Augen anhand der postoperativen Morphologie der Fovea in der optischen Kohärenztomographie **a.** Vollständiger Verschluss des Makulaforamens: alle Netzhautschichten sind wiedervereinigt. Eine Auflockerung der äußeren Schichten ist aber noch erkennbar. **b.** Verschluss der inneren Netzhautschichten („bridge“-Formation): Die beiden Enden des Makulaforamens sind nur im Bereich der inneren Netzhautschichten wiedervereinigt, sodass noch eine subfoveale neurosensorische Abhebung besteht. Dies erscheint wie eine „Brücke“. Die neurosensorische Abhebung ist meistens im Verlauf rückläufig. **c.** Verschluss mit retinalem Defekt der äußeren Netzhautschichten: Die beiden Enden des Makulaforamens sind fast zu einer Einheit wiedervereinigt; ein Defekt der Photorezeptorenschichten (IS/OS Defekt) ist noch vorhanden. Manchmal können auch RPE-Defekte vorhanden sein. **d.** Verschluss mit „Plug“: Der präoperative Defekt der Photorezeptorschicht war so groß, dass eine Vereinigung der beiden Enden des Makulaforamens nur durch eine Proliferation von Gliazellen im Foramen möglich war.



### **2.8.3 Entlassungsvisus**

Der bestkorrigierte Fernvisus wurde bei jedem Patienten vor der Entlassung untersucht und dokumentiert.

## **2.9 Letzte postoperative Nachkontrolle**

### **2.9.1 Untersuchungen**

Bei der letzten Kontrolle wurde eine erneute vollständige Untersuchung (Anamnese, Sehschärfenbestimmung, Amsler-Test, Gesichtsfelduntersuchung, Spaltlampenuntersuchung, Ophthalmoskopie, Augeninnendruckbestimmung, optische Kohärenztomographie) durchgeführt.

### **2.9.2 Nachbeobachtungszeit**

Die Patienten wurden im Durchschnitt drei Monate nach der Operation zur Nachuntersuchung einbestellt. Die abschließenden Ergebnisse dieser Studie basieren auf den Befunden, die in diesem Zeitraum erhoben wurden.

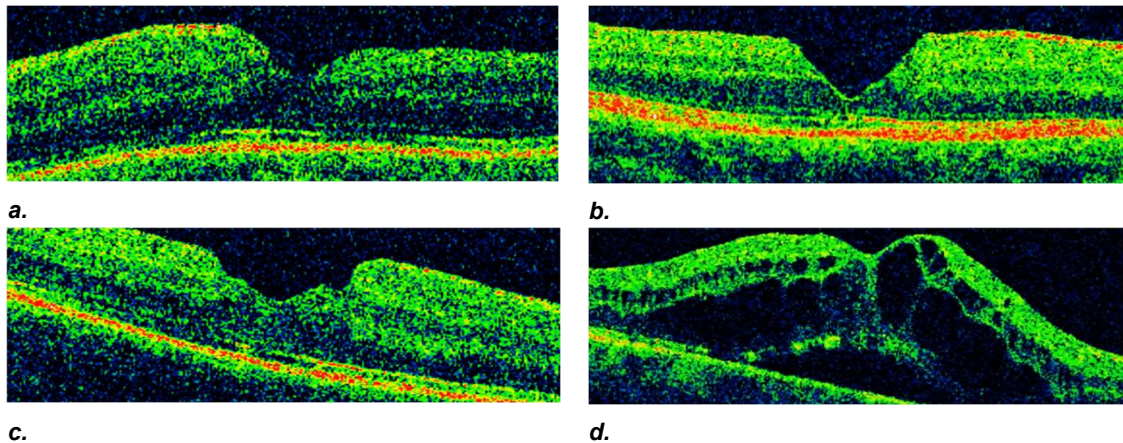
Wenn eine Wiedervorstellung des Patienten in unserer Klinik nicht möglich war (meist aus gesundheitlichen Gründen), wurde drei Monate nach der Operation telefonisch beim niedergelassenen Augenarzt des jeweiligen Patienten Visus sowie der ophthalmoskopische Makulabefund erfragt.

## **2.10 Abschließende Behandlungsergebnisse**

### **2.10.1 Anatomisches Ergebnis**

Das anatomische Ergebnis drei Monate nach der Operation wurde anhand des Makulabefundes im OCT-Bild bestimmt. Die geschlossenen Foramina wurden hinsichtlich des Verschlusstyps bzw. der fovealen Kontur, angelehnt an die Klassifikation von Imai et al.,<sup>61</sup> in vier Kategorien eingeteilt (Abb. 2.3).

Zusätzlich wurden die postoperative OCT hinsichtlich retinaler Auffälligkeiten, ähnlich wie von Michalewska et al. beschrieben,<sup>42</sup> bewertet. Defekte der Nervenfaserschicht, der Photorezeptorschicht und des retinalen Pigmentepithels sowie Zysten der äußeren Schichten oder eine persistierende neurosensorische Abhebung wurden dokumentiert und statistisch ausgewertet.



**Abbildung 2.3** Einteilung der fovealen Kontur der geschlossenen Makulaforamina in den folgenden Kategorien: **a.** Kategorie 1: „U-Verschlusstyp“; Verschluss mit normaler fovealer Kontur, **b.** Kategorie 2: „V-Verschlusstyp“; Verschluss mit steiler fovealer Kontur, **c.** Kategorie 3: Verschluss mit irregulärer fovealer Kontur, **d.** Kategorie 4: Beurteilung der Foveakontur bei Begleitveränderungen nicht sicher (hier bei zystoidem Makulaödem).

Die Verschlussraten sowie die unterschiedlichen Parameter, die das Ergebnis beeinflussten, wurden statistisch untersucht.

### **2.10.2 Funktionelles Ergebnis**

Das abschließende funktionelle Ergebnis der Operation wurde anhand der Visusentwicklung bzw. Visusänderung (Differenz zwischen der Sehschärfe vor der Operation und der Sehschärfe nach 3 Monaten bzw. zum Zeitpunkt der letzten Kontrolluntersuchung) bestimmt.

## **2.11 Erhebung und Verarbeitung der Daten**

Die Daten für die Studie stammten aus den Krankenakten, den Operationsprotokollen sowie den Aufnahmen der optischen Kohärenztomographie der in die Studie eingeschlossenen Patienten.

### **2.11.1 Erhebungsbogen**

Die aus den Akten gesammelten Daten wurden auf einem Erhebungsbogen (s. Anhang/ 7.2) erfasst. Alle operierten Patienten wurden für die weitere Analyse anonymisiert. Den Patienten wurden Fallnummern zugeordnet, so dass für diese Studie keine weiteren persönlichen Angaben der Patienten notwendig waren.

### **2.11.2 Datenauswertung und Statistik**

Die statistische Datenanalyse wurde mit dem Statistikprogramm SPSS (Version 23.0) durchgeführt. Die statistischen Ergebnisse wurden von Prof. Dr. Eva Herrmann, Direktorin des Instituts für Biostatistik und mathematische Modellierung der Universität Frankfurt am Main, mitevaluiert.

Bei allen Daten wurden deskriptive Statistiken berechnet.<sup>62</sup>

Für Gruppenvergleiche bei nicht normalverteilten Werten sowie ungleichen Gruppen wurde der Mann-Whitney-Test (U-Test) bei kontinuierlichen Variablen verwendet.<sup>62</sup> Mittels Kreuztabellen und des Chi-Quadrat-Tests bzw. des exakten Fisher-Tests wurden die Gruppenvergleiche bei kategorischen Variablen auf statistische Signifikanz überprüft.<sup>62</sup>

Der Einfluss unterschiedlicher Variablen auf die Verschlussraten wurde mittels Mann-Whitney-Test (U-Test) für kontinuierlichen Variablen sowie mittels Kreuztabellen und des Chi-Quadrat-Tests bzw. des exakten Fisher-Tests für kategorischen Variablen auf statistische Signifikanz überprüft.<sup>62</sup> Zusätzlich wurde der Cochran-Mantel-Haenszel-Test verwendet, wenn der exakte Fisher-Test signifikante Unterschiede ergeben hat,<sup>62</sup> um die bedingten Assoziationen zwischen einer dichotomen Variable und der Verschlussrate bei Vorhandensein einer dritten kategorischen Variablen, z.B. Art der Endotamponade, zu testen.

Die Beurteilung der Visusentwicklung im postoperativen Verlauf wurde mittels Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test parameterfrei vorgenommen.<sup>62</sup>

Die Irrtumswahrscheinlichkeit alpha wurde mit fünf Prozent festgelegt. War der errechnete p-Wert kleiner als die gewählte Irrtumswahrscheinlichkeit (0,05), lagen statistisch signifikante Unterschiede in der Beobachtung vor.<sup>62</sup> Bei allen Prüfungen auf statistische Signifikanz wurde zweiseitig getestet.

Die graphische Darstellung der Ergebnisse erfolgte anhand von Histogrammen und Kastendiagrammen (Boxplots) ebenfalls mit SPSS.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Demographische Daten

Insgesamt wurden 117 Augen von 117 Patienten in die Studie aufgenommen, davon 47 Männer (40,2%) und 70 Frauen (59,8%). 64 rechte Augen (54,7%) und 53 linke Augen (45,3%) wurden vitrektomiert.

Zehn Patienten wurden wegen eines Makulaforamens auch am Partnerauge operiert, während bei einer Patientin eine vitreomakuläre Traktion am Partnerauge vorhanden war, die nur kontrolliert wurde. Insgesamt lag ein beidseitiges Makulaforamen bei 11 von 117 Patienten im Zeitraum dieser Studie vor (9,4%).

Das Durchschnittsalter der Patienten zum Operationszeitpunkt betrug  $69,6 \pm 7,4$  Jahre. Der Median betrug 70,0 (44-87) Jahre (Abb. 3.1).

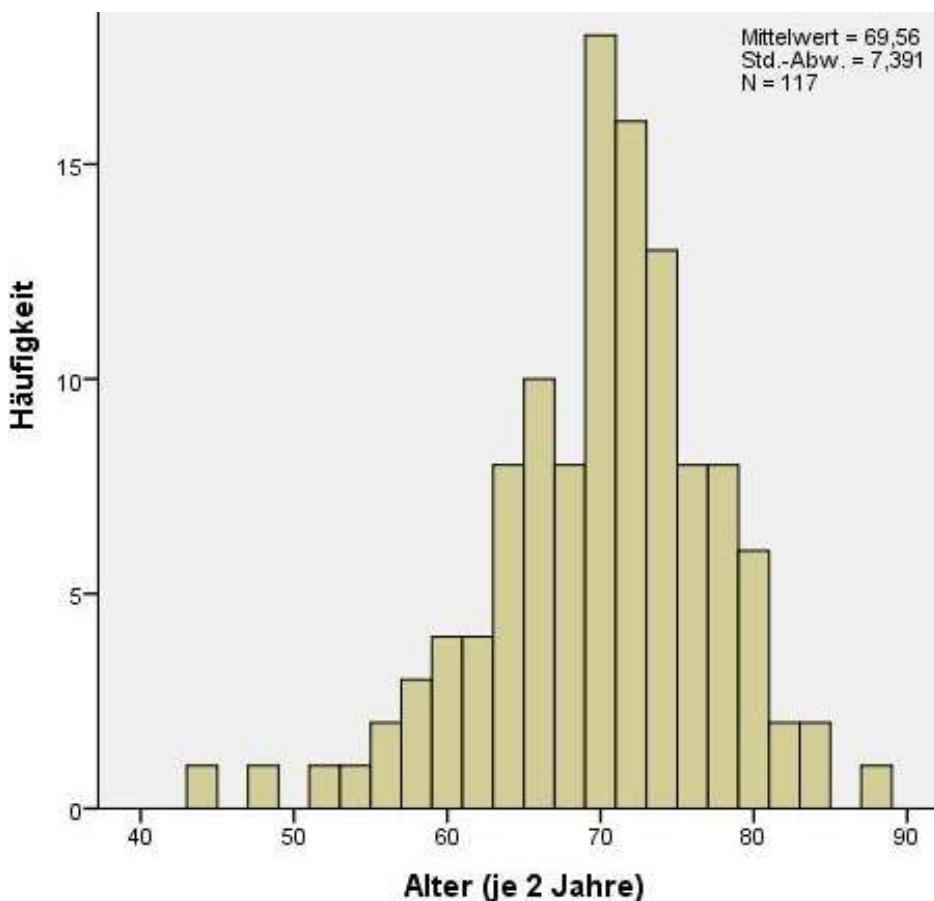


Abbildung 3.1 Altersverteilung zum Operationszeitpunkt

### 3.1.1 Gruppenverteilung

Die zu vergleichenden Gruppen wiesen eine kleine Differenz bezüglich der Anzahl der Patienten auf. Zwischen den beiden in die Studie aufgenommenen Gruppen zeigte sich die folgende Verteilung:

In der Gruppe I erfolgte bei 66 Augen (56,4%) eine Lufttamponade. In der Gruppe II wurde bei 51 Augen (43,6%) eine 20% SF<sub>6</sub>-Gastamponade am Ende der pars plana Vitrektomie durchgeführt.

Es zeigte sich kein signifikanter Geschlechtsunterschied zwischen beiden Gruppen (Exakter Fisher-Test, p=1,0) (Tab. 3.1 und 3.2):

**Tabelle 3.1** Geschlechterverteilung in den Endotamponadegruppen.

Geschlecht		Endotamponadegruppen		Gesamt
		Luft	SF <sub>6</sub> -Gas	
Männer	N (%)	27 (40,9%)	20 (39,2%)	47 (40,2%)
Frauen	N (%)	39 (59,1%)	31 (60,8%)	70 (59,8%)

Der Mittelwert des Lebensalters betrug  $69,4 \pm 8,2$  und  $69,8 \pm 6,3$  Jahren in der Gruppe I bzw. II. Der Median des Alters lag bei 70,0 und 71,0 Jahre in der Gruppe I bzw. II. Der Altersunterschied zwischen beiden Gruppen war nicht signifikant (Mann-Whitney-U-Test, p=0,770) (Tab. 3.2).

## 3.2 Präoperative Befunde

### 3.2.1 Dauer der Anamnese

Der Mittelwert der präoperativen Symptomendauer betrug  $4,9 \pm 4,3$  Monate (Luft:  $4,5 \pm 3,7$  Monate, SF<sub>6</sub>-Gas:  $5,5 \pm 5,0$  Monate). Die Dauer der Anamnese lag im Median bei 4 (0-24) Monaten (Luft: 3 Monate, SF<sub>6</sub>-Gas: 4 Monate). Es bestand kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen (Mann-Whitney-U-Test, p=0,253) (Tab. 3.2).

### 3.2.2 Präoperativer Visus

#### 3.2.2.1 Fernvisus

Der durchschnittliche bestkorrigierte logMAR-Fernvisus betrug  $0,84 \pm 0,29$  (Luft:  $0,85 \pm 0,30$ , SF<sub>6</sub>-Gas:  $0,83 \pm 0,30$ ). Der Median des bestkorrigierten logMAR-

Fernvisus betrug 0,8 (0,2-1,4). Es bestand kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen (Mann-Whitney-U-Test,  $p=0,674$ ) (Tab. 3.2).

#### 3.2.2.2 Nahvisus

Insgesamt 46 Patienten (39,3%) konnte nicht mehr lesen bzw. die größten Optotypen (Nr. 9) der Oculustafeln präoperativ nicht mehr erkennen (Visusstufe 0,16 in 40 cm Prüfdistanz bzw. 0,1 in 25 cm) (Luft: 36,4%, SF<sub>6</sub>-Gas: 43,1%). Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen (Exakter Fisher-Test,  $p=0,567$ ).

Der durchschnittliche Nahvisus der 71 Patienten, die präoperativ noch lesen konnten, betrug  $0,30 \pm 0,15$  (Dezimalwert) (Luft:  $0,33 \pm 0,18$ , SF<sub>6</sub>-Gas:  $0,28 \pm 0,09$ ). Der Median des Nahvisus lag insgesamt und in beiden Gruppen bei 0,32 (0,05-1,25) (Dezimalwert). Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen (Mann-Whitney-U-Test,  $p=0,317$ ).

#### **3.2.3 Amsler-Gittertest**

Alle Patienten (100%) bemerkten präoperativ deutliche Metamorphopsien.

Ein präoperatives Zentralskotom war bei insgesamt 16 Augen (13,7%) vorhanden (Luft: 7,6%, SF<sub>6</sub>-Gas: 21,6%). Im Ergebnis war dieser Unterschied statistisch signifikant (Exakter Fisher-Test;  $p=0,034$ ).

#### **3.2.4 Gesichtsfeld**

Insgesamt 39 Augen (33,3%) zeigten präoperativ ein Zentralskotom bzw. ein parazentrales Skotom bei der Gesichtsfelduntersuchung. Davon gehörten 24 Augen (36,4%) zur Gruppe I und 15 (29,4%) zur Gruppe II. Bei insgesamt 7 Augen (6,0%), 4 der Gruppe I (6,1%) und 3 der Gruppe II (5,9%), war eine Gesichtsfelduntersuchung präoperativ nicht möglich. Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen ( $\chi^2$ -Test,  $p=0,595$ ).

#### **3.2.5 Achsenlänge**

Die Achsenlänge lag durchschnittlich bei  $23,69 \pm 1,17$  mm (Luft:  $23,71 \pm 1,20$  mm, SF<sub>6</sub>-Gas:  $23,66 \pm 1,13$  mm). Der Median der Achsenlänge betrug 23,43 (21,04-27,76) mm (Luft: 23,59 mm, SF<sub>6</sub>-Gas: 23,35 mm). Es bestand kein

statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen (Mann-Whitney-U-Test,  $p=0,790$ ) (Tab. 3.2).

85 Augen (72,6%) hatten eine Achsenlänge gleich 23 mm oder länger (Luft: 77,3%, SF<sub>6</sub>-Gas: 66,7%).

### **3.2.6 OCT-Befund / IVTS-Klassifikation**

#### **3.2.6.1 Makulaforamen-Größe**

Der minimale Durchmesser des Makulaforamens betrug durchschnittlich  $386 \pm 153 \mu\text{m}$  (Luft:  $376 \pm 158 \mu\text{m}$ , SF<sub>6</sub>-Gas:  $399 \pm 147 \mu\text{m}$ ). Der Median lag bei  $367$  (99-752)  $\mu\text{m}$  (Luft:  $367 \mu\text{m}$ , SF<sub>6</sub>-Gas:  $379 \mu\text{m}$ ). Es bestand kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen (Mann-Whitney-U-Test,  $p=0,466$ ) (Tab. 3.2).

Der Mittelwert des Basis-Durchmessers aller Makulaforamina betrug  $744 \pm 287 \mu\text{m}$  (Luft:  $729 \pm 298 \mu\text{m}$ , SF<sub>6</sub>-Gas:  $762 \pm 275 \mu\text{m}$ ). Der Median lag bei  $745$  (143-1595)  $\mu\text{m}$  (Luft:  $695 \mu\text{m}$ , SF<sub>6</sub>-Gas:  $757 \mu\text{m}$ ). Es bestand kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen (Mann-Whitney-U-Test,  $p=0,440$ ) (Tab. 3.2).

Insgesamt hatten 27 Augen (23,1%) (Luft: 27,3%, SF<sub>6</sub>-Gas: 17,6%) ein kleines ( $\leq 250 \mu\text{m}$ ), 39 Augen (33,3%) (Luft: 31,8%, SF<sub>6</sub>-Gas: 35,3%) ein mittelgroßes (251-400  $\mu\text{m}$ ) und 51 Augen (43,6%) (Luft: 40,9%, SF<sub>6</sub>-Gas: 47,1%) ein großes Foramen ( $> 400 \mu\text{m}$ ) (Tab. 3.2). Von den Augen mit einem großen Makulaforamen hatten 7 Augen (10,6% der Gruppe I) bzw. 4 Augen (7,8% der Gruppe II) einen minimalen Makulaforamen-Durchmesser größer als 600  $\mu\text{m}$ .

#### **3.2.6.2 Glaskörperstatus: mit oder ohne VMT**

Präoperativ war bei 20 Augen (17,1%) eine im OCT sichtbare vitreomakuläre Traktion vorhanden (Luft: 15,2%, SF<sub>6</sub>-Gas: 19,6%). Bei 95 Augen (81,2%) bestand keine VMT (Luft: 81,8%, SF<sub>6</sub>-Gas: 80,4%). Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen (Exakter Fisher-Test,  $p=0,626$ ). Bei 2 Augen der Gruppe I (1,7% aller Augen und 3,0% der Gruppe I) war das Vorhandensein einer VMT anhand des OCT-Bildes nicht sicher beurteilbar (Tab. 3.2).

**Tabelle 3.2** Demographische Daten und präoperative Parameter

<b>präoperative Variablen</b>	<b>Luft</b>	<b>SF<sub>6</sub>-Gas</b>	<b>p-Wert</b>
Geschlecht, N (%)			Exakter
Männer	27 (40,9%)	20 (39,2%)	Fisher-Test,
Frauen	39 (59,1%)	31 (60,8%)	p=1,0
Alter in Jahren, Mittelwert (SD)	69,4 (8,2)	69,8 (6,3)	M-W, p=0,770
Median (Spannweite)	70 (44-87)	71 (53-84)	
Anamnesedauer in Monaten,			
Mittelwert (SD)	4,5 (3,7)	5,5 (5,0)	M-W, p=0,253
Median (Spannweite)	3 (0-18)	4 (0-24)	
logMAR-Visus, Mittelwert (SD)	0,85 (0,3)	0,83 (0,3)	M-W, p=0,674
Median (Spannweite)	0,8 (0,2-1,4)	0,7 (0,3-1,4)	
Achsenlänge (mm),			
Mittelwert (SD)	23,71 (1,20)	23,66 (1,13)	M-W, p=0,790
Median (Spannweite)	23,71 (21,04-27,76)	23,35 (21,08-26,36)	
MF-Stadium, N (%)			
2	34 (51,5%)	23 (45,1%)	x <sup>2</sup> ,
3	13 (19,7%)	15 (29,4%)	p=0,474
4	19 (28,8%)	13 (25,5%)	
Glaskörperstatus nach IVTS			Exakter
Ohne VMT, N (%)	54 (81,8%)	41 (80,4%)	Fisher-Test,
Mit VMT, N (%)	10 (15,2%)	10 (19,6%)	p=0,626
MF-Größe nach IVTS, N (%)			
Klein (≤ 250 µm)	18 (27,3%)	9 (17,6%)	
Mittelgroß (251-400 µm)	21 (31,8%)	18 (35,3%)	
Groß (> 400 µm)	27 (40,9%)	24 (47,1%)	
min. MF-Durchmesser (µm),			
Mittelwert (SD)	376 (158)	399 (147)	M-W, p=0,466
Median (Spannweite)	367 (99-696)	379 (143-752)	
Dm der MF-Basis (µm),			
Mittelwert (SD),	729 (298),	762 (275),	M-W, p=0,440
Median (Spannweite)	695 (143-1595)	757 (236-1288)	
Linsenstatus, N (%)			Exakter
Phake Augen	48 (72,7%)	37 (72,5%)	Fisher-Test,
Pseudophakie	18 (27,3%)	14 (27,5%)	p=1,0



### **3.2.7 Stadieneinteilung nach Gass**

Präoperativ zeigte sich bei 57 Augen (48,7%) ein Makulaforamen Stadium 2 (Luft: 51,5%, SF<sub>6</sub>-Gas: 45,1%), bei 28 Augen (23,9%) ein Makulaforamen Stadium 3 (Luft: 19,7%, SF<sub>6</sub>-Gas: 29,4%) und bei 32 Augen (27,4%) ein Foramen Stadium 4 (Luft: 28,8%, SF<sub>6</sub>-Gas: 25,5%). Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Endotamponadegruppen ( $\chi^2$ -Test,  $p=0,474$ ) (Tab. 3.2).

### **3.2.8 Linsenstatus**

Präoperativ waren 85 Augen (72,6%) noch phak (Luft: 72,7%, SF<sub>6</sub>-Gas: 72,5%). Insgesamt hatten 4 Augen der Gruppe I (3,4% bzw. 6,1% der Gruppe I) präoperativ eine klare Linse, 56 Augen (47,9%) eine beginnende Katarakt (Luft: 42,4%, SF<sub>6</sub>-Gas: 54,9%) und 25 Augen (21,4%) eine fortgeschrittene Katarakt (Luft: 24,2%, SF<sub>6</sub>-Gas: 17,6%).

32 Patienten (27,4%) waren bereits pseudophak (Luft: 27,3%, SF<sub>6</sub>-Gas: 27,5%) und 7 davon (6,0% aller Augen) zeigten zusätzlich eine Kapsel­fibrose (Luft: 4,5%, SF<sub>6</sub>-Gas: 7,8%).

Es bestand kein signifikanter Unterschied bezüglich des Linsenstatus (phak bzw. pseudophak) zwischen beiden Gruppen (Exakter Fisher-Test,  $p=1,0$ ) (Tab. 3.2).

### **3.2.9 Begleitende Augenerkrankungen**

In Tabelle 3.3 wurden die begleitenden Augenerkrankungen des Patientenkollektivs aufgeführt. Mittels des exakten Fisher-Tests wurde der Unterschied zwischen den beiden Endotamponadegruppen für jede u.g. Begleiterkrankung auf statistische Signifikanz überprüft. Es bestand kein statistisch signifikanter Unterschied ( $p>0,05$ ).

Eine periphere Laserkoagulation bei peripheren Netzhautdefekten wurde in der Vergangenheit bei 8 Augen (Luft: 3,0%, SF<sub>6</sub>-Gas: 11,8%) durchgeführt.

Ein Patient der Gruppe II hatte in der Vergangenheit eine LASIK-Behandlung (0,9% aller Augen und 2,0% der Gruppe II) durchführen lassen.

**Tabelle 3.3** Begleitende Augenerkrankungen zum Operationszeitpunkt.

<b>Begleitende Augenerkrankungen</b>	<b>Luft</b>	<b>SF<sub>6</sub>-Gas</b>	<b>Gesamt</b>
Glaukom, N (%)	4 (6,1%)	2 (3,9%)	6 (5,1%)
Pseudoexfoliatio lentis, N (%)	3 (4,5%)	1 (2,0%)	4 (3,4%)
trockene altersbedingte Makuladegeneration, N (%)	4 (6,1%)	5 (9,8%)	9 (7,7%)
Cornea guttata, N (%)	4 (6,1%)	1 (2,0%)	5 (4,3%)
periphere NH-Degeneration, N (%)	6 (9,1%)	6 (11,8%)	12 (10,3%)
periphere Netzhautrisse, N (%)	14 (21,2%)	8 (15,7%)	22 (18,8%)
Netzhautrisse mit peripherer Begleitamotio retinae, N (%)	3 (4,5%)	4 (7,8%)	7 (6,0%)
Amblyopie, N (%)	1 (1,5%)	1 (2,0%)	2 (1,7%)

### **3.3 Intraoperative Parameter**

#### **3.3.1 Anästhesie**

Insgesamt wurden 100 Patienten (85,5%) in Vollnarkose (Luft: 84,8%, SF<sub>6</sub>-Gas: 86,3%) und 17 Patienten (14,5%) in Peribulbäranästhesie (Luft: 15,2%, SF<sub>6</sub>-Gas: 13,8%) operiert. Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Endotamponadegruppen (Exakter Fisher-Test, p=1,0).

#### **3.3.2 Operateur**

Insgesamt wurden 52 Augen (44,4%) durch einen sehr erfahrenen Operateur (Luft: 47,0%, SF<sub>6</sub>-Gas: 41,2%), 44 Augen (37,6%) durch einen erfahrenen Operateur (Luft: 33,3%, SF<sub>6</sub>-Gas: 43,1%) und 21 Augen (17,9%) durch einen Anfänger vitrektomiert (Luft: 19,7%, SF<sub>6</sub>-Gas: 15,7%). Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen ( $\chi^2$ -Test, p=0,546).

#### **3.3.3 Simultane Phakoemulsifikation**

Bei 82 Augen (70,1%) (Luft: 68,2%, SF<sub>6</sub>-Gas: 72,5%) wurde vor der Vitrektomie eine Phakoemulsifikation mit Implantation einer Hinterkammerlinse durchgeführt. Bei 3 Augen der Gruppe I wurde bei klarer Linse keine Katarakt-

Operation durchgeführt. Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen (Exakter Fisher-Test,  $p=1,0$ ).

Bei 33 Augen (28,2%) wurde eine „bag in the lens“-Intraokularlinse nach Tassignon (Morcher 89A-IOL)<sup>63,64</sup> implantiert (Luft: 33,3%, SF<sub>6</sub>-Gas: 21,6%). Es bestand kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen (Exakter Fisher-Test,  $p=0,113$ ).

### **3.3.4 Glaskörperstatus: partielle oder komplette Glaskörperabhebung/ Intraoperative Glaskörperablösung**

Bei insgesamt 32 Augen (27,4%) (Luft: 28,8%, SF<sub>6</sub>-Gas: 25,5%) erwies sich intraoperativ, dass die hintere Glaskörpergrenz-Membran bereits komplett vom hinteren Pol abgelöst war. Das entspricht ein MF-Stadium 4 (s. Tab. 1.1). Es bestand kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen (Exakter Fisher-Test,  $p=0,835$ ).

Bei 9 Augen von den 85 mit noch anliegendem Glaskörper am Operationstag (7,7%) (Luft: 6,1%, SF<sub>6</sub>-Gas: 9,8%), war die Ablösung des Glaskörpers intraoperativ schwierig. Es bestand kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen (Exakter Fisher-Test,  $p=0,5$ ).

### **3.3.5 Peripherer Netzhautbefund/ Intraoperative Laserkoagulation bzw. Kryokoagulation**

Bei 24 Augen (20,5%) (Luft: 21,2%, SF<sub>6</sub>-Gas: 15,7%) fand sich intraoperativ ein peripherer Netzhautdefekt. Zusätzlich trat ein Netzhautdefekt intraoperativ bei 2 weiteren Augen der Gruppe II (3,9%) wahrscheinlich durch den Glaskörperzug während der Vitrektomie auf. Bei insgesamt 7 weiteren Augen (6,0%) (Luft: 4,5%, SF<sub>6</sub>-Gas: 7,8%) war eine periphere, umschriebene Begleit-Netzhautablösung bei Defekten bzw. Degenerationen der Netzhaut vorhanden. Bei 12 Augen (10,3%) (Luft: 9,1%, SF<sub>6</sub>-Gas: 11,8%) war eine periphere Netzhautdegeneration ohne Netzhautablösung nachweisbar. Die Rate der vorhandenen peripheren Netzhautrisse bzw. Netzhautablösungen (Luft: 17/ SF<sub>6</sub>-Gas: 14 Augen) und der peripheren Netzhautdegenerationen (jeweils 6 Augen) war zwischen beiden Endotamponadegruppen statistisch nicht signifikant ( $\chi^2$ -Test,  $p=0,853$ ).

Bei insgesamt 41 Augen (35,0%) war eine Endolaserkoagulation notwendig (Luft: 33,3%, SF<sub>6</sub>-Gas: 37,3%). Bei einem Auge der Gruppe I (1,5%) sowie bei einem der Gruppe II (2,0%) war zusätzlich eine intraoperative Kryokoagulation notwendig. Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen (Exakter Fisher-Test, p=0,7).

### **3.3.6 Färbetechniken vor Peeling der Membrana limitans interna**

Bei 36 Augen (30,8%) (Luft: 30,3%, SF<sub>6</sub>-Gas: 31,4%) wurde ein ILM-Peeling im Bereich des hinteren Pols ohne Färbung durchgeführt. Bei 81 Augen (69,2%) erfolgte das ILM-Peeling nach Färbung (Luft: 69,7%, SF<sub>6</sub>-Gas: 68,6%). Es bestand kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Endotamponadegruppen (Exakter Fisher-Test, p=1,0).

Der Farbstoff Brilliant blau wurde bei 73 Augen (62,4%) (Luft: 62,1%, SF<sub>6</sub>-Gas: 62,7%) und der Farbstoff Trypanblau bei 8 Augen (6,8%) (Luft: 7,6%, SF<sub>6</sub>-Gas: 5,9%) eingesetzt.

### **3.3.7 Makulabefund nach Endodrainage**

Nach der Endodrainage erschienen 14 Foramina (12,0%) unverändert (Luft: 10,6%, SF<sub>6</sub>-Gas: 13,7%), 56 Foramina (47,9%) kleiner (Luft: 50,0%, SF<sub>6</sub>-Gas: 45,1%) und 4 (3,4%) geschlossen (Luft: 3,0%, SF<sub>6</sub>-Gas: 3,9%). Bei 43 Fällen (36,8%) war der Befund nicht beurteilbar (Luft: 36,4%, SF<sub>6</sub>-Gas: 97,3%). Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen (x<sup>2</sup>-Test, p=0,5).

## **3.4 Postoperative Befunde**

### **3.4.1 Postoperative Positionierung**

Die postoperative Positionierungszeit aller Augen mit MF-Verschluss nach einer einzigen Operation lag durchschnittlich bei 1,99 ± 1,36 Tagen (Luft: 2,09 ± 1,44 Tage, SF<sub>6</sub>-Gas: 1,87 ± 1,25 Tage). Der Median der Positionierungszeit lag insgesamt und in beiden Gruppen bei einem Tag (1-6 Tage). Es bestand kein Unterschied zwischen beiden Gruppen (Mann-Whitney-U-Test, p=0,455).

Bei 3 Patienten (2,6%), ein Patient (1,5%) der Gruppe I und zwei Patienten (3,9%) der Gruppe II war der postoperative Makulabefund durch eine Nachblutung bei der Entlassung nicht beurteilbar. Die wurden mit der

Empfehlung, die „Bauchlage“ stundenweise noch durchzuführen, entlassen. Da keine sicheren Daten der postoperativen Positionierungszeit bei diesen Patienten vorliegen, wurden Sie bei der o.g. Berechnung nicht einbezogen.

5 Patienten (4,3%) (Luft: 4,5%, SF<sub>6</sub>-Gas: 3,9%) konnten postoperativ aus unterschiedlichen Gründen die postoperative Lagerung nicht einhalten. Es bestand kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Endotamponadegruppen (Exakter Fisher-Test, p=1,0).

### 3.4.2 Verschluss des Makulaforamens

Mittels des modifizierten OCTs konnte der MF-Verschluss bereits in den ersten postoperativen Tagen dokumentiert werden. Eine Übersicht über den Zeitpunkt des MF-Verschlusses liefert Tabelle 3.4.

**Tabelle 3.4** Primäre Verschlussrate in den ersten postoperativen Tagen.

postoperativer Tag		Gesamt	Luft	SF <sub>6</sub> -Gas
1.	Geschlossen, % (N)	47,9% (56/117)	43,9% (29/66)	52,9% (27/51)
	Nicht beurteilbar, % (N)	33,3% (39/117)	36,4% (24/66)	29,4% (15/51)
	Offen, % (N)	18,8% (22/117)	19,7% (13/66)	17,6% (9/51)
2.	Geschlossen, % (N)	59,8% (70/117)	56,1% (37/66)	64,7% (33/51)
	Nicht beurteilbar, % (N)	24,8% (29/117)	27,3% (18/66)	21,6% (11/51)
	Offen, % (N)	15,4% (18/117)	16,7% (11/66)	13,7% (7/51)
3.	Geschlossen, % (N)	73,3% (85/116)*	71,2% (47/66)	76,0% (38/50)*
	Nicht beurteilbar, % (N)	17,2% (20/116)*	16,7% (11/66)	18,0% (9/50)*
	Offen, % (N)	9,5% (11/116)*	12,1% (8/66)	6,0% (3/50)*
4.	Geschlossen, % (N)	80,9% (93/115)*	76,9% (50/65)*	86,0% (43/50)*
	N. beurteilbar, % (N)	10,4% (12/115)*	12,3% (8/65)*	8,0% (4/50)*
	Offen, % (N)	8,7% (10/115)*	10,8% (7/65)*	6,0% (3/50)*
5.	Geschlossen, % (N)	88,2% (97/110)*	85,2% (52/61)*	91,8% (45/49)*
	Nicht beurteilbar, % (N)	5,5% (6/110)*	6,6% (4/61)*	4,1% (2/49)*
	Offen, % (N)	6,4% (7/110)*	8,2% (5/61)*	4,1% (2/49)*
6.	Geschlossen, % (N)	93,3% (97/104)*	92,9% (52/56)*	93,8% (45/48)*
	Nicht beurteilbar, % (N)	4,8% (5/104)*	5,4% (3/56)*	4,2% (2/48)*
	Offen, % (N)	1,9% (2/104)*	1,8% (1/56)*	2,1% (1/48)*

\*Die fehlenden Werte sind durch die Augen, bei welchen bereits eine Re-Operation am entsprechenden Kontrolltag durchgeführt wurde, zu erklären.

Dabei wird deutlich, dass innerhalb der ersten 3 postoperativen Tage drei Viertel (73,3%) bzw. am 6 postoperativen Tag nahezu alle Makulaforamina (93,3 %) nach einer einzigen Operation geschlossen waren. Die Verschlussrate lag bereits am ersten postoperativen Tag bei 47,9% (Luft: 43,9%, SF<sub>6</sub>-Gas: 52,9%).

Die in Tabelle 3.4 mit einem Sternchen markierten fehlenden Werte bzw. Beobachtungen weisen auf die Augen hin, bei welchen eine Revision der Operation bei persistierendem Makulaforamen bzw. Nachblutung durchgeführt wurde (Tab. 3.4). Bei 5 von 104 Augen (4,8%) (Luft: 4,5%, SF<sub>6</sub>-Gas: 3,9%) war der Makulabefund am sechsten postoperativen Tag aufgrund einer intraokularen Blutung nicht beurteilbar. Bei 3 Augen, ein Auge der Gruppe I und 2 Augen der Gruppe II, wurde bei gering ausgeprägter Nachblutung keine erneute Operation durchgeführt. Bei der nachstationären Kontrolle war das Foramen bei allen drei Augen geschlossen. Bei Fallnummer 85 zeigte sich das Foramen bereits zwei Tage und bei Fallnummern 43 und 67 erst zwei Wochen nach der Entlassung geschlossen. Bei zwei Augen der Gruppe I wurde wegen einer dichten Nachblutung eine Re-Vitrektomie durchgeführt. Die Makulalöcher in beiden Fällen waren bei der Re-Operation geschlossen.

### **3.5 Erneute Operationen bei nicht geschlossenem Makulaforamen**

Bei 15 Augen (12,8%), 11 der Gruppe I (16,7%) bzw. 4 der Gruppe II (7,8%) wurde eine erneute Vitrektomie wegen eines nicht geschlossenen Foramens durchgeführt. Der Unterschied zwischen beiden Gruppen war statistisch nicht signifikant (Exakter Fisher-Test,  $p=0,177$ ). Bei einem der Augen der Gruppe I (Fallnummer 25) war das Foramen im OCT zunächst geschlossen. Am sechsten postoperativen Tag zeigte sich jedoch eine Wiedereröffnung des Foramens.

Bei 9 der reoperierten Augen erfolgte eine Erweiterung des ILM-Peelings. Bei 8 Augen, 6 der Gruppe I und 2 der Gruppe II, wurde der Farbstoff Brilliant blau verwendet. Bei Fallnummer 18 wurde Brilliant blau injiziert. Allerdings war keine Erweiterung des Peelings notwendig, da die Membrana limitans interna bereits bei der ersten Vitrektomie bis zum Gefäßbogen entfernt worden war.

Bei 14 Augen erfolgte am Ende der Re-Operation eine erneute Endodrainage. Bei Fallnummer 18 zeigte sich das Foramen am Ende der zweiten Operation noch offen. Aufgrund reduzierter Sicht durch eine Nachblutung während des Flüssigkeits-Luft-Austausches wurde auf eine Endodrainage verzichtet.

Am Ende der Re-Vitrektomie erfolgte bei 7 Augen der Gruppe I eine erneute Lufttamponade. Eine 20%ige SF<sub>6</sub>-Gas-Tamponade wurde bei 3 Augen der Gruppe I und den 4 Augen der Gruppe II vorgenommen. Eine Patientin der Gruppe I konnte schon nach der ersten Operation keine „Bauchlage“ einhalten, weshalb bei ihr bei der Revision eine Tamponade mit 15% C<sub>3</sub>F<sub>8</sub>-Gas gewählt wurde (Fallnummer 28).

Die Dauer der Lagerung der Patienten wurde auch nach der zweiten Vitrektomie dokumentiert. Bei fast allen diesen Patienten konnte die „Bauchlage“ nach erfolgreichem MF-Verschluss innerhalb von 3 Tagen beendet werden (Tab. 3.5).

**Tabelle 3.5** Mobilisationstag der Patienten nach erfolgreicher Re-Vitrektomie.

Mobilisationstag		Endotamponadegruppen		Gesamt
		Luft	SF <sub>6</sub> -Gas	
1. postoperativer Tag	Anzahl	4	3	7
2. postoperativer Tag	Anzahl	3	1	4
3. postoperativer Tag	Anzahl	2	0	2
Gesamt	Anzahl	9	4	13

### 3.6 Entlassungsbefund

#### 3.6.1 Entlassungsvisus

Bei der Entlassung betrug der Mittelwert des bestkorrigierten logMAR-Fernvisus  $1,51 \pm 0,60$  (Luft:  $1,32 \pm 0,64$ , SF<sub>6</sub>-Gas:  $1,75 \pm 0,46$ ). Der Median des logMAR-Visus war bei der Entlassung bei Augen der Luft-Gruppe mit 1,30 statistisch signifikant niedriger als bei Augen der SF<sub>6</sub>-Gas-Gruppe mit 1,90 (Mann-Whitney U-Test,  $p=0,003$ ).

### 3.6.2 Anatomischer Befund bei der letzten Untersuchung vor Entlassung

Der Makulabefund wurde vor der Entlassung erneut mittels OCT dokumentiert und in 7 Kategorien (s. Abb. 2.1, Tab. 2.1 und 3.6) eingeteilt:

42 Augen gehörten zur Kategorie 1, 23 Augen zur Kategorie 2, 24 zur Kategorie 3, jeweils 13 zur Kategorie 4 und Kategorie 5 sowie jeweils ein Auge zur Kategorie 6 und 7. Die Verteilung der Augen anhand des postoperativen Makulabefundes, für alle Augen und in beiden Gruppen, wird in Tabelle 3.6 genauer dargestellt. Es bestand kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen beiden Endotamponade-Gruppen ( $\chi^2$ -Test,  $p=0,120$ ).

**Tabelle 3.6** Einteilung der Augen anhand des postoperativen anatomischen Makulabefundes im OCT-Bild.

postoperativer, anatomischer Makulaforamen-Befund		Endotamponadegruppen		Gesamt
		Luft	SF <sub>6</sub> -Gas	
Kategorie 1	N	19	23	42
(Vollständiger Verschluss)	%	28,8%	45,1%	35,9%
Kategorie 2	N	10	13	23
(Verschluss mit „bridge“-Formation)	%	15,2%	25,5%	19,7%
Kategorie 3	N	16	8	24
(Verschluss mit Außenschichtdefekt)	%	24,2%	15,7%	20,5%
Kategorie 4	N	10	3	13
(Verschluss mit „Plug“)	%	15,2%	5,9%	11,1%
Kategorie 5	N	9	4	13
(Verschluss nach 2. ppV)	%	13,6%	7,8%	11,1%
Kategorie 6	N	1	0	1
(MF-Wiedereröffnung nach 1.ppV)	%	1,5%	0,0%	0,9%
Kategorie 7	N	1	0	1
(kein Verschluss auch nach 2. ppV)	%	1,5%	0,0%	0,9%

### 3.7 Letzte postoperative Nachkontrolle

#### 3.7.1 Nachbeobachtungszeit

Der Nachbeobachtungszeitraum lag durchschnittlich bei 2,92 ±0,83 Monaten (Luft: 3,06 ±0,89 Monate, SF<sub>6</sub>-Gas: 2,75 ±0,72 Monate). Der Median lag bei 3



Monaten. Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Endotamponadegruppen (Mann-Whitney U-Test,  $p=0,054$ ).

Bei 14 Patienten (12,0%) (Luft: 12,1%, SF<sub>6</sub>-Gas: 11,8%) wurden die postoperativen Befunde drei Monate nach der Operation telefonisch beim niedergelassenen Augenarzt des jeweiligen Patienten erfragt, da sich diese Patienten in unserer Klinik nicht vorstellen konnten. Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen (Exakter Fisher-Test,  $p=1,0$ ).

### **3.7.2 Befunde**

#### **3.7.2.1 Visus bei der letzten Nachkontrolle**

Der Mittelwert des logMAR-Fernvisus nach 3 Monaten betrug  $0,39 \pm 0,27$  (Luft:  $0,37 \pm 0,27$ , SF<sub>6</sub>-Gas:  $0,42 \pm 0,27$ ). Der Median lag bei 0,3 (0,0-1,3). Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen (Mann-Whitney-U-Test,  $p=0,157$ ).

Bei insgesamt 7 Patienten (6,0%), 4 der Gruppe I (6,1%) und 3 der Gruppe II (5,9%), war das Lesen der größten Optotypen der Oculustafeln bei der letzten Kontrolle nicht möglich. Der durchschnittliche Nahvisus betrug  $0,48 \pm 0,21$  (Dezimalzahl) (Luft:  $0,49 \pm 0,23$ , SF<sub>6</sub>-Gas:  $0,47 \pm 0,19$ ). Der Median des Nahvisus aller Augen und in beiden Gruppen lag bei 0,4 (0,2-1,25). Es bestand kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen (Mann-Whitney-U-Test,  $p=0,871$ ).

#### **3.7.2.2 Amsler-Gittertest**

Bei insgesamt 15 Augen (12,8%) waren keine Metamorphopsien (Luft: 12,1%, SF<sub>6</sub>-Gas: 13,7%), bei 70 Augen (59,8%) noch geringe (Luft: 66,7%, SF<sub>6</sub>-Gas: 51,0%) und bei 32 Augen (27,4%) noch deutliche Metamorphopsien vorhanden (Luft: 21,2%, SF<sub>6</sub>-Gas: 35,3%). Es bestand kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Endotamponadegruppen ( $\chi^2$ -Test,  $p=0,189$ ).

Ein Zentralskotom war bei 2 Patienten der Gruppe II bei der letzten Kontrolle noch vorhanden (1,7% aller Augen bzw. 3,9% der Gruppe II). Es bestand kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen (Exakter Fisher-Test,  $p=0,188$ ).

#### 3.7.2.4 Gesichtsfeld

Insgesamt 12 von 99 Augen (12,1%), 5 der Gruppe I und 7 der Gruppe II (9,1% bzw. 15,9%), zeigten bei der Gesichtsfelduntersuchung während der letzten Kontrolle ein parazentrales bzw. zentrales Skotom.

Bei 18 Augen (15,4%), 11 der Gruppe I (16,6%) und 7 der Gruppe II (13,7%), war eine Gesichtsfelduntersuchung nicht möglich. Es bestand kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen ( $\chi^2$ -Test,  $p=0,395$ ).

#### 3.7.2.5 Linsenstatus

Drei Patienten der Luft-Gruppe (4,5% der Gruppe I bzw. 2,6% aller Patienten) blieben nach der Behandlung phak. Zum Zeitpunkt der letzten postoperativen Kontrolle war die Linse dieser Patienten weiterhin klar.

#### 3.7.2.6 OCT-Befund

Bei der letzten Nachkontrolle waren alle 116 Makulaforamina (99,1%), die bei Entlassung verschlossen waren, geschlossen. Ein Makulaforamen der Gruppe I blieb nach der zweiten Vitrektomie offen (1,5% der Gruppe I).

Bei 18 Patienten (15,4%) war es nicht möglich, eine OCT-Untersuchung in unserer Klinik durchzuführen. Anhand der vorhandenen OCT-Befunde von 98 Augen wurden die geschlossenen Foramina hinsichtlich der Konfiguration der Fovea in 4 Kategorien eingeteilt (s. 2.10.1 / Abb. 2.3). 20 Augen (20,4%) zeigten eine normale (Luft: 23,6%, SF<sub>6</sub>-Gas: 16,3%), 18 Augen (18,4%) eine steile (Luft: 21,8%, SF<sub>6</sub>-Gas: 14,0%) und 58 (59,2%) eine irreguläre foveale Kontur (Luft: 54,5%, SF<sub>6</sub>-Gas: 65,1%). Bei 2 Augen der Gruppe II (2,0% aller Augen bzw. 4,7% der Gruppe II) war die Foveakontur bei zystoidem Makulaödem bzw. Amotio retinae mit Makulabeteiligung nicht sicher beurteilbar. Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen ( $\chi^2$ -Test,  $p=0,204$ ).

Zusätzlich wurden die OCT-Bilder hinsichtlich retinaler Auffälligkeiten bewertet (s. 2.10.1). Eine Übersicht wird in der nachfolgenden Tabelle 3.7 aufgeführt und in der Abbildung 3.2 werden Beispiele solcher Auffälligkeiten dargestellt. Der Unterschied zwischen beiden Gruppen für jede u.g. Befund wurde auf

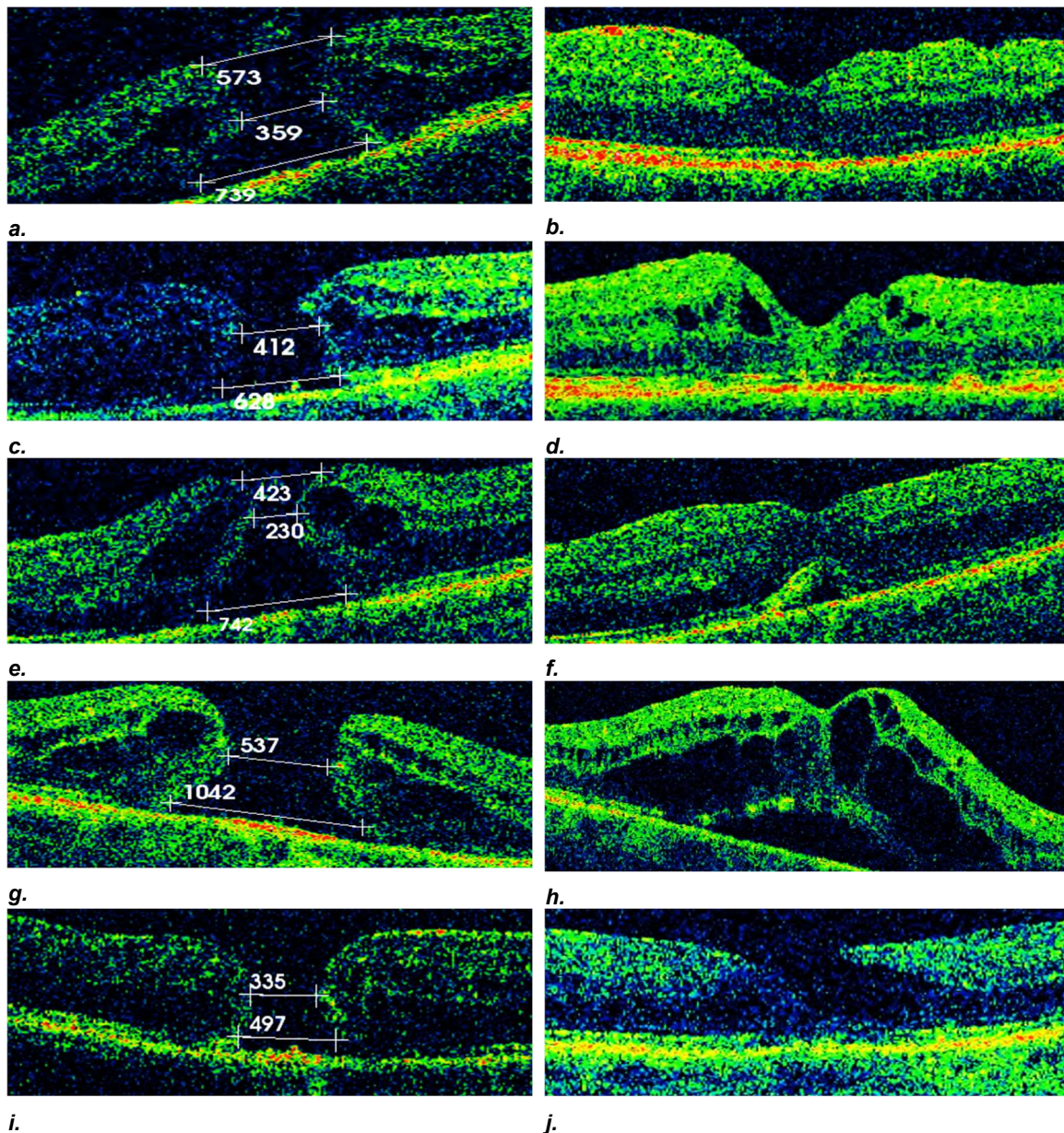
statistische Signifikanz überprüft. Es bestand kein statistisch signifikanter Unterschied (Exakter Fisher-Test,  $p > 0,05$ ).

Eine persistierende Abhebung der Foveola bestand nach 3 Monaten nur noch bei 7 (7,1%) der 23 Augen, die direkt postoperativ einen MF-Verschluss mit „bridge“-Formation hatten (Luft: 7,3%, SF<sub>6</sub>-Gas: 7,0%). Die Abhebung der Neuroretina im Bereich der Foveola war auch bei allen 7 Augen im Vergleich zum Vorbefund deutlich rückläufig (Abb. 3.2 f).

Bei 10 (10,2%) Augen, 4 der Gruppe I (7,3%) und 6 der Gruppe II (14,0%), waren Zysten unterschiedlicher Ausprägung vorhanden. Nur bei 3 Augen davon (3,0%), ein Auge der Gruppe I (1,8%) und 2 der Gruppe II (4,7%) war eine Behandlung bei deutlichem zystoiden Makulaödem notwendig (Fallnummer 37, 78 und 99) (Abb. 3.2 h).

**Tabelle 3.7** Einteilung der geschlossenen Foramina anhand der retinalen Auffälligkeiten im OCT-Bild 3 Monate nach der Operation.

retinale Auffälligkeiten nach erfolgreicher MF-Chirurgie		Endotamponadegruppen		Gesamt n = 98
		Luft n = 55	SF <sub>6</sub> -Gas n = 43	
Photorezeptorenschicht-Defekt	N	55	43	98
	%	100%	100%	100%
Nervenfaserschicht-Defekt	N	33	28	61
	%	60,0%	65,1%	62,2%
Defekte des retinalen Pigmentepithels	N	18	18	36
	%	32,7%	41,9%	36,7%
Verschluss mit „bridge“-Formation	N	4	3	7
	%	7,3%	7,0%	7,1%
Verschluss mit „Plug“	N	4	4	8
	%	7,3%	9,3%	8,2%
Makulaschichtforamen	N	0	1	1
	%	0,0%	2,3%	1,0%
zystoides Makulaödem	N	4	6	10
	%	7,3%	14,0%	10,2%



**Abbildung 3.2** Darstellung retinaler Auffälligkeiten nach Makulaforamenchirurgie durch optische Kohärenztomographie. **a-b.** Fallnummer 82 **a.** präoperativ, **b.** postoperative Wiederherstellung der Makula; es zeigten sich Nervenfaserschicht- sowie Photorezeptorenschichten-Defekte (IS/OS-Defekte). **c-d.** Fallnummer 99 **c.** präoperativ, **d.** MF-Verschluss mit „Plug“. Zusätzlich waren Zysten und IS/OS-Defekte sowie Defekte des retinalen Pigmentepithels vorhanden. **e-f.** Fallnummer 116 **e.** präoperativ, **f.** Verschluss nur der inneren Schichten mit postoperativer „bridge“-Formation. Im OCT-Bild waren leichte Auffälligkeiten der äußeren Netzhaut erkennbar. **g-h.** Fallnummer 78 **g.** präoperativ, **h.** Postoperativ kam es zu einem zystoiden Makulaödem mit seröser Abhebung der Fovea. **i-j.** Fallnummer 112 **i.** präoperativ, **j.** Bei dieser Patientin ist eine Dehiszenz der inneren parafoveolären Netzhaut

(„Makulaschichtforamen“) entstanden. Auch hier waren IS/OS-Defekte sowie eine Auflockerung des retinalen Pigmentepithels sichtbar.

### 3.9 Abschließende Ergebnisse

#### 3.9.1 Verschlussrate / Einfluss der Endotamponade

Bei 102 von 117 Augen konnte ein MF-Verschluss mit einer einzigen Operation erreicht werden (87,2%). Die primäre Verschlussrate der Gruppe I lag bei 83,3% und in der Gruppe II bei 92,2%. Der Unterschied zwischen beiden Gruppen war statistisch nicht signifikant (Exakter Fisher-Test,  $p=0,177$ ) (Tab. 3.8).

Die Verschlussrate aller Makulaforamina betrug nach 3 Monaten 99,1%. In der Gruppe I und II lag die Verschlussrate in der gleichen Zeitspanne bei 98,5% bzw. 100%. Der Unterschied zwischen beiden Gruppen war statistisch nicht signifikant (Exakter Fisher-Test,  $p=1,0$ ) (Tab. 3.8).

Ein Makulaforamen der Gruppe I mit einem Durchmesser von  $591\mu\text{m}$  und einer Anamnesedauer von 12 Monaten blieb auch nach einer zweiten Operation offen (Fallnummer 32). Da sich das große, atrophisch wirkende Foramen auch nach Endodrainage während der Re-Vitrektomie nicht verkleinerte, wurde auf weitere Eingriffe verzichtet.

**Tabelle 3.8** Verschlussrate

Verschlussrate	Gesamt	Endotamponadegruppen		p-Wert*
		Luft	SF <sub>6</sub> -Gas	
Nach einer ppV, % (N)	86,9% (102/117)	83,3% (55/66)	92,2% (47/51)	$p=0,177$
Nach 3 Monaten, % (N)	99,1% (116/117)	98,5% (65/66)	100% (51/51)	$p=1,0$

\* Exakter Fisher-Test

#### 3.9.2 Einfluss präoperativer Parameter auf die Verschlussrate

##### 3.9.2.1 Einfluss der Dauer der Symptome

Es konnte kein statistisch signifikanter Unterschied in Bezug auf die Dauer der Anamnese zwischen Augen ohne oder mit Verschluss des Makulaforamens

nach einer Operation nachgewiesen werden, mit einem mittleren Rang von 61,8 bzw. 58,59 (Mann-Whitney-U-Test;  $p=0,730$ ).

### 3.9.2.2 Einfluss der präoperativen Sehschärfe

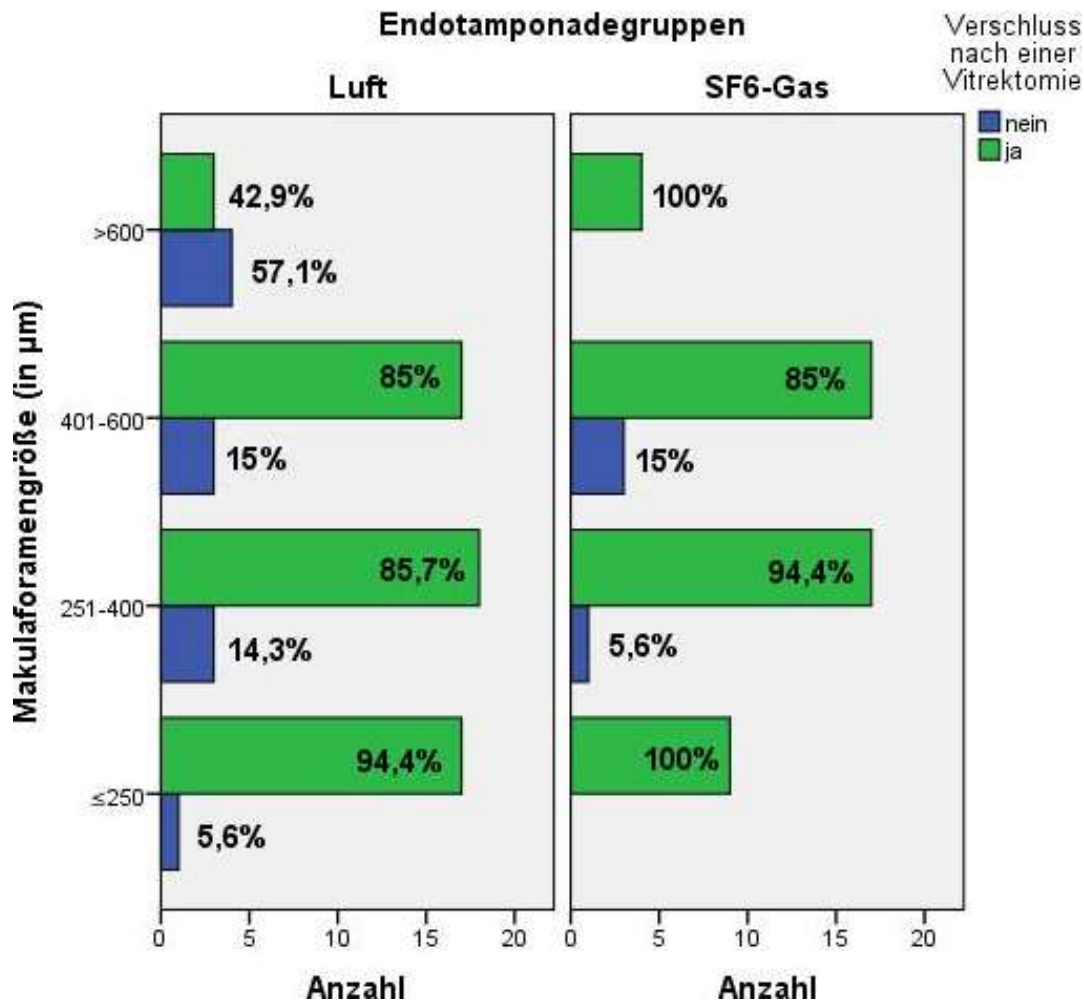
Es bestand ein signifikanter Unterschied des präoperativen logMAR-Visus zwischen Augen ohne oder mit primärem Verschluss des MF, mit einem mittleren Rang von 79,70 bzw. 55,96 (Mann-Whitney-U-Test,  $p=0,01$ ). Das heißt, dass Augen mit einem niedrigeren logMAR-Wert bzw. einen besseren Ausgangsvisus eine bessere Verschlussrate nach einer einzigen Operation erreichen konnten. Der Unterschied war in Gruppe I, aber nicht in Gruppe II signifikant (Mann-Whitney-U-Test, Luft:  $p=0,024$ , SF<sub>6</sub>-Gas:  $p=0,270$ ).

### 3.9.2.3 Einfluss der Makulaforamengröße

Im Mann-Whitney-U-Tests konnte ein statistisch signifikanter Unterschied der präoperativen Makulaforamengröße zwischen Augen ohne oder mit MF-Verschluss nach einer Vitrektomie nachgewiesen werden. Der mittlere Rang für den minimalen MF-Durchmesser betrug 81,13 bzw. 55,75 für Augen ohne bzw. mit Verschluss nach einer Operation ( $p=0,007$ ). Für den Basis-Durchmesser betrug der mittlere Rang 77,37 für Augen ohne und 56,30 für Augen mit Verschluss nach einer einzigen Operation ( $p=0,025$ ). Bei Foramina mit einem kleineren minimalen Durchmesser bzw. Basis-Durchmesser konnte eine bessere Verschlussrate nach einer Operation erreicht werden.

26 von 27 Foramina (96,3%) mit einem minimalen Durchmesser  $\leq 250 \mu\text{m}$  (Luft: 94,4%, SF<sub>6</sub>-Gas: 100%), 35 von 39 Foramina (89,7%) mit Durchmesser zwischen  $251 \mu\text{m}$  und  $400 \mu\text{m}$  (Luft: 85,7%, SF<sub>6</sub>-Gas: 94,4%) und 41 von 51 Foramina (80,4%) mit Durchmesser  $> 400 \mu\text{m}$  (Luft: 74,1%, SF<sub>6</sub>-Gas: 87,5%) konnten durch eine Vitrektomie geschlossen werden. Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den unterschiedlichen Gruppen ( $\chi^2$ ,  $p=0,157$ ; Abb. 3.3).

Eine weitere Subgruppenanalyse zeigte, dass die Verschlussrate nach einer Vitrektomie bei sehr großen Makulaforamina ( $> 600 \mu\text{m}$ ) mit 63,6% (7/11 Augen) signifikant kleiner war als bei MF  $\leq 600 \mu\text{m}$  (Exakter Test nach Fisher, Gesamt:  $p=0,034$ ). Dieser Unterschied war in Gruppe I, aber nicht in Gruppe II signifikant (Exakter Test nach Fisher, Luft:  $p=0,012$ , SF<sub>6</sub>-Gas:  $p=1,0$ ).



**Abbildung 3.3** Balkendiagramm der Verschlussrate nach einer Operation je nach Makulaforamengröße in beiden Tamponadegruppen. Für die Subgruppenanalyse wurden die Foramina in 4 Kategorien eingeteilt ( $\leq 250 \mu\text{m}$ , 251-400, 401-600,  $> 600 \mu\text{m}$ ). Obwohl die Verschlussrate nach Lufttamponade bei Makulaforamina  $> 600 \mu\text{m}$  mit 42,9% signifikant kleiner als bei Foramina  $\leq 600 \mu\text{m}$  war (Exakter Fisher-Test,  $p=0,012$ ), bestand kein statistisch signifikanter Unterschied der Verschlussrate nach MF-Größe zwischen Luft- und Gastamponade (Insgesamt: Chi-Quadrat nach Pearson,  $p=0,157$ ). Löcher  $> 600 \mu\text{m}$ : Exakter Fisher-Test,  $p=0,194$ ). Insgesamt konnte bei Foramina mit einem kleineren minimalen Durchmesser eine bessere Verschlussrate erreicht werden.

Die Verschlussrate für Foramina  $> 600 \mu\text{m}$  war in der Gruppe I mit 42,9% (3/7 Augen) im Trend schlechter als in der Gruppe II mit 100% (4/4 Augen). Dieser Unterschied konnte das Signifikanzniveau aber nicht erreichen (Exakter Fisher-Test,  $p=0,194$ ). Mithilfe des Cochran-Mantel-Haenszel-Tests konnte eine starke Assoziation zwischen Foramina  $> 600 \mu\text{m}$  und der niedrigeren Verschlussrate nach einer einmaligen Vitrektomie nachgewiesen werden, wenn der

Endotamponadeeffekt herausgerechnet wurde ( $p=0,018$ ). Allerdings war die Anzahl der Makulaforamina  $> 600 \mu\text{m}$  in den beiden Gruppen sehr gering.

### 3.9.2.4 Einfluss einer im OCT sichtbaren vitreomakulären Traktion

81 von 95 Foramina (85,3%) ohne vorhandene vitreomakuläre Traktion (VMT) (Luft: 79,6%, SF<sub>6</sub>-Gas: 92,7%), 19 von 20 Foramina (95,0%) mit VMT (Luft: 100%, SF<sub>6</sub>-Gas: 90%) und 2 von 2 (100%) Makulaforamina der Gruppe I, bei denen der Glaskörperstatus im OCT-Bild nicht sicher beurteilbar war, verschlossen sich nach einer Vitrektomie. Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen ( $\chi^2$ ,  $p=0,427$ ).

### 3.9.2.5 Einfluss des Stadiums des Makulaforamens

53 von 57 Foramina im Stadium 2 (93,0%) (Luft: 88,2%, SF<sub>6</sub>-Gas: 100%), 24 von 28 MF im Stadium 3 (85,7%) (Luft: 92,3%, SF<sub>6</sub>-Gas: 80,0%) und 25 von 32 MF im Stadium 4 (78,1%) (Luft: 68,4%, SF<sub>6</sub>-Gas: 92,3%) waren nach einer Vitrektomie geschlossen.

**Tabelle 3.9** Einfluss des präoperativen Stadiums des Makulaforamens auf die Verschlussrate nach einer Operation.

Endotamponadegruppen			Verschluss nach einer Operation	
			N, (%)	
			nein	ja
<b>Luft</b>	Stadium	2	4 (11,8%)	30 (88,2%)
		3	1 (7,7%)	12 (92,3%)
		4	6 (31,6%)	13 (68,4%)
	Gesamt		11 (16,7%)	55 (83,3%)
<b>SF<sub>6</sub>-Gas</b>	Stadium	2	0 (0 %)	23 (100,0%)
		3	3 (20,0%)	12 (80,0%)
		4	1 (7,7%)	12 (92,3%)
	Gesamt		4 (7,8%)	47(92,2%)
<b>Gesamt</b>	Stadium	2	4 (7,0%)	53 (93,0%)
		3	4 (14,3%)	24 (85,7%)
		4	7 (21,9%)	25 (78,1%)
	Gesamt		15 (12,8%)	102 (87,2%)



Es bestand kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen ( $\chi^2$ ,  $p=0,128$ ). Obwohl in der Subgruppenanalyse die Verschlussrate für MF Stadium 4 der Gruppe I im Trend schlechter war, konnte dieser Unterschied das Signifikanzniveau nicht erreichen ( $p=0,065$ ) (Tab. 3.9).

#### 3.9.2.6 Einfluss der Achsenlänge

Es bestand ein signifikanter Unterschied der Achsenlänge zwischen Augen ohne oder mit MF-Verschluss nach einer Vitrektomie, mit einem mittleren Rang von 41,57 bzw. 61,56 (Mann-Whitney-U-Test,  $p=0,033$ ). Die Augen ohne primären Verschluss waren etwas kürzer mit einer Achsenlänge (Median) von 23,3 mm (Luft: 23,3 mm, SF<sub>6</sub>-Gas: 23,23 mm) als Augen mit primärem Verschluss mit einer Achsenlänge (Median) von 23,67 mm (Luft: 23,69 mm, SF<sub>6</sub>-Gas: 23,4 mm). Der Unterschied war in Gruppe I, aber nicht in Gruppe II signifikant (Mann-Whitney-U-Test, Luft:  $p=0,039$ , SF<sub>6</sub>-Gas:  $p=0,43$ ).

#### **3.9.3 Einfluss intraoperativer Parameter auf die Verschlussrate**

##### 3.9.3.1 Einfluss des Operateurs

44 von 52 (84,6%) Makulaforamina, die durch einen sehr erfahrenen Operateur (Luft: 80,6%, SF<sub>6</sub>-Gas: 90,5%), 39 von 44 (88,6%) Foramina, die durch einen erfahrenen Operateur (Luft: 81,8% , SF<sub>6</sub>-Gas: 95,5%) und 19 von 21 (90,5%) (Luft: 92,3%, SF<sub>6</sub>-Gas: 87,5%) Foramina, die durch einen Anfänger behandelt wurden, verschlossen sich nach einer Vitrektomie. Es bestand kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den unterschiedlichen Gruppen ( $\chi^2$ ,  $p=0,454$ ).

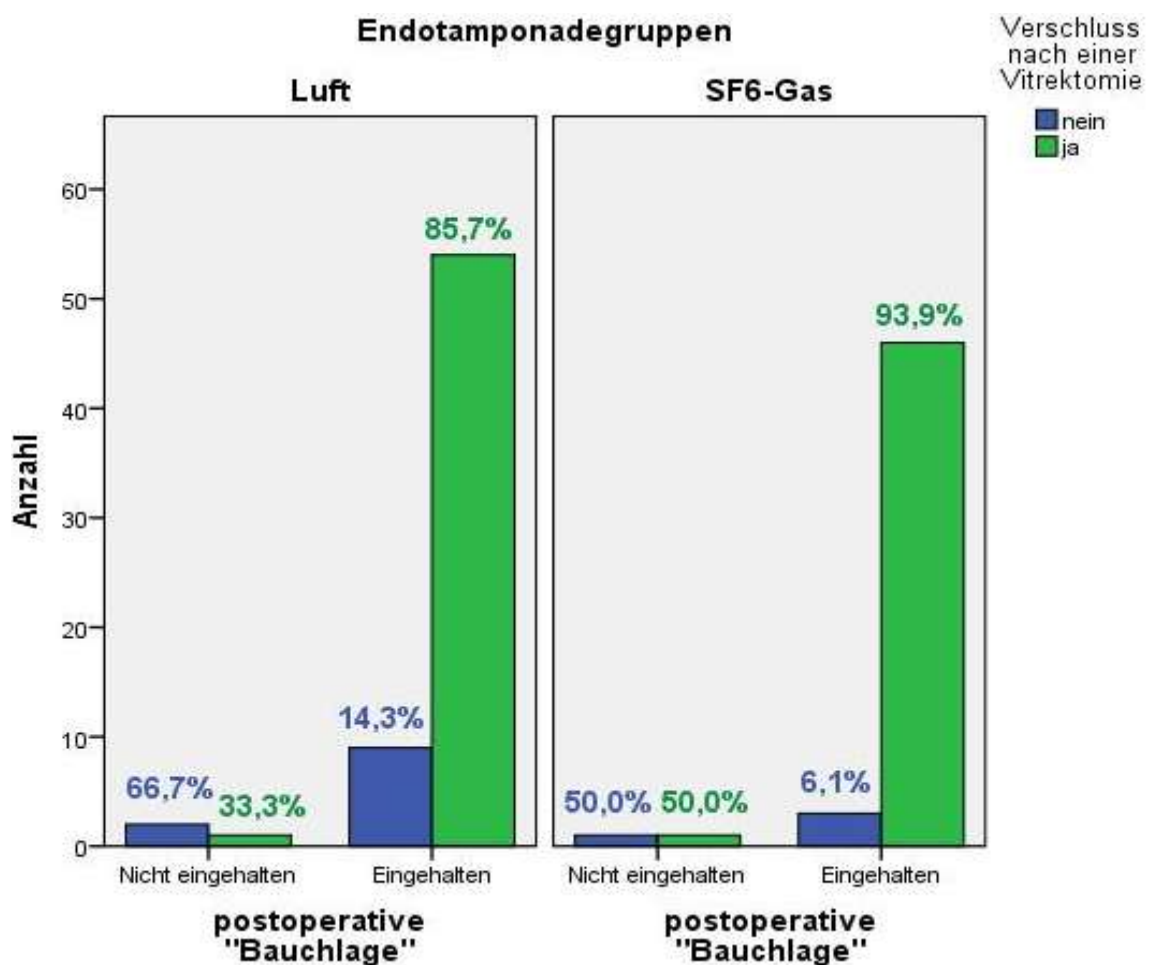
##### 3.9.3.2 Einfluss der Färbetechnik

Bei 32 von 36 (88,9%) Augen, bei denen das ILM-Peeling ohne Färbung erfolgte (Luft: 85,0%, SF<sub>6</sub>-Gas: 93,8%), sowie bei 70 von 81 (86,4%) Augen, bei denen das Peeling nach Anfärbung der ILM erfolgte (Luft: 82,6%, SF<sub>6</sub>-Gas: 91,4%), verschloss sich das Foramen nach einer Vitrektomie. Es bestand kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen (Exakter Fisher-Test,  $p=0,484$ ).

### 3.9.4 Einfluss postoperativer Parameter auf die Verschlussrate

#### 3.9.4.1 Einfluss der „Gesicht nach unten“-Lagerung („Bauchlage“)

Bei 2 von 5 Patienten (40,0%), die keine postoperative Lagerung einhalten konnten (Luft: 33,3%, SF<sub>6</sub>-Gas: 50,0%), sowie bei 100 von 112 Patienten (89,3%), welche die Lagerung einhalten konnten (Luft: 85,7%, SF<sub>6</sub>-Gas: 93,9%), wurde der MF-Verschluss nach einer Operation erreicht. Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass die Einhaltung der postoperativen Lagerung zu einer statistisch signifikant höheren Verschlussrate nach einer einmaligen Vitrektomie führte (Exakter Test nach Fisher,  $p=0,015$ ) (Abb. 3.4).



**Abbildung 3.4** Balkendiagramm des Makulaforamenverschlusses nach einer Operation in Abhängigkeit von der Einhaltung der „Bauchlage“. Es bestand ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Fällen mit und ohne Einhaltung der postoperativen Lagerung hinsichtlich der Verschlussrate (Exakter Test nach Fisher,  $p=0,015$ ). Die Einhaltung der postoperativen Lagerung führte zu einer höheren

Verschlussrate nach einer Vitrektomie. Dieser Unterschied war unabhängig von der verwendeten Endotamponade (Cochran-Mantel-Haenzel-Test;  $p=0,001$ ).

In den Tamponadegruppen war dieser Unterschied jedoch nicht signifikant (Exakter Test nach Fisher, Luft:  $p=0,070$  und SF<sub>6</sub>-Gas:  $p=0,152$ ). Allerdings war die Anzahl der Fälle ohne Einhaltung der „Bauchlage“ in beiden Gruppen sehr klein. Das Cochran-Mantel-Haenzel-Test zeigte eine starke Assoziation zwischen „Bauchlage“ und Verschlussrate, wenn der Endotamponadeeffekt herausgerechnet wurde ( $p=0,001$ ).

### **3.9.5 Funktionelles Ergebnis**

#### 3.9.5.1 Postoperative Visusentwicklung im Nachbeobachtungszeitraum

##### 3.9.5.1.1 Fernvisus

Im Nachbeobachtungszeitraum der Studie (3 Monate im Median) stieg der bestkorrigierte logMAR-Visus aller Augen im Median von 0,8 präoperativ auf 0,3 (Luft: von 0,8 auf 0,3, SF<sub>6</sub>-Gas: von 0,7 auf 0,4). Insgesamt sowie innerhalb der Gruppe I bzw. II zeigte sich ein Visusanstieg von 0,4 logMAR ( $\Delta$ ) bei der letzten Kontrolle (Median). Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen (Mann-Whitney-U-Test,  $p=0,262$ ) (Tab.3.10).

Insgesamt sowie in jeder Tamponaden-Gruppe zeigte sich ein statistisch signifikanter Visusanstieg (Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test,  $p<0,001$ ).

**Tabelle 3.10** Postoperative Entwicklung des bestkorrigierten logMAR-Visus (Median).

<b>logMAR-Visus (Median)</b>	<b>Gesamt N = 117</b>	<b>Luft N = 66</b>	<b>SF<sub>6</sub>-Gas N = 51</b>	<b>P-Wert*</b>
Präoperativ	0,8	0,8	0,7	0,674
Bei der letzten Kontrolle	0,3	0,3	0,4	0,157
Visusverbesserung ( $\Delta$ )	0,4	0,4	0,4	0,262

\*Mann-Whitney-U-Test

##### 3.9.5.1.2 Nahvisus

Der bestkorrigierte Nahvisus aller Augen sowie in jeder Gruppe stieg im Median von 0,32 präoperativ auf 0,5 (dezimal) bei der letzten postoperativen Kontrolle.

Insgesamt zeigte sich eine Visusverbesserung ( $\Delta$ ) von 0,3 (Median, Angaben in Dezimalwerten). Im Median zeigte sich ein Visusanstieg ( $\Delta$ ) des Nahvisus von 0,25 und 0,31 (dezimal) in der Gruppe I bzw. II. Dieser Unterschied war zwischen den beiden Gruppen nicht signifikant (Mann-Whitney U-Test,  $p=0,207$ ).

Postoperativ zeigte sich eine signifikante Verbesserung des Nahvisus im Vergleich zum Ausgangsbefund (Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test,  $p<0,001$ ).

### 3.9.10 Komplikationen

Der postoperative Verlauf war bei 56 Augen (47,9%), 28 Augen der Gruppe I (42,4%) und 28 Augen der Gruppe II (54,9%), komplikationslos. In Tabelle 3.11 sind die bis zum Zeitpunkt der letzten Kontrolle postoperativ beobachteten Komplikationen aufgeführt. Mittels des exakten Fisher-Tests wurde der Unterschied zwischen den beiden Endotamponadegruppen für jede u.g. Komplikationen auf statistische Signifikanz überprüft. Es bestand kein statistisch signifikanter Unterschied ( $p>0,05$ ).

**Tabelle 3.11** Komplikationen

<b>Komplikationen</b>	<b>Luft n = 66</b>	<b>SF<sub>6</sub>-Gas n = 51</b>	<b>Gesamt n = 117</b>
Glaskörpereinblutung, N (%)	7 (10,6%)	3 (5,9%)	10 (8,5%)
VK-Blutung+Hyphäma, N (%)	1 (1,5%)	1 (2,0%)	2 (1,7%)
Netzhautablösung, N (%)	1 (1,5%)	1 (2,0%)	2 (1,7%)
i.o. Netzhautdefekte, N (%)	0 (0,0%)	2 (4,0%)	2 (1,7%)
VK-Reizzustand, N (%)	1 (1,5%)	2 (4,0%)	3 (2,6%)
Druckanstieg, N (%)	3 (4,5%)	3 (5,9%)	6 (5,1%)
Hypotonie, N (%)	2 (3,0%)	1 (2,0%)	3 (2,6%)
Aderhautamotio, N (%)	0 (0,0%)	1 (2,0%)	1 (0,9%)
zystoides Makulaödem, N (%)	1 (1,5%)	2 (4,0%)	3 (2,6%)
V.a. AION, N (%)	0 (0,0%)	1 (2,0%)	1 (0,9%)
Iris Capture, N (%)	5 (7,6%)	6 (11,8%)	11 (9,4%)
Nachstar, N (%)	8 (12,1%)	5 (9,8%)	13 (11,1%)

Postoperativ kam es zu einer Glaskörpereinblutung bei 10 Augen (8,5%), 7 der Gruppe I (10,6%) und 3 der Gruppe II (5,9%). 5 der 10 Augen (4,3%), 3 der Gruppe I (4,5%) und 2 der Gruppe II (3,9%), zeigten zusätzlich eine gering ausgeprägte, diffuse Vorderkammer-Blutung ohne Hyphäma. Bei 2 Augen der Gruppe I (1,7% aller Augen/ 3,0% der Gruppe I) war eine Re-Vitrektomie wegen einer persistierenden Nachblutung erforderlich. Intraoperativ erwies sich das Makulaforamen bei beiden Patienten geschlossen (Fallnummer 1 und 17).

Ein Hyphäma trat bei 2 Augen (1,7%), jeweils bei einem Auge pro Gruppe (1,5% der Gruppe I und 2,0% der Gruppe II) auf. Bei dem Patienten der Gruppe II kam es zu einem Augeninnendruckanstieg.

Der intraokulare Druck war bei 6 Augen (5,1%), jeweils 3 Augen pro Gruppe (4,5% der Gruppe I und 5,9% der Gruppe II), postoperativ erhöht. Der Augendruck lag am 1. postoperativen Tag bei 4 dieser Augen bei 30 mm Hg und bei einem 5. Auge bei 22 mm Hg (Fallnummer 82). Der intraokulare Druck konnte mit einer lokalen antiglaukomatösen Therapie normalisiert werden. Beim 6. Auge (Fallnummer 100) stieg der Augendruck erst am 5. postoperativen Tag nach einer Nachblutung auf 32 mm Hg und ließ sich mit lokaler Therapie sowie einmaliger Gabe einer Acetazolamid Tablette 250mg per os normalisieren.

Eine postoperative Hypotonie trat bei 3 Augen (2,6%), 2 der Gruppe I (3,0%) und 1 der Gruppe II (2,0%), auf. Bei beiden Augen der Gruppe I lag der Augeninnendruck nur am 1. postoperativen Tag bei 2 mm Hg. Bei einem Auge der Gruppe II (0,9% aller Augen) lag der Druck während der ersten 5 postoperativen Tage zwischen 2 und 4 mm Hg. Bei diesem Auge trat postoperativ eine Aderhautamotio auf, die sich nach diesem Zeitraum zurückbildete.

Insgesamt 3 Augen (2,6%), 1 der Gruppe I (1,5%) und 2 der Gruppe II (3,9%), wiesen in den ersten postoperativen Tagen eine verstärkte Zellströmung bzw. Fibrinbildung auf.

Bei 11 Augen (9,4%), 5 der Gruppe I (7,6%) und 6 der Gruppe II (11,8%) kam es trotz einer normalen Position der Linse am Ende der Operation postoperativ zu einem Iris Capture. Bei 10 Augen mit einer „bag in the lens“-IOL (Morcher 89A) kam es postoperativ zu einer partiellen oder vollständigen Iriseinklemmung zwischen vorderer Linsenhaptik und der vorderen Linsenkapsel (30,3% der Augen mit einer „bag in the lens“-IOL). Bei einem

Auge der Gruppe II trat ein Iris Capture nach Implantation einer konventionellen kapselsackfixierten IOL (1,2% der Augen mit konventioneller IOL) auf. Ein Iris Capture trat nach Implantation einer „bag in the lens“-IOL im Vergleich dazu signifikant häufiger auf (Exakter Fisher-Test, Gesamt:  $p < 0,001$ ). Eine Reposition der inkarzerierten Iris aus der Rinne der „bag in the lens“-IOL durch eine kurzwirksame medikamentöse Mydriasis mit anschließender „Bauchlage“ bis zur Pupillenverengung war bei 7 Augen möglich. Bei 4 von 33 Augen mit einer „bag in the lens“-IOL (12,1%), ein Auge in Gruppe I (4,5%) und 3 Augen in Gruppe II (27,3%) erfolgte bei persistierendem Iris Capture eine operative Reposition der Iris vor die IOL. Der Unterschied hinsichtlich einer Re-Operation bei Iris Capture zwischen Augen mit „bag in the lens“- bzw. „lens in the bag“-IOL war statistisch signifikant. Dieser Unterschied war in Gruppe II, aber nicht in Gruppe I signifikant (Exakter Fisher-Test, Gesamt:  $p = 0,006$ , Luft:  $p = 0,489$ , SF<sub>6</sub>-Gas:  $p = 0,021$ ). Bei einem der Augen mit Iris Capture der Gruppe I kam es evtl. dadurch zu einem Augendruckanstieg auf 30 mm Hg (Fallnummer 24).

Bei der letzten Untersuchung bestand nach etwa 3 Monaten bei 13 der 81 Augen (16,0%; Luft: 19,5%, SF<sub>6</sub>-Gas: 12,5%) mit einer konventionellen Intraokularlinse bereits eine Fibrose der hinteren Linsenkapsel unterschiedlicher Ausprägung. Eine YAG-Kapsulotomie erfolgte deshalb bei 4 der Augen (4,9%; Luft: 2,4%, SF<sub>6</sub>-Gas: 7,5%).

Bei 2 Augen (1,7%), ein Auge pro Gruppe (1,5% und 2,0% der Gruppe I bzw. II), trat etwa zwei Monate nach der ersten Vitrektomie eine Netzhautablösung ohne Makulabeteiligung auf (Fallnummer 6 und 89). In beiden Fällen war das Makulaforamen intraoperativ geschlossen, die Netzhaut ließ sich in beiden Fällen durch eine Re-Vitrektomie vollständig anlegen.

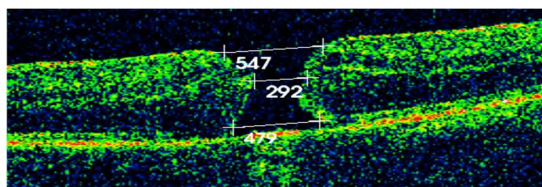
Ein deutliches postoperatives zystoides Makulaödem trat bei 3 Augen (2,6%), ein Auge der Gruppe I (1,5%) und 2 der Gruppe II (4,0%). Bei zwei dieser Patienten wurde eine Phakovitrektomie vorgenommen. Unter Acular® (Ketorolac) Augentropfen 4-mal täglich für zwei Monate kam es bei zwei Augen mit geringem Makulaödem zu einer schnellen Befundbesserung. Bei einer Patientin (Fallnummer 78) mit einem ausgeprägten, zystoidem Makulaödem erfolgte zusätzlich eine parabolbare Triamcinolon-Injektion. Das Makulaödem war zwei Monate nach der Triamcinolon-Injektion nicht mehr vorhanden. Eine

postoperative Visusbesserung blieb bei dieser Patientin bis zur letzten Kontrolle aus (bestkorrigierter logMAR-Visus prä- wie postoperativ 1,0).

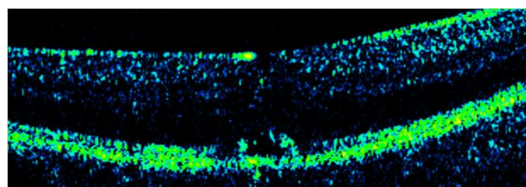
Bei einer Patientin der Gruppe II (2,0%) bestand wegen einer Papillenunschärfe mit parapapillärer Fleckblutung der Verdacht auf eine anteriore ischämische Optikusneuropathie am operierten Auge. Weitere Untersuchungen (Fluoreszenzangiographie / Gesichtsfeld) wurden von der beschwerdefreien Patientin (bestkorrigierter Fernvisus 0,8) abgelehnt. Die bekannte arterielle Hypertonie der Patientin sollte als kardiovaskulärer Risikofaktor berücksichtigt werden. Ihr wurde eine Abklärung der möglichen Ursachen dringend empfohlen.

### 3.9.11 Fallbeispiele

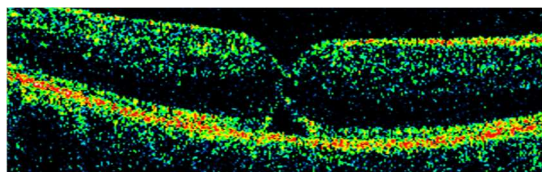
#### 3.9.11.1 Partiemer Verschluss mit „bridge“-Formation



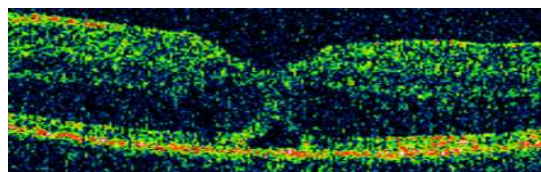
a. Präoperativer Befund, Visus 0,2



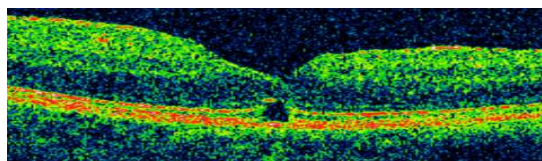
b. 1. postoperativer Tag



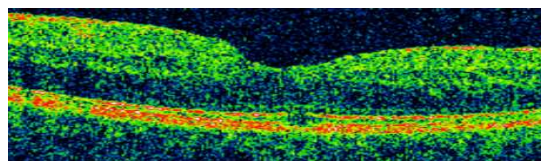
c. 2. postoperativer Tag



d. 3. postoperativer Tag



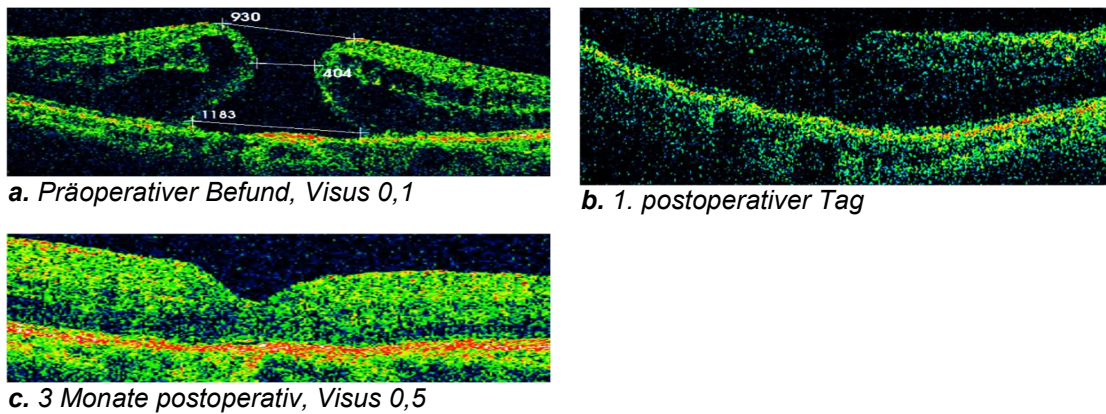
e. 5. postoperativer Tag



f. 3 Monate postoperativ, Visus 0,6

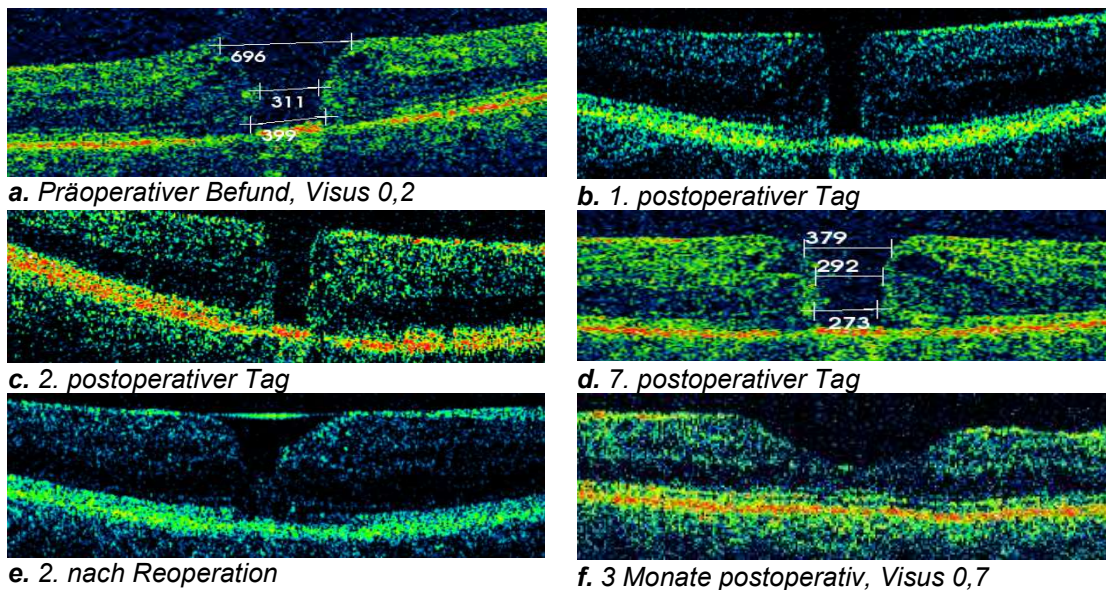
**Abbildung 3.5 a-f:** Fallbeispiel mit partiemer Verschluss des Makulaforamens einen Tag nach ppV und SF<sub>6</sub>-Gastamponade. **a.** Präoperativer Befund, **b-e.** Nachweis eines Verschlusses der inneren Schichten mit modifiziertem OCT-Gerät. Im Bereich der äußeren Netzhautschichten und des retinalen Pigmentepithels ist noch eine Lücke nachweisbar. **f.** 3 Monate postoperativ bestand nur noch ein kleiner Defekt in der Photorezeptorenschicht.

### 3.9.11.2 Kompletter Verschluss am 1. postoperativen Tag



**Abbildung 3.6 a-c:** Fallbeispiel mit komplettem Verschluss des Makulaforamens einen Tag nach ppV und Lufttamponade. **a.** Präoperativer Befund, **b.** Verschluss mit modifiziertem OCT bestätigt **c.** OCT-Bild der Makula 3 Monate postoperativ.

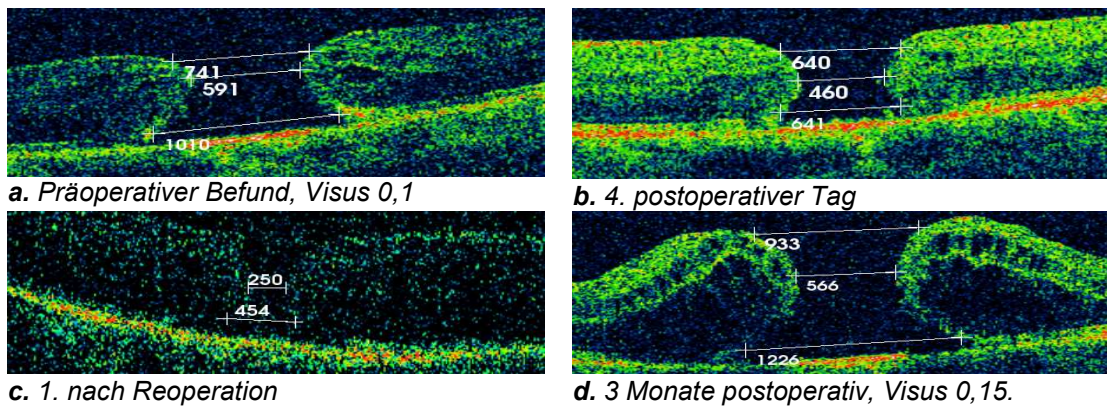
### 3.9.11.3 Verschluss des Makulaforamens nach 2. ppV



**Abbildung 3.7 a-e:** Fallbeispiel mit Verschluss des Makulaforamens erst nach 2. ppV. **a.** Präoperativer Befund: Mittelgroßes Foramen mit vitreomakulärer Traktion. **b-d.** Persistierendes Makulaforamen nach ppV und SF<sub>6</sub>-Gastamponade, **e.** Foramen am 2. Tag nach Reoperation und SF<sub>6</sub>-Gastamponade geschlossen (modifiziertes OCT). **f.** OCT der Makula 3 Monate postoperativ. Kompletter Verschluss mit deutlichem Visusanstieg.

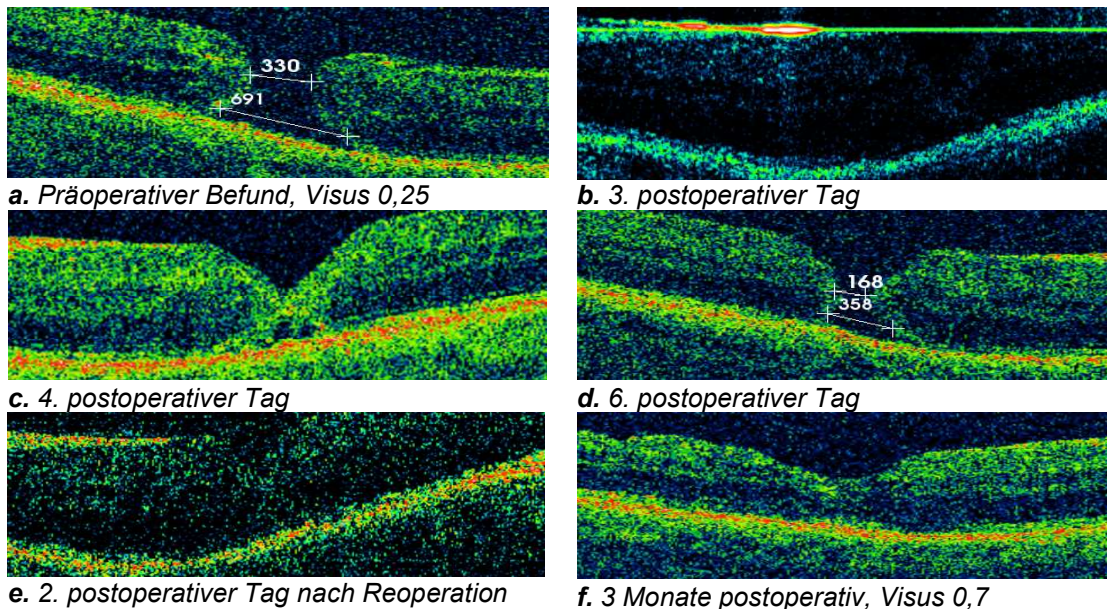


### 3.9.11.4 Persistierendes Makulaforamen nach 2. ppV



**Abbildung 3.8 a-e:** Persistierendes Makulaforamen auch nach zweiter ppV. **a.** Präoperativ großes Foramen ohne vitreomakuläre Traktion. **b.** Persistierendes Foramen nach ppV und Lufttamponade, **c.** Persistierendes Foramen nach 2. ppV und SF<sub>6</sub>-Gastamponade. Auf weitere Operationen wurde verzichtet. **d.** OCT der Makula 3 Monate postoperativ. Es zeigte sich ein nicht geschlossenes MF.

### 3.9.11.5 Wiedereröffnung des Makulaforamens am 6. postoperativen Tag



**Abbildung 3.9 a-e:** Wiedereröffnung des Makulaforamens nach partiellem Verschluss. **a.** Präoperativ mittelgroßes MF ohne VMT. **b-c.** Verschluss mit „bridge“-Formation nach ppV und Lufttamponade (modifiziertes OCT), **d.** Wiedereröffnung des Foramens am 6. postoperativen Tag. **e.** Verschluss am 2. Tag nach 2. ppV und erneuter Lufttamponade. **e.** OCT 3 Monate postoperativ. Das MF blieb nach der 2. Operation geschlossen.

## **4. Diskussion**

Durch Modifikationen der Operationstechnik konnte die Rate anatomisch verschlossener Makulaforamina von 58%<sup>5</sup> auf über 90 bis 100% gesteigert werden. Vitalfarbstoffe<sup>33-36</sup> haben das ILM-Peeling deutlich erleichtert, die Entfernung der ILM ist in den letzten beiden Jahrzehnten zum Standard bei der Behandlung zumindest mittlerer und großer Makulalöcher geworden.<sup>65-67</sup>

Zur Tamponade bevorzugten vitreoretinale Chirurgen zunächst C<sub>3</sub>F<sub>8</sub>-Gas (vollständige Resorption von 16 % C<sub>3</sub>F<sub>8</sub> erst nach 4 bis 6 Wochen<sup>37</sup>) und hielten eine Bauchlagerung von einer bis sogar zwei Wochen für entscheidend, um eine möglichst hohe Verschlussrate zu erzielen.<sup>49</sup> Mit den kürzer wirksamen Gasen C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> (vollständige Resorption nach ca. einem Monat<sup>37</sup>)<sup>68</sup>, SF<sub>6</sub> (vollständige Resorption nach ca. 2 bis 3 Wochen<sup>37</sup>)<sup>69</sup> und Luft (vollständige Resorption bereits nach ca. 1 Woche<sup>37</sup>)<sup>39</sup> konnten vergleichbare Ergebnisse erreicht werden, so dass die Art der Gastamponade unter Operateuren umstritten bleibt. Eine Studie auf Basis der britischen nationalen ophthalmologischen Datenbank aus den Jahren 2002 bis 2010 zeigte, dass C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> in 41,1%, C<sub>3</sub>F<sub>8</sub> in 25,6%, SF<sub>6</sub> in 24,5% und Luft in 2,2% bei in diesem Zeitraum operierten Augen mit Makulaforamen verwendet wurde.<sup>70</sup> In einer Umfrage unter Retinologen aus Deutschland, Österreich und der Schweiz aus dem Jahr 2006 bevorzugten 53% der Befragten SF<sub>6</sub>, 22% C<sub>3</sub>F<sub>8</sub>, 16% C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> und 5% Luft.<sup>71</sup> Eine Umfrage unter Mitgliedern der American Society of Retinal Specialists im Jahr 2011 ergab folgende Verteilung: SF<sub>6</sub> wurde von 57%, C<sub>3</sub>F<sub>8</sub> von 41% und Luft von 2% eingesetzt.<sup>72</sup>

Luft wird also von wenigen Operateuren als Tamponade gewählt. In einer prospektiven Studie<sup>43</sup> der Augenklinik des Klinikum Frankfurt Höchst an 33 Patienten konnte nach einer Vitrektomie mit ILM-Peeling, Lufttamponade sowie kurzzeitiger Bauchlagerung (zwischen 1 bis 3 Tagen) eine hohe Verschlussrate von 91% (30 von 33 Augen) erreicht werden. Die Verschlussrate stieg auf 97%, nachdem bei zwei von 3 Augen das nicht geschlossene Foramen durch eine frühe Reoperation mit erneuter Lufttamponade geschlossen werden konnte.<sup>43</sup>

Bei einer zweiten, retrospektiven Studie<sup>44</sup> an 112 Augen von 111 Patienten lag die Verschlussrate nach einer Operation bei 79% (88 von 112 Augen). Nach erneuter Vitrektomie mit Luft- oder SF<sub>6</sub>-Gastamponade bei 18 von 24

reoperierten Augen und einer dritten Vitrektomie bei 2 Patienten (je einmal Densiron®-Silikonöl oder SF<sub>6</sub>) konnte die Verschlussrate auf 96% erhöht werden. Eine mit einer Gastamponade vergleichbar hohe Rate verschlossener Makulaforamina wurde in dieser Studie erst durch eine höhere Rate von Reoperationen erreicht.<sup>44</sup>

Im Rahmen der Dissertation sollte deshalb der Effekt einer Lufttamponade auf die Verschlussrate bei idiopathischem Makulaforamen mit den Ergebnissen mit SF<sub>6</sub>-Gas retrospektiv verglichen werden. Geprüft werden sollte die Hypothese, dass mit einer Luft-Endotamponade gleich hohe Verschlussraten wie mit 20%igem SF<sub>6</sub>-Gas erreicht werden können. Vorteil einer Lufttamponade wäre die mit der früheren Resorption von Raumluft verbundene schnellere Beurteilbarkeit der Makula und eine schnellere visuelle Rehabilitation.

Präoperativ bestand zwischen beiden Gruppen kein signifikanter Unterschied bezüglich Geschlechts oder Alters der Patienten sowie Dauer der Symptome, Sehschärfe, Größe bzw. Stadium des Makulaforamens bzw. Vorliegen einer im OCT nachweisbaren vitreomakulären Traktion (s. Tab. 3.2).

Ein Zentralskotom im Amsler-Test war präoperativ mit einer Rate von 21,6% in Gruppe II (SF<sub>6</sub>) signifikant häufiger als in Gruppe I (Luft; 7,6%) nachweisbar. Dies könnte durch die etwas längere Anamnesedauer in der SF<sub>6</sub>-Gruppe (4 Monate versus 3 Monate [Median] in der Luft-Gruppe) und die tendenziell höhere Rate von Makulaforamina > 400 µm in der Gasgruppe erklärt werden.

Hinsichtlich der Färbetechnik vor dem ILM-Peeling und der Dauer der postoperativen Lagerung bestand zwischen beiden Gruppen kein statistisch signifikanter Unterschied.

Die Verschlussrate nach einer Operation betrug mit Luft 83,3%, mit 20%igem SF<sub>6</sub>-Gas 92,2%. Der Unterschied war statistisch nicht signifikant. Ein Verschluss der 15 postoperativ nicht geschlossenen Foramina (11 Augen bzw. 16,7% nach Lufttamponade bzw. 4 Augen bzw. 7,8% nach SF<sub>6</sub>-Tamponade) konnte nach einer erneuten Vitrektomie in allen Fällen außer einem Auge der Luft-Gruppe erreicht werden, sodass die endgültige Verschlussrate in der Luft-Gruppe bei 98,5% und in der SF<sub>6</sub>-Gas-Gruppe bei 100% lag und sich statistisch nicht signifikant unterschied.

Die anatomischen Ergebnisse der vorliegenden Arbeit waren mit den Befunden früherer Studien mit ähnlicher Operationstechnik inklusive ILM-Peeling vergleichbar. Allerdings erschweren unterschiedliche Patientenzahlen, Einschlusskriterien inklusive der Lochgröße, Operationstechniken und verschiedene postoperative Lagerungsanweisungen einen aussagekräftigen Vergleich der Studien.

Mit 20%igem SF<sub>6</sub> und postoperativer „Gesicht nach unten“-Lagerung erzielten Kim et al.<sup>69</sup> bei 38 Augen im Vergleich zu einer Vergleichsgruppe mit C<sub>3</sub>F<sub>8</sub> eine gleich hohe Verschlussrate von 90%. Stene-Johansen et al.<sup>73</sup> berichteten über einen anatomischen Verschluss in 93% der 198 operierten Augen. In den Studien von Guillabey et al.<sup>74</sup> (n=150) und Almeida et al.<sup>75</sup> (n=50) betrug die Verschlussrate 98%.

Mit Luft als Tamponade betrugen die Verschlussraten nach einer Vitrektomie in den Studien von Gesser et al.<sup>44</sup> und Eckardt et al.<sup>43</sup> 79% bzw. 91%. Michalewska et al.<sup>42</sup> (n=68) gaben eine Rate von 85%, Ma et al.<sup>48</sup> (n=21) von 90%, Sato und Isomae<sup>40</sup> (n=23) von 91%, Hasler und Prünthe<sup>41</sup> (n=30) von 93%, He et al.<sup>46</sup> (n=35) von 91 und Hejsek et al.<sup>47</sup> (n=30) von 93% an. Hikichi et al.<sup>45</sup> fanden sogar über einen Verschluss in 100% der 100 von einem Operateur operierten Augen.

Ein direkter Vergleich zwischen Luft und SF<sub>6</sub> erfolgte bislang nur in 2 retrospektiven Studien: Hasegawa et al.<sup>76</sup> konnten trotz verkürzter postoperativer Lagerung (3,8 ± 1,0 Tage) mit Luft (n=65; mittlerer Durchmesser des Makulaforamens 370 ± 176 µm) nach einer Operation eine Verschlussrate von 92% erreichen, was sich statistisch nicht signifikant von der Gruppe der mit 20%igem SF<sub>6</sub>-Gas behandelten Augen (n=91; mittlerer Durchmesser 352 ± 155 µm) unterschied. Die Verschlussrate betrug mit SF<sub>6</sub> 90%. Allerdings musste sich die Gruppe mit SF<sub>6</sub> einer deutlich längeren Lagerung (7,4 ± 1,7 Tage; p<0,0001) unterziehen. In 88% wurde eine Phakovitrektomie durchgeführt. Bei den 12 Augen, bei denen das Makulaforamen nicht durch die erste Operation verschlossen werden konnte, erwies sich die Lochgröße als einziger Risikofaktor für den anatomischen Misserfolg des ersten Eingriffes. Bei den 12 Augen mit einem Lochdurchmesser ≥ 700 µm zeigte sich eine primäre Verschlussrate von nur 67%. Die Verschlussrate aller Augen konnte durch weitere Eingriffe auf 98,7% gesteigert werden. Usui et al.<sup>77</sup> fanden in einer

kleinen komparativen Studie mit einer hohen Rate kombinierter Operationen (95,5%) eine 100%ige Verschlussrate sowohl nach Luft- (n=10; mittlerer Lochdurchmesser  $227 \pm 113 \mu\text{m}$ ), als auch nach 20%iger SF<sub>6</sub>-Gas-Endotamponade (n=10; mittlerer Durchmesser  $303 \pm 98 \mu\text{m}$ ). Löcher größer als 500  $\mu\text{m}$  wurden allerdings von der Studie ausgeschlossen. Die Lagerung wurde durch das OCT in aufrechter Position gesteuert, weshalb die Lagerungszeit mit Lufttamponade  $3,7 \pm 0,6$  Tage betrug, während sich die Patienten mit SF<sub>6</sub>  $7,0 \pm 1,6$  Tage ( $p < 0.0001$ ) lagern mussten.

In der vorliegenden Arbeit lag der mittlere Durchmesser der Makulaforamina höher als bei Usui et al.<sup>77</sup>, und zwar in der Gruppe mit Luft  $376 \pm 158 \mu\text{m}$  (Median 367  $\mu\text{m}$ , Spannweite 99-696  $\mu\text{m}$ ) und in der Gruppe, die mit 20%igem SF<sub>6</sub> behandelt wurde, bei  $399 \pm 147 \mu\text{m}$  (Median 379  $\mu\text{m}$ , Spannweite 143-752  $\mu\text{m}$ ), während die Augen der Studie von Hasegawa et al.<sup>76</sup> ähnliche große Makulaforamina einschloss. Die OCT-gesteuerte Lagerungszeit war in beiden Gruppen dieser Untersuchung mit  $2,0 \pm 1,4$  Tagen (Luft:  $2,1 \pm 1,4$  Tage, SF<sub>6</sub>-Gas:  $1,9 \pm 1,3$  Tage) deutlich kürzer als in den Studien von Hasegawa et al.<sup>76</sup> und Usui et al.<sup>77</sup> und unterschied sich zwischen beiden Tamponaden nicht signifikant.

Eine retrospektive Studie<sup>78</sup> an 198 Augen, die am Ende der OP entweder Luft (n=86) oder 15% iges C<sub>3</sub>F<sub>8</sub> (n=112) erhielten, folgerte, dass eine Tamponade mit Luft gegenüber dem langwirksamen C<sub>3</sub>F<sub>8</sub> eine vergleichbare Effektivität hinsichtlich des anatomischen Erfolges besitzt, aber zu weniger Komplikationen führt.<sup>78</sup>

Die Entwicklung des Visus in der frühen postoperativen Phase ist von der Größe der Gasblase im Glaskörperraum abhängig. Da eine vollständige Lufttamponade des Glaskörperraumes nach etwa einer Woche resorbiert worden ist, liegt der Meniskus der Luftblase nach vier bis sechs Tagen in aufrechter Position immer über der Makula, während dies bei 20% SF<sub>6</sub> erst einige Tage später der Fall ist. In der vorliegenden Studie war der Visus bei Entlassung, die in beiden Gruppen meist um den vierten bis sechsten postoperativen Tag erfolgte, in der Gruppe mit Lufttamponade statistisch signifikant höher als in der Gruppe mit SF<sub>6</sub>-Tamponade.

3 Monate nach der Operation war zwischen beiden Gruppen kein signifikanter Unterschied bezüglich des Visus mehr nachweisbar. Die Visusverbesserung innerhalb beider Gruppen war statistisch signifikant (s. 3.9.5.1.1 / Tab. 3.10).

Zwischen beiden Gruppen konnte auch hinsichtlich der anatomischen Ergebnisse wie der Verschlussrate, der fovealen Kontur und des Vorhandenseins retinaler Auffälligkeiten kein statistisch signifikanter Unterschied nachgewiesen werden. Bis auf eine höhere Rate von IOL-Repositionen bei Iris Capture nach Anwendung von SF<sub>6</sub>-Gas, die durch das spezielle Design der bei kombinierten Operationen zum Teil eingesetzten Intraokularlinse („bag in the lens“-IOL<sup>63,64</sup> nach Frau Professor Tassignon, Typ 89A von Morcher, Stuttgart, Deutschland) bedingt gewesen ist, unterschieden sich beide Gruppen hinsichtlich der Rate postoperativer Komplikationen nicht signifikant (s. Tab. 3.11).

Der Erfolg einer Makulaforamenchirurgie ist von vielen Faktoren abhängig.<sup>51,57-59</sup> Makulaforamina, die schon viele Monate bestehen, gelten als operativ schwieriger zu verschließen und sind mit signifikant schlechteren postoperativen Ergebnissen assoziiert.<sup>79,80</sup> In der vorliegenden Arbeit ließ sich kein Zusammenhang zwischen Länge der Anamnese und Verschlussrate nach einer Operation nachweisen.

Der präoperative Visus ist ein bedeutender prognostischer Faktor<sup>51,57-59</sup> In der vorliegenden Studie konnte bestätigt werden, dass Augen mit einer schlechteren präoperativen Sehschärfe ein signifikant schlechteres anatomisches Ergebnis erreichten. Dieses Ergebnis war unabhängig von der Art der Endotamponade.

Der Durchmesser des Makulaforamens ist ein wichtiger Prädiktor für den Erfolg einer Makulaforamenchirurgie.<sup>25</sup> Größere Makulalöcher lassen sich operativ schwieriger als Foramina mit kleinerem Durchmesser verschließen.<sup>51,56-59</sup> Die Assoziation zwischen Lochgröße und anatomischem Erfolg, die auch in früheren Studien<sup>58,81</sup> beschrieben wurde, konnte in der vorliegenden Studie bestätigt werden. Bei Foramina mit kleineren Durchmessern konnte eine höhere Verschlussrate nach einer Operation erreicht werden. Eine Subgruppenanalyse zeigte, dass die primäre Verschlussrate bei Foramina < 250 µm über 95% und bei Foramina zwischen 250 und bis 400 µm über 90% betrug. Bei Foramina ≥

400 µm lag die Verschlussrate mit 80,4% bereits niedriger. Bei sehr großen Makulaforamina (> 600 µm) war die Verschlussrate mit 63,6% signifikant kleiner. Es bestand eine starke Assoziation zwischen Foramina größer als 600 µm und niedrigerer primärer Verschlussrate. Es ist allerdings zu berücksichtigen, dass der Anteil von Augen mit einem Makulaforamen > 600 µm in dieser Studie klein war (11 Augen). Es ist zu vermuten, dass der Erfolg der Therapie mit Luft als Endotamponade für sehr große Foramina wegen der kurzen Tamponade-Dauer begrenzt ist.

In dieser Studie konnte kein Zusammenhang zwischen primärer Verschlussrate und dem Stadium des Makulaforamens nachgewiesen werden, obwohl die Verschlussrate für Foramina Stadium 4 der Luft-Gruppe im Trend niedriger war (s. Tab. 3.9).

Der Median der Achsenlänge lag bei 23,4 mm (21,0 bis 27,8 mm). 27,4% der Augen waren kürzer als 23 mm. Kürzere Augen dieses Patientenkollektivs wiesen eine niedrigere primäre Verschlussrate auf (Median der Achsenlänge ohne primären Verschluss: 23,3 mm, mit primärem Verschluss: 23,7 mm). Der Unterschied der Verschlussrate war nur in der Luft-Gruppe signifikant (s. 3.9.2.6). Kobayashi et al.<sup>82</sup> unterteilten ihr Patientenkollektiv hinsichtlich der Achsenlänge in 3 Gruppen ( $\geq 26$  mm, 23,0–25,9 mm und  $< 23,0$  mm). In der Gruppe mit einer Achsenlänge unter 23,0 mm war die Verschlussrate niedriger und die Visusverbesserung geringer als in den Gruppen mit einer höheren Achsenlänge. Allerdings waren diese Ergebnisse statistisch nicht signifikant.<sup>82</sup> Ob eine kürzere Achsenlänge tatsächlich einen Risikofaktor für schlechtere postoperative Ergebnisse darstellt, könnte nur durch Studien mit einer größeren Anzahl von Augen mit unterschiedlichen Achsenlängen geklärt werden.

Kontrovers unter vitreoretinalen Chirurgen ist immer noch die Frage geblieben, ob bzw. wie lange ein Patient postoperativ eine bestimmte Lage einnehmen muss.

Die Isolationstheorie („waterproofing“)<sup>83</sup> geht davon aus, dass die Wirksamkeit einer Endotamponade nicht durch den Auftrieb der Gasblase beim Blick nach unten, sondern durch die isolierende Wirkung der Luft- oder Gasblase auf die Makula bedingt ist, indem das Gas den Kontakt intraokularer Flüssigkeit mit dem Makulaloch verhindert und das Loch bis zu dessen Verschluss auch bei

aufrechter Lage oder in Seitenlage versiegelt. Da intravitreale Flüssigkeit die Makula in Rückenlage erreichen und einen Lochverschluss verhindern könnte, soll eine Rückenlage vermieden werden.<sup>84</sup> Autoren, die auf eine „Gesicht nach unten“-Lagerung verzichten (englisch: no face down positioning / non supine positioning), nutzen oft Gas-Luft-Mischungen mit einer deutlich längeren intraokularen Verweildauer (z.B. C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>, C<sub>3</sub>F<sub>8</sub>).<sup>54,68,83,85</sup> Ein Verzicht auf diese Lagerung reduziert die postoperative Belastung der Patienten deutlich und senkt die mit der Positionierung des Patienten assoziierte Morbidität, z.B. durch Muskel-Skelett-Erkrankungen oder thromboembolische Komplikationen.

Dieser Vorteil wird aber durch eine mehrere Wochen andauernde erhebliche Visusminderung durch die sich nur langsam verkleinernde intravitreale Gasblase erkauft. Patienten mit einer intraokularen Gastamponade dürfen nicht aktiv am Straßenverkehr teilnehmen oder Flugreisen antreten. Die postoperative visuelle Rehabilitation der Patienten ist bei Einsatz von C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> oder C<sub>3</sub>F<sub>8</sub> im Vergleich zu Patienten mit einer kürzer wirksamen Tamponade wie Luft oder SF<sub>6</sub> um bis zu 3-6 Wochen deutlich verzögert. Die visuelle Beeinträchtigung durch eine sich nur langsam verkleinernde Gasblase stellt vor allem bei reduziertem Visus des Partnerauges eine besondere Belastung für die betroffenen Patienten dar.

Deshalb bevorzugen viele Chirurgen kürzer wirksame Tamponaden wie SF<sub>6</sub> oder Luft, verordnen aber eine unterschiedlich lange postoperative „Gesicht nach unten“-Lagerung (englisch: prone oder face down positioning), da sie dies als notwendig für eine möglichst hohe Verschlussrate ansehen. In der vorliegenden Arbeit konnte ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen der primären Verschlussrate und der Einhaltung der „Bauchlage“ nachgewiesen werden.

Solebo et al.<sup>86</sup> bewerteten im Rahmen einer systematischen Übersichtsarbeit von Cochrane drei randomisierte kontrollierte Studien, in denen Makulaforamenchirurgie mit und ohne postoperative Lagerung verglichen wurden. Zwei der Studien deuteten einen Vorteil der postoperativen Lagerung für Foramina > 400 µm an. Eine generelle Schlussfolgerung konnte nicht gezogen werden.<sup>86</sup>

Eine Meta-Analyse vier randomisierter kontrollierter Studien durch Hu et al.<sup>87</sup> ergab, dass die Notwendigkeit der postoperativen Lagerung von der Größe



eines Makulaforamens abhängig ist. Bei Löchern > 400 µm war das anatomische Ergebnis statistisch signifikant schlechter ohne Einhaltung einer „Bauchlage“.<sup>87</sup> Zu ähnlichen Ergebnissen sind weitere Studien gekommen, v.a. bei größeren Foramina.<sup>74,76,88,89</sup>

Die optische Kohärenztomographie (OCT) hat eine Beurteilung des anatomischen Erfolges einer Vitrektomie bei Makulaforamen bereits in der frühen postoperativen Phase ermöglicht. Mit der ersten Generation der OCT-Geräte (time domain-OCT) war eine Beurteilung der Makula des am OCT sitzenden Patienten in der Regel erst möglich, wenn der untere Meniskus der Gasblase über der Makula lag, also bei einer Gasfüllung von etwa 40% oder weniger.<sup>90</sup> In einer OCT-Studie<sup>91</sup> aus dem Jahr 2000 konnte dennoch bei 4 von 7 Augen nach Phakovitrektomie und SF<sub>6</sub>-Tamponade bereits nach 24 Stunden einen Verschluss der Makulaforamina trotz der geringen Auflösung des OCT demonstriert werden. In einer Studie mit Lufttamponade<sup>41</sup> konnte mit dem Stratus OCT 3000 (Carl Zeiss Meditec, Dublin, USA) bei 2 von 30 Augen im OCT ein beginnender Verschluss des Makulaforamens schon nach 12 bzw. 24 Stunden demonstriert werden. Die Qualität der publizierten Aufnahmen lässt allerdings vermuten, dass die Makula bei der OCT-Untersuchung beider Augen nicht mehr von Luft verdeckt war, auch wenn die Größe der Luftblase von den Autoren auf 60% geschätzt wurde.

Mit der zweiten Generation der OCT-Geräte (frequency domain-OCT) kann die Makula auch in gasgefüllten Augen häufiger dargestellt werden. Die Scanqualität am ersten Tag nach Gastamponade wurde in einer retrospektiven Studie<sup>92</sup> an 80 Augen mit dem Cirrus SD-OCT (Carl Zeiss Meditec) analysiert. Bei 36 % konnten alle Netzhautschichten dargestellt werden, eine vergleichbare Qualität wie in flüssigkeitsgefüllten Augen wurde aber in nur 11% gefunden. Positiv auf die Qualität der OCT bei Gastamponade wirkten sich in dieser Studie Pseudophakie, kurze Operationsdauer und Makulachirurgie aus.<sup>92</sup>

Bei der Beurteilung, ob ein Makulaforamen bereits geschlossen ist, ist eine sehr hohe Qualität der OCT-Scans allerdings nicht erforderlich. Mit dem RTVue-100 (Optovue Inc., Fremont, USA)<sup>93</sup> konnte bei 25 pseudophaken Augen mit 20% SF<sub>6</sub> am ersten Tag bei 88% ein OCT durchgeführt werden. Die Verschlussraten lagen bei 18 von 22 am ersten und bei 22 von 24 der am zweiten Tag mit OCT

untersuchbaren Augen. Eine Studie<sup>94</sup> mit dem Topcon OCT (OCT-1000 MARK II; Topcon) oder dem Cirrus HD-OCT 4000 (Carl Zeiss Meditec) bei 107 Augen mit Makulaforamina kleiner 500 µm analysierte die Verschlussraten mit 3 verschiedenen Lagerungen. Entweder erfolgte eine „Gesicht nach unten“-Lagerung bis zum Verschluss des Loches im OCT oder keine Lagerung innerhalb der ersten 2 Tage, danach aber Lagerung bei noch offenen Foramina oder unabhängig vom OCT-Befund eine „Gesicht nach unten“-Lagerung über 7 Tage. Alle 3 Gruppen erzielten eine Verschlussrate um 95% und unterschieden sich auch im postoperativen Visus nicht. Die Verschlussrate am Morgen des ersten Tages lag bei ca. 60% und stieg bis zum Abend des zweiten Tages auf ca. 80% an. In einer weiteren Studie<sup>67</sup> mit einem FD-OCT (Topcon) und einer 16%igen SF<sub>6</sub>-Tamponade konnten am ersten Tag 13 Löcher der 16 Augen (Durchmesser 150 – 500 µm) beurteilt werden. 10 von 16 (62,5%) waren geschlossen, am zweiten Tag waren 2 weitere ebenfalls geschlossen. 9 der 12 Augen mit geschlossenem Makulaforamen wiesen in der ersten Woche einen partiellen Verschluss auf (Verschluss der inneren Schichten der Foveola bei noch abgehobenen äußeren Schichten, sogenannte „bridge“-Formation), die auch in dieser Studie häufig nachgewiesen werden konnte (s. Abb. 3.2 f). Eine Studie<sup>95</sup> mit dem FD 3D OCT-1000 (Topcon) an 10 Patienten mit SF<sub>6</sub>, C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> oder C<sub>3</sub>F<sub>8</sub> und einer mindestens 75%igen Tamponade des Glaskörperaumes konnte am ersten Tag bei 6 von 10 Augen einen vollständigen und bei 2 Augen einen partiellen Verschluss des Makulaforamens nachweisen. Mit einem SD-OCT-1000 (Topcon) war bei 40 Augen am ersten Tag nach einer 16%igen SF<sub>6</sub>-Tamponade in 77,5% ein ausreichend beurteilbares OCT möglich.<sup>96</sup> Eine retrospektive Studie mit einem Cirrus HD-OCT (Carl Zeiss Meditec) zeigte bei 32 Augen am ersten Tag einen Verschluss von 75% der Makulaforamina.<sup>97</sup> Die Swept Source-OCT-Technologie hat zu einer weiteren Verbesserung der Bildqualität bei Gasfüllung des untersuchten Auges geführt: Bei einem Vergleich eines 3D SD-OCT 2000 mit einem Swept Source DRI-OCT (beide Topcon) war das Swept-Source OCT überlegen.<sup>98</sup> Bei einer Studie mit dem DRI OCT-1 Atlantis (Topcon)<sup>99</sup> an 20 Augen wurde die Makula bereits 20 Minuten nach Ende der Operation und dann täglich untersucht. In einem Auge war das Makulaforamen bereits am Operationstag verschlossen, bei 10 Augen am Tag 1, bei 2 am Tag 2 und bei 3 Augen am Tag 3. Bereits am ersten postoperativen

Tag geschlossene Makulalöcher hatten einen signifikant kleineren Durchmesser ( $312,5 \pm 105,2 \mu\text{m}$ ) als Löcher, die sich erst am Tag 2 oder später verschlossen ( $510,8 \pm 153,5 \mu\text{m}$ ;  $p=0,019$ ). Mit dem DRI OCT Triton (Topcon)<sup>100</sup> an 30 Patienten mit einer 25%igen SF<sub>6</sub>-Tamponade konnte am ersten postoperativen Tag bei 24 Augen (80%) das Foramen im OCT dargestellt werden. Bei 17 der 24 Augen (71%) war das Foramen vollständig und bei 7 Augen (29%) partiell geschlossen. 27 der 30 Augen waren zum Zeitpunkt der Untersuchung pseudophak.

Mit dem modifizierten FD-OCT der vorliegenden Studie (s. Abb. 2.1 a) war ein Verschluss des Makulaforamens innerhalb der ersten 24 bzw. 72 Stunden erst in 48% bzw. 73% aller Augen nachweisbar. Die Rate der Beurteilbarkeit der Makula in den ersten postoperativen Tagen erscheint in der vorliegenden Studie im Vergleich zu den erwähnten Untersuchungen mit FD oder Swept Source-OCT in normaler Position niedriger gewesen zu sein, was durch den in den ersten 3 Tagen relativ hohen Anteil nicht beurteilbarer Scans bedingt gewesen ist (s. Tab. 3.4). Da die meisten Augen dieser Studie postoperativ pseudophak waren, scheidet eine Katarakt als Ursache einer schlechteren Beurteilbarkeit der Makula aus. Bei 33 Augen (28%) dieser Studie wurde eine „bag in the lens“-Intraokularlinse nach Tassignon<sup>63,64</sup> implantiert (Luft: 33,3%, SF<sub>6</sub>-Gas: 21,6%). Um ein postoperatives Iris Capture durch eine durch die Tamponade bedingte leichte Verkipfung der IOL zu vermeiden, wurden die Pupillen dieser Augen in den ersten Tagen nicht medikamentös erweitert. Auch bei den Augen ohne eine „bag in the lens“-IOL erfolgte die postoperative OCT nicht immer in Mydriasis. Eine OCT ist in Miosis schwieriger als in Mydriasis durchzuführen. Zusätzlich können sich in der „Gesicht nach unten“-Position während der Messung mit dem OCT Erythrozyten, Leukozyten oder Fibrin in der Vorderkammer im Zentrum der Hornhaurückfläche ansammeln, und gerade bei enger Pupille die Darstellbarkeit der Makula im OCT „von unten“ verhindern. In sitzender Position und bei weiter Pupille fallen Zellansammlungen in der Vorderkammer dagegen weniger ins Gewicht.

Auf der anderen Seite ermöglicht die eingesetzte OCT-Technik „von unten“ auch bei abnehmendem Volumen der intravitrealen Luft- oder Gasblase ab dem 3. Tag eine Beurteilung der Makula, während bei konventioneller Technik in sitzender Position eine Untersuchung erst wieder möglich ist, wenn der mit

zunehmender Resorption der Gasblase ansteigende Meniskus nicht mehr vor dem hinteren Pol liegt, wie eine Studie mit dem OCT4000 (Cirrus HD-OCT, Carl Zeiss Meditec)<sup>101</sup> zeigt: Die Makula konnte am ersten postoperativen Tag bei 24 von 26 Augen (92%) im OCT beurteilt werden. 23 der 24 Makulaforamina waren bereits geschlossen. Am dritten Tag nach der Operation konnte wegen der Abnahme der Gasblase eine aussagekräftige OCT-Untersuchung nur noch bei 8 der 26 Augen (31%) erfolgen.

Bei einem Patienten der Luft-Gruppe zeigte sich am 6. postoperativen Tag eine Wiedereröffnung des zunächst im OCT geschlossen erscheinenden Foramens. Neben einer Wiedereröffnung ist auch eine Fehlbeurteilung des postoperativen OCTs eine mögliche Erklärung. Eine Studie<sup>102</sup> konnte eine signifikante Reduktion der Bildgröße in Augen mit Gasfüllung nachweisen. Die Autoren vermuteten, dass diese Bildverkleinerung auch zur fälschlichen Annahme eines MF-Verschlusses führen kann.<sup>102</sup>

Die vorliegende Studie weist eine Reihe von Limitierungen auf. Es handelt sich nur um eine retrospektive, komparative Kohortenstudie. Eine Regressionsanalyse der verschiedenen Einflussgrößen war wegen der teilweise kleinen Fallzahlen der Untergruppen nicht möglich.

Der Einschluss von 5 Operateuren mit unterschiedlicher Erfahrung führt zu Unterschieden in der OP-Technik, insbesondere hinsichtlich der Präzision und der Ausdehnung des ILM-Peelings, der unterschiedlichen Anwendung von Vitalfarbstoffen und der Endodrainage am Lochrand. Ein gemischtes Kollektiv von Operateuren bildet zwar die Realität im klinischen Alltag realistisch ab. Eine Studie mit einem Operateur oder wenigen Operateuren mit langjähriger Erfahrung und vergleichbarer Technik wäre aber aussagekräftiger gewesen, da operateurbedingte Störgrößen kleiner gewesen wären. Allerdings waren die Operateure in beiden Gruppen der vorliegenden Studie etwa gleich häufig vertreten. In einer Studie<sup>103</sup> wurden die Ergebnisse nach Makulaforamenchirurgie in Abhängigkeit von der Erfahrung der Operateure (in Ausbildung mit bis zu dreijähriger Erfahrung oder mit einer Erfahrung von 6 oder mehr Jahren) untersucht. Es wurde keine Assoziation zwischen Erfahrung des Operateurs und primärer Verschlussrate gefunden, die Visusergebnisse waren bei den langjährig tätigen Operateuren aber besser.<sup>103</sup>

Bei 14 der Patienten war eine Nachuntersuchung nach ca. 3 Monaten im Klinikum Frankfurt Höchst nicht möglich, so dass die Daten dieser Patienten durch Befragung der weiterbehandelnden Augenärzte erhoben werden mussten.

Der Nachbeobachtungszeitraum dieser Studie war mit 3 Monaten sehr kurz. Ob sich über diesen Zeitraum hinaus Unterschiede in der anatomischen und funktionellen Regeneration in Abhängigkeit von der Tamponade entwickelt haben, lässt sich deshalb nicht abschätzen. Eine Nachbeobachtung über ein ganzes Jahr wäre wahrscheinlich deutlich aussagekräftiger gewesen.

Durch die direkte Gegenüberstellung zweier Gruppen mit einer etwa gleich großen Anzahl von Augen konnte ein Vergleich des anatomischen und funktionellen Ergebnisses erfolgen, um bestehende Unterschiede zwischen beiden Gruppen herauszuarbeiten. In der Literatur waren nur zwei Studien zu finden, die einen direkten Vergleich zwischen Luft und SF<sub>6</sub>-Gas durchführten.<sup>76,77</sup>

Die Dynamik des Lochverschlusses in der frühen postoperativen Phase konnte wie in den Studien von Eckardt et al.<sup>43</sup> und Gesser et al.<sup>44</sup> durch das seit 2008 in der Augenklinik angewandte modifizierte Fourier Domain-OCT in einem täglich zunehmenden Anteil der Augen mit vollständiger, aber auch mit einer partiellen Luft- oder Gastamponade gezeigt werden. Die postoperative Lagerung konnte individualisiert beendet werden, sobald im OCT der Verschluss zumindest der inneren Schichten der Lochränder nachweisbar war. Nennenswert ist in diesem Zusammenhang die von den Patienten empfundene hohe Rate der postoperativen Kooperation, was durch die schnelle Rückkopplung zu erklären sein könnte, die ein Patient durch eine OCT erhält. Die Erwartung eines möglichst früh nachweisbaren anatomischen Erfolges und die Aussicht auf eine schnelle Beendigung der Lagerung könnte zu einer erhöhten Kooperation in den ersten Tagen führen. Die Zeit, in der die Bauchlagerung von den Patienten tatsächlich durchgeführt wurde, konnte jedoch nur anhand der subjektiven Angaben des Patienten und punktueller Kontrollen durch das Personal der Station und somit nur sehr ungenau erfasst werden. Es ist deshalb möglich, dass der Einfluss der Lagerung in beiden

Gruppen nicht korrekt erfasst wurde, was zu Fehlinterpretationen der Wirksamkeit der Lagerung geführt haben könnte.<sup>104</sup>

Um den Einfluss der frühpostoperativen Lagerung bei Einsatz einer kurzwirkenden Endotamponade wie Luft noch genauer untersuchen zu können, wären prospektive, randomisierte, komparative Interventionsstudien sinnvoll. Wünschenswert wäre dann auch ein genaueres Monitoring der tatsächlich in „Bauchlage“ verbrachten Zeit.<sup>105</sup>

In der vorliegenden Studie konnte kein statistisch signifikanter Unterschied bezüglich des Einflusses der beiden Tamponaden auf die anatomischen Ergebnisse und den Visus nach 3 Monaten festgestellt werden. Dies könnte auf die bei einem größeren Teil der Makulalöcher bereits in den ersten postoperativen Stunden bzw. Tagen einsetzenden Verschluss der Lochränder erklärt werden. Je schneller sich ein Makulaforamen durch Isolation der Lochränder von intraokularer Flüssigkeit durch eine die Makula bedeckende gasförmige Tamponade verschließen lässt, desto geringer sollte der Einfluss der unterschiedlichen Resorptionsgeschwindigkeit der verwendeten Gase bzw. Gasmischungen auf die Verschlussraten sein. Bei einem langsameren Verschluss, wie er bei Löchern mit einem größeren Durchmesser zu vermuten ist, spielt die Dauer der effektiven Tamponade hingegen eine größere Rolle. Wegen der deutlich schnelleren Resorption von Luft erscheint eine Bauchlagerung in der frühpostoperativen Phase sinnvoll, damit eine Isolation der Makula von intravitrealer Flüssigkeit bis zum Verschluss der inneren Netzhautschichten der Lochränder eines Makulaforamens erreicht werden kann.

Eine Lufttamponade hat bei annähernd gleicher Effektivität gegenüber 20%igem SF<sub>6</sub> den Vorteil, dass es innerhalb der ersten postoperativen Woche zu einem schnelleren Visusanstieg kommt. Die um einige Tage schnellere visuelle Rehabilitation ist v.a. bei Patienten mit einer herabgesetzten Sehschärfe des Partnerauges sehr hilfreich. Patienten, die postoperativ eine Flugreise antreten müssen, was eine vollständige Resorption der intraokularen Gastamponade unabdingbar macht, profitieren davon ebenfalls.

Die Reoperationsrate nach Lufttamponade war in dieser Studie tendenziell höher als nach SF<sub>6</sub>-Gas, v.a. bei größeren Makulaforamina. Bei Foramina >

600 µm war die Rate von Reoperationen sogar signifikant höher. Deshalb erscheint es wichtig, die Art der Tamponade in Abhängigkeit von Lochgröße und der zu erwartenden Mitarbeit des Patienten bezüglich der postoperativen Lagerung zu wählen. Eine Gas-Tamponade ist wegen der gegenüber Luft verzögerten visuellen Rehabilitation bei kleinen und mittelgroßen Foramina wahrscheinlich nicht erforderlich, bei großen Foramina jedoch sinnvoll. Die vor allem bei großen Makulaforamina in den letzten Jahren zunehmend eingesetzte Technik des ILM-Flaps<sup>106</sup>, bei der ein Rest der ILM um den Lochrand erhalten bleibt, um ihn auf oder in den Defekt zu legen, war zum Zeitraum dieser Studie noch nicht etabliert. Bei Foramina größer als 600 µm hat die ILM-Flap-Technik in einigen Studien<sup>107-109</sup> zu höheren anatomischen Verschlussraten als nach konventionellem vollständigem ILM-Peeling geführt.

Zusammenfassend sind sowohl Luft als auch 20%iges SF<sub>6</sub>-Gas eine meist ausreichend wirksame Endotamponade bei der Behandlung eines idiopathischen Makulaforamens, sofern der Patient in den ersten Stunden und Tagen eine Bauchlage einhalten kann. Dem Vorteil einer schnelleren Resorption von Luft und der damit um einige Tage schnelleren visuellen Rehabilitation steht allerdings der Nachteil einer etwas höheren Rate von Reoperationen entgegen, worüber der Patient präoperativ aufgeklärt werden sollte. Die frühpostoperative Beurteilung der Makula durch eine OCT ist eine wichtige Voraussetzung, die Phase der „Gesicht nach unten“-Lagerung auf das nötige Minimum beschränken zu können. Außerdem können mit einer frühen OCT Augen, bei denen es innerhalb der ersten Tage nicht zu einem Verschluss des Makulaforamens gekommen ist, schnell identifiziert werden, damit eine Reoperation früh vorgenommen werden kann. In der Regel ist ein erneuter Flüssigkeits-Luftaustausch mit anschließender kurzer Lagerung ausreichend, um bei primär nicht verschlossenen Makulalöchern doch noch einen Verschluss zu erzielen. Bei Patienten mit großen Makulaforamina (größer als 600 µm) bzw. mit absehbar eingeschränkter Adhärenz des Patienten sollte die Tamponade eher nicht mit Luft, sondern mit 20%igem SF<sub>6</sub> erfolgen, bzw. der Einsatz der ILM-Flap-Technik erwogen werden.

## **5. Zusammenfassung**

Ziel dieser klinischen Studie war es, die Ergebnisse der operativen Behandlung eines idiopathischen Makulaforamens durch Vitrektomie, ggf. in Kombination mit einer Phakoemulsifikation, ILM-Peeling und einer Tamponade entweder mit Luft oder mit 20%-igem SF<sub>6</sub>-Gas zu vergleichen. Primärer Endpunkt war die Verschlussrate nach einer Vitrektomie und die Reoperationsrate bei primär nicht geschlossenen Makulaforamina. Sekundärer Endpunkt war die Visusentwicklung in der ersten postoperativen Woche und nach 3 Monaten.

In der vorliegenden Arbeit wurden hierzu retrospektiv 117 Augen von 117 konsekutiven Patienten analysiert. Es wurden die Ergebnisse von 2 Patientengruppen verglichen. In der ersten Gruppe wurden 66 Augen (m=27, w=39, Altersmedian 70 Jahre), bei denen am Ende der Vitrektomie eine Tamponade mit Luft erfolgte, untersucht. In der zweiten Gruppe wurden die Ergebnisse von 51 Augen (m=20, w=31, Altersmedian 71 Jahre), bei denen 20%-SF<sub>6</sub>-Gas als Tamponade verwendet wurde, ausgewertet. Bei etwa 70 % der Augen beider Gruppen erfolgte eine simultane Phakoemulsifikation. Der Verschluss des Makulaforamens wurde bereits in den ersten postoperativen Tagen mit einem modifizierten Fourier Domain-OCT untersucht. Sobald der Verschluss des Makulaforamens im OCT gesichert werden konnte, wurde die postoperative „Gesicht nach unten“-Lagerung („Bauchlage“) beendet. Die mediane Lagerungszeit betrug 1 Tag (Spanne 1-6 Tage). Der Zeitraum der Nachbeobachtung betrug 3 Monate (Median).

Die Verschlussrate nach einer Vitrektomie aller Makulaforamina betrug 87,2% (102/117 Augen). Die primäre Verschlussrate der Luft-Gruppe und der SF<sub>6</sub>-Gas-Gruppe betrug 83,3% (55/66 Augen) bzw. 92,2% (47/51 Augen). Bei Augen mit einem persistierenden Foramen erfolgte eine frühe Reoperation. Die Verschlussrate nach 3 Monaten lag insgesamt bei 99,1% (116/117 Augen), in der Luft-Gruppe bei 98,5% (65/66 Augen) und in der SF<sub>6</sub>-Gas-Gruppe bei 100% (51/51 Augen). Es zeigte sich kein statistisch signifikanter Unterschied der Verschlussrate bzw. der anatomischen Ergebnisse zwischen den beiden Endotamponade-Gruppen.



Es konnte jedoch ein statistisch signifikanter Unterschied des Fernvisus bei der Entlassung zwischen beiden Endotamponadegruppen nachgewiesen werden. Der logMAR-Visus bei Entlassung lag in der Luft-Gruppe mit 1,3 (Median) deutlich unter dem Visus der SF<sub>6</sub>-Gas-Gruppe mit 1,9 (Median). Die Anwendung von Luft führte somit im Vergleich zu SF<sub>6</sub> zu einem schnelleren postoperativen Visusanstieg. In beiden Gruppen zeigte sich nach 3 Monaten eine signifikante Visusbesserung. Es ließ sich kein signifikanter Unterschied des Fernvisus zwischen den beiden Gruppen mehr nachweisen.

Die Makulaforamenchirurgie mit pars plana Vitrektomie und Peeling der ILM erzielte sowohl mit einer Luft- als auch mit einer 20%-SF<sub>6</sub>-Gas-Tamponade guten anatomischen und funktionellen Ergebnissen. Mit einer kurz wirksamen Endotamponade erscheint eine postoperative Lagerung essenziell, dürfte aber in den meisten Fällen nur wenige Tage erforderlich sein, um den Verschluss eines durchgreifenden Makulaforamens zu erreichen. Die Reoperations-Rate nach einer Lufttamponade war bei sehr großen Foramina (> 600 µm) signifikant höher als bei Foramina mit einem Durchmesser kleiner 600 µm. Daher scheint die Anwendung von Gasen, die länger als Luft wirken, nur bei sehr großen Foramina erforderlich zu sein. Vorteil einer kurz wirkenden Lufttamponade ist die postoperativ um einige Tage schneller einsetzende visuelle Rehabilitation, so dass die Patienten früher in ihren Alltag zurückkehren können. Eine frühe postoperative Untersuchung der Makula unter Einsatz der optischen Kohärenztomographie ist Voraussetzung für eine individualisierte Steuerung der Lagerung und für eine möglichst frühe Erkennung und Reoperation von nicht geschlossenen Makulalöchern.

## **6. Summary**

The purpose of this clinical study was to compare the results of the surgical treatment of idiopathic macular hole by vitrectomy, if necessary, in combination with a phacoemulsification, with ILM-Peeling and the application of air or 20% SF<sub>6</sub> gas endotamponade. The primary endpoint was the initial closure rate and the revision rate in the case of a persistent macular hole. The secondary endpoint was the development of visual acuity in the first week and 3 months postoperatively.

For this purpose, the present study analysed 117 eyes of 117 consecutive patients. The results from 2 patient groups were compared to each other. The first group included 66 eyes (m=27, w=39, median age 70 years) treated with air endotamponade after vitrectomy. The second group evaluated the results of the 51 eyes (m=20, w=31, median age 71 years) that underwent an endotamponade with 20% SF<sub>6</sub> gas after ppV. About 70% of the eyes in both groups underwent simultaneous phacoemulsification. The closure of the macular hole was examined then in the first postoperative days with a modified Fourier Domain-OCT. As soon as the closure of the macular hole was confirmed by the OCT, the postoperative face down posturing was ended. The median duration of the posturing was one day (range 1-6 days). The median period of the follow up was 3 months.

The initial closure rate of all macular holes was 87,2% (102/117 eyes). The initial closure of the air group and the SF<sub>6</sub> gas group was 83,3% (55/66 eyes) and 92,2% (47/51 eyes) respectively. Early reoperation was performed in eyes with a persistent macular hole. The overall final closure rate was 99,1% (116/117 eyes), 98,5% (65/66 eyes) in the air group and 100% (51/51 eyes) in the SF<sub>6</sub> gas group. No statistically significant difference regarding the closure rates or the anatomical results could be shown between the two endotamponade groups.

However, a statistically significant difference between the two endotamponade groups could be demonstrated for the visual acuity at the time of discharge. The median visual acuity at the time of discharge was in the air group with 1,3

logMAR significantly lower than the median visual acuity of the SF<sub>6</sub> gas group with 1,9 logMAR. Consequently, the application of room air compared to SF<sub>6</sub> gas resulted in a faster postoperative increase of visual acuity. However, there was a significant improvement of the visual acuity in both groups after 3 months postoperatively. There was no longer any significant difference of the visual acuity between the two groups 3 months after the operation.

The macular hole surgery with vitrectomy, ILM-Peeling both with air and with 20% SF<sub>6</sub> gas tamponade achieved good anatomical and functional results. With a short-acting endotamponade, postoperative positioning appears essential, in most cases, however, should be necessary only for a few days to achieve the closure of a full thickness macular hole. The revision rate after an air tamponade was significantly higher for very large holes (> 600 µm) than for holes with a diameter ≤ 600 µm. Therefore, the application of gases, that act longer than air, is necessary only for very large holes. The advantage of a short-acting air tamponade is that the visual rehabilitation starts a few days faster after the operation, so that patients can return to their everyday lives earlier. An early postoperative examination of the macula using optical coherence tomography is a prerequisite for an individualized management of the posturing and for the early detection and reoperation of persistent macular holes.

## **7. Anhang**

### **7.1 Literaturverzeichnis**

1. Knapp H. Ueber isolierte Zerreißen der Aderhaut in Folge von Traumen auf dem Augapfel. Arch Augenheilk. 1869;1:6-29.
2. Aaberg TM, Blair CJ, Gass JDM. Macular Holes. American Journal of Ophthalmology. 1970;69(4):555-562.
3. Ezra E. Idiopathic full thickness macular hole: natural history and pathogenesis. Br J Ophthalmol. 2001;85:102-108.
4. Dithmar S. Makulaforamen: Überblick und aktuelle chirurgische Konzepte. Ophthalmologe. 2005;102(2):191-206.
5. Kelly NE, Wendel RT. Vitreous surgery for idiopathic macular holes. Results of a pilot study. Arch Ophthalmol. 1991;109(5):654-659.
6. Gass JD. Idiopathic senile macular hole. Its early stages and pathogenesis. Arch Ophthalmol. 1988;106(5):629-639.
7. McDonnell PJ, Fine SL, Hillis AI. Clinical features of idiopathic macular cysts and holes. American Journal of Ophthalmology. 1982;93(6):777-786.
8. Cho SC, Park SJ, Byun SJ, Woo SJ, Park KH. Five-year nationwide incidence of macular hole requiring surgery in Korea. Br J Ophthalmol. 2019;103(11):1619-1623.
9. Gass JDM. Reappraisal of Biomicroscopic Classification of Stages of Development of a Macular Hole. American Journal of Ophthalmology. 1995;119(6):752-759.
10. Gaudric A, Haouchine B, Massin P, Paques M, Blain P, Erginay A. Macular hole formation: new data provided by optical coherence tomography. Arch Ophthalmol. 1999;117(6):744-751.
11. Smiddy WE, Flynn HW, JR. Pathogenesis of macular holes and therapeutic implications. American Journal of Ophthalmology. 2004;137(3):525-537.
12. Duker JS, Kaiser PK, Binder S, et al. The International Vitreomacular Traction Study Group classification of vitreomacular adhesion, traction, and macular hole. Ophthalmology. 2013;120(12):2611-2619.
13. Eckardt U, Eckardt C. Binokularsehen bei idiopathischem Makulaforamen. Pra- und postoperative Befunde. Ophthalmologe. 1995;92(5):626-630.

14. Saito Y. The Visual Performance and Metamorphopsia of Patients With Macular Holes. *Arch Ophthalmol*. 2000;118(1):41.
15. Bustros S de. Vitrectomy for Prevention of Macular Holes. *Ophthalmology*. 1994;101(6):1055-1060.
16. Hikichi T, Yoshida A, Akiba J, Trempe CL. Natural outcomes of stage 1, 2, 3, and 4 idiopathic macular holes. *Br J Ophthalmol*. 1995;79:517-520.
17. Guyer DR, Bustros S de, Diener-West M, Fine SL. Observations on patients with idiopathic macular holes and cysts. *Arch Ophthalmol*. 1992;110(9):1264-1268.
18. Kim JW, Freeman WR, El-Haig W, Maguire AM, Arevalo JF, Azen SP. Baseline Characteristics, Natural History, and Risk Factors to Progression in Eyes with Stage 2 Macular Holes. *Ophthalmology*. 1995;102(12):1818-1829.
19. Casuso LA, Scott IU, Flynn HW, JR, et al. Long-term follow-up of unoperated macular holes. *Ophthalmology*. 2001;108(6):1150-1155.
20. Guyer DR, Green WR, Bustros S de, Fine SL. Histopathologic features of idiopathic macular holes and cysts. *Ophthalmology*. 1990;97(8):1045-1051.
21. Watzke RC, Allen L. Subjective Slitbeam Sign for Macular Disease. *American Journal of Ophthalmology*. 1969;68(3):449-453.
22. Martinez J, Smiddy WE, Kim J, Gass JD. Differentiating macular holes from macular pseudoholes. *American Journal of Ophthalmology*. 1994;117(6):762-767.
23. Amsler M. Earliest symptoms of diseases of the macula. *Br J Ophthalmol*. 1953;37(9):521-537.
24. Huang D, Swanson EA, Lin CP, et al. Optical coherence tomography. *Science*. 1991;254(5035):1178-1181.
25. Ullrich S, Haritoglou C, Gass C, Schaumberger M, Ulbig MW, Kampik A. Macular hole size as a prognostic factor in macular hole surgery. *Br J Ophthalmol*. 2002;86:390-393.
26. Machemer R, Buettner H, Norton EW, Parel JM. Vitrectomy: A pars plana approach. *Trans Am Acad Ophthalmol Otolaryngol*. 1971;75(4):813-820.
27. Eckardt C. Transconjunctival sutureless 23-gauge vitrectomy. *Retina*. 2005;25(2):208-211.
28. Liesenhoff O, Messmer EM, Pultur A, Kampik A. Operative Behandlung durchgreifender Makulaforamina. *Ophthalmologe*. 1996;93(6):655-659.

29. Yoon H-S, Brooks HL, Capone A, L'Hernault NL, Grossniklaus HE. Ultrastructural Features of Tissue Removed During Idiopathic Macular Hole Surgery. *American Journal of Ophthalmology*. 1996;122(1):67-75.
30. Eckardt C, Eckardt U, Groos S, Luciano L, Reale E. Entfernung der Membrana limitans interna bei Makulalöchern. *Ophthalmologie*. 1997;94(8):545-551.
31. Funata M, Wendel RT, La Cruz Z de, Green WR. Clinicopathologic study of bilateral macular holes treated with pars plana vitrectomy and gas tamponade. *Retina*. 1992;12(4):289-298.
32. Smiddy WE, Feuer WJ, Cordahi G. Internal limiting membrane peeling in macular hole surgery. *Ophthalmology*. 2001;108(8):1471-1476.
33. Kadonosono K. Staining of Internal Limiting Membrane in Macular Hole Surgery. *Arch Ophthalmol*. 2000;118(8):1116.
34. Veckeneer M, van Overdam K, Monzer J, et al. Ocular toxicity study of trypan blue injected into the vitreous cavity of rabbit eyes. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2001;239(9):698-704.
35. Enaida H, Hisatomi T, Hata Y, et al. Brilliant blue G selectively stains the internal limiting membrane/brilliant blue G-assisted membrane peeling. *Retina*. 2006;26(6):631-636.
36. Shukla D, Kalliath J, Neelakantan N, Naresh KB, Ramasamy K. A comparison of brilliant blue G, trypan blue, and indocyanine green dyes to assist internal limiting membrane peeling during macular hole surgery. *Retina*. 2011;31(10):2021-2025.
37. Thompson JT. Kinetics of intraocular gases. Disappearance of air, sulfur hexafluoride, and perfluoropropane after pars plana vitrectomy. *Arch Ophthalmol*. 1989;107(5):687-691.
38. Wong IY, Wong D. Special adjuncts to treatment. In: Ryan SJ, ed. *Retina*. Vol. 3. 5th ed. S.I.: Saunders; 2013:1735-1746; 3.
39. Park DW, Sipperley JO, Sneed SR, Dugel PU, Jacobsen J. Macular hole surgery with internal-limiting membrane peeling and intravitreal air. *Ophthalmology*. 1999;106(7):1392-1398.
40. Sato Y, Isomae T. Macular hole surgery with internal limiting membrane removal, air tamponade, and 1-day prone positioning. *Jpn J Ophthalmol*. 2003;47(5):503-506.

41. Hasler PW, Prunte C. Early foveal recovery after macular hole surgery. *Br J Ophthalmol*. 2008;92(5):645-649.
42. Michalewska Z, Michalewski J, Cisiecki S, Adelman R, Nawrocki J. Correlation between foveal structure and visual outcome following macular hole surgery: A spectral optical coherence tomography study. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2008;246(6):823-830.
43. Eckardt C, Eckert T, Eckardt U, Porkert U, Gesser C. Macular hole surgery with air tamponade and optical coherence tomography-based duration of face-down positioning. *Retina*. 2008;28(8):1087-1096.
44. Gesser C, Eckert T, Eckardt U, Porkert U, Eckardt C. Makulalochchirurgie mit Lufttamponade: Ist Luft als kurzzeitige Tamponade ausreichend? *Ophthalmologe*. 2010;107(11):1043-1050.
45. Hikichi T, Kosaka S, Takami K, et al. 23- and 20-gauge vitrectomy with air tamponade with combined phacoemulsification for idiopathic macular hole: a single-surgeon study. *American Journal of Ophthalmology*. 2011;152(1):114-121.e1.
46. He F, Dong F, Yu W, Dai R. Recovery of photoreceptor layer on spectral-domain optical coherence tomography after vitreous surgery combined with air tamponade in chronic idiopathic macular hole. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging Retina*. 2015;46(1):44-48.
47. Hejsek L, Stepanov A, Dusova J, et al. Microincision 25G pars plana vitrectomy with peeling of the inner limiting membrane and air tamponade in idiopathic macular hole. *Eur J Ophthalmol*. 2017;27(1):93-97.
48. Ma Q, Fan F, Zhao Z, Jia Z. Combined phacoemulsification, 23-gauge pars plana vitrectomy with internal limiting membrane peeling and gas tamponade for patients with coexisting idiopathic macular hole and age-associated cataract. *Exp Ther Med*. 2019;17(1):525-530.
49. Thompson JT, Smiddy WE, Glaser BM, Sjaarda RN, Flynn HW, Jr. Intraocular tamponade duration and success of macular hole surgery. *Retina*. 1996;16(5):373-382.
50. Miller JH, Googe JM, Hoskins JC. Combined Macular Hole and Cataract Surgery. *American Journal of Ophthalmology*. 1997;123(5):705-707.

51. Dori D, Thoelen AM, AKALP F, Bernasconi PP, Messmer EP. Anatomic and functional results of vitrectomy and long-term intraocular tamponade for stage 2 macular holes. *Retina*. 2003;23(1):57-63.
52. Isomae T, Sato Y, Shimada H. Shortening the duration of prone positioning after macular hole surgery- comparison between 1-week and 1-day prone positioning. *Jpn J Ophthalmol*. 2002;46(1):84-88.
53. Krohn J. Duration of face-down positioning after macular hole surgery: a comparison between 1 week and 3 days. *Acta Ophthalmol Scand*. 2005;83(3):289-292.
54. Tranos PG, Peter NM, Nath R, et al. Macular hole surgery without prone positioning. *Eye (Lond)*. 2007;21:802-806.
55. Dhawahir-Scala FE, Maino A, Saha K, Mokashi AA, McLauchlan R, Charles S. To posture or not to posture after macular hole surgery. *Retina*. 2008;28(1):60-65.
56. Ryan EH, JR, Gilbert HD. Results of surgical treatment of recent-onset full-thickness idiopathic macular holes. *Arch Ophthalmol*. 1994;112(12):1545-1553.
57. Roth DB, Smiddy WE, Feuer WJ. Vitreous Surgery for Chronic Macular Holes. *Ophthalmology*. 1997;104(12):2047-2052.
58. Ip MS, Baker BJ, Duker JS, et al. Anatomical outcomes of surgery for idiopathic macular hole as determined by optical coherence tomography. *Arch Ophthalmol*. 2002;120(1):29-35.
59. Matsumiya W, Kusuhara S, Shimoyama T, Honda S, Tsukahara Y, Negi A. Predictive value of preoperative optical coherence tomography for visual outcome following macular hole surgery: effects of imaging alignment. *Jpn J Ophthalmol*. 2013;57(3):308-315.
60. Masuyama K, Yamakiri K, Arimura N, Sonoda Y, Doi N, Sakamoto T. Posturing time after macular hole surgery modified by optical coherence tomography images: a pilot study. *American Journal of Ophthalmology*. 2009;147(3):481-488.e2.
61. Imai M, Iijima H, Gotoh T, Tsukahara S. Optical Coherence Tomography of Successfully Repaired Idiopathic Macular Holes. *American Journal of Ophthalmology*. 1999;128:621-627.



62. Hedderich J, Sachs L. *Angewandte Statistik.: Methodensammlung mit R.* 15. Auflage: Springer; 2015.
63. Tassignon M-J, Gobin L, Mathysen D, van Looveren J, Groot V de. Clinical outcomes of cataract surgery after bag-in-the-lens intraocular lens implantation following ISO standard 11979-7:2006. *J Cataract Refract Surg.* 2011;37(12):2120-2129.
64. Tassignon M-JBR, Groot V de, Vrensen GFJM. Bag-in-the-lens implantation of intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg.* 2002;28(7):1182-1188.
65. Christensen UC, Kroyer K, Sander B, et al. Value of internal limiting membrane peeling in surgery for idiopathic macular hole stage 2 and 3: a randomised clinical trial. *Br J Ophthalmol.* 2009;93(8):1005-1015.
66. Lois N, Burr J, Norrie J, et al. Internal limiting membrane peeling versus no peeling for idiopathic full-thickness macular hole: a pragmatic randomized controlled trial. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2011;52(3):1586-1592.
67. Spiteri Cornish K, Lois N, Scott NW, et al. Vitrectomy with internal limiting membrane peeling versus no peeling for idiopathic full-thickness macular hole. *Ophthalmology.* 2014;121(3):649-655.
68. Simcock PR, Scalia S. Phacovitrectomy without prone posture for full thickness macular holes. *Br J Ophthalmol.* 2001;85:1316-1319.
69. Kim SS, Smiddy WE, Feuer WJ, Shi W. Outcomes of sulfur hexafluoride (SF6) versus perfluoropropane (C3F8) gas tamponade for macular hole surgery. *Retina.* 2008;28(10):1408-1415.
70. Jackson TL, Donachie PHJ, Sparrow JM, Johnston RL. United Kingdom National Ophthalmology Database study of vitreoretinal surgery: report 2, macular hole. *Ophthalmology.* 2013;120(3):629-634.
71. Schaal KB, Bartz-Schmidt KU, Dithmar S. Aktueller Stand der Makulaforamenchirurgie in Deutschland, Österreich und der Schweiz. *Ophthalmologe.* 2006;103(11):922-926.
72. Sigler EJ, Randolph JC, Charles S, Calzada JI. Intravitreal fluorinated gas preference and occurrence of rare ischemic postoperative complications after pars plana vitrectomy: a survey of the American Society of Retina Specialists. *J Ophthalmol.* 2012;2012:230596.

73. Stene-Johansen I, Bragadóttir R, Petrovski BÉ, Petrovski G. Macular Hole Surgery Using Gas Tamponade—An Outcome from the Oslo Retrospective Cross-Sectional Study. *J Clin Med*. 2019;8(5):704.
74. Guillaubey A, Malvitte L, Lafontaine PO, et al. Comparison of face-down and seated position after idiopathic macular hole surgery: a randomized clinical trial. *American Journal of Ophthalmology*. 2008;146(1):128-134.
75. Almeida DRP, Wong J, Belliveau M, Rayat J, Gale J. Anatomical and visual outcomes of macular hole surgery with short-duration 3-day face-down positioning. *Retina*. 2012;32(3):506-510.
76. Hasegawa Y, Hata Y, Mochizuki Y, et al. Equivalent tamponade by room air as compared with SF(6) after macular hole surgery. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2009;247(11):1455-1459.
77. Usui H, Yasukawa T, Hirano Y, Morita H, Yoshida M, Ogura Y. Comparative study of effects of room air and sulfur hexafluoride gas tamponade on functional and morphological recovery after macular hole surgery: A retrospective study. *Ophthalmic Research*. 2013;50:227-230.
78. Chen X, Yao Y, Hao X, Liu X, Liu T. A Comparative Study of Vitrectomy Combined with Internal Limiting Membrane Peeling for the Treatment of Idiopathic Macular Hole with Air or C3F8 Intraocular Tamponade. *J Ophthalmol*. 2018;2018:1672501.
79. Willis AW, Garcia-Cosio JF. Macular hole surgery. Comparison of longstanding versus recent macular holes. *Ophthalmology*. 1996;103(11):1811-1814.
80. Kang H K, Chang Andrew A, Beaumont Paul E. The macular hole: report of an Australian surgical series and meta-analysis of the literature. *Clinical and Experimental Ophthalmology*. 2000;28:298-308.
81. Ruiz-Moreno JM, Staicu C, Pinero DP, Montero J, Lugo F, Amat P. Optical coherence tomography predictive factors for macular hole surgery outcome. *Br J Ophthalmol*. 2008;92(5):640-644.
82. Kobayashi H, Kobayashi K, Okinami S. Macular hole and myopic refraction. *Br J Ophthalmol*. 2002;86:1269-1273.
83. Tornambe PE, Poliner LS, Grote K. Macular hole surgery without face-down positioning. A pilot study. *Retina*. 1997;17(3):179-185.

84. Gupta D. Face-down posturing after macular-hole surgery: A review. *Retina*. 2009;29:430-443.
85. Rahman R, Madgula I, Khan K. Outcomes of sulfur hexafluoride (SF<sub>6</sub>) versus perfluoroethane (C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>) gas tamponade for non-posturing macular-hole surgery. *Br J Ophthalmol*. 2012;96(2):185-188.
86. Solebo AL, Lange CA, Bunce C, Bainbridge JW. Face-down positioning or posturing after macular hole surgery. *Cochrane Database Syst Rev*. 2011;(12):CD008228.
87. Hu Z, Xie P, Ding Y, Zheng X, Yuan D, Liu Q. Face-down or no face-down posturing following macular hole surgery: A meta-analysis. *Acta Ophthalmol*. 2016;94(4):326-333.
88. Hasegawa Y, Hata Y, Mochizuki Y, et al. Response to "Use of air in macular hole surgery". *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2010;248(6):909.
89. Gupta B, Laidlaw DAH, Williamson TH, Shah SP, Wong R, Wren S. Predicting visual success in macular hole surgery. *Br J Ophthalmol*. 2009;93(11):1488-1491.
90. Sato H, Kawasaki R, Yamashita H. Observation of idiopathic Full-thickness macular hole closure in early postoperative period as evaluated by optical coherence tomography. *American Journal of Ophthalmology*. 2003;136(1):185-187.
91. Kasuga Y, Arai J, Akimoto M, Yoshimura N. Optical coherence tomography to confirm early closure of macular holes. *American Journal of Ophthalmology*. 2000;130(5):675-676.
92. Ehlers JP, Yuan A, Kaiser PK, et al. Trans-tamponade optical coherence tomography: Postoperative imaging in gas-filled eyes. *Retina*. 2013;33:1172-1178.
93. Goto K, Mizukawa K, Kiryu J. Factors affecting imaging of spectral-domain optical coherence tomography in gas-filled eyes after macular-hole surgery. *Jpn J Ophthalmol*. 2012;56(3):236-244.
94. Yamashita T, Sakamoto T, Yamashita T, et al. Individualized, spectral domain-optical coherence tomography-guided facedown posturing after macular hole surgery: Minimizing treatment burden and maximizing outcome. *Retina*. 2014;34:1367-1375.

95. Muqit MM, Akram I, Turner GS, Stanga PE. Fourier-domain optical coherence tomography imaging of gas tamponade following macular hole surgery. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging*. 2010;41 Online:e1-6
96. Yamakiri K, Sakamoto T. Early diagnosis of macular hole closure of a gas-filled eye with Watzke-Allen slit beam test and spectral domain optical coherence tomography. *Retina*. 2012;32(4):767-772.
97. Shah SP, Manjunath V, Rogers AH, Baumal CR, Reichel E, Duker JS. Optical coherence tomography-guided facedown positioning for macular hole surgery. *Retina*. 2013;33(2):356-362.
98. Ahn SJ, Park SH, Lee BR. VISUALIZATION OF THE MACULA IN GAS-FILLED EYES: Spectral Domain Optical Coherence Tomography Versus Swept-Source Optical Coherence Tomography. *Retina*. 2018;38(3):480-489.
99. Kikushima W, Imai A, Toriyama Y, Hirano T, Murata T, Ishibashi T. Dynamics of macular hole closure in gas-filled eyes within 24 h of surgery observed with swept source optical coherence tomography. *Ophthalmic Res*. 2015;53(1):48-54
100. Li DQ, Choudhry N. Swept-Source OCT Visualization of Macular Hole Closure in Gas-Filled Eyes. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging Retina*. 2017;48(5):392-398.
101. Sano M, Inoue M, Taniuchi S, Kunita D, Hiraoka T, Hirakata A. Ability to determine postoperative status of macular hole in gas-filled eyes by spectral-domain optical coherence tomography. *Clin Experiment Ophthalmol*. 2011;39(9):885-892.
102. Yamashita T, Terasaki H, Sakamoto T. Minification of fundus optical coherence tomographic images in gas-filled eye. *BMC Ophthalmol*. 2016;16:124.
103. Jenisch TM, Zeman F, Koller M, Märker DA, Helbig H, Herrmann WA. Macular hole surgery: An analysis of risk factors for the anatomical and functional outcomes with a special emphasis on the experience of the surgeon. *Clin Ophthalmol*. 2017;11:1127-1134.
104. Morimoto E, Shimada Y, Sugimoto M, Mizuguchi T, Tanikawa A, Horiguchi M. Adherence to face-down and non-supine positioning after macular hole surgery. *BMC Ophthalmol*. 2018;18(1):322.

105. Leitritz MA, Ziemssen F, Voykov B, Bartz-Schmidt KU. Usability of a gravity- and tilt-compensated sensor with data logging function to measure posturing compliance in patients after macular hole surgery: a pilot study. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2014;252(5):739-744.
106. Michalewska Z, Michalewski J, Adelman RA, Nawrocki J. Inverted internal limiting membrane flap technique for large macular holes. *Ophthalmology*. 2010;117(10):2018-2025.
107. Manasa S, Kakkar P, Kumar A, Chandra P, Kumar V, Ravani R. Comparative Evaluation of Standard ILM Peel With Inverted ILM Flap Technique In Large Macular Holes: A Prospective, Randomized Study. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging Retina*. 2018;49(4):236-240.
108. Ota H, Kunikata H, Aizawa N, Nakazawa T. Surgical results of internal limiting membrane flap inversion and internal limiting membrane peeling for macular hole. *PLoS One*. 2018;13(9):e0203789.
109. Ramtohul P, Parrat E, Denis D, Lorenzi U. Inverted internal limiting membrane flap technique versus complete internal limiting membrane peeling in large macular hole surgery: a comparative study. *BMC Ophthalmol*. 2020;20(1):11.

## 7.2 Erhebungsbogen

### Studie Luft versus SF<sub>6</sub>-Tamponade bei idiopathischem Makulaforamen

#### Einschlusskriterium:

primäres durchgreifendes Makulaforamen nach der IVTS-Klassifikation

#### Ausschlusskriterien:

- exzessive Myopie mit Staphylom bzw. myopischen Dehnungsherden
- Makulaschichtforamen oder vitreomakuläres Traktionssyndrom
- bereits vitrektomierte Augen
- traumatisches Makulaforamen
- Partnerauge der Patienten, die bereits mit dem ersten Auge in der Studie eingeschlossen wurden.

#### Patient:

Name:

Vorname:

Geb.:

Seite (OD / OS):

Geschlecht: M / W

#### Präoperative Untersuchungen:

Dauer der Anamnese in Monaten:

Nebendiagnosen (z.B. Glaukom):

Unkorrigierter Fern-Visus (sc):

Bestkorrigierter Fern-Visus:

Nahvisus (Oculustafeln in 40 cm), Addition + 2,5 Dpt zur Fernrefraktion:

Amsler: Metamorphopsien? zentrales Skotom?

Objektive Refraktion (sphärisches Äquivalent):

Achsenlänge mm mit IOL-Master:

Topcon-OCT (optische Kohärenztomographie/Standardmessung:

Vergrößerung 1:2):

- Lochdurchmesser (µm): minimaler Durchmesser? Basis-Durchmesser?
- Stadium nach OCT:

Gesichtsfeld (Octopus 101, Programm G2): Defekte? zentrales Skotom?

**Intraoperative Befunde:**

Operateur:

Datum:

Anästhesie: ITN / local / stand by

Stadium nach Gass:

Glaskörper noch anliegend / bereits abgelöst?

Glaskörperablösung schwierig?

Triamcinolon zur Glaskörperdarstellung?

Peeling nativ oder mit Brilliant Peel:

periphere Risse / Amotio retinae intraoperativ?

Endolaser- / Kryokoagulation?

Art der Tamponade (Luft /SF<sub>6</sub>) bestätigen:

Loch nach Endodrainage idem, kleiner, geschlossen, nicht beurteilbar?

Besonderheiten:

**Postoperative Kopftieflagerung:**

Lagerung eingehalten?

Wenn nicht, warum?

Lagerung wann abgebrochen?

**Postoperative Untersuchungen:**

Topcon-OCT im Liegen:

- Am 1. Tag durchgeführt?
- Wenn nicht, warum?
- Wenn kein ausreichendes Bild möglich: Grund (Hyphäma, Fibrin etc.)

Folge-OCT:

Topcon-OCT im Sitzen (vor Entlassung, wenn Gasspiegel dies zulässt, sonst im Liegen):

- Makulaforamen vollständig geschlossen?
- Nur partiell (d.h. Innenschicht) geschlossen?
- Foramen noch offen?

### **Besonderheiten des postoperativen Verlaufes:**

Tensio, Hyphäma, Fibrin, Synechien, Iris Capture etc.?

### **Re-Operation:**

Grund:

Operateur:

Datum:

Peeling erweitert?

Brilliant Peel eingesetzt?

Tamponade?

Besonderheiten:

**Bei Re-Operation postoperative Lagerung / Untersuchungen:** wie oben:

### **Bestkorrigierter Fern-Visus bei Entlassung:**

**postoperative Nachkontrolle** möglichst nach 12 Wochen:

Datum:

Anamnese (Besserung? Metamorphopsien? Lesen möglich, nicht möglich?)

Bestkorrigierter Fern-Visus:

Nahvisus (Oculustafeln in 40 cm):

Amsler: Metamorphopsien vorhanden? weniger geworden? zentrales Skotom?

Topcon-OCT im Sitzen:

- Makulaforamen geschlossen?
- Makulaschichtforamen?
- Morphologische Besonderheiten:

Gesichtsfeld (Octopus 101, Programm G2): Defekte? zentrales Skotom?

Besonderheiten:



### 7.3 Visusumrechnungstabellen

log(MAR)	Visus [10.Wurzel aus 10-Stufen]	Visus [DIN bzw. EN ISO]	MARAN (adjusted meter vision)
2,1	0,008		Lichtschein
2	0,01		Handbewegungen
1,9	0,0125		Fingerzählen
1,8	0,0158		
1,7	0,0199	1/50	
1,6	0,0251	1/35	
1,5	0,0316		
1,4	0,0398	1/25	
1,3	0,0501	0,05	
1,2	0,0631	0,063	
1,1	0,0794	0,08	
1	0,1	0,1	
0,9	0,1259	0,125	
0,8	0,1584	0,16	
0,7	0,1995	0,2	
0,6	0,2511	0,25	
0,5	0,3162	0,32	
0,4	0,3981	0,4	
0,3	0,5011	0,5	
0,2	0,6309	0,63	
0,1	0,7943	0,8	
0	1	1	

**Umrechnung der Snellen Visusäquivalente in logMAR** (Stupp N. Endotamponade mit schwerem Silikon (Oxane® HD) bei komplizierten Netzhautablösungen: Klinischer Verlauf und histologischer Befund exzidierter Rezidivmembranen. 2006.)

## **7.4 Danksagung**

Mein ganz besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Claus Eckardt für die Möglichkeit in seiner Abteilung zu arbeiten sowie für die Überlassung des Themas meiner Promotion.

Vor allem möchte ich mich bei Herrn Dr. Tillmann Peter Eckert für die konstruktive Betreuung während der gesamten Zeit bedanken.

Bei dieser Gelegenheit möchte ich zudem Frau Prof. Dr. Eva Herrmann für Ihre Hilfe bei der statistischen Auswertung Danke sagen.

Ebenfalls danken möchte ich allen anderen, die an der Entstehung dieser Arbeit mitgewirkt haben.

Letztlich möchte ich mich ganz herzlich bei meiner Familie und meinen nahestehenden Freunden für die Unterstützung und Motivation während meiner Promotion bedanken.

## 7.5 Schriftliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die dem Fachbereich Medizin der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main zur Promotionsprüfung eingereichte Dissertation mit dem Titel

### **Analyse verschiedener Endotamponaden in der Makulaforamenchirurgie: Ein Vergleich zwischen Luft- und SF<sub>6</sub>-Gas-Endotamponade**

in der Augenheilklinik des Klinikums Frankfurt am Main Höchst unter der Leitung von Herrn Prof. Dr. med. Claus Eckardt und unter Betreuung von Herrn Dr. med. Tillmann Peter Eckert ohne sonstige Hilfe selbst durchgeführt und bei der Abfassung der Arbeit keine anderen als die in der Dissertation angeführten Hilfsmittel benutzt habe. Darüber hinaus versichere ich, nicht die Hilfe einer kommerziellen Promotionsvermittlung in Anspruch genommen zu haben.

Ich habe bisher an keiner in- oder ausländischen Universität ein Gesuch um Zulassung zur Promotion eingereicht. Die vorliegende Arbeit wurde bisher nicht als Dissertation eingereicht.

---

(Ort, Datum)

---

(Unterschrift)