Minimal-invasive Therapie eines maximal-akuten ophthalmologischen Notfalls: 27 Gauge Vitrektomie bei akuter postoperativer Endophthalmitis

Von der Medizinischen Fakultät
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
zur Erlangung des akademischen Grades
eines Doktors der Medizin
genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Radosław Kowalski

aus

Łuków (Polen)

Berichter: Prof. Dr. med. Gernot Rößler
apl. Prof. Dr. med. Laila Najjari

Tag der mündlichen Prüfung: 21.08.2026

Diese Dissertation ist auf den Internetseiten der Universitätsbibliothek online verfügbar.

Inhaltsverzeichnis

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS **4**

1. EINLEITUNG **5**

1.1. EINFÜHRUNG 5
1.2. EINFÜHRUNG IN DIE ANATOMIE DES AUGES 5
1.2.1. Glaskörper *7*
1.3. PATHOGENESE DER ENDOPHTHALMITIS 8
1.3.1. Klinische Charakteristika und Diagnostik der Endophthalmitis *10*
1.3.2. Mikrobiologische Untersuchungen *12*
1.3.3. Prävention der Endophthalmitis *14*
1.4. VITREKTOMIE 14
1.4.1. Kapitel: Geschichte der Vitrektomie *15*
1.4.2. Kapitel: Entwicklung der 27-Gauge-Vitrektomie *16*
1.5. THERAPIE DER ENDOPHTHALMITIS 18

2. ZIELSETZUNG DER ARBEIT **21**

3. MATERIAL UND METHODEN **22**

3.1. PATIENTEN 22
3.2. DIAGNOSTIK / KLINISCHE UNTERSUCHUNGEN 23
3.3. CHIRURGIE 26
3.4. FOLLOW-UP-UNTERSUCHUNGEN 30
3.5. STATISTIK 30
3.6. SPRACHLICHE KORREKTUR 30

4. ERGEBNISSE **31**

4.1. PRÄOPERATIVE BEFUNDE 31
4.1.1. Alter und Geschlecht *31*
4.1.2. Visus bei Erstvorstellung *31*
4.1.3. Präoperative Augendruckwerte *31*
4.1.4. Primäre Operation *33*
4.1.5. Zeitintervall zwischen primärer Operation und Symptombeginn sowie Dauer der Symptome *35*
4.1.6. Klinische Befunde bei Studien- und Kontrollgruppe *35*
4.2. CHIRURGISCHE RESULTATE 36
4.2.1. Zeitlicher Abstand zwischen beiden chirurgischen Eingriffen *36*
4.2.2. Postoperative Visusentwicklung *37*
4.2.3 Funktioneller Outcome in Relation zur Dauer der Beschwerden *40*
4.2.4. Postoperative Augendruckentwicklung *41*
4.2.5. Operationsdauer *42*
4.2.6. Reoperationen *43*
4.2.7. Postoperativer Heilverlauf *44*
4.2.8. Erreger *45*
4.2.9. Komplikationen *45*

5. DISKUSSION **47**

5.1. EINORDNUNG DER KLINISCHEN RESULTATE 47
5.2. VERGLEICH VITREKTOMIE VS TAP AND INJEKT 49
5.3. VERGLEICH DER VITREKTOMIE VERFAHREN: 23-GAUGE VS DER 27-GAUGE VITREKTOMIE 50
5.4. EVALUATION MÖGLICHER PROGNOSEFAKTOREN HINSICHTLICH DES ANATOMISCHEN UND FUNKTIONELLEN OUTCOMES 52
5.4.1. Zeitpunkt der Operation *52*
5.4.2. Grunderkrankung *53*
5.5. SCHLUSSFOLGERUNGEN 54

6. ZUSAMMENFASSUNG **59**

7. LITERATUR 60

9. DANKSAGUNG 71

ERKLÄRUNG ZUR DATENAUFBEWAHRUNG 72

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG GEMÄß § 5 ABS. (1) UND § 11 ABS. (3) 12. DER PROMOTIONSORDNUNG 73

LEBENSLAUF 74

PERSÖNLICHE DATEN 74
BERUFLICHE TÄTIGKIET 74
AUSBILDUNG 74

Abkürzungsverzeichnis

B-Scan	Brightness Scan
BIOM	Binokulares Indirektes Ophthalmo-Mikroskop
Bzw.	beziehungsweise
C3F8	Perfluorpropan
DMÖ	Diabetisches Makölaödem
DORC	Dutch Ophthalmic Research Center
EGF	epidermaler Wachstumsfaktor
ESCRS	European Society of Cataract and Refractive Surgeons
EVS	Endophthalmitis Vitrectomy Study
G	Gauge
HGA	hintere Glaskörperabhebung
ICD-10	Internationele statistische Klassifikation der Krankheiten und verwandter Gesundheitsprobleme
IL	Interleukinen
INF	Interferon
IOD	Intraokulardruck
IOL	Intraokularlinse
IVOM	Intravitreale operative Medikamenteneingabe
m/w	männlich/weiblich
MCP	monocyte chemotactic protein
MÖ	Makulaödem
OCT	Optische Kohärenztomographie
ppV	Pars-plana-Vitrektomie
rtPA	rekombinante Gewebeplasminogenaktivator
SF6	Schwefelhexafluorid
TASS	Toxic anterior segment syndrom
TNF	Tumornekrosefaktor
VEGF	Vaskulärer endothelialer Wachstumsfaktor
z.B.	Zum Beispiel
ZVV	Zentralvenenverschluss

1. Einleitung

1.1. Einführung

In der modernen Ophthalmologie sind Notfälle, die das Sehvermögen bedrohen können, von hoher Bedeutung und erfordern rasche und effektive Interventionen. Die akute postoperative Endophthalmitis stellt einen solchen dringenden ophthalmologischen Notfall dar, bei dem jede Verzögerung in der Behandlung zu dauerhaften und irreversiblen Sehstörungen führen kann. In den letzten Jahren wurden in der Augenchirurgie viele Techniken und Ansätze entwickelt, um den Bedürfnissen der Patienten und den Anforderungen des klinischen Umfelds gerecht zu werden.

Im Fokus dieser Arbeit steht die 27 Gauge Vitrektomie als innovativer Ansatz zur Behandlung der akuten postoperativen Endophthalmitis. Die Verwendung dieser minimal-invasiven Technik ermöglicht nicht nur eine präzise Entfernung infizierten Gewebes, sondern minimiert auch das Risiko von Komplikationen und unterstützt so eine schnellere Genesung der Patienten. Die Auswertungen im Rahmen dieser Arbeit tragen dazu bei, das Verständnis für die Wirksamkeit und die potenziellen Vorteile der 27 Gauge Vitrektomie bei einem maximal-akuten ophthalmologischen Notfall zu vertiefen. Es wird postuliert, dass die Ergebnisse dazu beitragen werden, die klinischen Praktiken in Notfällen weiter zu optimieren und gleichzeitig den Patienten eine qualitativ hochwertige Versorgung zu gewährleisten.

1.2. Einführung in die Anatomie des Auges

Das menschliche Auge ist ein hochspezialisiertes Sinnesorgan zur Wahrnehmung visueller Reize. Es fungiert als peripheres Analyseorgan des visuellen Systems und ermöglicht die Transformation von Licht in elektrische Signale, die im Gehirn zu einem Bild verarbeitet werden (Brandes, *et al.* , 2019). Der zentrale Bestandteil dieses Prozesses ist der Bulbus oculi, der in der Orbita, einer trichterförmigen knöchernen Augenhöhle, eingebettet ist (Remington & Goodwin, 2011). Der Augapfel wird durch orbitales Fettgewebe (Corpus adiposum orbitae) gepolstert und durch sechs okulomotorische Muskeln, den Nervus opticus, Blutgefäße, Nerven sowie die Glandula lacrimalis stabilisiert (Remington & Goodwin, 2011).

Der Bulbus misst beim Erwachsenen durchschnittlich 24 mm in sagittaler Richtung und weist eine nahezu kugelförmige Morphologie auf (Rohen, *et al.*, 2006). Er ist in eine mehrschichtige Wand und den intraokularen Inhalt gegliedert. Die Augapfelwand besteht aus drei konzentrisch angeordneten Schichten:

1. Tunica fibrosa: umfasst die Sklera (Lederhaut) und die Kornea (Hornhaut). Die Sklera bildet die robuste äußere Hülle des Auges, während die Kornea als klarer, stärker gewölbter vorderer Abschnitt fungiert (Welsch, *et al.*, 2022).
2. Tunica vasculosa (Uvea): besteht aus Choroidea (Aderhaut), Corpus ciliare (Ziliarkörper) und Iris (Regenbogenhaut). Die Choroidea ist das am stärksten vaskularisierte Gewebe des menschlichen Körpers (Hogan *et al.*, 1971) und spielt eine entscheidende Rolle in der Ernährung der äußeren Retina. Der Ziliarkörper gliedert sich in die Pars plicata (produziert Kammerwasser und ermöglicht Akkommodation) und die Pars plana, welche gefäßarm ist und an die Ora serrata grenzt (Rohen *et al.*, 2006).
3. Tunica nervosa: die Retina (Netzhaut) bildet die sensorische Schicht und ist direkt an der Umwandlung von Licht in elektrische Signale beteiligt. Sie setzt sich aus einer lichtempfindlichen Pars optica retinae und einer lichtunempfindlichen Pars caeca retinae zusammen (Welsch, *et al*., 2022). Histologisch gliedert sich die Retina in zehn Schichten, in denen spezialisierte Neuronen (Photorezeptoren, Bipolarzellen, Ganglienzellen) sowie unterstützende Müllerzellen angeordnet sind (Welsch, *et al.*, 2022).

Der Corpus vitreum (Glaskörper) nimmt den hinteren Augenabschnitt vollständig ein. Er besteht aus 98 % Wasser sowie Hyaluronsäure und Kollagen (Sebag, 1989). Der Glaskörper ist avaskulär und aneural. Er ist über bestimmte anatomische Strukturen mit Retina, Linsenkapsel und Papille verbunden. Die stärkste Verbindung besteht an der Glaskörperbasis (Ora serrata), die embryonal durch den Cloquet-Kanal, einen Rest der Arteria hyaloidea, durchzogen ist (Sebag, 1989).

Der vordere Augenabschnitt umfasst Kornea, Konjunktiva, Iris, Corpus ciliare, Linse, sowie die vordere und hintere Augenkammer, welche mit Kammerwasser gefüllt sind. Dieses wird durch das nichtpigmentierte Epithel der Ziliarfortsätze sezerniert und über das Trabekelwerk im Kammerwinkel sowie den Schlemm-Kanal (trabekulärer Abfluss) abgeleitet (Weinreb & Khaw, 2004). Ergänzt wird dies durch den uveoskleralen Abfluss, der etwa 15 % des Kammerwassers ableitet (Weinreb & Khaw, 2004). Die Regulation des intraokularen Drucks

erfolgt durch das Gleichgewicht zwischen Produktion und Abfluss des Kammerwassers (Weinreb & Khaw, 2004).

Die Makula lutea im Zentrum des Augenhintergrunds enthält die Fovea centralis, welche als Ort des schärfsten Sehens gilt. Dort sind ausschließlich Zapfen vorhanden, die direkt dem Licht ausgesetzt sind (Provis, 2001). Etwa 4 mm nasal zur Fovea befindet sich die Papille, der blinde Fleck, an dem keine Photorezeptoren vorhanden sind (Salazar *et al.*, 2018). Hier verlässt der Nervus opticus die Retina über die Lamina cribrosa, begleitet von der A. und V. centralis retinae (Salazar *et al.*, 2018).

Embryologisch geht die Retina auf eine Ausstülpung des Diencephalons zurück, die zwischen der 3. und 7. Woche der Embryogenese in zwei Schichten differenziert: das neuronale Stratum nervosum und das pigmentierte Stratum pigmenti (Bales, *et al*, 2023). Diese zweischichtige Organisation bleibt auch im adulten Auge erhalten und bildet die Grundlage der retinalen Blut-Schranke und der Transduktionsmechanismen der Photorezeptoren (Bales, *et al*, 2023).

1.2.1. Glaskörper

Der Glaskörper, eine transparente, viskoelastische Masse im Auge, setzt sich hauptsächlich aus Wasser und Hyaluronsäure zusammen und repräsentiert mehr als drei Viertel des gesamten okulären Volumens (Bishop, 2000). Seine strukturelle Integrität ergibt sich durch eine komplexe Matrix aus Kollagenfibrillen – vorwiegend vom Typ II – und diversen Glukosaminoglykanen (Bishop, 2000).

Seine gelartige Konsistenz erhält der Glaskörper durch die Quervernetzung der Hyaluronsäuremoleküle und die geordnete Anordnung der Kollagenfasern, die vornehmlich in einer anterior-posterioren Richtung verlaufen (Bishop, 1996). Des weiteren enthält der Glaskörper andere Strukturproteine, darunter Chondroitinsulfat, Heparansulfat, Fibrin und Opticin, welche zur Stabilität und Funktion beitragen (Sebag, 1989; Bishop, 1996).

Obwohl der Glaskörper einen Wasseranteil von etwa 98% besitzt, behält er seine gelartige Struktur (Sebag, 1989). Dank seiner viskoelastischen Eigenschaften agiert der Glaskörper als mechanisches Schutzpolster für die Netzhaut, das bei traumatischen Ereignissen den plötzlichen Druck abfangen und die Netzhaut schützen kann (Kleinberg *et al.*, 2011).

Mit fortschreitendem Alter durchläuft der Glaskörper degenerative Veränderungen. Dabei können die Kollagenfasern ihre Anordnung ändern, was zur Bildung von Klumpen und zur Verflüssigung des Glaskörpers führt (Sebag, 1989). Infolgedessen kann der Glaskörper seine Adhäsion zur Netzhaut verlieren und sich von dieser lösen, ein Zustand, der als hintere Glaskörperabhebung (HGA) bezeichnet wird (Sebag, 2004).

Die HGA stellt einen physiologischen Prozess dar, der im Laufe des Lebens bei vielen Menschen einsetzt (Schulz & Szurman, 2022). Diese altersbedingte Veränderung kann zu diversen Symptomen führen, einschließlich der Wahrnehmung von Floatern – schwebenden Partikeln im Sichtfeld – und Sehstörungen (Sebag, 1989).

Die exakte Zusammensetzung und Struktur des Glaskörpers sowie seine Funktion im Kontext der Augengesundheit sind weiterhin Schwerpunkte laufender wissenschaftlicher Forschung (Mishra *et al.*, 2023). Ein tieferes Verständnis des Glaskörpers könnte Aufschluss über Krankheiten und Zustände geben, die mit seiner Veränderung in Zusammenhang stehen, und somit zu effektiveren diagnostischen und therapeutischen Methoden führen (Popescu *et al.*, 2023).

1.3. Pathogenese der Endophthalmitis

Die Endophthalmitis ist eine entzündliche Erkrankung des Auges, bei der es zu einer Infektion im Inneren des Auges kommt (Durand, 2013). Es gibt zwei Hauptarten von Endophthalmitis: die exogene Endophthalmitis und die endogene Endophthalmitis (Shao *et al.*, 2021)

Die exogene Endophthalmitis tritt auf, wenn Krankheitserreger von außen in das Auge gelangen, typischerweise während oder nach einer Augenoperation oder einem Augentrauma (Javitt *et al.*, 1994). Die Erreger können Bakterien oder seltener auch Pilze sein (Shao *et al.*, 2021). Zu den Risikofaktoren für eine exogene Endophthalmitis gehören präoperative Faktoren wie fortgeschrittenes Alter, Immunsuppression, unzureichende Händedesinfektion der Operateure und Augenlidinfektionen oder -entzündungen (Cao *et al.*, 2013; Relhan *et al.,* 2018; Salmon, 2022). Intraoperative Faktoren wie Komplikationen während des Eingriffs oder unsteriles Arbeiten können ebenfalls das Risiko erhöhen (Barry *et al.*, 2006; Relhan, *et al* .,

2018; Salmon, 2022). Zu postoperativen Faktoren zählen eine Wundleckage, Material der IOL und kontaminierte Tropfen (Barry *et al.*, 2006; Relhan, *et al.*, 2018; Salmon, 2022).

Die endogene Endophthalmitis tritt auf, wenn Krankheitserreger nicht von außen, sondern über die Blutbahn in das Auge gelangen (Basu, 2018). Dies geschieht in der Regel durch eine hämatogene Aussaat von Bakterien oder Pilzen aus einer Infektionsquelle im Körper, wie z.B. einem infizierten Venenverweilkatheter oder einem Leberabszess (Durand, 2013; Sadiq *et al.*, 2015). Immungeschwächte Patienten, z.B. aufgrund von immunosuppressiver Therapie oder chronischen Erkrankungen, haben ein erhöhtes Risiko für eine endogene Endophthalmitis (Durand, 2013).

Die Pathogenese der Endophthalmitis, sowohl der exogenen als auch der endogenen Form, beinhaltet komplexe immunologische und infektiöse Prozesse (Pleyer *et al.*, 1992; Deshmukh *et al.*, 2018). Hier sind die grundlegenden Schritte der Pathogenese einer Endophthalmitis (Kain, H. L., 1997):

- Inkubationsphase: Diese Phase dauert zwischen 16 und 18 Stunden. Bei der exogenen Endophthalmitis gelangen die Erreger während oder nach einer Augenoperation oder einem Trauma von außen in das Auge (Durand, 2013), (Lee, Jo & Lee, 2022) Bei der endogenen Endophthalmitis erfolgt die Erregerinvasion über die Blutbahn infolge einer hämatogenen Aussaat von Bakterien oder Pilzen (Sadiq *et al.*, 2015). Nach der Erregerinvasion vermehren sich die Erreger im Auge und können sich im Augengewebe ausbreiten (Sadiq *et al.*, 2015).
- Akzelerationsphase: Das Eindringen der Erreger in das Auge löst eine immunologische Reaktion aus, die Blutkammerwasserschranke bricht zusammen (Stephens *et al.*, 2017). Entzündungszellen, wie Neutrophile, Makrophagen und Lymphozyten, werden aktiviert und wandern in das infizierte Gewebe ein, um die Erreger zu bekämpfen. Diese Immunreaktion führt zur Freisetzung von entzündlichen Mediatoren und Zytokinen, die Gewebeschädigungen verursachen können (Pleyer *et al.*, 1992; Vallejo-Garcia *et al.*, 2012).
- Destruktionsphase: Die entzündlichen Prozesse und die Aktivität der Immunzellen können zu Gewebeschädigungen im Auge führen. Dies kann die Retina, den Glaskörper, die Blutgefäße und andere Strukturen des Auges betreffen. Die

Gewebeschädigung kann zu Funktionsverlust, Sehverschlechterung, Netzhautablösung, Glaukom oder sogar zum Verlust des Auges führen (Vallejo-Garcia *et al.*, 2012).

Die genaue Pathogenese der Endophthalmitis kann je nach Erregertyp, individuellen Risikofaktoren und anderen Faktoren variieren (Durand, 2013). Die Immunantwort des Patienten und die Virulenz der Erreger spielen eine wichtige Rolle bei der Schwere der Erkrankung (Lee, *et al* ., 2022). Eine frühzeitige Diagnose, angemessene Behandlung und präventive Maßnahmen sind entscheidend, um die Ausbreitung der Infektion zu stoppen und schwerwiegende Komplikationen zu verhindern (*Endophthalmitis Vitrectomy Study Group*, 1995; Lee, *et al* ., 2022).

1.3.1. Klinische Charakteristika und Diagnostik der Endophthalmitis

Die Diagnose einer Endophthalmitis wird klinisch gestellt, basierend auf den typischen Symptomen und Befunden bei der Augenuntersuchung (Durand, 2013). Eine differenzialdiagnostische Abgrenzung zwischen einer sterilen Entzündungsreaktion und einer infektiösen Endophthalmitis kann schwierig sein und erfordert oft den mikrobiologischen Nachweis durch eine Probeentnahme aus dem Auge (Durand, 2013; Lee, *et al.*, 2022).

Typischerweise treten bei akuten postoperativen Endophthalmitiden die Symptome plötzlich auf und verschlimmern sich rasch (Durand, 2013). Die Patienten klagen häufig über starke Augenschmerzen, Kopfschmerzen, Brennen, Tränenfluss, Rötung und Schwellung des Auges sowie Lichtempfindlichkeit (Shao *et al.*, 2021; *Endophthalmitis Vitrectomy Study Group*, 1995; Cao *et al.*, 2013; Lee *et al.*, 2022). Eine deutliche Sehverschlechterung wird bei über 95% der Patienten beobachtet (Durand, 2013).

Bei der klinischen Untersuchung des Auges zeigt sich eine konjunktivale Hyperämie, Schwellung des Lidgewebes, Hornhautödem und Anzeichen einer Entzündung in der vorderen Augenkammer wie Zellansammlungen, Fibrinbildung und ein Hypopyon (Eiteransammlung in der vorderen Augenkammer) (Jackson *et al.*, 2003; Durand, 2013; Shao *et al.*, 2021; Lee *et al.*, 2022). Der Glaskörper kann getrübt sein und eine fortschreitende Eintrübung des hinteren Augenabschnitts kann den Einblick in den Augenhintergrund beeinträchtigen (Maneschg, *et al*., 2009; Salmon, 2022). Zusätzlich können Retina-Infiltrate, Nekrosen und Blutungen auftreten, die jedoch bei der Erstvorstellung aufgrund des fehlenden Funduseinblickes

möglicherweise nicht erkannt werden können (Maneschg, *et al* ., 2009). In schweren Fällen kann der rote Reflex des Augenhintergrunds vollständig verloren gehen (*Endophthalmitis Vitrectomy Study Group*, 1995).

Der zeitliche Verlauf kann Hinweise auf die Art der Endophthalmitis geben. Eine nichtinfektiöse, sterile Entzündung (TASS – *Toxic anterior segment syndrom*) tritt in der Regel innerhalb der ersten 24 Stunden nach der Operation auf, während eine akute infektiöse Endophthalmitis ihr Maximum nach ein bis sechs Tagen erreicht *(Mamalis et al., 2006; Lee et al.* 2022). Die Unterscheidung zwischen steriler und infektiöser Endophthalmitis ist jedoch nicht immer sicher möglich und erfordert den mikrobiologischen Nachweis (Mamalis *et al.*, 2006).

Bei der späten oder chronischen Endophthalmitis, die einige Wochen bis Monate nach der Infektion auftritt, können andere Erreger wie Propionibacterium acnes oder Pilze beteiligt sein (Vafidis, 1991). Hierbei können spezifische Befunde auftreten, wie weiße Plaques im Kapselsack bei Propionibacterium-acnes-Endophthalmitis (Vafidis, 1991) oder ein pyramidenförmiges Hypopyon und Hornhautödeme bei Pilz-Endophthalmitis (Weiss, *et al* ., 2007).

Die Diagnose der Endophthalmitis basiert hauptsächlich auf klinischen Befunden (Salmon, 2022; Durand, 2013; Shao *et al.*, 2021; Lee, *et al.*, 2022). Zusätzliche diagnostische Verfahren wie Ultraschalluntersuchung, Magnetresonanztomographie, Fluoreszein-Angiographie und der Nachweis von Erregern mittels mikroskopischer und mikrobiologischer Analyse von Glaskörpermaterial oder Kammerwasser können unterstützend eingesetzt werden (Radhakrishnan *et al.*, 2016; Haight & Adhikari, 2023; Simakurthy & Tripathy, 2025). Die Echographie (B-Scan) ist eine sinnvolle Ergänzung zur klinischen Bewertung von infektiöser Endophthalmitis, insbesondere bei eingeschränkter oder fehlender Fundusvisualisierung (Maneschg, *et al*., 2009). Eine präoperative Echographie ermöglicht die Erkennung von vitrealer Infiltration, Netzhautablösungen und intraokularen Fremdkörpern (Maneschg, *et al*., 2009). Zusätzliche diagnostische Verfahren wie die optische Kohärenztomographie (OCT) kann zur weiteren Evaluierung der Erkrankung eingesetzt werden(Stephens *et al.*, 2017; Invernizzi *et al.*, 2018). Die OCT ermöglicht eine detaillierte Beurteilung der Netzhautstrukturen und kann Hinweise auf mögliche Schäden liefern (Invernizzi *et al.*, 2018).

Die Endophthalmitis erfordert eine sofortige empirische antimikrobielle Therapie, typischerweise bestehend aus einer intravitrealen und systemischen Antibiotikagabe, um einen frühen Therapieeffekt zu gewährleisten (Yonekawa *et al.*, 2011; Durand, 2013; Sadiq *et al.*, 2015). Spätestens nach Erhalt mikrobiologischer Befunde erfolgt eine gezieltere, erregerspezifische Behandlung, die für den Erhalt der Sehfunktion entscheidend ist (Yonekawa *et al.*, 2011).

Die Diagnosestellung basiert vornehmlich auf klinischen Merkmalen, etwa typischen Symptomen wie Schmerzen, Rötung, Sehminderung und auf Befunden der Spaltlampen- und Fundusuntersuchung (Durand, 2013). Dennoch ist zur Differenzierung zwischen steriler und infektiöser Endophthalmitis ein mikrobiologischer Nachweis anzustreben (Durand, 2013; Durand *et al.*, 2023). Dazu werden in der Regel Vitreus- und/oder Kammerwasserproben entnommen – Bindehautabstriche sind wenig aussagekräftig, da häufige Flora-Erreger wie *Staphylococcus epidermidis* dort vorhanden sind (Durand, *et al*., 2023; Haight & Adhikari, 2023).

Das therapeutische Vorgehen umfasst eine operative Versorgung, eine Pars-plana-Vitrektomie, kombiniert mit intravitrealer Antibiose oder nur pars Plana Injektion mit Antibiose zusammen mit einer Glaskörperprobe und, nach Erregeridentifikation, gezielter antimikrobieller Therapie (Durand, 2013; Dib *et al.*, 2020). Studien belegen, dass ein frühzeitiger Therapiebeginn die Prognose deutlich verbessert und irreparable Netzhautschäden verhindern kann (Michael, *et al*., 2023).

1.3.2. Mikrobiologische Untersuchungen

Die mikrobiologischen Erreger der Endophthalmitis variieren je nach der Genese der Infektion (Durand, 2013). Bei der exogenen Endophthalmitis sind häufige Erreger Bestandteile der normalen Augenoberflächenflora, während bei der endogenen Endophthalmitis die Erreger häufig aus einer anderen Infektionsquelle im Körper stammen (Jackson *et al.*, 2003; Durand, 2013).

Die mikrobiologische Diagnose der Endophthalmitis umfasst verschiedene Schritte zur Identifizierung des verursachenden Erregers (Durand, 2017). Die mikrobiologische Kultur ist der Referenzstandard für den Erregernachweis (Thurau, 2003). Eine wichtige Methode ist die Gewinnung von intraokulärem Material aus der Vorderkammer oder dem Glaskörper (Barza

et al., 1997). Die besten Ergebnisse werden mit Glaskörperaspiraten erzielt (Durand, 2017). Die Vorderkammerflüssigkeit kann mittels Parazentese entnommen werden, während der Glaskörper durch eine Vitrektomie oder eine diagnostische Probenentnahme ("Tap and Inject") mit einer Spritze aspiriert wird (Barza *et al.*, 1997). Die Entnahme von Glaskörpermaterial ist aufwendiger, aber aussagekräftiger - in 4-40% der Fälle sind Vorderkammerkulturen positiv, während Glaskörperaspirate in 50% bis 70% positive Ergebnisse liefern (Donahue *et al.*, 1993; Barza *et al.*, 1997; Durand, 2017).

Eine unverdünnte Probe wird auf ein vorgewärmtes Medium aufgebracht und idealerweise noch im Operationssaal bebrütet (Thurau, 2003). Das intraokulare Material wird auf sterile Objektträger aufgebracht und verschiedenen Färbemethoden wie der Gram-Färbung oder speziellerer Färbungen unterzogen (Durand, 2017). Durch die Färbung können eine erste Erregeridentifikation und die Unterscheidung verschiedener Zellarten zur Differentialdiagnose erfolgen (Sharma *et al.*, 1996). Die Gram-Färbung ist sensitiver als die Kultur und ermöglicht eine schnellere Diagnose von grampositiven/negativen Bakterien, Kokken usw. (Sharma *et al.*, 1996). Das Mikroskop ermöglicht eine quantitative Angabe von grampositiven/negativen Bakterien sowie Pilzen (Sharma *et al.*, 1996).
Es ist wichtig, dass das Material schnellstmöglich ins Labor gebracht wird, da die Zellen innerhalb weniger Minuten nach der Vitrektomie zu zerfallen beginnen und die Keimdiagnostik erschweren (Thurau, 2003).

Bei Verdacht auf endogene Endophthalmitis werden neben intraokularem Material auch Blutkulturen sowie Kulturen anderer Körpersekrete und Regionen entnommen, die als potenzielle Quellen für eine intraokulare Streuung in Frage kommen (Yonekawa *et al.*, 2011). Etwa drei Viertel der Patienten zeigen einen Erregernachweis in Blutkulturen und Glaskörperkulturen (Jackson *et al.*, 2003; Sadiq *et al.*, 2015).

Die häufigsten bakteriellen Erreger der Endophthalmitis sind koagulasenegative Staphylokokken, insbesondere Staphylococcus epidermidis (Durand, 2017). Sie machen etwa 70% der Fälle aus (Durand, 2013). Auch Staphylococcus aureus, Streptokokken, gramnegative Bakterien und Candida-Pilze können eine Endophthalmitis verursachen (Durand, 2013). Der Verlauf der Endophthalmitis hängt eng mit dem verursachenden Pathogen zusammen, wobei postoperative Endophthalmitis in der Regel eine bessere Prognose aufweist als andere Formen der Erkrankung (Durand, 2017).

1.3.3. Prävention der Endophthalmitis

Zur Prävention der Endophthalmitis werden verschiedene Maßnahmen ergriffen, wie z.B. die präoperative Anwendung von Povidon-Iod zur Desinfektion des Auges (Binder *et al.*, 1998) , die intrakamerale Antibiotikagabe während der Operation (Barry *et al.*, 2006), eine sorgfältige Wundversorgung (Taban *et al.*, 2005; Olson, 2004) und die Vermeidung von Kontaminationen (Schmitz *et al.*, 1999). Die genaue präventive Vorgehensweise kann je nach Art der Operation oder des Eingriffs variieren.

1.4. Vitrektomie

Die Vitrektomie ist ein mikrochirurgisches Operationsverfahren zur partiellen oder vollständigen Entfernung des Glaskörpers (Corpus vitreum) aus dem Augeninneren. Sie kommt vor allem bei Erkrankungen des hinteren Augenabschnitts zur Anwendung und ist die Grundlage für zahlreiche weitere chirurgische Eingriffe an der Netzhaut und dem Makulabereich.

Das heute etablierte Standardverfahren ist die sogenannte Pars-plana-Vitrektomie (ppV), bei der über die gefäßfreie Pars plana ein geschlossenes intraokulares System etabliert wird. Über feine transsklerale Zugänge können verschiedene mikrochirurgische Instrumente eingeführt werden, die ein gleichzeitiges Schneiden, Absaugen und Manipulieren intraokularer Strukturen ermöglichen (Machemer *et al.*, 1971).

Im Verlauf der Operation kann der Glaskörper entweder vollständig oder teilweise (sog. core vitrectomy) entfernt werden. Um den durch die Vitrektomie entstandenen Raum zu stabilisieren, werden je nach Indikation temporäre oder permanente Tamponaden wie Ringerlösung, Luft, expandierbare Gase (z. B. SF6, C3F8) oder Silikonöl eingesetzt (Kuhn & Aylward, 2014). Diese Tamponaden verhindern ein Kollabieren des Augapfels und unterstützen die Netzhautanlage postoperativ (Kuhn & Aylward, 2014).

Da der Brechungsindex des Glaskörpers dem von Wasser weitgehend entspricht, hat die Vitrektomie keine signifikanten Auswirkungen auf die optischen Eigenschaften des Auges (Sebag, 2004). Die Technik gilt als minimalinvasiv, insbesondere durch moderne Kaliber wie 25G oder 27G, und kann heute mit zusätzlichen Verfahren wie intraoperativer OCT oder 3D-Visualisierung kombiniert werden, um die Sicherheit und Effizienz weiter zu steigern (Dusova *et al.*, 2017).

1.4.1. Kapitel: Geschichte der Vitrektomie

Die Entwicklung der Vitrektomie markiert einen entscheidenden Fortschritt in der ophthalmologischen Chirurgie. Sie wurde als gezielte Technik zur Entfernung des Glaskörpers in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts etabliert und bildet heute einen wesentlichen Bestandteil der Behandlung komplexer Netzhauterkrankungen.

Einen bedeutenden Beitrag leistete David Kasner, der 1968 über die Entfernung prolabierten Glaskörpers mittels der sogenannten Open-Sky-Technik berichtete – einem Verfahren, das unter Verlust der Linse über eine großflächige Öffnung des Augapfels erfolgte (Blodi, 2016). Kasner konnte zeigen, dass eine komplette Entfernung des Glaskörpers vom Auge toleriert wird, was die Grundlage für weitere Entwicklungen schuf (Blodi, 2016).

Robert Machemer gilt als der eigentliche Begründer der modernen Vitrektomie (Machemer *et al.*, 1971). Ab 1970 entwickelte er zusammen mit Helmut Büttner ein geschlossenes chirurgisches System zur Glaskörperentfernung, das sowohl Aspiration als auch Schneidefunktion vereinte (Machemer *et al.*, 1971). Die sogenannte Pars-plana-Vitrektomie (ppV) erlaubte erstmals einen Zugang über die gefäßfreie Pars plana unter Erhalt der natürlichen Linse und führte zur Etablierung eines neuen Standards (Machemer *et al.*, 1971).

Heinz und O'Malley verbesserten 1972 das Verfahren weiter durch die Einführung der 3-Port-Technik mit 20-Gauge-Instrumenten, wodurch zusätzliche chirurgische Möglichkeiten geschaffen wurden (O'Malley & Heintz, 1975). Durch diese Entwicklungen konnte die Vitrektomie zunehmend zur Behandlung epiretinaler Gliosen, Makulaforamina und anderer Netzhauterkrankungen eingesetzt werden (Kelly & Wendel, 1991).

Bereits 1990 berichtete Peyman über ein miniaturisiertes Vitrektomiesystem zur Gewinnung von Glaskörper- und Netzhautbiopsien. Dies war ein früher Hinweis auf das Potenzial feinerer

Instrumente zur minimalinvasiven intraokularen Chirurgie (Peyman, 1990). Tatsächlich entwickelte Peyman bereits in den 1980er Jahren ein 23-Gauge-System, das primär in der pädiatrischen Augenchirurgie Anwendung fand (Peyman, 1990).

Ein weiterer Fortschritt war die Einführung der 25-Gauge-Transkonjunktivalen Nahtlosen Vitrektomie durch Fujii et al. im Jahr 2002. Dieses System ermöglichte einen deutlich kleineren Zugang ohne Sklerotomie mit Nähten und führte zu einer Reduktion von postoperativen Entzündungen und einer schnelleren Heilung (Fujii *et al.*, 2002). Die 25-Gauge-Technik etablierte sich rasch als Standard bei zahlreichen Indikationen und ebnete den Weg für weitere Miniaturisierungen (Mitsui *et al.*, 2016).

2005 stellte Claus Eckardt die 23-Gauge-Technik vor, die die Vorteile der 25-G-Technik mit erhöhter Stabilität und besserer Instrumentierbarkeit kombinierte (Eckardt, 2005). Die 23-Gauge-Vitrektomie ermöglichte eine größere Bandbreite chirurgischer Eingriffe durch erhöhte Lichtleitung und verbesserte Instrumentensteifigkeit bei gleichzeitig minimalinvasivem Zugang (Eckardt, 2005).

Mit der Weiterentwicklung von Instrumenten in feineren Kalibern (23G, 25G, 27G), der Einführung der Endoillumination und der kontaktlosen Weitwinkelbeobachtung wurde die Vitrektomie zunehmend präziser und weniger invasiv (Mohamed, *et al* ., 2017).

1.4.2. Kapitel: Entwicklung der 27-Gauge-Vitrektomie

Die 27-Gauge-Vitrektomie stellt die jüngste Weiterentwicklung in der mikroinvasiven Glaskörperchirurgie dar. Diese wurde erstmals 2010 durch Oshima et al. beschrieben (Oshima *et al.*, 2010). Das System ermöglichte eine weitere Miniaturisierung des chirurgischen Zugangs bei gleichzeitiger Reduktion des Gewebetraumas, was zu einer beschleunigten postoperativen Heilung und einer geringeren Inzisionsgröße führte. Aufbauend auf den Erfolgen der 23- und 25-Gauge-Techniken wurde dieses ultrafeine System entwickelt, um die Invasivität der Operation weiter zu reduzieren und gleichzeitig die chirurgische Präzision zu erhöhen.

Der Übergang zu kleineren Kalibern wurde durch technologische Fortschritte in der Endoillumination, Schneidleistung und Instrumentenstabilität ermöglicht (Osawa & Oshima, 2014). Bereits in den frühen 2000er-Jahren wurden 27-Gauge-Nadeln für postoperative

Eingriffe wie Flüssig-Flüssig- oder Flüssig-Luft-Austausch verwendet – ohne relevante Komplikationen in Bezug auf Wundheilung oder Hypotonie (Osawa & Oshima, 2014).

Die eigentliche Entwicklung eines vollwertigen 27-Gauge-Vitrektomie-Systems begann mit der Einführung leistungsstarker Lichtquellen wie Xenon-, LED- und Quecksilberdampflampen, die auch bei kleineren optischen Fasern eine ausreichende Endoillumination ermöglichten (Osawa & Oshima, 2014). In Zusammenarbeit mit Unternehmen wie DORC (Dutch Ophthalmic Research Center, Zuidland, Niederlanden) und Synergetics (Bausch and Lomb, Rochester, Vereinigte Staaten) wurde 2008 ein erster pneumatischer 27-Gauge-Vitrektom entwickelt, der bereits bei 1.000–1.500 Schnitten pro Minute eine vergleichbare Leistung zum 25-Gauge-System bot (Osawa & Oshima, 2014).

Die Markteinführung eines Hochgeschwindigkeits-Vitrektoms mit 6.000 Schnitten/min durch DORC (Dutch Ophthalmic Research Center, Zuidland, Niederlanden) und eines 7.500-cpm-Systems (Constellation UltraVit 27+) von Alcon (Freiburg, Schweiz) stellte einen weiteren Meilenstein dar (Osawa & Oshima, 2014). Letzteres basiert auf einem dual-pneumatischen Antrieb mit kontrollierbarem Duty-Cycle und bietet in der "Shave"-Funktion eine äußerst präzise Dissektion von Membranen bei minimaler Traktion (Watanabe *et al.*, 2016).

Ein bedeutender Vorteil des 27-Gauge-Systems liegt in der vereinfachten chirurgischen Technik: Die vertikale, einzeitige Insertion der Sonden ermöglicht eine selbstabdichtende Sklerotomie – Nähte sind häufig nicht erforderlich, eine postoperative Hypotonie tritt nur selten auf (Saleh *et al.*, 2020) . Die kleinere Kalibergröße sorgt zudem für eine minimale Bindehautmanipulation und schnellere postoperative Genesung (Kazuhito *et al.*, 2017; Charles *et al.*, 2020).

Trotz anfänglicher Bedenken hinsichtlich der Fragilität wurden Instrumente mit erhöhter Steifigkeit durch die Entwicklung von Verstärkungshülsen (z. B. konische Stiffening Sleeves) und neue Materialien optimiert (Scott & Weng, 2016). Die geringere Steifigkeit im Vergleich zum 25-Gauge-System kann bei Bedarf sogar als Vorteil genutzt werden, z. B. für das präzise „Picken“ von Membranen oder das Arbeiten in engen subretinalen Räumen (Khan *et al.*, 2016).

Die klinischen Indikationen der 27-Gauge-Vitrektomie haben sich seither erheblich erweitert (Kazuhito *et al.*, 2017). Ursprünglich hauptsächlich bei Makulopathien wie epiretinalen Membranen und Makulaforamina eingesetzt, kommt das System heute auch bei rhegmatogener

Netzhautablösung, Glaskörperblutungen und moderater proliferativer diabetischer Retinopathie zum Einsatz (Rizzo *et al.*, 2017; Charles *et al.*, 2020).

Insgesamt markiert die 27-Gauge-Vitrektomie einen weiteren Fortschritt in der minimalinvasiven Augenchirurgie. Es ist zu erwarten, dass diese Technik in Zukunft eine noch breitere Anwendung in der Behandlung vitreoretinaler Erkrankungen finden wird (Khan *et al.*, 2016; Mitsui *et al.*, 2016; Scott & Weng, 2016).

1.5. Therapie der Endophthalmitis

Die Endophthalmitis stellt eine ophthalmologische Notfallsituation dar, die eine sofortige diagnostische Abklärung und therapeutische Intervention erfordert (Durand, 2013). Die Wahl der Therapie richtet sich nach der Ätiologie – ob exogen oder endogen – sowie dem klinischen Verlauf und der Sehschärfe bei Diagnosestellung (Durand, 2017).

Zu Beginn der Behandlung wird eine empirische intravitreale Antibiotikatherapie eingeleitet, ohne auf die mikrobiologischen Ergebnisse zu warten (The European Society for Cataract and Refractive Surgeons, 2013). In der Regel kommen dabei Vancomycin zur Abdeckung grampositiver Erreger sowie Ceftazidim oder Amikacin gegen gramnegative Keime zum Einsatz (Callegan *et al.*, 2007). Diese Therapieform zielt darauf ab, die häufigsten Erreger der postoperativen Endophthalmitis rasch und effektiv zu bekämpfen (The European Society for Cataract and Refractive Surgeons, 2013).

Eine häufig genutzte Methode, insbesondere bei milderen Verläufen oder bei Patienten mit erhaltener Sehschärfe, ist die sogenannte "Tap-and-Inject"-Technik. Dabei wird unter sterilen Bedingungen zunächst eine diagnostische Probenentnahme ("Tap") aus dem Glaskörper oder der Vorderkammer durchgeführt, um mikrobiologisches Material zu gewinnen (The European Society for Cataract and Refractive Surgeons, 2013). Direkt im Anschluss erfolgt die intravitreale Injektion ("Inject") von Antibiotika, häufig unter Verwendung derselben Punktionsstelle. Diese minimalinvasive Technik erlaubt sowohl eine schnelle therapeutische Intervention als auch die Gewinnung diagnostisch relevanter Proben, ohne sofort eine Vitrektomie durchführen zu müssen (The European Society for Cataract and Refractive Surgeons, 2013). Der Eingriff erfolgt meist mit einer feinen Kanüle (23 bis 27 Gauge) über die Pars plana, wobei eine lokale Betäubung ausreichend ist. Die Tap-and-Inject-Methode ist

insbesondere im frühen Stadium der Erkrankung wirksam und wird auch empfohlen, wenn die Sehkraft zum Zeitpunkt der Diagnose besser als Lichtwahrnehmung ist (*Endophthalmitis Vitrectomy Study Group*, 1995).

Bei Patienten mit stark eingeschränkter Sehschärfe – insbesondere bei Wahrnehmung von Licht oder schlechter – wird häufig eine primäre pars-plana-Vitrektomie (PPV) durchgeführt. Diese chirurgische Maßnahme ermöglicht die Entfernung infektiösen Glaskörpers, verbessert die Verteilung intravitrealer Medikamente und schafft gleichzeitig diagnostisches Material für eine gezielte mikrobiologische Untersuchung (Callegan *et al.*, 2007). Studien wie die Endophthalmitis Vitrectomy Study (EVS) haben gezeigt, dass eine frühzeitige operative Intervention bei schlechter Ausgangssehschärfe prognostisch günstig sein kann (*Endophthalmitis Vitrectomy Study Group*, 1995). Durch die Entwicklung der Vitrektomie zeigen neuere retrospektive Studien jedoch bessere visuelle Ergebnisse bei weiter verbreitetem Einsatz einer vollständigen Vitrektomie, selbst bei Patienten mit einer Ausgangssehschärfe besser als Lichtwahrnehmung (Dib *et al.*, 2020; Kim *et al.*, 2022; Panahi *et al.*, 2023).

Die Rolle einer systemischen Antibiotikatherapie wird unterschiedlich bewertet. Während frühere Studien keinen klaren Nutzen nachweisen konnten (*Endophthalmitis Vitrectomy Study Group*, 1995), wird sie in der klinischen Praxis vor allem bei endogener Endophthalmitis angewendet (Sadiq *et al.*, 2015). In diesen Fällen erfolgt eine Behandlung mit intravenös verabreichten Breitspektrumantibiotika, angepasst an die vermuteten oder identifizierten Erreger (Yonekawa *et al.*, 2011).

Zusätzlich zur intravitrealen und systemischen Therapie kommen topische antibiotische und entzündungshemmende Augentropfen zur Anwendung. Auch subkonjunktivale Injektionen von Antibiotika werden ergänzend genutzt (Smiddy *et al.*, 2005). In manchen Fällen wird intravitreal Dexamethason verabreicht, um die intraokulare Entzündungsreaktion zu modulieren (*Endophthalmitis Vitrectomy Study Group*, 1995). Der Einsatz von Kortikosteroiden bleibt jedoch sorgfältig abzuwägen, insbesondere bei Pilzinfektionen (Kain, H. L., 1997).

Die Behandlung der endogenen Endophthalmitis erfordert eine umfassende systemischen Diagnostik (Sadiq *et al.*, 2015). Hierzu zählen Blutkulturen sowie Urin- und Liquoranalysen, um die Infektionsquelle zu identifizieren (Sadiq *et al.*, 2015). Die intravitreale Therapie wird

durch eine systemische Antibiotikabehandlung ergänzt, die auf den vermuteten Erreger und den Primärherd abgestimmt ist (Sadiq *et al.*, 2015).

Ein frühzeitiger Behandlungsbeginn ist in allen Fällen entscheidend, um irreversible Schäden am Auge zu vermeiden. Die aktuellen Leitlinien, insbesondere die Empfehlungen der European Society of Cataract and Refractive Surgeons (ESCRS), aber auch deutsche Leitlinie (Deutsche Geselschaft für Krankenhaushygiene, 2003; Deutsche Gesellschaft für Intraokularimplantate und Implantatchirurgie e.V., 2005) bieten eine fundierte Grundlage für das therapeutische Vorgehen bei dieser schwerwiegenden Erkrankung.

In meiner Dissertation werde ich untersuchen, ob die neuesten Entwicklungen in der Vitrektomietechnik positive Auswirkungen auf die visuelle Prognose von Patienten mit Endophthalmitis haben können.

2. Zielsetzung der Arbeit

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Untersuchung der Effektivität und Sicherheit der 27-Gauge-Pars-plana-Vitrektomie in der Behandlung der akuten postoperativen Endophthalmitis. Im Mittelpunkt steht die Frage, ob die minimalinvasive 27-Gauge-Technik im Vergleich zu etablierten Operationsverfahren zu besseren funktionellen und anatomischen Ergebnissen führt.

Hierzu werden präoperative Befunde, intraoperative Parameter sowie postoperative Verläufe analysiert und mit einer Kontrollgruppe verglichen. Besonderes Augenmerk gilt dem funktionellen Outcome, insbesondere der Entwicklung der Sehschärfe, dem Auftreten postoperativer Komplikationen sowie der Notwendigkeit von Reinterventionen.

Darüber hinaus soll untersucht werden, inwieweit die geringere Invasivität der 27-Gauge-Vitrektomie zu einer reduzierten inflammatorischen Reaktion beitragen und somit den klinischen Verlauf positiv beeinflussen kann.

Die Ergebnisse dieser Arbeit sollen einen Beitrag zur Optimierung therapeutischer Strategien bei der akuten postoperativen Endophthalmitis leisten und die Entscheidungsfindung im klinischen Notfallmanagement evidenzbasiert unterstützen.

3. Material und Methoden

3.1. Patienten

In dieser Studie wurde eine retrospektive Analyse der medizinischen Datenbank der Augenklinik des Sankt Martinus-Krankenhauses in Düsseldorf durchgeführt, um Patienten mit operativ versorgter Endophthalmitis zu identifizieren. Die Datenerhebung beginnt mit dem Jahr 2008, dem Jahr in dem die transkonjunktivale Vitrektomie in der Versorgung der postoperativen Endophthalmitis mit Einführung der 23 G Vitrektomie etabliert wurde und endet mit dem Design Freeze im Jahr 2021. Als Suchkriterium wurden die relevanten ICD-Codes ICD-10 Code (H44.0 und H44.1) verwendet.

Die Erhebung ergab einen Datensatz von 65 Patienten die im Zeitraum zwischen 2015, dem Jahr der Implementierung der 27 G Vitrektomie an der Klinik, und 2021 mit der Verdachtsdiagnose „postoperative Endophthalmitits“ notfallmäßig in unserer Ambulanz vorstellig und am selben Tag operativ durch eine 27 G Vitrektomie versorgt wurden. In dem Intervall wurden auch 11 Patienten vorgestellt, die mit derselben Verdachtsdiagnose stationär aufgenommen wurden, bei denen sich dieser Verdacht jedoch prä- oder intraoperativ nicht bestätigte, so dass diese nicht in die Analyse integriert wurden. Bei diesen Patienten lag eine Glaskörperbutung, ein nicht-Infektiöser Reizzustand oder eine Uveitis vor.

Als Kontrollgruppe dienen 53 Augen von Patienten, die zwischen 2008 und 2018 mit postoperativer Endophthalmitis aufgenommen wurden und bei denen eine 23 G Vitrektomie durchgeführt wurde.

Die Datenerhebung wurde durch Überprüfung der archivierten Akten durchgeführt. Bei Patienten mit fehlendem Follow-Up von mindestens 6 Wochen wurde Kontakt mit dem weiterbehandelnden Augenarzt aufgenommen. Daraufhin erfolgte entweder die Übernahme der durch den Augenarzt ermittelten Follow Up-Daten oder die Wiedereinbestellung der Patienten zur Erhebung eigener klinischer Befunde. Die Patienten ohne 6 wochigen Follow-Ups wurde aus der Studie ausgeschlossen. Patienten ohne ein mindestens sechswöchiges Follow-up wurden aus der Studie ausgeschlossen.

Tabelle 1: Baseline-Charakteristika der Studienpopulation mit akuter postoperativer Endophthalmitis, getrennt nach 27-Gauge- und 23-Gauge-Pars-Plana-Vitrektomie.

	27 Gauge Vitrektomie			23 Gauge Vitrektomie		
Zahl der Patienten mit Endophthalmitis	65			53		
Zahl der Patienten mit Follow-Up ≥ 6 Wochen	50			35		
Geschlecht (m/w)	35 w	15 m		17 w	18 m	
Alter (Jahre)	Min 52	Mean 76,6	Max 97	Min 54	Mean 75,5	Max 93
Dauer der Symptome (Tage)	Min 0	Mean 1,66	Max 6	Min 0	Mean 1,31	Max 4
Intervall Primäroperation und Vitrektomie (Tage)	Min 0	Mean 4,8	Max 29	Min 0	Mean 6,17	Max 58

3.2. Diagnostik / Klinische Untersuchungen

Bei der Endophthalmitis handelt es sich um einen akuten ophthalmologischen Notfall, der schnellstmöglich stationär behandelt werden soll. Im Rahmen der Patientenaufnahme haben wir folgende Untersuchungen durchgeführt:

- Augenärztliche Anamnese
- Bestimmung des subjektiven Fernvisus
- Applanationstonometrie,
- Untersuchung des vorderen Augenabschnitts (Spaltlampe)
- Funduskopie (indirekte Ophthalmoskopie in Mydiasis)
- Sonographische Untersuchung

Die Augenanamnese umfasste die aktuellen Beschwerden, wobei bei der Auswertung besondere Aufmerksamkeit auf die Dauer der Symptomatik, also das Intervall zwischen erstmaligem Auftreten von Visusminderung bzw. Schmerzen und dem Zeitpunkt der notfallmäßig durchgeführten Vitrektomie gelegt wurde. Bei der Anamnese wurde speziell auch nach der Art des letzten und somit komplikativen operativen Eingriffs sowie dem gefragt. Bei der Evaluation der Vorderabschnittsbefunde konzentrierten wir uns auf das Vorhandensein

eines Zellreizes, eines Hypopyons oder einer Fibrinreaktion. Die Untersuchung des Fundus war aufgrund des Vorderkammerreizes und der Glaskörperverdichtungen nach Aktenlage häufig erschwert, so dass in diesen Fällen mittels Sonographie andere mögliche Pathologien ausgeschlossen wurden. Der Visus wurde mittels Snellen-Tafeln erfasst und in die LogMAR-Skala umgerechnet. (s. Tabelle 2).

Tabelle 2: Konversionstabelle von Snellen-Visus zu logMAR.

Snellen-Visus	**Log-Mar Skala**
Nulla Lux (n.l.)	3
Lichtscheinwahrnehmung (LSW)	2.1
Handbewegung (HBW)	2
Fingerzälen (FZ)	1.9
0.03	1.5
0.05	1.3
0.066	1.2
0.08	1.1
0.1	1
0.125	0.9
0.16	0.8
0.2	0.7
0.25	0.6
0.32	0.5
0.4	0.4
0.5	0.3
0.63	0.2
0.8	0.1
1.0	0

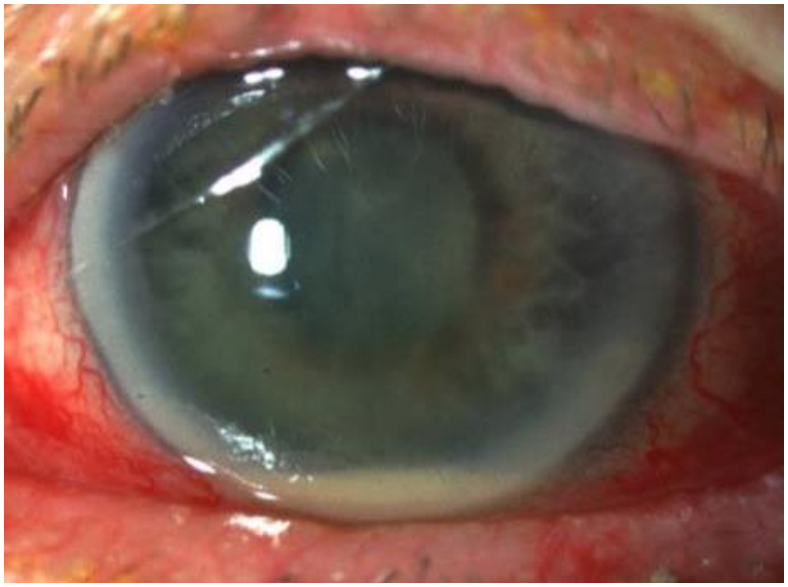


Abbildung 1: Darstellung eines Hypopyons sowie einer ausgeprägten konjunktivalen Hyperämie bei akuter postoperativer Endophthalmitis.

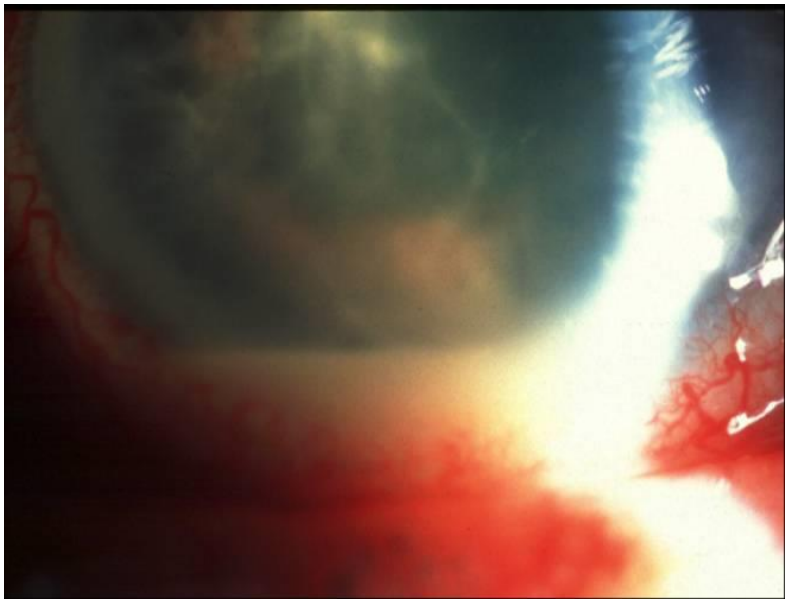


Abbildung 2: Zusätzlich sichtbare fibrinöse Reaktion in der Vorderkammer.

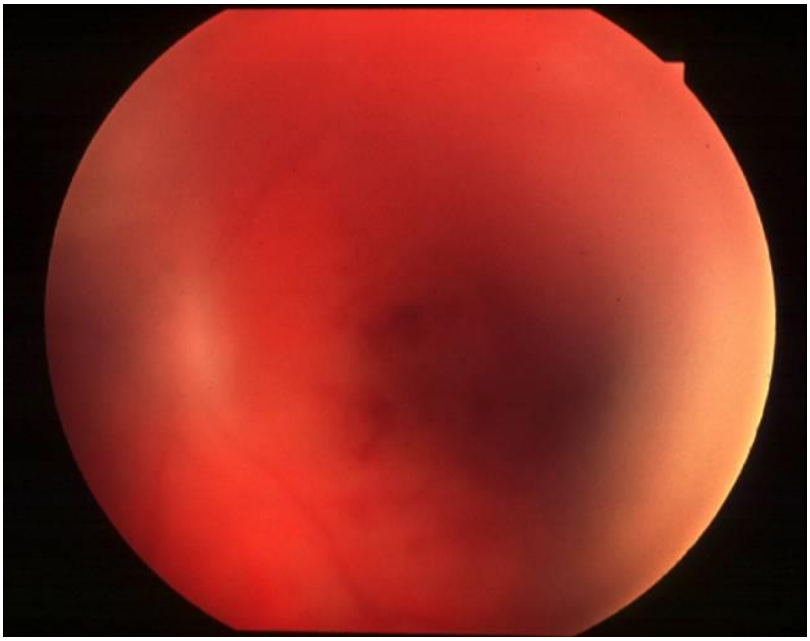


Abbildung 3: Stark eingeschränkter Funduseinblick infolge ausgeprägter Glaskörperinfiltration.

Um in unsere Untersuchungen eingeschlossen zu werden, mussten neben einem ausführlichen Operationsbericht nach Aktenlage vollständige Untersuchungsbefunde zu folgenden Zeitpunkten vorhanden sein:

- Präoperativ bei Erstvorstellung mit der Diagnose „postoperative Endophthalmitis“
- Erster postoperativer Tag
- Entlassungstag
- Follow-Up Untersuchung im Intervall von mindestens sechs Wochen

3.3. Chirurgie

Nach fachärztlicher Diagnosestellung wurde die Indikation zur 27-Gauge-Vitrektomie gestellt und die Patienten stationär aufgenommen. Zur Vorbereitung der Operation wurden alle Patienten in der Prämedikationsambulanz bzw. dem diensthabenden Anästhesisten vorgestellt. Im Anschluss an die Vorbereitung der Vollnarkose wurden die Patienten für den nächsten freiwerdenden Operationssaal vorgesehen und nach Freigabe durch Anästhesie und Operateur dahin überstellt. Nach Datenlage fanden sämtliche Operationen in Vollnarkose an demselben Tag innerhalb eines Zeitfensters von wenigen Stunden statt.

Die umgehende Operation zur Behandlung einer akuten Endophthalmitis dient einerseits der zügigen Entfernung von möglichst viel infektiösem Substrat, also einer gründlichen Befreiung des Augeninneren von infiziertem Glaskörper und Kammerwasser, um die Bildung von

gewebeschädigenden Toxinen zu unterbinden. Auf der anderen Seite dient die Operation dazu, eine möglichst große Menge an Glaskörpermaterial zu gewinnen, um im Rahmen von mikrobiologischen Analysen Informationen über das Erregerspektrum und möglicher Antibiotikaresistenzen zu erhalten. Drittes Ziel ist es, mit der Gabe von intravitrealen Medikamenten die antibiotische Therapie einzuleiten.

Die Operation beginnt mit dem sterilen Abdecken des Situs, der Eröffnung der Inzisionsfolie und dem Einsetzen des Lidsperrers. Nach Parazentese wird Kammerwasser zur Probengewinnung aspiriert. Zur Verbesserung des intraoperativen Einblicks wird die Vorderkammer ausgiebig gespült und adhärentes Fibrinmaterial gegebenenfalls mit einer Krokodilpinzette manuell entfernt.
Danach werden drei 27-G-Trokare eingesetzt, um eine Gewebeentnahme mit dem Vitrektom und einer Spritze durchzuführen. Die Proben werden jeweils für anerob/aerob und Vorderkammer/Glaskörper gekennzeichnet und ins Labor gebracht.
Eine gründliche Kern-Vitrektomie wird durchgeführt, um möglichst viel infizierten Glaskörper zu entfernen und eine Verbesserung des Einblickes zu generieren. Dabei ist zu beachten, dass eine zu akribische Aufarbeitung des peripheren Glaskörpers und eine zu forcierte, induzierte hintere Glaskörperabhebung das Gewebe schädigen und somit das Potenzial für anschließende Komplikationen wie sekundäre Netzhautabhebungen erhöhen können.
Anschließend wird eine intravitreale Injektion von je 0,2 ml Trägerlösung von Vancomycin (1 mg), Ceftazidim (2,25 mg) und 0,1 ml Dexamethason (0,4 mg) durchgeführt, um eine antibiotische und entzündungshemmende Wirkung zu erzielen. Die Trokare werden entfernt, und der Bulbus normoton gehalten.
Schließlich wird ein Verband mit Floxal AS und Ultracortenol AS angelegt, um die Heilung des Auges zu unterstützen.
In unserer Studie analysierten wir die klinischen Ergebnisse nach einer 27-Gauge-pars-plana-Vitrektomie zur Behandlung der postoperativen Endophthalmitis. Als Kontrollgruppe dienen Patienten, die alternativ mittels einer 23-Gauge-pars-plana-Vitrektomie behandelt wurden. Für sämtliche 27-Gauge-Operationen wurde das Phako-Vitrektomie System EVA der Firma D.O.R.C. (Dutch Ophthalmic Research Center, Zuidland, Niederlanden) verwendet. Für den überwiegenden Teil Fälle der Kontrollgruppe wurde das 23-Gauge-Setup der Assocoiate-Maschine (Dutch Ophthalmic Research Center, Zuidland, Niederlanden) eingesetzt.

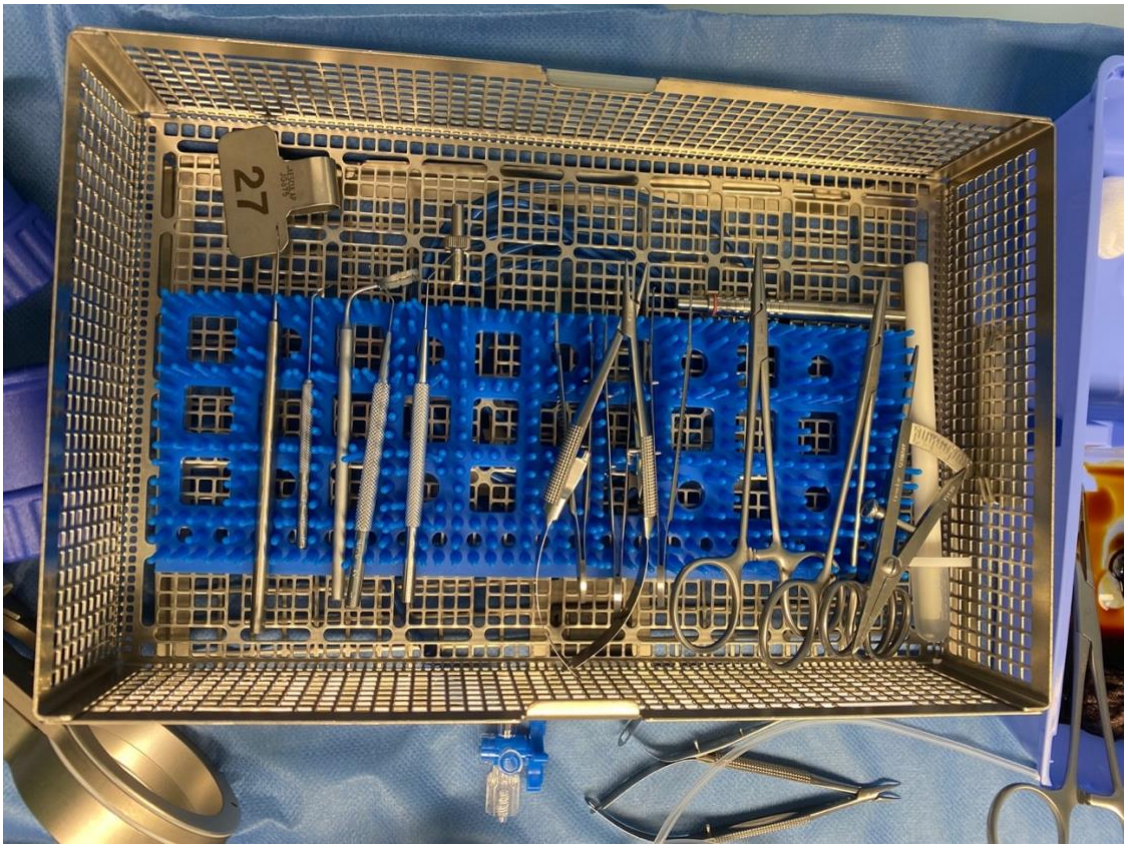


Abbildung 4: Übersicht der bei der 27-Gauge-Pars-Plana-Vitrektomie (27 G ppV) verwendeten chirurgischen Instrumente.

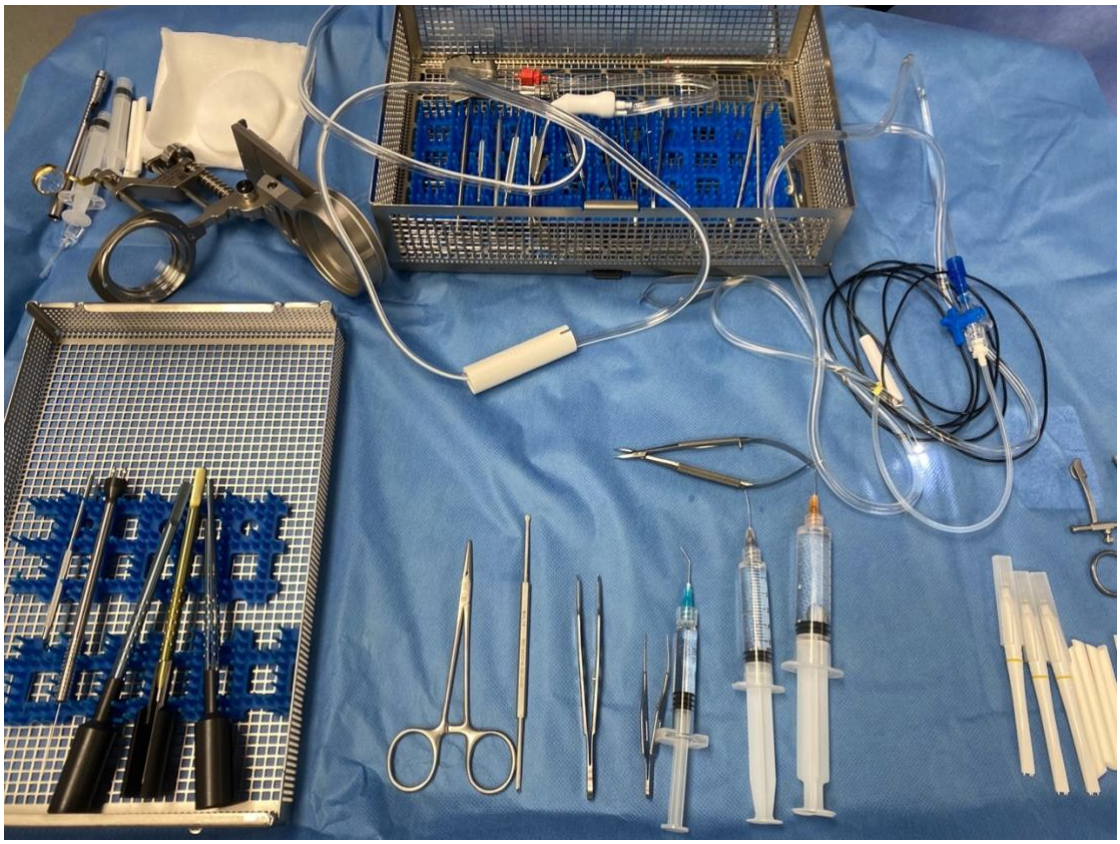


Abbildung 5: Instrumententisch für die 27-Gauge-Pars-Plana-Vitrektomie mit BIOM-System (links oben) und 27-Gauge-Trokaren (rechts unten).



Abbildung 6: Standardeinstellungen des Operationssystems EVA (Firma DORC – Dutch Ophthalmic Research Center, Zuidland, Niederlande) für die 27-Gauge-Pars-Plana-Vitrektomie.

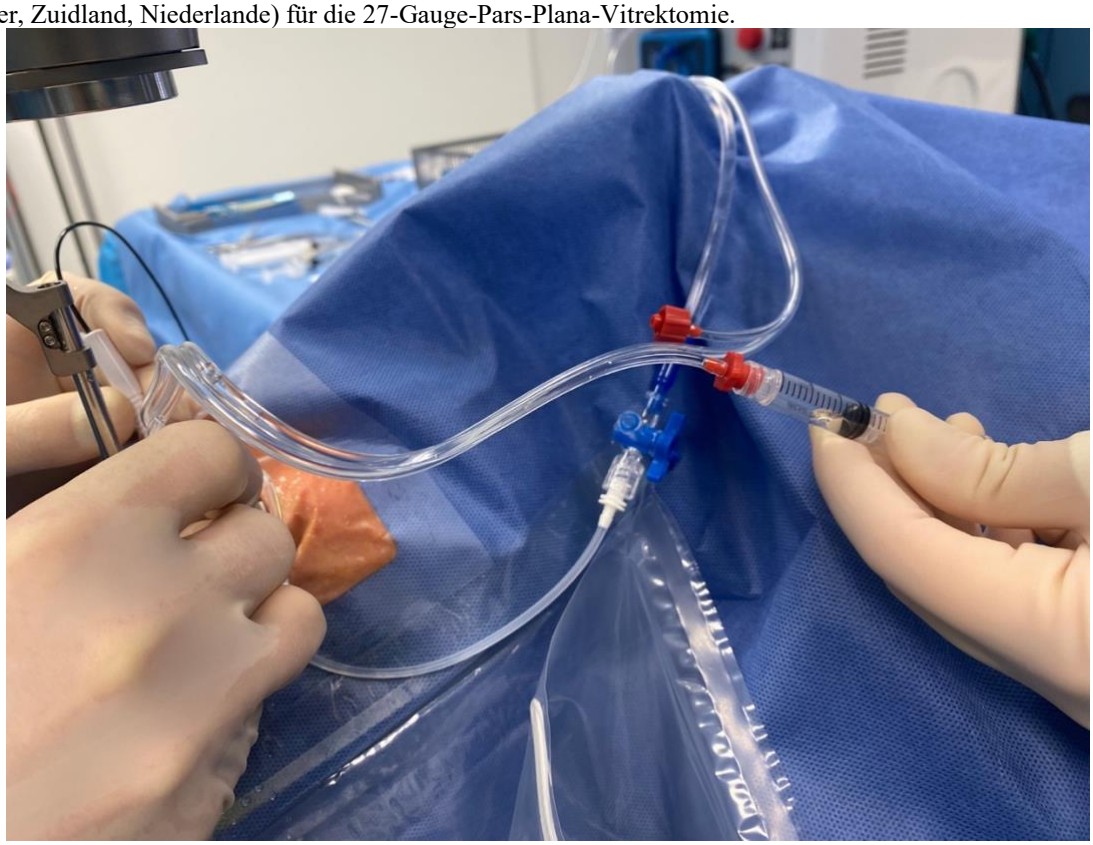


Abbildung 7: Entnahme einer Vorderkammerprobe im Rahmen einer 27-Gauge-Pars-Plana-Vitrektomie bei einem Patienten mit akuter postoperativer Endophthalmitis.

3.4. Follow-up-Untersuchungen

Nach Durchführung der Vitrektomie wurden die Patienten täglich bis zum Zeitpunkt ihrer Entlassung überwacht. Es wurde empfohlen, dass die Patienten sich nach Entlassung an einen niedergelassenen Augenarzt wenden sollten. In einigen Fällen blieben die Patienten weiterhin in unserer medizinischen Betreuung, beispielsweise bei einer Anti-VEGF-Therapie oder wenn eine Operation am anderen Auge geplant war. Bei Patienten, die keine postoperativen Untersuchung in unserer Einrichtung durchlaufen haben, haben wir Kontakt zu ihren niedergelassenen Augenärzten aufgenommen.

In unserer Studie wurde ein Mindestzeitraum für das Follow-up von 6 Wochen festgelegt. Bei 15 Patienten, die eine 27-Gauge-pars-plana-Vitrektomie erfahren haben, und bei 18 Patienten, die eine 23-Gauge-pars-plana-Vitrektomie erfahren haben, war ein Follow-up von 6 Wochen nicht möglich, und diese Patienten wurden vom Studienkollektiv ausgeschlossen.

3.5. Statistik

Die statistische Auswertung wurde mithilfe des Statistikprogramms SPSS (Version 25.0, IBM Corp, Armonk, NY, USA) durchgeführt. Die Datenerfassung erfolgte in einer Excel-Tabelle (Version 16.0, Microsoft Corp., Redmond, WA, USA), welche anschließend in eine SPSS-Tabelle umformatiert wurde. Die Programmiersprache R V3.2.2 (R Foundation for Statistical Computing, Wien, Österreich) wurde verwendet. Zur Berechnung von Mittelwert, Standardabweichung, Median, Maximum und Minimum wurden deskriptive Statistiken herangezogen. Die Analyse der visuellen Ergebnisse in logMAR erfolgte unter Berücksichtigung der nicht normalen Datenverteilung. Der Vergleich der logMAR-Werte zwischen der Studiengruppe und der Kontrollgruppe wurde mittels Mann-Whitney-U-Test durchgeführt. Korrelationen zwischen logMAR und klinischen Parametern wurden mithilfe der Spearman-Rangkorrelation analysiert. Bei Vergleichen von mehr als zwei unabhängigen Gruppen kam der Kruskal-Wallis-Test zum Einsatz. Das Signifikanzniveau wurde auf $p < 0,05$ festgelegt.

3.6. Sprachliche Korrektur

Für die sprachliche Korrektur wurde ChatGPT, Version 4o, (OpneAI, San Francisco, Vereinigte Staaten) in beratender Funktion verwendet.

4. Ergebnisse

4.1. Präoperative Befunde

4.1.1. Alter und Geschlecht

Die Studiengruppe umfasste insgesamt 50 Patientinnen und Patienten, die die Einschlusskriterien erfüllten. Davon waren 15 männlich (30 %) und 35 weiblich (70 %). Das durchschnittliche Alter der weiblichen Teilnehmenden betrug 76,3 Jahre, während das der männlichen 76,7 Jahre lag. Das Altersspektrum der gesamten Kohorte reichte von 52 bis 97 Jahren. Der Median lag bei den Frauen bei 78 Jahren und bei den Männern bei 79 Jahren.

Die Kontrollgruppe setzte sich aus insgesamt 35 Personen zusammen, von denen 17 weiblich (49 %) und 18 männlich (51 %) waren. Das durchschnittliche Alter der Frauen lag bei 77,6 Jahren, während es bei den Männern 71,0 Jahre betrug. Das Alter der Teilnehmenden in dieser Gruppe reichte von 54 bis 93 Jahren. Der Median betrug bei den Frauen 78 Jahre und bei den Männern 70 Jahre.

In der 27 G-Gruppe betrug der durchschnittliche Nachbeobachtungszeitraum 36,5 Wochen, mit einer Spannweite von 6 bis 210 Wochen und einem Median von 16,5 Wochen. Aufgrund unvollständiger Follow-up-Daten mussten 11 Patienten ausgeschlossen werden, sodass die finale Fallzahl bei 50 lag. In der Kontrollgruppe (23G-ppV) konnten bei 35 von 46 Patienten Nachuntersuchungen durchgeführt werden, wodurch ebenfalls 11 Fälle ausgeschlossen wurden.

4.1.2. Visus bei Erstvorstellung

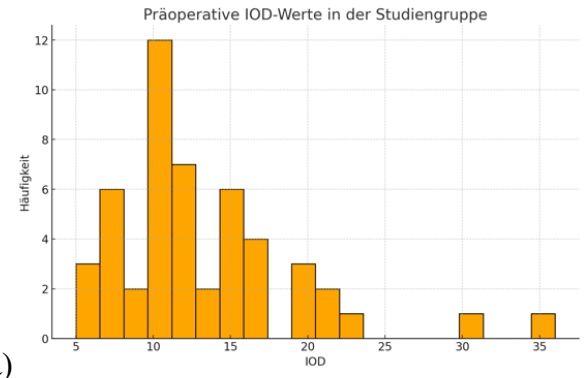
In der Studiengruppe betrug der durchschnittliche Ausgangsvisus 1,9 logMAR mit einer Standardabweichung von 0,4, während die Spannweite von 0,2 bis 2,1 logMAR reichte. Der Mittelwert in der Kontrollgruppe lag bei 2,0 logMAR, die Standardabweichung betrug 0,3. Der Bereich der Visuswerte erstreckte sich von 0,6 bis 2,1 logMAR, wobei auch hier ein Großteil der Patienten stark sehbeeinträchtigt war.

4.1.3. Präoperative Augendruckwerte

Die präoperativen intraokularen Druckwerte (IOD) in der Studiengruppe wiesen eine Spannweite von 5 bis 36 mmHg auf. Der Mittelwert lag bei 13,2 mmHg, mit einer

Standardabweichung von 7,1 mmHg, was auf eine moderate Streuung der Messwerte hinweist. Der Median betrug 12 mmHg. Diese Verteilung deutet auf eine relativ homogene Druckverteilung mit wenigen Ausreißern im oberen Bereich hin. In der Kontrollgruppe lagen die präoperativen Augendruckwerte zwischen 4 und 37 mmHg. Der Mittelwert betrug 16,0 mmHg bei einer Standardabweichung von 6,6 mmHg. Der Medianwert lag bei 14 mmHg, Im Vergleich zur Studiengruppe wies die Kontrollgruppe insgesamt höhere präoperative Druckwerte auf.

a)



b)

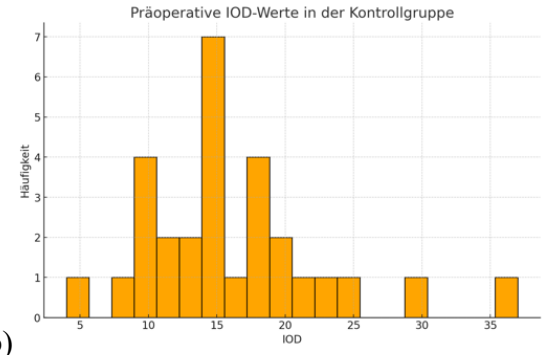


Abbildung 8: a, b: Verteilung der präoperativen intraokularen Druckwerte in der Studien- und Kontrollgruppe.

4.1.4. Primäre Operation

Tabelle 3: Quanitative Auflistung der Primäroperationen mit Indikation und entsprechender Sekundärversorgung

Grunderkrankung	**Primäre Operation**	**27 G ppV**	**23 G ppV**
Katarakt	Phako/HKL	25	17
fAMD/DMÖ, MÖ nach ZVV, MÖ bei Uveitis	IVOM	12	6
Epiretinale Gliose	Vitrektomie	5	0
Sekundäre IOL Implatation	Vitrektomie, HKL-ex, Artisan	1	0
Komplikative Phako/HKL	Vitrektomie/Artisan	1	2
Amotio	Vitrektomie	1	3
Massenblutung	Vitrektomie	1	0
GK-Blutung/GK Tübung	Vitrektomie	0	1
Katarakt + Makulaerkrankung	Phako/HKL + IVOM	1	0
Katarakt + epiretinale Gliose	Phako/HKL + Vitrektomie	1	1
Katarkt + Glaukom	Phako/HKL + Trabektom	0	2
Z.n. Vitroretinale Chirurgie nach Amotio	Vitrektomie + Öl-Explantation	0	1
Andere Grunderkrankung	HKL-Explantation, Phako/HKL+Vitrektomie,	1	2

In der Tabelle 3 sind die Primäroperationen und die in deren Rahmen durchgeführten Operationen aufgeführt. Es wird quantitativ gezeigt, wie viele Fälle jeweils operativ versorgt wurden und zwischen Studien- und Kontrollgruppe differenziert.

In beiden Gruppen stellten Kataraktoperationen die häufigste Primäroperation dar. In der 27-Gauge-ppV-Gruppe traten insgesamt 25 Fälle auf, was 50 % der Patientenkohorte entsprach. In der 23-Gauge-ppV-Gruppe wurden 17 Fälle registriert, was einem Anteil von 49 % entsprach. Die zweithäufigste Ursache in beiden Gruppen war eine IVOM-Therapie bei Makulaerkrankungen. Dabei wurden in der 27 G-Gruppe 12 Fälle (24 %) beobachtet, in der 23 G-Gruppe hingegen nur 6 Fälle (17 %).

Bei weiteren Grunderkrankungen zeigten sich Unterschiede zwischen den Gruppen. In der 27 G-Gruppe war bei fünf Patienten (10 %) eine epiretinale Gliose dokumentiert, während in der 23 G-Gruppe lediglich ein Patient (2,85 %) hiervon betroffen war. Sekundäre IOL-Implantationen waren in ein Fall (2%) der 27 G-Gruppe ursächlich, während in der 23 G-Gruppe keine entsprechenden Fälle auftraten.

Kombinierte Eingriffe, wie beispielsweise Kataraktoperationen mit epiretinaler Gliose, wurden in beiden Gruppen jeweils einmal beobachtet. Auch Kataraktoperationen bei Patienten mit Glaukom wurden nur in der 23 G-Gruppe dokumentiert (zwei Fälle, 6 %), in der 27 G-Gruppe hingegen nicht.

Die operative Versorgung einer Amotio retinae wurde in der 23 G-Gruppe bei drei Patienten als Ursache identifiziert, während in der 27 G-Gruppe in einem Fall als primär versorgte Grunderkrankung dokumentiert wurde. Glaskörperblutungen oder -trübungen traten in beiden Gruppen mit je einem Fall auf (2 % in der 27 G-Gruppe und 3 % in der 23 G-Gruppe).

Unter der Kategorie „Andere Grunderkrankung“ wurden in der 27 G-Gruppe ein Fall (2 %) und in der 23 G-Gruppe zwei Fälle (5,7 %) registriert.

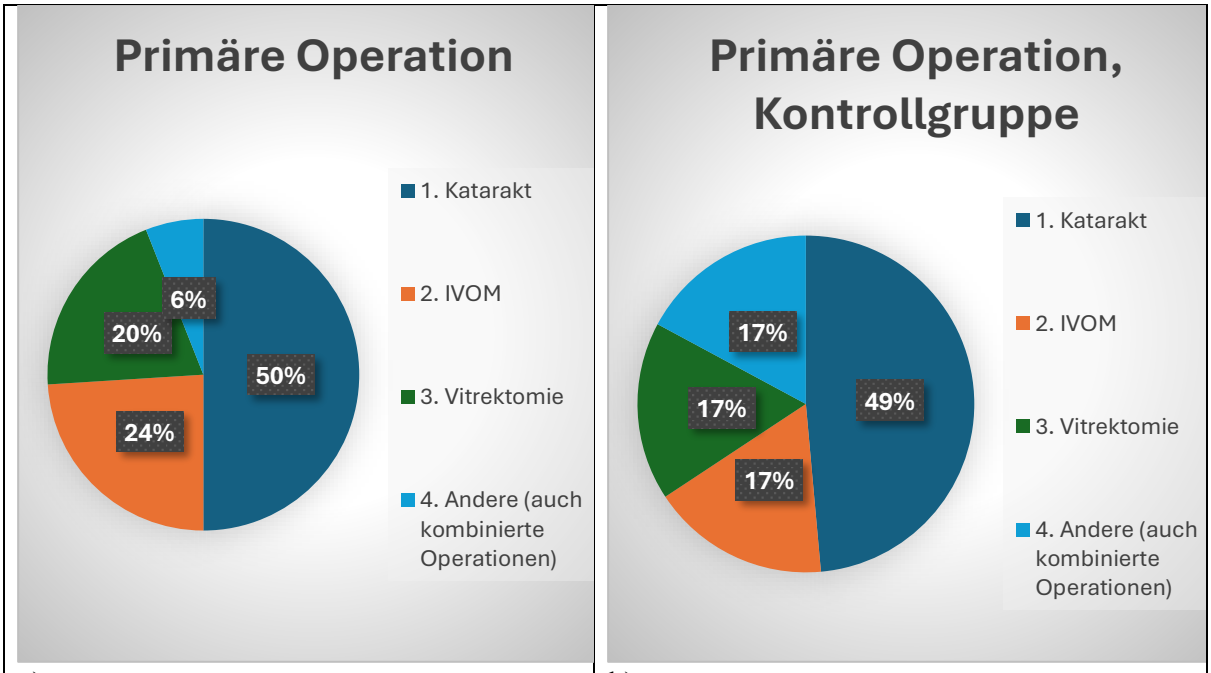


Abbildung 10: a, b: Verteilung der primären chirurgischen Eingriffe in der Studien- und Kontrollgruppe.

4.1.5. Zeitintervall zwischen primärer Operation und Symptombeginn sowie Dauer der Symptome

Basierend auf der erhobenen Anamnese wurde das Intervall zwischen der primären operativen Maßnahme und dem Auftreten der ersten Symptome analysiert. In der Studiengruppe traten die Symptome im Durchschnitt nach 4,8 Tagen auf, wobei der Median bei 3 Tagen lag. In der Kontrollgruppe zeigte sich ein durchschnittliches Auftreten nach 6,2 Tagen, mit einem Median von 4 Tagen.

Auch die Dauer der Symptome wurde im Rahmen der Anamnese berücksichtigt. In der Studiengruppe lag diese zwischen 0 und 6 Tagen, mit einem Mittelwert von 1,7 Tagen und einem Median von einem Tag. In der Kontrollgruppe betrug die Symptomdauer 0 bis 4 Tage, mit einem durchschnittlichen Wert von 1,3 Tagen und ebenfalls einem Median von einem Tag.

Tabelle 4: Zeit bis zum Auftreten der Symptome nach primärer Operation und Symptomdauer.

Mittelwert/SD	Auftreten der Symptome post-Op	Dauer der Symptome
Studiengruppe (27 G ppV)	4.8 ± 5.3 Tage	1.7 ± 1.2 Tage
Kontrollgruppe (23 G ppV)	6.1 ± 9.8 Tage	1.3 ± 0.9 Tage

4.1.6. Klinische Befunde bei Studien- und Kontrollgruppe

Im Rahmen der klinischen Untersuchung zeigten sich in beiden Gruppen typische Zeichen einer akuten intraokularen Entzündung. Eine Fibrinansammlung in der Vorderkammer wurde bei 32 Patienten (64 %) der Studiengruppe sowie bei 20 Patienten (57 %) der Kontrollgruppe dokumentiert. Ein Hypopyon wurde in 70 % der Fälle (n = 35) in der Studiengruppe festgestellt, während in der Kontrollgruppe 23 Patienten (66 %) hiervon betroffen waren.

Der Einblick in den Fundus war ebenfalls beeinträchtigt. Ein vollständig aufgehobener Funduseinblick fand sich bei 15 Patienten (30 %) der Studiengruppe und bei 10 Patienten (29 %) der Kontrollgruppe. Ein reduzierter Funduseinblick konnte bei 4 Fällen (8 %) in der Studiengruppe und 3 Fällen (9 %) in der Kontrollgruppe beobachtet werden. In Bezug auf den Rotreflex ergaben sich vergleichbare Werte in beiden Gruppen: 31 Patienten (62 %) in der

Studiengruppe und 22 Patienten (63 %) in der Kontrollgruppe wiesen einen abgeschwächten oder pathologischen Reflex auf.

Diese Befunde belegen eine vergleichbare klinische Präsentation beider Gruppen bei Erstvorstellung, mit einer leichten Tendenz zu ausgeprägteren Entzündungszeichen in der Studiengruppe.

Tabelle 5: Präoperative klinische Befunde der Vorderkammer und des Fundus in der Studien- und Kontrollgruppe.

	Studiengruppe (n 50)	Kontrollgruppe (n 35)
Vorderkammer		
Fibrin	32 (64%)	20 (57%)
Hypopyon	35 (70%)	23 (65%)
Fundus		
Reduzierter Einblick	4 (8 %)	3 (9 %)
Fundus Rot	31 (62 %)	22 (62 %)
Kein Einblick	15 (30 %)	10 (29 %)

4.2. Chirurgische Resultate

Alle Patienten wurden nach der Vitrektomie stationär aufgenommen und im weiteren Verlauf unter intravenöser und lokaler Therapie täglich klinisch überwacht. Zur statistischen Auswertung wurden die erste postoperative Untersuchung sowie die letzte Untersuchung vor der Entlassung dokumentiert.

4.2.1. Zeitlicher Abstand zwischen beiden chirurgischen Eingriffen

In der Studiengruppe zeigte sich bei der Mehrheit der Patienten ein Intervall von etwa fünf Tagen zwischen der ersten und der nachfolgenden Operation. Der durchschnittliche Abstand betrug 6,4 Tage mit einer Standardabweichung von 5,1 Tagen. Der dokumentierte Bereich reichte von 1 bis 30 Tagen. In der Kontrollgruppe lag der durchschnittliche Abstand bei 7,5 Tage, allerdings mit einer deutlich höheren Standardabweichung von 9,7 Tagen.

4.2.2. Postoperative Visusentwicklung

In der Studiengruppe betrug der Visus bei der ersten postoperativen Kontrolle im Mittel 1,8 logMAR bei einer Standardabweichung von 0,4 die Werte reichten von 0,6 bis 2,1 logMAR. In der Kontrollgruppe lag der Mittelwert bei 1,9 logMAR mit einer Standardabweichung von 0,3. Der gemessene Bereich reichte ebenfalls von 0,6 bis 2,1 logMAR.

Am Tag der Entlassung zeigte die Mehrheit der Patienten in der Studiengruppe eine deutliche funktionelle Verbesserung der Sehschärfe. Der durchschnittliche Visus betrug 1,0 logMAR, wobei der Median bei 0,9 lag. Der Bereich der Sehschärfe reichte von 0,0 bis 2,1 logMAR. Die meisten Patienten befanden sich im unteren Bereich des Spektrums, was auf eine positive visuelle Entwicklung schließen lässt. In der Kontrollgruppe wurde ebenfalls eine moderate Verbesserung des Visus festgestellt, der Mittelwert betrug 1,2 logMAR, während der Median bei 1,3 lag. Der Visusbereich reichte von 0,2 bis 2,1 logMAR.

Im Verlauf der Nachsorge zeigte sich im Rahmen der finalen Follow up-Untersuchung in der 27 G-Gruppe eine konsistente und ausgeprägte Verbesserung der Sehschärfe. Der mittlere Endvisus betrug 0,5 ± 0,61 logMAR. Bei 71 % der Patienten konnte hierbei im Vergleich zum präoperativen Visus eine Verbesserung festgestellt werden, während sich bei 14 % keine Veränderung bzw. eine Verschlechterung einstellte. Die finale Sehschärfe lag in der Kontrollgruppe bei 1.0 ± 0,8 logMAR, der Unterschied zur Studienkohorte war statistisch signifikant (p = 0,006).

Tabelle 6: Vergleich der Endvisuswerte zeigt einen signifikanten Unterschied zugunsten der 27G-Gruppe (p = 0,0064).

	Präoperativ	1. Tag postopertiv	Demissio	Nachkontrolle
27G ppV	1.86 ± 0.39	1.85 ± 0.38	0.99 ± 0.53	0.56 ± 0.61
23G ppV	1.95 ± 0.26	1.92 ± 0.31	1.16 ± 0.68	1.02 ± 0.82
	p = 0.23			p = 0.006

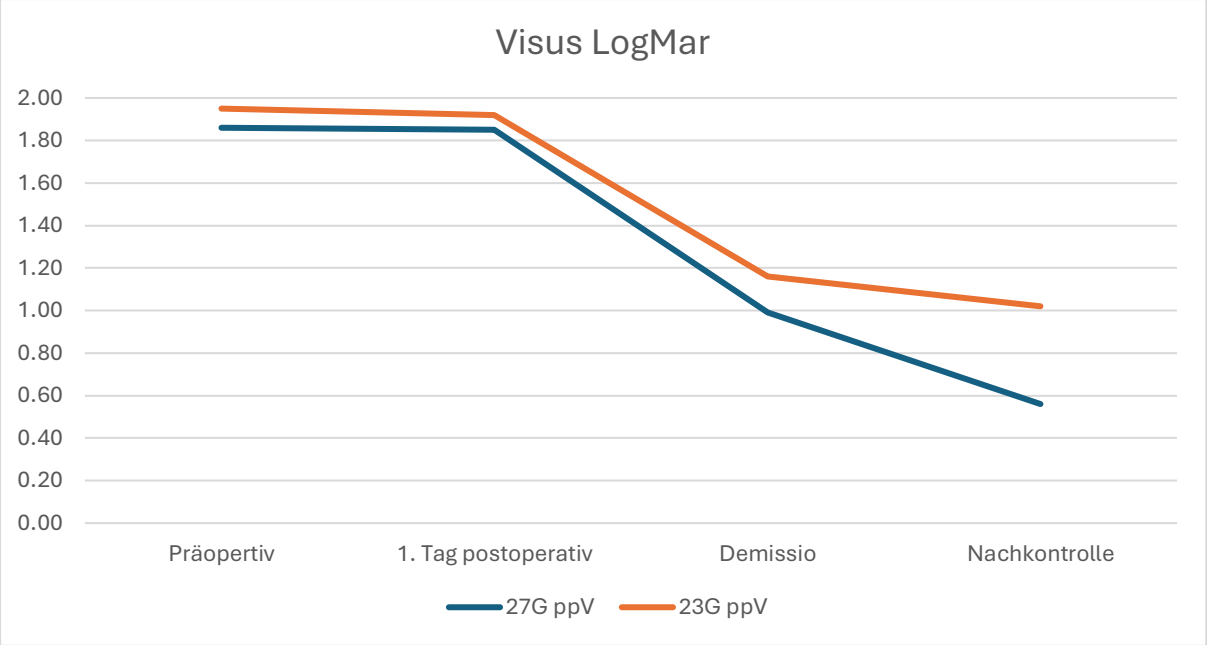


Abbildung 11: Verlauf der bestkorrigierten Sehschärfe (Visus) in der Studien- und Kontrollgruppe.

4.2.2.1. Finaler Visus in den Subgruppen

Bildet man im Rahmen der finalen Follow up-Untersuchung Subgruppen bestehend aus den Patienten mit vorausgegangener IVOM-Behandlung zeigen die 27 G-Gruppe und die Kontrollgruppe eine nahezu identische Sehschärfe von 1.1 ± 0,9 bzw. 1,1 ± 0,8 logMAR.

Tabelle 7: Vergleich der Endvisuswerte bei Patienten nach IVOM-Therapie.

IVOM	Präoperativ	1. Tag postoperativ	Demissio	Nachkontrolle
27 G	1,87±0,33	1,93±0,21	1,38±0,54	1,05±0,85
23 G	2,02±0,04	1,87±0,33	1,22±0,66	1,05±0,84

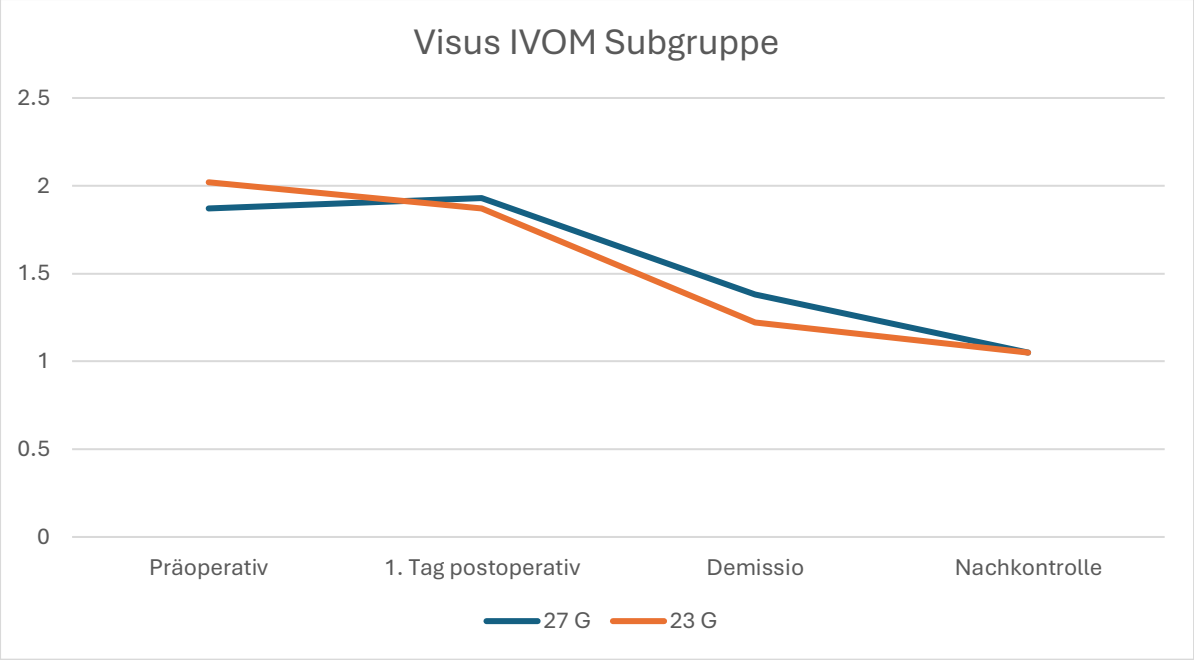


Abbildung 12: Visusverlauf in der Studien- und Kontrollgruppe bei Patienten mit intravitrealer operativer Medikamentenapplikation (IVOM) als Primäreingriff.

Die Subgruppenanalyse bei Patienten nach Kataraktchirurgie zeigte im Rahmen der finalen Follow up-Untersuchung in der 27 G-Gruppe Verbesserung der Sehschärfe. Der mittlere Endvisus betrug 0,3 ± 0,4 logMAR. Demgegenüber lag die finale Sehschärfe in der Kontrollgruppe bei 1.0 ± 0,8 logMAR, der Unterschied zur Studienkohorte war statistisch signifikant (p = 0,004).

Tabelle 8: Vergleich der Endvisuswerte bei Patienten nach Kataraktchirurgie.

Phako	Präopertiv	1. Tag postopertiv	Demissio	Nachkontrolle
27 G	1,82±0,48	1,79±0,44	0,78±0,43	0,33±0,35
23 G	1,92±0,34	1,9±0,38	1,17±0,61	0,95±0,76
				p=0,004

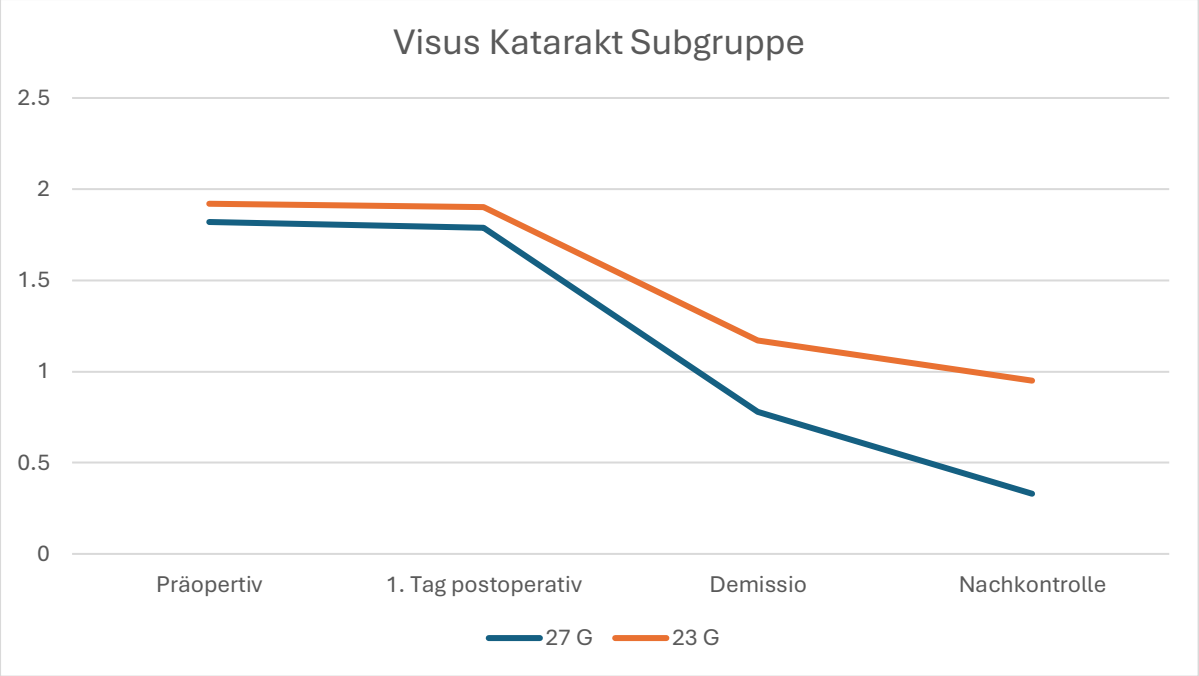


Abbildung 13: Visusverlauf in der Studien- und Kontrollgruppe bei Patienten mit Kataraktoperation als Primäreingriff.

4.2.3 Funktioneller Outcome in Relation zur Dauer der Beschwerden

Tabelle 9: Visusentwicklung in Relation zur Dauer der Beschwerden. In Klammern Vergleichsdaten der Kontrollgruppe (23G).

Beschwerdedauer (in Tagen)	0	1	2	≥ 3
Zahl der Patienten	1 (4)	31 (21)	10 (6)	8 (4)
Durschnitlicher Visus logMAR (finalen Follow-up)	0,1 (0,6±0,48)	0,57±0,52 (1,1±0,89)	0,51±0,88 (0,78±0,81)	0,65±0,65 (1,38±0,68)

Patienten, die sich mit seit einem Tag bestehenden Symptomen vorstellten, wiesen bei der finalen Kontrolle im Mittel einen Visus von 0,57 ± 0,52 logMAR auf (23G: 1,1 ± 0,89) . Patienten mit zweitätigen Beschwerden hatten bei der Endkontrolle eine mittlere Sehschärfe von 0,51 ± 0,88 logMAR (23G: 0,78 ± 0,81), bei Patienten mit länger bestehenden Symptomen lag sie im Mittel bei 0,65 ± 0,65 (23G: 1,38 ± 0,68). Die besten funktionellen Ergebnisse wurden bei Patienten erzielt, die noch am Tag des Symptombeginns operiert wurden. Dennoch

ließ sich weder in der 27-G- noch in der 23-G-Gruppe ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen der Dauer der präoperativen Beschwerden und dem finalen Visus nachweisen, weder in der Korrelationsanalyse noch im Gruppenvergleich.

4.2.4. Postoperative Augendruckentwicklung

Am ersten Tag nach der Operation betrug der durchschnittliche Intraokulardruck (IOD) in der Studiengruppe 12,5 ± 4,9 mmHg. Der Median lag bei 12,0 mmHg bei einer Spanne zwischen 1 und 29 mmHg. Im Vergleich dazu wies die Kontrollgruppe signifikant höhere IOD-Werte auf. Der durchschnittliche Druck betrug 16,6 ± 7,1 mmHg , der Median lag bei 15,0 mmHg. Der

Am Tag der Entlassung lag der durchschnittliche Intraokulardruck (IOD) in der Studiengruppe bei 12,2 ± 3,8 mmHg (Kontrollgruppe 11,8 ± 4,4). Der Median war in beiden Gruppen identisch und lag bei 12,0 mmHg. Die Druckwerte in der Kontrollgruppe streuten jedoch stärker: Die Standardabweichung betrug hier 4,4 mmHg gegenüber 3,8 mmHg in der Studiengruppe. Die Unterschiede zwischen beiden Gruppen waren nicht statistisch signifikant (p=0,635).

Bei der finalen Follow up-Untersuchung betrug der mittlere IOD in der 27 G-Gruppe 13,0 ± 3,5 mmHg (Spanne 4–22 mmHg), während der durchschnittliche IOD der Kontrollgruppe 13,2 ± 5,6 mmHg bei einer Spanne von 0 bis 32 mmHg betrug.

Tabelle 10: Intraokularer Druck (IOD) prä- und postoperativ in der Studien- und Kontrollgruppe.

IOD (mmHg)	Präopertiv	1. Tag postoperativ	Demissio	Nachkontrolle
27G ppV	13,2 ± 6,0	12,5 ± 4,9	12,2 ± 3,8	13,0 ± 3,4
23G ppV	16,0 ± 6,7	16,6 ± 7,1	11,8 ± 4,4	13,2 ± 5,5
p	0,072	0,004	0,635	0,86

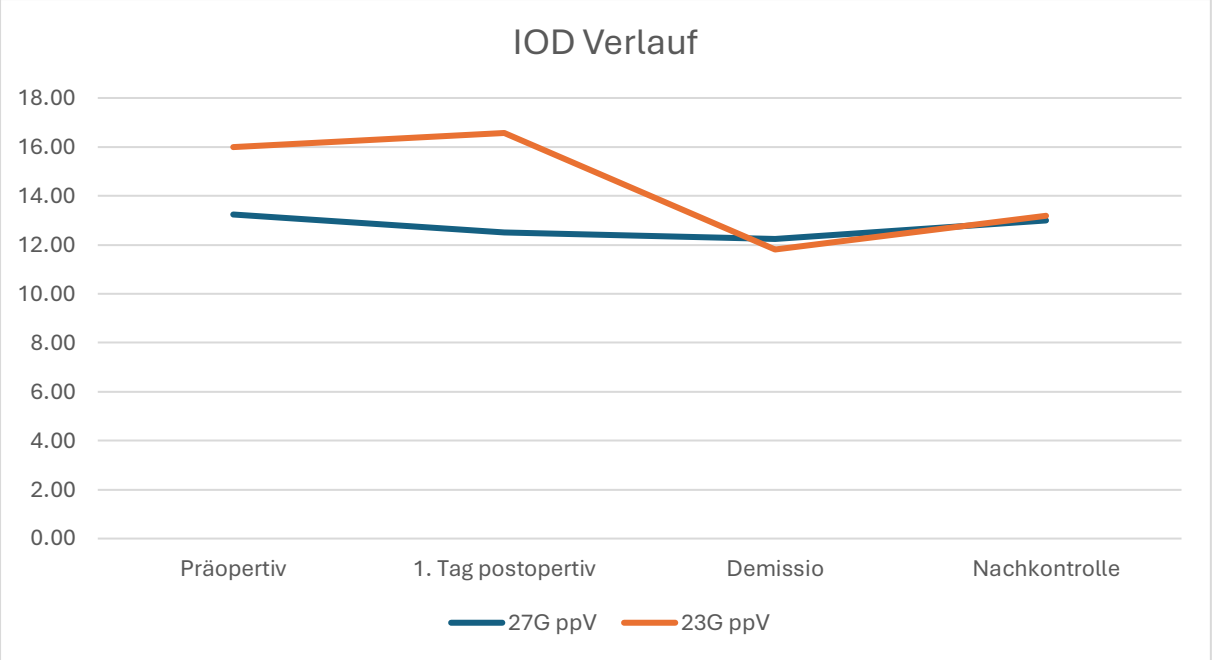


Abbildung 14: Verlauf des intraokularen Drucks in der Studien- und Kontrollgruppe.

4.2.5. Operationsdauer

Die Berechnung der Operationsdauer erfolgte auf der Basis der in der elektronischen Patientendokumentation hinterlegten Schnitt-Naht-Zeit. In der Studiengruppe betrug die durchschnittliche Dauer des chirurgischen Eingriffs 47 Minuten, mit einem Median von 41 Minuten. Die Werte streuten dabei mit einer Standardabweichung von 9 Minuten. Die Bandbreite reichte von der kürzesten Operation mit einer Länge von nur 15 Minuten bis hin zum längsten Eingriff mit 124 Minuten Länge. Die Häufigkeitsverteilung der Zeiten zeigt, dass der Großteil der Operationen in dieser Gruppe zwischen 30 und 60 Minuten lag.

In der Kontrollgruppe war die durchschnittliche Operationszeit mit 60 Minuten länger; der Median lag bei 50 Minuten. Auch zeigte sich hier eine vergleichsweise größere Streuung mit einer Standardabweichung von 29 Minuten. Die kürzeste dokumentierte OP dauerte 21 Minuten während die längste 127 Minuten in Anspruch nahm. Obwohl auch in dieser Gruppe die meisten Eingriffe zwischen 30 und 60 Minuten dauerten, fielen hier mehr Ausreißer mit besonders langen Operationszeiten auf.

Der Unterschied zwischen den beiden Gruppen ist statistisch signifikant ($p = 0{,}044$). Operationen in der Studiengruppe wurden im Durchschnitt schneller durchgeführt als in der Kontrollgruppe.

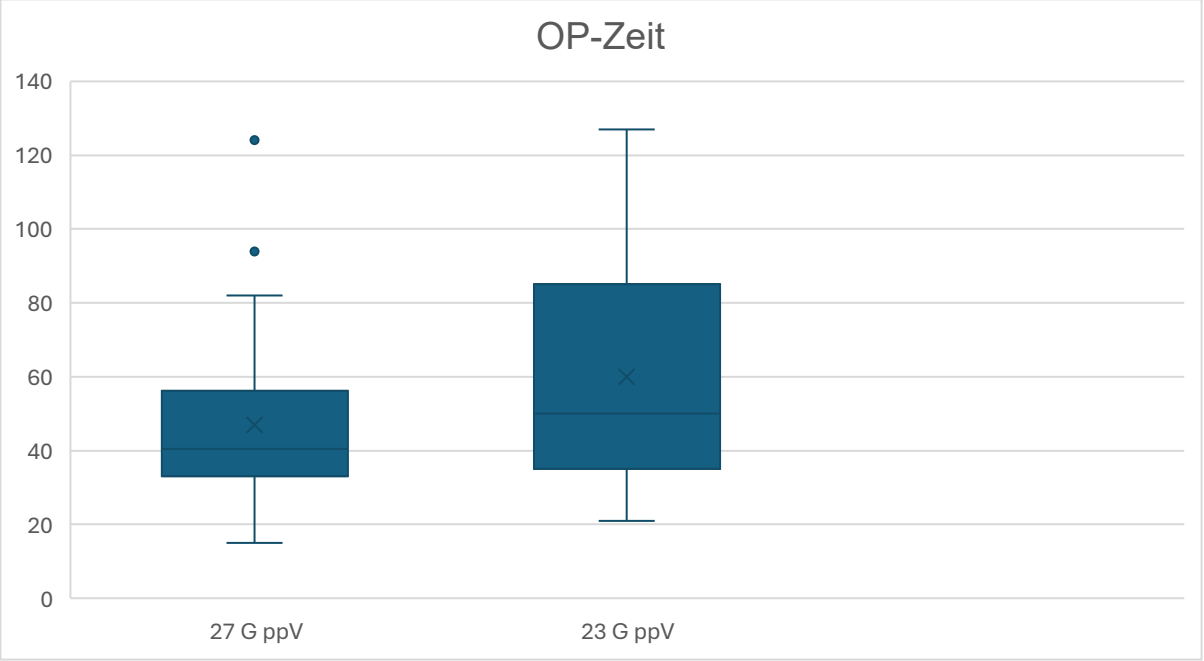


Abbildung 15: Vergleich der Operationsdauer zwischen Studien- und Kontrollgruppe.

4.2.6. Reoperationen

In der Studiengruppe, die insgesamt 50 Patienten umfasste, kam es bei drei Personen (6 %) zu schwerwiegenden Komplikationen im Verlauf des stationären Aufenthalts, die eine erneute Operation erforderlich machten. Bei einem der betroffenen Patienten trat nach dem ersten Eingriff eine Netzhautablösung auf, die eine umgehende chirurgische Revision notwendig machte. Ein weiterer Patient musste zweimal reoperiert werden – zunächst erfolgte eine erneute pars-plana-Intervention zur intraokularen Antibiotikabehandlung, später wurde eine Vitrektomie mit Silikonöltamponade durchgeführt. Der dritte Patient zeigte nach dem ersten Eingriff keine klinische Besserung, weshalb eine erneute Vitrektomie mit der 27 G-Technik durchgeführt wurde.

In der Kontrollgruppe kam es bei sechs Personen (17,1 %) im Verlauf des stationären Aufenthalts zu Komplikationen, die einen weiteren chirurgischen Eingriff nach sich zogen. Ein Patient musste aufgrund ausbleibender klinischer Besserung erneut mit der 23G-Technik operiert werden. Bei einem anderen Patienten war eine sequenzielle Behandlung notwendig – zunächst erfolgte eine antibakterielle Intervention über die pars plana, anschließend eine Vitrektomie mit Silikonölimplantation. Zwei weitere Patienten erhielten jeweils eine intraokulare antibiotische Behandlung, wobei bei einem von ihnen ein zweiter Eingriff

notwendig wurde. Zwei zusätzliche Patienten wurden mit rekombinantem Gewebeplasminogenaktivator (rTPA) behandelt, um persistierende Fibrinreste in der Vorderkammer zu beseitigen.

4.2.7. Postoperativer Heilverlauf

Klinische Befunde.

Der vordere Augenabschnitt zeigte sich im Rahmen des postoperativen Heilverlaufes in beiden Gruppen postoperativ deutlich gebessert. Besonders das Fibrin reduzierte sich signifikant – in der 27G-ppV-Gruppe sogar ausgeprägter als in der Kontrollgruppe. Hypopyon war am ersten postoperativen Tag in der Studiengruppe seltener zu beobachten als in der Kontrollgruppe, wobei dieser Unterschied statistisch nicht signifikant war ($p = 0{,}157$). Bis zur Entlassung war das Hypopyon bei allen Patienten vollständig resorbiert. Auch die Fundusbefunde zeigten einen klaren Trend zur Besserung. Der Einblick verbesserte sich in beiden Gruppen deutlich, vorrangig bei den Patienten der 27G-ppV-Gruppe.

Im Rahmen der finalen Follow up-Untersuchung wiesen in der Studiengruppe 47 Patienten eine reizfreie Vorderkammer auf. Bei drei Patienten wurde kein entsprechender Befund dokumentiert. In der Studiengruppe zeigte sich bei 49 Patienten eine anliegende Netzhaut mit gutem Funduseinblick. Ein Patient blieb diesbezüglich undokumentiert. Sechs Patienten hatten ein Makulaödem, bei einem lag eine Pigmentepithelabhebung vor, und ein weiterer wies eine vitreomakuläre Traktion mit begleitendem Ödem auf.

In der Kontrollgruppe war die Vorderkammer schlussendlich bei 32 Patienten reizfrei. Bei einem Patienten fehlte die Erhebung, ein weiterer wies eine Phtisis bulbi mit Hypotonie auf. Zusätzlich wurde bei einem weiteren Patienten eine Rubeosis iridis mit Hyphäma, Hornhautödem und kornealen Neovaskularisationen festgestellt. In der Kontrollgruppe war die Netzhaut bei 30 Patienten anliegend. Drei Patienten hatten eine Amotio retinae, bei einem war der Funduseinblick aufgrund eines ausgeprägten Hornhautödems eingeschränkt, und bei zwei Patienten wurde kein Fundusbefund erhoben. Im OCT zeigten sich bei zehn Patienten Makulaödeme, und bei einem Patienten eine Pigmentepithelabhebung.

4.2.8. Erreger

Tabelle 11: Erregerspektrum ermittelt durch mikrobiologische Analyse der intraoperativ im Rahmen der Vitrektomie gewonnenen Glaskörperproben

Erreger	27 G ppV	23 G ppV
Staphylococcus epidermidis	24	14
Staphylococcus aureus	2	7
Staphylococcus lugdunensis	2	2
Staphylococcus haemolyticus	2	0
Enterococcus faecalis	1	1
Streptococcus mitis/oralis	1	0
Pseudomonas aeruginosa	0	1
Proteus mirabilis	0	1
Staphylococcus capitis	0	1
Kein Wachstum	18	8

Bei der mikrobiologischen Analyse der Endophthalmitis-Fälle zeigte sich Staphylococcus epidermidis als der am häufigsten identifizierte Erreger, insbesondere in der 27G ppV-Gruppe, in der er mit höherer Häufigkeit nachgewiesen wurde. In der 23G ppV-Gruppe hingegen war das Erregerspektrum etwas breiter – hier traten auch gramnegative Bakterien auf, was auf eine größere mikrobielle Diversität in dieser Gruppe hindeutet.

4.2.9. Komplikationen

4.2.9.1. Reoperationen

Die Analyse der Reoperationen wurde bereits ausführlich in Kapitel 4.2.6 dargestellt und wird an dieser Stelle nicht erneut behandelt.

4.2.9.2. Makulaödem

Im Rahmen der Nachsorge wurde bei ausgewählten Patienten eine OCT-Untersuchung durchgeführt, um das Vorliegen eines Makulaödems (MÖ) zu evaluieren. In der 27 G-ppV-Gruppe wurde bei insgesamt 6 Patienten ein Makulaödem festgestellt. Zwei dieser Fälle waren bereits präoperativ bekannt und wurden daher für diese Auswertung nicht berücksichtigt. Bei 18 weiteren Patienten konnte kein Makulaödem festgestellt werden, während bei 26 Patienten keine OCT-Untersuchung durchgeführt wurde.

In der 23 G-ppV-Gruppe zeigte sich ein Makulaödem bei 10 Patienten. Auch hier war in einem Fall das MÖ präoperativ bekannt, sodass dieser Patient nicht in die Analyse einbezogen wurde. Bei 6 Patienten wurde kein MÖ festgestellt, und bei 19 Patienten lag keine OCT-Dokumentation vor. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass in der 23 G-ppV-Gruppe eine höhere Inzidenz postoperativer Makulaödeme zu verzeichnen ist. Dieser Unterschied zwischen den Gruppen ist statistisch signifikant (p = 0,02; Tabelle 12).

Tabelle 12: Auftreten von sekundären Makulaödemen im Rahmen des postoperativen Heilverlaufes.

n =	OCT	MÖ	MÖ präoperativ	Keine MÖ
27 G ppV	24/50	6	2	18
23 G ppV	16/35	10	1	6

5. Diskussion

5.1. Einordnung der klinischen Resultate

Die vorliegende Studie untersucht die Ergebnisse zweier chirurgischer Methoden, der 27G- und 23G-Vitrektomie, bei der Behandlung der akuten postoperativen Endophthalmitis. In unserer Klinik führten wir routinemäßig eine 27G ppV mit intravitrealer Antibiotikagabe durch. Bis zum Jahr 2015 bestand das Standardverfahren in der Durchführung einer 23G ppV mit entsprechender Medikamentengabe über die pars plana des Ziliarkörpers. Während unsere Arbeit sich mit zwei unterschiedlichen Vitrektomieverfahren auseinandersetzt, wurde in der Literatur lange Zeit diskutiert, ob eine operative Versorgung mittels Vitrektomie überhaupt notwendig (*Endophthalmitis Vitrectomy Study Group*, 1995), oder ob das Tap-and-Inject-Verfahren nicht ausreichend sei.

In den Publikationen, unabhängig von der gewählten Methode (Tap-and-Inject oder Vitrektomie mit intravitrealer Antibiotikagabe), betonen jedoch ausnahmslos alle Autoren die Notwendigkeit einer schnellen Behandlung (Durand, 2013). In beiden Gruppen wurde die Operation am selben Tag nach der Vorstellung durchgeführt, und die Dauer der Symptome zeigt keinen signifikanten Unterschied, was auf eine homogene und ähnliche Ausgangssituation hinweist und somit die Bewertung beider Gruppen nicht beeinflusst hat.

Beide Gruppen zeigten bei Erstvorstellung eine ähnliche Ausprägung von Fibrin und Hypopyon in der Vorderkammer. Das Hypopyon, das in der Literatur als pathognomonischer Faktor beschrieben wird, trat laut Studien bei >80 % der Patienten auf (*Endophthalmitis Vitrectomy Study Group*, 1995; Lalwani *et al.*, 2008). Darüber hinaus zeigte ein fehlender Funduseinblick, einer der entscheidenden Parameter in der EVS-Studie, in beiden Gruppen eine ähnliche Quantität entsprechend der Literatur von mehr als 80% (*Endophthalmitis Vitrectomy Study Group*, 1995; Taban *et al.*, 2005). Zusammenfassend entsprechen die präoperativen klinischen Befunde somit den in der Literatur vorhandenen Daten.

Die Bewertung der Sehschärfe in Bezug auf die Literatur wird zusätzlich durch die Methodik zur Bestimmung und den Vergleich der Sehschärfe erschwert. Die Ergebnisse der Sehschärfe in unserer Studie zeigen bei der 27 G ppV-Gruppe eine durchschnittliche Sehschärfe von 0,56 ± 0,61 logMAR, während die 23 G ppV-Gruppe mit 1,02 ± 0,82 logMAR deutlich schlechter abschneidet. Diese Ergebnisse stehen im Einklang mit den Werten anderer Studien, wie der von Peng KL et al. (Peng *et al.*, 2021), in der für 23 G ppV ein mittlerer Visus von 0,77 logMAR

gemessen wurde oder von Schmelter V et al. ((Schmelter *et al.*, 2023), in der bei 172 Patienten eine 23 G ppV durchgeführt und ein mittlerer Visus von 1.0 logMAR erreicht wurde.

Die Studie von Crosby (Crosby *et al.*, 2022) hebt den Unterschied zwischen 23 G ppV (0,18 logMAR) und der Tap-and-Inject-Methode (0,44 logMAR) hervor. Diese Studie zeigt tendenziell bessere Ergebnisse bei beiden Methoden im Vergleich zu unseren Ergebnissen, was auf Unterschiede in den Patientengruppen oder Behandlungsstrategien hinweisen könnte. Gleichsam berichteten nämlich Dip (Dib *et al.*, 2020) von 79 % der Patienten, die nach 23 G, 25 G oder 27 G ppV eine Sehschärfe von ≥ 20/40 erreichten. Diese Ergebnisse sind tendenziell besser im Vergleich zu unserer Studiengruppe, was darauf hindeutet, dass bei Dip et al. alle Patienten mit Makulopathien von der Studie ausgeschlossen wurden und die Gruppe der Probanden sehr homogen war (nur Endophthalmitis-Patienten nach Kataraktchirurgie mit guter Visusprognose).

Charles et al. zeigte in seiner Studie, dass die IOD-Werte bei 23 G ppV am ersten Tag nach der Operation statistisch signifikant niedriger waren als bei 27 G ppV (Charles *et al.*, 2020). In unserer Studie konnten wir dieses Phänomen jedoch nicht beobachten. Ganz im Gegenteil, die Werte am ersten postoperativen Tag waren bei 23 G ppV höher als in der 27 G-Gruppe und zeigten einen statistisch signifikanten Unterschied. Eine mögliche Erklärung dafür könnte der vermehrte Vorderkammerreiz (Hypopyon) sein, der bei Patienten nach 23 G ppV häufiger auftrat (16% bei 27 G versus 31 % bei 23 G). Die Patienten mit Hypopyon wiesen einen durchschnittlichen IOD-Wert von 17,7 mmHg auf, während Patienten ohne Hypopyon einen durchschnittlichen IOD von 16 mmHg hatten (Eliott *et al.*, 1992). Allerdings war dieser Unterschied statistisch nicht signifikant (p 0,63).

Eine kurzfristige postoperative Re-Intervention in der Kontrollgrupe war erforderlich bei 6 Patienten (17.1%) was den Daten aus den Publikationen entspricht (18.5%) (Kim *et al.*, 2022). In der Studiengruppe war das bei 3 Patienten (6%) der Fall. In unserer Studiengruppe traten postoperativ zwei Amotio-Fälle (4%) auf, während in der Kontrollgruppe eine Amotio unmittelbar nach der Operation bei einem Patienten sowie bei vier weiteren Patienten ab der 6. postoperativen Woche oder später auftrat (14,3%). Dies liegt insgesamt näher an den in der Literatur beschriebenen Raten von 8-13% (*Endophthalmitis Vitrectomy Study Group*, 1995; Chiquet *et al.*, 2016). Eine Phtisis wurde nur in der Kontrollgruppe beobachtet, und die Inzidenz war geringer als die in der Literatur beschriebenen 8% (Chiquet *et al.*, 2016).

5.2. Vergleich Vitrektomie vs Tap and Injekt

Die EVS Guidelines aus dem Jahr 1995 weisen darauf hin, dass nur bei Patienten mit einem Visus von Lichtscheinwahrnehmung oder schlechter bessere funktionelle Ergebnisse nach einer kombinierten Vitrektomie und intravitrealer Antibiotikagabe zu erwarten sind (*Endophthalmitis Vitrectomy Study Group*, 1995). Es wurde jedoch kein relevanter Vorteil der Vitrektomie gegenüber einer Glaskörperbiopsie und Medikamentengabe bei Patienten mit einem Visus von "Handbewegung" oder besser festgestellt. (*Endophthalmitis Vitrectomy Study Group*, 1995). In dieser Studie wurden jedoch nur auf Kataraktoperationen basierte Endophthalmitiden eingeschlossen. Darüber hinaus wies die Vitrektomie zur damaligen Zeit grundsätzlich höhere Komplikationsraten als heutzutage auf (Panahi *et al.*, 2023). Inzwischen herrscht zumindest Einigkeit darüber, dass unabhängig vom Ausgangsvisus eine primäre Vitrektomie bei Patienten mit erheblichem oder rasch fortschreitendem Visusverlust ebenso zu empfehlen ist wie in Fällen, bei denen virulente Erreger wie Streptokokken nachgewiesen wurden (Durand, 2013).

Aktuell treten gehäuft Fälle von Endophthalmitis nach intravitrealer Medikamentengabe (IVOM) auf, was mit dem rasant steigenden Bedarf dieser Therapieform in Verbindung steht (McLaughlin & Hwang, 2017). Die Studie von Januschowski et al. zeigt, dass im Fall einer Endophthalmitis nach IVOM eine rasche Vitrektomie einen positiven Einfluss auf den bestkorrigierten Visus haben kann. Auch bei der Behandlung der Endophthalmitis nach Kataraktoperation beweisen viele Autoren, dass die Patienten hinsichtlich der Visusergebnisse und der Anzahl an Revisionseingriffen von einer Vitrektomie profitieren können (Crosby *et al.*, 202; Dib *et al.*, 2020). In seiner Studie führt Dib et al. eine komplette Vitrektomie mit hinterer Glaskörperabhebung durch, im Gegensatz zur empfohlenen Kernvitrektomie der EVS-Studie, und erreicht damit sehr zufriedenstellende Ergebnisse (Dib *et al.*, 2020). Die ESCRS-Leitlinien aus dem Jahr 2013 zur Prävention, Untersuchung und Behandlung der postoperativen Endophthalmitis betrachten eine sofortige Pars-plana-Vitrektomie, die von einem vitreoretinalen Chirurgen durchgeführt wird, inzwischen als den Goldstandard in der Behandlung der akuten postoperativen Endophthalmitis (The European Society for Cataract and Refractive Surgeons, 2013).

Im Vergleich zur historischen EVS-Studie zeigen unsere Ergebnisse, dass die 27 G ppV-Gruppe eine mindestens vergleichbare Verbesserung der Sehschärfe mit Tap-and-Inject erreichte (*Endophthalmitis Vitrectomy Study Group*, 1995). Die 23 G ppV-Gruppe in unserer Studie zeigte hingegen schlechtere Ergebnisse im Vergleich zur EVS-Studie, insbesondere bei den Patienten, die Tap-and-Inject erhalten hatten.

5.3. Vergleich der Vitrektomie Verfahren: 23-Gauge vs der 27-Gauge Vitrektomie

Der Vergleich zwischen der 23-Gauge und der 27-Gauge Vitrektomie zeigt, dass beide Systeme spezifische Vorteile und Herausforderungen aufweisen, die je nach Art der Operation relevant sein kann. Die 23-Gauge Vitrektomie wird seit 2005 verwendet und bietet einen guten Kompromiss zwischen Instrumentenstabilität und kleineren Inzisionsgrößen im Vergleich zu größeren Systemen wie der 20-Gauge Vitrektomie (Stalmans, 2014).

In unserer Klinik kommen beide Verfahren zum Einsatz. Die 23-G ppV ist für komplexere Operationen an Netzhaut und Glaskörper reserviert, während die 27-G ppV bei einfacheren Eingriffen wie Glaskörperblutungen (Khan *et al.*, 2016) oder Endophthalmitis (Dib *et al.*, 2020) sowie bei kombinierten Operationen wie dem Austausch luxierter Intraokularlinsen oder bei komplikativen Kataraktoperationen Verwendung findet (Watanabe *et al.*, 2016).

Ein entscheidender Vorteil der 23-G Vitrektomie, wie in Studien von Stalmans und anderen beschrieben, liegt in der optimalen Balance zwischen Steifigkeit und Durchmesser der Instrumente (Eckardt, 2005; Stalmans, 2014). Die 23-G Instrumente sind steifer als die 25-G oder 27-G Varianten, was sie besonders geeignet für schwierigere vitreoretinale Eingriffe macht, bei denen die Entfernung des sehr peripheren Glaskörpers ausgeprägte Rotationsbewegungen des Bulbus erforderlich macht (Stalmans, 2014). Durch die größere Steifigkeit und den höheren Durchfluss ermöglichen 23-G Instrumente eine bessere Ausleuchtung des Operationsfeldes und eine schnellere Implantation/Entfernung des Silikonöls (Eckardt, 2005; Stalmans, 2014). Darüber hinaus ermöglicht das größere Lumen der 23-Gauge-Instrumente eine effizientere Fluidik und eine schnellere Entfernung des Glaskörpers im Vergleich zu kleineren Systemen (Stalmans, 2014; Charles *et al.*, 2020).

Die häufigsten Kritikpunkte an den derzeitigen 23- Gauge-Vitrektomiesystemen betreffen Komplikationen im Zusammenhang mit der Wundabdichtung, wie Hypotonie durch Undichtigkeiten (Pollack & Sabherwal, 2019; Charles *et al.*, 2020), Choroidalabhebung sowie ein zunehmend höheres Risiko für bakterielle Kontaminationen oder postoperative Endophthalmitis (Pollack & Sabherwal, 2019) (Inoue *et al.*, 2009; Osawa & Oshima, 2014). Infolgedessen müssen die Sklerotomien häufig übernäht werden (Charles *et al.*, 2020). Einige Studien postulieren, dass 23 G ppV mit höheren postoperativen Schmerzen und mehr Unbehagen im Vergleich zu kleineren Verfahren verbunden ist (Kumar *et al.*, 2014).

In den Studien zur 27-G Vitrektomie wird vor allem die minimalinvasive Natur dieses Verfahrens hervorgehoben (Osawa & Oshima, 2014; Kasi, *et al* ., 2017). Das 27-Gauge-System führt zu noch kleineren Inzisionen als das 23-Gauge-System (Pollack & Sabherwal, 2019; Charles *et al.*, 2020). Dies sollte zu einer geringeren Traumatisierung des Auges führen, was beispielsweise durch die Reduktion des Risikos für ein postoperatives Konjunktivalödem nachgewiesen wurde (Charles *et al.*, 2020). Zusätzlich sind die Sklerotomien oft von selbst dicht und müssen nicht übernäht werden (Charles *et al.*, 2020). Die Studien zeigen auch, dass der intraokulare Druck postoperativ stabiler ist und Hypotonie seltener auftritt (Pollack & Sabherwal, 2019; Charles *et al.*, 2020). Es wird außerdem vermutet, dass dies zu einer schnelleren postoperativen Erholung und Visusrehabilitation führt (Mori, *et al* ., 2018), da weniger Traumata im Augengewebe verursacht werden (Osawa & Oshima, 2014; Pollack & Sabherwal, 2019). In Bezug auf Komplikationen zeigt sich, dass die 27-Gauge-Vitrektomie seltener zu iatrogenen Netzhautrissen als das 23-Gauge-System führen kann (Kasi, *et al*., 2017), was auch durch den Vergleich zwischen unserer Studiengruppe und der Kontrollgruppe vermutet werden kann.

Die kleineren Instrumente der 27-G weisen jedoch aufgrund des geringeren Durchmessers einige Einschränkungen auf, wie etwa eine geringere Steifigkeit und einen geringeren Durchfluss (Eckardt, 2005; Stalmans, 2014). Studien zeigen, dass 27-G Instrumente für feinere Eingriffe nützlich sind, jedoch in Bereichen wie der längeren Zeit für die Entfernung des Glaskörpers Einschränkungen aufweisen (Charles *et al.*, 2020, Osawa & Oshima, 2014). Trotzdem tragen technologische Fortschritte dazu bei, diese Einschränkungen durch verbesserte Flusskontrolle, Schnittrate und Instrumentensteifigkeit zu minimieren (Kasi, *et al*., 2017).

In unserer Studie war die Operationszeit bei der 27-G-Vitrektomie statistisch signifikant kürzer als bei der 23-G-Vitrektomie, was im Widerspruch zu anderen Autoren wie Charles et al. sowie Osawa und Oshima steht. Den Grund hierfür sehen wir in der Spezifität der Operation: Bei Endophthalmitis führten wir keine vollständige Vitrektomie durch, sondern nur eine Kernvitrektomie wie es in EVS- Studie empfohlen wurde (*Endophthalmitis Vitrectomy Study Group*, 1995). Zudem erfordert die 23-G-Vitrektomie häufig das Übernähen der Sklerotomien (Charles *et al.*, 2020), was ebenfalls zu einer verlängerten Operationszeit führt.

5.4. Evaluation möglicher Prognosefaktoren hinsichtlich des anatomischen und funktionellen Outcomes

In der Analyse der Literatur von möglicher Prognosefaktoren, die das anatomische und funktionelle Outcome nach der Behandlung einer Endophthalmitis beeinflussen, können verschiedene Parameter eine Rolle spielen, beispielsweise das Ausmaß der initialen Entzündungsreaktion (Forster, 1992; Aguilar *et al.*, 1996; Peng *et al.*, 2021), die Grunderkrankung (Peng *et al.*, 2021), das Zeitfenster der durchgeführten Therapie (Forster, 1992; Aguilar *et al.*, 1996; Grzybowski & Turczynowska, 2018), Beschwerdedauer (Callegan *et al.*, 2007; Michael, *et al* ., 2023), die Erreger (Callegan *et al.*, 2007; Durand, 2013; Becker *et al.*, 2021) sowie die Wahl des operativen Verfahrens (*Endophthalmitis Vitrectomy Study Group*, 1995; The European Society for Cataract and Refractive Surgeons, 2013). Die Ergebnisse unserer Studie zeigen, dass die Wahl zwischen der 23-Gauge- und 27-Gauge-Vitrektomie sowohl anatomische als auch funktionelle Unterschiede im Outcome mit sich bringen kann. Deswegen wollten wir zusätzliche Prognosefaktoren wie die Operationszeit oder den Einfluss einer atraumatischen Operation (nahtlose und kleine Sklerotomien) vergleichen.

5.4.1. Zeitpunkt der Operation

Zwischen dem Ausmaß der initialen Entzündungsreaktion, dem Zeitfenster der durchgeführten Therapie und der Beschwerdedauer besteht ein direkter Zusammenhang. Ein intensiverer entzündlicher Prozess kann einen erheblichen Einfluss auf den Therapieerfolg und die funktionellen Ergebnisse haben (Forster, 1992; *Endophthalmitis Vitrectomy Study Group*, 1995; Aguilar *et al.*, 1996; Durand, 2013). Die Stärke der entzündlichen Reaktion hängt oft von der Beschwerdedauer ab, und im Fall einer akuten postoperativen Endophthalmitis kann

diese bereits nach wenigen Stunden kritisch sein, was eine frühzeitige Intervention erforderlich macht (Callegan *et al.*, 2007). Je schneller die Therapie eingeleitet wird, desto besser sind in der Regel die anatomischen und funktionellen Ergebnisse, da eine längere Beschwerdedauer das Risiko von dauerhaften Gewebeschäden erhöht (Michael, *et al* ., 2023).

Trotz möglicher Schwierigkeiten bei der Evaluation der Beschwerdedauer in der Anamnese – bedingt durch das subjektive Schmerzempfinden – lässt sich dieser Zusammenhang auch in unseren Ergebnissen erkennen. Tendenziell war die Sehschärfe schlechter bei Patienten, die sich trotz Symptomatik später bei uns vorstellten und operiert wurden. Eine Ausnahme zeigt sich in der Kontrollgruppe, in der der Visus bei Patienten, die sich am ersten Tag nach Symptombeginn vorstellten, schlechter war als bei jenen, die sich am zweiten Tag meldeten. Dennoch zeigt sich insgesamt der allgemeine Trend in beiden Gruppen, dass eine schnellere Behandlung zu besseren visuellen Ergebnissen führt. Besonders relevant für den Vergleich beider Gruppen ist, dass die Beschwerdedauer in beiden Gruppen sehr ähnlich war und keinen statistisch signifikanten Unterschied zeigte, was auf eine vergleichbare Ausgangssituation hinweist

5.4.2. Grunderkrankung

Die postoperative Endophthalmitis gehört zu den sehr seltenen Erkrankungen. Einen guten Überblick über die Prävalenz der Endophthalmitis in Europa bietet Grzybowski (Grzybowski & Turczynowska, 2018). Es wird zwischen der Häufigkeit des Auftretens von Endophthalmitis nach Kataraktoperationen (0,03-0,07 %), IVOM (0,0075 – 0,056 %) und Glaukomoperationen (0,2 %) unterschieden. Die Häufigkeit von Endophthalmitis nach pars-plana-Vitrektomie (ppV) liegt laut Cohen et al. 1995 bei etwa 0,07 % (Cohen *et al.*, 1995). Hier benötigt es noch einer stabileren Datenlage bei den transkonjunktivalen Prozeduren.

Intravitreale operative Medikamenteneingaben (IVOM) stellen mit ca. 1,5 Millionen Fällen jährlich die mit Abstand häufigste medizinische Prozedur in Deutschland dar (Wolfram & Schargus, 2022). Die Zahl dieser Eingriffe wächst durch die alternde Gesellschaft und die Ausweitung des Indikationsspektrums stetig (Wolfram & Schargus, 2022). Die Kataraktoperation folgt in der Rangliste der häufigsten Operationen in Deutschland mit ca. 900.000 Eingriffen pro Jahr (Gerste, 2019). Obwohl die Kataraktoperation relativ komplex ist, stellen intravitreale Injektionen aufgrund der hohen Anzahl an durchgeführten Injektionen 8,5–11 % der Endophthalmitisfälle dar (Gupta *et al.*, 2014; Sachdeva *et al.*, 2016), und sind nach

der Kataraktoperation die zweithäufigste Ursache für Endophthalmitis (Mahabadi, *et al*., 2024).

Der häufigste Eingriff, der zueiner postoperativen Endophthalmitis führte, war in beiden Gruppen die Phakoemulsifikation zur Therapie des grauen Stars. In der Kontrollgruppe ist eine geringere Beteiligung von Patienten mit Makulaerkrankungen, die mit IVOM behandelt wurden, zu beobachten. Der Grund dafür könnte sein, dass die betreffenden Probanden vor 2015 operiert wurden, als die IVOM-Therapie noch nicht so etabliert war wie heute. Relevant ist ebenfalls die höhere Anzahl von Netzhautablösungen (8,57 % vs. 2 %) und fortgeschrittener Glaukome (5,7 % vs 0) in der Kontrollgruppe, was die Ausgangsprognose bei diesen Patienten negativ beeinflussen könnte.

5.5. Schlussfolgerungen

In unserer Analyse stellten wir die Frage, warum das visuelle Ergebnis in der Studiengruppe mit 27 G ppV signifikant besser war und ob die mikroinvasive Technik einen Einfluss auf dieses Ergebnis haben könnte. Um diese Hypothese zu überprüfen, verglichen wir die Ausgangsbefunde, intra- und postoperative Ergebnisse sowie die langfristigen Resultate beider Gruppen.

Unsere Ergebnisse zeigen einen statistisch signifikant besseren Visus bei den Patienten, die wir mit 27 G ppV operiert haben ($p = 0{,}006$). Um diese Ergebnisse zu analysieren, haben wir zunächst die Ausgangssituation verglichen. Es zeigen sich zwei Patientengruppen mit ähnlicher präoperativer Sehschärfe (1,86 ± 0,39 LogMAR bei 27 G ppV vs. 1,95 ± 0,26 bei 23 G ppV, $p = 0{,}23$) sowie ähnlicher Beschwerdedauer (1,66 ± 1,21 Tage vs. 1,31 ± 0,9 Tage) und postoperativem Auftreten der Symptome. Die klinischen Befunde, wie Hypopyon (65% vs 70%) oder Fibrinreiz in der Vorderkammer (57% vs 64%) und Fundus-Einblick (nur bei 9 % in der Studiengruppe und bei 8 % in der Kontrollgruppe vorhanden), zeigten keine relevanten Unterschiede. Levini et al. beschreibt die Hypopyon-Rate bei Endophthalmitis mit über 80 %, was etwas über unseren Ergebnissen liegt (Lalwani *et al.*, 2008). Taban et al. stellten fest, dass bei 80 % der Patienten der Blick so stark getrübt ist, dass Netzhautgefäße nicht sichtbar sind (Taban *et al.*, 2005).

Unsere Hypothese besagt, dass die 27 G ppV weniger traumatisch für das Auge ist und somit eine geringere inflammatorische Reaktion auslöst. Diese Annahme wird auch von Kazuhito et al., Mitsui et al. und Charles et al. in seiner Studie unterstützt (Mitsui *et al.*, 2016; Kazuhito *et al.*, 2017; Charles *et al.*, 2020).
Ein chirurgisches Trauma am Auge verursacht einen Zusammenbruch der Blut-Augen-Schranke und führt infolgedessen zu einer verstärkten Proteinleckage sowie zu Zellreaktionen im Kammerwasser (Nishino *et al.*, 2009).
Inoue et al. haben bereits einen Vergleich zwischen 20 G, 23 G und 25 G durchgeführt und definierten die inflammatorische Reaktion als intraokulare Entzündung, die mit dem Zusammenbruch der zwei Hauptbarrieresysteme im Auge – der Blut-Augen-Schranke und der Blut-Retina-Schranke – korrespondiert. Bei der 25 G-Technik war diese Reaktion am geringsten (Inoue *et al.*, 2009). Folgt man diesem Gedanken weiter, lässt sich der Schluss ziehen, dass ein kleinerer Werkzeugdurchmesser zu einer geringeren Traumatisierung während der Operation führt.

Eine Traumatisierung des Auges kann auch durch das Vernähen der Sklerotomien verstärkt werden, was bei der 27 G ppV deutlich seltener vorkommt (Charles *et al.*, 2020). Obwohl in Studien nachgewiesen wurde, dass die Vitrektomiedauer bei der 27 G ppV länger ist (Osawa & Oshima, 2014; Mori *et al.,* 2018; Charles *et al.*, 2020) ist dank der nahtlosen Technik in unserer Studiengruppe die gesamte Operationszeit, vom Schnitt bis zum Ende, statistisch signifikant kürzer als bei der 23 G ppV. Jurecka et al. postulierte in seiner Studie, dass eine längere Operationsdauer mit einem Anstieg des Makulavolumens und der Netzhautdicke einhergeht, was häufiger zur Entwicklung eines klinisch signifikanten Makulaödems (MÖ) führt (Jurecka, *et al*., 2007). Jede Augenoperation führt zu einem Anstieg der intraokularen Spiegel von Interleukinen (IL)-1α, IL-1β, IL-4, IL-6, IL-8, vaskulärem endothelialen Wachstumsfaktor (VEGF), Tumornekrosefaktor (TNF)-α, Interferon (IFN)-γ, epidermalem Wachstumsfaktor (EGF) und monocyte chemotactic protein (MCP)-1 (Tu *et al.*, 2007). Zudem kann eine verlängerte Operationszeit die intraokularen Entzündungsparameter erhöhen und dadurch die Blut-Retina-Schranke destabilisieren (Radeck *et al.*, 2020).

Unsere Ergebnisse zeigten, dass ein postoperatives Makulaödem in der Studiengruppe deutlich seltener auftrat als in der Kontrollgruppe was auch statistisch signifikant war. Dies könnte ein entscheidender Faktor für die besseren visuellen Ergebnisse in der 27 G-Gruppe sein. Bei der Pathophysiologie des Makulaödems spielen verschiedene Entzündungsmediatoren (z. B.

Angiotensin II, vaskulärer endothelialer Wachstumsfaktor, Prostaglandine) eine zentrale Rolle (Scholl *et al*., 2010). Eine Endophthalmitis führt ebenfalls zu einer starken Desintegration der Blut-Retina-Schranke und einer vermehrten Ausschüttung entzündlicher Mediatoren (erhöhte Expression von GCSF, GRO, IFN-γ, IL-1α, IL-1β, IL-1RA, IL-6, IL-8, IP-10, MCP-1, MCP-3, MIP-1α, IL-1β, TGF-α, TNF-α) (Deshmukh *et al.*, 2018). Nicht unbedeutend könnte auch der Anstieg von Entzündungsfaktoren aufgrund der Vitrektomie selbst sein (B-Lymphozyten-Chemoattraktant, I-309, Interleukin IL-6, IL-8, Interferon γ-induziertes Protein-10 und interzelluläres Adhäsionsmolekül 1) (Gu *et al.*, 2016).

Die Ursache für ein Makulaödem nach unserer Behandlung erscheint multifaktoriell. Eine mögliche Erklärung sehen wir darin, dass die 27-G-ppV eine geringere inflammatorische Reaktion hervorruft, wodurch seltener ein Makulaödem auftritt. In unserer Studie zeigte sich jedoch, dass bei Patienten mit Endophthalmitis nach IVOM-Therapie, bei denen präoperativ bereits ein Makulaödem oder intra-/subretinale Flüssigkeit vorhanden war, beide Operationstechniken (27 G und 23 G) gleichermaßen wirksam waren. Dies könnte darauf hindeuten, dass bei Patienten mit einem bestehenden Makulaödem die Vorteile der 27 G-ppV-Technik für die Visusentwicklung möglicherweise weniger relevant sind.

Zudem traten in der Studiengruppe weniger Reinterventionen auf, was auf eine stabilere postoperative Erholung hindeutet. Die Sicherheit der 27 G-Vitrektomie wurde bereits bei Kazuhito et al. nachgewiesen (Kazuhito *et al.*, 2017). Eine geringere Komplikationsrate bei 27 G ppV zeigen auch Studien von Kim et al. und Khan et al. (Khan *et al.*, 2016; Kim *et al.*, 2021). In unserer Kontrollgruppe trat relativ häufig eine Amotio retinae auf, jedoch ohne statistische Signifikanz. Ein Vergleich zwischen 20 G-, 23 G-, 25 G- und 27 G-Vitrektomien wurde bereits von verschiedenen Autoren durchgeführt. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass das Risiko von Netzhautdefekten und den damit verbundenen Netzhautablösungen bei kleineren Instrumentendurchmessern tendenziell verringert wird. Statistisch signifikant waren die Ergebnisse bislang jedoch nicht (Haas *et al.*, 2010; Mitsui *et al.*, 2016).
Eine intraoperative iatrogene Rissrate trat in den Studien bei 27 G ppV seltener auf (Khan *et al.*, 2016; Naruse, *et al* ., 2017; Rizzo *et al.*, 2017; Romano *et al.*, 2017), was mit einer höheren Schneidfrequenz verbunden sein kann und als Konsequenz weniger pulsatile vitreoretinale Traktionen verursacht (Teixeira *et al.*, 2010; Rizzo *et al* ., 2011; Abulon & Buboltz, 2015, 2016; Abulon & Wang, 2015; Dugel, *et al* ., 2015). Wir sehen die oben genannten Ergebnisse auch als Ursache für geringere langfristige schwerwiegende Komplikationen wie Phthisis bulbi

oder spätere Amotio retinae, die ebenfalls seltener in unserer Studiengruppe beobachtet wurden.

Ein wichtiger prognostischer Faktor ist das Auftreten von Hypopyon und Fibrin in der Vorderkammer, was mit einer stärkeren Entzündungsreaktion assoziiert wird. Wie in anderen Studien gezeigt (Eliott *et al.*, 1992), kann das Vorhandensein eines Hypopyon auch mit einem erhöhten postoperativen Augeninnendruck korrelieren, was potenziell negative Auswirkungen auf das funktionelle Ergebnis haben kann (Weinreb & Khaw, 2004). In unserer Studie war der mittlere IOD bei Patienten mit Hypopyon höher, jedoch führte dies nicht zu einer signifikanten Verschlechterung des funktionellen Outcomes im Vergleich zu Patienten ohne Hypopyon.

Ein weiterer wesentlicher Faktor ist die Geschwindigkeit der operativen Intervention. In Übereinstimmung mit den Studien von Januschowski et al. und Dib et al. (Dib *et al.*, 2020; Januschowski *et al.*, 2021) konnte auch in unserer Untersuchung gezeigt werden, dass eine frühzeitige operative Intervention, insbesondere eine rasche Vitrektomie, zu besseren funktionellen Ergebnissen führt. Patienten, bei denen die Operation am selben Tag nach Beginn der Symptome durchgeführt wurde, wiesen bessere Visuswerte auf als solche, bei denen die Intervention verzögert durchgeführt wurde.

Darüber hinaus zeigen die Daten unserer Analyse, dass das Risiko für postoperative Komplikationen wie Hypotonie und Netzhautrisse bei der 27-Gauge-Vitrektomie geringer ist. Diese Beobachtung deckt sich mit den Ergebnissen anderer Studien (Charles *et al.*, 2020), auch wenn in der Literatur vereinzelt kritische Stimmen laut wurden (Pollack & Sabherwal, 2019). Die schnellere Wundheilung und das geringere Trauma des Auges führen möglicherweise auch zu einer schnelleren funktionellen Rehabilitation der Patienten, was durch die kürzere Operationszeit bei der 27-Gauge-Gruppe in unserer Studie gestützt wird. Diese Ergebnisse stehen jedoch im Widerspruch zu den Studien von Charles et al. und Osawa und Oshima, die eine längere Operationsdauer bei der 27-Gauge-Vitrektomie feststellten (Osawa & Oshima, 2014).

Diese Studie weist mehrere Einschränkungen auf. Zum einen war die minimale Nachbeobachtungszeit auf lediglich sechs Wochen beschränkt. Dadurch konnten mögliche langfristige Komplikationen und Visusveränderungen, die über diesen Zeitraum hinaus auftreten, nicht für das vollständige Patientengut erfasst werden. Zweitens war die

Ausgangsvisusprognose, bedingt durch die initial vorliegende, visuslimitierende Pathologien, in vielen Fällen unklar, was die Vergleichbarkeit der beiden Gruppen erschweren könnte.

Die mikrobiologische Analyse der intraoperativ gewonnenen Glaskörperproben (Tabelle 11) zeigte in beiden Gruppen eine Dominanz koagulasenegativer Staphylokokken, wobei *Staphylococcus epidermidis* der häufigste Erreger war. In der 23-G-ppV-Gruppe fand sich ein heterogeneres Erregerspektrum mit dem Auftreten potenziell virulenter und gramnegativer Keime; diese Unterschiede erreichten aufgrund der geringen Fallzahlen jedoch keine statistische Signifikanz.

Des Weiteren wurde bei den Patientinnen und Patienten nicht in allen Fällen eine OCT-Untersuchung durchgeführt. Dies könnte die Bewertung struktureller Veränderungen an der Makula und des retinalen Zustands beeinträchtigt haben. Eine zusätzliche Einschränkung ergibt sich aus der retrospektiven Natur dieser Studie, die mit inhärenten Verzerrungen einhergeht und somit die Interpretation der Ergebnisse erschweren kann.

Zuletzt basieren die Daten der 23-G-Gruppe auf einem früheren Zeitraum, was Unterschiede in den Behandlungsprotokollen und medizinischen Standards mit sich bringen könnte. Schließlich ist zu berücksichtigen, dass die Ursachen der Endophthalmitis innerhalb der Studienkohorte unterschiedlich waren, was ebenfalls einen Einfluss auf den klinischen Verlauf und die therapeutischen Entscheidungen gehabt haben dürfte.

Trotz dieser Limitationen zeigen unsere Ergebnisse einen klaren Vorteil der 27 G-Technik hinsichtlich der Reduktion von Komplikationen und besserer funktioneller Ergebnisse. Zukünftige prospektive Studien mit längeren Nachbeobachtungszeiten und vollständigen prä- und postoperativen Daten könnten dazu beitragen, diese vorläufigen Ergebnisse weiter zu untermauern.

Zusammenfassend lässt sich also sagen, dass sowohl anatomische als auch funktionelle Prognosefaktoren in der Behandlung der Endophthalmitis stark von der Wahl der operativen Technik, dem Entzündungsgrad und dem Zeitpunkt der Intervention abhängen. Die Ergebnisse unserer Studie zeigen, dass die 27-Gauge-Vitrektomie im Vergleich zur 23-Gauge-Vitrektomie tendenziell mit besseren funktionellen und anatomischen Ergebnissen verbunden ist. Diese Beobachtungen könnten durch die minimalinvasivere Natur des Verfahrens und die damit verbundene Reduktion von postoperativen Komplikationen erklärt werden.

6. Zusammenfassung

Ziel dieser Studie war es, die Ursachen für das signifikant bessere visuelle Outcome nach 27-Gauge-pars-plana-Vitrektomie (27 G ppV) im Vergleich zur 23-Gauge-Technik bei Patientinnen und Patienten mit Endophthalmitis zu untersuchen. Hierzu wurden präoperative Ausgangsbefunde, intra- und postoperative Ergebnisse sowie funktionelle und anatomische Resultate beider Gruppen retrospektiv analysiert.

Eingeschlossen wurden 50 Patienten, die mit einer postoperativen Endophthalmitis vorstellig wurden und mittels 27 G ppV notfallmäßig operativ versorgt wurden. Das Spektrum der zugrundeliegenden Primäreingriffe umfasste Operationen der Katarakt (n=25), intravitreale Injektionen (n=12), Vitrektomien (n=10) und andere (n=3). Als Kontrollgruppe diente eine Kohorte von 35 Patienten, bei denen zur operativen Versorgung eine 23 G ppV zu einem Zeitpunkt durchgeführt wurde, als dieses Verfahren noch den Standard zur Versorgung der postoperativen Endophthalmitis darstellte.

Präoperativ zeigten sich keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich Sehschärfe, Symptomdauer, Pathogene oder klinischer Entzündungszeichen. Postoperativ erzielte die 27-G-Gruppe jedoch einen signifikant besseren Visus ($p = 0{,}006$). Zudem traten Makulaödeme, Reinterventionen sowie postoperative Komplikationen wie Hypotonie oder Netzhautrisse seltener auf. Die Ergebnisse sprechen für eine geringere intraokulare Entzündungsreaktion und ein reduziertes operatives Trauma bei der 27-Gauge-Technik, was durch kürzere Gesamtoperationszeiten und die nahtlose Operationsweise unterstützt wird. Eine frühzeitige operative Intervention war unabhängig von der Technik mit besseren funktionellen Ergebnissen assoziiert.

Trotz der Limitationen einer retrospektiven Studie deuten die Ergebnisse darauf hin, dass die 27-Gauge-Vitrektomie bei Endophthalmitis mit einem günstigeren funktionellen Outcome und einer geringeren Komplikationsrate verbunden ist.

7. Literatur

Abulon D.J.K., Buboltz D.C. (2015) ‘Performance Comparison of High-Speed Dual-Pneumatic Vitrectomy Cutters during Simulated Vitrectomy with Balanced Salt Solution’, *Translational Vision Science & Technology*, 4(1), p. 6. https://doi.org/10.1167/tvst.4.1.6.

Abulon D.J.K., Buboltz D.C. (2016) ‘Porcine Vitreous Flow Behavior During High-Speed Vitrectomy up to 7500 Cuts per Minute’, *Translational Vision Science & Technology*, 5(1), p. 7. https://doi.org/10.1167/tvst.5.1.7.

Abulon D.J.K., Wang T. (2015) ‘Reduced Vitreous Traction Associated with 23-Gauge Dual Pneumatic High Speed Cutters’, *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 56(7), p. 396.

Aguilar H.E., Meredith T.A., Drews C., Grossniklaus H., Sawant A.D., Gardner S. (1996) ‘Comparative treatment of experimental Staphylococcus aureus endophthalmitis’, *American Journal of Ophthalmology*, 121(3), pp. 310–317. https://doi.org/10.1016/s0002-9394(14)70280-6.

Bales T.R., Lopez M.J., Clark, J. (2023) ‘Embryology, Eye’, in *StatPearls [Internet]*. StatPearls Publishing. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/sites/books/NBK538480/.

Barry P., Seal D.V., Gettinby G., Lees F., Peterson M., Revie C.W. (2006) ‘ESCRS study of prophylaxis of postoperative endophthalmitis after cataract surgery: Preliminary report of principal results from a European multicenter study’, *Journal of Cataract and Refractive Surgery*, 32(3), pp. 407–410. https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2006.02.021.

Barza M., Pavan P.R., Doft B.H., Wisniewski S.R., Wilson L.A., Han D.P., Kelsey S.F. (1997) ‘Evaluation of microbiological diagnostic techniques in postoperative endophthalmitis in the Endophthalmitis Vitrectomy Study’, *Archives of Ophthalmology (Chicago, Ill.: 1960)*, 115(9), pp. 1142–1150. https://doi.org/10.1001/archopht.1997.01100160312008.

Basu S. (2018) ‘Endogenous Endophthalmitis’, in T. Das (cur.) *Endophthalmitis : A Guide to Diagnosis and Management*. Singapore: Springer, pp. 109–115. https://doi.org/10.1007/978-981-10-5260-6_10.

Becker S.L., Bisorca-Gassendorf L., Boden K.T., Al-Nawaiseh S., Januschowski K., Seitz B., Pérez Guerra N. (2021) ‘[Microbiological and infectious disease aspects of postoperative endophthalmitis]’, *Der Ophthalmologe: Zeitschrift Der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft*, 118(3), pp. 230–234. https://doi.org/10.1007/s00347-020-01287-z.

Binder C., Miño de Kaspar H., Engelbert M., Klauß V., Kampik A. (1998) ‘Colonization of the conjunctiva with Propionibacterium acnes before and after application of polyvidone iodine before intraocular surgery’, *Der Ophthalmologe*, 95(6), pp. 438–441. https://doi.org/10.1007/s003470050294.

Bishop P. (1996) ‘The biochemical structure of mammalian vitreous’, *Eye (London, England)*, 10 (Pt 6), pp. 664–670. https://doi.org/10.1038/eye.1996.159.

Bishop P.N. (2000) ‘Structural macromolecules and supramolecular organisation of the vitreous gel’, *Progress in Retinal and Eye Research*, 19(3), pp. 323–344. https://doi.org/10.1016/s1350-9462(99)00016-6.

Blodi C.F. (2016) ‘David Kasner, MD, and the Road to Pars Plana Vitrectomy’, *Ophthalmology and Eye Diseases*, 8(Suppl 1), pp. 1–4. https://doi.org/10.4137/OED.S40424.

Brandes R., Lang F., Schmidt, R.F. (curs.) (2019) *Physiologie des Menschen: mit Pathophysiologie*. Berlin, Heidelberg: Springer (Springer-Lehrbuch). https://doi.org/10.1007/978-3-662-56468-4.

Callegan M.C., Gilmore M.S., Gregory M., Ramadan R.T., Wiskur B.J., Moyer A.L., Hunt J.J., Novosad B.D. (2007) ‘Bacterial endophthalmitis: therapeutic challenges and host-pathogen interactions’, *Progress in retinal and eye research*, 26(2), pp. 189–203. https://doi.org/10.1016/j.preteyeres.2006.12.001.

Cao H., Zhang L., Li L., Lo S. (2013) ‘Risk factors for acute endophthalmitis following cataract surgery: a systematic review and meta-analysis’, *PloS One*, 8(8), p. e71731. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0071731.

Charles S., Ho A.C., Dugel P.U., Riemann C.D., Berrocal M.H., Gupta S., Hamilton C., Abulon D.J.K. (2020) ‘Clinical comparison of 27-gauge and 23-gauge instruments on the outcomes of pars plana vitrectomy surgery for the treatment of vitreoretinal diseases’, *Current Opinion in Ophthalmology*, 31(3), pp. 185–191. https://doi.org/10.1097/ICU.0000000000000659.

Chiquet C., Aptel F., Combey-de Lambert A., Bron A.M., Campolmi N., Palombi K., Thuret G., Rouberol F., Cornut P.-L., Creuzot-Garcher C. (2016) ‘Occurrence and risk factors for retinal detachment after pars plana vitrectomy in acute postcataract bacterial endophthalmitis’, *The British Journal of Ophthalmology*, 100(10), pp. 1388–1392. https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2015-307359.

Cohen S.M., Flynn H.W., Murray T.G., Smiddy W.E. (1995) ‘Endophthalmitis after pars plana vitrectomy. The Postvitrectomy Endophthalmitis Study Group’, *Ophthalmology*, 102(5), pp. 705–712. https://doi.org/10.1016/s0161-6420(95)30965-7.

Crosby N.J., Westcott M., Michael E., Cunningham W.J., Welch S., Polkinghorne P.J. (2022) ‘Comparative Outcomes of Primary Vitrectomy Versus Tap and Inject for Endophthalmitis Following Phacoemulsification Cataract Surgery’, *Ocular Immunology and Inflammation*, 30(3), pp. 727–733. https://doi.org/10.1080/09273948.2020.1826539.

Deshmukh D., Chakrabarti M., Jayasudha R., Hasnat Ali M., Tyagi M., Sharma S., Joseph J. (2018) ‘Elevated cytokine levels in vitreous as biomarkers of disease severity in infectious endophthalmitis’, *PloS One*, 13(10), p. e0205292. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0205292.

Detsche Geselschaft für Krankenhaushygiene (2003) ‘Leitlinie zur Prophylaxe und Thearpie von Endophthalmitiden’, *Hygiene und Medizin*, 28(11), pp. 447–460.

Deutsche Gesellschaft für Intraokularimplantate und Implantatchirurgie e.V. (2005) *Leitlinie zur Prophylaxe und Therapie von Endophthalmitiden*.

Dib B., Morris R.E., Oltmanns M.H., Sapp M.R., Glover J.P., Kuhn F. (2020) ‘Complete and Early Vitrectomy for Endophthalmitis After Cataract Surgery: An Alternative Treatment Paradigm’, *Clinical Ophthalmology (Auckland, N.Z.)*, 14, pp. 1945–1954. https://doi.org/10.2147/OPTH.S253228.

Donahue S.P., Kowalski R.P., Jewart B.H., Friberg T.R. (1993) 'Vitreous cultures in suspected endophthalmitis. Biopsy or vitrectomy?', *Ophthalmology*, 100(4), pp. 452–455. https://doi.org/10.1016/s0161-6420(93)31623-4.

Dugel P.U., Abulon D.J.K., Dimalanta R. (2015) 'Comparison of attraction capabilities associated with high-speed, dual-pneumatic vitrectomy probes', *Retina (Philadelphia, Pa.)*, 35(5), pp. 915–920. https://doi.org/10.1097/IAE.0000000000000411.

Durand M.L. (2013) 'Endophthalmitis', *Clinical Microbiology and Infection*, 19(3), pp. 227–234. https://doi.org/10.1111/1469-0691.12118.

Durand M.L. (2017) 'Bacterial and Fungal Endophthalmitis', *Clinical Microbiology Reviews*, 30(3), pp. 597–613. https://doi.org/10.1128/CMR.00113-16.

Durand M.L., Barshak M.B., Sobrin, L. (2023) 'Eye Infections', *The New England Journal of Medicine*, 389(25), pp. 2363–2375. https://doi.org/10.1056/NEJMra2216081.

Dusova J., Hejsek L., Stepanov A., Marak J., Jirásková N. (2017) 'Intraoperative Optical Coherence Tomography in Vitreoretinal Surgery', *Ceska a Slovenska Oftalmologie: Casopis Ceske Oftalmologicke Spolecnosti a Slovenske Oftalmologicke Spolecnosti*, 73(3), pp. 94–100.

Eckardt C. (2005) 'Transconjunctival sutureless 23-gauge vitrectomy', *Retina (Philadelphia, Pa.)*, 25(2), pp. 208–211. https://doi.org/10.1097/00006982-200502000-00015.

Eliott D., O'Brien T.P., Green W.R., Jampel H.D., Goldberg M.F. (1992) 'Elevated intraocular pressure, pigment dispersion and dark hypopyon in endogenous endophthalmitis from Listeria monocytogenes', *Survey of Ophthalmology*, 37(2), pp. 117–124. https://doi.org/10.1016/0039-6257(92)90074-4.

Endophthalmitis Vitrectomy Study Group (1995) 'Results of the Endophthalmitis Vitrectomy Study. A randomized trial of immediate vitrectomy and of intravenous antibiotics for the treatment of postoperative bacterial endophthalmitis. Endophthalmitis Vitrectomy Study Group', *Archives of Ophthalmology,* 113(12), pp. 1479–1496.

Forster R.K. (1992) 'Experimental postoperative endophthalmitis', *Transactions of the American Ophthalmological Society*, 90, pp. 505–559.

Fujii G.Y., De Juan E., Humayun M.S., Pieramici D.J., Chang T.S., Awh C., Ng E., Barnes A., Wu S.L., Sommerville D.N. (2002) 'A new 25-gauge instrument system for transconjunctival sutureless vitrectomy surgery', *Ophthalmology*, 109(10), pp. 1807–1812; discussion 1813. https://doi.org/10.1016/s0161-6420(02)01179-x.

Gerste R.D. (2019) 'Kataraktchirurgie: Höhere Rate von Endophthalmitis bei Kombinationsoperationen des Grauen Stars', *Deutsches Ärzteblatt*, 116(17), pp. 848.

Grzybowski A., Turczynowska M. (2018) 'Epidemiology of Endophthalmitis and Treatment Trend in Europe', in T. Das (cur.) *Endophthalmitis : A Guide to Diagnosis and Management*. Singapore: Springer, pp. 45–55. https://doi.org/10.1007/978-981-10-5260-6_5.

Gu R., Min Z., ChunHui J., Jian Y., GeZhi X. (2016) 'Elevated concentration of cytokines in aqueous in post-vitrectomy eyes', *Clinical & experimental ophthalmology*, 44(2). https://doi.org/10.1111/ceo.12638.

Gupta A., Orlans H.O., Hornby S.J., Bowler I.C.J.W. (2014) 'Microbiology and visual outcomes of culture-positive bacterial endophthalmitis in Oxford, UK', *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology = Albrecht Von Graefes Archiv Fur Klinische Und Experimentelle Ophthalmologie*, 252(11), pp. 1825–1830. https://doi.org/10.1007/s00417-014-2658-7.

Haas A., Seidel G., Steinbrugger I., Maier R., Gasser-Steiner V., Wedrich A., Weger M. (2010) 'Twenty-three-gauge and 20-gauge vitrectomy in epiretinal membrane surgery', *Retina (Philadelphia, Pa.)*, 30(1), pp. 112–116. https://doi.org/10.1097/IAE.0b013e3181b32ebf.

Haight S., Adhikari S. (2023) 'Diagnosis of Endophthalmitis and Orbital Abscess by Ultrasound: A Case Report', *Clinical Practice and Cases in Emergency Medicine*, 7(4), pp. 262–265.: https://doi.org/10.5811/cpcem.1427.

Hogan M.J., Alvarado, J. A., Weddell, J. E. (1971) *Histology of the Human Eye*. Philadelphia: W.B. Saunders Company.

Inoue Y., Kadonosono K., Yamakawa T., Uchio E., Watanabe Y., Yanagi Y., Tamaki Y., Araie M. (2009) 'Surgically-induced inflammation with 20-, 23-, and 25-gauge vitrectomy systems: an experimental study', *Retina (Philadelphia, Pa.)*, 29(4), pp. 477–480. https://doi.org/10.1097/IAE.0b013e31819a6004.

Invernizzi A., Symes R., Miserocchi E., Cozzi M., Cereda M., Fogliato G., Staurenghi G., Cimino L., McCluskey P. (2018) 'Spectral domain optical coherence tomography findings in endogenous candida endophthalmitis and their clinical relevance'', *Retina (Philadelphia, Pa.)*, 38(5), pp. 1011–1018. https://doi.org/10.1097/IAE.0000000000001630.

Jackson T.L., Eykyn S.J., Graham E.M., Stanford M.R. (2003) 'Endogenous bacterial endophthalmitis: a 17-year prospective series and review of 267 reported cases', *Survey of Ophthalmology*, 48(4), pp. 403–423. https://doi.org/10.1016/s0039-6257(03)00054-7.

Januschowski K., Boden K.T., Szurman P., Stalmans P., Siegel R., Pérez Guerra N., Becker S.L., Rickmann A., Bisorca-Gassendorf L. (2021) 'Effectiveness of immediate vitrectomy and intravitreal antibiotics for post-injection endophthalmitis', *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology = Albrecht Von Graefes Archiv Fur Klinische Und Experimentelle Ophthalmologie*, 259(6), pp. 1609–1615. https://doi.org/10.1007/s00417-021-05071-w.

Javitt J.C., Street D.A., Tielsch J.M., Wang Q., Kolb M.M., Schien O., Sommer A., Bergner M., Steinberg E.P. (1994) 'National outcomes of cataract extraction. Retinal detachment and endophthalmitis after outpatient cataract surgery. Cataract Patient Outcomes Research Team', *Ophthalmology*, 101(1), pp. 100–105; discussion 106. https://doi.org/10.1016/s0161-6420(13)31251-2.

Jurecka T., Bátková Z., Ventruba J. (2007) '[Macular edema after an uncomplicated cataract surgery]', *Ceska a Slovenska Oftalmologie: Casopis Ceske Oftalmologicke Spolecnosti a Slovenske Oftalmologicke Spolecnosti*, 63(4), pp. 262–273.

Kain H. L. (1997) 'Prinzipien in der Behandlung der Endophthalmitis.', *Klin Monatsbl Augenheilkd 210*, pp. 274–288.

Kasi S.K., Hariprasad S.M., Hsu, J. (2017) ‘Making the Jump to 27-Gauge Vitrectomy: Perspectives’, *Ophthalmic Surgery, Lasers & Imaging Retina*, 48(6), pp. 450–456. https://doi.org/10.3928/23258160-20170601-02.

Kazuhito Y., Keisuke M., Yusuke O., Shigeru K., Chie S. (2017) ‘Surgical outcomes of 27-gauge vitrectomy for a consecutive series of 163 eyes with various vitreous diseases’, *Retina (Philadelphia, Pa.)*, 37(11). https://doi.org/10.1097/IAE.0000000000001442.

Kelly N.E., Wendel R.T. (1991) ‘Vitreous surgery for idiopathic macular holes. Results of a pilot study’, *Archives of Ophthalmology (Chicago, Ill.: 1960)*, 109(5), pp. 654–659. https://doi.org/10.1001/archopht.1991.01080050068031.

Khan M.A., Shahlaee A., Toussaint B., Hsu J., Sivalingam A., Dugel P.U., Lakhanpal R.R., Riemann C.D., Berrocal M.H., Regillo C.D., Ho A.C. (2016) ‘Outcomes of 27 Gauge Microincision Vitrectomy Surgery for Posterior Segment Disease’, *American Journal of Ophthalmology*, 161, pp. 36-43.e1–2. https://doi.org/10.1016/j.ajo.2015.09.024.

Kim J., Kim H.S., Yoo S.J., Choi M.J., Lew Y., Kim J.W., Cho H.J. (2022) ‘Immediate Vitrectomy for Acute Endophthalmitis in Patients with a Visual Acuity of Hand Motion or Better’, *Korean Journal of Ophthalmology : KJO*, 36(5), pp. 390–397. https://doi.org/10.3341/kjo.2022.0014.

Kim K.W., Kusuhara S., Imai H., Sotani N., Nishisho R., Matsumiya W., Nakamura M. (2021) ‘Outcomes of Primary 27-Gauge Vitrectomy for 73 Consecutive Cases With Uveitis-Associated Vitreoretinal Disorders’, *Frontiers in Medicine*, 8, p. 755816. https://doi.org/10.3389/fmed.2021.755816.

Kleinberg T.T., Tzekov R.T., Stein L., Ravi N., Kaushal S. (2011) ‘Vitreous Substitutes: A Comprehensive Review’, *Survey of Ophthalmology*, 56(4), pp. 300–323. https://doi.org/10.1016/j.survophthal.2010.09.001.

Kuhn F., Aylward B. (2014) ‘Rhegmatogenous retinal detachment: a reappraisal of its pathophysiology and treatment’, *Ophthalmic Research*, 51(1), pp. 15–31. https://doi.org/10.1159/000355077.

Kumar A., Duraipandi K., Gogia V., Sehra S.V., Gupta S., Midha N. (2014) ‘Comparative evaluation of 23- and 25-gauge microincision vitrectomy surgery in management of diabetic macular traction retinal detachment’, *European Journal of Ophthalmology*, 24(1), pp. 107–113. https://doi.org/10.5301/ejo.5000305.

Lalwani G.A., Flynn H.W., Scott I.U., Quinn C.M., Berrocal A.M., Davis J.L., Murray T.G., Smiddy W.E., Miller D. (2008) ‘Acute-onset endophthalmitis after clear corneal cataract surgery (1996-2005). Clinical features, causative organisms, and visual acuity outcomes’, *Ophthalmology*, 115(3), pp. 473–476. https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2007.06.006.

Lee J.J., Jo Y.J., Lee J.S. (2022) ‘Clinical characteristics and risk factors for visual prognosis according to the types of infectious endophthalmitis’, *PloS One*, 17(12), p. e0278625. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0278625.

Machemer R., Buettner H., Norton E.W., Parel J.M. (1971) ‘Vitrectomy: a pars plana approach’, *Transactions - American Academy of Ophthalmology and Otolaryngology. American Academy of Ophthalmology and Otolaryngology*, 75(4), pp. 813–820.

Mahabadi N., Gurnani B., Czyz, C.N. (2024) 'Bacterial Endophthalmitis', in *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK545184/

Mamalis N., Edelhauser H.F., Dawson D.G., Chew J., LeBoyer R.M., Werner L. (2006) 'Toxic anterior segment syndrome', *Journal of Cataract and Refractive Surgery*, 32(2), pp. 324–333. https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2006.01.065.

Maneschg O., Csákány B., Németh, J. (2009) '[Ultrasonographic findings in endophthalmitis following cataract surgery : a review of 81 cases]', *Der Ophthalmologe: Zeitschrift Der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft*, 106(11), pp. 1012–1015. https://doi.org/10.1007/s00347-008-1881-1.

McLaughlin M.D., Hwang, J.C. (2017) 'Trends in Vitreoretinal Procedures for Medicare Beneficiaries, 2000 to 2014', *Ophthalmology*, 124(5), pp. 667–673. https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2017.01.001.

Michael E., Welch S., Niederer R.L. (2023) 'Rapid treatment of endophthalmitis with intravitreal antibiotics is associated with better vision outcomes', *Clinical & Experimental Ophthalmology*, 51(2), pp. 137–143. https://doi.org/10.1111/ceo.14186.

Mishra D., Gade S., Glover K., Sheshala R., Singh T.R.R. (2023) 'Vitreous Humor: Composition, Characteristics and Implication on Intravitreal Drug Delivery', *Current Eye Research*, 48(2), pp. 208–218. https://doi.org/10.1080/02713683.2022.2119254.

Mitsui K., Kogo J., Takeda H., Shiono A., Sasaki H., Munemasa Y., Kitaoka Y., Takagi H. (2016) 'Comparative study of 27-gauge vs 25-gauge vitrectomy for epiretinal membrane', *Eye*, 30(4), pp. 538–544. https://doi.org/10.1038/eye.2015.275.

Mohamed S., Claes C., Tsang, C.W. (2017) 'Review of Small Gauge Vitrectomy: Progress and Innovations', *Journal of Ophthalmology*, 2017, p. 6285869. https://doi.org/10.1155/2017/6285869.

Mori R., Naruse S., Shimada, H. (2018) 'Comparative study of 27-gauge and 25-gauge vitrectomy performed as day surgery', *International Ophthalmology*, 38(4), pp. 1575–1582. https://doi.org/10.1007/s10792-017-0625-0.

Naruse S., Shimada H., Mori, R. (2017) '27-gauge and 25-gauge vitrectomy day surgery for idiopathic epiretinal membrane', *BMC ophthalmology*, 17(1), p. 188. https://doi.org/10.1186/s12886-017-0585-1.

Nishino M., Eguchi H., Iwata A., Shiota H., Tanaka M., Tanaka T. (2009) 'Are topical steroids essential after an uneventful cataract surgery?', *The journal of medical investigation: JMI*, 56(1–2), pp. 11–15. https://doi.org/10.2152/jmi.56.11.

Olson R.J. (2004) 'Reducing the risk of postoperative endophthalmitis', *Survey of Ophthalmology*, 49 Suppl 2, pp. S55-61. https://doi.org/10.1016/j.survophthal.2004.01.002.

O'Malley C., Heintz R.M. (1975) 'Vitrectomy with an alternative instrument system', *Annals of Ophthalmology*, 7(4), pp. 585–588, 591–594.

Osawa S., Oshima Y. (2014) '27-Gauge vitrectomy', *Developments in Ophthalmology*, 54, pp. 54–62.: https://doi.org/10.1159/000360449.

Oshima Y., Wakabayashi T., Sato T., Ohji M., Tano Y. (2010) 'A 27-gauge instrument system for transconjunctival sutureless microincision vitrectomy surgery', *Ophthalmology*, 117(1), pp. 93-102.e2. https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2009.06.043.

Panahi P., Mirzakouchaki-Borujeni N., Pourdakan O., Arévalo J.F. (2023) 'Early Vitrectomy for Endophthalmitis: Are EVS Guidelines Still Valid?', *Ophthalmic Research*, 66(1), pp. 1318–1326. https://doi.org/10.1159/000534650.

Peng K.-L., Kung Y.-H., Tsai H.-S., Wu T.-T. (2021) 'Treatment outcomes of acute poptoperative infectious endophthalmitis', *BMC Ophthalmology*, 21, p. 384. https://doi.org/10.1186/s12886-021-02144-6.

Peyman G.A. (1990) 'A miniaturized vitrectomy system for vitreous and retinal biopsy', *Canadian Journal of Ophthalmology. Journal Canadien D'ophtalmologie*, 25(6), pp. 285–286.

Pleyer U., Mondino B.J., Adamu S.A., Pitchekian-Halabi H., Engstrom R.E., Glasgow B.J. (1992) 'Immune response to Staphylococcus epidermidis-induced endophthalmitis in a rabbit model', *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 33(9), pp. 2650–2663.

Pollack J.S., Sabherwal N. (2019) 'Small gauge vitrectomy: operative techniques', *Current Opinion in Ophthalmology*, 30(3), pp. 159–164. https://doi.org/10.1097/ICU.0000000000000568.

Popescu S.-I., Munteanu M., Patoni C., Musat A.M.A., Dragoescu V., Cernat C.-C., Popescu M.-N., Musat O. (2023) 'Role of the Vitreous in Retinal Pathology: A Narrative Review', *Cureus*, 15(8), p. e43990. https://doi.org/10.7759/cureus.43990.

Provis J.M. (2001) 'Development of the primate retinal vasculature', *Progress in Retinal and Eye Research*, 20(6), pp. 799–821. https://doi.org/10.1016/s1350-9462(01)00012-x.

Radeck V., Märker D., Prahs P., Helbig H., Krause L. (2020) 'Pseudophakes zystoides Makulaödem', *Der Ophthalmologe*, 117(6), pp. 579–590. https://doi.org/10.1007/s00347-020-01122-5.

Radhakrishnan R., Cornelius R., Cunnane M.B., Golnik K., Morales H. (2016) 'MR imaging findings of endophthalmitis', *The Neuroradiology Journal*, 29(2), pp. 122–129. https://doi.org/10.1177/1971400916633480.

Relhan N., Forster R.K., Flynn H.W. (2018) 'Endophthalmitis: Then and Now', *American Journal of Ophthalmology*, 187, pp. xx–xxvii. https://doi.org/10.1016/j.ajo.2017.11.021.

Remington L.A., Goodwin, D. (2011) *Clinical Anatomy and Physiology of the Visual System*. 3rd edn. St. Louis, MO: Butterworth-Heinemann (imprint Elsevier).

Rizzo S., Polizzi S., Barca F., Caporossi T., Virgili G. (2017) 'Comparative Study of 27-Gauge versus 25-Gauge Vitrectomy for the Treatment of Primary Rhegmatogenous Retinal Detachment', *Journal of Ophthalmology*, 2017, p. 6384985. https://doi.org/10.1155/2017/6384985.

Rizzo S., Genovesi-Ebert F., Belting, C. (2011) 'Comparative study between a standard 25-gauge vitrectomy system and a new ultrahigh-speed 25-gauge system with duty cycle control

in the treatment of various vitreoretinal diseases', *Retina (Philadelphia, Pa.)*, 31(10), pp. 2007–2013. https://doi.org/10.1097/IAE.0b013e318213623a.

Rohen J.W., Yokochi C., Lütjen-Drecoll E. (2006) *Anatomie des Menschen*. Stuttgart: Schattauer.

Romano M.R., Cennamo G., Ferrara M., Cennamo M., Cennamo G. (2017) 'Twenty-seven-gauge versus 25-gauge vitrectomy for primary rhegmatogenous retinal detachment', *Retina (Philadelphia, Pa.)*, 37(4), pp. 637–642. https://doi.org/10.1097/IAE.0000000000001215.

Sachdeva M.M., Moshiri A., Leder H.A., Scott A.W. (2016) 'Endophthalmitis following intravitreal injection of anti-VEGF agents: long-term outcomes and the identification of unusual micro-organisms', *Journal of Ophthalmic Inflammation and Infection*, 6, p. 2. https://doi.org/10.1186/s12348-015-0069-5.

Sadiq M.A., Hassan M., Agarwal A., Sarwar S., Toufeeq S., Soliman M.K., Hanout M., Sepah Y.J., Do D.V., Nguyen Q.D. (2015) 'Endogenous endophthalmitis: diagnosis, management, and prognosis', *Journal of Ophthalmic Inflammation and Infection*, 5(1), p. 32. https://doi.org/10.1186/s12348-015-0063-y.

Salazar J.J., Ramírez A.I., Hoz R.D., Salobrar-Garcia E., Rojas P., Fernández-Albarral J.A., López-Cuenca I., Rojas B., Triviño A., Ramírez J.M., Salazar J.J., Ramírez A.I., Hoz R.D., Salobrar-Garcia E., Rojas P., Fernández-Albarral J.A., López-Cuenca I., Rojas B., Triviño A., Ramírez J.M. (2018) 'Anatomy of the Human Optic Nerve: Structure and Function', in *Optic Nerve*. IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.79827.

Saleh O.A., Alshamarti S.A., Abu-Yaghi N.E. (2020) 'Comparison of Characteristics and Clinical Outcomes in 27-Gauge versus 23-Gauge Vitrectomy Surgery', *Clinical Ophthalmology (Auckland, N.Z.)*, 14, pp. 1553–1558. https://doi.org/10.2147/OPTH.S255162.

Salmon J.F. (2022) *Kanski's Clinical Ophthalmology*. 9th edition. München: Urban & Fischer / Elsevier.

Schmelter V., Schneider F., Priglinger S.G., Liegl R., Kreutzer T.C., Foerster P. (2023) 'Pars-plana-vitrectomy for endophthalmitis treatment and the role of standardized ultrasound', *International Ophthalmology*, 43(4), pp. 1111–1119. https://doi.org/10.1007/s10792-022-02508-x.

Schmitz S., Dick H.B., Krummenauer F., Pfeiffer N. (1999) 'Endophthalmitis in cataract surgery: results of a German survey', *Ophthalmology*, 106(10), pp. 1869–1877. https://doi.org/10.1016/S0161-6420(99)90395-0.

Scholl S., Kirchhof J., Augustin A.J. (2010) 'Pathophysiology of macular edema', *Ophthalmologica. Journal International D'ophtalmologie. International Journal of Ophthalmology. Zeitschrift Fur Augenheilkunde*, 224 Suppl 1, pp. 8–15. https://doi.org/10.1159/000315155.

Schulz A., Szurman P. (2022) 'Vitreous Substitutes as Drug Release Systems', *Translational Vision Science & Technology*, 11(9), p. 14. https://doi.org/10.1167/tvst.11.9.14.

Scott M.N., Weng C.Y. (2016) 'The Evolution of Pars Plana Vitrectomy to 27-G Microincision Vitrectomy Surgery', *International Ophthalmology Clinics*, 56(4), pp. 97–111. https://doi.org/10.1097/IIO.0000000000000131.

Sebag J. (1989) *The Vitreous*. New York, NY: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4613-8908-8.

Sebag J. (2004) 'Anomalous posterior vitreous detachment: a unifying concept in vitreo-retinal disease', *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, 242(8), pp. 690–698. https://doi.org/10.1007/s00417-004-0980-1.

Shao E.H., Yates W.B., Ho I.-V., Chang A.A., Simunovic M.P. (2021) 'Endophthalmitis: Changes in Presentation, Management and the Role of Early Vitrectomy', *Ophthalmology and Therapy*, 10(4), pp. 877–890. https://doi.org/10.1007/s40123-021-00406-6.

Sharma S., Jalali S., Adiraju M.V., Gopinathan U., Das T. (1996) 'Sensitivity and predictability of vitreous cytology, biopsy, and membrane filter culture in endophthalmitis', *Retina (Philadelphia, Pa.)*, 16(6), pp. 525–529. https://doi.org/10.1097/00006982-199616060-00010.

Simakurthy S., Tripathy K. (2025) 'Endophthalmitis', in *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK559079/

Smiddy W.E., Smiddy R.J., Ba'arath B., Flynn H.W.J., Murray T.G., Feuer W.J., Miller D. (2005) 'Subconjunctival antibiotics in the treatment of endophthalmitis managed without vitrectomy', *Retina*, 25(6), p. 751. https://doi.org/10.1097/00006982-200509000-00011.

Stalmans P. (2014) '23-gauge vitrectomy', *Developments in Ophthalmology*, 54, pp. 38–44. https://doi.org/10.1159/000360447.

Stephens J.D., Adam M.K., Todorich B., Faia L.J., Garg S., Dunn J.P., Mehta S. (2017) 'Optical Coherence Tomography Findings in Endogenous Fungal Chorioretinitis, Retinitis, and Endophthalmitis', *Ophthalmic Surgery, Lasers & Imaging Retina*, 48(11), pp. 894–901. https://doi.org/10.3928/23258160-20171030-04.

Taban M., Behrens A., Newcomb R.L., Nobe M.Y., Saedi G., Sweet P.M., McDonnell P.J. (2005) 'Acute endophthalmitis following cataract surgery: a systematic review of the literature', *Archives of Ophthalmology (Chicago, Ill.: 1960)*, 123(5), pp. 613–620. https://doi.org/10.1001/archopht.123.5.613.

Teixeira A., Chong L.P., Matsuoka N., Arana L., Kerns R., Bhadri P., Humayun M. (2010) 'Vitreoretinal traction created by conventional cutters during vitrectomy', *Ophthalmology*, 117(7), pp. 1387-1392.e2. https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2009.11.004.

The European Society for Cataract and Refractive Surgeons (2013) 'ESCRS guidelines on prevention and treatment of endophthalmitis following cataract surgery The European Society for Cataract and Refractive Surgeons; 2013.'

Thurau S. (2003) '[Practical advice for recovery and successful processing of anterior chamber puncture and vitrectomy samples]', *Der Ophthalmologe: Zeitschrift Der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft*, 100(10), pp. 802–807. https://doi.org/10.1007/s00347-003-0905-0.

Tu K.L., Kaye S.B., Sidaras G., Taylor W., Shenkin A. (2007) 'Effect of intraocular surgery and ketamine on aqueous and serum cytokines', *Molecular Vision*, 13, pp. 1130–1137.

Vafidis G. (1991) 'Propionibacterium acnes endophthalmitis', *The British Journal of Ophthalmology*, 75(12), p. 706. https://doi.org/10.1136/bjo.75.12.706.

Vallejo-Garcia J.L., Asencio-Duran M., Pastora-Salvador N., Vinciguerra P., Romano M.R. (2012) 'Role of inflammation in endophthalmitis', *Mediators of Inflammation*, 2012, p. 196094. https://doi.org/10.1155/2012/196094.

Watanabe A., Tsuzuki A., Arai K., Gekka T., Tsuneoka H. (2016) 'Treatment of Dropped Nucleus with a 27-Gauge Twin Duty Cycle Vitreous Cutter', *Case Reports in Ophthalmology*, 7(1), pp. 44–48. https://doi.org/10.1159/000443721.

Weinreb R.N., Khaw P.T. (2004) 'Primary open-angle glaucoma', *Lancet (London, England)*, 363(9422), pp. 1711–1720. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(04)16257-0.

Weiss K., Ardjomand N., El-Shabrawi Y. (2007) 'Pilzerkrankungen des Auges', *Wiener Medizinische Wochenschrift*, 157(19), pp. 517–521. https://doi.org/10.1007/s10354-007-0468-9.

Welsch U., Kummer W., Deller T. (2022) *Histologie – Das Lehrbuch: Zytologie, Histologie und mikroskopische Anatomie.* 6th edn. München: Urban & Fischer/Elsevier,.

Wolfram C., Schargus M. (2022) 'Das Hamburger Register für intravitreale Injektionstherapien (QIVOM)', *Der Ophthalmologe*, 119(3), pp. 280–287. https://doi.org/10.1007/s00347-021-01454-w.

Yonekawa Y., Chan R.V.P., Reddy A.K., Pieroni C.G., Lee T.C., Lee S. (2011) 'Early intravitreal treatment of endogenous bacterial endophthalmitis', *Clinical & Experimental Ophthalmology*, 39(8), pp. 771–778. https://doi.org/10.1111/j.1442-9071.2011.02545.x.

8. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Darstellung eines Hypopyons sowie einer ausgeprägten konjunktivalen Hyperämie bei akuter postoperativer Endophthalmitis.

Abbildung 2: Zusätzlich sichtbare fibrinöse Reaktion in der Vorderkammer.

Abbildung 3: Stark eingeschränkter Funduseinblick infolge ausgeprägter Glaskörperinfiltration.

Abbildung 4: Übersicht der bei der 27-Gauge-Pars-Plana-Vitrektomie (27 G ppV) verwendeten chirurgischen Instrumente.

Abbildung 5: Instrumententisch für die 27-Gauge-Pars-Plana-Vitrektomie mit BIOM-System (links oben) und 27-Gauge-Trokaren (rechts unten).

Abbildung 6: Standardeinstellungen des Operationssystems EVA (Firma DORC – Dutch Ophthalmic Research Center, Zuidland, Niederlande) für die 27-Gauge-Pars-Plana-Vitrektomie.

Abbildung 7: Entnahme einer Vorderkammerprobe im Rahmen einer 27-Gauge-Pars-Plana-Vitrektomie bei einem Patienten mit akuter postoperativer Endophthalmitis.

Abbildung 8: a, b: Verteilung der präoperativen intraokularen Druckwerte in der Studien- und Kontrollgruppe.

Abbildung 10: a, b: Verteilung der primären chirurgischen Eingriffe in der Studien- und Kontrollgruppe.

Abbildung 11: Verlauf der bestkorrigierten Sehschärfe (Visus) in der Studien- und Kontrollgruppe.

Abbildung 12: Visusverlauf in der Studien- und Kontrollgruppe bei Patienten mit intravitrealer operativer Medikamentenapplikation (IVOM) als Primäreingriff.

Abbildung 13: Visusverlauf in der Studien- und Kontrollgruppe bei Patienten mit Kataraktoperation als Primäreingriff.

Abbildung 14: Verlauf des intraokularen Drucks in der Studien- und Kontrollgruppe.

Abbildung 15: Vergleich der Operationsdauer zwischen Studien- und Kontrollgruppe.

9. Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen Personen herzlich danken, die mich auf dem Weg zur Fertigstellung dieser Dissertation begleitet und unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Prof. Dr. med. Gernot Rößler, der mir die Durchführung dieser Arbeit ermöglicht und mich während der gesamten Promotionszeit kontinuierlich, zuverlässig und mit großer Geduld begleitet hat. Durch seine fachliche Kompetenz, sein Engagement sowie seine motivierende und wertschätzende Art hat er maßgeblich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen und mich nachhaltig an das wissenschaftliche Arbeiten herangeführt.

Darüber hinaus danke ich Prof. Dr. med. Peter Walter herzlich für die Ermöglichung dieser Arbeit sowie für sein großes Engagement bei deren Durchführung und Entstehung.

Ein besonderer Dank gilt Prof. Dr. med. Randolf Widder für die Hoffnung, die er mir stets vermittelt hat, sowie für seine kontinuierlichen und interessierten Nachfragen, die mich zusätzlich motiviert und den Fortschritt dieser Arbeit gefördert haben.

Abschließend möchte ich mich bei meiner Familie für ihr Verständnis, ihre Geduld und ihre stetige Motivation bedanken. Mein besonderer Dank gilt meiner Ehefrau und meiner Mutter, die niemals daran gezweifelt haben, dass ich dieses Ziel erreichen würde.

Erklärung zur Datenaufbewahrung

Erklärung § 5 Abs. 1 zur Datenaufbewahrung

Hiermit erkläre ich, dass die dieser Dissertation zu Grunde liegenden Originaldaten

- bei mir, Radoslaw Kowalski, Färberstr. 76 Düsseldorf 40223 und
- bei meinem Betreuer, Prof. Dr. med. Gernot Rößler, Augenklinik St. Martinus Krankenhaus Düsseldorf,

hinterlegt sind.

Eidesstattliche Erklärung gemäß § 5 Abs. (1) und § 11 Abs. (3) 12. der Promotionsordnung

Hiermit erkläre ich, **Radoslaw Kowalski** an Eides statt, dass ich folgende in der von mir selbstständig erstellten Dissertation: **"Minimal-invasive Therapie eines maximal-akuten ophthalmologischen Notfalls: 27 Gauge Vitrektomie bei akuter postoperativer Endophthalmitis"** dargestellten Ergebnisse erhoben habe.

Bei der Durchführung der Arbeit hatte ich folgende Hilfestellungen, die in der Danksagung angegeben sind.

	Doktoranden: Radoslaw Kowalski	**Doktorvater/ Praktischer Betreuer: Prof. Dr. med. Gernot Rößler**	**Chat GPT**	**Summe (%)**
Studienüberwachung	20	80	0	100
Studiendesign/ Konzeption	60	40	0	100
Datenerhebung	100		0	100
Datenauswertung	80	20	0	100
Statistische Auswertung	80	20	0	100
Bereitstellung von Materialien		100	0	100
Interpretation der Datenauswertung	80	20	0	100
Sprachliche Korrektur	30	30	40	100

_____

Unterschrift der Doktoranden

Als Betreuer der obigen Dissertation bestätige ich die Angaben von Radoslaw Kowalski

_____

Unterschrift des Doktorvaters

Lebenslauf

Persönliche Daten

Name	Radosław Kowalski
Geburtsdatum	01.03.1988
Geburtsort	Łuków
Staatsangehörigkeit	polnisch
Familienstand	verheiratet

Berufliche Tätigkiet

seit 04.2023	St. Martinus Krankenhaus Düsseldorf Oberarzt, Augenklinik
02.2022 - 03.2023	St. Martinus Krankenhaus Düsseldorf Facharzt, Augenklinik
05.2018 - 02.2022	St. Martinus Krankenhaus Düsseldorf Arzt in Weiterbildung, Augenheilkunde
01.2017 - 04.2018	AugenCentrum Aachen Arzt in Weiterbildung, Augenheilkunde
11.2015 - 12.2016	Praxis Farmed in Lublin Arzt in Weiterbildung, Allgemeinmedizin
01.2015 - 11.2015	Esculap-Klinik in Lublin Arzt in Weiterbildung, Allgemeinmedizin
10.2013 - 10.2014	Kardinal S. Wyszyński Wojewodschaftskrankenkenhaus in Lublin Arzt im Praktikum

Ausbildung

04.2023	Oberarzt, St. Martinus Krankenhaus, Düsseldorf
02.2022	Deutsche Facharztprüfung, Düsseldorf
11.2021	Europäische Facharztprüfung (Fellow of the European Board of Ophthalmology - FEBO)
01.2017-01.2022	Arzt in Weiterbildung, Augenheilkunde
04.2016	Deutsche Approbation
01.2015 - 12.2016	Arzt in Weiterbildung, Allgemeinmedizin
09.2014	Staatsexamen, Lublin (Polen)
10.2007 - 06.2013	Medizinstudium Universität in Lublin (Polen)
2007	Abitur (Polen)

Düsseldorf 20.02.2026