

Aus dem Zentrum für Augenheilkunde
der Universität zu Köln
Klinik und Poliklinik für Allgemeine Augenheilkunde
Direktor: Universitätsprofessor Dr. med. C. Cursiefen

Präoperative Faktoren als Prädiktoren für Operationserfolge in der Kanaloplastik

Inaugural-Dissertation zur Erlangung der zahnärztlichen Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät
der Universität zu Köln

vorgelegt von
Carla-Maria Epping
aus Castrop-Rauxel, Deutschland

promoviert am 21.05.2025

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität zu Köln
2025

Dekan: Universitätsprofessor Dr. med. G. R. Fink

1. Gutachterin: Universitätsprofessorin Dr. med. V. Prokosch
2. Gutachterin: Privatdozentin Dr. med. T. Schick

Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Dissertationsschrift ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Bei der Auswahl und Auswertung des Materials wurde ich durch das Institut für Medizinische Statistik und Bioinformatik beraten. Bei der Herstellung des Manuskriptes habe ich keine Unterstützungsleistungen erhalten.

Weitere Personen waren an der Erstellung der vorliegenden Arbeit nicht beteiligt. Insbesondere habe ich nicht die Hilfe einer Promotionsberaterin/eines Promotionsberaters in Anspruch genommen. Dritte haben von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertationsschrift stehen.

Die Dissertationsschrift wurde von mir bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Ein Teil des dieser Arbeit zugrunde liegenden Datensatzes wurde ohne meine Mitarbeit von Frau Prof. Dr. Prokosch-Willing zur Verfügung gestellt und von mir in eigenständiger Arbeit durch Auswertung der bereits existierenden Patientendaten erweitert.

Die verwendeten Fallberichte wurden von mir selbst ausgewertet. Die Nachuntersuchungen der Patientinnen und Patienten wurden durch das Personal der Augenklinik durchgeführt.

Erklärung zur guten wissenschaftlichen Praxis:

Ich erkläre hiermit, dass ich die Ordnung zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis und zum Umgang mit wissenschaftlichem Fehlverhalten (Amtliche Mitteilung der Universität zu Köln AM 132/2020) der Universität zu Köln gelesen habe und verpflichte mich hiermit, die dort genannten Vorgaben bei allen wissenschaftlichen Tätigkeiten zu beachten und umzusetzen.

Köln, den 11.06.2025

Danksagung

Ich bedanke mich ganz herzlich bei meiner Doktormutter Prof. Dr. Prokosch für die Zusammenarbeit und die warmherzige Betreuung.

Mein weiterer Dank gilt besonders dem Institut für Medizinische Statistik und Bioinformatik der Universität Köln und Dr. Christina Samel, die mir in allen Fragen zum Thema Statistik immer mit einem guten Rat zur Seite stand. Danke für deine schier unermessliche Geduld!

Darüber hinaus möchte ich mich bei der Augenklinik der Universitätsklinik für die Möglichkeit, dort Patientendaten zu erheben, bedanken. An dieser Stelle gilt mein besonderer Dank dem gesamten Kollegium der Augenklinik, das mich jederzeit unterstützt hat- und wenn es nur um eine ruhige Räumlichkeit mit einem PC ging. Stellvertretend soll an dieser Stelle Frau Valeria Freiberg genannt sein.

Danke an all meine Freunde, die mich immer wieder motiviert haben und die ich jederzeit um Hilfe bitten konnte, wenn die Formulierungen ein weiteres Mal viel zu hölzern klangen.

Und an meine Familie, die immer an mich geglaubt hat.

Für Mama.

Inhaltsverzeichnis

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	7
1. ZUSAMMENFASSUNG	8
2. EINLEITUNG	9
2.1. Das Glaukom	10
2.1.1. Anatomische Grundlagen	10
2.1.2. Einteilung	11
2.1.3. Diagnostik	13
2.1.4. Therapiemöglichkeiten	15
2.1.5. Die Kanalloplastik	16
2.2. Fragestellungen und Ziel der Arbeit	17
3. MATERIAL UND METHODEN	19
3.1. Material	19
3.1.1. IOD	20
3.1.2. Visus	20
3.2. Methoden	21
4. ERGEBNISSE	22
4.1. Patientendaten	22
4.2. Statistische Auswertung	24
4.2.1. Ergebnisse in Bezug auf die Drucksenkung im zeitlichen Verlauf	25
4.2.2. Medikation	28
Überleben	29
4.2.3.	29
4.2.4. Prognostische Faktoren	32
5. DISKUSSION	34
5.1. IOD	34
5.2. Visus	36

5.3. Medikation	38
5.3.1. Tropfen	38
5.3.2. Antimetaboliten	39
5.4. Komplikationen und Nachoperationen	39
5.5. Prognostische Faktoren	40
5.6. Limitierungen	41
5.6.1. Studiendesign und Statistik	41
5.6.2. Bias	43
5.6.3. Repräsentativität	45
5.6.4. Loss to Follow-Up	45
5.6.5. Gesichtsfeld und Lebensqualität	46
5.7. Implikationen für die Praxis und zukünftige Forschung	46
5.8. Schlussfolgerung	48
6. LITERATURVERZEICHNIS	50
7. ANHANG	55
7.1. Abbildungsverzeichnis	55
7.2. Tabellenverzeichnis	55
7.3. Weitere Grafiken	56

Abkürzungsverzeichnis

Abb: Abbildung

Bzgl: Bezüglich

Bzw: Beziehungsweise

Ggf.: Gegebenenfalls

Ca: Circa

Evtl: Eventuell

Et al: Et alii (und andere)

IOD: Intraokularer Druck

IOP: Intraocular Pressure (entspricht IOD)

VA: Visual Acuity

POWG: Primäres Offenwinkelglaukom

POAG: Primary Open Angle Glaucoma (entspricht POWG)

NAG: Engwinkelglaukom ("Narrow Angle")

Post-OP: Postoperativ

Prä-OP: Präoperativ

Tab: Tabelle

MW: Mittelwert

EGS: European Glaucoma Society

I.v.: intravenös

P.o.: peroral

MIGS: Minimally Invasive Glaucoma Surgery

MMC: Mitomycin C

5FU: 5-Fluoruracil

1. Zusammenfassung

Ziel:

Die Studie bewertet die Langzeitergebnisse der Kanaloplastik hinsichtlich des intraokularen Drucks (IOD) und Visus. Ziel ist es, die Druckreduktion sowie mögliche Visusveränderungen zu analysieren und eine mögliche Reduktion der Medikation zu überprüfen. Zudem sollen präoperative Grenzwerte für IOD und Medikation identifiziert werden, um das Risiko für Operationserfolge besser abschätzen und passende Patienten für die Kanaloplastik auswählen zu können.

Patienten und Methoden:

Es wurden 100 Glaukom-Patienten untersucht, die aufgrund eines zu hohen IOD mit Kanaloplastiken behandelt wurden. Von den 100 Patienten konnten 62 über einen Zeitraum von 9 bis 15 Monaten regelmäßig nachuntersucht werden. Diese Untergruppe wurde gesondert statistisch analysiert, um die Ergebnisse zu evaluieren. Erhoben wurden Daten wie Alter, Geschlecht, Diagnosen, IOD, Sehschärfe, Medikation, Antifibrotika, Komplikationen und Nachoperationen. Die Auswertung erfolgte mit Wilcoxon-Tests, Man-Whitney-U-Tests, Kaplan-Meier-Kurven sowie logistischen Regressionsmodellen. Ein p-Wert unter 0,05 galt als signifikant.

Ergebnisse:

Im Median sank der IOD von 24 mmHg auf 14 mmHg, was einer Reduktion um 10 mmHg entspricht. Mit logistischen Regressionsmodellen berechnet, lag der kritische präoperative IOD-Grenzwert bei 44 mmHg, und direkt postoperativ bei 18 mmHg. Patienten in diesen Bereichen hatten ein höheres Operationsversagen. Eine Medikation von mehr als 3 Tropfen täglich erhöht das Risiko für einen Misserfolg ebenso. Es wurden keine langfristigen postoperativen Komplikationen berichtet.

Schlussfolgerung:

Die Kanaloplastik erweist sich als effektive und komplikationsarme Methode zur Senkung des IOD bei Glaukompatienten, sofern der präoperative Druck 44 mmHg nicht übersteigt. Bei einer Medikation von mehr als drei drucksenkenden Augentropfen täglich sollte die Indikation zur Kanaloplastik kritisch hinterfragt werden. Ein postoperativer Druck über 18 mmHg ist ein negativer prognostischer Faktor. Weitere Studien mit größeren Patientengruppen und längeren Nachbeobachtungszeiträumen sind notwendig, um die Langzeitwirkung der Kanaloplastik besser zu verstehen und ihren langfristigen Erfolg zu sichern.

2. Einleitung

Das Glaukom, auch „Grüner Star“ genannt, ist mit einer Prävalenz von 3.54% bei 40-80-Jährigen¹ weltweit eine der häufigsten Erblindungsursachen^{1,2} und wird voraussichtlich im Jahr 2040 111.8 Millionen Menschen betreffen¹. Lediglich der Diabetes mellitus löst mehr Erblindungen aus³. Charakterisiert wird das Glaukom durch eine irreversible Druckschädigung des Sehnervens, die unbehandelt zur Erblindung der Patienten führen kann⁴.

Als Ursache gilt ein dauerhaft erhöhter Augeninnendruck (IOD), der hauptsächlich durch eine Abflussstörung des Kammerwassers bei normaler Kammerwasserproduktion ausgelöst wird². Weitere Risikofaktoren sind vaskuläre Dysregulationen und ein systemisch hoher Blutdruck³. Um eine spätere Erblindung der Patienten nachhaltig zu verhindern, sind eine regelmäßige Untersuchung, frühzeitige Diagnosestellung und eine daraus resultierende konsequente Therapie notwendig. Zunächst wird meist eine medikamentöse Behandlung angestrebt mit dem Ziel, den IOD zu senken³. Sollte der IOD nicht medikamentös einstellbar sein, stellt die chirurgische Therapie eine weitere Behandlungsoption dar³.

Ziel aller chirurgischen Eingriffe ist eine nachhaltige Senkung des IOD durch eine erhöhte Filtration des Kammerwassers. Die Ansätze sind hierbei vielfältig und reichen von Sickerkissen über Entfernungen des Trabekelwerkes bis hin zu Erweiterungen des Abflusskanals durch Mikrokatheter⁴. Letztere Eingriffe sind gemeinhin als Kanaloplastiken bekannt.

Kanaloplastiken versprechen nicht nur einen zuverlässigen Abfluss durch bereits bestehende anatomische Strukturen, sondern sollen besonders schonend sein, da im Vergleich zu gängigen Trabekulektomie möglichst minimalinvasiv gearbeitet wird⁵. Bei einem Operationserfolg sinkt somit nicht nur der Augeninnendruck, sondern es wird auch eine geringere Menge an Augentropfen benötigt^{6,7}.

In bisherigen Studien wurden präoperative Grenzwerte zur Patientenauswahl für Kanaloplastiken nicht oder nur unzureichend beleuchtet.

Ziel dieser Arbeit ist, den tatsächlichen Operationserfolg betrachtet auf maximal 24 Monate zu bewerten und mögliche Prädiktoren zu ermitteln, die bereits vor der Durchführung der Kanaloplastiken auf Erfolgswahrscheinlichkeiten schließen lassen. Hierbei stellt nicht nur der tatsächliche IOD, sondern auch eine mögliche Notwendigkeit von Nachoperationen ein wichtiges Merkmal dar.

2.1. Das Glaukom

Das Glaukom lässt sich in verschiedene Subgruppen aufteilen, das bestimmende Merkmal ist allerdings bei allen Arten der individuell erhöhte Augeninnendruck⁴. Ein physiologischer Augeninnendruck ist für das gesamte optische System von hoher Relevanz, so ist er zum Beispiel für eine korrekte, glatte Wölbung der Hornhautoberfläche, den korrekten Abstand zwischen Hornhaut, Linse und Retina oder das Anpressen der Photorezeptorzellen an das Pigmentepithel und die Spannung der Bruch-Membran erforderlich³. Bei einem dauerhaft erhöhten Druck wird der Sehnerv (N. opticus) am Übergang zum Augapfel (Lamina cribrosa) eingeklemmt⁸. Die daraus resultierende Hauptkomplikation, die Druckschädigung des Sehnervens, geht mit einer Vertiefung der Papille (Excavatio papillae) einher³. Daraus können Gesichtsfelddefekte^{4,9}, wie z.B. das sogenannte Bjerrum-Skotom resultieren. Dieser typische Gesichtsfeldausfall geht vom blinden Fleck aus und nimmt in ring- und bogenförmiger Ausdehnung beim Fortschritt des unbehandelten Glaukoms zu³. Bei einem fortgeschrittenen Glaukom bleiben nur ein kleines zentrales Gesichtsfeld sowie eine kleine halbmondförmige, nasale Insel². Das Endstadium wird als absolutes Glaukom beschrieben. Das Auge ist vollständig erblindet, die Papille sowie die Iris sind atrophisch und die Pupille ist weit und starr. Des Weiteren können Hornhaut- und Linsentrübungen auftreten. Auch eine Schrumpfung des Augapfels (Phtisis bulbi) ist möglich, bei Schmerzen kann der Augapfel entfernt werden². Grundsätzlich unterscheidet man primäre von sekundären Glaukomen. Während primäre Glaukome, wie z.B. das POAG (chronisch) oder NAG (akut), spontan auftreten⁴, werden sekundäre Glaukome durch weitere Augenerkrankungen oder äußere Faktoren, wie z.B. durch Traumata, Medikamente oder Entzündungen bedingt³.

2.1.1. Anatomische Grundlagen

Der Augapfel ist in zwei Hauptbereiche unterteilt: die Vorderkammer und die Hinterkammer. Die Vorderkammer ist für den Lichteinfall und die Lichtbrechung zuständig, während die Hinterkammer den Großteil des Augapfels ausmacht. Die Hinterkammer besteht aus drei Schichten: der Sclera (Lederhaut), der Choroidea (Aderhaut) und der Retina (Netzhaut). Die Vorder- und Hinterkammer sind durch die Iris, die Linse und den Corpus ciliare voneinander getrennt.

Die Hinterkammer enthält den Glaskörper und die Eintrittsstelle des Sehnervs. Die Sclera ist die äußere Schicht, an der die Augenmuskeln ansetzen. Im Kammerwinkel bildet die Sclera das Trabekelwerk, das in den Schlemm-Kanal übergeht und für den Abfluss des Kammerwassers verantwortlich ist. Die Choroidea reguliert die Temperatur des Augapfels und versorgt die obere Netzhaut mit Nährstoffen. Die Retina enthält die lichtempfindlichen Zellen, das Stratum pigmentosum und die Fovea centralis, die der Ort des schärfsten Sehens ist.

Die Vorderkammer unterscheidet sich strukturell. Hier geht die Sclera am Limbus corneae in die transparente Cornea (Hornhaut) über, die das Licht in das Auge lässt. Unter der Cornea befinden sich die Iris und die Linse, die durch den M. ciliaris des Ziliarkörpers gestreckt und gestaucht werden kann, ein Vorgang, der als Akkommodation bezeichnet wird. Die Iris steuert die Größe der Pupille, die sich mithilfe der Muskeln M. dilatator pupillae und M. sphincter pupillae öffnen und schließen kann.

Der Augeninnendruck wird hauptsächlich durch das Kammerwasser reguliert. Pro Auge beträgt das normale Volumen des Kammerwassers etwa 0,3 ml, mit einer Produktionsrate von 15 ml/h. Das Kammerwasser wird in der Hinterkammer vom nicht pigmentierten Ziliarepithel produziert und fließt durch die Pupille in die Vorderkammer. Von dort gelangt es über das Trabekelwerk in den Schlemm-Kanal und schließlich in die episkleralen Venen. Ein kleiner Anteil des Kammerwassers nimmt den uveoskleralen Abflussweg über die Vortexvenen.

Für einen gleichmäßigen Abfluss müssen zwei Widerstände überwunden werden: der Pupillarwiderstand zwischen Iris und Linse sowie der Trabekelwiderstand in den Fontana-Räumen. Diese Widerstände spielen eine entscheidende Rolle beim Aufrechterhalten eines gesunden Augeninnendrucks⁸.

Kann dieser Widerstand durch ein Hindernis nicht überwunden werden, kommt es zu pathologisch erhöhten Druckwerten und infolge dessen zum Glaukom.

2.1.2. Einteilung

Das Glaukom lässt sich in mehrere Subgruppen mit unterschiedlichen Ätiologien einteilen. Grundsätzlich wird zwischen primären und sekundären Glaukomen unterschieden.

Die primären Glaukome definieren sich über spontan auftretende Abflussbehinderungen aufgrund verschiedener anatomischer Gegebenheiten und werden in das Offenwinkelglaukom, das Engwinkelglaukom (und damit verbunden den Glaukomanfall) und das Kongenitale Glaukom (Hydrophthalmus) unterschieden.

Bei Offenwinkelglaukom (Glaucoma simplex, POAG), der am häufigsten auftretenden Form (über 90%)³, ist der Gesamtdurchschnitt des Trabekelwerks reduziert, sodass das Kammerwasser nicht suffizient abfließen kann^{2,10}. Das Auftreten des POAG häuft sich nach dem 40. Lebensjahr^{3,11}, bei der klinischen Befundung sind Druckschwankungen von über 5-6mmHg im Tagesverlauf zu beobachten³. Da das POAG meist asymptomatisch bleibt, bis bereits irreversible Schäden aufgetreten sind, ist eine regelmäßige prophylaktische Untersuchung anzustreben³. Spätestens ab dem 40. Lebensjahr sollten beim Augenarzt regelmäßige Kontrollen stattfinden, bei denen der Augeninnendruck, das Gesichtsfeld und die Exkavation der Pupille untersucht werden¹¹.

Während der Verlauf des POAG eine chronische Form darstellt, kann das Engwinkelglaukom sowohl in einer chronischen als auch in einer akuten Form auftreten¹². Es liegt meist eine zu flach angelegte Vorderkammer zugrunde, aber auch eine stark ausgeprägte Hyperopie¹³ oder eine zu dicke Linse können zu geringen Platzverhältnissen in der Vorderkammer führen. Der Kammerwinkel wird durch das Irisgewebe verschlossen, da das gestaute Kammerwasser Teile der Iris gegen den Kammerwinkel drückt^{8,12}. Resultierend ist ein zu kleiner Winkel, der zu einer teilweisen oder gänzlichen Verlegung des Trabekelwerkes führt. Je nach Ausprägung läuft das produzierte Kammerwasser immer weniger ab, sodass es zu einer Drucksteigerung kommt. Im Extremfall kann es zu einem vollständigen Verschluss, dem sogenannten Winkelblock, kommen. Ein solcher Glaukomanfall ist gekennzeichnet durch sehr hohen Druck und starke Schmerzen².

Das Engwinkelglaukom kann zunächst mit unspezifischen Symptomen wie Kopf- und Augenschmerzen auftreten, die oft übersehen werden. Steigt der Druck weiter an, können farbige Ringe um Lichtquellen und verschwommenes Sehen auftreten, verursacht durch Epithelödeme der Hornhaut. Diagnostisch können eine flache Vorderkammer, eine vorgewölbte Iris und eine Rötung der Augen aufgrund erhöhter Blutfülle in den Bindehautgefäßen beobachtet werden. Der Augeninnendruck ist anfänglich normal oder leicht erhöht. Fortgeschrittene Fälle weisen eine vertiefte Papille und Gesichtsfeldausfälle auf¹⁴.

Ein Glaukomanfall führt zu rascher Sehverschlechterung und extremen Kopf- und Augenschmerzen. Betroffene nehmen Nebel und farbige Ringe wahr, die Pupille ist weit und starr. Der Schmerz kann sich über den Trigeminierv ausbreiten und den ganzen Körper betreffen³. Aufgrund der intensiven Schmerzen und des Vagusreizes können Übelkeit und heftiges Erbrechen auftreten. Die Pupille wird entrundet, erweitert und lichtstarr, und der Bulbus fühlt sich bei Palpation aufgrund des extrem hohen Augeninnendrucks, der manchmal über 80 mmHg erreicht¹⁵, steinhart an. Um eine Erblindung zu vermeiden, ist der unverzügliche Beginn der Therapie indiziert³.

Ist der Kammerwinkel von Geburt an verlegt, spricht man von einem kongenitalen Glaukom (Hydrophthalmus, Buphthalmus, „Ochsenauge“)³. Persistierendes mesodermales Gewebe (Barkan-Membran) verlegt (oft beidseitig) den Kammerwinkel, sodass kein suffizienter Abfluss gewährleistet ist und das noch wachsende Auge anschwillt. Eine Operation ist zwingend indiziert, um ein Erblinden zu verhindern³.

Sekundären Glaukomen gehen prinzipiell immer Erkrankungen des Auges oder weitere äußere Faktoren voraus¹⁶. Darunter zählen unter anderem die Iridozyklitis, bei der der Kammerwinkel durch Verwachsungen verlegt ist, oder Pseudoexfoliationen der vorderen Linsenkapsel, bei der weißliches Material auf die Strukturen des vorderen Augenabschnitts,

wie zum Beispiel der Linsenvorderfläche, aufliegt³. Weitere Gründe können der Verschluss der Zentralvene, eine Linsenluxation, eine perforierende Bulbusverletzung¹⁵, Tumoren sowie eine Rubeosis iridis bei Diabetes mellitus sein. Die Rubeosis ist eine ausgeprägte Blutfüllung der Iris mit Neovaskularisation und Abflussbehinderung. Blutungen in die Vorderkammer sind ebenfalls möglich¹⁷.

Sekundärglaukome sowie Buphthalmi können auch durch den Naevus vasculosus der Choroidea bedingt werden. Hämangiome an Lid und Uvea sind typisch, der Naevus flammeus im Bereich der Trigeminus-Äste ist deutlich erkennbar².

Das medikamentenassoziierte Kortikosteroid-Glaukom kann anlagebedingt bei bis zu 35-40% der Bevölkerung auftreten³. Bereits bei Träufeln von Prednisolon einmal täglich über zwei Wochen kann bei dem betroffenen Bevölkerungsanteil zu erhöhtem Augeninnendruck führen. Bei systemischer Gabe ist diese Nebenwirkung seltener. Dementsprechend ist die Gabe von Kortison mit einer engen Indikationsstellung durch einen Ophthalmologen verbunden. Bei rechtzeitigem Absetzen des Kortisons ist eine Rückkehr zu normalen Tensiwerten wahrscheinlich³, bei einem Fortschreiten entspricht die Verlaufsform einem Offenwinkelglaukom.

Das Endstadium eines unbehandelten Glaukoms ist das absolute Glaukom. Das Auge ist erblindet, Papille und Iris sind atrophisch und die Pupille ist weit und starr. Trübungen der Linse und Hornhaut sind ebenfalls möglich. Bei Augenschmerzen oder einer auftretenden Schrumpfung (Phtisis Bulbi) kann das betroffene Auge entfernt werden².

2.1.3. Diagnostik

Grundsätzlich werden zur augenärztlichen Untersuchung der Vorderkammer die Palpation, die Tonometrie, die Beurteilung der Vorderkammertiefe sowie des Kammerwinkels durch Goniometrie und die Perimetrie genutzt.

Bei der Palpation sollen Druckdifferenzen ertastet werden. Der Patient schaut mit geschlossenen Augen nach unten, beide Bulbi werden zeitgleich palpiert. Die beim Glaukomanfall steinharten Bulbi können so schnell befundet werden¹⁸.

Bei der Tonometrie wird der intraokulare Druck bestimmt. Als Normwert gilt ein Druck von 15mmHg, die Obergrenze liegt bei 22mmHg. Liegt der gemessene Druck über diesem Grenzwert, besteht Glaukomverdacht, ab 26 mmHg kann man sicher von einem erhöhten IOD ausgehen. Grundsätzlich ist der IOD Tagesschwankungen unterworfen, dabei liegen die Tensionswerte morgens im höheren Bereich, während der Druck im Laufe des Tages langsam abnimmt. Normalerweise schwanken die Drücke im Bereich von etwa 4mmHg, bei Glaukomen nehmen die Schwankungen zu.

An dieser Stelle sollen zwei Methoden der Tonometrie benannt werden: die Impressionstonometrie nach Schiötz und die Applanationstonometrie nach Goldmann.

Die Impressionstonometrie nach Schiötz wird liegend unter Zuhilfenahme eines Tonometers durchgeführt. Nach Betäubung delt ein Senkstift die Kornea ein, entsprechend des Widerstandes durch die vorliegende Rigidität wird der IOD an einer Skala abgelesen. Da bei z.B. Myopie die Rigidität unphysiologisch sein kann, kann es bei dieser Methode unter Umständen zu Messfehlern kommen³.

Bei der Applanationstonometrie nach Goldmann wird mit einem Messkörperchen der Hornhautscheitel abgeflacht. Die dazu notwendige Kraft gibt Aufschluss über den IOD. Bei dieser Methode kann die Untersuchung im Sitzen an der Spaltlampe durchgeführt werden. Ein Messfehler aufgrund der Sklerarigidität kann bei dieser Methode ausgeschlossen werden, allerdings muss die Dicke der Hornhaut berücksichtigt und gegebenenfalls einberechnet werden³.

Die Goniometrie ist notwendig, um den Kammerwinkel hinreichend zu befunden. Dabei wird das Gonioskop genutzt, welches über einen geneigten Spiegel hinter einem Kontaktglas verfügt und nach vorheriger Betäubung und Einträufeln von Methylcellulose direkt auf die Hornhaut aufgesetzt wird. Die Weite des Kammerwinkels, Goniosynechien (Synechien zwischen Iris und Kammerwinkelwand), Gefäßneubildungen und abnorm starke Pigmentablagerungen sind entscheidende Parameter zur Diagnosestellung. Die Vorderkammertiefe kann unter Zuhilfenahme einer Taschenlampe beurteilt werden. Bei flacher Vorderkammer und einer vorgewölbten Irisbasis sollte die Möglichkeit eines Engwinkelglaukoms in Erwägung gezogen werden².

Während die bisher genannten Untersuchungsmethoden vor allem anatomische Gegebenheiten sowie die Druckverhältnisse beachten, bezieht sich die Perimetrie auf die Untersuchung des Gesichtsfeldes. Der zugrundeliegende Parallelversuch kann analog oder mit einem (Computer-) Perimeter durchgeführt werden. Dabei ist sowohl die Schwellenwertbestimmung als auch die Bestimmung von Isopteren möglich. Ein Auge des Patienten bzw. der Patientin ist abgedeckt, während das andere Auge das gegenüberliegende des Arztes bzw. der Ärztin oder einen definierten Bezugspunkt fixiert. Von außen wird nun ein Gegenstand oder Lichtpunkt in das Gesichtsfeld geführt, bis der Gegenstand oder der Lichtpunkt erkennbar ist. Je nach Methodik wird das Ergebnis mit dem Gesichtsfeld des Untersuchers bzw. der Untersucherin verglichen (Konfrontationstest) oder aber in einem Diagramm festgehalten⁸.

Die Schwellenwertbestimmung ermöglicht es, sehr kleine Gesichtsfeldausfälle (Skotome) nachzuweisen. Dabei werden sowohl die Empfindlichkeitsschwellen für weißes als auch farbiges Licht berücksichtigt. Gerade die Lokalisation des Bjerrum-Skotoms, welches für die Glaukom-Diagnostik hoch relevant ist, ist hierbei möglich, da das zentrale 30°-Gesichtsfeld

erfasst wird³. Im Verlauf des Glaukoms verändert sich die Qualität der Gesichtsfeldausfälle. Beim frühen Glaukom sind beim Parazentralskotom nur ein kleiner Punkt und eine leicht gekrümmte Linie betroffen, beim Fortschritt zum Bjerrum-Skotom vereinigen sie sich nasal keilförmig im Rönne-Sprung. Vor dem Endstadium des unbehandelten Glaukoms verbleiben noch eine kleine, nasale Insel sowie ein kleines zentrales Gesichtsfeld³.

Bei der Bestimmung von Isopteren wird eine Reizmarke von außen nach innen geführt, bis die Marke gerade so zu sehen ist. Bei Nutzung unterschiedlicher Marken entstehen Linien gleicher Empfindlichkeit, die als Isopteren bezeichnet werden².

Die Papille kann mittels Ophthalmoskopie untersucht werden. Die physiologische Exkavation wird in Bezug auf Tiefe und mögliche Verformungen untersucht, die bei länger anhaltendem Augeninnendruck zunehmen³. Darüber hinaus wird eine mögliche Verdünnung des Randsaumes beurteilt. Im fortgeschrittenen Stadium wird die Lamina cribrosa sichtbar, die Gefäße werden nach nasal verdrängt und es werden Atrophien sichtbar³.

2.1.4. Therapiemöglichkeiten

Ziel einer jeden Behandlung ist die Senkung der IOD auf einen individuell bestimmten „Zieldruck“³. Möglich ist dies entweder durch eine Verringerung der Kammerwasserproduktion oder die Verbesserung des Abflusses.

Vor der Durchführung eines chirurgischen Eingriffes ist zunächst meist eine medikamentöse Therapie das Mittel der Wahl^{19,20}. So können beispielsweise Miotika (Parasympathomimetika), die zu einer Dauerkontraktion des M. ciliaris und M. sphincter pupillae führen, zu einem verbesserten Abfluss führen⁸. Das Miotikum Pilocarpin (Tropfen alle 5-6h) funktioniert entsprechend dieses Wirkprinzips, bei jungen Patienten kann es allerdings zum einem Akkomodationsspasmus mit Myopie kommen. Ein schmerzender Ziliarkörper ist ebenfalls möglich. Andere Miotika sind Carbamylcholin, Adrenalin, Physostigmin und Progstigmin². Eine beliebte Therapie des Offenwinkelglaukoms sind β -Blocker (0,1-0,5%, Tropfen, 2 mal täglich), Pupille und Akkomodation sind hierbei unbeeinflusst. Vor Gabe der β -Blocker sollte auf obstruktive Lungenerkrankungen, Asthma und Herzrhythmusstörungen geprüft werden².

Ein akuter Anfall kann bei ausreichender Analgesie durch 1%ige Pilocarpin-Gabe (Tropfen, alle 10 min), Acetazolamid (Diamox, ein Carboanhydrasehemmer, oral oder i.v.) oder eine osmotische Diurese durch Glycerin p.o. oder Mannit (20%) i.v. behandelt werden. Grundsätzlich kann auch hochprozentiger Alkohol peroral übergangsweise zu einer Druckminderung führen. Sollte die Gabe von Mydriatika geplant sein, muss vorher immer ein enger Kammerwinkel ausgeschlossen werden².

Sollte eine medikamentöse Therapie nicht oder nicht mehr ausreichend anschlagen, ist eine operative Korrektur indiziert^{20,21}. Die verschiedenen Operationstechniken setzen an verschiedenen anatomischen Punkten an und führen so je nach vorliegendem Glaukomtypen zu einem besseren Abfluss. Die unten genannten Operationsmethoden stellen nur einen Ausschnitt der gängigen Möglichkeiten dar, sollen aber eine Übersicht über mögliche Angriffspunkte geben:

Goniotomie nach Barkan	Durchtrennung des Trabekelwerkes unter gonioskopischer Kontrolle
Goniotrepanation	Fensterung der Sklera, Kammerwasser kann unter Bindehaut ablaufen
Trabekulektomie	Herstellung eines Filterkissens durch den Skleradeckel
Basale Iridektomie	teilweise Entfernung der Irisbasis; Kurzschluss zwischen Hinterkammer und Trabekelwerk
Zyklophotokoagulation	Verödung des Ziliarkörpers durch Laser; durch Verringerung des Drüsengewebes kommt es zu einer geringeren Kammerwasserproduktion
Argonlaser-Trabekuloplastik	Zerstörung von Trabekelwerkendothelzellen
Laser-Iridoplastik	Erweiterung der Kammerwinkelbucht durch Straffung der peripheren Iris
YAG-Laser-Iridotomie	Schaffung einer Verbindung zwischen Hinter- und Vorderkammer

Tab. 1: Übersicht über verschiedene Therapiemöglichkeiten²

Neben den oben genannten Operationstechniken gibt es noch die minimalinvasive Glaukomchirurgie, kurz MIGS (Minimally Invasive Glaucoma Surgery)²², zu der unter anderem die Kanaloplastik gehört. Die Kanaloplastik, also die Erweiterung des Schlemm-Kanals mit Micro-Stents, soll im folgenden Abschnitt genau beleuchtet werden.

2.1.5. Die Kanaloplastik

Ziel der Kanaloplastik ist die Erweiterung des Schlemm-Kanals unter Verwendung eines Mikrokatheters. Zunächst wird die Konjunktiva via Fornix oder einer limbusbasierten Inzision eröffnet. Daraufhin wird in der Sklera ein rechteckiger Lappen präpariert, der bis 1/3 der Skleratiefe reicht. Ein kleinerer, ebenfalls rechteckiger Lappen wird bis zum Skleralsporn angelegt, dabei reicht die Tiefe des Lappens bis knapp oberhalb der Choroidea. Um eine Perforation der Vorderkammer zu vermeiden, muss der intraokuläre Druck per Parazentese bis in den einstelligen Bereich gesenkt werden²³. Der Schlemm-Kanal wird durchtrennt und durch eine trabekulo-descementische Fensterung zugänglich gemacht. Der Schlemm-Kanal wird mit einer Mikrokanüle aufgespannt, bevor der Mikrokatheter eingeführt werden kann. Der so platzierte Katheter wird nun vorgeschoben und kreisförmig durch den gesamten Schlemm-Kanal geführt. Eine LED zeigt dabei die Position des Katheters an. Sobald die Spitze des platzierten Katheters wieder durch das angelegte Fenster austritt, wird eine Naht (10/0, Polypropen) am noch nicht im Schlemm-Kanal verorteten Ende des Katheters platziert. Während der Mikrokatheter aus dem Schlemm-Kanal entnommen wird, zieht sich so die

platzierte Naht durch den Kanal. Abschließend werden beide Enden verknotet, sodass der Kanal durch die entstehende Spannung aufgeweitet wird. Abschließend werden die Sklera- und Konjunktivalappen wasserdicht vernäht und die Vorderkammer wird mit Kochsalzlösung aufgefüllt, bis ein normaler bis leicht erhöhter Augeninnendruck besteht²⁴.

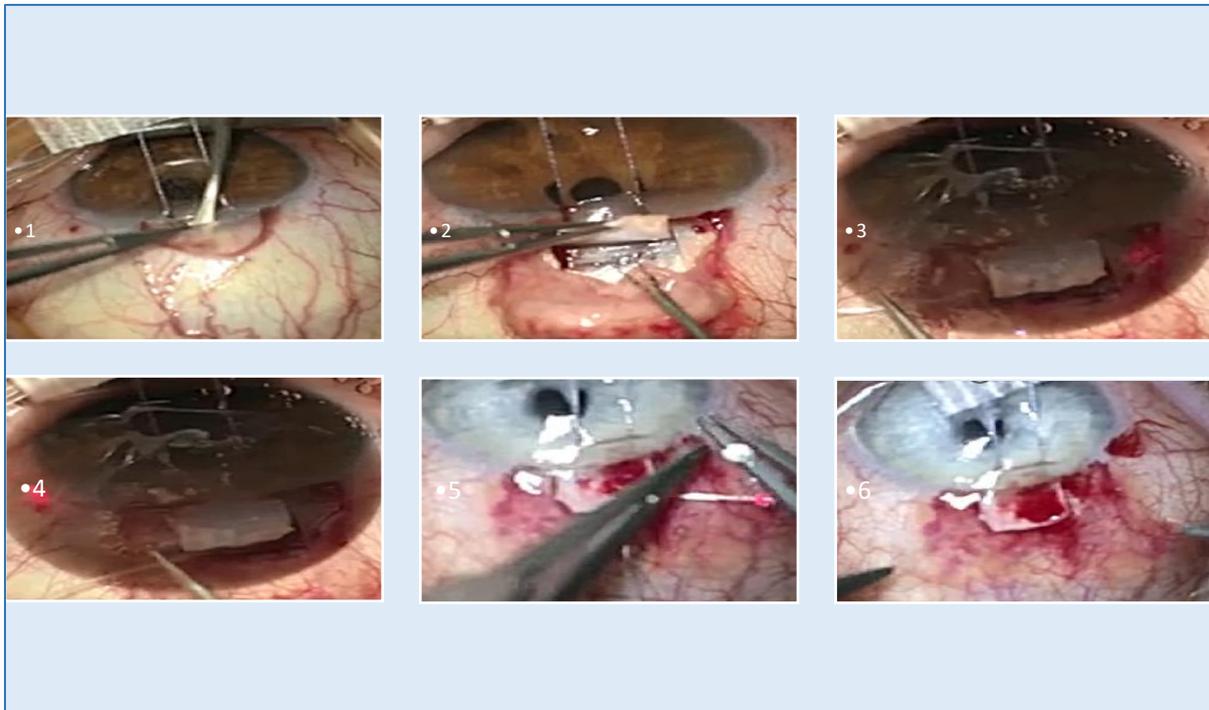


Abb. 1: Durchführung einer Kanaloplastik. Bild 1: Inzision. Bild 2: Lappenpräparation. Bild 3: Einführen des Katheters, rechts ist die rot blinkende LED zu sehen. Bild 4: Kreisförmiges Vorschieben durch den Schlemm-Kanal. Bild 5: Platzierung der Naht am Katheter. Bild 6: Aufspannung und Fixierung des Fadens, rechts und links sind die chirurgischen Instrumente noch erkennbar.

2.2. Fragestellungen und Ziel der Arbeit

In dieser Arbeit sollen Langzeitergebnisse von Kanaloplastiken in Bezug auf den intraokularen Druck sowie den Visus und die Medikation der Patienten evaluiert werden. Darüber hinaus sollen präoperative Faktoren für mögliche Operationsmisserfolge ermittelt werden. Als mögliche Faktoren wurden die präoperative Drücke und Medikationen in Tropfen berücksichtigt, zusätzlich soll der direkt postoperativ gemessene Druck Aufschluss über den weiteren postoperativen Verlauf geben. Die erhobenen Ergebnisse bilden dabei einen Kontrollverlauf von mindestens 9 Monaten post-OP ab. Zusätzlich wird ein Zusammenhang zwischen den post-OP Drücken und dem resultierenden Visus untersucht. Die Auswertung der vorliegenden Daten soll Aufschluss darüber geben, ob die Kanaloplastik ohne nachfolgende Operationen eine suffiziente Methode ist, um den IOD nachhaltig zu senken. Darüber hinaus soll bewertet werden, inwiefern eine mögliche postoperative Medikationsfreiheit der Patienten

gewährleistet werden kann. Abschließend soll diskutiert werden, inwiefern sich die Kanaloplastik im Vergleich zur Trabekulektomie etabliert hat.

3. Material und Methoden

3.1. Material

In der retrospektiven Datenerhebung wurden in Köln ab Oktober 2014 bis Juli 2021 ursprünglich 100 Glaukom-Patienten in die Studie eingeschlossen, die mittels einer Kanaloplastik behandelt wurden. Von den ursprünglich 100 eingeschlossenen Patienten konnte aufgrund zum Teil fehlender Langzeitergebnisse (weniger als 9 Monate) bei nur 62 Patienten ein komplettes Follow-Up erfolgen. In die Studie eingeschlossen wurden Patienten mit Progression des IOD oder unzureichender medikamentöser IOD-Regulierung bzw. Medikamentenunverträglichkeit.

Erfolgten bei einem Patienten bzw. einer Patientin in diesem Zeitraum Operationen an beiden Augen, wurde nur das stärker betroffene bzw. klinisch auffälligere Auge für die Datenanalyse berücksichtigt.

Bei allen Patienten wurden folgende Befunde berücksichtigt:

- IOD-Messung nach Goldmann
- Visus
- Alter
- Geschlecht
- Ethnie
- Medikation prä- intra- und postoperativ
- Komplikationen
- Nachoperationen

Die Kontrolluntersuchungen erfolgten:

- präoperativ
- maximal zwei Tage postoperativ
- 1 bis 3 Monate postoperativ
- 4 bis 8 Monate postoperativ
- 9 bis 15 Monate postoperativ
- 15 bis 24 Monate postoperativ

Bei einem Teil der Patienten konnte die IOD-Entwicklung auch nach Abschluss der 15 Monate bis zu zwei Jahre postoperativ verfolgt werden, diese wurden allerdings aufgrund der geringen Fallzahlen nur bedingt in die statistische Auswertung miteingeschlossen. Als finaler Wert gilt der zuletzt gemessene Wert im Studienzeitraum.

3.1.1. IOD

Alle IOD-Messungen wurden vom ärztlichen Personal der Universitätsaugenklinik Köln mittels Tonometrie nach Goldmann durchgeführt. Beim präoperativen Intraokulardruck (in der Statistik z.T. als Listing IOP bezeichnet) wurde jeweils der höchste gemessene Wert herangezogen, der während der Untersuchungen kurz vor der Operation gemessen worden war. Die postoperativen Messungen wurden ein bis zwei Tage postoperativ, sowie ein bis 3, 5 bis 8 und 9 bis 14 Monate nach dem operativen Eingriff durchgeführt. Somit erfolgten die statistischen Auswertungen auf Grundlage einer 9 bis 14-monatigen Verlaufskontrolle. Bezüglich der IOD-Entwicklung wurden auch Daten nach mehr als 15 Monaten aufgenommen und ausgewertet, welche aber wegen ihrer jeweils geringeren Fallzahlen nicht mit einem verbundenen Wilcoxon-Test ausgewertet worden sind. Im Falle einer notwendigen Nachoperation wurde der letzte IOD vor Durchführung des Eingriffes als finaler Wert mit in die Studie eingeschlossen.

3.1.2. Visus

Zu allen Zeitpunkten wurde der bestkorrigierte Visus in Dezimalstellen erhoben. Die Erhebung des Visus erfolgte zeitgleich mit der des IOD, allerdings wurden im Laufe des Kontrollzeitraumes nicht alle Werte zuverlässig dokumentiert. Dementsprechend wurde der Visus bei einem kleineren Patientenkollektiv von 41 Personen ausgewertet.

3.2. Methoden

Für die Zusammenstellung des Patientenkollektivs wurden vor Beginn der Studie klare Ein- und Ausschlusskriterien definiert. Es umfasste Patienten, bei denen an mindestens einem Auge eine Kanaloplastik durchgeführt wurde. Die Basisdaten wurden teilweise durch die Augenklinik vorselektiert und durch die Autorin ergänzt. Patienten, bei denen im Rahmen der Kontrolluntersuchungen nicht alle erforderlichen Daten vorlagen oder deren letzte Nachuntersuchung weniger als neun Monate nach der Operation stattfand, wurden ausgeschlossen, um die Aussagekraft und Vollständigkeit der Langzeitdaten zu gewährleisten. Die statistische Analyse sowie die tabellarische und grafische Aufbereitung wurden mit Microsoft Excel aus dem Microsoft Office [2019] (Microsoft Corporation, Redmond, USA) sowie mit SPSS [Version 28] (IBM, Armonk, USA) durchgeführt. Alle statistischen Berechnungen wurden von der Autorin eigenständig durchgeführt.

Die Überprüfung der Normalverteilungsannahme erfolgte mittels Kolmogorov-Smirnoff-Tests. Diese Annahme musste teilweise zurückgewiesen werden, entsprechend werden alle statistischen Tests nonparametrisch durchgeführt, um eine konsistente Darstellung zu erhalten. Die deskriptiven Statistiken bildeten den Mittelwert, den Median, die Interquartilbereiche das Minimum und das Maximum ab.

Bei den 62 Follow-up-Patienten wurde sowohl der Verlauf des intraokularen Drucks (IOD) als auch des Visus mittels eines Wilcoxon-Tests ausgewertet. Darüber hinaus erfolgte eine statistische Prognose der Werte mittels einer logistischen Regression.

Bei allen 100 Patienten wurde überprüft, ob im Studienzeitraum eine Nachoperation erforderlich war, und die Ergebnisse wurden statistisch bewertet. Es wurde mittels bivariaten Korrelationen geprüft, ob ein Zusammenhang zwischen dem Alter, dem Geschlecht oder der Diagnose der Patienten und dem finalen IOD bestand. Für den Signifikanztest wurde der Mann-Whitney-U-Test für ungepaarte und der Wilcoxon-Test für gepaarte Stichproben verwendet, um den Langzeit-Operationserfolg zu untersuchen. P-Werte kleiner als 0,05 wurden als statistisch signifikant betrachtet.

Da alle Ergebnisse explorativer Natur sind, wurde auf eine α -Fehler Anpassung für multiples Testen verzichtet.

Bei der Ausarbeitung der Dissertation wurden die Empfehlungen des „Guide on surgical innovation for glaucoma“ der European Glaucoma Society^{25,26} berücksichtigt.

4. Ergebnisse

Die in 4.1 und 4.2 dargestellten Ergebnisse unterscheiden sich hinsichtlich der Anzahl der Patienten in den Folgeuntersuchungen von der ursprünglichen Langzeitgruppe, da bei einem Teil der untersuchten Patienten keine hinreichenden Langzeitwerte dokumentiert wurden. Dies lag am Nichterscheinen der Patienten zu weiteren Nachkontrollen. Somit liegt bei der statistischen Auswertung des späteren Beobachtungszeitraumes eine kleinere Patientengruppe vor.

4.1. Patientendaten

In der Studiengruppe befanden sich 100 Patienten, davon 42 Frauen und 58 Männer. Das Alter lag hier im Median bei 64 Jahren, der Altersdurchschnitt lag bei 63,51 Jahren. Der jüngste Patient war zehn und der älteste 90 Jahre alt. Der Grund für die Operation war bei 65 Patienten ein POWG, bei jeweils elf Patienten ein PEX bzw. ein PDG, bei zwei Patienten ein sekundäres Glaukom, bei zwei Patienten ein NAG, bei zwei Patienten ein (spät-) juveniles Glaukom, und bei zwei Patienten ein Kongenitales Glaukom. Bei 16 Patienten wurden weitere Diagnosen festgestellt. Alle Kanaloplastik-Operationen fanden zwischen Oktober 2014 und Juli 2021 statt. Insgesamt erfolgten 17 Nachoperationen in Form von Trabekulektomien.

In der Langzeitgruppe befanden sich 62 Patienten, davon 24 Frauen und 38 Männer. Im Median waren die Patienten 64 Jahre alt, der Altersdurchschnitt lag hier bei 64,62 Jahren. Der jüngste war Patient zehn und der älteste ebenfalls 90 Jahre alt. Der Grund für die Operation war bei 44 Patienten ein POWG, bei jeweils vier Patienten ein PEX, bei einer Patientin ein NAG, bei einem Patienten ein spätjuveniles Glaukom, bei zwei Patienten ein kongenitales Glaukom und bei zwei Patienten ein sekundäres Glaukom. Bei den restlichen Patienten wurden andersartige Diagnosen festgestellt (siehe Tab. 2). Insgesamt erfolgten 14 Nachoperationen in Form einer Trabekulektomie.

Es konnte keine Korrelation zwischen dem Alter, dem Geschlecht oder der Diagnose der Patienten und dem finalen IOD festgestellt werden.

Patientenkollektiv

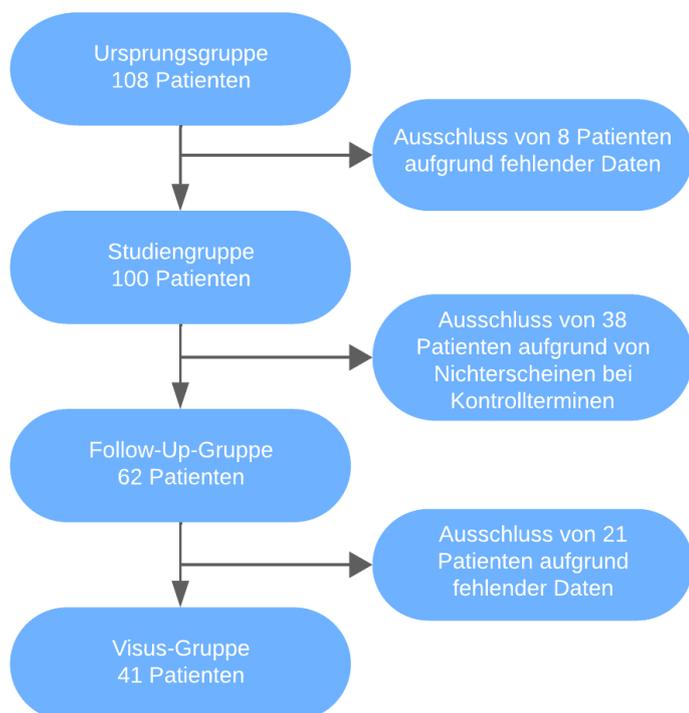


Abb. 2: Auswahl des Patientenkollektivs.

	Studiengruppe	Langzeitgruppe
N	100	62
Alter (median (iqr))	64 (51-76)	64 (54-76)
Geschlecht		
Männlich (n, (%))	58 (58%)	38 (61,3%)
Weiblich (n, (%))	42 (42%)	24 (38,7%)
Divers (n, (%))	0 (0%)	0 (0%)
Glaukom-Art		
POWG (n (%))	66 (66%)	44 (71,0%)
PEX/ PDG (n (%))	9 (9%)	4 (6,5%)
Sek. Glaukom (n (%))	2 (2%)	2 (3,2%)
NAG (n (%))	9 (9%)	1 (1,6%)
(spät-) juvenil (n (%))	2 (2%)	1 (1,6%)
Kongenital (n (%))	1 (1%)	2 (3,2%)
Weitere (n (%))	11 (11%)	8 (12,9%)
Nach-OPs (n (%))	19 (19%)	14 (22,6%)

Tab. 2: Übersicht über beide Patientengruppen. Die am häufigsten gestellte Diagnose ist das primäre Offenwinkelglaukom (POWG). Insgesamt wurden 14 von 62 untersuchten Patientenfällen nachoperiert, dies entspricht 22,6% der verkleinerten Patientengruppe.

4.2. Statistische Auswertung

In der statistischen Auswertung wurden zwei Patientengruppen berücksichtigt. Die große Patientengruppe mit 100 Patienten wurde zur allgemeinen Übersicht herangezogen. Die verkleinerte Patientengruppe mit Langzeitergebnissen von mindestens 9-14 Monaten wurde zur Betrachtung der Mediane und Mittelwerte, insbesondere in Bezug auf die präoperativen sowie die finalen intraokularen Drücke, sowie für die Erstellung von Modellen genutzt.

Zu Beginn der Studie lag der Median des präoperativ aufgenommenen Augeninnendruckes bei 24 mmHg. Dabei lag der Maximalwert bei 48 mmHg und der Minimalwert bei 12 mmHg.

Der final aufgenommene Augeninnendruck lag im Median bei 14 mmHg und liegt somit unter dem gesetzten Zieldruck von 15 mmHg. Es liegt dementsprechend ein Druckabfall von 10 mmHg vor. Der Maximalwert lag bei 31 mmHg, was den physiologisch akzeptablen Druck von 21 mmHg um 10 mmHg überschreitet. Der Minimaldruck lag bei 8 mmHg.

Im Mittelwertvergleich ist ein Druckabfall von 25,56 mmHg auf 15,35 mmHg zu beobachten, was ebenfalls einer Drucksenkung von 10,21 mmHg, also 39,95%, entspricht.

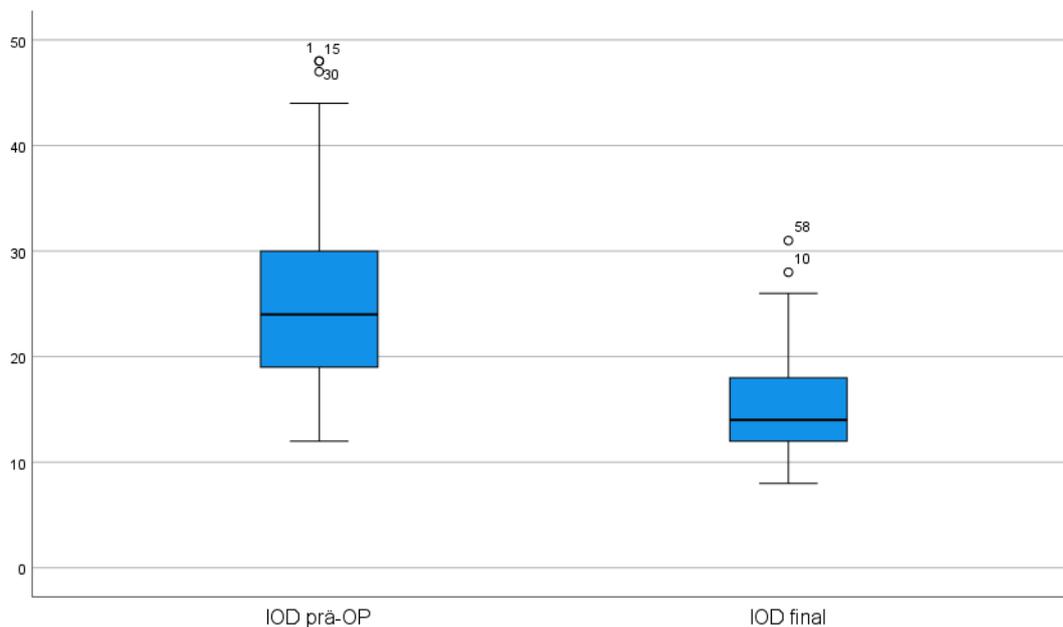


Abb. 3: Präoperativer IOD (links) und postoperativer IOD (rechts). Zum besseren Vergleich wurden nur diejenigen Patienten berücksichtigt, die über Langzeitergebnisse von mindestens 9-14 Monaten verfügen.

Der präoperativ aufgenommene Visus lag im Median bei 0,75. Dabei lag der Maximalwert bei 1,25 und der Minimalwert bei 0,02.

In 41 Fällen wurde der Visus im zeitlichen Verlauf dokumentiert.

Unter Berücksichtigung der zuletzt angegebenen Werte ergibt sich ein Median von 0,63.

Im Vergleich zum präoperativ aufgenommenen Visus von 0,75 ist somit eine leichte Verschlechterung zu bemerken.

Im Mittelwertvergleich zeigte sich eine leichte Verschlechterung des Visus um 0,04, von einem durchschnittlichen Wert von 0,68 auf 0,64.

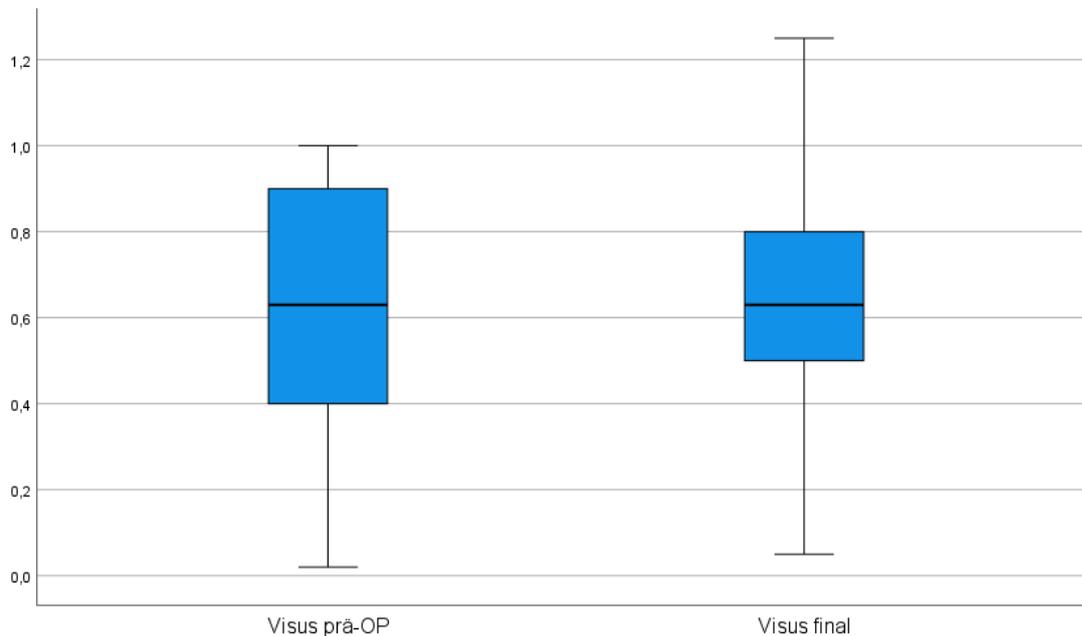


Abb. 4: Präoperativer Visus (links) und postoperativer Visus (rechts). Postoperativ ist nur eine kleinere Datenmenge von 41 Fällen verfügbar.

4.2.1. Ergebnisse in Bezug auf die Drucksenkung im zeitlichen Verlauf

Zur Prüfung einer statistisch signifikanten Druckreduktion wurde der Wilcoxon-Test bei verbundenen Stichproben angewandt. In allen postoperativen Untersuchungen konnte der Augeninnendruck statistisch signifikant gesenkt werden, hierbei wurde im Median ein physiologischer Druck von 14 mmHg bei der letzten berücksichtigten Untersuchung gemessen. Im Beobachtungszeitraum nimmt die Streuung der Werte im Vergleich zur Nachkontrolle unmittelbar nach der OP ab, sodass eine Angleichung der Werte an den Mittelwert zu beobachten ist. Bei allen postoperativen Drücken lag der p-Wert bei $<0,001$ (siehe Tab. 3).

Der gemessene präoperative Augeninnendruck lag bei den 62 untersuchten Patienten bei im Median bei 24mmHg und im Mittelwert (MW) bei 25,56 mmHg. Bei allen Patienten der Gruppe wurde ein Zieldruck von 15mmHg als kompletter Erfolg festgelegt, um physiologische Druckverhältnisse abzubilden.

Drücke von ≤ 18 mmHg und ≤ 21 mmHg wurden als relative Erfolge gewertet.

Bei der postoperativen Nachkontrolle bei allen 62 Patienten war eine Drucksenkung im Median um 14 mmHg (MW 13,613 mmHg) zu beobachten, sodass ein Druck im Median von zehn mmHg (MW 11,95 mmHg) gemessen wurde, der somit unter dem Zieldruck von 15 mmHg lag.

Im Beobachtungszeitraum 4-8 Monate post-OP wurde bei 54 Patienten ein Augeninnendruck von 15 mmHg (MW 15,28 mmHg) beobachtet. Im Zeitraum 9-14 Monate post-OP lag der Wert ebenfalls bei 15 mmHg (MW 15,14 mmHg). Der Mittelwert wies im Zeitraum 9-14 Monate somit die größte Annäherung an den Zielwert von 15 mmHg auf.

Der zuletzt gemessene (finale) Augeninnendruck lag im Median bei 14 mmHg und somit unter dem Zieldruck von 15 mmHg. Der Mittelwert lag mit 15,35 mmHg leicht höher als der Zieldruck von 15 mmHg. Im Vergleich mit den präoperativ gemessenen Werten ist eine deutliche und statistisch signifikante Drucksenkung zu bemerken.

Im Beobachtungszeitraum 4-8 sowie 9-14 Monate post-OP erschien nicht die Gesamtheit der untersuchten Patientengruppe zur Nachkontrolle, sodass sich eine Gruppengröße von 54 bzw. 56 Personen ergab. Bei einer Prüfung auf die statistische Signifikanz ergab sich für jedes getestete Variablenpaar $p=0,001$, sodass stark davon ausgegangen werden kann, dass die vorliegende Verteilung nicht zufällig ist.

Die Drucksenkung betrug im Median 10 mmHg. Im Mittel konnte der IOP um 10,21 mmHg, also ca. 39,95%, gesenkt werden. Der physiologische Zieldruck von 15 mmHg kann sowohl im Median als auch im Mittel als erreicht anerkannt werden.

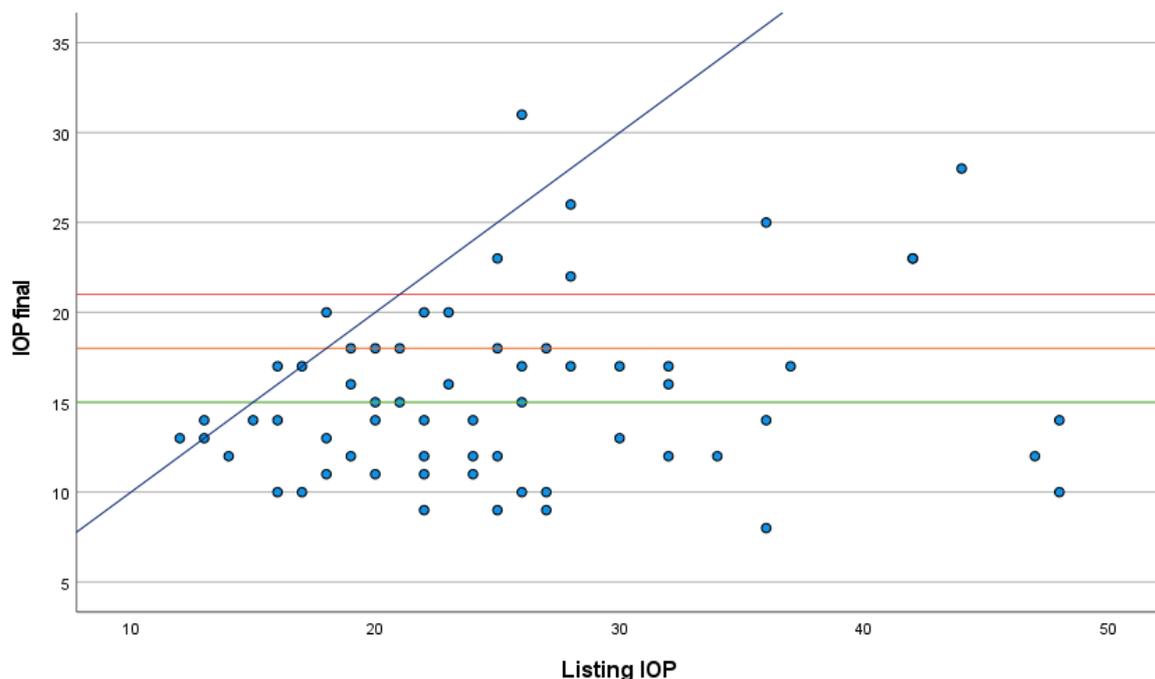


Abb. 5: Verteilung des präoperativ aufgenommenen IOD (X-Achse, Listing IOP) zum final gemessenen Wert (Y-Achse). Als absoluter Erfolg werden Drücke von ≤ 15 mmHg (untere Linie) gewertet, Drücke von ≤ 18 mmHg (mittlere Linie) und ≤ 21 mmHg (obere Linie) wurden als relative Erfolge gewertet. Die unter der Winkelhalbierenden liegenden Punkte weisen eine postoperative Verbesserung auf.

Um eine Drucksenkung im zeitlichen Verlauf abzubilden, wurde der präoperativ aufgenommene Augeninnendruck jeweils mit den Zeitpunkten 0-4 Wochen post-OP (Paar 1), 4-8 Wochen post-OP (Paar 2), 9-14 Monate post-OP (Paar 3) und mit dem final aufgenommenen Augeninnendruck (Paar 4) gepaart.

Statistik bei gepaarten Stichproben

		Median	N	IQR	p-Wert
Paar 1	IOD prä-OP	24,00	62	19,00-30,00	<0,001
	IOD 1-2 Tage post-OP	10,00	62	8,00-15,00	
Paar 2	IOD prä-OP	24,00	54	19,00-30,00	<0,001
	IOD 4-8 Mo post-OP	15,00	54	12,00-18,00	
Paar 3	IOD prä-OP	24,00	56	19,00-30,00	<0,001
	IOD 9-14 Mo post-OP	15,00	56	12,00-17,75	
Paar 4	IOD prä-OP	24,00	62	19,00-30,00	<0,001
	IOD final	14,00	62	12,00-18,00	

Tab. 3: Die Tabelle stellt die Entwicklung des IOD im Beobachtungszeitraum dar, beginnend mit der präoperativen Untersuchung bis zu den Nachkontrollen im Zeitraum von mindestens 9-14 Monaten post-OP. Im Vergleich zum präoperativen IOP von 24mmHg im Median ist eine Druckreduktion post-operativ auf 15mmHg im Median zu beobachten, die sich im weiteren zeitlichen Verlauf bei 14mmHg einpendelt.

Bei Paar 1 ist die stärkste Drucksenkung auf 10 mmHg im Median zu verzeichnen, im weiteren Verlauf steigt der Druck auf 15 mmHg (Paar 2,3) und 14 mmHg (Paar 4) an. Die Anzahl der Probanden sinkt zwischenzeitlich auf 54 bzw. 56 Probanden, da nicht alle Patienten regelmäßig zur Nachkontrolle erschienen sind.

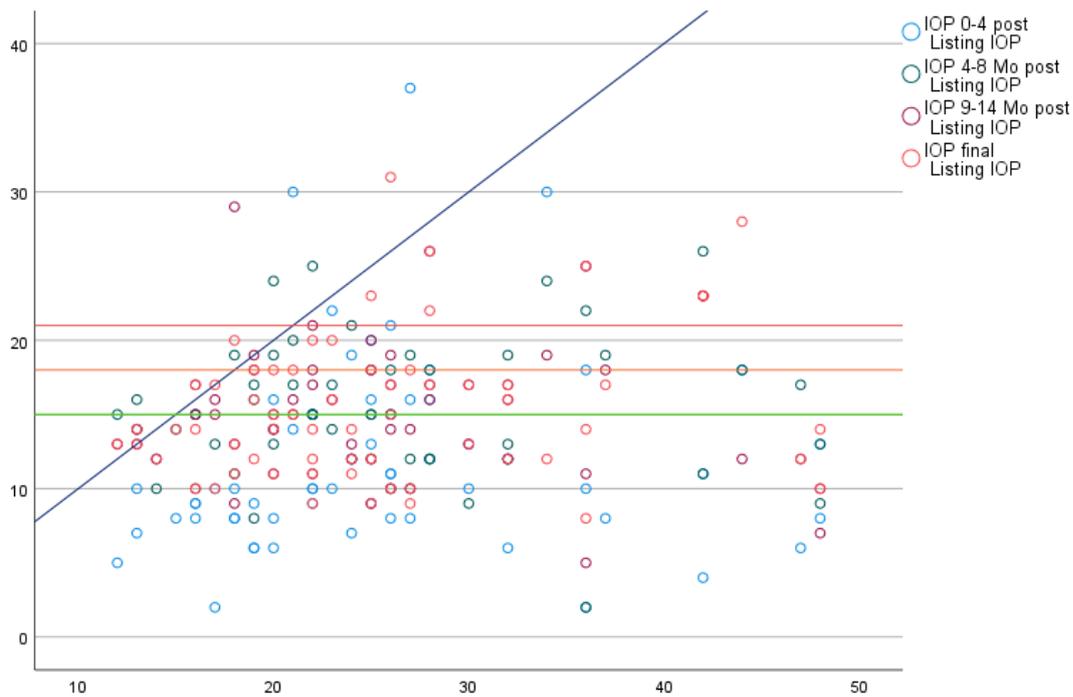


Abb. 6: IOD-Paare. X-Achse: IOD-Präoperativ (Listing IOP). Y-Achse: IOD 1-2Tage post-OP (0-4), 4-8 Monate post-OP, 9-14 Monate post-OP und der zuletzt gemessene Druck (IOP Final), nach maximal 24 Monaten. Die unter der Winkelhalbierenden liegenden Punkte weisen eine postoperative Verbesserung auf.

4.2.2. Medikation

Die Medikation der Patienten wurde vor und nach der Kanaloplastik in Tropfen erfasst. Zur Darstellung der Ergebnisse wird die Anzahl der Tropfen als Median angegeben, ergänzt durch den Mittelwert in Klammern, um eine bessere Vergleichbarkeit mit der vorhandenen Literatur zu ermöglichen. Im Median nahmen die Patienten präoperativ zwei (MW 2,21) Tropfen täglich, 1-2 Tage postoperativ null (MW 0,63) Tropfen, 1-3 Monate post-OP null (MW 0,72) Tropfen, 4-8 Monate post-OP null (MW 0,5) Tropfen, 9-14 Monate post-OP null (MW 0,4) Tropfen, 15-24 Monate post-OP null (MW 0,31) Tropfen und 24 Monate post-OP null (MW 0,33) Tropfen. Bei ihrem letzten Besuch waren 48 Patienten medikationsfrei.

Dies entspricht in dem gesamten postoperativen Beobachtungszeitraum einer konstanten Senkung von zwei Tropfen (100%) im Median. Im Mittelwert entspricht dies einer Senkung von 1,67 Tropfen (71,49%) 1-2 Tage post-OP, 1,58 Tropfen (67,42%) 1-3 Monate post-OP, 1,8 Tropfen (77,38%) 4-8 Monate post-OP, 1,9 Tropfen (81,90%) 9-14 Monate post-OP, 1,99 Tropfen (85,97%) 15-24 Monate post-OP und 1,97 Tropfen (85,07%) 24 Monate post-OP.

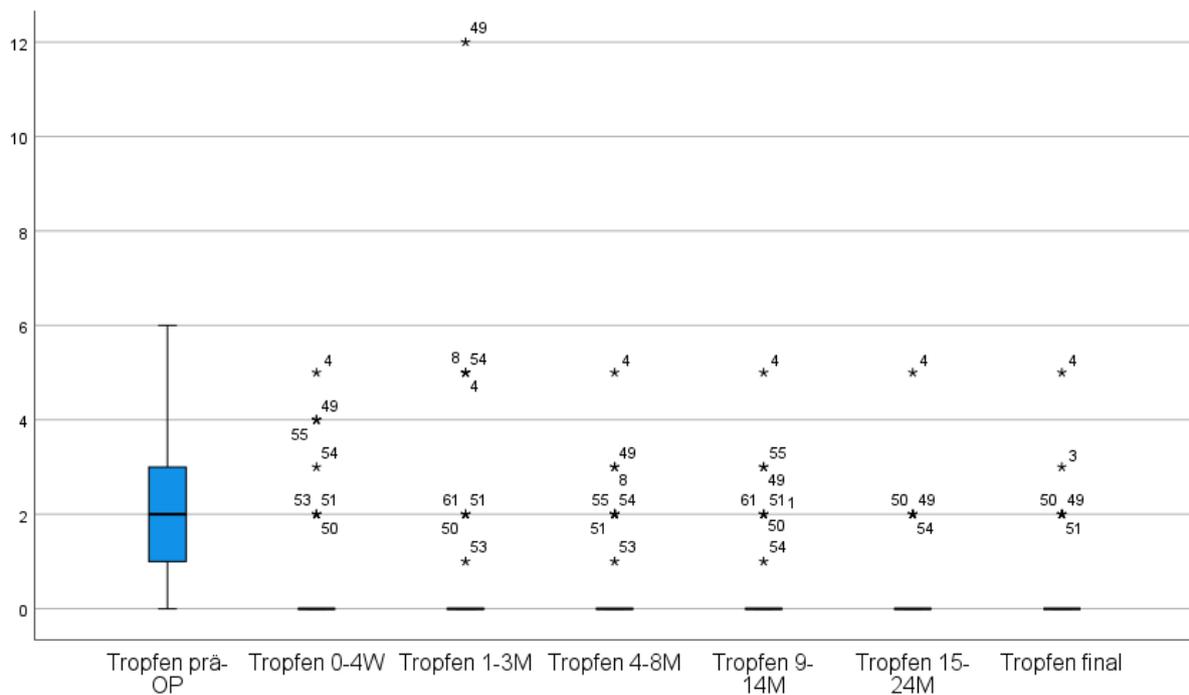


Abb. 7: Tägliche Tropfen präoperativ, 1-2 Tage post-OP, 1-3 Monate post-OP, 4-8 Monate post-OP, 15-24 Monate post-OP und spätestens 24 Monate post-OP.

Bei allen Operationen wurde Mitomycin C (MMC) verabreicht, mit einer Ausnahme von 23 Patienten, bei denen 5-Fluoruracil (5FU) verwendet wurde. Bei zwei Patienten wurden die Präparate in Kombination verabreicht.

Bei der 5FU-Gruppe wurde der Druck im Median von 24 (MW 22,8) mmHg auf 14 (MW 14,565, ca. 36,37%) mmHg gesenkt. Die Augentropfen konnten in der 5FU-Gruppe von zwei (MW 2,304) auf null (MW 0,13) Tropfen pro Tag gesenkt werden, was einer Reduktion von 100% (94,36%) entspricht. In Kombination beider Präparate wurde der Druck von 41 mmHg auf 11 mmHg (ca. 73,17%) gesenkt, Median und Mittelwert decken sich in diesem Fall. Die Anzahl der Augentropfen erhöhte sich allerdings von durchschnittlich zwei Tropfen täglich auf 2,5 Tropfen, was einer Erhöhung um 25% entspricht. Die Drucksenkung betrug dementsprechend im Median 10 mmHg und im Mittel ca. 8,235 mmHg bei der 5FU-Gruppe und 30 mmHg bei der kombinierten Gruppe.

4.2.3. Überleben

Es wurden Kaplan-Meier-Kurven erstellt, um mögliche Operationsmisserfolge abzubilden. Die Kaplan-Meier-Überlebenskurve berücksichtigt nicht nur einen zu hohen postoperativen Druck als Misserfolg, sondern auch (entsprechend den Empfehlungen der EGS) einen Visusverlust von mehr als zwei Snellen-Linien. Der absolute Erfolg wird dementsprechend als ein IOD von ≤ 15 mmHg mit einem Visusverlust von ≤ 0.2 definiert. Bleibt der Druck unter 21 mmHg bei

einem Visusverlust von ≤ 0.2 , wird das Operationsergebnis als relativer Erfolg gewertet. Alle Misserfolge werden als Ausfälle dargestellt.

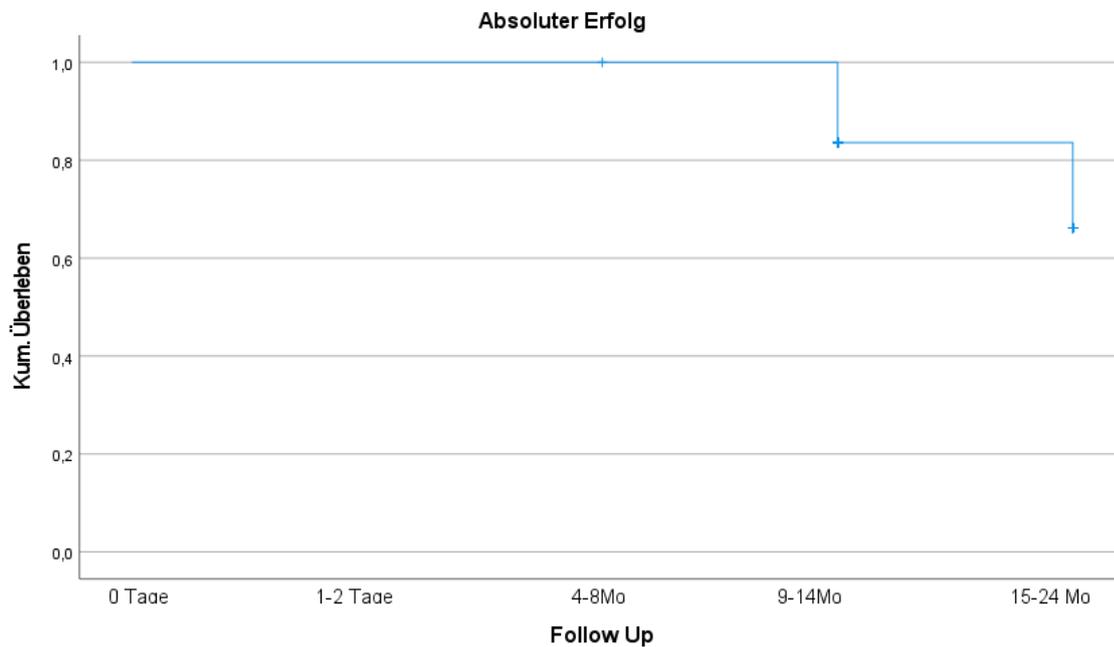


Abb. 8: Kaplan-Meier Kurve bezogen auf den absoluten Erfolg. Zu hohe Drücke oder ein zu hoher Visusverlust wurden als Misserfolge gewertet.

Bezogen auf den absoluten Erfolg kam es zu den Zeitpunkten 9-14 Monate und 15-24 Monate zu Zensuren. Es kam bei 21 Patienten aufgrund eines zu hohen IOD und bei drei Patienten aufgrund eines zu großen Visusverlustes zu Ausfällen. Fünf Patienten wiesen sowohl einen zu hohen Druck als auch einen zu hohen Visusverlust auf.

Es wurden zwei weitere Überlebenskurven für relative Erfolge von ≤ 18 mmHg und ≤ 21 mmHg erstellt. Ein Visusverlust von > 0.2 wurde ebenfalls als Misserfolg gewertet.

Bezogen auf einen relativen Erfolg von ≤ 18 mmHg fielen acht Patienten aufgrund zu hoher Drücke, fünf aufgrund eines zu großen Visusverlustes und drei Personen aufgrund einer Kombination beider Misserfolge aus (Abb. 9). Gemessen am relativen Erfolg von ≤ 21 mmHg fielen vier Patienten aufgrund des IOD, fünf aufgrund des Visus und zwei Patienten aufgrund der Kombination aus (Abb. 10).

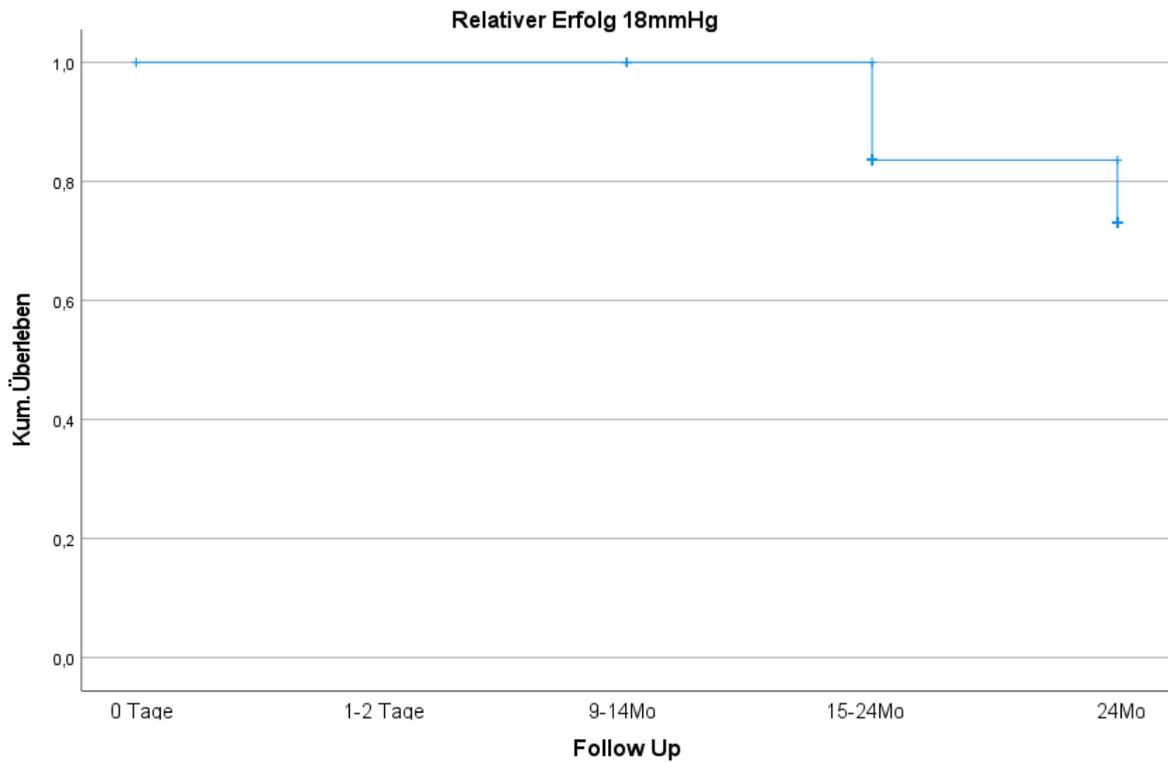


Abb. 9: Kaplan-Meier-Kurve bezogen auf einen relativen Erfolg von ≤ 18 mmHg (siehe S.31). Insgesamt kam es zu 16 Ausfällen aufgrund eines zu hohen IOP und/ oder eines Visusverlustes >0.2 .

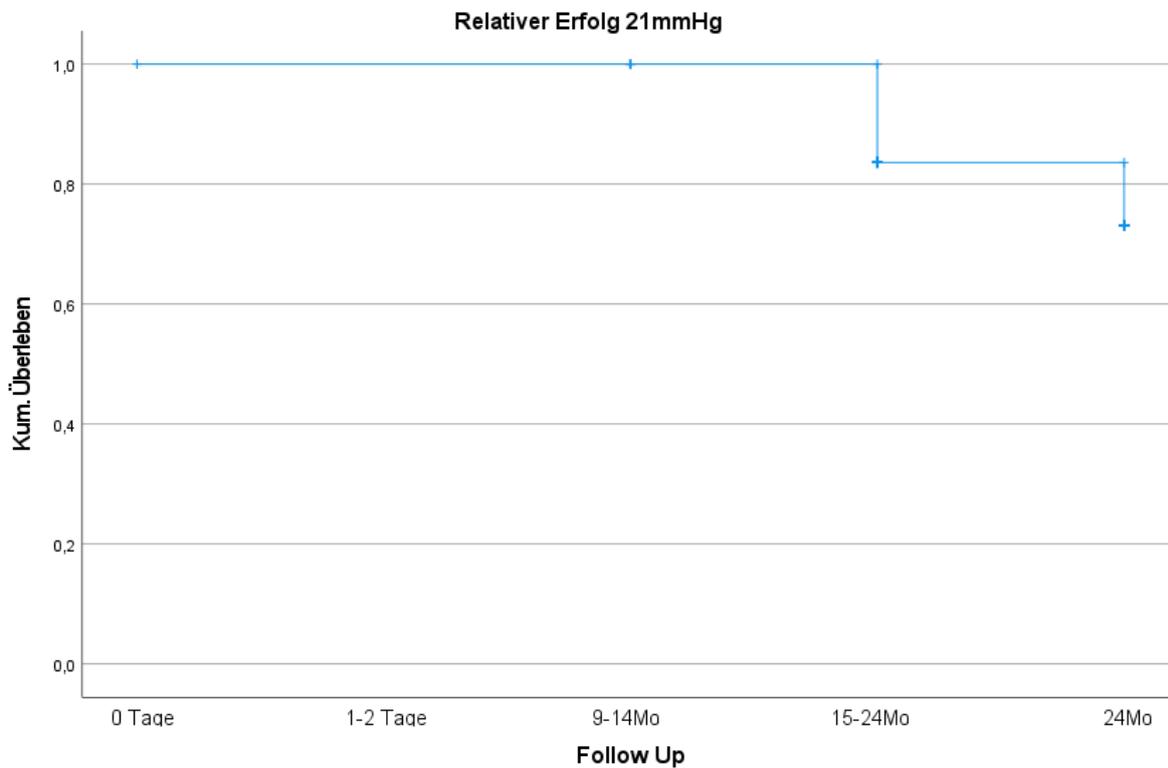


Abb. 10: Kaplan-Meier-Kurve bezogen auf einen relativen Erfolg von ≤ 21 mmHg (siehe S.31). Insgesamt wiesen vier Patienten einen zu hohen IOP, fünf Patienten einen zu großen Visusverlust und zwei Patienten eine Kombination aus beidem auf.

4.2.4. Prognostische Faktoren

Mittels logistischer Regression wurde im Modell berechnet, ob anhand der gemessenen Drücke und Medikationen prognostische Faktoren ermittelt werden können. Hierbei wurde der präoperative IOD, der direkt postoperativ ermittelte IOD und die präoperativ verabreichten Tropfen als Kenngrößen herangezogen. Statistisch wurde eine Erfolgswahrscheinlichkeit von mindestens 60% als Schwellenwert festgelegt, ab dem eine Kenngröße als positiver prognostischer Faktor eingestuft wurde.

Präoperativ wurde so explorativ ein Grenzwert von 44 mmHg festgestellt. Hierbei wurden Drucküberschreitungen von über 21 mmHg als Operationsmisserfolg gewertet. Überschritten die präoperativ gemessenen Drücke 44 mmHg, stieg die Wahrscheinlichkeit für einen Operationsmisserfolg signifikant an ($p=0,007$).

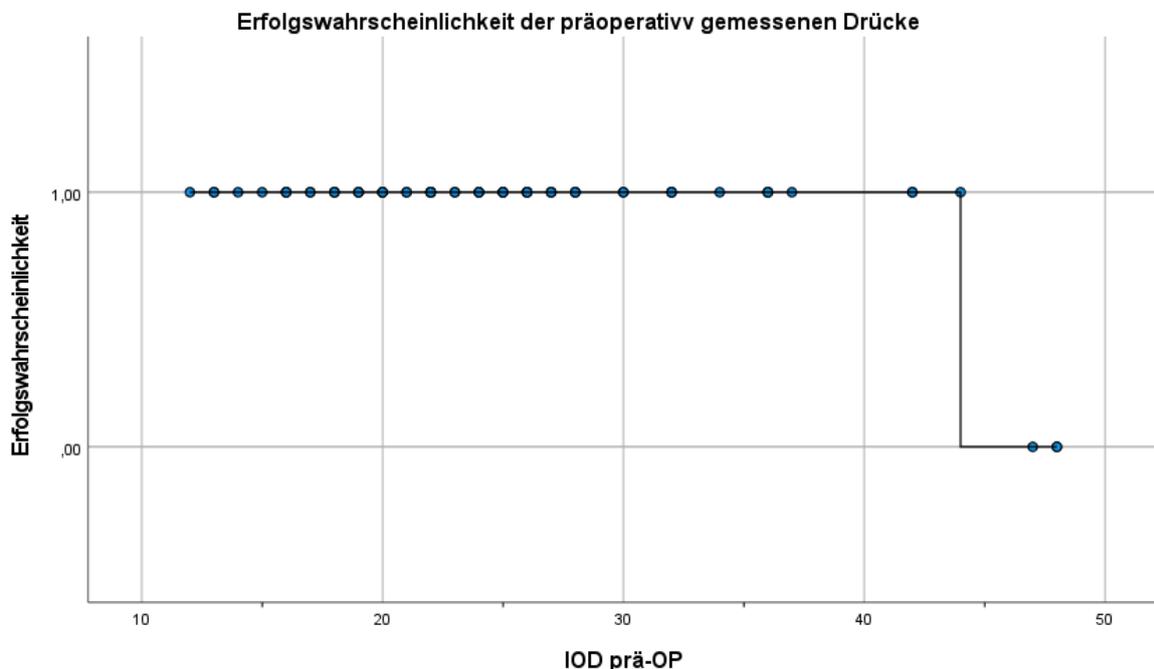


Abb. 11: Erfolgswahrscheinlichkeiten der präoperativ gemessenen Drücke. Ab 44 mmHg steigt das Risiko für einen Operationsmisserfolg signifikant an.

Postoperativ konnte ebenfalls explorativ ein Grenzwert ermittelt werden, ab dem das Risiko für Operationsmisserfolge ansteigt. Die Voraussetzungen für Operationsmisserfolge wurden beibehalten. Anhand der vorliegenden Daten ist ein Wert von 18 mmHg als negativer prognostischer Faktor zu erkennen. Ein post-OP gemessener Druck oberhalb dieses Wertes deutet darauf hin, dass der Augeninnendruck langfristig physiologisch akzeptable Werte übersteigen könnte und somit eine Nachoperation notwendig sein könnte ($p=0,138$).

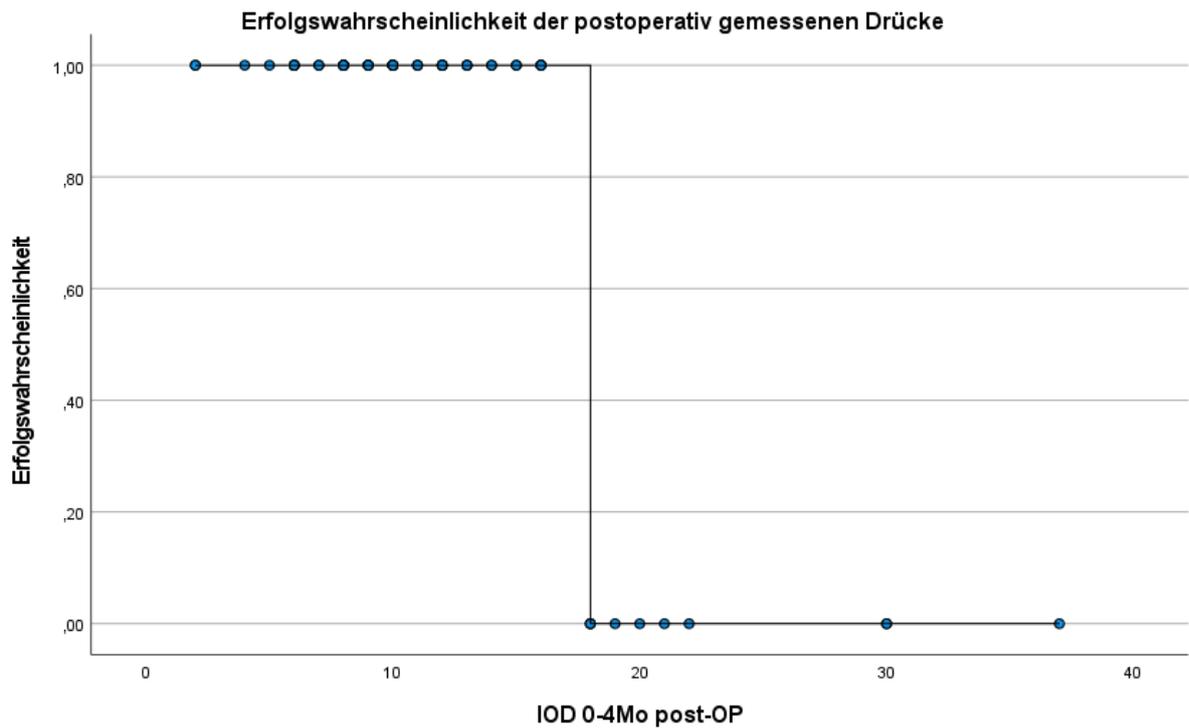


Abb. 12: Modell der logistischen Regression. Der voraussichtliche Erfolg sinkt ab einem Wert über 18 mmHg.

Die präoperativ verabreichten Tropfen wurden ebenfalls statistisch auf Erfolgswahrscheinlichkeiten geprüft. Auch hier wurden Drücke über 21 mmHg und Visusverluste über 0,2 als Misserfolge gewertet. Hier konnte explorativ ein Grenzwert von mehr als drei Tropfen präoperativ festgestellt werden ($p=0,47$).

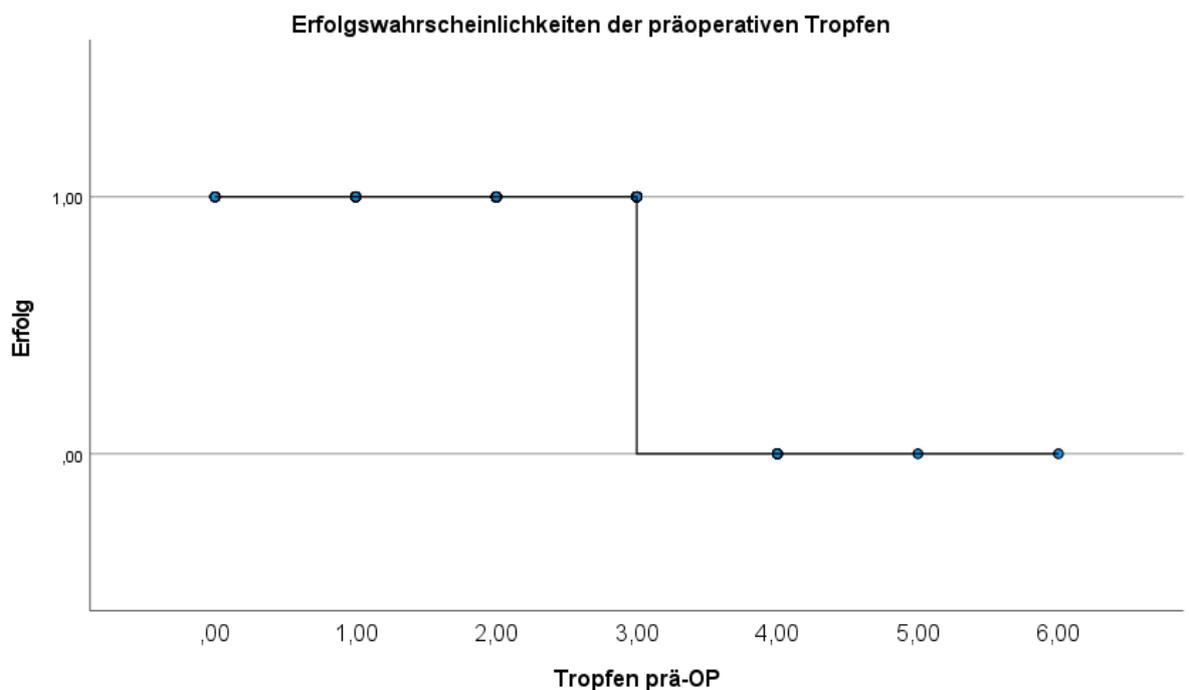


Abb. 13: Erfolgswahrscheinlichkeiten der präoperativen Tropfen. Der Grenzwert wurde hier bei mehr als drei Tropfen ermittelt, $p=0,47$.

5. Diskussion

Die Kanaloplastik wird zunehmend als wirksame Behandlungsoption zur Senkung des intraokularen Drucks (IOD) bei Glaukompatienten anerkannt. In den folgenden Abschnitten wird zunächst die Auswirkung der Kanaloplastik auf den IOD, den Visus und die Medikation der Patienten diskutiert. Die erhobenen Werte sind im Median angegeben, der Mittelwert wird darauffolgend zur besseren Vergleichbarkeit mit der Literatur benannt.

Anschließend erfolgt eine Bewertung des Operationserfolgs unter Berücksichtigung verschiedener Faktoren wie mögliche Komplikationen und der Notwendigkeit von Nachoperationen. Im Literaturvergleich werden die vorliegenden Ergebnisse kontextualisiert und gegebenenfalls relativiert. Durch diese Diskussion und Bewertung wird ein umfassendes Bild von den Vorzügen und potenziellen Herausforderungen der Kanaloplastik gezeichnet.

5.1. IOD

Die vorliegende Studie zeigt, dass eine Kanaloplastik zu einer signifikanten Senkung des intraokularen Drucks (IOD) führen kann.

Die Analyse konzentrierte sich besonders auf den IOD, da dieser nicht nur als objektiv messbarer Parameter dient, sondern auch direkt mit der Symptomatik des Glaukoms in Verbindung steht. Ein erhöhter IOD kann den Sehnerv belasten und zu einer Degeneration des Bulbus führen. Da der IOD natürlichen Schwankungen unterliegt, ist es wichtig, diese tageszeitlichen Variationen in den Studienergebnissen zu berücksichtigen und standardisierte Messzeiten zu verwenden, um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten.

Die Kanaloplastik bewirkte in der vorliegenden Studie eine Reduktion des IOD um 10 mmHg, was eine signifikante Verbesserung darstellt. Der Zielwert von 15 mmHg wurde im Median erreicht und im Mittelwert nahezu erreicht. Der physiologische Bereich des IOD liegt zwischen 10 und 21 mmHg, wobei 15mmHg als optimaler Zielwert angesehen werden kann.

Postoperativ kam es zu einem deutlichen Druckabfall auf 10 mmHg im Median bzw. 11,95 mmHg im Mittelwert, was auf den vorübergehenden Abfluss des Kammerwassers während des Eingriffs zurückzuführen ist. Nach der Operation steigt der IOD wieder an, da sich neues Kammerwasser bildet, das dank der Kanaloplastik jedoch effizient abfließen kann. Die Differenz zwischen Median und Mittelwert ist hauptsächlich durch postoperative Ausreißer von bis zu 37 mmHg zu erklären (siehe Abb. 3). Der Median zeigt sich bezüglich solcher Ausreißer stabiler, sodass sich ein geringerer postoperativer Druck ergibt.

Drücke über 15 mmHg sind als relative Operationserfolge akzeptabel, solange der Druck den Grenzwert von 21 mmHg nicht überschreitet.

Der IOD ist nicht immer der einzige Faktor, der für die Indikation zur Kanaloplastik herangezogen wird. Bei manchen Menschen ist die Drucksensitivität der Papille erhöht, sodass bereits Normwerte zu Druckatrophien führen können.^{11,21} Ein weiterer Grund könnte die Verwendung von Begleitmedikation wie drucksenkenden Augentropfen sein. Ein wesentlicher Vorteil der Kanaloplastik ist die Möglichkeit, den IOD dauerhaft zu senken, sodass Patienten langfristig auf solche Medikation verzichten können.

Dieser Aspekt wirft auch eine interessante Frage auf: Wenn der IOD bei einigen Patienten im normalen Bereich liegt oder für den Patienten bis zum Zeitpunkt der Entscheidungsfindung nicht als pathologisch wahrgenommen wird, welche anderen Faktoren motivieren dann zur Kanaloplastik? Möglicherweise spielen Aspekte wie ein kontrolliertes Fortschreiten des Glaukoms, der Verzicht auf Augentropfen oder die Prävention weiterer Schädigungen des Auges eine Rolle. Weitere Forschung könnte sich darauf konzentrieren, wie sich die Kanaloplastik auf diese Aspekte auswirkt und welche Patientengruppen am meisten von der Operation profitieren.

Eine Metaanalyse von Riva et al.²⁷ zeigt Ergebnisse bezüglich der Drucksenkung auf, die der vorliegenden Studie ähneln; hier wurde bei diversen Studien ein abschließender Wert von durchschnittlich 14.4-15.2 mmHg^{6,28-30} ermittelt. Byszewska et al.³¹ berichten von einer durchschnittlichen Druckreduktion von 32.3%; bei über 84,9% der untersuchten Augen wurde eine Drucksenkung von über 20% erreicht. Zudem wurde in ihrer Studie festgestellt, dass alle Augen nach 12 Monaten einen IOD unter 18 mmHg hatten. Weitere Studien ermitteln einen zuletzt gemessenen Druck von 13.21-15.19 mmHg³²⁻³⁴. Diese Ergebnisse stehen im Einklang mit den Erkenntnissen von Szurman⁵, die ebenfalls eine starke Drucksenkung durch Kanaloplastik bestätigen. Die modifizierten Techniken, die Szurman beschreibt, zielen darauf ab, die IOD-Senkung weiter zu verbessern und kommen dem Druckreduktionseffekt einer erfolgreichen Trabekulektomie sehr nahe. Riva et al.²⁷ stellt darüber hinaus einen Zusammenhang zwischen einer adäquaten Nahtspannung und einer stärkeren Drucksenkung sowie einer geringeren Follow-Up Medikation fest.

Beres und Scharioth²⁴ berichten bei Kanaloplastiken von einer durchschnittlichen Druckreduktion von ca. 40%, bei Trabekulektomien nennen sie einen höheren Wert von etwa 47,73-65,48%. Die bewerteten Drucksenkungen lagen bei Ayyala et al.³⁵ bei 32% (Kanaloplastik) zu 42% (Trabekulektomie) bei einer Signifikanz von (p=0,072). In weiteren Studien wurde bei Trabekulektomien eine durchschnittliche Drucksenkung von 44.4-60%³⁶⁻³⁸ erreicht. In der hier vorliegenden Statistik wurde eine mittlere Druckreduktion von 39,95% bezogen auf die Mittelwerte erreicht. Somit deckt sich die Druckreduktion mit den beschriebenen Werten und bleibt weiterhin etwas hinter denen der Trabekulektomie zurück.

Riva et al.²⁷ stellen fest, dass die Trabekulektomie zwar immer noch eine effektivere Drucksenkung bewirkt, aber auch zu mehr und vor allem schwerwiegenderen Komplikationen führt. Zusätzlich führen Trabekulektomien zu längeren stationären Aufenthalten und mehr Follow-Ups³³. Die geringe Komplikationsrate der Kanalplastiken wird auch von Łazicka-Gałecka et al.³⁹ bestätigt, die eine niedrige Inzidenz von Komplikationen nach der Kanalplastik berichten, wobei keine der auftretenden Nebenwirkungen das Sehvermögen bedrohte. Diese Erkenntnisse decken sich mit den Ergebnissen dieser Arbeit, die ebenfalls eine niedrige Komplikationsrate nach Kanalplastik verzeichnete. Szurman⁵ betont, dass durch die physiologische Herangehensweise der Kanalplastik, die auf der Wiederherstellung des natürlichen Kammerwasserabflusses basiert, das Risiko solcher Komplikationen erheblich gesenkt werden kann. Pigmentäre Glaukompatienten profitierten hierbei besonders stark mit einer 50%igen IOD-Reduktion und der höchsten Erfolgsrate innerhalb der untersuchten Subgruppen.

5.2. Visus

Der Visus ist häufig eine Konsequenz eines gut oder schlecht eingestellten IOD⁴⁰, allerdings sind hier weitere Faktoren zu beachten, die den Visus vor allem zum Schlechten beeinflussen können. Es ist wichtig zu betonen, dass bereits entstandene Schäden des Sehnervens und damit verbundene Gesichtsfeldausfälle zum Zeitpunkt der Dissertation nicht heilbar sind⁴⁰. Dementsprechend ist die Vermeidung einer Progression der Ausfälle eines der hauptsächlichen Ziele der Kanalplastik. Trotz der genannten Einschränkungen sollte die Entwicklung des Visus stets berücksichtigt werden, da der Erhalt der Sehkraft ein wesentlicher Faktor bei der Beratung der Patienten und bei der Entscheidungsfindung ist. In den Langzeitergebnissen konnten jedoch nur 41 Datensätze dargestellt werden, was die Aussagekraft einschränkt.

Statistisch zeigte sich eine leichte Verschlechterung des Visus um 0,12 von 0,75 auf 0,63 im Median; im Mittelwert um 0,04, von einem durchschnittlichen Wert von 0,68 auf 0,64.

Diese Veränderung ist jedoch aufgrund der kleineren Stichprobe und der damit einhergehenden höheren Standardabweichung mit Vorsicht zu interpretieren. Die Anfälligkeit des Mittelwertes für Ausreißer ist dementsprechend ebenfalls erhöht. Darüber hinaus können verschiedene nicht identifizierte Faktoren wie Begleiterkrankungen oder Lebensgewohnheiten ebenfalls Einfluss auf den Visus haben.

Eine größere Datenmenge wäre wünschenswert gewesen, um eine fundiertere Prognose zur langfristigen Entwicklung des Visus zu ermöglichen. Eine tiefere Analyse dieser Faktoren mit

größeren Stichproben könnte helfen, eine klarere Verbindung zwischen der Kanaloplastik und Veränderungen des Visus herzustellen.

Es ist anzumerken, dass bei den Follow-Up-Terminen der Visus zum Teil nicht dokumentiert wurde. Dies könnte unter anderem daran liegen, dass von Seiten der Patienten keine subjektive Verschlechterung berichtet wurde. In der Kaplan-Meier-Überlebenskurve wurde eine individuelle Verschlechterung von über 0,2 als Misserfolg gewertet. Eine umfassende Analyse mit mehr Patienten und Langzeitergebnissen könnte Aufschluss darüber geben, inwieweit der Visus sich in Zukunft nach einer Kanaloplastik verändert bzw. stabilisiert.

Khaimi et al.⁴¹ stellten in einer auf drei Jahren angelegten Studie fest, dass sich der Visus von $0,23 \pm 0,33$ auf $0,28 \pm 0,44$ ($p=0,04$) nach 18 Monaten und $0,26 \pm 0,36$ ($p=0,2$) nach 24 Monaten veränderte. Von ursprünglich 150 Patienten standen zu diesen Zeitpunkten noch 89 bzw. 74 Patienten zu Verfügung, sodass eine recht hohe Abweichung und zum Teil hohe p-Werte in der Studie zu finden sind. Allgemein ist allerdings eine leichte Verbesserung des Visus zu vermerken. Die Ergebnisse sollten aufgrund der größeren Streuung der Ergebnisse vorsichtig bewertet werden. Garris et al.⁴² und Ayyala et al.³⁵ konnten keine signifikanten Veränderungen des Visus verzeichnen.

Wilson⁴³ untersuchte über zehn Jahre die Veränderung des Visus bei unbehandelten Patienten und stellte eine Verschlechterung von 0,07-0,1 fest. Aufgrund der längeren Beobachtungsdauer stellen die Werte einen Anlass dar, eine Verbesserung der Lebensqualität durch einen chirurgischen Eingriff abzuwägen.

Junoy Montilio et al.⁴⁴ stellten in einer Metaanalyse fest, dass manche Glaukompatienten infolge eines operativen Eingriffes einen gewissen Visusverlust erleiden, dieser aber verglichen mit einer unkontrollierten Progression des Glaukoms nach ca. 1,5 Jahren geringer ausfällt. Die Progressionsrate verlangsamte sich postoperativ um 0,44dB pro Jahr. Die meisten in der Metaanalyse genannten Studien stellten keinen signifikanten Visusverlust fest. Bei festgestellten Visusverschlechterungen waren laut Junoy Montilio häufig Katarakte und andere, nicht Glaukom-assoziierte Gründe (wie z.B. Makulaerkrankungen) die Ursache. In der Metaanalyse wurden Kanaloplastiken nicht als eine der untersuchten Operationsmethoden benannt, sodass die hier vorliegenden Ergebnisse abweichen könnten. Eine weitere kritische Untersuchung des Visus im Langzeitverlauf der Kanaloplastik und deren Zusammenhang ist dementsprechend dringend notwendig.

Zukünftige Studien könnten sich neben möglichen Gründen für Visusverschlechterungen mit möglichen Grenzwerten für einen präoperativen Visus beschäftigen und weitere Vergleiche zu alternativen Operationsmethoden heranziehen, um neben einer adäquaten Druckreduktion auch einen möglichst vollständigen Erhalt des Visus zu gewährleisten.

5.3. Medikation

5.3.1. Tropfen

Ein weiterer wichtiger Punkt in der Diskussion ist die Medikationsfreiheit nach der Operation. Auch wenn Tropfen im Mittelwertvergleich in Dezimalzahlen angegeben wurden, können diese im klinischen Kontext nur in ganzen Einheiten verabreicht werden. Statistisch wurde bis zum Ende des Beobachtungszeitraumes im Median eine durchgehende Reduktion um zwei Tropfen (100%) festgestellt. Im Mittelwert wurde eine Reduktion von 1,97 Tropfen (85,07%) verzeichnet, die größte Reduktion wurde mit 1,99 Tropfen (85,97%) im Zeitraum 15-24 Monate post-OP festgestellt.

Bei ihrem letzten Besuch waren 48 Patienten medikationsfrei, dies entspricht 77,42% der Patienten.

Łazicka- Galecka et al.³⁹ berichten, dass 79% der Augen 18 Monate nach der Operation keine Glaukommedikamente mehr benötigten, die Menge der Medikamente wurde hierbei um 89% gesenkt. Byszewska et al.³¹ stellen fest, dass die Anzahl der Medikamente um 60% reduziert wurde, wobei 40% der Patienten komplett medikamentenfrei waren. Ayyala et al.³⁵ stellten bei Kanaloplastiken eine Senkung der Medikation um zwei Tropfen im Median dar, während bei der Trabekulektomie eine Senkung um drei Tropfen erreicht wurde. Laut Szurman⁵ wiederum benötigen etwa die Hälfte der von ihm untersuchten Patienten nach einer Kanaloplastik weiterhin Medikamente. Dies deutet darauf hin, dass trotz der signifikanten IOD-Senkung und der vermehrten Medikationsfreiheit die Kanaloplastik allein möglicherweise nicht für alle Patienten ausreichend ist, um eine vollständige Medikationsfreiheit zu erreichen. Die chirurgischen Weiterentwicklungen, die Szurman beschreibt, wie die Kombination mit suprachoroidalen Drainageverfahren, könnten jedoch dazu beitragen, diese Limitation zu überwinden. Die European Glaucoma Society²⁵ gibt darüber hinaus zu bedenken, dass eine Überinterpretation der Medikationsreduktion oder -freiheit möglich ist und die Medikationsgabe im Ermessen der behandelnden Ärzte liegt. Dementsprechend sollten die präsentierten Ergebnisse immer im individuellen Kontext des Behandlungsverlaufes betrachtet werden. In zukünftigen Studiendesigns wird ein standardisiertes Medikationsprotokoll empfohlen, um vergleichbarere Ergebnisse zu ermöglichen.

5.3.2. Antimetaboliten

Bei einigen der Patienten wurde prä- oder intraoperativ Mitomycin C (MMC) oder 5-Fluoruracil (5FU) verabreicht, um Narbenbildungen, die die Abflusswege verlegen könnten, in der Heilungsphase zu verhindern⁴⁵⁻⁴⁷. Mitomycin C verhindert hierbei die Zellteilung von Narbenzellen⁴⁵ durch eine reduzierte Fibroblasten- bzw. Kollagensynthese⁴⁸, 5-Fluoruracil verhindert die Zellproliferation, indem die DNA-Replikation unterbunden wird⁴⁸. Bei zwei Patienten wurde MMC in Kombination mit 5FU verabreicht.

Bei der 5FU-Gruppe wurde eine Drucksenkung von etwa 8,235mmHg (ca. 36,37%) erreicht. Die Augentropfen konnten im Median von zwei (MW 2,304) auf null (MW 0,13) Tropfen pro Tag gesenkt werden, was einer Reduktion von 100% (beim MW 94,36%) entspricht. In Kombination beider Präparate wurde der Druck sowohl im Median als auch im Mittel um 30mmHg (73,17%) gesenkt. Die Anzahl der Augentropfen erhöhte sich in der Kombinationsgruppe allerdings von durchschnittlich zwei Tropfen täglich auf 2,5 Tropfen (25%). 5FU könnte also bei Patienten verwendet werden, bei denen möglicherweise nicht die Drucksenkung, sondern die Reduzierung der Medikation im Fokus steht. Mögliche Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen der Kombinationsgruppe sollten vorsichtig gezogen werden, da bei zwei Personen keine allgemeinen Ergebnisse berichtet werden konnten. Die doppelte Medikation wurde vermutlich aufgrund der sehr hohen vorliegenden präoperativen Drücke gewählt, Therapieentscheidungen bei extrem hohen präoperativen Drücken sollten dementsprechend an anderer Stelle gesondert untersucht werden.

Rulli et al.⁴⁹ berichten von einem besseren post-OP-Ergebnis bei tiefen Sklerotomien verglichen mit Trabekulektomien bei Gabe von Mitomycin C. Diese Resultate könnten auch auf positivere Verläufe bei weiteren wenig invasiven Verfahren, wie der Kanaloplastik, hindeuten, müssten aber weiter untersucht werden. Quershi et al.⁵⁰ führen an, dass die momentane Studienlage bezüglich minimalinvasiven Eingriffen eher schwach ist. Dave et al.⁴⁸ geben zu bedenken, dass MMC und 5FU zwar zunächst zu besseren Ergebnissen führen und frühe Komplikationen verringern, aber durch den weitreichenden Zelltod langfristige Komplikationen begünstigt werden. Dave et al. empfehlen dementsprechend, sich in zukünftigen Studien auf andere, weniger toxische antifibrotische Medikamente zu konzentrieren.

5.4. Komplikationen und Nachoperationen

Außer (Mikro-)Hyphäma-Bildungen wurden keine postoperativen Komplikationen festgestellt, dementsprechend berichtet die Studie von keiner langfristigen Komplikation.

Dies deckt sich mit der vorliegenden Studienlage. In keiner der hier zitierten Publikationen traten bei Kanalplastiken schwerwiegende postoperative Komplikationen auf, im Laufe der Literaturrecherche fiel keine Publikation aufgrund schwerwiegender postoperativer Komplikationen auf. In den ersten 24h post-OP werden als häufigste Komplikation (Mikro-) Hyphäma-Bildungen^{6,23,27,36,51-53} beobachtet, allerdings heilen diese meist spontan aus und bleiben konsequenzlos^{27,52,53}. Es scheint hier sogar einen statistischen Zusammenhang zu einer besserer postoperativen Druckkontrolle zu geben^{19,51,53,54}, da diese kurz auftretende Blutung auf einen gut funktionierenden Reflux zwischen Vorderkammer, Schlemm-Kanal und Blutgefäßen schließen lässt⁵³.

Insgesamt erfolgten 17 Nachoperationen in Form von Trabekulektomien, in der verkleinerten Gruppe von 62 Patienten erfolgten 14 dieser Nachoperationen. Da die Trabekulektomie hier das meistgewählte Verfahren ist, ist es wichtig, das Zusammenspiel beider Operationen zu bewerten und die Frage zu stellen, ob die vorausgehende Kanalplastik zusätzliche Vorteile bietet oder ob eine direkte Trabekulektomie ähnliche Ergebnisse liefern würde.

Um diese Frage zu beantworten, müsste untersucht werden, wie sich Patienten nach einer Kanalplastik mit anschließender Trabekulektomie im Vergleich zu Patienten verhalten, die nur eine Trabekulektomie erhalten haben. Eine umfassende Untersuchung dieses Zusammenspiels erfordert eine sorgfältige statistische Analyse, um Unterschiede in den Ergebnissen, Komplikationsraten und dem langfristigen Erfolg zu ermitteln. Faktoren wie das Alter der Patienten, das Ausmaß des Glaukoms, die individuelle Anatomie des Auges und der Grad der Druckreduktion sollten ebenfalls berücksichtigt werden. Darüber hinaus ist nicht zu vergessen, dass es ratsam sein könnte, aufgrund der geringen Komplikationsrate zunächst ein minimalinvasives Vorgehen wie die Kanalplastik zu wählen und nur bei nicht zufriedenstellenden Ergebnissen auf invasivere Verfahren wie die Trabekulektomie zurückzugreifen.

5.5. Prognostische Faktoren

Die Kanalplastik hat sich in dieser Studie als eine vielversprechende Operationsmethode zur Senkung des intraokularen Drucks (IOD) erwiesen.

Ein postoperativer Druck von über 21mmHg oder ein Visusverlust >0,2 wurde als potenzieller Indikator für Operationsmisserfolg betrachtet. Die logistischen Regressionsmodelle identifizierten einen präoperativen IOD von über 44mmHg sowie die tägliche Anwendung von mehr als drei Tropfen als mögliche negative prognostische Faktoren. Ein weiteres Modell zeigte, dass ein postoperativer IOD von über 18mmHg das Risiko für unphysiologisch hohe Drücke ebenfalls erhöht. Somit sollen die festgestellten präoperativen Grenzwerte bei der Therapieentscheidung unter Berücksichtigung anderer Operationsmethoden helfen, während der postoperative Grenzwert eine Orientierung für Medikationspläne und ggf. Planungen von

Nachoperationen darstellen soll. Eine engmaschige postoperative Nachkontrolle könnte eventuell helfen, mögliche Misserfolge oder Nachoperationen abzuwenden.

Während die Ergebnisse für den präoperativen IOD signifikant waren, lag der p-Wert bei der untersuchten Medikation bei 0,47 und beim postoperativen IOD bei 0,138. Dies könnte in Bezug auf die Tropfen an der -im Vergleich zum IOD- geringeren Anzahl an postoperativ erhobenen Werten liegen.

Beim präoperativen IOD wurde aufgrund der hohen statistischen Signifikanz auch auf eine Erfolgswahrscheinlichkeit von 70% getestet, hierbei wurde ein IOD von 42 als prognostischer Faktor ermittelt. Zur besseren Vergleichbarkeit wurde in den Ergebnissen allerdings jeder Wert mit einer Wahrscheinlichkeit von 60% dargestellt.

Tognetto et al.⁵⁵ veröffentlichten 2024 eine retrospektive Langzeitstudie über 48 Monate, in der sie mehr als vier Tropfen täglich als negativen prognostischen Faktor bestimmen konnten. Somit ähneln sich die Ergebnisse, bisher gibt es leider kaum Studien, die weitere vergleichbare Werte liefern.

Zum Zeitpunkt der Dissertation wurden keine veröffentlichten Studien gefunden, die Grenzwerte in Bezug auf prä- oder postoperative IOD definiert haben. Die erhobenen Grenzwerte wurden explorativ erhoben und können bei einem größeren Studiendesign als Anhaltspunkte für die Planung dienen. Zum Zeitpunkt der Dissertation lagen keine veröffentlichten Studien vor, die Grenzwerte für prä- oder postoperative IOD-Werte definierten. Die in dieser Arbeit identifizierten Werte von 44mmHg bzw. 18mmHg stellen daher neue Erkenntnisse dar. Da es bislang keine Vergleichsliteratur gibt, um diese Werte zu validieren, sind größere Studien notwendig, um die Ergebnisse zu bestätigen und ihre klinische Relevanz weiter zu untermauern.

5.6. Limitierungen

5.6.1. Studiendesign und Statistik

Die Verwendung von 62 Stichproben erhöht die Zuverlässigkeit des Modells im Vergleich zu kleineren Datensätzen, dennoch kann die Stichprobengröße bei der Interpretation der Ergebnisse eine Rolle spielen. Mit der Größe der Stichprobe könnten bestimmte Variabilitäten oder Ausreißer vorhanden sein, die nicht vollständig erfasst werden.

Da die postoperativ erhobenen Werte nur zum Teil normalverteilt waren, wurden nonparametrische Tests durchgeführt, um alle vorliegenden Daten auf Signifikanz zu prüfen. Die Ergebnisse werden primär als Mediane dargestellt, wobei zur besseren Vergleichbarkeit mit der aktuellen Studienlage die Mittelwerte ergänzend in Klammern angegeben sind. Die Mediane und Mittelwerte decken sich in der vorliegenden Statistik weitestgehend, die größte

Diskrepanz liegt bei den erhobenen Werten des prä- und postoperativen Visus vor. Hierbei wäre ein größeres Patientenkollektiv mit mehr Follow-Up-Werten wünschenswert gewesen, um robustere Ergebnisse zu gewährleisten.

In Bezug auf die prä- und postoperativen Tropfen gab es zwischen Median und Mittelwert eine maximale Abweichung von 0,72. Da im klinischen Rahmen nur ganze Tropfen verabreicht werden können, soll der Mittelwert also eine Tendenz in der Veränderung darstellen, während der Median auf eine überwiegende Medikationsfreiheit hinweist.

Im Gegensatz zu den dargestellten Medianen greift die Vergleichsliteratur meist auf Mittelwerte zurück, ohne in den meisten Fällen offenzulegen, ob zuvor auf Normalverteilung geprüft wurde oder ob die Mittelwerte rein deskriptiv berechnet wurden. In manchen Studien lag die Größe der Studiengruppe bei ≤ 30 Probanden, sodass auch hier nicht zuverlässig auf Normalverteilung geprüft werden kann. Dennoch wurden die Werte nicht im Median angegeben. Dies erschwert einen direkten Vergleich der Ergebnisse, da der Median – trotz seiner Robustheit gegenüber Ausreißern – nur selten in der Literatur als Vergleichsgröße verfügbar ist. Während die Mittelwerte in der vorliegenden Arbeit aufgrund des nonparametrischen Designs keine primäre Aussagekraft besitzen, stellt dies sowohl eine statistische Schwäche der vorliegenden Arbeit als auch einen möglichen methodischen Mangel in anderen Studien dar, die selten auf eine nonparametrische Auswertung zurückgreifen. Somit konnte ein direkter Vergleich zwischen Medianen selten vollzogen werden.

Während die logistischen Regressionsmodelle wichtige Informationen liefern, sollten einige kritische Aspekte berücksichtigt werden. Mit 62 Stichproben ist das Patientenkollektiv auch hier möglicherweise nicht groß genug, um alle möglichen Einflussfaktoren und Variabilitäten vollständig zu berücksichtigen. Zusätzliche Daten könnten dazu beitragen, die Stabilität und Zuverlässigkeit der Modelle zu erhöhen.

Zweitens ist es entscheidend, ob die logistischen Regressionsmodelle die richtigen Prädiktoren und Kontrollvariablen berücksichtigen. Neben dem IOD und der Medikation könnten andere Faktoren wie Alter, Geschlecht, allgemeine Gesundheit oder zusätzliche Augenerkrankungen das Risiko für einen Operationsmisserfolg beeinflussen.

Drittens ist die Prognose bezogen auf die Medikation mit einem p-Wert von 0,479 und bezogen auf die postoperativen Drücke von 0,138 nicht statistisch signifikant, sodass die Studienergebnisse mit Vorsicht zu interpretieren sind.

Zusammenfassend liefert das logistische Regressionsmodell erste wertvolle Einsichten, indem es einen kritischen Grenzwert für den IOD und die Medikation definiert und damit das Risiko für Operationsmisserfolge nach einer Kanaloplastik identifiziert. Um jedoch eine solide Grundlage für klinische Entscheidungen zu schaffen, sollte das Modell weiter getestet, validiert

und gegebenenfalls durch zusätzliche Daten oder alternative statistische Ansätze ergänzt werden.

In dieser Studie wurde auf eine statistische Gegenprüfung verzichtet, was für explorative Studien nicht ungewöhnlich ist. Die Ergebnisse in dieser Auswertung, insbesondere die Grenzwerte, sollen als Anhaltspunkte für weitere zukünftige Studien gelten.

5.6.2. Bias

Im Kontext der vorliegenden Dissertation ist es von entscheidender Bedeutung, mögliche Auswirkungen des Selektionsbias, des Bestätigungsbias und des Publikationsbias auf die Forschungsergebnisse zu diskutieren, da eine objektive Bewertung von Forschungsarbeiten unter Berücksichtigung solcher Faktoren entscheidend für die Qualität des wissenschaftlichen Fortschritts ist. Im Zuge dieser Diskussion wird zunächst auf die grundlegende Problematik der vorliegenden Bias-Typen eingegangen und danach erläutert, welche Schritte vollzogen wurden, um mögliche Störfaktoren auszuschließen.

Der Selektionsbias stellt einen potenziellen Störfaktor dar, der die interne Validität der Studie beeinträchtigen kann, indem er eine systematische Verzerrung der Stichprobenzusammensetzung und eine daraus mögliche Überrepräsentation bestimmter Patientengruppen^{56,57} zur Folge hat. Dies kann die allgemeine Übertragbarkeit der Ergebnisse und die Zuverlässigkeit der Schlussfolgerungen beeinflussen. Um den Selektionsbias auszuschließen, wurden bereits vor Beginn der Studie Auswahlkriterien festgelegt, von denen bei der Zusammenstellung der Patientengruppe nicht abgewichen wurde. Ein Teil des Patientenkollektivs wurde bereits von Seiten der Augenklinik zusammengestellt, allerdings wurden nicht alle Patienten und Patientinnen aus dieser Auswahl miteinbezogen. Als einziges Ausschlusskriterium galt ein Nichteinhalten der Follow-Up-Termine, sodass ein vollständiger Datensatz mit zuverlässigen Langzeitergebnissen gesichert werden konnte. Somit sollte eine Unterform des Selektionsbias, der Loss-to-Follow-Up-Bias⁵⁶, reduziert werden. Es ist anzumerken, dass der Selektionsbias verschiedene Ebenen der Forschung betreffen kann. Auf der Ebene der Datenerhebung kann der Bias auftreten, wenn bei der Auswahl der Stichprobe bestimmte Merkmale oder Gruppen bevorzugt berücksichtigt werden, während andere vernachlässigt werden. Dies kann zu einer Verzerrung der Ergebnisse führen, da die ausgewählte Stichprobe möglicherweise nicht repräsentativ für die Gesamtpopulation ist^{56,57}. Insbesondere in dieser Dissertation, die sich mit der Prüfung von Operationserfolgen befasst, besteht das Risiko, dass Patienten mit einem tendenziell positiven Outcome bevorzugt ausgewählt werden, was zu einer Verzerrung der Ergebnisse führen könnte.

Dementsprechend wurden Faktoren wie Alter, Geschlecht oder Herkunft bei der Patientenauswahl nicht berücksichtigt. Kein Patient wurde aufgrund hoher Drücke im Beobachtungszeitraum ausgeschlossen, um einen Selektionsbias zu vermeiden.

Der Bestätigungs-Bias besteht, wenn Forscher dazu neigen, nur nach Informationen zu suchen, die bereits bestehende Hypothesen oder Annahmen bestätigen, während widersprüchliche oder alternative Informationen vernachlässigt oder vorsätzlich ignoriert werden⁵⁹.

In Bezug auf die Literaturrecherche besteht -neben dem bereits bestehenden Publikationsbias- das Risiko, dass Studien mit Ergebnissen, die den bestehenden Hypothesen entsprechen, bevorzugt ausgewählt und einbezogen werden, während Studien mit abweichenden Ergebnissen möglicherweise ausgeschlossen werden. Alternativ könnte es dazu kommen, dass keine weiteren Studien mehr berücksichtigt werden, sobald „passende“ Ergebnisse gefunden und einbezogen wurden.⁵⁹ Dies könnte zu einer Verzerrung der vorliegenden Dissertation führen, da wichtige alternative Perspektiven oder Forschungsergebnisse möglicherweise nicht ausreichend berücksichtigt werden.

Um den Einfluss des Selektions-, des und des Bestätigungsbias auf die vorliegende Dissertation zu reduzieren, wurden mehrere Maßnahmen ergriffen. Eine Vorauswahl nach Operationsergebnis erfolgte nicht, ausschlaggebend war lediglich der Beobachtungszeitraum. Darüber hinaus wurden sorgfältige Schritte unternommen, um eine breite und umfassende Literaturrecherche durchzuführen, um eine möglichst vollständige Einschätzung des aktuellen Forschungsstandes zu gewährleisten und um sicherzustellen, dass verschiedene Perspektiven und Forschungsergebnisse berücksichtigt werden. Dabei wurden keine Beschränkungen hinsichtlich der Ergebnisrichtung angewandt, um sicherzustellen, dass eine umfassende Darstellung der verfügbaren Evidenz erreicht wird. Dies umfasste die Berücksichtigung von Publikationen (deutsch- und englischsprachig) und die Einbeziehung von Studien mit unterschiedlichen Ergebnissen, um den Einfluss eines Publikations- und Bestätigungs-Bias zu minimieren.

Trotz dieser Bemühungen bleibt anzuerkennen, dass ein Bias nie vollständig ausgeschlossen werden kann und eine gewisse Unsicherheit hinsichtlich der Generalisierbarkeit der Ergebnisse bestehen kann. Es kann bezugnehmend auf den Publikationsbias immer eine gewisse Unsicherheit darüber bestehen, ob alle relevanten Studien identifiziert und einbezogen wurden, insbesondere solche mit nicht signifikanten oder negativen Ergebnissen. Diese Unsicherheit sollte in den Interpretationen und Schlussfolgerungen der vorliegenden Dissertation berücksichtigt werden. Es ist jedoch wichtig zu betonen, dass eine transparente Darlegung der Auswahlverfahren und eine kritische Reflexion über potenzielle Biasquellen

einen wesentlichen Schritt darstellen, um die Validität und Robustheit der vorliegenden Dissertation zu gewährleisten. Eine bewusste Reflexion über potenzielle eigene Vorurteile und Annahmen sowie persönliche Interessen ist daher von großer Bedeutung, um den Einfluss des Bestätigungs-Bias zu minimieren. Durch den bewussten Umgang mit Bias kann die Qualität und Zuverlässigkeit der Forschung gesteigert werden, was letztendlich zu fundierten Erkenntnissen und einem Fortschritt in der Wissenschaft führt.

5.6.3. Repräsentativität

Mit 62 Probanden umfasst die Langzeitgruppe eine größere Stichprobe als viele vergleichbare Untersuchungen, was die Aussagekraft der Ergebnisse erhöht. Dennoch bleibt die Repräsentativität der Ergebnisse eingeschränkt, da die zufällige Zusammensetzung der Patienten sowie individuelle Eigenheiten, wie Begleiterkrankungen oder Lebensgewohnheiten, eine Verallgemeinerung der Befunde erschweren. Eine vollständig repräsentative Abbildung der Gesamtpopulation lässt sich in klinischen Studien dieser Größe nicht garantieren, auch wenn die größere Stichprobe tendenziell robustere Ergebnisse ermöglicht. Mit einem Altersdurchschnitt von 64 Jahren liegen beide Studiengruppen über der Risikoschwelle von 40 Jahren und stellt damit ein typisches Patientenkollektiv dar. Statistisch wurden das Geschlecht, die Diagnose und das Alter auf eine Korrelation mit dem finalen IOD geprüft. In keinem Fall lag eine statistisch signifikante Korrelation vor, sodass davon ausgegangen werden kann, dass keine Verzerrung durch diese Faktoren gegeben ist.

5.6.4. Loss to Follow-Up

Im Laufe der Nachkontrollen kam es vor allem in den Zeiträumen 9-15 Monate und 15-24 Monate vermehrt zum Nichterscheinen von Patienten, sodass diese zum Teil nicht in die statistische Auswertung eingeschlossen werden konnten. Vermutlich stellte sich ein Großteil dieser Patienten bei niedergelassenen (Augen-)Ärzten vor. Sofern keine Komplikationen oder starke Druckveränderungen auftraten, fand in diesem Fall keine weitere Nachkontrolle durch die Augenklinik statt. Es ist dementsprechend möglich, dass das Nichterscheinen von Patienten als Erfolg gewertet werden könnte, sodass ein noch vollständigeres Patientenkollektiv zu besseren post-OP-Drücken geführt hätte. Ein größeres Kollektiv mit strengeren Recalls oder einer engen Kommunikation mit den niedergelassenen Ärzten könnte in Zukunft Aufschluss darüber geben.

5.6.5. Gesichtsfeld und Lebensqualität

Der „Guide on surgical Innovation“²⁵ der European Glaucoma Society (EGS) empfiehlt eine strenge Kontrolle des Gesichtsfeldes, mindestens zweimal präoperativ und regelmäßig postoperativ.

Durch das retrospektive Studiendesign konnten keine verlässlichen Daten eingeschlossen werden, die eine zuverlässige Auswertung zulassen würden.

Die Lebensqualität der Patienten ist ein hoch relevanter Aspekt in der Entscheidungsfindung der Operationstechnik und das subjektive Erleben der Patienten muss jederzeit berücksichtigt werden. Zum Zeitpunkt der Studie wird eine Aufnahme der wahrgenommenen Lebensqualität zwar grundsätzlich empfohlen, allerdings erkennt die EGS an, dass eine Minderung der Lebensqualität erst bei weit vorangeschrittenen Glaukomen wahrnehmbar ist und viele Patienten bereits im Frühstadium medikamentös oder operativ therapiert werden²⁵.

5.7. Implikationen für die Praxis und zukünftige Forschung

Die vorliegende Studie und die in diesem Kontext untersuchte Literatur zeigen, dass die Kanaloplastik eine signifikante Reduktion des intraokularen Drucks (IOD) mit einer im Vergleich zur Trabekulektomie geringeren Komplikationsrate ermöglicht. Diese Erkenntnisse könnten zu einem Paradigmenwechsel in der Glaukomchirurgie führen, bei dem die Kanaloplastik zunehmend als bevorzugte Methode in der Behandlung von Offenwinkelglaukomen eingesetzt wird. Dies gilt insbesondere bei Patienten, die ein hohes Risiko für Komplikationen wie Hypotonie, Narbenbildung und Entzündungen haben. Allerdings bleibt der erreichte IOD nach wie vor hinter den Langzeitergebnissen der Trabekulektomie zurück.

Zukünftige Studien könnten sich darauf konzentrieren, die Langzeiteffekte der Kanaloplastik weiter zu untersuchen und mögliche Gründe für die geringere Druckreduktion zu finden und gegebenenfalls durch modifizierte Techniken zu korrigieren. Zudem wäre es wichtig, den Einfluss von Faktoren wie Nahtspannung und Materialien (z.B. Prolene-Fäden) auf den langfristigen Erfolg der Kanaloplastik zu erforschen.

Der Visus ist ein bestimmender Faktor für die Lebensqualität der Patienten. Eine mögliche postoperative Änderung sollte dementsprechend in Entscheidungsfindungen miteinbezogen werden. Zukünftige Studien könnten Zusammenhänge zwischen Operationstechniken und möglichen Visusverlusten überprüfen und mögliche Risikofaktoren bestimmen, um patientenindividuelle Abwägungen zu erleichtern.

Die Verwendung von Kombinationen wie Mitomycin C (MMC) und Fluoruracil (5-FU) hat in einigen Fällen zu einer noch stärkeren Drucksenkung geführt. Dies könnte die Basis für personalisierte Therapiekonzepte sein, bei denen die Kombinationstherapie je nach individueller Patientencharakteristik (z.B. Schwere des Glaukoms, IOD-Werte) ausgewählt wird. In der vorliegenden Studie ist die Vergleichsgruppe allerdings sehr klein, sodass keine verlässlichen Aussagen bezüglich einer allgemeinen Therapieempfehlung getroffen werden konnten.

Es wäre wichtig, in klinischen Studien weiter zu untersuchen, unter welchen Bedingungen und bei welchen Patientengruppen die kombinierte Verwendung dieser Medikamente am effektivsten ist. Eine weitere Fragestellung könnte der Langzeitvergleich der Wirksamkeit und Sicherheit von verschiedenen Kombinationstherapien bei einer größeren Studiengruppe sein.

Die signifikante Reduktion des Medikamentenbedarfs nach einer Kanaloplastik, wie sie in mehreren Studien beschrieben wurde, ist von besonderer Bedeutung. Patienten, die nach dem Eingriff medikamentenfrei sind oder weniger Tropfen benötigen, haben oft eine höhere Lebensqualität und leiden unter weniger Nebenwirkungen⁶⁰. Dies könnte dazu führen, dass mehr Patienten für die Kanaloplastik als primäre Intervention in Betracht gezogen werden.

Zukünftige Forschung sollte sich darauf konzentrieren, die Faktoren zu identifizieren, die eine vollständige Medikationsfreiheit nach der Kanaloplastik begünstigen. Hierbei sollte es standardisierte Medikationsprotokolle geben, die mögliche Bias reduzieren und Verzerrungen durch verschiedene Behandler minimieren könnten. Es könnte auch interessant sein, den Einfluss der Drucksenkung auf die Lebensqualität der Patienten systematisch zu untersuchen.

Bis zur Abgabe der Dissertation gab es noch keine vereinheitlichten Fragebögen, die einen studienübergreifenden Vergleich der individuell wahrgenommenen Lebensqualität der Patienten ermöglichen würden. Eine Erstellung eines solchen Fragebogens durch eine Expertenkommission könnte eine wichtige Lücke zwischen objektiven Falldaten und dem individuellen Erleben der Patienten schließen. Allerdings bestehen insbesondere bei Patienten im Frühstadium Limitierungen, da die wahrgenommene Lebensqualität häufig erst bei einem fortschreitenden Glaukom abnimmt.

Bisher wurden in der Literatur kaum Grenzwerte festgelegt, die zuverlässige Aussagen über die Erfolgswahrscheinlichkeiten ermöglichen. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung gab es nur eine vergleichbare Studie, die einen Grenzwert für präoperativ verabreichte Medikamente definieren konnte. Für prä- und postoperativ gemessene Drücke gibt es bisher keine vergleichbaren Studien. Dementsprechend sollten diese explorativ gewonnenen neuen

Erkenntnisse umfassend geprüft und ggf. erweitert werden, um in Zukunft eine verlässliche Entscheidungshilfe bei der Wahl des Eingriffes für Therapeuten darzustellen.

5.8. Schlussfolgerung

Die Kanalplastik hat das Potenzial, sich als feste Größe in der Glaukomchirurgie zu etablieren, da sie eine schonende, komplikationsarme und effektive Methode zur Senkung des IOD darstellt. Postoperativ zeigt sich zunächst ein deutlicher Druckabfall, gefolgt von einer Stabilisierung des IOD im physiologischen Bereich, was die langfristige Wirksamkeit des Eingriffs unterstützt. Zukünftige Forschungsarbeiten sollten die Identifizierung geeigneter Patientengruppen und die Untersuchung langfristiger Ergebnisse in den Fokus nehmen.

In Bezug auf den Visus wurde eine durchschnittliche Verschlechterung von 0,04 festgestellt. Auch wenn dieser Rückgang möglicherweise durch individuelle Faktoren wie Begleiterkrankungen beeinflusst wurde, erfordert dies dennoch eine genauere Beobachtung, da ein Visusverlust von mehr als 0,2 als Misserfolg gewertet wird.

Die Verwendung von Antimetaboliten wie MMC und 5FU kann kurzzeitig positive Effekte hinsichtlich der Senkung des IOD und der Reduktion der Medikamentenanzahl haben. Aufgrund der hohen Zytotoxizität dieser Substanzen ist ihr Einsatz jedoch umstritten, und es bedarf weiterer Forschung, um sicherere Alternativen zu entwickeln.

Ein wesentlicher Vorteil der Kanalplastik liegt in der möglichen Reduzierung des Medikationsbedarfs, was die Lebensqualität der Patienten verbessern kann. Dennoch wird nicht bei allen Patienten eine vollständige Freiheit von Medikamenten erreicht. Hier könnte die Kombination mit anderen therapeutischen Ansätzen helfen, die Effizienz weiter zu steigern.

Negative prognostische Faktoren, wie ein präoperativer IOD über 44mmHg oder die Anwendung von mehr als drei Augentropfen, deuten auf ein erhöhtes Risiko für einen Operationsmisserfolg hin. Ein IOD von über 18mmHg postoperativ kann auf die Notwendigkeit von Nachoperationen hinweisen, was eine engmaschige Kontrolle und individuelle Therapieplanung in der frühen postoperativen Phase erforderlich macht.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Kanalplastik eine vielversprechende Alternative zu herkömmlichen Verfahren wie der Trabekulektomie darstellt. Sie bietet eine signifikante Senkung des IOD, eine Verringerung der Medikamentenabhängigkeit und eine

geringe Komplikationsrate. Für eine abschließende Bewertung der Langzeitwirksamkeit und Sicherheit sind jedoch weitere Studien mit größeren Patientengruppen erforderlich.

6. Literaturverzeichnis

- 1 Tham Y-C, Li X, Wong TY, Quigley HA, Aung T, Cheng C-Y. Global prevalence of glaucoma and projections of glaucoma burden through 2040: a systematic review and meta-analysis. *Ophthalmology* 2014; **121**: 2081–90.
<https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2014.05.013>.
- 2 Viererband kleine operative Fächer. Kurzlehrbuch ; Urologie, Augenheilkunde, HNO, Orthopädie. München, Jena: Elsevier, Urban & Fischer, 2008.
- 3 Lang GK, Esser J. Augenheilkunde. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag, op. 2014.
- 4 Grehn F. Augenheilkunde. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012.
- 5 Szurman P. Advances in Canaloplasty-Modified Techniques Yield Strong Pressure Reduction with Low Risk Profile. *J Clin Med* 2023; **12**.
<https://doi.org/10.3390/jcm12083031>.
- 6 Fujita K, Kitagawa K, Ueta Y, Nakamura T, Miyakoshi A, Hayashi A. Short-term results of canaloplasty surgery for primary open-angle glaucoma in Japanese patients. *Case Rep Ophthalmol* 2011; **2**: 65–68. <https://doi.org/10.1159/000324808>.
- 7 Khaimi MA. Long-term medication reduction in controlled glaucoma with iTrack ab-interno canaloplasty as a standalone procedure and combined with cataract surgery. *Ther Adv Ophthalmol* 2021; **13**: 25158414211045751.
<https://doi.org/10.1177/25158414211045751>.
- 8 Schünke M, Schulte E, Schumacher U. Prometheus LernAtlas der Anatomie. Stuttgart: Thieme, 2015.
- 9 Wang X, Wang M, Liu H, et al. The Association between Vascular Abnormalities and Glaucoma—What Comes First? *IJMS* 2023; **24**: 13211.
<https://doi.org/10.3390/ijms241713211>.
- 10 Buffault J, Labbé A, Hamard P, Brignole-Baudouin F, Baudouin C. The trabecular meshwork: Structure, function and clinical implications. A review of the literature. *J Fr Ophthalmol* 2020; **43**: e217-e230. <https://doi.org/10.1016/j.jfo.2020.05.002>.
- 11 Schuster AK, Erb C, Hoffmann EM, Dietlein T, Pfeiffer N. The Diagnosis and Treatment of Glaucoma. *Dtsch Arztebl Int* 2020; **117**: 225–34.
<https://doi.org/10.3238/arztebl.2020.0225>.
- 12 Sun X, Dai Y, Chen Y, et al. Primary angle closure glaucoma: What we know and what we don't know. *Prog Retin Eye Res* 2017; **57**: 26–45.
<https://doi.org/10.1016/j.preteyeres.2016.12.003>.

- 13 Al-Essa RS, Turjoman AA. Acute Attack of Primary Angle Closure in a Highly Axially Myopic Eye: A Case Report. *Am J Case Rep* 2021; **22**: e931002. <https://doi.org/10.12659/AJCR.931002>.
- 14 Rouse B, Le JT, Gazzard G. Iridotomy to slow progression of visual field loss in angle-closure glaucoma. *Cochrane Database Syst Rev* 2023; **1**: CD012270. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD012270.pub3>.
- 15 Roberts F, Thum CK. Lee's Ophthalmic Histopathology. London: Springer London, 2014.
- 16 Foster PJ, Buhrmann R, Quigley HA, Johnson GJ. The definition and classification of glaucoma in prevalence surveys. *Br J Ophthalmol* 2002; **86**: 238–42. <https://doi.org/10.1136/bjo.86.2.238>.
- 17 Fralick FB. Rubeosis Iridis Diabetica. *Trans Am Ophthalmol Soc* 1944; **42**: 436–56.
- 18 Nüssle S, Reinhard T, Lübke J. Acute Closed-Angle Glaucoma-an Ophthalmological Emergency. *Dtsch Arztebl Int* 2021; **118**: 771–80. <https://doi.org/10.3238/arztebl.m2021.0264>.
- 19 Konopińska J, Mariak Z, Rękas M. Improvement of the Safety Profile of Canaloplasty and Phacocanaloplasty: A Review of Complications and Their Management. *J Ophthalmol* 2020; **2020**. <https://doi.org/10.1155/2020/8352827>.
- 20 Weinreb RN, Aung T, Medeiros FA. The pathophysiology and treatment of glaucoma: a review. *JAMA* 2014; **311**: 1901–11. <https://doi.org/10.1001/jama.2014.3192>.
- 21 Gupta D, Chen PP. Glaucoma. *Am Fam Physician* 2016; **93**: 668–74.
- 22 Lavia C, Dallorto L, Maule M, Ceccarelli M, Fea AM. Minimally-invasive glaucoma surgeries (MIGS) for open angle glaucoma: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One* 2017; **12**: e0183142. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0183142>.
- 23 Harvey BJ, Khaimi MA. A review of canaloplasty. *Saudi J Ophthalmol* 2011; **25**: 329–36. <https://doi.org/10.1016/j.sjopt.2011.08.003>.
- 24 Beres H, Scharioth GB. Canaloplasty in the spotlight: surgical alternatives and future perspectives. *Rom J Ophthalmol* 2022; **66**: 225–32. <https://doi.org/10.22336/rjo.2022.44>.
- 25 Abegao Pinto L, Sunaric Mégevand G, Stalmans I, et al. European Glaucoma Society - A guide on surgical innovation for glaucoma. *Br J Ophthalmol* 2023; **107**: 1–114. <https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2023-egsguidelines>.
- 26 Azuara-Blanco A, McCorry N, Tatham AJ, et al. European Glaucoma Society research priorities for glaucoma care. *Br J Ophthalmol* 2024; **108**: 1088–93. <https://doi.org/10.1136/bjo-2023-323648>.
- 27 Riva I, Brusini P, Oddone F, Michelessi M, Weinreb RN, Quaranta L. Canaloplasty in the Treatment of Open-Angle Glaucoma: A Review of Patient Selection and Outcomes. *Adv Ther* 2018; **36**: 31–43. <https://doi.org/10.1007/s12325-018-0842-6>.

- 28 Matlach J, Dhillon C, Hain J, Schlunck G, Grehn F, Klink T. Trabeculectomy versus canaloplasty (TVC study) in the treatment of patients with open-angle glaucoma: a prospective randomized clinical trial. *Acta Ophthalmol* 2015; **93**: 753–61. <https://doi.org/10.1111/aos.12722>.
- 29 Koerber NJ. Canaloplasty in one eye compared with viscocanalostomy in the contralateral eye in patients with bilateral open-angle glaucoma. *J Glaucoma* 2012; **21**: 129–34. <https://doi.org/10.1097/IJG.0b013e31820277c0>.
- 30 Brandão LM, Grieshaber MC. Update on Minimally Invasive Glaucoma Surgery (MIGS) and New Implants. *J Ophthalmol* 2013; **2013**: 705915. <https://doi.org/10.1155/2013/705915>.
- 31 Byszewska A, Konopińska J, Kicińska AK, Mariak Z, Rękas M. Canaloplasty in the Treatment of Primary Open-Angle Glaucoma: Patient Selection and Perspectives. *Clin Ophthalmol* 2019; **13**: 2617–29. <https://doi.org/10.2147/OPHTH.S155057>.
- 32 Vastardis I, Fili S, Gatzoufas Z, Kohlhaas M. Ab externo canaloplasty results and efficacy: a retrospective cohort study with a 12-month follow-up. *Eye Vis (Lond)* 2019; **6**: 9. <https://doi.org/10.1186/s40662-019-0134-5>.
- 33 Brüggemann A, Despouy JT, Wegent A, Müller M. Intraindividual comparison of Canaloplasty versus trabeculectomy with mitomycin C in a single-surgeon series. *J Glaucoma* 2013; **22**: 577–83. <https://doi.org/10.1097/IJG.0b013e318255bb30>.
- 34 Bull H, Wolff K von, Körber N, Tetz M. Three-year canaloplasty outcomes for the treatment of open-angle glaucoma: European study results. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2011; **249**: 1537–45. <https://doi.org/10.1007/s00417-011-1728-3>.
- 35 Ayyala RS, Chaudhry AL, Okogbaa CB, Zurakowski D. Comparison of surgical outcomes between canaloplasty and trabeculectomy at 12 months' follow-up. *Ophthalmology* 2011; **118**: 2427–33. <https://doi.org/10.1016/j.ophtla.2011.05.021>.
- 36 Stingl JV, Wagner FM, Liebezeit S, et al. Long-Term Efficacy and Safety of Modified Canaloplasty Versus Trabeculectomy in Open-Angle Glaucoma. *Life (Basel)* 2023; **13**. <https://doi.org/10.3390/life13020516>.
- 37 Wanichwecharungruang B, Ratprasatporn N. 24-month outcomes of XEN45 gel implant versus trabeculectomy in primary glaucoma. *PLoS One* 2021; **16**: e0256362. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0256362>.
- 38 Rauchegger T, Krause S-M, Nowosielski Y, et al. Three-year clinical outcome of XEN45 Gel Stent implantation versus trabeculectomy in patients with open angle glaucoma. *Eye (Lond)* 2024; **38**: 1908–16. <https://doi.org/10.1038/s41433-024-03042-z>.
- 39 Łazicka-Gałecka M, Kamińska A, Gałecki T, et al. Canaloplasty - Efficacy and Safety in an 18-Month Follow Up Period, and Analysis of Outcomes in Primary Open Angle

- Glaucoma Pigmentary Glaucoma and Pseudoexfoliative Glaucoma. *Semin Ophthalmol* 2022; **37**: 602–10. <https://doi.org/10.1080/08820538.2022.2034897>.
- 40 Mohan N, Chakrabarti A, Nazm N, Mehta R, Edward DP. Newer advances in medical management of glaucoma. *Indian J Ophthalmol* 2022; **70**: 1920–30. https://doi.org/10.4103/ijo.IJO_2239_21.
- 41 Khaimi MA, Dvorak JD, Ding K. An Analysis of 3-Year Outcomes Following Canaloplasty for the Treatment of Open-Angle Glaucoma. *J Ophthalmol* 2017; **2017**: 2904272. <https://doi.org/10.1155/2017/2904272>.
- 42 Garris WJ, Le C, Zurakowski D, Ayyala RS. Comparison of surgical outcomes between canaloplasty and trabeculectomy with mitomycin C at 2-year follow-up: A longitudinal cohort study. *Indian J Ophthalmol* 2018; **66**: 66–70. https://doi.org/10.4103/ijo.IJO_543_17.
- 43 Wilson MR. Progression of visual field loss in untreated glaucoma patients and suspects in St Lucia, West Indies. *Trans Am Ophthalmol Soc* 2002; **100**: 365–410.
- 44 Junoy Montolio FG, Müskens RPHM, Jansonius NM. Influence of glaucoma surgery on visual function: a clinical cohort study and meta-analysis. *Acta Ophthalmol* 2019; **97**: 193–99. <https://doi.org/10.1111/aos.13920>.
- 45 Wilkins M, Indar A, Wormald R. Intraoperative Mitomycin C for glaucoma surgery. *Cochrane Database Syst Rev* 2005; **2005**. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD002897.pub2>.
- 46 Wormald R, Wilkins MR, Bunce C. Post-operative 5-Fluorouracil for glaucoma surgery. *Cochrane Database Syst Rev* 2001: CD001132. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD001132>.
- 47 Green E, Wilkins M, Bunce C, Wormald R. 5-Fluorouracil for glaucoma surgery. *Cochrane Database Syst Rev* 2014; **2014**: CD001132. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD001132.pub2>.
- 48 Dave B, Patel M, Suresh S, et al. Wound Modulations in Glaucoma Surgery: A Systematic Review. *Bioengineering (Basel)* 2024; **11**. <https://doi.org/10.3390/bioengineering11050446>.
- 49 Rulli E, Biagioli E, Riva I, et al. Efficacy and safety of trabeculectomy vs nonpenetrating surgical procedures: a systematic review and meta-analysis. *JAMA Ophthalmol* 2013; **131**: 1573–82. <https://doi.org/10.1001/jamaophthalmol.2013.5059>.
- 50 Qureshi R, Azuara-Blanco A, Michelessi M, et al. What Do We Really Know about the Effectiveness of Glaucoma Interventions?: An Overview of Systematic Reviews. *Ophthalmol Glaucoma* 2021; **4**: 454–62. <https://doi.org/10.1016/j.ogla.2021.01.007>.

- 51 Zhang B, Kang J, Chen X. A System Review and Meta-Analysis of Canaloplasty Outcomes in Glaucoma Treatment in Comparison with Trabeculectomy. *J Ophthalmol* 2017; **2017**: 2723761. <https://doi.org/10.1155/2017/2723761>.
- 52 Cagini C, Peruzzi C, Fiore T, Spadea L, Lippera M, Lippera S. Canaloplasty: Current Value in the Management of Glaucoma. *J Ophthalmol* 2016; **2016**: 7080475. <https://doi.org/10.1155/2016/7080475>.
- 53 Matlach J, Klink T. Trabekulektomie versus Kanaloplastik. *Ophthalmologe* 2015; **112**: 325–31. <https://doi.org/10.1007/s00347-014-3160-7>.
- 54 Grieshaber MC, Schoetzau A, Flammer J, Orgül S. Postoperative microhyphema as a positive prognostic indicator in canaloplasty. *Acta Ophthalmol* 2013; **91**: 151–56. <https://doi.org/10.1111/j.1755-3768.2011.02293.x>.
- 55 Tognetto D, Cirigliano G, Gouigoux S, et al. Long-term outcomes of canaloplasty and phaco-canaloplasty in the treatment of open angle glaucoma: a single-surgeon experience. *Int Ophthalmol* 2024; **44**: 317. <https://doi.org/10.1007/s10792-024-03174-x>.
- 56 Tripepi G, Jager KJ, Dekker FW, Zoccali C. Selection bias and information bias in clinical research. *Nephron Clin Pract* 2010; **115**: c94-9. <https://doi.org/10.1159/000312871>.
- 57 Nohr EA, Liew Z. How to investigate and adjust for selection bias in cohort studies. *Acta Obstet Gynecol Scand* 2018; **97**: 407–16. <https://doi.org/10.1111/aogs.13319>.
- 58 Olson CM. Publication bias. *Acad Emerg Med* 1994; **1**: 207–09. <https://doi.org/10.1111/j.1553-2712.1994.tb02430.x>.
- 59 Thallapureddy S, Sherratt F, Bhandari S, Hallowell M, Hansen H. Exploring bias in incident investigations: An empirical examination using construction case studies. *J Safety Res* 2023; **86**: 336–45. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2023.07.012>.
- 60 Camp A, Wellik SR, Tzu JH, et al. Dry eye specific quality of life in veterans using glaucoma drops. *Cont Lens Anterior Eye* 2015; **38**: 220–25. <https://doi.org/10.1016/j.clae.2015.02.001>.

7. Anhang

7.1. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Durchführung einer Kanaloplastik

Abb. 2: Auswahl des Patientenkollektivs

Abb. 3: Präoperativer IOD

Abb. 4: Präoperativer Visus

Abb. 5: Streudiagramm IOD prä-OP und Final

Abb. 6: Streudiagramm IOD-Paare

Abb. 7: Medikation in Tropfen

Abb. 8: Kaplan-Meier-Kurve absoluter Erfolg (≤ 15 mmHg)

Abb. 9: Kaplan-Meier-Kurve relativer Erfolg (≤ 18 mmHg)

Abb. 10: Kaplan-Meier-Kurve relativer Erfolg (≤ 21 mmHg)

Abb. 11: logarithmische Regression Erfolgswahrscheinlichkeit IOD prä-OP

Abb. 12: logarithmische Regression Erfolgswahrscheinlichkeit IOD post-OP

Abb. 13: logarithmische Regression Erfolgswahrscheinlichkeit Medikation prä-OP

Abb. 14: Altersverteilung

7.2. Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Übersicht Therapiemöglichkeiten

Tab. 2: Übersicht Studiengruppen

Tab. 3: Vergleich IOD-Paare

7.3. Weitere Grafiken

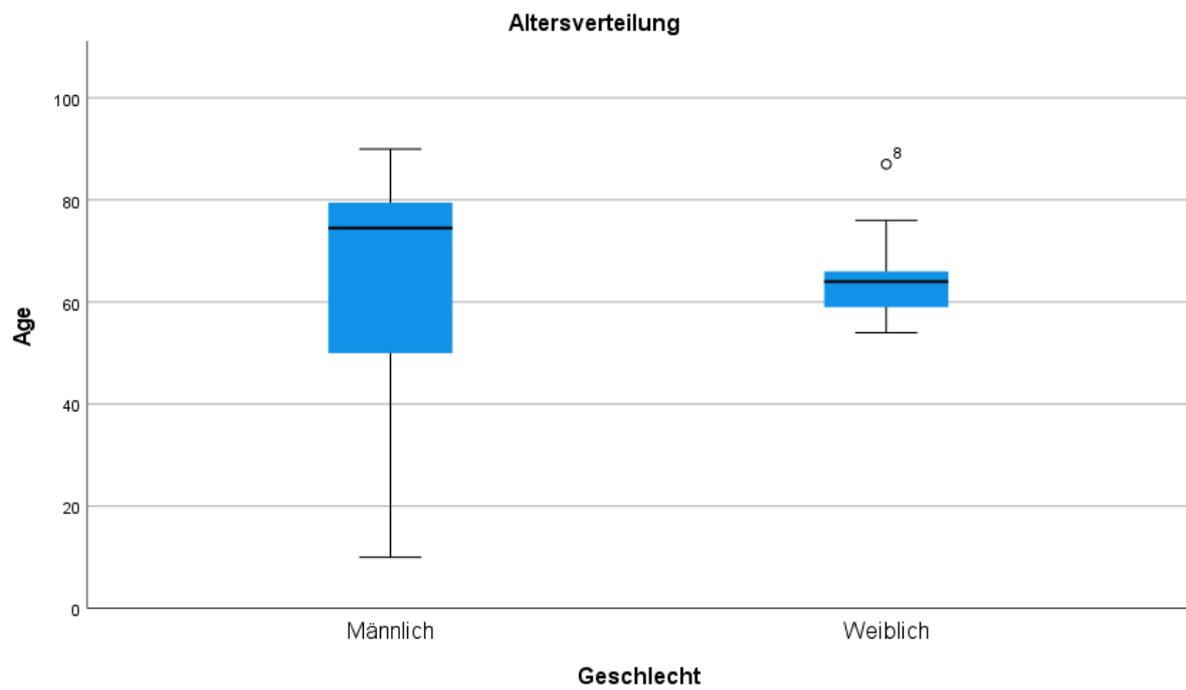


Abb. 14: Altersverteilung (Age). Der Median liegt bei einem Alter von 64 Jahren.