

Aus dem Fachbereich Medizin
der Johann Wolfgang Goethe-Universität
Frankfurt am Main
Klinik für Augenheilkunde
(Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. med. Ch. Ohrloff)

**Nachstarprävention bei kindlicher Kataraktoperation: Vordere
Vitrektomie versus optic capture (Knopflochimplantation) ohne
Vitrektomie**

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

vorgelegt von
Martin Heinz Lambert
aus Offenbach am Main

Frankfurt am Main 2010

Dekan: Prof. Dr. med. Josef M. Pfeilschifter

Referent: Prof. Dr. med. Thomas Kohnen

Koreferent: Prof. Dr. med. Peter Bader

Tag der mündlichen Prüfung: 20.01.2011

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	IV
Abkürzungsverzeichnis	V
1 Einleitung und Problemstellung	1
2 Literaturübersicht	3
2.1 Die Linse	3
2.2 Der Glaskörper	6
2.3 Die kindliche Katarakt	7
2.3.1 Allgemeine Einleitung.....	7
2.3.2 Ätiologie der kindlichen Katarakt	9
2.3.3 Morphologische Einteilung der Linsentrübungen.....	11
2.4 Historischer Überblick der modernen Kataraktchirurgie	13
2.5 Grundlagen der monofokalen Intraokularlinse	16
2.6 Die operative Behandlung der kindlichen Katarakt	17
2.6.1 Vorbereitung und Operationszeitpunkt	18
2.6.2 Besonderheiten der Linsenauswahl bei Kindern.....	19
2.6.3 Operative Zugangswege	20
2.6.4 Entfernung der Linse.....	21
2.6.5 Intakte Hinterkapsel	22
2.6.6 Vordere Vitrektomie	22
2.6.7 Hinterkammerimplantation einer Kunstlinse	23
2.6.8 Knopflochimplantation (optic capture)	25
2.6.9 Die Bedeutung von Heparin in der kindlichen Kataraktchirurgie	27
2.6.10 Aphakie	27
2.6.11 Postoperative Nachsorge	28

2.6.12	Komplikationen der kindlichen Kataraktoperation.....	28
2.7	Der Nachstar	30
2.7.1	Grundsätzliches zum Nachstar.....	30
2.7.2	Therapie und Prävention des Nachstars	32
2.7.2.1	Die Neodymium:YAG-Laser-Kapsulotomie	32
2.7.2.2	Die chirurgische Nachstarentfernung.....	33
2.7.2.3	Das Nachstarrisiko verringernnde Maßnahmen.....	33
3	Patienten und Methoden	34
3.1	Patienten	34
3.2	Operationstechniken.....	36
3.2.1	Operationstechnik A.....	37
3.2.2	Operationstechnik B.....	37
3.3	Die heparinbeschichtete Kunstlinse	37
3.4	Die Linsenkalkulation.....	37
3.5	Prä- und postoperative Untersuchungen.....	38
3.6	Risiken und Nebenwirkungen	39
3.7	Eigene Auswertungen und Untersuchungen	39
3.7.1	Visusprüfung	40
3.7.2	Objektive und subjektive Refraktionsprüfung	40
3.7.3	Untersuchung des Vorderabschnittes	41
3.7.4	Funduskopische Untersuchung	41
3.7.5	Messung der Bulbuslänge.....	41
3.7.6	Die Nachstarevaluation	42
3.8	Statistische Analyse.....	42
4	Ergebnisse.....	44
4.1	Allgemeine Patientendaten.....	44
4.2	Alter der Patienten.....	46
4.3	Ätiologie und Art der Linsenveränderungen	48

4.4	Komplikationen.....	49
4.5	Auswertung der Kapselmorphologie	50
4.6	Auswertung des Nachstars.....	51
4.7	Sehschärfe und Kunstlinse	52
4.8	Die Entwicklung der Bulbuslänge	54
4.9	Die Entwicklung der Refraktion.....	54
5	Diskussion	55
5.1	Allgemeines	55
5.2	Unterschiede der Operationstechniken	56
5.3	Refraktion und Visus.....	57
5.4	Komplikationen.....	58
5.5	Die Nachstarevaluation	61
5.6	Vergleich mit anderen Studien	63
5.7	Linsenmaterial und Linsendesign.....	69
5.8	Eigene Überlegungen.....	70
6	Zusammenfassung	73
7	Summary.....	74
	Quellenverzeichnis	VI
	Danksagung	XIX
	Lebenslauf.....	XX
	Schriftliche Erklärung	XXI

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Der schematische Aufbau des Auges	4
Abbildung 2: Der schematische Aufbau der Linse	5
Abbildung 3: Schematische Darstellung des hinteren „optic capture“ [54].....	25
Abbildung 4: Seitenverteilung OP-Technik A vs B	45
Abbildung 5: Beobachtungszeitraum OP-Technik A vs B	46
Abbildung 6: OP-Alter (Monate)	47
Abbildung 7: OP-Alter (Monate) bei Technik A vs B.....	47
Abbildung 8: Auftreten von Elschnig-Perlen Technik A vs B.....	52

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ätiologie der kindlichen Katarakte.....	10
Tabelle 2: Komplikationshäufigkeiten nach kindlicher Katarakt-Operation.....	30
Tabelle 3: Darstellung des Beobachtungszeitraums Technik A vs B.....	46
Tabelle 4: Darstellung des Behandlungsalters Technik A vs B.....	48
Tabelle 5: Komplikationen Technik A vs B.....	50
Tabelle 6: Verteilung der Visusstufen prä- und postoperativ	53
Tabelle 7: Überblick der Augen mit Kataraktentwicklung.....	61
Tabelle 8: Häufigkeit der Nachstarentwicklung in verschiedenen Studien.....	63

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
Dpt.	Dioptrien
et al.	et alii (lat. und andere)
ggf.	gegebenenfalls
gr.	griechisch
IOL	Intraokularlinse
Lat.	Latein
mm	Millimeter
MW	Mittelwert
OC	Optic Capture (Knopflochimplantation)
OVD	Ophthalmic viscoelastic devices (Viscoelastische Substanzen)
PMMA	Polymethylmethacrylat
Tab.	Tabelle
z. B.	zum Beispiel

1 Einleitung und Problemstellung

Die Operation kindlicher Linsentrübungen (Katarakt) stellt aufgrund kleinerer anatomischer Gegebenheiten sowie der weichen und elastischen Gewebestrukturen im Vergleich zum erwachsenen Menschen eine besondere Herausforderung für den operativ tätigen Augenarzt dar [1, 2]. Dies beginnt mit der Diagnostik der Linsenveränderung, der Kalkulation einer möglichen Intraokularlinse (IOL) zur Korrektur der fehlenden Linse (Aphakie) und der Auswahl einer geeigneten Operationsmethode [57]. Wird der richtige Behandlungszeitpunkt verpasst oder entsteht postoperativ ein Nachstar, kann es zur Entwicklung einer nicht mehr behandelbaren Fehlsichtigkeit (Amblyopie, gr. = stumpfes Auge) am betroffenen Auge kommen.

Die frühkindliche Katarakt ist auch heutzutage noch die häufigste Ursache für eine Erblindung im Kindesalter. Dies betrifft vor allem die Entwicklungsländer. Hier erblinden jährlich 1,5 von 1000 Kindern, im Gegensatz zu 0,3 von 1000 Kindern in den westlichen Industrienationen [2]. Insgesamt rechnet man aktuell mit über 1,4 Millionen erblindeten Kindern weltweit, davon alleine 200 000 durch eine beidseitige kindliche Katarakt [100]. Die Hälfte aller Erblindungen könnte durch eine Operation verhindert werden [34]. Erschreckend ist, dass in den Entwicklungsländern 60% der Betroffenen etwa ein Jahr nach dem Eintritt der Erblindung versterben. Die Überlebenden haben eine durchschnittliche Lebenserwartung von gerade einmal 40 Jahren [2]. Selbst wenn eine operative Behandlung der Katarakt möglich ist, kommt es meist zu einer Amblyopie der operierten Augen. Zudem ist die postoperative Nachsorge ein Problem. Diese Situation fordert eine operative Behandlungsmethode der kindlichen Katarakt, die eine möglichst niedrige Nachstar-Entwicklung mit sich bringt.

Operative Eingriffe an kindlichen Augen sind stets mit einem erhöhten intra- und postoperativen Risiko verbunden. Selbst erfahrende Kataraktchirurgen sind sich bei der Planung einer kindlichen Kataraktoperation nicht einig, welche Operationsmethode die sicherste ist und ab welchem Alter überhaupt eine Aphakiekorrektur mit einer IOL erfolgen sollte. Das Mengenverhältnis zu den operierten Augen der 65-74-jährigen liegt bei 1:1000 [33]. Es gibt viele Studien,

die sich mit der Nachstarproblematik beschäftigt haben, jedoch gestaltet sich die Auswertung aufgrund relativ kleiner Fallzahlen meist schwierig. Die Ergebnisse besitzen daher häufig eine niedrige statistische Signifikanz [68]. Die hohe Nachstarrate nach kindlichen Katarakt-Operationen mit geschlossener Hinterkapsel [24, 54] wird heute durch Kapselchirurgie der hinteren Linsenkapsel, spezielle IOL-Implantationstechniken und glaskörperchirurgische Maßnahmen reduziert [57]. So ist bei Kindern unter 6 Monaten die hintere Kapseleröffnung nach Linsenabsaugung und darauf folgender vorderer flacher Glaskörperentfernung (vordere Vitrektomie) aufgrund der niedrigen Nachstarrate mittlerweile Standard [43, 62]. Trotzdem bleibt die Entwicklung der Nachtrübung durch Regeneration von Linsengewebe die häufigste Komplikation bei der Kunstlinsenimplantation in den kindlichen Kapselsack.

Ein weiterer den Nachstar reduzierender Operationsschritt ist die von Gimbel 1994 beschriebene Knopflochimplantation der Linse [37]. Bei erfolgreicher Knopfloch-Implantation der IOL durch die hintere Linsenkapsel, der so genannten „optic capture“ (OC), kann auf die vordere Vitrektomie verzichtet werden. Die so implantierte IOL presst die beiden Kapselblätter der Linse aneinander. Die für die Entwicklung des Nachstars verantwortlichen Zellen verbleiben im Kapselsack und können nicht mehr in die Sehachse wandern. Dies bedeutet, dass durch das Ausbleiben der vorderen Vitrektomie ein invasiver Operationsschritt wegfällt und mögliche aus diesem resultierende Komplikationen nicht auftreten können.

Seit 1997 wurden in der Klinik für Augenheilkunde der Goethe-Universität Frankfurt am Main neben der kindlichen Kataraktchirurgie mit Implantation einer IOL und vorderer Vitrektomie des Glaskörpers (Technik A) auch Operationen mit der Glaskörper schonenden Knopfloch-Implantation der IOL durchgeführt (Technik B). In einer prospektiv randomisierten Studie konnte so nachgewiesen werden, dass man für beide Operationstechniken mit der Holladay II Formel zuverlässige Linsenberechnungen durchführen kann [70].

Die vorliegende Untersuchung befasst sich mit allen zwischen 1997 und 2004 durchgeführten kindlichen Kataraktoperationen der oben erwähnten Techniken A und B.

Folgende Fragen sollten beantwortet werden:

- Zeigen sich Unterschiede zwischen Methode A und B in der Häufigkeit und Ausprägung des Nachstars?
- Gibt es Unterschiede zwischen beiden Methoden in der Häufigkeit der Nachstarbehandlung?
- Unterscheiden sich beide Verfahren in der Häufigkeit anderer intra- oder postoperativer Komplikationen?
- Zeigt die Glaskörper schonende optic capture bei der Nachstarprävention ähnliche oder gar bessere Ergebnisse im Vergleich zur vorderen Vitrektomie?

2 Literaturübersicht

2.1 Die Linse

Die bikonvexe kristalline Augenlinse fokussiert das durch die Iris einfallende Licht wie eine Lupe auf die Nervenzellen der „Stelle des schärfsten Sehens“ der Netzhaut. Die Linse ist in der Lage ihre Form und Dicke durch Akkommodation zu variieren. Sie steuert so je nach Akkommodationszustand 10-20 Dioptrien zur Gesamtbrechkraft des Auges bei. Die Linse hat beim Neugeborenen einen Durchmesser von ca. 6,5 mm. Dieser steigert sich beim Erwachsenen auf ca. 9 mm. Die Dicke der Linse beträgt nach der Geburt ca. 3,55 mm, beim Erwachsenen ca. 5 mm [89]. Die Linse ist zwischen der Regenbogenhaut und dem Glaskörper durch die Zonulafasern am Ziliarkörper aufgehängt. Zum besseren Verständnis wird die Anatomie des Auges in der folgenden Abb. 1 dargestellt.

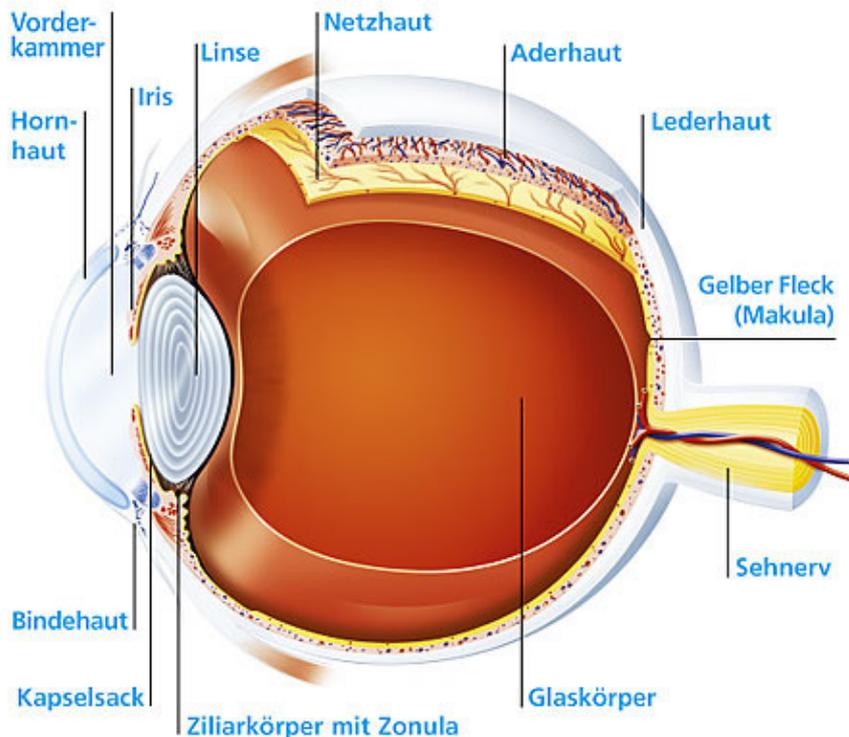


Abbildung 1: Der schematische Aufbau des Auges

Als rein epitheliales Organ ohne Nerven und Gefäße stammt die Linse vom ektodermalen Keimblatt des Fetus ab. Im ersten Schwangerschaftsmonat kommt es zu einer Einstülpung des oberflächlichen Ektoderm in die primitive Augenblase. Diese besteht aus Neuroektoderm. In der Mitte dieser Blase schnürt sich die Linse ab, sodass die ursprüngliche Basalmembran des Ektoderm die Linsenkapsel bildet. Diese befindet sich außen. Die Innenseite ist mit einschichtigen zylindrischen Zellen ausgekleidet, welche sich zu den Linsenepithelzellen und geometrisch angeordneten Linsenfasern differenzieren. Während die Zellen der übrigen epithelialen Gebilde nach außen wachsen und sich durch Abschilferung verlieren, wächst die Linse in umgekehrter Richtung. So kommt es, dass sich die älteren Zellen im Inneren der Linse und die jüngeren Zellen unter der Linsenkapsel befinden. Unter stetigem Wachstum verfünffacht die Linse so im Laufe des Lebens ihr Gewicht.

Aus den primären Linsenfasern bildet sich der Embryonalkern. Im Linsen-Äquator differenzieren sich weitere Epithelzellen zu den sekundären Linsenfasern. Diese umschließen als Fetalkern den inneren Embryonalkern. Dieser

Vorgang ist zum Zeitpunkt der Geburt abgeschlossen. Im weiteren Verlauf wird aus den Zellen des Linsenäquators der Infantilkern und ab der 3. Lebensdekade der Erwachsenenkern gebildet. Es findet somit eine lebenslange Verdichtung des Linsengewebes statt, dessen äußerste Schicht die Linsenrinde (Kortex) bildet. Die Schichtung der menschlichen Linse zeigt Abb. 2.

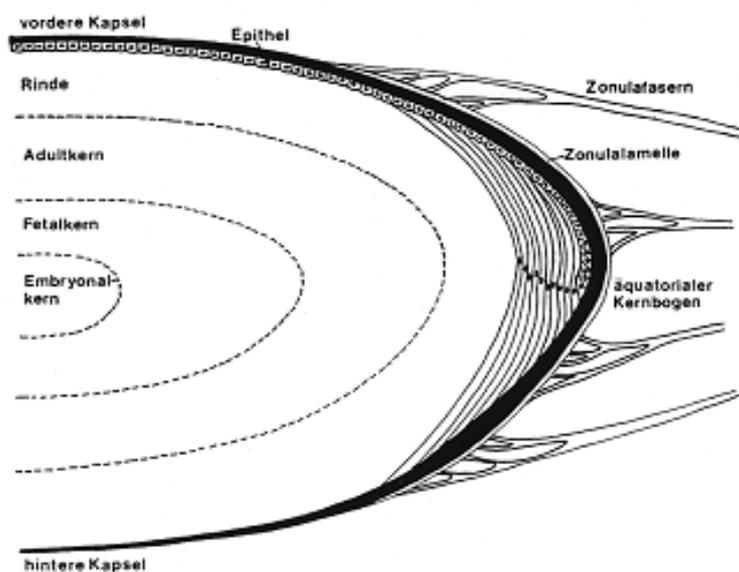


Abbildung 2: Der schematische Aufbau der Linse

Die normale Linse enthält etwa 65% Wasser und hat durch diesen relativ dehydrierten Zustand eine höhere Brechkraft als der Glaskörper. Dieser Zustand wird durch einen Ionen-Konzentrations-Gradienten zwischen Linseninneren und Kammerwasser erreicht. Verantwortlich dafür ist der aktive Kalium-Transport in den Membranstrukturen der Linsenepithelzellen. Dabei wird unter dem Verbrauch von Adenosintriphosphat (ATP) Kalium in die Zellen und Natrium aus ihnen heraus gepumpt. Glucose aus dem Kammerwasser der vorderen und hinteren Augenkammer versorgt sowohl das Zellwachstum der Linsenzellen als auch die Ionen-Pumpe mit Energie [89]. Durch aktiven Pumptransport werden auch Kalzium, Aminosäuren und andere Elektrolyte in die Linse gepumpt. Außerdem finden Stoffaustauschvorgänge durch Diffusion statt. Die Aufrechterhaltung des Wassergehaltes der Linse ist für die optischen

Eigenschaften essenziell. Im zunehmenden Alter kommt es zu einer Abnahme des Wassergehaltes und Zunahme nicht löslicher album-ähnlicher Linsenproteine. Dadurch wird die Linse härter und verliert an Elastizität und Transparenz. Ebenso können Störungen in der intrauterinen oder frühkindlichen Phase zu Trübungen der Linsenbestandteile führen. Häufig kann man, anhand der betroffenen Linsenstruktur, Rückschlüsse auf den Zeitpunkt der Wachstumsstörung führen. Dies erleichtert die Eingrenzung möglicher Ursachen. Trübungen der physiologischen Linse werden als Katarakt bezeichnet. Umgangssprachlich wird meist der Begriff „grauer Star“ verwendet.

2.2 Der Glaskörper

Der Glaskörper füllt etwa 65% des menschlichen Auges aus. Er besteht aus einem zellfreien gallertartigen und durchsichtigen Hydrogel. Dieses setzt sich zu 98% aus Wasser und zu 2% aus Kollagen und Hyaluronsäure zusammen. Die Verbindung aus Wasser und dem Mukopolysaccharid Hyaluronsäure ist für die gallertartige Konsistenz des Glaskörpers verantwortlich. Das Glaskörpergerüst aus Kollagenfibrillen verleiht dem Glaskörper Stabilität. Die den Glaskörper umschließende Membran unterteilt man in eine vordere und eine hintere Glaskörpergrenzmembran. Diese liegt im vorderen Bereich der hinteren Linsenkapsel, Ziliarkörper und Pars plana und im hinteren Bereich der Netzhaut an. Die Grenzmembran ist an einigen Stellen mit Strukturen des inneren Auges verhaftet. Anhaftungsstellen sind die Ora serrata, der Sehnervenkopf und teilweise periphere Netzhautgefäße. Pathologische Veränderungen des Glaskörpers können durch Traktion zu vitreoretinalen Erkrankungen, wie einer Netzhautablösung oder Netzhautlöchern, führen.

Der Glaskörper ist maßgeblich an der embryonalen Entwicklung des Auges beteiligt. Während des ersten Embryonalmonats bildet der primäre Glaskörper die Tunica vasculosa lentis anterior, ein Gefäßgeflecht zur Ernährung der embryonalen Linse. Die Blutversorgung erfolgt in dieser Zeit durch die im Glaskörper gelegene Arteria hyaloidea sowie deren Äste. Nach Entwicklung der hinteren Linsenkapsel, Ende des zweiten Embryonalmonats, bildet sich der primäre Glaskörper zurück.

Der sekundäre Glaskörper entwickelt sich bis zum dritten Embryonalmonat aus der späteren Netzhaut. Dieser ist frei von Gefäßen und besteht aus einem Geflecht von fein gewellten Kollagenfasern. Schließlich bleibt vom primären Glaskörper nur der zentral gelegene Canalis hyaloideus zurück. Kommt es in dieser Phase zu Entwicklungsstörungen, können hier Reste des primären Glaskörpers oder der Arteria hyaloidea verbleiben.

Im dritten Embryonalmonat kommt es schließlich zur Ausbildung des tertiären Glaskörpers. Die Strukturen des sekundären Glaskörpers bleiben hierbei erhalten. Durch Kondensation der peripheren Kollagenfibrillen entsteht die Glaskörpergrenzmembran.

2.3 Die kindliche Katarakt

2.3.1 Allgemeine Einleitung

Kindliche Katarakte können die sensorische Entwicklung des Seheindrucks stören und zu einer nicht mehr behandelbaren Schwachsichtigkeit (Amblyopie) führen. Etwa ein Viertel bis ein Drittel der hochgradigen Sehbehinderungen im Kindesalter ist auf die kindliche Katarakt zurückzuführen. Die sensible oder kritische Phase der Entwicklung des Sehvermögens sind die ersten drei bis vier Lebensmonate. Insgesamt dauert die Phase der sensorischen Vulnerabilität jedoch bis zum siebten Lebensjahr an. Kommt es in dieser Zeit zu einer Störung der an das Gehirn übermittelten Sehinformation, können sich monokulare und binokulare Nervenverbindungen zwischen den Augen, dem Corpus geniculatum laterale und der cerebralen Sehrinde nur unvollständig ausbilden. Bei fehlender Stimulation verlieren ca. 90% der kortikalen binokularen Neurone ihre Verbindung zum betroffenen Auge [87, 122]. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von der plastischen Phase des Gehirns. Ist dieser empfindliche Entwicklungsschritt abgelaufen, ist das Gehirn nicht mehr in der Lage die Qualität des Seheindrucks regelrecht zu erlernen. Man hat zwar festgestellt, dass der visuelle Kortex auch noch bei erwachsenen Menschen geschult werden kann [32], ein normales Sehen wie bei einer ungestörten Entwicklung des Sehvermögens wird jedoch nicht erreicht. Als schlechtes prognostisches Zeichen gilt das Vorliegen eines okulären Nystag-

mus. Hierbei können die betroffenen Augen keine ausreichende Fixation aufnehmen und es kommt zu ruckartigen, dauerhaft feinschlägigen Augenbewegungen. Auch ein neu aufgetretenes Schielen kann auf eine Fixationsstörung des betroffenen Auges hinweisen.

Die Veränderungen der ursprünglich klaren Linsenproteine lassen sich nach dem Zeitpunkt des Auftretens und der Lokalisation unterteilen und beschreiben. Besteht eine Linsentrübung bereits bei der Geburt, spricht man von einer kongenitalen Katarakt. Kommt es erst im zweiten oder dritten Lebensjahr zur Trübung von Linsenanteilen, spricht man von einer entwicklungsbedingten Katarakt.

Etwa 0,4% aller Neugeborenen werden mit Linsentrübungen geboren. Meist sind diese funktionell nicht bedeutsam für das Sehen. Die kongenitale Katarakt wird bei ca. 3,4-7,2 von 10000 lebend geborenen Kindern in Europa beobachtet [24, 95]. In etwa zwei Drittel der Fälle treten die Trübungen bilateral auf. Bei den einseitigen Fällen ist die Zuordnung einer auslösenden Ursache nahezu unmöglich [14]. Dies liegt nicht zuletzt daran, dass der Zeitpunkt des Auftretens erster Trübungen und deren Ausmaß unklar bleiben. Da sich die betroffenen Kinder scheinbar unauffällig entwickeln, fällt die einseitige Katarakt oft erst verspätet auf und hat somit eine schlechte Visusprognose [17]. Dies liegt zum einen an der visuellen Deprivation, zum anderen an der binokularen Rivalität zu Gunsten des besseren Auges [25, 31]. Die beidseitige frühkindliche Katarakt äußert sich meist durch eine verzögerte visuelle Entwicklung und kann bei Behandlung nach dem dritten Lebensmonat zu einer beidseitigen Deprivationsamblyopie führen [126]. Bei frühzeitiger Behandlung ist die Visusprognose beidseitiger Katarakte jedoch besser als die einseitiger Linsentrübungen. Als wichtige diagnostische Maßnahme sei hier der Durchleuchtungstest nach Brückner erwähnt [18]. Ziel dieses Testes ist es, bei der Beleuchtung im rückstrahlenden Licht beidseits einen gleichmäßigen roten Fundusreflex zu sehen. Verschattungen oder Aufhellungen werden durch Linsentrübungen oder intraokulare Veränderungen hervorgerufen. Das gleiche Prinzip zeigt sich bei den roten Augen auf Foto-Aufnahmen mit Blitz. Und tatsächlich können Fotos der Kleinkinder durch unregelmäßige Fundusreflexe erste Hinweise auf

beginnende Augenerkrankungen, wie eine beginnende Linsentrübung oder gar ein bösartiges Retinoblastom, geben.

2.3.2 Ätiologie der kindlichen Katarakt

Häufige Ursachen kindlicher Katarakte ohne systemische Begleiterkrankungen sind mit etwa 25% Gendefekte. Mittlerweile wurden 18 unabhängige Genorte und Mutationen in 6 Genen festgestellt, die für die kongenitale Kataraktentwicklung mit verantwortlich sind [30]. Der autosomal dominante Erbgang ist der häufigste, aber auch autosomal rezessive, X-chromosomale und sporadische Formen sind möglich. Es kommt bei genetisch bedingten Katarakten zu Fehlern in der Morphogenese der Linse. Lage und Form der Trübung können familiär spezifisch sein. Weitere Ursachen für die Entstehung einer Linsentrübung können chromosomale Aberrationen wie Trisomie 21 (M. Down), Trisomie 13 (Patau-Syndrom) und Trisomie 18 (Edward-Syndrom) sein.

Tabelle 1: Ätiologie der kindlichen Katarakte

Gendefekte	Autosomal dominant u. rezessiv, x-chromosomal
Chromosomale Aberrationen	Trisomie 21, 13, 18
Stoffwechselstörungen	Galaktosämie, Diabetes mellitus, Lowe-Syndrom, M. Wilson, Hypoparathyroidismus, Pseudohypoparathyroidismus, Mannosidose
Intrauterine Infektionen	Röteln, Herpes Simplex, Varizella zoster, Zytomegalie, Hepatitis, Syphilis, Toxoplasmose, Mumps, Masern
Medikamente	Kortison, Thalidomid
Radioaktive Strahlung	Gamma-Strahlung, Röntgenstrahlen
Fehlbildungen der Augen	Mikrophthalmus, Kolobome, u.a.

Einige Stoffwechselerkrankungen können eine Kataraktentwicklung begünstigen. Bei der Galaktosämie ist die Verwertung des Zuckers Galaktose aufgrund eines Enzymdefektes der Galaktose-1-Phosphaturidyltransferase oder durch einen Mangel des Enzyms Galaktokinase gestört. Diabetes mellitus, allgemein als Zuckerkrankheit bezeichnet, kann Linsentrübungen verursachen. Dies gilt sowohl bei einer Erkrankung der Mutter während der Schwangerschaft als auch für die postpartale Erkrankung des Säuglings. Ein Fehler des Aminosäuremetabolismus ist das Lowe-Syndrom, hier erfolgt die Vererbung X-chromosomal. Daher sind weibliche Genträgerinnen mit geringer ausfallenden Linsentrübungen meist asymptomatisch. Bei Morbus Wilson handelt es sich um eine

Erkrankung im Kupfer-Stoffwechsel. Es kommt zu Kupfereinlagerungen in parenchymatöse Organe, aber auch in Linse und Kornea. Hypoparathyroidismus und Pseudohypoparathyroidismus verursachen Störungen im Kalziumhaushalt und können mit Linsentrübungen in Zusammenhang gebracht werden. Die Mannosidose ist eine lysosomale Speicherkrankheit. Hier ist der Abbau von Glykoproteinen, den Verbindungen aus Eiweiß- und Zuckermolekülen, gestört und es kommt zur Anreicherung im Gewebe.

Intrauterine Infektionen wie Röteln, Herpes simplex, Varizella zoster (Windpocken), Zytomegalie, Hepatitis, Syphilis, Toxoplasmose, Mumps und Masern können durch Passage der Linsenkapsel eine Entwicklungsstörung der Linse verursachen. Als Katarakt auslösende Medikamente konnten Kortison und Thalidomid identifiziert werden. Auch Stoffwechselerkrankungen der Mutter und ionisierende Strahlen sind als Ursache lentikulärer Entwicklungsstörungen zu nennen.

Bei Fehlbildungen anderer Augenteile können Katarakte sekundär auftreten. Man findet sie beispielsweise bei Auftreten des persistierenden hyperplastischen primären Glaskörpers, Mikrophthalmus, Kolobomen, Atropie des Sehnervs und Aniridie. Skelettsyndrome, die mit einer Katarakt assoziiert sein können, sind das sporadisch auftretende Hallermann-Streiff-Francois-Syndrom und das X-chromosomal vererbte Nance-Horan-Syndrom.

Eine traumatische Katarakt entsteht in der Regel einseitig nach Verletzungen der Linsenkapsel und kann in ihrer Ausprägung und Visusbeeinträchtigung stark variieren. Abschließend sei erwähnt, dass schätzungsweise 50% der Katarakte idiopathisch, d.h. ohne bekannte Ursache auftreten.

2.3.3 Morphologische Einteilung der Linsentrübungen

Die Trübungen kindlicher Linsen unterscheiden sich variabel in ihrer Form und Ausprägung [80]. Die verschiedenen Kataraktformen lassen sich im Folgenden anhand der Trübungen unterteilen:

Der Schichtstar (Cataracta zonularis) ist dadurch charakterisiert, dass die Trübung eine bestimmte Schicht der Linse betrifft. Ursache ist eine meist

entwicklungsbedingte, zeitlich begrenzte Störung der Linsenentwicklung. Bei der Kerntrübung (*Cataracta nuclearis*) ist der embryonale oder fetale Linsenkern betroffen. Die Trübungen können optisch sehr dicht ausfallen, aber auch staubartig (*Cataracta pulverulenta*). Trübungen zwischen dem klaren Kern und der klaren Rinde werden als lamelläre Trübungen bezeichnet. Häufig sind hier radspeichenartige Trübungen, sogenannte „Reiterchen“, zu finden. Die kapsuläre Trübung ist auf die Vorder- oder Hinterkapsel beschränkt. Trübungen der vorderen oder hinteren Y-Naht können isoliert oder in Kombination mit anderen Trübungen vorkommen. Sie verursachen meist nur geringe subjektive Sehbeschwerden.

Beim Polstar (*Cataracta polaris*) zeigen sich die vordere oder hintere subkapsuläre Rinde getrübt. Der vordere Polstar kann flach im Niveau der Linsenkapsel liegen oder als Pyramidenkatarakt (*Cataracta pyramidalis*) konisch in die Vorderkammer ragen. Der vordere Polstar (*Cataracta polaris anterior*) kann mit anderen Fehlbildungen des Vorderabschnitts wie einer persistierenden Pupillarmembran, einem vorderen Lentikonus, der Peters-Anomalie oder einer Aniridie vergesellschaftet sein. Vordere Linsentrübungen verhalten sich in ihrem Verlauf meist nicht progressiv [5]. Der hintere Polstar (*Cataracta polaris posterior*) kann mit Resten der zurückgebildeten Glaskörperarterie (*Arteria hyaloidea*), einem hinteren Lentikonus oder einem persistierenden Hyperplastischen Glaskörper assoziiert sein. Diese Informationen sind für den behandelnden Operateur sehr wichtig, da ein höheres intraoperatives Risikoprofil, z.B. durch mögliche Blutungen, vorliegt. Auch sind diese Augen einem höheren Risiko für das die retinalen Nervenfaserbündel gefährdende Sekundärglaukom ausgesetzt [71].

Die nachfolgenden Trübungen entstehen häufig sporadisch und ohne nachweisbare hereditäre Ursache. Die *Cataracta coronaria* besteht aus runden Trübungen in der tiefen Rinde. Sie umgeben den Linsenkern wie eine Krone (lat. *Corona* = Krone). Die *Cataracta caerulea* besteht aus in der Spaltlampe bläulich schimmernden punktförmigen Trübungen und kommt häufig neben anderen Trübungsarten vor. Bei der *Cataracta matura* oder auch *Cataracta totalis* ist die Linse vollständig getrübt. Bei der seltenen membranösen Katarakt (*Cataracta membranacea*), die mit dem Hallermann-Streif-Francois-Syndrom

assoziiert sein kann, zeigt sich eine weißliche membranartige Linsentrübung. Man vermutet als Ursache eine entzündliche Ruptur der Linsenkapsel. Daraus resultieren die aus degeneriertem Linsenprotein bestehenden Trübungsareale.

Bei Stoffwechselerkrankungen und Syndromen zeigen sich häufig charakteristische Linsentrübungen im Kindesalter. Bei der Galaktosämie zeigt die Linse typischerweise eine zentrale Trübung, die einem Öltropfen ähnelt. Eine Galaktose freie Diät kann diese Linsentrübungen verhindern oder sie zurückbilden lassen. Beim Galaktokinase-mangel entstehen typischerweise lamelläre Trübungen der Linse. Diese werden durch eine Störung des osmotischen Gradienten und den daraus resultierenden Linsenfaserschäden hervorgerufen. Beim Lowe-Syndrom kommt es oft zur Mikrophakie, die Linse ist klein und dünn. Häufig entwickelt sich ein hinterer Lentiglobus. Weitere Trübungen können in allen Bereichen der Linse vorkommen.

Die kongenitale Rötelninfektion ist in etwa 15% der Fälle mit einer uni- oder bilateralen Linsentrübung assoziiert. Das Virus war früher für bis zu 87% aller kindlichen Katarakte verantwortlich. Dank der strikten Impfungen treten durch Röteln bedingte Katarakte in den Industrienationen derzeit kaum noch auf [74]. Die embryonale Linsenkapsel kann bis zur sechsten Woche vom Rötelvirus passiert werden. Die Trübungen können bereits zum Geburtszeitpunkt vorhanden sein oder sich nach Wochen oder Monaten entwickeln. Dabei zeigt sich ein heterogenes Verteilungsmuster der verschiedenen Trübungsarten. Das Virus kann bis zu drei Jahren in der Linse überleben [79].

2.4 Historischer Überblick der modernen Kataraktchirurgie

Das Zeitalter der modernen Kataraktchirurgie begann nach dem zweiten Weltkrieg, 200 Jahre nach Einführung der Starextraktion durch Jaques Daviel (1747). Die Idee zur Implantation einer Kunstlinse wurde von dem wandernden Ophthalmologen Tadini Mitte des 18. Jahrhunderts entwickelt. Der Versuch der Linsenimplantation durch den Dresdner Hofaugenarzt Casaamata scheiterte jedoch im Jahre 1795.

Vor 1949 wurde in der Kataraktchirurgie meist die komplette Linse inklusive Linsenkapsel (intrakapsuläre Kataraktextraktion) entfernt. Die Korrektur der Aphakie erfolgte dann mit dicken Starbrillen, welche eine hohe Brechkraft von 10-20 Dpt hatten. Ohne diese umständliche Sehhilfe waren die aphaken Menschen nahezu blind. Im November 1949 wurde nach einer Kataraktentfernung der erste künstliche Linsenersatz in den Kapselsack implantiert. Die Linse wurde vom Londoner Arzt Sir Harold Ridley entworfen und implantiert. Es handelte sich um eine bikonvexe PMMA-IOL mit einem Durchmesser von 8,35 mm und einem Gewicht von 112 mg. Ridley hatte sich für dieses Material entschieden, da er im zweiten Weltkrieg an verletzten Piloten beobachtet hatte, dass in das Auge eingesprengte Plexiglas-Fragmente, also PMMA, keine Fremdkörper-Reaktion des Körpers zeigten. Ridley war somit Vorreiter für das über Jahrzehnte einzige und bis heute verbreitete Linsenmaterial [25-27]. Durch die damals verwendete Operationstechnik kam es zu vielen Komplikationen. So wurde häufig über postoperative entzündliche Reaktionen berichtet [1]. Anfang der 50er Jahre wurden von Parry Modifikationen der Implantationstechnik und Modifikationen des Linsendesigns nach Epstein eingeführt. Die Kunstlinsen, die zwischen 1949 und Mitte der 50er Jahre verwendet wurden, bezeichnet man als Intraokularlinsen der 1. Generation. Die Linsen der 2. Generation waren frühe Vorderkammerlinsen. Sie wurden von Anfang der 50er bis Anfang der 60er Jahre verwendet. Diese Linsen wurden in die Vorderkammer implantiert und im Kammerwinkel fixiert. Man wollte so eine Dislokation der Linsen, ein Schwachpunkt der 1. Generation, verhindern. Die Intraokularlinsen der 2. Generation werden unterteilt in starre oder semistarre Vorderkammerlinsen nach Baron, Scharf oder Strampelle. Außerdem wurden flexible oder semiflexible Vorderkammerlinsen mit offenen oder geschlossenen Haptikschlaufen unterschieden. Durch mangelhafte Herstellungstechniken, Verunreinigungen und prinzipielle Designfehler kam es oft zu schweren entzündlichen Reaktionen [8]. Häufig traten Hornhautveränderungen (Keratopathien) oder Glaukome auf. Die Intraokularlinsen der 3. Generation wurden an der Iris fixiert. Epstein entwickelte und implantierte die erste irisfixierte IOL 1953. Langfristig kam es bei diesem Linsentyp zu Irispigmentdefekten, Pigmentdispersionsglaukom, Endothelzellverlusten und daraus resultierenden Hornhautschädigungen. Binkhorst entwickelte 1957 die erste Iris-Clip-Linse.

Zwei Haptiken wurden vor und zwei Haptiken hinter der Iris fixiert. Daraus entwickelte er 1965 die Zweischlingen-Iris-Clip-Linse. Diese wurde mit zwei hinteren Schlaufen im Kapselsack implantiert. Durch das Fehlen der vorderen Haptiken kam es seltener zu Endotheldefekten [16]. Die Intraokularlinsen der 4. Generation waren in den Punkten Linsendesign, Herstellungsverfahren und Haptik deutlich verbessert. Dennoch kam es auch bei diesen Vorderkammerlinsen langfristig oft zu ausgeprägten chronischen Entzündungsreaktionen und Hornhautdekomensation.

Charles Kelman führte 1967 die Phakoemulsifikation, die Zertrümmerung der Linsenmassen mittels Ultraschall, ein. Mit den Linsen der Generation IVb kam man neben verbesserten Vorderkammerlinsen auch vermehrt auf die von Ridley durchgeführte Implantation einer Hinterkammerlinse in den Kapselsack zurück.

Mit der 5. Generation wurden PMMA-Hinterkammerlinsen, weiche Linsen und diverse Spezialentwicklungen eingeführt. Außerdem war man auf der Suche nach besseren Haptiken und untersuchte die Eigenschaften verschiedener Linsendesigns. So entstanden ab etwa 1975 die Haptiken aus flexiblem Polypropylen. Anfang der 80er Jahre entstanden nach Entwicklung der PMMA-Haptiken die ersten einstückigen PMMA-Hinterkammerlinsen. Anfang der 90er Jahre verbesserte sich die Kataraktchirurgie durch optimierte Phakoemulsifikationstechniken und die Einführung der kontinuierlichen zirkulären Kapsulorhexis durch T. Neuhann und H. Gimbel. Bei dieser Kapsulorhexistechnik wurde die Öffnung aus der Linsenkapsel in einem Stück herausgerissen. Es entstand dadurch eine bessere Stabilität der Kapselränder. Durch Einführung der „clear cornea“ Inzision und weitere Verbesserungen im Operationsablauf wuchs der Bedarf an neuen, faltbaren Intraokularlinsen. Im Gegensatz zu den alten, starren Linsen lassen sich diese wie ein Blatt Papier zusammenfalten und passen daher durch den kleineren Schnitt. Außerdem begann man nach neuen Materialien wie Silikon und Linsenformen, die weniger Nachstar verursachen, zu suchen. Durch Beschichtungen, wie zum Beispiel Heparin, sollte das Risiko der Fibrinreaktion bei chronischen Entzündungen reduziert werden. An Speziallinsen der 5. Generation wurden die ersten Bifokal- und Multifokallinsen hergestellt. Diese sollten die verlorene Akkommodationsfähigkeit wieder

herstellen. Die Multifokallinsen zeigten gute funktionale Ergebnisse bezüglich Fern- und Nahvisus. Ein schlechteres Kontrastsehen und die daraus resultierende Blendempfindlichkeit ließen diesen Linsentyp jedoch nicht so populär wie die Monofokallinsen werden.

Die heutige 6. Generation der Intraokularlinsen wird nicht mehr nach Implantationsort oder speziellen Designkonzepten eingeteilt, sondern nach unterschiedlichen operativen Situationen. Es wird unterschieden in Standardkataraktchirurgie, komplizierte kataraktchirurgische Eingriffe und die refraktive Intraokularlinsen Chirurgie. Die Standardkataraktchirurgie verwendet heute in der überwiegenden Zahl der Fälle Acryl-Linsen. PMMA-Linsen werden nur noch selten verwendet. Meist handelt es sich heute um einstückige Linsen mit unterschiedlichen Optik- und Haptikgrößen. Für komplizierte kataraktchirurgische Eingriffe verwendet man sowohl Standardlinsen als auch Speziallinsen, z.B. für pädiatrische Eingriffe mit entsprechender Dimensionierung. In der refraktiven Intraokularlinsen Chirurgie werden sowohl Vorderkammer- als auch Hinterkammerlinsen implantiert. Heute gibt es außerdem diverse Vorderkammerlinsen, irisfixierte Linsen und Hinterkammerlinsen, die bei phakem Auge, das bedeutet zusätzlich zur echten Linse, oder als „Add-On-Linse“ Feinkorrektur bei Pseudophakie eingesetzt werden. Auf diese Weise können hohe Fehlsichtigkeiten genauso gut wie mit einer permanenten Kontaktlinse ausgeglichen werden.

2.5 Grundlagen der monofokalen Intraokularlinse

Zum besseren Verständnis der folgenden Kapitel soll hier kurz auf den Aufbau einer monofokalen Hinterkammerlinse eingegangen werden.

Die IOL besteht aus einem optischen Teil, daher auch Optik genannt, sowie zwei bis vier seitlich davon abstehenden Halteapparaten. Durch diese Haptiken lässt sich die Linse am gewünschten Ort befestigen und in der optischen Zone positionieren. Die Optik vereinigt die durch die Pupille kommenden Lichtstrahlen, wie die physiologische Augenlinse, in einem Brennpunkt auf der Netzhaut. Man teilt die Linsen nach dem Ort ihrer Implantation ein und unterscheidet so in Vorderkammer- und Hinterkammerlinsen. Außerdem ist eine Einteilung

abhängig vom Fixationsort möglich, indem man sie als kammerwinkelfixierte, irisfixierte, sulcusfixierte oder kapselsackfixierte Linsen bezeichnet.

Intraokularlinsen können, abhängig vom Material, starr oder flexibel sein. Starre PMMA-Linsen werden seit 1949 hergestellt. Dieser Kunststoff ist bruchfest, zeigt keine Veränderungen durch Alterung, ist beständig gegen Salzlösungen, wässrige Säuren und Laugen sowie gegen eine Reihe organischer Lösungsmittel.

Flexible Intraokularlinsen werden aus Silikon, Hydrogel, Acryl oder Polyhydroxyäthylmethacrylat hergestellt. Diese Linsen lassen sich falten und in diesem Zustand durch deutlich kleinere Schnitte in das Auge implantieren.

Die modernen Intraokularlinsen sind meist einstückig, d.h. Haptiken und Optik sind aus einem Material und gehen nahtlos ineinander über. Die modernen Linsenmaterialien sind biochemisch und immunologisch inert. Das bedeutet, dass der Körper diese Materialien nicht als fremd erkennt. Chronische Entzündungs- oder Abstoßungsreaktionen bleiben so aus. Die monofokale Intraokularlinse besitzt nicht die Fähigkeit zur Akkommodation. Daher wird nach der Operation meist eine Lesebrille benötigt.

2.6 Die operative Behandlung der kindlichen Katarakt

Im Vordergrund der operativen Behandlung steht die Entfernung der trüben Augenlinse. Da der Linsenkern bei Kindern noch weich ist, geschieht dies durch Absaugung der Linsenmassen. Die Operation muss in Vollnarkose erfolgen. Da selbst kleinste Anspannungen der Augenmuskeln das Komplikationsrisiko durch eine Erhöhung des intraokularen Druckes erhöhen, muss der Eingriff von einem erfahrenen Anästhesieteam betreut werden [57]. Bei allen Operationstechniken sollte, zur Stabilisierung der weichen Strukturen, mit hochviskösen viskoelastischen Substanzen (ophthalmic viscoelastic devices, OVD) gearbeitet werden. Die Korrektur der Brechkraft erfolgt anschließend, je nach Alter der Kinder und Entwicklung des Auges, mit einer IOL oder einer Kontaktlinse. Eine detaillierte Darstellung der untersuchten Operationstechniken erfolgt in Kapitel 3.2.

2.6.1 Vorbereitung und Operationszeitpunkt

Da eine korrekte Bestimmung der Sehschärfe beim Kleinkind bis zu 2,5 Jahren nicht möglich ist, müssen Dichte und Morphologie der Trübungen sowie das Sehverhalten des Kindes kontrolliert werden. Notfalls ist die Untersuchung in einer kurzen Vollnarkose durchzuführen. Hierbei lassen sich neben Augen-druckmessung und einer Vorderabschnittsuntersuchung mit der Handspaltlampe prophylaktisch alle relevanten Daten zur Linsen-kalkulation ermitteln, um die Narkosezeit bei einer eventuell folgenden Linsenextraktion zu reduzieren. Um das Risikoprofil einer bevorstehenden Linsenextraktion möglichst gut einzuschätzen, ist auf morphologische Veränderungen des Vorderabschnitts, das Vorhandensein eines primären Hinterkapseldefekts [117] und entwicklungsbedingte Besonderheiten des Glaskörpers zu achten. Zudem sollten Patienten mit kindlichen Linsentrübungen von Anfang an für ergänzende Untersuchungen durch eine Sehschule betreut werden. Prüfungen des Simultan- und Stereosehens sollten regelmäßig erfolgen [128].

Eine zeitnahe Operation erfordern vollständige Trübungen der Linse und Verschattungen über 3 mm Größe [5, 69]. Ist die Beurteilung der Netzhautgefäße gerade noch mit der indirekten, jedoch nicht mit der direkten Ophthalmoskopie möglich, kann von einer signifikanten Beeinträchtigung der Sehschärfe ausgegangen werden. Ebenso besteht die Operationsindikation, wenn bei der Skiaskopie in enger Pupille festgestellt wird, dass kein Rotreflex mehr auftritt. Denn dies spricht für eine Verlegung der optischen Achse. Eine fehlende Fixation, Strabismus und ein Nystagmus können Zeichen einer bereits schweren Sehverschlechterung mit entsprechend schlechter Visusprognose sein [127]. Periphere Verschattungen, Trübungen unter 3 mm und Befunde, bei denen die direkte Funduskopie möglich ist, bedürfen engmaschiger Kontrolluntersuchungen. Fokale Trübungen der Linse beeinträchtigen die visuelle Entwicklung meist nur wenig. Hier kann die optische Achse bei Bedarf durch pupillenerweiternde Augentropfen vergrößert werden. Auch ist häufig die Korrektur mit einer Brille oder Kontaktlinse nötig. Meist genügen regelmäßige Kontrolluntersuchungen, um ein Fortschreiten der Trübungen rechtzeitig zu entdecken. Ein Visus $< 0,4$ stellt schließlich eine Operationsindikation dar, da die binokulare Zusammenarbeit dann nicht mehr gewährleistet ist. Lässt sich

die Operation konservativ bis über den 18. Lebensmonat behandeln, sinken die Risiken der Nachstarentwicklung und des Auftretens eines Sekundärglaukom [60]. Durch eine zeitweise Abdeckung des gesunden Auges (Okklusion) wird das erkrankte Auge „trainiert“. Beidseitige Linsentrübungen sollten frühzeitig operiert werden, um die Ausbildung einer beidseitigen Fehlsichtigkeit zu verhindern. Bei einer asymmetrischen Verteilung der Trübungen muss die stärker getrübe Linse zuerst operiert werden. Die Operation erfolgt dann meist in der sechsten Lebenswoche. Beidseitige moderate Katarakte werden, wie eingangs erwähnt, engmaschig kontrolliert. Ein Interventionsbedarf besteht erst, wenn es zu einer Sehverschlechterung kommt. Die einseitige dichte Katarakt vor der 16. Lebenswoche stellt eine sehr dringende Operationsindikation dar. Hier ist eine Behandlung vier bis sechs Wochen nach der Geburt empfehlenswert [86]. Auch nach intensiver Amblyopie-Therapie kommt es dann häufig zu schlechten Visusergebnissen am operierten Auge.

2.6.2 Besonderheiten der Linsenauswahl bei Kindern

Da sich die Achsenlänge des Auges durch das Wachstum nach der kindlichen Katarakt-Operation während der ersten fünf Lebensjahre stark verändert, ist die Berechnung der Linsenstärke schwierig. Im Endeffekt kann die Entwicklung der Achsenlänge durch verschiedene Schemata nur geschätzt werden. Kindliche Augen unterscheiden sich von denen Erwachsener in vielen Punkten, die für die Linsen kalkulation essenziell sind. So ist die Achsenlänge kürzer, die Hornhäute steiler und die Vorderkammer flacher [65]. Meist wird für das zu operierende Auge eine weitsichtige, d.h. unterkorrigierte Zielrefraktion ausgewählt, damit das Auge dann in den normalsichtigen Zustand hineinwachsen kann [70]. Würde man das operierte kindliche Auge primär auf Normalsichtigkeit einstellen, würde das Auge durch das weitere Längenwachstum im Laufe der Zeit kurzsichtig. Dieses Phänomen wird als „myopic shift“ bezeichnet. Bei Kindern unter 1 ½ Jahren wird eine Unterkorrektur von etwa 20% (3-4 Dpt) angestrebt [12]. Bei Kindern zwischen 3 und 9 Jahren sollte die Unterkorrektur bei einer Dpt liegen [48]. Das Bulbuswachstum endet meist erst mit dem Erreichen des 18. Lebensjahres. Es führt zwischen dem 6. und 18. Lebensjahr zu einer Refraktionsveränderung von etwa 2 Dpt [113]. Bei der

Linsenauswahl sollte Wert auf das Vorhandensein eines UV-Filters gelegt werden. Dieser schützt die retinalen Nervenzellen und das Pigmentepithel vor der potenziell schädlichen UV-Strahlung. Damit das noch wachsende Auge nicht durch eine zu große Linse geschädigt wird, sollten in der kindlichen Kataraktchirurgie nur Linsen mit einem Gesamtdurchmesser ≤ 13 mm implantiert werden [57].

2.6.3 Operative Zugangswege

Etwa 75% der deutschen Kinderophthalmochirurgen bevorzugen den operativen Zugang über die Vorderkammer [86] und nutzen dabei limbale Zugangswege. Die Schnittgröße des Tunnels hängt davon ab, ob lediglich eine Linsenablassung mit vorderer Vitrektomie durchgeführt oder eine Kunstlinse implantiert werden soll. Die mögliche Schnittgröße variiert so, je nach Technik, Zugangsweg und Intraokularlinsenmaterial, zwischen 0,7 und 6 mm. Zusätzlich werden meist noch zwei Parazentesen, etwa 0,7 mm große seitliche Stichinzisionen, angelegt. Alle Zugangswege über 1,5 mm Länge sollten nach Implantation der Intraokularlinse durch eine Naht oder Fibrinkleber verschlossen werden. [57].

Beim Zugang über einen sklero-kornealen Tunnel wird die Bindehaut etwa einen Millimeter jenseits des Limbus eröffnet. Mit einem 0,3 mm Diamantmesser wird ein 0,3 mm tiefer Skleraschnitt angelegt und mit einem flachen Stahlmesser zu einem sklero-kornealen Tunnel in die Hornhaut erweitert. Durch diesen Tunnel kann die Linse entfernt und die Kunstlinse in das Auge eingebracht werden. Der Vorteil bei diesem Zugangsweg ist, dass man relativ große Schnitte (5-6 mm) machen kann, um beispielsweise rigide PMMA-Linsen zu implantieren. Da die Hornhaut hierbei intakt bleibt, fällt die mögliche, durch den Schnitt verursachte Zunahme des Astigmatismus geringer aus [46].

Beim „clear cornea“-Schnitt erfolgt der operative Zugang durch die klare Hornhaut am Limbus. Hierbei wird erst mit einem Diamantmesser ein vertikaler paralimbaler Hornhautschnitt von ca. 0,3 mm Tiefe angelegt und dann mit einem flachen Stahlmesser mit abgerundeter Klinge zu einem intrakornealen Tunnel erweitert. Nach etwa 2 mm Tunnellänge erfolgt die innere Öffnung

durch die Endothelschicht in die vordere Augenkammer. Durch den 2,3 bis 3 mm breiten Tunnel und seitliche Parazentesen lassen sich alle Operationschritte durchführen. Die Implantation der faltbaren Intraokularlinse erfolgt dann durch den schmalen Hornhauttunnel. Der Vorteil dieser Methode ist, dass sich der Tunnel nach dem Ende der Operation von selbst abdichtet und nicht genäht werden muss. Die „clear cornea“ Schnitttechnik zählt momentan als Goldstandard der Kataraktchirurgie Erwachsener und kommt bei der Operation älterer Kinder immer häufiger zum Einsatz. Dieser Operationsweg sollte bei der Notwendigkeit großer Schnitte überdacht werden, da diese zu Hornhautverkrümmung und Narbenbildung führen können. Auch ist die spätere Entfernung von Hornhautnähten bei kleinen Kindern meist nur in Vollnarkose möglich.

Ca. 20% der kindlichen Linsenentfernungen erfolgen derzeit noch über die Pars plana, ein gefäßloses Areal zwischen Ziliarkörper und Ora serrata [86]. Es ist davon auszugehen, dass dieser Zugangsweg im Zeitalter der primären Linsenimplantation immer weiter an Bedeutung verlieren wird. Er findet momentan noch bei Kindern unter 1,5 Jahren Anwendung. [57]. Es werden hier zwei oder drei 0,7 – 1,0 mm große Zugangswege zum Einbringen der Instrumente und einer Infusion zum Flüssigkeitsaustausch angelegt.

Beim pars plana Zugangsweg zeigte sich jedoch ein erhöhtes Risiko für einen Glaskörpervorfall und vordere Glaskörpertraktionen nach der Operation kleiner Kinder unter 7 Jahren [103]. Beide Glaskörperveränderungen können eine Netzhautablösung verursachen. Auch ist hier der Erhalt des Kapselsackes schwieriger und somit eine Kunstlinsenimplantation in den Kapselsack eventuell nicht möglich. Der Vorteil dieser Methode ist die Vermeidung kornealer Vernarbungen. Auch müssen nach dieser Prozedur keine Fäden entfernt werden.

2.6.4 Entfernung der Linse

Nach dem Anlegen von Tunnel und Parazentesen wird die Vorderkammer mit einem Viskoelastikum gefüllt. So bleiben die weichen Strukturen in einer stabilen Position. Die bei kleinen Kindern relativ enge Pupille lässt sich mit der viskoelastischen Substanz auf schonende Art und Weise vergrößern, indem die

hochvisköse Substanz mit sanftem Druck an den distalen Pupillenrand appliziert wird. Durch den Strom der gelartigen Flüssigkeit verlagert sich der Irmuskel nach peripher und vergrößert das Operationsfeld. Mit einer Nadel oder Kapselpinzette kann die vordere Kapsulorhexis eröffnet werden. Bei schwierigen Situationen helfen Schere, spezielle hochfrequente Kapsulotomie-Geräte und das Vitrektom [19]. Bei kompletten Linsentrübungen kann die Linsenkapsel mit speziellen Farbstoffen wie Indozyanin oder Tryphan angefärbt werden, um eine bessere Kontrolle der Rhexisöffnung zu gewährleisten [42, 92, 93]. Eine kontinuierliche zirkuläre Kapsulorhexis sollte wann immer möglich angestrebt werden. Sie ist bei Kindern aufgrund der elastischen Kapsel jedoch schwieriger als bei Erwachsenen [13, 39, 52]. Die vordere Kapselöffnung sollte einen Durchmesser von 4,5 bis 5,5 mm haben.

Das Linsenmaterial kann nun mit einem Aspirationssystem entfernt werden. Aufgrund der weichen Struktur ist der Einsatz der Ultraschallsonde zum Zerkleinern harter Linsenbestandteile bei Kindern sehr selten notwendig. Nun folgt eine gründliche Politur der Linsenkapsel, um möglichst viele Linsenepithelzellen zu entfernen.

2.6.5 Intakte Hinterkapsel

Bei älteren Kindern und jungen Erwachsenen kann die hintere Linsenkapsel intakt belassen werden. Eine mögliche Nachstarentwicklung muss regelmäßig überprüft werden. Bei kleinen Kindern ist von dieser Art der Behandlung abzuraten, da die Nachstarrate, wie bereits erwähnt, bei nahezu 100% liegt. Außerdem können kleine Kinder eine Sehverschlechterung durch den Nachstar nicht erkennen, geschweige denn verbalisieren. In Deutschland wird durchschnittlich bei Kindern ab 8-10 Jahren auf die Nachstarprophylaxe durch primäre chirurgische Öffnung der hinteren Linsenkapsel verzichtet [86].

2.6.6 Vordere Vitrektomie

Die Eröffnung der Hinterkapsel mit anschließender flacher vorderer Glaskörperentfernung wird in Deutschland von ca. 83% der Operateure zur Nachstarprophylaxe durchgeführt [86]. Bei alleiniger Hinterkapseleröffnung liegt

die Nachstarrate aufgrund sekundärer Membranbildung bei bis zu 80% [94]. Die vordere Vitrektomie senkt die visusrelevante Nachstarrate auf etwa 4% [44]. Den Linsenepithelzellen soll so die Migration auf der vorderen Glaskörper-grenzmembran in die optische Achse erschwert werden [62].

Aufgrund seiner gallertartigen Konsistenz lässt sich der Glaskörper nicht einfach durch eine Kanüle absaugen. Die Vitrektomie erfolgt daher mit einem speziellen Saug-Schneid-Instrument. In eine Kanüle mit etwa 0,6 mm Innendurchmesser werden kleine Portionen Glaskörper angesaugt und dann mit einer oszillierenden Schneidevorrichtung vom restlichen Glaskörper abgetrennt. Diese kleinen Glaskörpermengen lassen sich dann problemlos aus dem Inneren des Auges absaugen. Das abgesaugte Volumen wird anschließend durch physiologische Kochsalzlösung oder ähnliche Substanzen ersetzt. Die moderne Form der Vitrektomie wurde erst 1971 von Machemer entwickelt [73].

Auch wenn die Nachstarquote durch die vordere Vitrektomie bei Kindern unter 6 Jahren drastisch gesenkt werden konnte, ist dies keine Garantie für eine frei bleibende optische Achse [55, 75]. Einige Autoren raten, die vordere Vitrektomie bei Kindern bis zum Erreichen des 5. Lebensjahres durchzuführen [116]. Die vordere Vitrektomie erfolgt unabhängig davon, ob eine IOL eingesetzt werden soll oder nicht. Die hintere Kapselöffnung sollte einen Durchmesser von mindestens 3-4 mm haben. Schließlich kann die Vitrektomie vor dem Einsetzen einer Kunstlinse oder bei bereits implantierter IOL durchgeführt werden. Durch diese Maßnahme soll nach Hinterkapseleröffnung die Entwicklung eines sekundären Winkelblock-Glaukoms durch einen möglichen Pupillarblock sowie ein Glaskörpervorfall in die vorderen Kompartimente verhindert werden.

2.6.7 Hinterkammerimplantation einer Kunstlinse

Die primäre Implantation einer Hinterkammerlinse bei Kindern wurde zuerst bei einseitigen Katarakten durchgeführt, um bessere Ergebnisse bei der Amblyopieprophylaxe zu erzielen [28-30]. In Europa wird diese Behandlungsmethode meist erst bei Kindern ab dem 18. Lebensmonat, wenn der erste Wachstumsschub vorüber ist, durchgeführt. Nach Greenwald und Glaser fördert die IOL, im

Vergleich zur Aphakie, die binokulare Entwicklung [40]. Auch wenn eine IOL schon bei wenigen Wochen alten Kindern erfolgreich in die Hinterkammer implantiert werden kann, gibt es derzeit keine speziellen Intraokularlinsen, welche hinsichtlich der Größe für die Behandlung der frühkindlichen Katarakt optimal geeignet wären. Die Versuche, Kinder mit speziellen Vorderkammerlinsen zu versorgen, scheiterten in der frühen Phase der Geschichte der Kunstlinsenimplantation an häufigen und schwerwiegenden Komplikationen [54]. Die Frage, ob eine primäre Hinterkammerlinsenimplantation bei Kindern vor dem Erreichen des siebten Monats bessere visuelle Ergebnisse als die Korrektur der Aphakie mit Kontaktlinse bringt, soll die multizentrische „infant aphakia treatment study“ klären. Die Ergebnisse werden 2010 erwartet [61]. In Studien von Atrata und Lambert entwickelten die primär mit IOL versorgten Kinder eine bessere Sehschärfe und weniger behandlungsbedürftigen Strabismus [10, 63]. Die Kapselsackimplantation der IOL verringert das Risiko diverser postoperativer Komplikationen. Eine Dislokation oder Dezentrierung der IOL und eine dann mögliche Pigmentdispersion werden kaum noch beobachtet. Uveitische Reizzustände und der Nachstar der Hinterkapsel treten seltener auf [99, 128].

Zur Implantation wird die Kunstlinse durch den limbusnahen Tunnel in die Vorderkammer und weiter in den Kapselsack geführt. Dabei kommen die Haptiken an den äußersten Rändern des Kapselsackes zum Ruhen.

Bei faltbaren Linsen erfolgt die Implantation durch einen sogenannten „Shooter“. Die Linse wird hierzu vor dem Einsetzen durch den Operateur oder das Shooter-System gefaltet. Durch die Körperwärme entfaltet sich die Kunstlinse innerhalb weniger Sekunden. Durch vorsichtige Rotation der Haptiken wird die Linse schließlich im Kapselsack zentriert.

Die Kammerwinkel fixierte Linsenimplantation bei Kindern hat außerdem den Vorteil, dass relativ große Optiken verwendet werden können. Notfalls, z.B. nach einer Kapselruptur, ist die Linsenimplantation in den Sulcus ciliaris möglich. Aktuell werden wegen der Formstabilität und einer niedrigen Rate von Zellbeschlägen auf der Optik hydrophobe monofokale Acryl-Linsen bevorzugt [99, 114, 117]. Von der Implantation multifokaler IOLs im Kindesalter sollte eher

abgeraten werden, da diese Art der Linsen Risiken für die Förderung einer Amblyopie birgt. Zum einen wird durch das Design der Optik eine Abnahme des Kontrastsehens verursacht, zum anderen muss die multifokale Optik sehr genau zentriert sein, um einen guten Fokus zu entwickeln. Die Nachstarrate ist höher als bei scharfkantigen Acryl-Linsen. Durch die sich beim wachsenden Kind verändernde Bulbuslänge kann die für multifokale IOLs wichtige Zielrefraktion im Bereich von etwa null Dpt. nicht erreicht werden [49, 50].

2.6.8 Knopflochimplantation (optic capture)

Die hintere Knopflochimplantationstechnik wurde 1994 erstmals von Gimbel und DeBroff im Rahmen einer kindlichen Kataraktoperation beschrieben. Hier wird die Optik der IOL nach der Implantation in den Kapselsack durch die hintere Kapsulorhexis in den Glaskörperraum geschoben.

Dadurch kommen das vordere und hintere Blatt der Linsenkapsel zueinander in Kontakt und können zusammenwachsen. Dies stellt für die im Kapselsack verbliebenen Linsenepithelzellen eine natürliche Migrationsbarriere dar [35-38]. Durch die enge Verbindung von Kunstlinse und Hinterkapsel wird das Linsendiaphragma, die Trennbarriere zwischen vorderem und hinterem Augenabschnitt, wieder hergestellt. Zudem ist die IOL sehr lage- und rotationsstabil an ihrem Implantationsort fixiert.

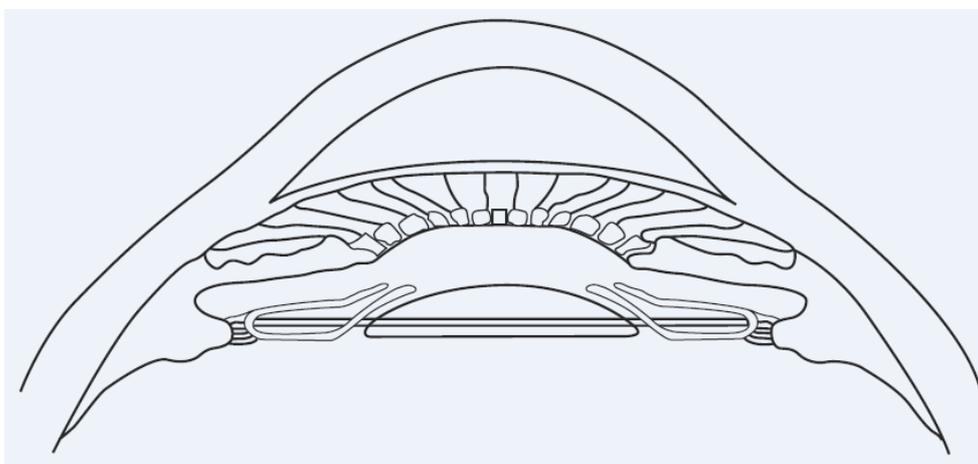


Abbildung 3: Schematische Darstellung des hinteren „optic capture“ [54]

Die Knopflochimplantation lässt sich auf verschiedene Arten durchführen:

1. Implantation der Haptiken in den Sulkus, OC durch die vordere kontinuierliche kurveolneare Kapsulorhexis oder eine kleine Öffnung in der Kapselhülle.
2. Implantation der Haptiken in den Sulkus und OC durch die vordere und hintere Kapsulorhexis.
3. Die in unserer Studie verwendete Technik: Platzierung der Haptiken im Kapselsack und OC durch die hintere Rhexis.
4. Haptiken im Kapselsack, OC durch die vordere Kapsulorhexis.

Um die Knopflochimplantation erfolgreich durchzuführen, muss der Durchmesser der Kapsulorhexis, durch die man versenken möchte, 1 bis 2 mm kleiner als die Linsenoptik sein. Ansonsten besteht die Gefahr, dass die Optik spontan wieder aus der Öffnung herausrutscht. Im schlimmsten Fall wäre das Nachstarrisiko dann erhöht. Ein rundes Linsendesign schafft eine kontinuierliche, gleichmäßig tiefe Impression in der Linsenkapsel. Dies stellt neben dem Verwachsen der Kapselblätter ein zusätzliches Hindernis für die Migration der Linsenepithelzellen im Kapselsack dar. Damit die Ansätze der Haptiken diese Barriere nicht unterbrechen, müssen die Haptiken im Idealfall anguliert sein.

Nach Gimbel (2004) ist die Technik der Knopflochimplantation neben der Reduktion der Nachstarrstehung auch als alternative Implantationstechnik nach intraoperativen Komplikationen geeignet.

Die Rekonstruktion des Linsendiaphragmas verhindert zum einen den Glaskörperprolaps in die vordere Augenkammer [88], zum anderen stellt es eine Barriere für intraoperativ verwendete viskoelastische Substanzen dar. Diese werden dann im hinteren Augenkompartment abgebaut und belasten nicht die Kammerwinkeldrainage.

Fällt die hintere Kapsulorhexis zu groß aus, ist die hintere OC nicht möglich. Dann kann die IOL jedoch im Kapselsack oder Sulkus ciliaris implantiert werden wie bei der herkömmlichen Hinterkammerimplantation.

2.6.9 Die Bedeutung von Heparin in der kindlichen Kataraktchirurgie

Heparin aktiviert den Hemmstoff der Blutgerinnung Antithrombin III. Dies inhibiert die Thrombin-Aktivierung und verhindert somit, dass Fibrinogen zu Fibrin aktiviert wird.

Nach einem okulären Trauma im Kindesalter, wie es auch die Katarakt-Operation darstellt, wird häufig eine entzündliche Vorderkammerreaktion beobachtet. Es kommt zu einer Störung in der Blut-Vorderkammer-Schranke. Entzündungsmediatoren, Leukozyten und Proteine des Gerinnungssystems diffundieren in die vordere Augenkammer. Da die fibrinolytischen Eigenschaften im Trabekelwerk der peripheren Augenkammer noch nicht voll ausgereift sind und durch die Operation der Abtransport der schädlichen Substanzen gestört ist, kann es zu einem wahren Teufelskreis kommen. Die Entwicklung der Sehfunktion kann durch die Bildung von fibrinhaltigen Membranen, die Verdickung und Eintrübung der Glaskörpergrenzmembran und Proliferation der Linsenepithelzellen bedroht werden [14, 62]. Heparin in der Spülflüssigkeit oder als Beschichtung der IOL reduziert die postoperative Fibrinbildung. Dies äußert sich durch einen geringeren postoperativen Reizzustand. Außerdem kommt es seltener zu Ablagerung von Zellbeschlügen auf der IOL [23, 53, 56, 109].

2.6.10 Aphakie

Wird nach der Linsenentfernung keine Kunstlinse in das operierte Auge implantiert, nennt man diesen Zustand „Aphakie“. Die refraktive Korrektur nach diesem Eingriff geschieht im Idealfall mit einer Kontaktlinse oder einer Starbrille. Zur Amblyopiebehandlung muss eine aufwändige Okklusionsbehandlung durchgeführt werden. Studien haben gezeigt, dass der Grad der Okklusions- und Kontaktlinsencompliance sehr gering ist [11]. Zudem ist die korrekte Handhabung einer Kontaktlinse bei Kindern sehr aufwändig und erfordert viel Disziplin, um z. B. eine kontaktlinsenassoziierte bakterielle Hornhautentzündung zu vermeiden. Zu einem späteren Zeitpunkt kann dann eine sekundäre Linsenimplantation angestrebt werden. Man wartet dann meist bis nach dem Ende des Bulbuswachstums. Zum Teil werden die Kontaktlinsen nicht mehr gut getragen oder der Patient hat den Wunsch nach Kontaktlinsenfreiheit zur Verbesserung der allgemeinen Lebensqualität. Vermutlich wird aus

den genannten Gründen immer häufiger eine primäre IOL-Implantation angestrebt [86].

2.6.11 Postoperative Nachsorge

Nach einer komplikationsfreien kindlichen Kataraktoperation ist die lokale Gabe antibiotischer und antiphlogistischer Augentropfen ausreichend. Meist werden zur Entzündungshemmung kortisonhaltige, nichtsteroidale und pupillenerweiternde Augentropfen kombiniert. Die Gabe erfolgt anfangs bis zu stündlich und wird bei gutem Verlauf über 3-6 Wochen ausgeschlichen. Besteht ein intraokularer Reizzustand oder gilt es diesem nach einer besonders traumatischen Operation vorzubeugen, können systemische Steroide verabreicht werden. In den ersten Tagen wird der postoperative Befund im Rahmen des stationären Aufenthaltes täglich kontrolliert.

Neben der allgemeinen Nachsorge zum Heilungsverlauf müssen nach der erfolgreichen kindlichen Katarakt-Operation regelmäßige Kontrollen bei einem erfahrenen Kinderaugenarzt stattfinden. Bis das operierte Auge eine stabile Refraktion erreicht, müssen Kontaktlinsen oder Brillengläser zur Korrektur der Fehlsichtigkeit angepasst werden. Eine Okklusionstherapie dient der Amblyopiebehandlung und muss konsequent durchgeführt werden, damit sich das operierte Auge richtig entwickeln kann. Und schließlich muss sichergestellt werden, dass sich kein relevanter Nachstar bildet.

2.6.12 Komplikationen der kindlichen Kataraktoperation

Bei der Operation können durch Verletzungen der okulären Strukturen Blutungen auftreten. Verletzungen der Hornhaut können zu Hornhautnarben führen. Gefürchtet sind auch Schädigungen der inneren Hornhautschicht. Diese führen im Extremfall zu Endotheldekompensation und daraus resultierender Verdickung und Trübung der Hornhaut.

Verletzungen der Iris können zu Verwachsungen mit der Kunstlinse führen (hintere Synechien). Dem geht häufig eine sterile Entzündungsreaktion mit Fibrinausfällung in die Vorderkammer voraus. Selbst vorsichtige Manipulationen des Irisgewebes können solch eine fibrinöse Uveitis auslösen. Die

intraoperative Gabe von Heparininfusionen in die Vorderkammer kann eine Fibrinreaktion abschwächen oder gar verhindern [56]. Beim Irisprolaps kommt es zur Dislokation des weichen Irisgewebes in den Wundspalt. Dies geschieht z. B. bei erhöhtem intraokularem Druck oder postoperativ, wenn der Wundspalt nicht komplett verschlossen wurde. Dies kann zu Verwachsungen zwischen Iris und Hornhaut führen (vordere Synechien).

Weitere Gefahren, die von einem undichten Wundspalt ausgehen, sind eine Bulbushypotonie und die Entstehung einer Endophthalmitis durch das Einwandern von Bakterien. Strukturdefekte und Synechien des Irismuskels (M. sphinkter pupillae) können zu einer entrundeten Pupille führen.

Gelingt die zirkuläre Kapsulorhexis nicht, kann durch ein Auslaufen der Rhexisränder eine Kapselsackimplantation nicht mehr möglich sein. Zudem ist auch das Risiko einer Nachstarentwicklung bei nicht optimal sitzenden Kapselöffnungen vergrößert.

Kommt es zur Ruptur der hinteren Linsenkapsel während der Linsenaspiration, kann Linsenmaterial in den Glaskörperraum entweichen und zu starken Reizzuständen führen. Daraus kann sich wiederum ein erhöhter Augendruck, das Sekundärglaukom, entwickeln.

Beim Glaskörperprolaps tritt Glaskörper nach einer hinteren Linsenkapseleröffnung in den Kapselsack oder die Vorderkammer. Dies kann neben dem schon erwähnten Sekundärglaukom zu weiteren Komplikationen führen. Der zähe Glaskörper kann durch kontraktile Bindegewebsfasern zu Pupillenentrundung, Bildung vorderer Synechien und Traktionen der Netzhaut führen. Die seltene Netzhautablösung ist dann eine sehr gefürchtete Nebenwirkung [51, 53]. Die häufigste postoperative Komplikation, der Nachstar, wird in Kapitel 2.6 ausführlich erläutert. Eine Zusammenfassung der häufigsten Komplikationen gibt Tabelle 1 wieder [60].

Tabelle 2: Komplikationshäufigkeiten nach kindlicher Katarakt-Operation

Art der Komplikation	Häufigkeit (%)
Nachstar bei intakter Hinterkapsel	80-95%
Nachstar bei Aphakie und vorderer Vitrektomie	9,2%
Nachstar bei IOL und vorderer Vitrektomie	4-10%
Aphakieglaukom	15,4%
Glaskörperblutung	10,8%
Fibrinreaktion	4,6%
Vorderkammerblutung	3,1%
Netzhautablösung	3,1%

2.7 Der Nachstar

2.7.1 Grundsätzliches zum Nachstar

Unter einem Nachstar versteht man eine sekundäre Eintrübung von Linsenmaterial nach stattgefundener Kataraktoperation. Daher lautet auch der lateinische Name „Cataracta secundaria“. Es handelt sich dabei um die Linsenkapsel oder die mit ihr eng verbundenen Linsenepithelzellen und ihre Abkömmlinge. Meist entsteht der Nachstar in den ersten 18 bis 24 Monaten nach der Operation[64].

Erreicht der Nachstar die Sehachse, werden die Sehfunktionen des betroffenen Auges beeinträchtigt. Sehschärfe, Kontrastsehen und Farbwahrnehmung sind reduziert und es kann zu vermehrter Blendung kommen [39, 40]. Außerdem kann eine Kapselschrumpfung, vor allem im Bereich der vorderen Kapsel, zu einer Dezentrierung der IOL führen. Dies kann beim Patienten Beschwerden wie Doppelbilder und eine Sehverschlechterung hervorrufen. Beim klinisch relevanten Nachstar geht man davon aus, dass er durch eine Besiedelung der hinteren Linsenkapsel mit bei der Operation zurückgebliebenen Linsenepithelzellen verursacht wird [3]. Es konnten fünf verschiedene Zelltypen identifiziert

werden, die einen Nachstar verursachen können [2]. 1) Epitheliale Zellen aus dem Bereich der vorderen Kapsel oder des Äquators. Diese Zellen sind in der Lage in andere Kapselareale zu migrieren; 2) verbliebene Linsenfasern als die Verlängerung der Linsenepithelzellen; 3) Wedl-Zellen bilden die an der Spaltlampe sichtbaren Hirschberg-Elschnig-Perlen; 4) Fibrozytenartige Bindegewebszellen entstehen durch Metaplasie aus Linsenepithelzellen; 5) myoepitheliale Zellen enthalten kontraktile glatte Muskelfaserelemente und entstehen auch aus transformierten Linsenepithelzellen.

Der klassische Nachstar wird vermutlich von den im Äquatorialbereich sitzenden Linsenepithelzellen verursacht [45-47]. Man vermutet, dass äußere Faktoren und von den Linsenepithelzellen produzierte Wachstumsfaktoren eine Rolle bei der Nachstarentwicklung spielen [125]. Offenbar führt der Kontakt mit der IOL zu einer Produktion von Interleukin-1 und Interleukin-6 durch die Linsenepithelzellen. Diese Interleukine wiederum regen die Produktion von Prostaglandin E₂ an. Prostaglandine sind Gewebshormone mit entzündungssteuernden Eigenschaften. Im weiteren Verlauf regen diese Entzündungsmediatoren eine lokale inflammatorische Reaktion mit Fibrinbildung an. Man konnte nachweisen, dass diese Reaktionen bei Implantation Heparin beschichteter IOLs und topischer Gabe antiphlogistischer Substanzen geringer ausfallen [49, 50]. Des Weiteren wurden einige extrazelluläre Matrixproteine identifiziert, welche bei Verletzungen der Linsenstruktur frei werden und Zellen des Immunsystems aktivieren [66].

Man kann den Nachstar in einen vorderen und einen hinteren Nachstar unterteilen, je nachdem die Vorder- oder Hinterkapsel betroffen ist. Auch kann man histologisch differenzieren, ob es sich um eine Fibrose der Linsenkapsel oder regenerationsproliferative Proliferationen der übrig gebliebenen Linsenepithelzellen handelt. Pathophysiologisch unterscheidet man in eine *Cataracta secundaria simplex* und eine nach Blutungen oder Entzündungen auftretende *Cataracta secundaria accreata*.

Der fibrotische Nachstar entsteht meist aus Zellproliferationen, die ihren Ausgang vom Linsenäquator nehmen und entlang der hinteren Linsenkapsel wachsen. Es entsteht eine fibrinöse Matrix aus Kollagenfaser, Hyaluronsäure

und neu gebildeter Basalmembran. Durch eine Kontraktion der Myofibroblasten kann es zu einer Fältelung der Hinterkapsel kommen.

Der regeneratorsche Nachstar entsteht, indem Linseneithelzellen aus dem Äquator auf die Hinterkapsel emigrieren und zu Wedl-Blastenzellen transformieren. Diese Zellen bilden makroskopisch sichtbare Konglomerate, sogenannte Elschnig-Perlen. Kommt es ausschließlich im Bereich des Äquators zu einer Epithelproliferation, spricht man von einer Soemmering-Ringkatarakt.

Die *Cataracta secundaria accreata* entsteht häufig nach einer Kataraktextraktion bei Uveitis. In diesem Fall besteht der Nachstar neben Linseneithelzellen aus Entzündungszellen und Zellen benachbarter okulärer Strukturen. Es kommt zur Bildung von Verwachsungen, den bereits erwähnten Synechien, und teilweise Ausbildung bindegewebiger Plaques.

Der wichtigste Faktor für die Wahrscheinlichkeit einen Nachstar zu entwickeln ist das Alter des Patienten [27]. Kinder sind einem weitaus höheren Risiko der Nachstarbildung ausgesetzt als Erwachsene. So wächst der Nachstar bei zehnjährigen Kindern dreimal schneller als bei Erwachsenen [112]. Auch in Zellkulturen konnte eine höhere Wachstumsfrequenz kindlicher Linseneithelzellen gezeigt werden. Weiter fördern Stoffwechselerkrankungen wie Diabetes mellitus die Nachstarbildung. Eine genaue Korrelation und die zugrunde liegenden Mechanismen sind allerdings noch nicht geklärt. Eine positive Korrelation zur Nachstarhäufigkeit vermutet man auch bei Patienten mit Retinitis pigmentosa, Exfoliatio lentis und entzündlichen Erkrankungen wie der Uveitis [9, 58, 67].

2.7.2 Therapie und Prävention des Nachstars

2.7.2.1 Die Neodymium:YAG-Laser-Kapsulotomie

Die beliebteste Methode zur Entfernung des Nachstars ist die Kapsulotomie mit dem Neodymium-dotierten Yttrium-Aluminium-Granat-Laser (Nd:YAG-Laser). Dieser Festkörperlaser emittiert infrarote Strahlung mit einer Wellenlänge von meist 1064 nm. Durch eine Photodisruption wird die hintere Linsenkapsel mit

dem Nd:YAG-Laser zentral eröffnet. Es wird eine Auflösung des Gewebes im Laser-Bereich erzielt. Das Gewebe im Laser-Zielfokus absorbiert Energie und wird in einen gasförmigen Zustand ionisiert. Lokal entsteht ein Temperaturanstieg auf ca. 10000 °C, das Gas expandiert explosionsartig und lässt eine Schockwelle entstehen. Mit dieser einfachen Methode lässt sich der Nachstar ohne Eröffnung des Auges behandeln. Sehschärfe, Kontrastsehen und Blendungsbeschwerden werden rasch verbessert. Mögliche Komplikationen der Nd:YAG-Kapsulotomie sind eine Beschädigung der IOL (12%), ein vorübergehender Augendruckanstieg (8,5%), die Entstehung des zystoiden Makulaödems (0,68%), eine Netzhautablösung (0,17%), eine Vorderkammerblutung (0,15%), eine Regenbogenhautentzündung (0,10%) und eine Dislokation der IOL (0,1%) [104].

2.7.2.2 Die chirurgische Nachstarentfernung

Bei den chirurgischen Nachstarentfernungen handelt es sich um bulbuseröffnende Maßnahmen. Bei der Nachstarentfernung wird über die Pars plana, einen Bereich 4,5 mm hinter dem Limbus, oder die Vorderkammer in das Auge eingedrungen. Die Hinterkapsel und der Nachstar werden dann aus dem Glaskörperaum hinter der Linse entfernt. Dies geschieht heute meist mit nahtlosen Vitrektomiesystemen. Im Vergleich zur YAG-Kapsulotomie sind das Risiko einer Netzhautablösung (3%) und eines zystoiden Makulaödems (2%) erhöht [104]. Wird der Nachstar durch eine Nachstarabsaugung entfernt, bleibt die Hinterkapsel meist intakt. Der Zugang erfolgt durch zwei limbusnahe Parazentesen. Mit einem Irrigations-Aspirations-System wird hauptsächlich der regenerierende Nachstar von der Hinterkapsel gesaugt. Das Risikoprofil ist ebenso niedrig wie bei der YAG-Kapsulotomie [104]. Wie alle bulbuseröffnenden Maßnahmen birgt die Nachstarabsaugung jedoch das Risiko einer gefürchteten Endophthalmitis.

2.7.2.3 Das Nachstarrisiko verringernde Maßnahmen

Das Nachstarrisiko kann intraoperativ durch Hydrodissektion, eine gründliche Kapselpolitur, eine komplette Platzierung der IOL im Kapselsack und einen

leicht geringeren Rhexisdurchmesser als der Optikdurchmesser der IOL reduziert werden [102]. Auch ist das Design der Linsenoptik zur Inhibition des Nachstars geeignet, da die IOL eine Barriere für den nach zentral wachsenden Nachstar darstellen kann. Je schärfer die hintere Optikkante ist, desto geringer fällt der Nachstar aus [85]. Auch sollte die Optik nicht kleiner als 6 mm sein, wie Vergleichsstudien zeigten[77]. Diverse Linsenepithel-Wachstums-hemmende Substanzen sind in der experimentellen Erprobung. Bevor es zu einer klinischen Anwendung kommt, muss sichergestellt werden, dass keine Gefahr für andere okuläre Strukturen besteht. Die speziellen, den Nachstar reduzierenden Operationstechniken bei der kindlichen Linsenextraktion sind im Kapitel 2.5 ausführlich erläutert.

3 Patienten und Methoden

3.1 Patienten

Im Zeitraum von sechs Jahren, August 1997 bis September 2003, wurden an der Klinik für Augenheilkunde der Johann Wolfgang-Goethe Universität in Frankfurt am Main 104 Augen an der kindlichen Katarakt behandelt. Insgesamt wurden 35 weibliche und 34 männliche Patienten mit Linsentrübungen durch unterschiedliche Operationsmethoden von demselben Operateur, Prof. Dr. T. Kohnen, operiert. Die Akten aller Patienten wurden vorselektiert, um alle Patienten zu finden, bei denen die beiden zu vergleichenden Behandlungsarten Anwendung fanden.

46 der operierten Augen erfüllten die Einschlusskriterien nicht. Bei 34 Augen wurde nach der Linsenabsaugung keine IOL implantiert. Sieben Augen hatten Veränderungen des vorderen oder hinteren Augenabschnittes. In drei Augen wurde eine andere IOL als die Pharmacia 811c implantiert. Bei einem Auge aus der Gruppe B musste aufgrund eines intraoperativen Glaskörpervorfalles eine vordere Vitrektomie durchgeführt werden. Und bei einem operierten Auge erschien der Patient postoperativ nicht wieder zur Kontrolle.

58 behandelte Augen erfüllten die Einschlusskriterien und wurden in die retrospektive Vergleichsstudie eingeschlossen. Davon waren 40 Augen Bestandteil einer prospektiven randomisierten Studie, bei der u.a. die Refraktionsentwicklung und Genauigkeit der Linsenberechnung untersucht wurden [70].

Die operierten Augen wurden entsprechend der verwendeten Operationstechnik in die beiden Gruppen a) behandelte Augen nach vorderer Vitrektomie (OP-Technik A) und b) Knopflochimplantation der Linse (Technik B) eingeteilt.

Die Einschlusskriterien für beide Gruppen waren:

- Ein- oder beidseitige kindliche Katarakt-Operation mit Aphakiekorrektur durch eine Heparin beschichtete PMMA-Linse Pharmacia 811c. Die Implantation muss sicher in den Kapselsack erfolgt sein.
- Das Vorhandensein einer hinteren Kapsulorhexis.
- Durchführung einer vorderen Vitrektomie (Technik A) oder Knopflochimplantation der IOL (Technik B) ohne vordere Vitrektomie.
- Behandlung aller Fälle durch einen Chirurgen.
- Kontrollzeitpunkt mindestens drei Jahre nach OP.

Folgende Ausschlusskriterien wurden für die Teilnahme an der Studie festgelegt:

- Zustand nach okulären Traumata (traumatische Katarakt).
- Chronisch entzündliche Augenerkrankungen, okuläre Infektionen.
- Ein bekanntes Glaukom.
- Anomalien des vorderen oder hinteren Augenabschnittes wie z.B. Mikrophthalmus, Rieger-Syndrom oder Veränderungen der Sehnerven.
- Eine vorausgegangene Augenoperation.
- Eine geistige Behinderung.
- Das Nichterfüllen aller Einschlusskriterien.

3.2 Operationstechniken

Alle Operationen wurden von einem Operateur, Prof. Dr. T. Kohnen, durchgeführt und verliefen bis nach Einsetzen der IOL nach dem gleichen Schema. Der Eingriff fand in Vollnarkose statt. Es wurde immer nur ein Auge pro Eingriff operiert.

Zuerst wurde der obere gerade Augenmuskel mit einem schwarzen Seidenfaden angeschlungen. Dann wurde die Bindehaut eröffnet und Blutungen aus den konjunktivalen Gefäßen wurden elektrokauterisiert. Mit einem 0,3 mm Diamantmesser wurde ein 300 µm tiefer Skleraschnitt am Limbus zur Hornhaut angelegt und mit einem flachen Stahlmesser zu einem sklero-kornealen Tunnel erweitert. Zwei Parazentesen wurden bei 10 und 2 Uhr angelegt. Das Kammerwasser wurde durch die hochvisköse viskoelastische Substanz (OVD) Healon GV (AMO, Santa Ana, Californien, USA) ersetzt. Es folgte eine kontinuierliche kurveolnäre Kapsulorhexis mit einem Durchmesser von 4,8 bis 7 mm zur Eröffnung der vorderen Linsenkapsel. Hierfür wurde die zentrale Kapselvorderseite mit einer Nadel punktiert und mit einer Utrata-Pinzette eine glatte und kontinuierliche Kapsulorhexis aus der Linsenkapsel gerissen. Es folgte eine behutsame multilamelläre Hydrodissektion und die Katarakt wurde mit dem bimanuellen Irrigation-Aspiration-System (Koch/Kohnen bi-manual A/I system, G-22100/1; Geuder, Heidelberg, Germany) durch die beiden Parazentesen abgesaugt. Abschließend wurde die Hinterkapsel vorsichtig durch weiteres Absaugen von den letzten Rindenresten befreit. Als nächster Schritt wurde auch die hintere Linsenkapsel mit einer kleinen Nadel punktiert und eröffnet. Durch die kleine Öffnung ließ sich der vordere Glaskörper mit Hilfe der Injektion von OVD in Richtung des hinteren Pols verdrängen, um eine hintere kurveolnäre Kapsulorhexis mit einem Durchmesser von 4-5 mm anzulegen. Jetzt wurde der Skleratunnel auf 6 mm erweitert. Die vordere Augenkammer und der Kapselsack wurden mit OVD gefüllt. So konnten diese sensiblen Strukturen beim weiteren Vorgehen nicht kollabieren. Schließlich wurde eine Heparin beschichtete PMMA-Hinterkammerlinse (Pharmacia 811c) mit einer 6,0 mm optischen Zone in den Kapselsack implantiert.

3.2.1 Operationstechnik A

Vor oder nach Implantation der Kunstlinse in den Kapselsack erfolgte eine flache vordere Vitrektomie hinter der IOL, indem diese vorsichtig nach vorne gekippt wurde.

3.2.2 Operationstechnik B

Nach Implantation der Kunstlinse wurde die Optik der Linse behutsam durch die hintere Kapsulorhexis versenkt. Das hinter dem Kapselsack applizierte OVD schützte dabei den vorderen Glaskörper vor einer Inkarzeration in den Spalt zwischen IOL und Rhexis.

Nun wurde bei beiden Operationstechniken die Pupille durch die Injektion von Miochol verengt und das OVD durch das bimanuelle System abgesaugt. Die Vorderkammer wurde danach durch Injektion von BSS (balanced salt solution, BSS, Alcon Surgical Inc; Forth Worth, Texas, USA) durch die Parazentesen gestellt. Der Skleratunnel wurde anschließend mit einer fortlaufenden 10.0 Nylon-Naht und die Bindehaut mit resorbierbarem 7.0 Vicryl verschlossen. Abschließend wurden die Parazentesen mit BSS hydratisiert.

3.3 Die heparinbeschichtete Kunstlinse

Klinische Tests zeigten, dass heparin-beschichtete PMMA-Linsen weniger zu Leukozytenaggregation auf der Linsenfläche neigen [48]. Aus diesem Grund wurde im Untersuchungszeitraum bevorzugt die heparinbeschichtete Hinterkammerlinse Pharmacia 811c (Pharmacia Iovision Inc., Irvine, Californien, USA) verwendet. Es handelt sich hierbei um eine einteilige, nicht faltbare PMMA-Linse mit einer 6,0 mm optischen Zone. Um eine möglichst hohe Beobachtungsgleichheit zu erzielen, wurde die Implantation dieser Linse zu einem der Einschlusskriterien erklärt.

3.4 Die Linsen kalkulation

Die Linsen kalkulation aller Studienpatienten erfolgte mit der Holladay II Formel und dem „Holladay IOL Consultant Program“ (V. 2.20.9248). Diese Formel

verspricht, in Vergleich zu anderen Formeln, ein kleineres Streumaß um die Zielrefraktion bei der Kalkulation kleiner Augen [115]. Die Holladay II Formel benötigt zum Berechnen der Linse die Werte der Achsenlänge des Bulbus, die Vorderkammertiefe, die Linsendicke, den Hornhautdurchmesser, die Brechkraftwerte der Hornhaut, die präoperative Refraktion und das Alter des Patienten. Der durch das Augapfelwachstum zu erwartende „myopic shift“ und die daraus resultierende Zielrefraktion der IOL wurden anhand empirischer Daten geschätzt [12].

3.5 Prä- und postoperative Untersuchungen

Zur Sicherung der Diagnose und Operationsvorbereitung wurde bei allen Patienten eine vollständige beidseitige Augenuntersuchung durchgeführt. Es erfolgte eine Untersuchung des vorderen Augenabschnittes, die Funduskopie bei erweiterter Pupille und die Messung der Hornhautkrümmung mit dem Handkeratometer (Zeiss, Jena, Germany). Der Durchschnittswert beider Keratometerachsen ergibt den für die Linsen-kalkulation nötigen Wert der Hornhautbrechkraft. Die Refraktion wurde nach Lähmung des Ziliarmuskels durch Cyclopentolat 1%, Tropicamid 1 % und Phenylephrin 2,5% bestimmt. Vorderkammertiefe, Linsendicke und Achsenlänge des Auges wurden mit dem Ultraschall A-Scan (Digital B 2000 and Ultrascan Imaging System; Alcon) bestimmt [26].

Meist erfolgten diese Untersuchungen während einer kurzen Narkoseuntersuchung, um mögliche Messfehler durch Abwehr und mangelnde Kooperation zu verhindern.

Postoperativ erfolgten tägliche Kontrollen bis zur stationären Entlassung nach etwa drei Tagen. Danach erschienen die Patienten je nach Verlauf wöchentlich oder zur Monatskontrolle. Im Rahmen der Monatskontrolle wurde mittels Skiaskopie überprüft, ob die errechnete Zielrefraktion erreicht wurde. Bei den Kontrolluntersuchungen nach drei und sechs Monaten sowie den darauf folgenden jährlichen Untersuchungsterminen wurde ein vollständiger Status der operierten Augen erhoben, inklusive Refraktionsbestimmung und Messung der Bulbuslänge.

3.6 Risiken und Nebenwirkungen

Da die im Rahmen der Studie durchgeführten Behandlungen sich nicht von den auch im Rahmen der klinischen Routine durchgeführten Behandlungen unterscheiden, entsprechen die Risiken und Nebenwirkungen denen der allgemeinen Behandlung. Es wurden konservative, nicht invasive Untersuchungen durchgeführt. Ferner entsprechen die durchgeführten Untersuchungen der Deklaration des Weltärztebundes von Helsinki.

3.7 Eigene Auswertungen und Untersuchungen

Es wurden ab 2008 alle Patienten, welche die in 3.1. genannten Einschlusskriterien erfüllten, zu einer Kontrolluntersuchung in die Sehschule der Universitätsaugenklinik Frankfurt eingeladen. Die Adressen verzogener Patienten wurden über das Einwohnermeldeamt ermittelt. Da es leider sehr wenige Rückmeldungen gab, wurde auch telefonisch um eine Vorstellung in der Sehschule gebeten. Bei der Endauswertung wurde dann der Zeitraum zwischen Operation und letzter Untersuchung als Beobachtungszeitraum definiert.

Die retrospektive Analyse erfasste folgende Patientendaten: Geschlecht, operierte Augen (rechts/links/beide Augen), Operationszeitpunkt, Alter des Patienten zum OP-Zeitpunkt, Operationstechnik, Inzisionstechnik, Kunstlinsestärke, Zielrefraktion, Morphologie der Linsentrübungen (Nucleus, Lamelle, Cortex und hinterer Pol), Diagnose, Nebendiagnosen wie die Katarakt auslösende Faktoren (z. B. Virusinfekte, Medikamenteneinnahmen oder bekannte autosomal bekannte Erbgänge), bestkorrigierte Sehschärfe (präoperativ und postoperativ), sphärisches Äquivalent (präoperativ und postoperativ), Achsenlänge des Auges (präoperativ und postoperativ), Größe der vorderen und hinteren Kapsulorhexis, Vorhandensein eines primären Hinterkapseldefekts, Erfassung intra- und postoperativer Komplikationen, Zentrierung der IOL, Zentrierung der Rhexen, Beurteilung der Nachstarentwicklung (Elschnig-Perlen, fibrotischer Nachstar, Verlegung der optischen Achse), stattgefundenene Nachstarentfernungen und Länge des Beobachtungszeitraums postoperativ.

3.7.1 Visusprüfung

Die Sehschärfe (lat. *Visus*) ist in der Augenheilkunde der wichtigste messbare Parameter, um die Funktion des Sehens zu überprüfen. Anhand der Visusveränderung werden Erfolg oder Misserfolg einer Behandlung gemessen. Üblicherweise wird die Visusbestimmung mit genormten Sehzeichen definierter Größe, Helligkeit, Form und definierten Kontrasten festgestellt. In der klinischen Routine werden meist Zahlen oder Buchstaben als Sehprobe verwendet. Für kleine Kinder, Menschen die nicht lesen können, und gewisse gutachterliche Anforderungen gibt es spezielle Sehproben, wie E-Haken nach Snellen, Landold-Ringe oder Kinderbilder.

Bei unseren Untersuchungen erfolgte die jeweils einseitige Visusbestimmung mit bestmöglicher Korrektur als erster Schritt. Abhängig vom Patientenalter wurde der Visus bei Kleinkindern mit dem Sherian Gardiner-Test (SGT, Einzel-Optotypen-Test), dem E-Haken-Test oder der Snellenskala bestimmt. Bei größeren Kindern erfolgte die Visusbestimmung über projizierte Zahlen.

3.7.2 Objektive und subjektive Refraktionsprüfung

Als weitere Untersuchung wurde eine objektive Refraktionsprüfung durchgeführt. Hier wird die Gesamtbrechkraft des Auges in Beziehung zur Achsenlänge in Dioptrien mit dem Topcon Autorefraktometer (RM-A2300, Topcon Deutschland GmbH) dargestellt. In Einzelfällen erfolgte die Refraktionsbestimmung durch Skiaskopie. Hier werden die Augen durch Cyclopentolat 1%, Tropicamid 1 % und Phenylephrin 2,5% erweitert. Nach etwa 20 Minuten erschlafft der Ziliarmuskel und man kann die Brechkraft der Linse nicht mehr verändern. Diesen Zustand nennt man Zykloplegie. Mit Lichtschattenbewegungen, die durch das Schwenken des Skioskops durch die optische Achse entstehen, können die sphärische und zylindrische Refraktion des Auges bestimmt werden.

Zur subjektiven Refraktionsbestimmung werden dem Patienten beim Sehtest sphärische und zylindrische Plus- oder Minusgläser angeboten und die Zylinderachse bestimmt. Auf diese Weise wurde bei den Patienten während der Nachkontrolle der bestkorrigierte Visus ermittelt. Schließlich wurden die

zylindrischen und sphärischen Werte nach folgender Formel zum sphärischen Äquivalent umgerechnet.

Sphärisches Äquivalent = sphärischer Wert (Dpt) + zylindrischer Wert (Dpt)/2

3.7.3 Untersuchung des Vorderabschnittes

An der Haag-Streit 900 BM Spaltlampe wurde der Augenvorderabschnitt bei maximal erweiterter Pupille biomikroskopisch unter acht- bis zwölfacher Vergrößerung untersucht. Initial wurde die Hornhaut auf Trübungen und Verwachsungen, sogenannte vordere Synechien, untersucht. Es wurde beurteilt, ob die Regenbogenhaut rund ist und sich bei unterschiedlichen Beleuchtungsintensitäten regelrecht verengt. Durch Veränderung des Spaltlampenfokus ließ sich dann die Zentrierung der vorderen und hinteren Rhexis sowie die Positionierung der IOL überprüfen. Schließlich wurden die Ränder der Rhexis auf fibrotischen Nachstar und Elschnig-Perlen untersucht und deren Beziehung zur optischen Achse beurteilt.

3.7.4 Funduskopische Untersuchung

Durch indirekte Funduskopie mit dem Heine-Ophthalmoskop und der Volk 2.2 Dioptrien Lupe (Volk, USA) wurden der Sehnerv und die Netzhaut auf Veränderungen überprüft. Durch den Strahlengang des Lichtes zeigt sich ein umgekehrtes und gespiegeltes Bild des Augenhintergrundes.

3.7.5 Messung der Bulbuslänge

Die Messung der Bulbuslänge erfolgte mit dem IOL-Master (IOL-Master, Zeiss-Meditec). Hierbei wird mit einem Laserstrahl die Distanz zwischen der Rückfläche der Hornhaut und dem retinalen Pigmentepithel bestimmt [121]. Es sollte zu keiner Wachstumsverzögerung bei einer der beiden Operationstechniken kommen [47], dennoch wollten wir diesen Parameter bei unseren Patienten nicht außer Acht lassen.

Das größte Bulbuswachstum findet mit ca. 4 mm in den ersten 18 Lebensmonaten statt. Zwischen dem 2. und 5. sowie dem 6. und 18. Lebensjahr

verändert sich die Achsenlänge des menschlichen Auges um etwa je einen Millimeter [6, 29].

3.7.6 Die Nachstarevaluation

Die Dokumentation der Nachstarbildung stellt den Untersucher bei jungen Patienten vor eine Herausforderung. Die Analyse der Veränderungen im Visus, Kontrastsehen und der Blendung [76] überfordern den kleinen Patienten. Die Auswertung der Nachstarbehandlungsrate [90] erschien bei einer kleinen Fallzahl auch nicht sinnvoll. Evaluationsmethoden wie Funduseinsicht, Auswertungen von Scheinpflugfotos oder eine digitale Graustufen-Analyse waren aufgrund der Tatsache, dass die hintere Linsenkapsel bei allen Patienten primär eröffnet worden war, nicht realisierbar [58, 59]. Eine Reihe von Computerprogrammen wurde zur objektiven Auswertung digitaler Retroillumination-Bilder entwickelt, die jedoch eine sehr aufwändige Ausstattung benötigen [7]. Aus diesem Grund entschieden wir uns für die subjektive Evaluierung an der Spaltlampe [58-60]. Wann immer es durch die Kooperation des Patienten möglich war, wurde ein digitales Spaltlampenfoto zur Befunddokumentation und Archivierung angefertigt. Bei der Auswertung wurde zwischen der zentralen 3mm-Zone und der Peripherie differenziert sowie zwischen Fibrose und Elschnig-Perlen. Die Klassifizierung der Elschnig-Perlen erfolgte nach Müllner-Eidenbock in mild, moderat und schwer.

3.8 Statistische Analyse

Die gesammelten Daten wurden in standardisierter Form in einer Excel-Tabelle gesammelt und mit Hilfe des Statistikprogramms SPSS für Windows, Version 18.0 (SPSS, Inc., USA) ausgewertet. Die Darstellung der kontinuierlichen Variablen erfolgte als Mittelwert, während als Streumaß die Standardabweichung gewählt wurde.

Die kontinuierlichen Variablen wurden mit Shapiro-Wilk-Tests hinsichtlich ihrer Normalverteilung überprüft. Während einige der getesteten Variablen keine Normalverteilung aufwiesen (Shapiro-Wilk-Test: $p \leq 0,05$), konnte für andere Variablen eine Normalverteilung berechnet werden (Shapiro-Wilk-Test: $p \geq$

0,05). Bei den Vergleichen der Stichproben wurden daher Tests für normalverteilte Stichproben und nichtparametrische Tests für nicht normalverteilte Stichproben herangezogen.

Beim Vergleich von zwei unabhängigen, normalverteilten Stichproben wurde der t-Test verwendet. Dabei wurde vorher zur Überprüfung der Homogenität der Varianzen der Levene-Test durchgeführt. Aufgrund der nachgewiesenen Homogenität der Varianzen wurde der Student t-Test durchgeführt. Bei nicht normalverteilten Stichproben wurde der Mann-Whitney-U-Test als nichtparametrisches Verfahren angewendet.

Die kategorisierten Daten dagegen wurden mit Hilfe des Chi-Quadrat-Tests bzw. des exakten Tests nach Fisher ausgewertet. Bei Verwendung des Chi-Quadrat-Tests wurde die erforderliche Testvoraussetzung erfüllt, sodass bei allen Tests weniger als 20% der erwarteten Häufigkeit kleiner als 5 war. In Einzelfällen, in denen diese Testvoraussetzung nicht gegeben war, wird dies jeweils bei der Ergebnisdarstellung erläutert.

Bei allen durchgeführten Tests erfolgte eine zweiseitige Signifikanzüberprüfung, wobei für alle statistischen Tests ein p-Wert $< 0,05$ als statistisch signifikant angenommen wurde.

In den ebenfalls mit SPSS erstellten grafischen Darstellungen wurden zur Veranschaulichung der Mittelwerte bei normalverteilten Stichproben Fehlerbalken verwendet. Als Streumaß wurden aufgrund der großen Streubreite die Standardfehler aufgeführt. Zur Veranschaulichung der Mediane und Quartilsabstände bei nicht normalverteilten Stichproben wurden Boxplots verwendet. Während in den Boxen der Median sowie die 25. – 75. Perzentile aufgetragen sind, entsprechen die T-Balken dem kleinsten und größten Wert, sofern diese keine Ausreißer bzw. Extremwerte sind. Die Ausreißer sind dabei Werte, die zwischen $1 \frac{1}{2}$ - 3 Boxenlängen außerhalb der Box liegen. Sie sind in den Grafiken als Kreise dargestellt. Extremwerte, die mehr als 3 Boxenlängen außerhalb der Box gemessen wurden, wurden als Kreuzchen aufgetragen. Die kategorisierten Daten wurden grafisch mit Hilfe von einfachen und gruppierten Balkendiagrammen dargestellt.

4 Ergebnisse

4.1 Allgemeine Patientendaten

In die Studie wurden 58 Augen von 41 Patienten aufgenommen.

Neben einer retrospektiven Auswertung der Patientenakten aller 58 Augen konnten 27 Patienten (37 Augen) zwischen 2008 und Ende 2009 zu einer Untersuchung in die Universitätsaugenklinik Frankfurt geladen werden.

28 Augen (48,3 %) wurden mit der Technik A und 30 Augen (51,7 %) mit der Technik B behandelt. 22 Patienten hatten einseitige, 19 Patienten eine bilaterale kindliche Katarakte. Mit der Technik A wurden 9 einseitige und 19 beidseitig erkrankte Augen behandelt. In Gruppe B waren es 13 einseitige und 17 beidseitige Katarakte.

Während bei der OP-Technik A 11 rechte (39,3%) und 17 linke Augen (60,7%) behandelt wurden, waren es bei Technik B 20 rechte (66,7%) und 10 linke Augen (33,3%).

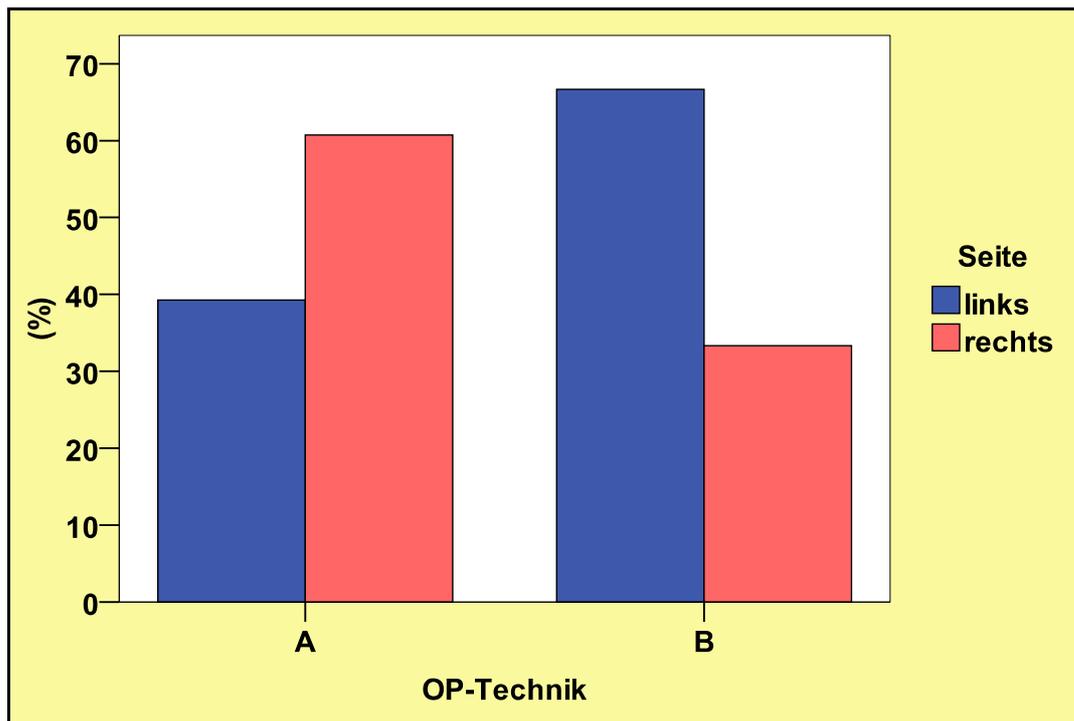


Abbildung 4: Seitenverteilung OP-Technik A vs B

Die geschlechtliche Verteilung zeigte, dass 27 Augen (46,6%) weiblicher und 31 Augen (53,4%) männlicher Patienten ausgewertet wurden.

Davon waren in der Gruppe A 17 Augen männlichen (60,7%) und 11 weiblichen (39,3%) Geschlechts. In der Gruppe B waren es 16 Mädchen (53,3 %) und 14 Jungen (46,7 %).

Der Beobachtungszeitraum lag bei allen Patienten zwischen 73 und 84 Monaten.

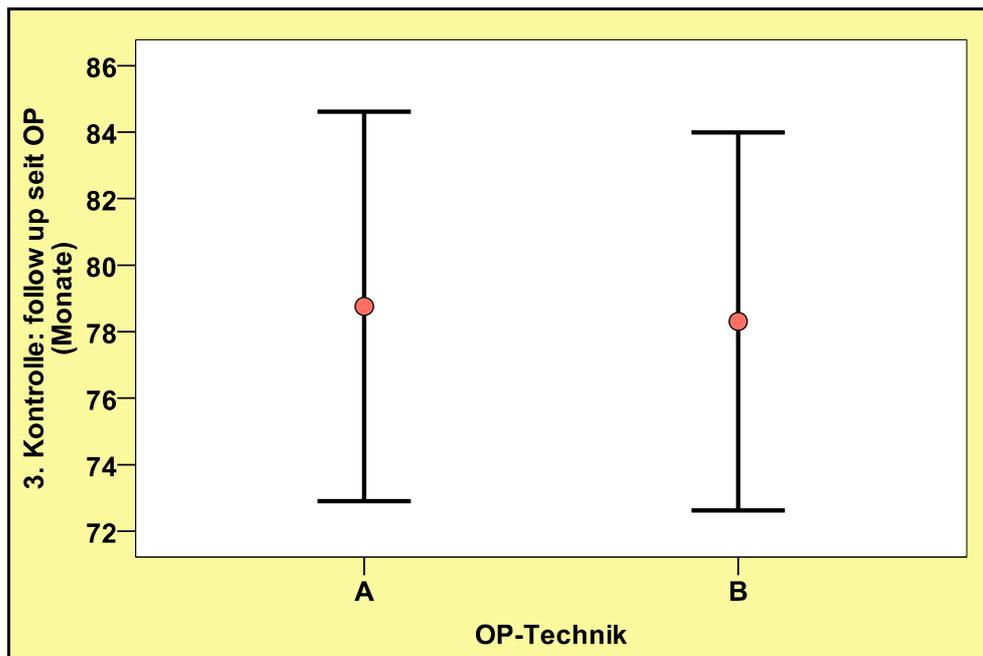


Abbildung 5: Beobachtungszeitraum OP-Technik A vs B

Tabelle 3: Darstellung des Beobachtungszeitraums Technik A vs B

OP-Technik	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes	Median	N
A	78,76	29,868	5,858	73,54	26
B	78,31	31,134	5,684	78,62	30
Insgesamt	78,52	30,276	4,046	73,99	56

4.2 Alter der Patienten

Die beobachteten Augen wurden mit einem Alter von 2 Jahren und 3 Monaten (27 Monate) bis zu 11 Jahren und 9 Monaten (141 Monate) operiert. Der Mittelwert des Operationsalters lag bei 66,05 Monaten (Median 62,77 Monate, SD 29,38). Wie aus der abgebildeten Grafik zu entnehmen ist, folgte die Altersverteilung keiner Normalverteilung.

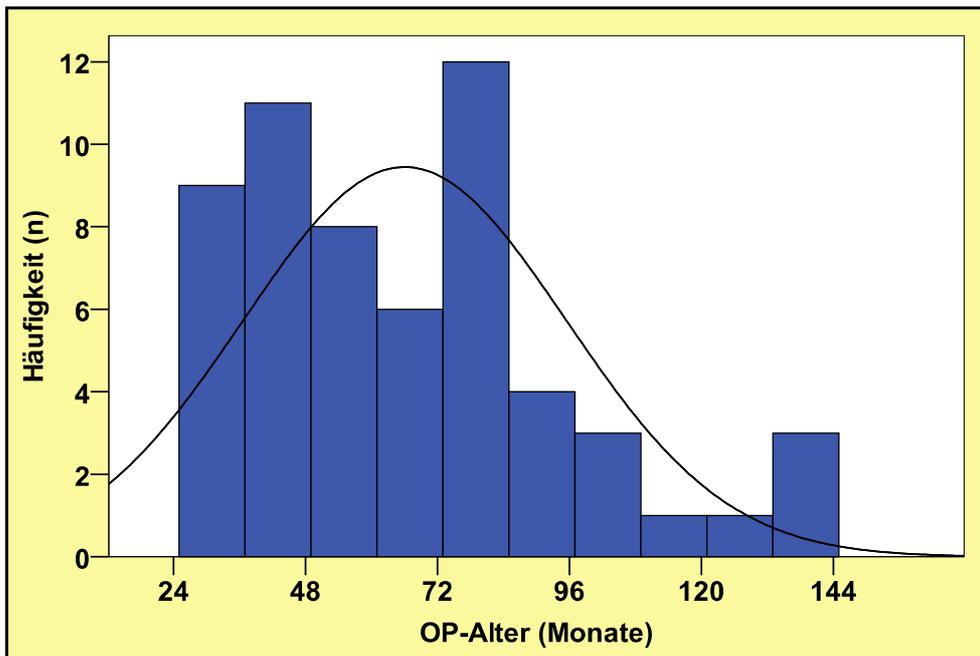


Abbildung 6: OP-Alter (Monate)

Hinsichtlich der Verteilung des Operationsalters auf die beiden Gruppen zeigte sich eine recht homogene Verteilung, auch wenn diese nach dem Shapiro-Wilk-Test nicht normalverteilt ist.

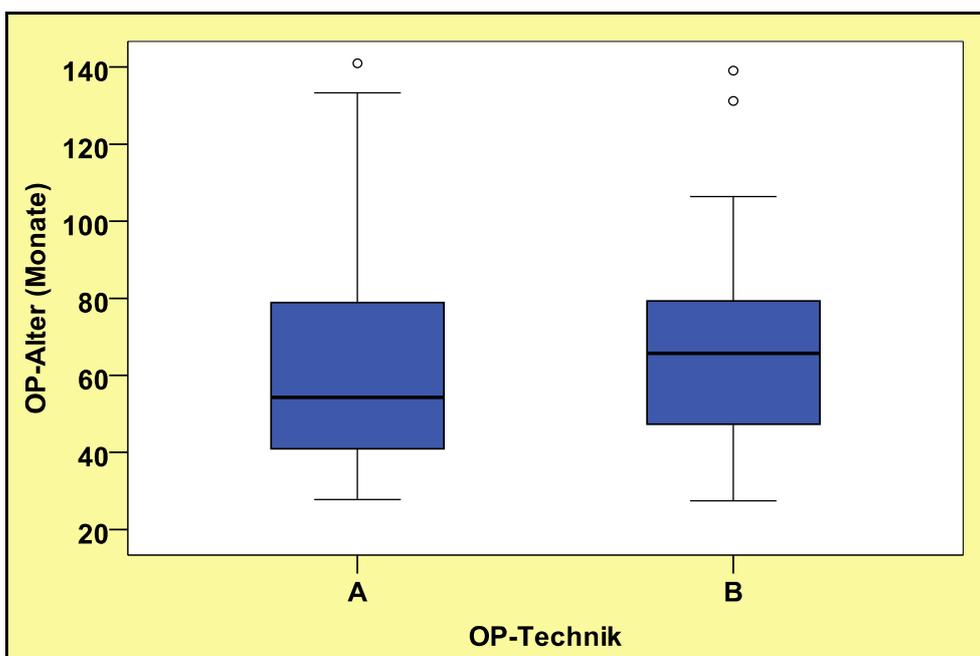


Abbildung 7: OP-Alter (Monate) bei Technik A vs B

In Gruppe A (n=28) war der jüngste operierte Patient 28 Monate alt, der älteste 141 Monate (Median: 54,26 Monate). Die behandelten Patienten der Gruppe B (n=30) waren 27 bis 139 Monate alt (Median: 65,71 Monate).

Tabelle 4: Darstellung Behandlungsalters Technik A vs B

OP-Technik	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum	Median	N
A	64,77	31,794	28	141	54,26	28
B	67,24	27,446	27	139	65,71	30
Insgesamt	66,05	29,388	27	141	62,77	58

4.3 Ätiologie und Art der Linsenveränderungen

Bei 47 Augen konnte sich anamnestisch keine Ursache für die Kataraktentwicklung finden. Acht Augen folgten einem nachweislich autosomal-dominanten Erbgang. Zwei Augen hatten in der Anamnese eine Zytomegalie-Virus-Infektion und ein Auge erkrankte nach einer längeren Kortisoneinnahme.

Die ausgewerteten Augen (n=58) zeigen folgende Linsentrübungen:

Mature Katarakt 10,3% (n=6), zonuläre Katarakt 13,8% (n=8), Lenticonus posterior 10,3% (n=6), coeruläre Katarakt 6,9% (n=4), pulverulente Katarakt 6,9% (n=4), Kernkatarakt 25,9% (n=15) und Trübungen der hinteren Linsenkapsel sowie des hinteren Pols 25,9% (n=15).

28 Augen hatten vorwiegend Trübungen im Kernbereich (Gruppe A: n = 15; Gruppe B: n = 13). Linsentrübungen der hinteren Linsenkapsel oder des hinteren Pols fand man in 24 Augen (Gruppe A: n=11; Gruppe B: n=13). In 6

Fällen kam es zur kompletten Eintrübung der kindlichen Linse (Gruppe A: n=2; Gruppe B: n=4).

4.4 Komplikationen

Während eines Eingriffs (1,7%, Technik A) kam es zu einem Irisprolaps in den sklero-kornealen Tunnel. Dieser konnte zunächst reponiert werden, reinkarzerierte jedoch postoperativ spontan. Der Irisprolaps musste während der Kataraktoperation des Partnerauges reponiert werden.

In drei Fällen entwickelte sich postoperativ eine Fibrinreaktion (5,1 % aller Patienten, 2 Fälle OP-Technik A, 1 Fall OP-Technik B). In einem Fall (Technik B, 1,7%) resorbierte sich das Fibrin unter topischer Steroidtherapie folgenlos. Im weiteren Verlauf traten am Rande der Kapselränder mild bis moderat ausgeprägte regenerationsartige Nachstarperlen auf. Die optische Achse war zu keinem Zeitpunkt bedroht. Im zweiten Fall (Technik A, 1,7%) entwickelte sich die Fibrinreaktion nach einer Irisblutung. Es entstand im Verlauf eine *Cataracta secundaria accreata*. Diese musste mit einer YAG-Kapsulotomie behandelt werden.

Die dritte Fibrinreaktion entwickelte sich nach einer Blutung der Iris. Durch bindegewebigen Umbau entstand aus den Fibrinmembranen eine vordere Synechie (Technik A, 1,7%). Diese wurde während der Operation des Partnerauges durch eine Synechiolyse behandelt.

In 2 Fällen (3,4%, 1 Fall OP-Technik A, 1 Fall OP-Technik B) zeigte sich bei 2 Uhr ein Glaskörperstrang in der Vorderkammer mit daraus resultierender Entrundung der Pupille nach jeweils 2 Uhr.

Tabelle 5: Komplikationen Technik A vs B

Komplikation	Technik A	Technik B
Irisprolaps	1	-
Fibrinreaktion	2	1
Irisblutung	1	-
Nachstarentfernung	2	-
Elschnig-Perlen	4	2
Kapselphimose	-	1

50 Augen (86,2 %) zeigten einen komplikationsfreien Verlauf.

Es traten keine Komplikationen mit Beteiligung der Hornhaut auf. Kein Patient entwickelte vitreoretinale Komplikationen wie Glaskörperblutungen, eine Netzhautablösung oder die Entstehung eines postoperativen zystoiden Makulaödems. Bei der Nachuntersuchung hatte keines der Kinder ein Sekundärglaukom entwickelt.

Bei der Operation kam es in keinem Fall zu einem Ausreißen der vorderen oder hinteren Kapsulorhexis. Auch kam es zu keiner Kapselruptur bei Hydrodissektion oder Linsenaspiration. Bei den Patienten mit primärem Hinterkapseldefekt geschah die Operation komplikationslos.

4.5 Auswertung der Kapselmorphologie

Intraoperativ zeigten sich bei Technik A zwei Augen (7,1% innerhalb Technik A) mit einem primären Hinterkapseldefekt. Bei Technik B hatte ein Patient (3,3% innerhalb der Technik B) einen primären Defekt der Hinterkapsel. Im exakten Test nach Fisher zeigte sich mit $p=0,605$ keine statistische Signifikanz dieses Merkmals.

Der Durchmesser der vorderen Kapsulorhexis betrug bei OP-Technik A 4,8 bis 7,0 mm (MW = 5,5 mm), die hintere Kapselöffnung wurde bei Technik A mit 3 bis 5,2 mm (MW = 4,5 mm) gemessen.

Bei Technik B wurden die vorderen Kapselöffnungen mit 5,0 bis 7,0 mm (MW = 5,5 mm) angegeben, die hintere Rhexis hatte einen Durchmesser vom 3,5 bis 5,6 mm (MW = 4,6 mm).

Eine vordere Kapsulorhexis (1,7%, Technik B) zeigte sich bei der letzten Kontrolle durch eine nasale Kapselphimose leicht dezentriert, während alle hinteren Rhexen zentriert waren.

Ebenso saßen alle IOLs zentriert im Kapselsack. In Gruppe B waren alle Linsen durch die Optic Capture hinter der Hinterkapsel versenkt.

4.6 Auswertung des Nachstars

Zwei Augen, die mit Operationstechnik A behandelt wurden, entwickelten einen behandlungsbedürftigen Nachstar. In Gruppe B musste kein Auge am Nachstar behandelt werden. Hinsichtlich dieses Unterschieds wurde im Fisher-Test mit $p=0,229$ keine statistische Signifikanz berechnet, wobei aufgrund der begrenzten Fallzahl eine eingeschränkte Validität des Testergebnisses bestand.

Ein Auge (1,7%, Technik A) wurde nach der Bildung einer fibrotischen Cataracta secundaria accreata zweimal durch eine YAG-Laser-Kapsulotomie behandelt.

Ein Auge (1,7%, Technik A) entwickelte einen regenerativen Nachstar mit drohender Verlegung der optischen Achse. Dieser wurde durch eine Nachstarabsaugung entfernt.

Bei der letzten Kontrolle zeigten 6 Augen (10,2%) Elschnig-Perlen am Rande der Rhexen. Die optische Zone, die zentralen 3 mm der Sehachse, waren in keinem Fall betroffen. Während bei der OP-Technik A in 15,4% der Fälle ($n=4$) Elschnig-Perlen aufgetreten sind, wurde dies bei der OP-Technik B in 6,7% ($n=2$) und somit deutlich seltener beobachtet. Hinsichtlich dieses Unterschieds wurde im Fisher-Test mit $p=0,401$ keine statistische Signifikanz berechnet,

wobei auch hier aufgrund der begrenzten Fallzahl eine eingeschränkte Validität des Testergebnisses bestand.

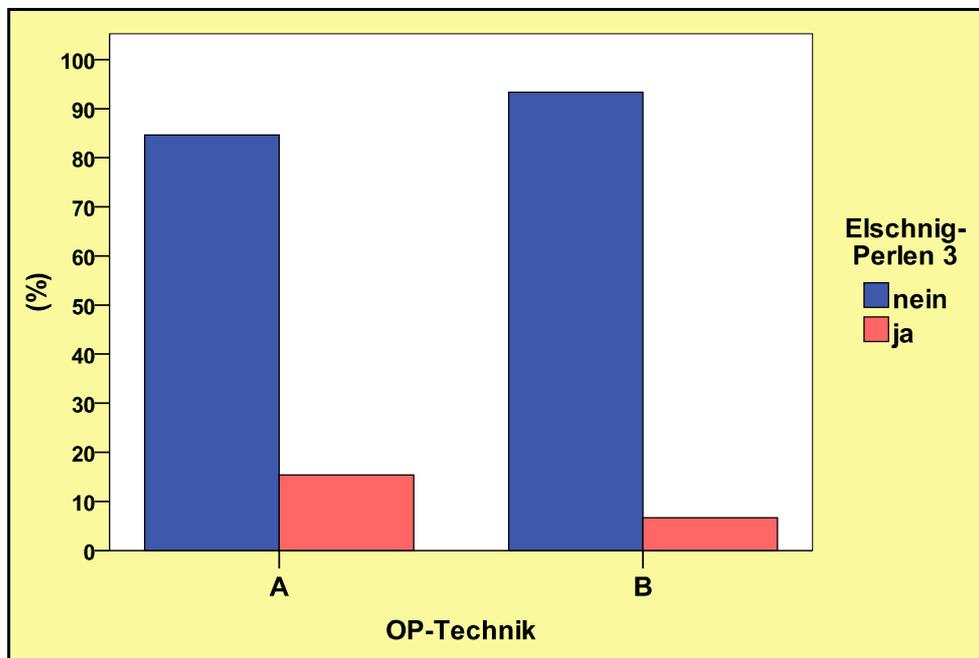


Abbildung 8: Auftreten von Elschnig-Perlen Technik A vs B

Die Ausprägung der Elschnig-Perlen fiel in vier Fällen mild und in zwei Fällen mild bis moderat aus.

In allen Fällen konnte bei der Abschlussuntersuchung keine Nachstarentwicklung in der optischen Achse festgestellt werden.

4.7 Sehschärfe und Kunstlinse

Präoperativ war aufgrund des Alters bzw. der fehlenden Mitarbeit nicht bei allen Kindern eine genaue Messung der Sehschärfe möglich. Die Patienten in Gruppe A (n=24) und B (n=28) kamen je auf einen mittleren bestkorrigierten Visus von 0,19 (n=24).

Postoperativ kam es bei 100% der Patienten zu einer Visussteigerung. Bei der letzten Kontrolluntersuchung zeigte sich bei den mit OP-Technik A operierten Kindern ein mittlerer Visus von 0,50 (Minimum 0,10, Maximum 1,00, Standardabweichung 0,26, Median 0,50), während dieser bei der OP-Technik B bei 0,59

(Minimum 0,10, Maximum 1,00, Standardabweichung 0,32, Median 0,615) lag. Hinsichtlich dieses Unterschieds wurde im Mann-Whitney-U-Test mit $p=0,287$ keine statistische Signifikanz berechnet. Die Verteilung der einzelnen Visusstufen ist in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 6: Verteilung der Visusstufen prä- und postoperativ

Visus	Technik A		Technik B	
	präoperativ	Postop.	präoperativ	postop.
< 0,1	9	-	7	-
0,1 < 0,2	5	3 (11,5%)	10	4 (13,3%)
0,2 < 0,3	9	2 (8%)	3	3 (10%)
0,3 < 0,4	2	2 (8%)	6	3 (10%)
0,4 < 0,5	2	5 (19,5%)	4	1 (3,3%)
0,5 < 0,6	1	3 (11,5%)	-	2 (6,7%)
0,6 < 0,7	-	4 (15%)	-	3 (10%)
0,7 < 0,8	-	2 (8%)	-	1 (3,3%)
0,8 < 0,9	-	3 (11,5%)	-	5 (16,7%)
0,9 – 1,0	-	2 (8%)	-	8 (26,7%)
Gesamt	28	26 (100%)	30	30 (100%)

Die gewählten Zielrefraktionen lagen bei 0 bis 4,0 Dpt (MW = 1,25 Dpt). Die implantierten IOLs hatten eine Refraktion von 12,0 bis 30,0 Dpt (MW = 23,7 Dpt). Die Zielrefraktion zeigte bei OP-Technik A im Shapiro-Wilk-Test mit $p=0,03$ und OP-Technik B mit $p=0,01$ eine Normalverteilung. Der Gruppenvergleich zeigte mit $p=0,629$ jedoch keine statistische Signifikanz.

4.8 Die Entwicklung der Bulbuslänge

Die präoperative Bulbuslänge wurde in Gruppe A (n=28) durchschnittlich mit 21,86 mm (Minimum 19,77; Maximum 25,44) und in Gruppe B (n=30) mit 22,06 mm (Minimum 19,90; Maximum 25,50) gemessen. Beide Gruppen zusammen (n=58) kamen im Mittel auf 21,96 mm. Es lag in beiden Gruppen keine Normalverteilung vor.

Bei der Abschlusskontrolle war die mittlere Bulbuslänge bei den mit Technik A operierten Kindern (n=23) 22,82 mm, während es bei Technik B (n=28) 22,67 mm waren. Die Achsenlängen beider Gruppen zusammen (n=51) kamen im Mittel auf 22,74 mm. Die Mediane lagen jeweils bei 22,50 mm. Auch hier lag in beiden Gruppen keine Normalverteilung vor und es zeigte sich mit $p=0,671$ keine statistische Signifikanz im Vergleich der Ergebnisse der Bulbuslängenentwicklung.

4.9 Die Entwicklung der Refraktion

Im Rahmen der operativen Vorbereitung war eine zuverlässige Refraktionsbestimmung bei 31 Augen möglich. Die Messwerte beider Gruppen zeigten im Shapiro-Wilk-Test eine Normalverteilung. Das präoperative sphärische Äquivalent betrug bei elf Augen aus der Gruppe A im Mittel 0,18 Dpt (Minimum -5,50 Dpt, Maximum 8,25 Dpt, Standardabweichung 3,29 Dpt). Die 20 Augen aus Gruppe B kamen auf einen Mittelwert von 0,35 Dpt (Minimum -12,25 Dpt, Maximum 7,75 Dpt, Standardabweichung 4,85 Dpt).

Nach einem mittleren Beobachtungszeitraum von vier Monaten nach der Operation lag das sphärische Äquivalent in Gruppe A bei 0,95 Dpt (n=21). Das im Mittel nach sieben Monaten bei Gruppe B bestimmte sphärische Äquivalent zeigte einen Mittelwert von 1,03 Dpt (n=26).

Die in beiden Gruppen im Mittel nach 78 Monaten bestimmten Werte des sphärischen Äquivalents lagen in Gruppe A bei -0,4 Dpt (n=25). Das bei Gruppe B für diesen Zeitpunkt bestimmte sphärische Äquivalent lag bei 0,03 Dpt (n=30).

5 Diskussion

5.1 Allgemeines

Zwischen 1997 und 2003 wurden an der Augenklinik der Universität Frankfurt am Main 104 Augen an der kindlichen Katarakt operiert. Aufgrund der geringen Fallzahl war bereits bei Studienplanung zu erwarten, dass nur wenige normalverteilte oder statistisch signifikante Ergebnisse zu berechnen sind. Der Vergleich mit anderen Studien, die gemeinhin mit ähnlichen Voraussetzungen zu kämpfen hatten, würde aufzeigen, ob sich gewisse Trends der verschiedenen Studienparameter erkennen lassen. Aufgrund der strengen Ein- und Ausschlusskriterien schrumpfte das Kollektiv von anfangs 70 auf zuletzt 58 Augen. Grund der Selektion war es, eine möglichst große Beobachtungsgleichheit zu erzielen und mögliche Fehlerquellen zu minimieren. Es sollte nicht riskiert werden, dass es zu Gunsten einer höheren Patientenzahl zu Fehlern bei der Auswertung und Interpretation der Ergebnisse kommt.

Der mittlere Operationszeitpunkt der operierten Augen lag bei 66 Monaten. Der jüngste Patient war 2 Jahre und 3 Monate alt, der älteste 11 Jahre und 9 Monate. Die Patienten wurden bis zum Operationszeitpunkt konservativ betreut. Die Korrektur erfolgte, wenn nötig, mit einer Brille. Die Patienten mit einseitiger Katarakte wurden mit einer Okklusionstherapie behandelt. Operationsindikationen stellten eine Verschlechterung der Sehfunktion und ein verminderter Funduseinblick durch Größenzunahme der Trübungen dar. Weitere Indikationen waren ein neu aufgetretenes Schielen sowie eine fehlende Compliance bei der konservativen Therapie.

Das Gesamtkollektiv zeigte 28 Augen mit überwiegenden Kerntrübungen. Diese verändern sich in der Regel nur langsam und wurden meist konservativ geführt, bis das größte Längenwachstum des Auges nach dem 18. Lebensmonat abgeschlossen war. 24 Augen zeigten Trübungen mit Schwerpunkt im Bereich des hinteren Pols. Diese Trübungen konnten durch das Linsenwachstum schnell zunehmen und schränkten die Sehkraft stärker ein als andere Trübungsarten. Regelmäßige Kontrolluntersuchungen sind daher dringend erforderlich. Sechs Augen entwickelten im konservativen Behandlungsverlauf

eine komplette Linsentrübung und wurden daher zeitnah operiert. Aufgrund des größten Wachstumsschubes während der ersten zwei Lebensjahre ist es empfehlenswert, wann immer vertretbar, den Operationszeitpunkt über diesen Zeitpunkt hinaus zu verschieben.

5.2 Unterschiede der Operationstechniken

Es wurden 58 kindliche Augen nach Linsenabsaugung und primärer Implantation einer heparinbeschichteten PMMA-Hinterkammerlinse in die Studie eingeschlossen. Bei 28 Augen erfolgte eine Vitrektomie des vorderen Glaskörpers durch den sklero-kornealen Hornhautschnitt (Technik A). Bei 30 Augen wurde der Glaskörper nach der Hinterkapseleröffnung intakt belassen. Hier wurde die IOL bei der OC wie ein Knopf in ein Knopfloch durch die Hinterkapsel geschoben (Technik B).

Es wurde bei allen Augen die vordere Kapsel durch eine vordere kontinuierliche kurveoliner Kapsulorhexis eröffnet. Nach Absaugung der Linsenmassen wurde die hintere Kapsel ebenfalls durch eine kontinuierliche kurveoliner Kapsulorhexis eröffnet. Diese Technik der Kapseleröffnung gibt deren Rändern eine große mechanische Stabilität. Bei Durchführung der OC wird die 6 mm Optik der IOL durch die im Mittel 4,6 mm große hintere Kapsulorhexis geschoben. Bei nicht intakten oder instabilen Rändern besteht hier die Gefahr eines Einreißens der Kapsel. Dies birgt das Risiko einer Dislokation der IOL aus der optischen Achse. Im schlimmsten Fall kann die IOL sogar in den Glaskörperraum absinken und muss operativ geborgen werden. Die hintere Rhexis wurde bei der Op-Technik A mit einem Mittelwert von 4,5 mm kleiner angelegt als bei Technik B. Dies erklärt sich daraus, dass hier eine kleinere Kapselöffnung ausreichend ist, da keine IOL durch die Rhexis bewegt werden muss. Aufgrund des offenbar häufigeren Auftretens von regenerativen Elschnigperlen sollte die hintere Rhexis bei Technik A nicht zu klein ausfallen, um einer Verlegung der optischen Achse vorzubeugen.

Im Rahmen der Operation zeigten sich drei Fälle mit primärem Defekt der hinteren Linsenkapsel. Glücklicherweise kam es aufgrund der großen Erfahrung des Operateurs in diesen Fällen zu keiner Komplikation.

5.3 Refraktion und Visus

Aufgrund des relativ langen Beobachtungszeitraums von 78 Monaten in beiden Operationsgruppen, waren bei der letzten erfolgten Untersuchung stabile Messwerte zu erwarten. Regenerationsvorgänge und das Wachstum waren zum Großteil abgeschlossen. Alle untersuchten Patienten waren bereits schulpflichtig und in der Lage die Anweisungen bei der Untersuchung auszuführen.

Die Entwicklung der Achsenlänge zeigte zwischen den Operationstechniken keine signifikanten Unterschiede und lag mit einem durchschnittlichen Wachstum von 0,78 mm im Rahmen dessen, was nach Asbell [6] und Flitcroft [29] bei knapp einem Millimeter zu erwarten war.

Bei der Planung der Zielrefraktion sollten junge Patienten während der kritischen Phase der Visuentwicklung eher emmetropisiert werden, um der Amblyopiegefahr durch die Bevorzugung des besseren Auges entgegen zu wirken. Nach Ende der kritischen Phase der Sehentwicklung und bei bilateralen Katarakten sollten die Augen hyperopisiert werden, um in die Emmetropie hineinzuwachsen. Die Linsenkalkulation der kleinen Augen mit der Holladay II Formel hat sich nach Lüchtenberg et al. als zuverlässig erwiesen [70].

In den im Verlauf gemessenen Werten des sphärischen Äquivalents spiegelte sich die wachstumsbedingt erwartete Verlagerung der Dioptrienwerte in Richtung des myopischen Bereichs wider. Anfangs wurde die Zielrefraktion bei Gruppe A im Mittel mit 1,37 Dpt (n=28) und bei Gruppe B mit 1,14 (n=30) Dpt definiert. Bei der ersten retrospektiv ermittelten Kontrolle lagen die sphärischen Äquivalente der Gruppe A nach durchschnittlich 4 Monaten bei 0,95 Dpt (n=21). Bei Gruppe B waren es nach durchschnittlich 7,3 Monaten 1,03 Dpt (n=26).

Bei der Abschlusskontrolle, durchschnittlich 78 Monate nach der Operation, zeigten die in Gruppe A refraktionierten 25 Augen ein mittleres sphärisches Äquivalent von -0,4. In Gruppe B waren es bei 30 ausgemessenen Augen im gleichen Zeitraum 0,03 Dpt. Man erkennt demnach in beiden Gruppen die Verlagerung des sphärischen Äquivalents in Richtung kurzsichtiger Werte. Eine Erklärung für die stärkere Myopisierung nach OP-Technik A könnte die von Stifter nachgewiesene Veränderung der IOL-Position nach anterior sein, wohin

dagegen die durch die OC fixierte IOL eine stabile Lageposition einnimmt [107]. Stifter führte die Messungen an erwachsenen Augen durch. Eine Auswertung der axialen Lageveränderung kindlicher IOLs müsste im Rahmen einer Studie mit beiden Operationsarten erfolgen. Nach beiden Techniken waren alle Kunstlinsen zum Zeitpunkt der letzten Kontrolle im Kapselsack zentriert. Alle Linsen der Gruppe B waren stabil in der OC versenkt. Diese stabilen Werte der Linsenposition decken sich mit den Ergebnissen von Gimbel [38].

Der präoperativ im Sehtest ermittelte Visus lag in beiden Gruppen bei durchschnittlich 0,19. Es kam in beiden Gruppen zu einer signifikanten Sehverbesserung nach der Kataraktoperation. Beide Gruppen zusammen erreichten einen Visus mit einem Mittelwert und Median von 0,55 (n=56). Die bessere Visusentwicklung der Gruppe B von 0,588 (Median: 0,615, n=30) gegenüber der Gruppe A mit 0,503 (Median: 0,500, n=26) zeigte in den durchgeführten Tests keine statistische Relevanz.

Im Vergleich mit anderen Auswertungen der Ergebnisse nach kindlicher Katarakt-Operation schnitten beide Gruppen überdurchschnittlich gut ab. In den Studien von Lorenz 1991, Neumann 1994, Bradford 1994 und Yamamoto 1998 erreichten ca. 30 % der Augen einen Visus von mehr als 0,5. In unserer Studie hatten 54% der Augen in Gruppe A und 63,4% der Augen in Gruppe B einen Visus > 0,5.

5.4 Komplikationen

Die Ergebnisse unserer Auswertung zeigten für die Operationstechnik A ein häufigeres Auftreten von intra- und postoperativen Komplikationen.

Die in einem Fall bei OP-Technik A aufgetretene Inkarzeration der Iris in den Wundspalt passierte während der Linsenaspiration und ist nicht spezifisch für eine der beiden Operationstechniken. Das Risiko für diese Art von Komplikation könnte zukünftig durch einen kleineren operativen Zugang reduziert werden.

Die beiden Fibrinreaktionen nach Durchführung der OP-Technik A zeigten einen massiveren Verlauf als die Fibrinreaktion nach OP-Technik B. In beiden Fällen der Gruppe A resultierten folgenschwere Komplikationen, die eine operative Nachbehandlung erforderten. Zum einen kam es, trotz intensiver

Therapie mit Steroiden und Antiphlogistika, zum Ausbilden einer behandlungsbedürftigen vorderen Synechie. Im anderen Fall kam es zu einer durch die Entzündungsreaktion induzierten Fibrose der vorderen Glaskörpergrenzmembran, sodass nach kurzer Zeit ein dichter fibrotischer Nachstar entstand. Nachdem diese fibrotische Membran mit dem Yag-Laser eröffnet wurde, wanderten Linsenepithelzellen an die Ränder der Kapsulorhexis und sorgten für eine erneute Bedrohung der optischen Achse durch Bildung eines regeneratorschen Nachstars.

Die bei Operationstechnik B beobachtete Fibrinreaktion klang unter topischer Steroidtherapie schnell ab. In den Vergleichen zwischen Patienten nach Katarakt-Operation mit alleiniger Hinterkapseleröffnung und per Knopflochimplantation fixierten Linsen stellte Stifter (2009) eine signifikant niedrigere postoperative Vorderkammerreaktion bei der Gruppe mit optic capture während der ersten vier Wochen fest [106]. Das nach der OC wiederhergestellte Diaphragma zwischen Linse und Glaskörper sorgt dafür, dass nach einem gründlichen Entfernen der OVD keine Reste der Substanzen aus dem vorderen Glaskörperraum mehr in die Vorderkammer gelangen. Es kommt somit zu einer verbesserten Drainagefunktion des Trabekelwerks und Entzündungszellen sowie Proteine und Zytokine werden schneller aus der Operationswunde ausgeschwemmt. Auch postoperative Druckerhöhungen sind dadurch seltener [105, 124].

In beiden Gruppen kam es zum Auftreten eines postoperativen Glaskörperstranges in der vorderen Augenkammer, obwohl am Ende jeder Operation die Vorderkammer auf Glaskörperfreiheit geprüft wurde. Winzige Glaskörperstränge sind aufgrund ihrer Transparenz nahezu unsichtbar. Postoperativ zogen sich verbliebene Glaskörperstränge zusammen und es entwickelten sich leichte Pupillenentrundungen. Da es sich bei den beschriebenen Glaskörperresten um winzige Stränge handelte, wurden die Befunde bis heute nur regelmäßig kontrolliert. Sollte der Glaskörperzug zu Deformationen der Vorderkammer oder einer massiven Entrundung der Pupille führen, kann dieser mit dem Nd:YAG-Laser durchtrennt werden.

Bei einem Auge der Gruppe B kam es zu einer nasalen Schrumpfung der vorderen Linsenkapsel, die dadurch leicht dezentrierte. Die optische Achse war

bei der letzten Kontrolle nicht gefährdet. Durch die gute Fixierung durch die OC war die Linse zentriert.

Es entwickelte sich bei OP-Technik A in zwei Fällen ein Nachstar, der die optische Achse verlegte und entfernt werden musste. Einmal geschah dies durch zwei Kapsulotomien mit dem Nd:YAG-Laser und einmal durch eine Nachstarabsaugung durch die vordere Augenkammer. Während sich bei den mit Technik A behandelten Patienten bei der letzten Kontrolle vier Augen mit Elschnig-Perlen zeigten, waren dies bei der Gruppe B nur zwei Augen. Auffällig ist, dass die Ansammlungen regenerativer Linsenepithelzellkonglomerate nach der OC seltener und geringer ausfielen als bei den Augen nach vorderer Vitrektomie. Eine Erklärung hierfür ist die bei Technik A fehlende Barriere für die Migration der Linsenepithelzellen. Zudem können diese Zellen die Reste des vorderen Glaskörpers, welche möglicherweise an der Hinterkapsel haften, als Wachstumsschiene nutzen. Bei der erfolgreichen Knopflochimplantation der IOL stellen die von der Linsenoptik aneinander gelegten Kapselblätter ein Hindernis für die migrationsfähigen Linsenepithelzellen dar. Möglicherweise haben hier nicht komplett abgesaugte Zellreste für die Bildung der Elschnig-Perlen in den betroffenen Augen gesorgt. Auch ist denkbar, dass die Zellen entlang von Kapselalten oder dem Bereich der Optik-Haptik-Verbindung aus dem Kapselsack gelangt sind. Denn in diesen Bereichen kann der Verschluss der Kapselblätter inkomplett sein. Insgesamt ist die Ausprägung der Elschnig-Perlen in den am Nachstar behandelten Augen als mild bis moderat zu bezeichnen. Die übrigen vier Augen zeigen mild ausgeprägte, sehr peripher liegende Elschnig-Perlen. Die folgende Tabelle zeigt einen Überblick der Augen mit Nachstarbildung.

Tabelle 7: Überblick der Augen mit Kataraktentwicklung

OP-Technik	OP-Alter (Jahre)	Nachstartyp:	Nachstarentfernung	Refraktion (Dpt)	Achsenlänge (mm)
A	3,57	regeneratorisch	Absaugung	-0,25	21,40
A	5,61	fibrotisch	YAG-Laser	-1,25	21,62
A	3,55	peripher (mild)	-	-0,50	21,55
A	5,93	peripher (mild)	-	+3,00	20,47
B	5,08	peripher (mild)	-	-	22,58
B	5,85	peripher (mild)	-	+5,25	20,85

In einem Fall, der aufgrund der Ausschlusskriterien keinen Einschluss in die Studie fand, wurde nach der OC das Eindringen von Glaskörper in die vordere Augenkammer registriert. Es folgte eine vordere Vitrektomie mit anschließender OC. Der weitere Verlauf war in diesem Fall komplikationslos und frei von Nachstar. Nach intraoperativem Glaskörpervorfall ist die vordere Vitrektomie auch im Fall einer Knopflochimplantation der IOL ergänzend notwendig, um Glaskörperfreiheit im vorderen Augenkompartment zu gewährleisten.

5.5 Die Nachstarevaluation

Im Rahmen der Studienplanung setzten wir uns mit den gängigen digitalen Nachstardokumentationsmethoden auseinander [7, 15]. Die Optik der digitalen Kamera wurde über einen Adapter in den Strahlengang der Spaltlampe geschaltet. Diese Bilder eigneten sich aufgrund mangelnder Qualität nicht für die digitale Nachstar-Evaluation. Verantwortlich für die unscharfen Fotografien war die mangelnde Kooperation der kleinen Patienten. Außerdem stellt sich die Frage, ob die Programme zur Nachstarauswertung erwachsener Augen in der Lage sind die Situation der kindlichen Linsenkapsel korrekt zu interpretieren.

Im Rahmen der Recherche zur digitalen Nachstarevaluation zeigte sich das von Bender beschriebene kostenlose Programm POCO-Man als interessante Alternative zu Programmen wie EPCO oder AQUA [15].

Selbst wenn Soft- und Hardware verfügbar sind, ist die digitale Spaltlampenfotografie bei Kindern deutlich schwieriger als bei erwachsenen Patienten. Die kindlichen Patienten zeigten sich während der Vorderabschnittsaufnahmen extrem lichtempfindlich. Die Bilder waren aufgrund des ausgeprägten Blepharospasmus häufig sehr unscharf. In einigen Fällen scheiterte die Fotoaufnahme gar an der Ungeduld der Eltern.

Die optische Achse der operierten Augen war bei unseren abschließenden Untersuchungen in keinem Fall durch einen Nachstar gefährdet. In zwei Fällen nach vorderer Vitrektomie war dieser zum Untersuchungszeitpunkt bereits behandelt. Wir verzichteten schließlich auf eine digitale Auswertung bei der geringen Fallzahl von peripheren Elschnig-Perlen. Man könnte künftig Lage und Ausprägung nach der Uhrzeit angeben, so wie dies in der augenärztlichen Befunderhebung häufig der Fall ist. Eine solche Dokumentation müsste jedoch vor Anwendung auf ihre Reproduzierbarkeit untersucht werden. Nach der deskriptiven Nachstarskalierung von Müllner-Eidenbock wird in milde, moderate und schwere Ansammlungen von Elschnig-Perlen unterschieden [82]. Sollte es zu einer größeren, eventuell multizentrischen Auswertung der Nachstarprävention bei kindlichen Katarakt-Operationen kommen, muss vermutlich ein vorhandenes Auswertungsprogramm an die Anforderungen kindlicher Augenbefunde adaptiert werden.

5.6 Vergleich mit anderen Studien

Tabelle 8: Häufigkeit der Nachstarbehandlung in verschiedenen Studien

Autor (Jahr)	Follow up (Durchschnitt) in Monaten		Intakte Hinter- kapsel	PCCC ohne Vitrektomie	Vordere Vitrektomie	OC ohne Vitrekt.
	Patientenalter in Jahren					
Basti 1996	(11,3)	Anzahl	-	-	28	-
	Nicht bekannt	Nachstarbehandlung	-	-	3,4 %	-
Gimbel 1997	19 – 49 (35,5)	Anzahl	-	-	-	16
	2,5 – 12	Nachstarbehandlung	-	-	-	0 %
Vasavada 2000	4 – 25 (16,53)	Anzahl	-	-	26	14
	0,5 – 4,5	Nachstarbehandlung	-	-	0 %	0 %
Dada 2000	36 – 38	Anzahl	14	-	-	14
	3 – 6	Nachstarbehandlung	57,1 %	-	-	0%
Argento 2001	(28,9)	Anzahl	-	-	-	8
	< 8	Nachstarbehandlung	-	-	-	0 %
Raina 2002	8 – 28 (18,5)	Anzahl	-	18	-	16
	1,5 – 12	Nachstarbehandlung	-	44,4 %	-	0 %
Kugelberg 2002	4-39 (19)	Anzahl	-	35	50	-
	0 – 15	Nachstarbehandlung	-	31 %	12 %	-
M.- Eidenböck 2003	8 – 41 (20,73)	Anzahl	15	8	12	15
	2 – 16	Nachstarbehandlung	13,3 %	0 %	9 %	0 %
Yi Luo 2008	12 – 36	Anzahl	26	-	34	-
	2 – 5	Nachstarbehandlung	57,7 %	-	2,9 %	-
Grieshaber 2009	2,3 – 8,8	Anzahl	12	14	-	47
	40 – 48	Nachstarbehandlung	100%	64%	-	0 %
Frankfurt 2010	73 – 84 (78)	Anzahl	-	-	28	30
	2 – 11	Nachstarbehandlung	-	-	7,1 %	0 %

Die Tabelle 8 zeigt einen Überblick der Studien, bei denen die Nachstarentwicklungsraten nach kindlicher Katarakt-Operation mit Intraokularlinsenimplantation ermittelt wurden

1994 wurde die erste Beschreibung der hinteren OC bei kindlicher Katarakt-Operation von Gimbel und DeBroff publiziert [37].

Gimbel (1997) untersuchte 16 Augen (2,5 bis 12 Jahre alt) mit einem durchschnittlichen Beobachtungszeitraum von 35,5 Monaten nach erfolgreicher Knopflochimplantation [36]. In keinem Fall trat ein die optische Achse bedrohender Nachstar auf. Die verwendeten mit Heparin beschichteten PMMA-IOLs hatten eine Winkelung der Optik-Haptik-Verbindung von 6°. Gimbel schloss aus den Untersuchungsergebnissen, dass nach Durchführung der glaskörperschonenden OC auf die vordere Vitrektomie verzichtet werden kann.

Die retrospektive Arbeit von Koch und Kohnen (1997) wurde in vielen Studien zitiert [54]. Die beiden untersuchten 20 Augen nach IOL-Implantation in die Hinterkammer bei 1 ½ bis 12 Jahre alten Kindern. Bei fünf Augen blieb die hintere Linsenkapsel intakt. Bei den übrigen Augen erfolgte eine primäre Eröffnung der Hinterkapsel. Bei sechs Patienten aus diesem Kollektiv wurde eine vordere Vitrektomie durchgeführt und schließlich bei drei Patienten eine OC angelegt. Bei fünf der nicht vitrektomierten Augen mit offener Hinterkapsel erfolgte eine OC, die übrigen vier wurden mit offener Hinterkapsel und Linse im Kapselsack belassen. Bei der Auswertung nach einem durchschnittlichen Beobachtungszeitraum von zwei Jahren blieben die optischen Achsen aller sechs vitrektomierten Augen frei. Alle Augen mit intakter hinterer Linsenkapsel entwickelten einen Nachstar. Aus der Gruppe nicht vitrektomierter Augen blieb alleine die Achse eines Auges mit OC frei von Nachstar. Koch und Kohnen schlossen daraus, dass nur die hintere Kapsulorhexis in Kombination mit einer vorderen Vitrektomie zur Nachstarprävention geeignet ist, eine alleinige OC wäre zur Nachstarprävention nicht ausreichend. Beim heutigen Kenntnisstand muss man jedoch bedenken, dass die verwendete IOL mit quer liegender Optik-Haptik-Verbindung und 5,5 mm optischer Zone für die OC vom Design her nicht ideal war. Eine Linse mit 6 mm Optik und abgewinkelten Haptiken wäre in diesem Fall besser geeignet gewesen.

In einer von Dada (2000) publizierten Arbeit wurde die Nachstarentwicklung nach Implantation einer heparinbeschichteten PMMA-IOL und Heparinzusatz in der Spülflüssigkeit untersucht [23]. Bei einer Gruppe wurde die OC durchgeführt, bei der Vergleichsgruppe die Hinterkapsel intakt belassen. Die Patienten beider Gruppen waren zwischen 3 und 6 Jahren alt. Die durchschnittliche Beobachtungsdauer betrug 36 Monate. Die optische Achse blieb bei allen Augen mit OC frei, während sich bei der Gruppe mit intakter Hinterkapsel in 57,1% der Fälle ein behandlungsbedürftiger Nachstar entwickelte. Dada schloss daraus, dass die kindliche Katarakt-Operation mit heparinbeschichteter PMMA-IOL und Heparinlösung zur Reduktion der Nachstarentwicklung beiträgt.

Vasavada (2000) untersuchte in einer Studie die Notwendigkeit der vorderen Vitrektomie in Kombination mit einer hinteren OC. Die untersuchten Kinder waren fünf bis zwölf Jahre alt [120]. Die Linsen wurden in den Kapselsack implantiert und bei einer der beiden Gruppen zusätzlich eine vordere Vitrektomie durchgeführt. 70% der nicht vitrektomierten Augen entwickelten einen relevanten Nachstar, während alle optischen Achsen der vitrektomierten Augen frei blieben. Vasavada schloss daraus, dass die vordere Vitrektomie in Verbindung mit der OC nötig ist, um ein Freibleiben der optischen Achse zu erzielen. Er ging davon aus, dass Linsenepithelzellen die vordere Glaskörpergrenzmembran nach OC bewachsen können oder dass diese Struktur im Verlauf eintrüben könnte. Auch wurde der Kontakt der Glaskörpergrenzmembran mit dem Linsenmaterial für deren Eintrüben verantwortlich gemacht. Er implantierte 12 mm PMMA-IOLs ohne Heparinbeschichtung. Die IOL hatte mit 5,25 mm eine relativ kleine Optik. In der Publikation finden sich keine Angaben zum Winkel der Optik-Haptik-Verbindung. Sollte es sich um quer verlaufende Haptikverbindungen handeln, könnte dies wie bei Koch und Kohnen der Grund für die hohe Nachstarrate nach OC sein, da hier eine Pforte für migrierende Linsenepithelzellen besteht. Abschließend ist noch zu erwähnen, dass Vasavada der Spüllösung kein Heparin zugesetzt hatte. Vasavada macht für die Nachstarentwicklung Fibrinmembranen, Linsenepithelzellproliferationen und eine Eintrübung der vorderen Glaskörpergrenzmembran verantwortlich. All diese Faktoren werden nach Dada durch den Zusatz von Heparin positiv beeinflusst.

In einer weiteren Studie verglich Vasavada 14 Augen mit hinterer optic capture und 26 Augen ohne OC [118]. Bei dem durchschnittlich 26,08 Monate alten Patientenkollektiv (Altersspanne 4 bis 55 Monate) wurden wieder Linsen mit einer 5,25 mm optischen Zone verwendet. Im Beobachtungszeitraum von 5 bis 24 Monaten (durchschnittlich 16,53 Monate) blieb die optische Achse der Patienten beider Gruppen frei. Bei einem Patienten mit OC entwickelte sich eine Membran vor der IOL. Vasavada bemerkte bei der hinteren OC eine bessere Fixierung und Zentrierung der IOL. Entzündliche Reizzustände mit Auftreten hinterer Synechien und Linsenbeschläge kamen bei den Augen nach OC häufiger vor. Dieser Studienaufbau lässt sich mit dem in Frankfurt durchgeführten nicht in allen Punkten vergleichen. Zum einen wurde der Spüllösung auch hier kein Heparin zugesetzt und die IOL war nicht heparinbeschichtet. Dies könnte den uvealen postoperativen Reiz erklären. Zum anderen bringt die von uns verwendete IOL mit größerer Optik einen größeren Barriereeffekt für das Linsendiaphragma und wandernde Linsenepithelzellen.

Argento publizierte 2001 die Ergebnisse nach hinterer OC der faltbaren AcrySof-IOL bei 8 Augen [4]. Die Patienten waren zwischen zwei und acht Jahren alt. Die Linsen wurden in den Kapselsack implantiert und die Nachstarentwicklung über durchschnittlich 28,9 Monate beobachtet. Argento berichtete, dass aus der schmalen Inzision eine verbesserte Stabilität der Vorderkammer resultierte. Die OC sei mit einer faltbaren Acryl-IOL problemlos möglich und verspreche aufgrund der guten Materialeigenschaften bessere Ergebnisse in der Nachstarprophylaxe im Vergleich zu PMMA-IOLs [45, 83, 91]. Keines der Augen musste im Beobachtungszeitraum nachbehandelt werden.

Kugelberg und Zetterström (2002) untersuchten 50 Augen nach IOL-Implantation in die Hinterkammer mit und 35 Augen ohne vordere Vitrektomie [59]. Bei den Augen unter einem Operationsalter von sieben Jahren zeigte sich in der Gruppe mit vorderer Vitrektomie eine signifikant niedrigere Nachstarrate ($p < 0,05$). Es wurden keine durch die vordere Vitrektomie verursachten vitreoretinalen Komplikationen beobachtet.

Raina (2002) verglich in einer Arbeit 18 Augen nach Hinterkammerlinsenimplantation und hinterer primärer kontinuierlicher kurveolinerer Kapsulorhexis mit 16 Augen ebenfalls nach Hinterkammerlinsenimplantation und hinterer OC

[96]. Die untersuchten Patienten waren zwischen 1,5 und 12 Jahren alt (MW: 6,39 Jahre). In keinem Fall wurde eine vordere Vitrektomie durchgeführt. In der Gruppe ohne OC trat bei 44,4% der Augen (n=) ein behandlungsbedürftiger Nachstar auf. In der Gruppe mit hinterer OC blieb die optische Achse während eines mittleren Beobachtungszeitraums von 17,5 Monaten bei allen Fällen frei. Raina kam zu dem Schluss, dass die hintere Kapsulotomie mit OC der IOL eine wirksame Nachstar-Präventionsmaßnahme ist, auch wenn keine vordere Vitrektomie durchgeführt wird. Bei den Komplikationshäufigkeiten und der Visusentwicklung gab es keinen Unterschied zwischen den Vergleichsgruppen.

Müllner-Eidenböck (2003) wertete die Nachstarentwicklung nach Implantation einer Acrysof-IOL in den Kapselsack bei 50 Augen aus [82]. Die IOL hatte einen Durchmesser von 13 mm mit einer 6,0 mm optischen Zone. Die 20 Patienten zwischen 2 und 5,9 Jahren wurden zusätzlich mit einer vorderen Vitrektomie behandelt. Ein Auge der Untergruppe ohne OC, insgesamt 12 Augen, entwickelten einen behandlungspflichtigen Nachstar. Alle optischen Achsen der 8 Augen, bei denen die Linse durch die hintere Knopflochimplantation durch die hintere Rhexis versenkt wurde, blieben frei. Bei den Patienten zwischen 6 und 16 Jahren wurde auf die vordere Vitrektomie verzichtet. Hier wurden drei Untergruppen gebildet. Keines der 8 Augen, an denen eine hintere Kapsulorhexis durchgeführt wurde, und keines der sieben Augen mit OC entwickelte einen relevanten Nachstar. Bei den Augen mit intakter Hinterkapsel kam es in sieben Fällen zur Bildung eines milden, nicht behandlungspflichtigen Nachstars. Zwei Augen mussten in dieser Gruppe nachbehandelt werden. Müllner-Eidenböck schloss aus den Ergebnissen, dass bei Kindern im Vorschulalter, oder bei fehlender Compliance, eine primäre Eröffnung der Hinterkapsel sowie eine vordere Vitrektomie erfolgen sollten. Eine OC sei nicht notwendig, um ein Freibleiben der optischen Achse zu gewährleisten. Im Schulalter könne man auf die primäre Eröffnung der Hinterkapsel gänzlich verzichten.

Luo (2008) verglich zwei Gruppen nach IOL-Implantation in die Hinterkammer mit und ohne vordere Vitrektomie [72]. Die Patienten waren zwischen 2 und 5 Jahren alt. Der Beobachtungszeitraum betrug 12 bis 36 Monate. Während in der Gruppe mit vorderer Vitrektomie 11,8% der Augen eine Trübung der

Hinterkapsel entwickelten, waren es in der Gruppe mit der intakten Hinterkapsel 76,9%. Ein YAG-Laser musste bei 2,9% der Augen nach vorderer Vitrektomie und bei 57,7% der Augen mit intakter Hinterkapsel eingesetzt werden. Die Komplikationsrate war in den vitrektomierten Augen mit $p < 0,05$ signifikant niedriger als in der Vergleichsgruppe mit intakter Hinterkapsel.

Menapace (2008) veröffentlichte die Ergebnisse nach 1000 [78] erfolgreich durchgeführten hinteren Knopflochimplantationen bei Erwachsenen. Menapaces Gruppe fand heraus, dass die Vorderkammer-Reaktion nach OC geringer ausfällt, da das hintere Linsendiaphragma intakt bleibt [106]. Die implantierte Linse sitzt stabiler im Kapselsack im Vergleich zu KW-fixierten IOLs und ist zudem meist perfekt zentriert. [107]. Das Risiko eines Augendruckanstiegs [105] und eines Makulaödems sind nicht höher als bei der Kammerwinkelfixation der Linse mit intakter Hinterkapsel [108]. Innerhalb der ersten drei Jahre musste in keinem Fall ein Nachstar behandelt werden.

Famarzi (2009) führte in einer prospektiv randomisierten Studie bei 14 Kindern mit bilateraler Katarakt auf einem Auge eine sulcusfixierte hintere OC durch. Das Partnerauge wurde mit Implantation einer Hinterkammerlinse und vorderer Vitrektomie versorgt [28]. Die operierten Kinder waren zwischen 2,5 und 8 Jahren alt (MW: 5,1 Jahre). Es wurde in allen Fällen eine dreistückige Acryl-IOL verwendet. Am Ende des Beobachtungszeitraumes (MW: 22,2 Monate, Zeitspanne 13 bis 35 Monate) entwickelte keines der Augen einen Nachstar der optischen Achse. Famarzi schloss aus diesen Ergebnissen, dass eine Implantation der Haptiken in den Sulkus mit hinterer Knopflochimplantation der Optik eine sichere Variante der Nachstarprävention bei kindlicher Kataraktoperation ist. Er betont, dass diese Methode die vordere Vitrektomie beim aktuellen Kenntnisstand nicht ersetzen kann, jedoch eine gute Alternative ist, wenn die Hinterkammerimplantation nicht möglich ist. Famarzi berichtet, dass die Haptiken sich einfacher in den Sulkus implantieren ließen, als dies bei der kindlichen Hinterkammerimplantation der Fall ist. Es könne bei der IOL-Implantation in den Sulkus zu keiner durch die Haptik induzierten Dehnung des Kapselsackes kommen. Diese Dehnung erzeugt eine Ovalisierung der Kapselöffnungen. Durch diese Spannung entstehen häufig Falten an den Kapselöffnungsrändern. In diesen Bereichen verschmelzen die Kapselblät-

ter nicht richtig und sind Durchtrittsstellen für wandernde Linsenepithelzellen. Im Falle der sulkusfixierten hinteren OC kommt es nach Faramarzi demnach zu einer zuverlässigeren Abdichtung des Kapselsackes. Die Komplikationsraten der zu vergleichenden Techniken zeigten keinen signifikanten Unterschied. Um mögliche Komplikationen wie die Pigmentdispersion zu beobachten, wäre ein längerer Beobachtungszeitraum ratsam. Auch wäre die genaue Auswertung der Lageposition und -stabilität, zum Beispiel mit der optischen Kohärenztomographie, von großem Interesse.

Grieshaber (2009) untersuchte in einer retrospektiven Studie 73 Augen afrikanischer Kinder, die zwischen 1998 und 2001 mit den Glaskörper schonenden Techniken operiert wurden [41]. Bei allen Fällen wurde eine Linsenabsaugung mit anschließender Implantation einer 12 mm PMMA-Hinterkammerlinse durchgeführt. Der Winkel der Optik-Haptik-Verbindung betrug bei dieser IOL 6°. Bei 12 Augen wurde die IOL ohne Eröffnung der Hinterkapsel implantiert, bei 14 Augen wurde diese eröffnet. Eine hintere OC wurde an 47 Augen durchgeführt. Der Beobachtungszeitraum der einzelnen Gruppen betrug 40 bis 48 Monate. Das Patientenalter lag zum Operationszeitpunkt zwischen durchschnittlich 4,1 und 5 Jahren. Das Auftreten von regenerativem Nachstar korrelierte mit dem Alter ($p < 0,05$) und wurde durch die Durchführung einer OC signifikant reduziert ($p < 0,001$). Keines der Augen mit OC entwickelte einen Nachstar in der optischen Achse, während dies bei 64 % der Fälle nach hinterer Kapselöffnung und 100% bei intakter Hinterkapsel auftrat.

5.7 Linsenmaterial und Linsendesign

Im Vergleich zu früheren Studien, in denen Nachstarpräventionsmethoden evaluiert wurden, ist man mittlerweile von den formstabilen PMMA-IOLs zugunsten der faltbaren Acryl IOLs abgekommen [59, 94, 97, 98, 101, 114, 119, 123]. In vielen Arbeiten werden Gimbel, [37] Koch und Kohlen [54] mit den Aussagen zitiert, dass die OC zwar eine gute IOL-Zentrierung gewährleiste, von der Nachstarrate eine vordere Vitrektomie jedoch weiterhin nötig mache. Heute weiß man aber, dass das Linsendesign der damaligen Studien für die OC nicht optimal geeignet war. Bei der von uns verwendeten Linse

Pharmacia 811 c sind die Haptikel anguliert, d.h. um 6° abgewinkelt. Dadurch entsteht ein größerer Druck auf die hintere Kapsel und es ist ein deutlich besseres Aneinanderlegen der Kapselhüllen nach OC möglich. Dieser Bereich war in früheren Studien ein Schwachpunkt, da die Linsenepithelzellen entlang der Haptiken in die optische Achse migrieren konnten. Je größer der Winkel der Haptik-Optik-Verbindung ist, desto höher ist der Anpressdruck der Kapselblätter nach OC. Die früher verwendeten IOLs mit quer ansetzenden Verbindungen zwischen Optik und Haptik sind für die Durchführung der OC nicht geeignet [114]. Nach Koch und Kohlen sollten die Haptiken an der Vorderseite, im Idealfall der Vorderfläche, der IOL ansetzen. Nach Menapace ist auch die Größe der Optik bei der Nachstarprävention von Bedeutung [78]. Optiken unter 6 mm Durchmesser haben einen geringeren Barriere-Effekt für wandernde Linsenepithelzellen, wohingegen das Design der Optik bei erfolgreicher OC neue Möglichkeiten eröffnet. Hinterkammerlinsen benötigen beispielsweise, für einen guten Barriereeffekt gegen Linsenepithelzellen, eine scharfkantige Hinterseite. Linsen, die durch optic capture fixiert werden, müssen nur rund sein, ob das Design bikonvex oder scharfkantig ist, besitzt hier keine Relevanz.

5.8 Eigene Überlegungen

Eine erfolgreiche kindliche Katarakt-Operation erfordert eine vielseitige Operationsplanung. Nur so können die Operationsrisiken und Komplikationswahrscheinlichkeiten realistisch abgeschätzt werden. Wann immer möglich, sollte das Operationsalter durch eine konservative Therapie hinausgezögert werden. Je jünger der Patient ist, desto wahrscheinlicher ist eine intra- oder postoperative Komplikation. Ein späterer Operationszeitpunkt vereinfacht zudem die Wahl der Zielrefraktion. Diese ist durch den großen Wachstumschub in den ersten 18 Lebensmonaten und das generelle Problem der Linsenkalkulation bei kleinen Augen erschwert [70, 81, 84]. Das Belassen einer intakten Hinterkapsel ist bei Kindern unter dem 6. Lebensjahr nicht vertretbar. Möglichst atraumatische Operationstechniken minimieren das Risiko einer Vorderkammerreaktion. Ein intaktes Linsendiaphragma, wie es nach einer erfolgreichen Knopflochimplantation besteht, sowie eine intakte Hinterkapsel bei älteren Menschen reduzieren die postoperative Entzündungsreaktion. Intraoperative Heparininfusionen und eine gründliche Entfernung der

viskoelastischen Substanzen reduzieren das Risiko einer Glaukomentwicklung sowie eines länger dauernden Reizzustandes. Die postoperative Behandlung mit kortisonhaltigen und nicht-steroidalen antiphlogistischen Augentropfen minimieren das Risiko einer Fibrinreaktion und reduzieren nach Chen die Wahrscheinlichkeit der Entstehung eines Offenwinkelglaukoms [20-22].

Indikationen für die Durchführung einer hinteren OC sehen wir bei Patienten, deren Compliance schlecht ist, z.B. geistig behinderten Menschen und in Fällen, bei denen eine vordere Vitrektomie nicht möglich ist oder kein Zugang zu einem Yag-Laser besteht. Dies ist beispielsweise aufgrund des Ressourcenmangels in Entwicklungsländern häufig der Fall.

Im Rahmen der vorliegenden Studie stellten sich einige Fragen, die in zukünftigen Studien beantwortet werden könnten. So wurden die gesundheitsökonomischen Aspekte noch nicht näher untersucht. Kann zum Beispiel die Nachstarprävention durch eine hintere Knopflochimplantation eine Kostenersparnis aufgrund reduzierter Nachstarbehandlungen bringen?

Es gibt aktuell erst wenige Studien, welche die Refraktions- und Lagestabilität nach unterschiedlichen OC-Methoden bei Erwachsenen untersucht haben. So wäre eine Untersuchung dieser Parameter nach verschiedenen kindlichen Knopfloch-Operationstechniken aufschlussreich, z.B. der Vergleich zwischen der Hinterkammer- und der Sulkusimplantation. Auch stellt sich die Frage, warum man die hintere Knopflochimplantation nicht routinemäßig nach Durchführung der vorderen Vitrektomie durchführt. Schließlich erhält man auf diese Weise wieder ein Linsendiaphragma und minimiert das Risiko eines Glaskörpervorfalles.

In den letzten Jahren erfreut sich die von Tassignon entwickelte „bag-in-the-lens“-IOL zunehmender Beliebtheit in der kindlichen Kataraktchirurgie [110, 111]. Hier wird die IOL mit einem speziellen Haptikdesign zwischen den Kapselblättern fixiert. Man erreicht dadurch einen Verschluss des Kapselsacks, ähnlich wie bei der OC. Zukünftige randomisierte Studien müssen Unterschiede zwischen den verschiedenen Behandlungsarten aufzeigen.

Um vitreoretinale Komplikationen bei allen bisher genannten Operationsverfahren zuverlässig zu erfassen, sind längere Beobachtungszeiträume erforderlich.

Ein weiterer wichtiger Faktor, der für ein gutes Ergebnis nach der Linsenoperation relevant ist, sind die Eltern der Patienten. Im Rahmen der eigenen Untersuchungen fiel auf, dass in einigen Fällen Unwissenheit über die Relevanz der postoperativen Behandlung wie Okklusion und regelmäßigen Kontrollen der Brillenwerte bestand. Zudem überträgt sich die Ungeduld der Eltern bei der Kontrolle auf die Kinder und erschwert die gründliche Untersuchung. Sobald Klarheit über eine chronische und kontrollintensive kindliche Augenerkrankung besteht, sollten Eltern und Kinder auf die regelmäßigen Untersuchungen vorbereitet werden. So kann beispielsweise das Erkennen der Optotypen zu Hause trainiert werden.

Auch wenn unsere Auswertungen aufgrund der geringen Fallzahl keine statistisch signifikante Aussage zulassen, zeigt die OC im Vergleich zur vorderen Vitrektomie einen Trend zu einer geringeren Komplikationshäufigkeit und einem verminderten Auftreten von peripherem und die optische Achse bedrohenden Nachstar. Wir schließen daraus, dass es sich bei der Glaskörper schonenden OC um eine sichere und effektive Nachstarpräventionsmethode bei kindlichen Katarakt-Operationen handelt.

6 Zusammenfassung

Hintergrund: Die Behandlung kindlicher Linsentrübungen stellt nach wie vor eine Herausforderung für die behandelnden Augenärzte dar. Im Bezug auf die Nachstarprävention ist man sich einig, dass das Belassen der intakten Linsenhinterkapsel bei Patienten unterhalb des sechsten Lebensjahres mit einem sehr hohen Nachstarrisiko behaftet ist. Aus diesem Grund haben sich einige Therapieformen mit primärer hinterer Linsenkapseleröffnung etabliert.

Die beiden Nachstarpräventionstechniken bei Kindern, vordere Vitrektomie und Knopflochimplantation der Kunstlinse ohne Vitrektomie, wurden in einigen internationalen Studien bereits untersucht. Aus Deutschland stammende Untersuchungsergebnisse aus der kindlichen Kataraktchirurgie, mit einem Beobachtungszeitraum über mehrere Jahre, liegen in der Literatur noch nicht vor.

Patienten und Methoden: Es erfolgte die retrospektive Auswertung von 58 Augen, bei denen zwischen 1997 und 2003 eine kindliche Kataraktoperation mit Implantation einer heparinbeschichteten PMMA-Intraocularlinse und hinterer Kapsulorhexis durchgeführt wurde. Die Patienten waren zum Operationszeitpunkt 2 – 11 Jahre alt. Das durchschnittliche Operationsalter lag bei 66 Monaten. 37 Augen konnten zwischen 2008 und 2010 nachuntersucht werden. Der mittlere Beobachtungszeitraum betrug 78 Monate. Bei 28 Augen wurde neben der Linsenimplantation eine vordere Vitrektomie (Technik A) durchgeführt. In den übrigen 30 Fällen wurde die Intraokularlinse (IOL) als „optic capture“ durch die hintere Kapsulorhexis versenkt (Technik B). Bei allen Operationen wurde der Spüllösung Heparin zugesetzt, um das Risiko einer Fibrinreaktion zu reduzieren.

Ergebnisse: Während nach der OP-Technik A in zwei Fällen ein zentraler Nachstar entfernt werden musste, blieben bei den Augen, die mit OP-Technik B behandelt wurden, alle optischen Achsen frei. Auch die Entwicklung peripherer Elschnig-Perlen sowie die Häufigkeiten allgemeiner Komplikationen fielen bei Technik B geringer aus.

Schlussfolgerung: Die OC mit einer heparinbeschichteten PMMA-IOL ist eine sichere Nachstarpräventionsmethode bei der kindlichen Kataraktoperation. Es kommt durch die Rekonstruktion des Linsendiaphragmas zu einer stabilen Fixierung der IOL. Das Risikoprofil ist nicht höher als bei der vorderen Vitrektomie.

7 Summary

Background: The treatment of infantile cataract is still a challenge for ophthalmologists. It is agreed that an intact posterior lens capsule in patients under the age of six years is associated with a very high risk of formation of secondary cataract. Therefore some forms of therapy with primary posterior capsule opening have been established.

Anterior vitrectomy and optic capture of the artificial lens are techniques to prevent the formation of secondary cataract in children. Both techniques were compared in several international studies. However there are no studies of cataract surgery with a long follow up period in German literature.

Patients and methods: We performed a retrospective analysis of 58 eyes, which received cataract surgery with implantation of a heparin coated PMMA-intraocular lens (IOL) and primary opening of the posterior capsule between 1997 and 2003. This was a single center and single surgeon study. At the time of surgery the age of the patients ranged between 2 to 11 years (mean age 66 months). The follow up examination of 37 eyes was performed between 2008 and 2010 in our clinic. The mean follow up of all eyes was 78 months. In 28 cases an anterior vitrectomy was performed in addition to the implantation of the IOL (technique A). In the remaining 30 cases, the IOL was captured behind the posterior leaf of the lens capsule (technique B). In all cases heparin was added to the rinsing solution in order to reduce the risk of inflammation.

Results: The treatment of secondary cataract was necessary in 2 cases of the patients in surgical technique A group. All optic axes treated with the technique B remained clear. There was less development of peripheral Elschnig pearls and a less complications in technique B group.

Conclusion: The optic capture with a heparin-coated PMMA-IOL is a safe method to prevent secondary cataract formation in children. The reconstruction of the lens-diaphragma allows a stable fixation of the IOL.

Quellenverzeichnis

1. Aplan J. FP. Intraokularlinsen, Grundlagen und Operationslehre. 2. Auflage, Enke Verlag: 3-6. 1984.
2. Apple DJ, Rabb, M.F. Lens and pathology of intraocular lenses. In: Apple, D.J., Rabb, M.F. (eds) Ocular Pathology. Mosby, St Louis, Missouri, S.175. 1998.
3. Apple DJ, Solomon KD, Tetz MR, Assia EI, Holland EY, Legler UF, Tsai JC, Castaneda VE, Hoggatt JP, Kostick AM. Posterior capsule opacification. *Surv Ophthalmol* 1992;37:73-116.
4. Argento C, Badoza D, Ugrin C. Optic capture of the AcrySof intraocular lens in pediatric cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 2001;27:1638-42.
5. Arkin M, Azar D, Fraioli A. Infantile cataracts. *Int Ophthalmol Clin* 1992;32:107-20.
6. Asbell PA, Chiang B, Somers ME, Morgan KS. Keratometry in children. *CLAO J* 1990;16:99-102.
7. Aslam TM, Dhillon B, Werghi N, Taguri A, Wadood A. Systems of analysis of posterior capsule opacification. *Br J Ophthalmol* 2002;86:1181-6.
8. Auffarth GU, Apple DJ. [History of the development of intraocular lenses]. *Ophthalmologie* 2001;98:1017-28.
9. Auffarth GU, Tetz MR, Krastel H, Blankenagel A, Volcker HE. [Complicated cataracts in various forms of retinitis pigmentosa. Type and incidence]. *Ophthalmologie* 1997;94:642-6.
10. Atrata R, Rehurek J, Vodickova K. Visual results after primary intraocular lens implantation or contact lens correction for aphakia in the first year of age. *Ophthalmologica* 2005;219:72-9.

- 11.Awan M, Proudlock FA, Gottlob I. A randomized controlled trial of unilateral strabismic and mixed amblyopia using occlusion dose monitors to record compliance. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2005;46:1435-9.
- 12.Awner S, Buckley EG, DeVaro JM, Seaber JH. Unilateral pseudophakia in children under 4 years. *J Pediatr Ophthalmol Strabismus* 1996;33:230-6.
- 13.Bartholomew LR, Wilson ME, Jr., Trivedi RH. Pediatric anterior capsulotomy preferences of cataract surgeons worldwide: comparison of 1993, 2001, and 2003 surveys. *J Cataract Refract Surg* 2007;33:893-900.
- 14.Basti S, Greenwald MJ. Principles and paradigms of pediatric cataract management. *Indian J Ophthalmol* 1995;43:159-76.
- 15.Bender L, Spalton DJ, Uyanonvara B, Boyce J, Heatley C, Jose R, Khan J. POComan: new system for quantifying posterior capsule opacification. *J Cataract Refract Surg* 2004;30:2058-63.
- 16.Binkhorst CD. [The search for the right place and for optimal fixation of an intraocular lens (author's transl)]. *Klin Monbl Augenheilkd* 1979;174:870-5.
- 17.Birch EE, Cheng C, Stager DR, Jr., Weakley DR, Jr., Stager DR, Sr. The critical period for surgical treatment of dense congenital bilateral cataracts. *J AAPOS* 2009;13:67-71.
- 18.Bruckner R. [Practical use of the illumination test in the early diagnosis of strabismus]. *Ophthalmologica* 1965;149:497-503.
- 19.Chee KY, Lam GC. Management of congenital cataract in children younger than 1 year using a 25-gauge vitrectomy system. *J Cataract Refract Surg* 2009;35:720-4.
- 20.Chen TC, Bhatia LS, Halpern EF, Walton DS. Risk factors for the development of aphakic glaucoma after congenital cataract surgery. *J Pediatr Ophthalmol Strabismus* 2006;43:274-80; quiz 306-7.
- 21.Chen TC, Bhatia LS, Walton DS. Complications of pediatric lensectomy in 193 eyes. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging* 2005;36:6-13.

22.Chen TC, Walton DS, Bhatia LS. Aphakic glaucoma after congenital cataract surgery. *Arch Ophthalmol* 2004;122:1819-25.

23.Dada T, Dada VK, Sharma N, Vajpayee RB. Primary posterior capsulorhexis with optic capture and intracameral heparin in paediatric cataract surgery. *Clin Experiment Ophthalmol* 2000;28:361-3.

24.Dahan E. Intraocular lens implantation in children. *Curr Opin Ophthalmol* 2000;11:51-5.

25.Drummond GT, Scott WE, Keech RV. Management of monocular congenital cataracts. *Arch Ophthalmol* 1989;107:45-51.

26.El Shakankiri NM, Bayoumi NH, Abdallah AH, El Sahn MM. Role of ultrasound and biomicroscopy in evaluation of anterior segment anatomy in congenital and developmental cataract cases. *J Cataract Refract Surg* 2009;35:1893-905.

27.Fan DS, Yip WW, Yu CB, Rao SK, Lam DS. Updates on the surgical management of paediatric cataract with primary intraocular lens implantation. *Ann Acad Med Singapore* 2006;35:564-70.

28.Faramarzi A, Javadi MA. Comparison of 2 techniques of intraocular lens implantation in pediatric cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 2009;35:1040-5.

29.Flitcroft DI, Knight-Nanan D, Bowell R, Lanigan B, O'Keefe M. Intraocular lenses in children: changes in axial length, corneal curvature, and refraction. *Br J Ophthalmol* 1999;83:265-9.

30.Francis PJ, Berry V, Moore AT, Bhattacharya S. Lens biology: development and human cataractogenesis. *Trends Genet* 1999;15:191-6.

31.Fronius M. [Adaptation of visual distortions in children with strabismic amblyopia following strabismus surgery and occlusion therapy]. *Klin Monbl Augenheilkd* 2006;223:52-8.

- 32.Fronius M, Bachert I. [Spontaneous improvement of visual acuity in adult amblyopia after functional loss in the non-amblyopic eye?]. *Klin Monbl Augenheilkd* 2009;226:634-9.
33. Gilbert C, Awan H. Blindness in children. *BMJ* 2003;327:760-1.
- 34.Gilbert C, Foster A. Childhood blindness in the context of VISION 2020--the right to sight. *Bull World Health Organ* 2001;79:227-32.
- 35.Gimbel HV. Posterior capsulorhexis with optic capture in pediatric cataract and intraocular lens surgery. *Ophthalmology* 1996;103:1871-5.
- 36.Gimbel HV. Posterior continuous curvilinear capsulorhexis and optic capture of the intraocular lens to prevent secondary opacification in pediatric cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 1997;23 Suppl 1:652-6.
- 37.Gimbel HV, DeBroff BM. Posterior capsulorhexis with optic capture: maintaining a clear visual axis after pediatric cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 1994;20:658-64.
- 38.Gimbel HV, DeBroff BM. Intraocular lens optic capture. *J Cataract Refract Surg* 2004;30:200-6.
- 39.Gimbel HV, Neuhann T. Development, advantages, and methods of the continuous circular capsulorhexis technique. *J Cataract Refract Surg* 1990;16:31-7.
- 40.Greenwald MJ, Glaser SR. Visual outcomes after surgery for unilateral cataract in children more than two years old: posterior chamber intraocular lens implantation versus contact lens correction of aphakia. *J AAPOS* 1998;2:168-76.
- 41.Grieshaber MC, Olivier J, Pienaar A, Stegmann R. Capsular opacification after vitreous-sparing cataract surgery in children. *Klin Monbl Augenheilkd* 2009;226:258-63.

42. Guo S, Caputo A, Wagner R, DeRespinis P. Enhanced visualization of capsulorhexis with indocyanine green staining in pediatric white cataracts. *J Pediatr Ophthalmol Strabismus* 2003;40:268-71.
43. Guo S, Wagner RS, Caputo A. Management of the anterior and posterior lens capsules and vitreous in pediatric cataract surgery. *J Pediatr Ophthalmol Strabismus* 2004;41:330-7; quiz 56-7.
44. Hardwig PW, Erie JC, Buettner H. Preventing recurrent opacification of the visual pathway after pediatric cataract surgery. *J AAPOS* 2004;8:560-5.
45. Hollick EJ, Spalton DJ, Ursell PG, Pande MV. Biocompatibility of poly(methyl methacrylate), silicone, and AcrySof intraocular lenses: randomized comparison of the cellular reaction on the anterior lens surface. *J Cataract Refract Surg* 1998;24:361-6.
46. Hunold W, Auffarth GU, Bailitis S, Mehdorn E, Wesendahl T. [No-stitch tunnel incision vs. corneoscleral incision. A prospective, randomized study]. *Ophthalmologe* 1995;92:274-9.
47. Hussin HM, Markham R. Changes in axial length growth after congenital cataract surgery and intraocular lens implantation in children younger than 5 years. *J Cataract Refract Surg* 2009;35:1223-8.
48. Hutchinson AK, Drews-Botsch C, Lambert SR. Myopic shift after intraocular lens implantation during childhood. *Ophthalmology* 1997;104:1752-7.
49. Jacobi PC, Dietlein TS, Jacobi FK. Scleral fixation of secondary foldable multifocal intraocular lens implants in children and young adults. *Ophthalmology* 2002;109:2315-24.
50. Jacobi PC, Dietlein TS, Konen W. Multifocal intraocular lens implantation in pediatric cataract surgery. *Ophthalmology* 2001;108:1375-80.
51. Keech RV, Tongue AC, Scott WE. Complications after surgery for congenital and infantile cataracts. *Am J Ophthalmol* 1989;108:136-41.

52.Kent DG, Sims JC, Apple DJ. Pediatric capsulorhexis technique. J Cataract Refract Surg 1995;21:236.

53.Klais CM, Hattenbach LO, Steinkamp GW, Zubcov AA, Kohnen T. Intraocular recombinant tissue-plasminogen activator fibrinolysis of fibrin formation after cataract surgery in children. J Cataract Refract Surg 1999;25:357-62.

54.Koch DD, Kohnen T. Retrospective comparison of techniques to prevent secondary cataract formation after posterior chamber intraocular lens implantation in infants and children. J Cataract Refract Surg 1997;23 Suppl 1:657-63.

55.Kohnen T. Visual axis opacification after pediatric intraocular lens implantation. J Cataract Refract Surg 2001;27:1141-2.

56.Kohnen T, Dick B, Hessemer V, Koch DD, Jacobi KW. Effect of heparin in irrigating solution on inflammation following small incision cataract surgery. J Cataract Refract Surg 1998;24:237-43.

57.Kohnen T, Luchtenberg M. [Surgical treatment of congenital cataracts]. Ophthalmologe 2007;104:566-71.

58.Krishna R, Meisler DM, Lowder CY, Estafanous M, Foster RE. Long-term follow-up of extracapsular cataract extraction and posterior chamber intraocular lens implantation in patients with uveitis. Ophthalmology 1998;105:1765-9.

59.Kugelberg M, Zetterstrom C. Pediatric cataract surgery with or without anterior vitrectomy. J Cataract Refract Surg 2002;28:1770-3.

60.Kuhli-Hattenbach C, Luchtenberg M, Kohnen T, Hattenbach LO. Risk factors for complications after congenital cataract surgery without intraocular lens implantation in the first 18 months of life. Am J Ophthalmol 2008;146:1-7.

61.Lambert SR, Buckley EG, Drews-Botsch C, DuBois L, Hartmann E, Lynn MJ, Plager DA, Wilson ME. The infant aphakia treatment study: design and clinical measures at enrollment. Arch Ophthalmol;128:21-7.

- 62.Lambert SR, Drack AV. Infantile cataracts. *Surv Ophthalmol* 1996;40:427-58.
- 63.Lambert SR, Lynn M, Drews-Botsch C, DuBois L, Plager DA, Medow NB, Wilson ME, Buckley EG. Optotype acuity and re-operation rate after unilateral cataract surgery during the first 6 months of life with or without IOL implantation. *Br J Ophthalmol* 2004;88:1387-90.
- 64.Liekfeld A. Humanes Kapselsackmodell zur Nachstaruntersuchung nach Implantation von Intraokularlinsen – Evaluation und Anwendung. 2006.
- 65.Lin AA, Buckley EG. Update on pediatric cataract surgery and intraocular lens implantation. *Curr Opin Ophthalmol*;21:55-9.
- 66.Linnola RJ, Werner L, Pandey SK, Escobar-Gomez M, Znoiko SL, Apple DJ. Adhesion of fibronectin, vitronectin, laminin, and collagen type IV to intraocular lens materials in pseudophakic human autopsy eyes. Part 2: explanted intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg* 2000;26:1807-18.
- 67.Liu CS, Wormstone IM, Duncan G, Marcantonio JM, Webb SF, Davies PD. A study of human lens cell growth in vitro. A model for posterior capsule opacification. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1996;37:906-14.
- 68.Long V, Chen S, Hatt S. Surgical interventions for bilateral congenital cataract. *Cochrane Database Syst Rev* 2006;3:CD003171.
- 69.Luchtenberg M, Kohnen T. [Examination methods in the diagnosis of uni- and bilateral cataracts in childhood]. *Ophthalmologe* 2007;104:552-8.
- 70.Luchtenberg M, Kuhli-Hattenbach C, Fronius M, Zubcov AA, Kohnen T. Predictability of intraocular lens calculation using the Holladay II formula after in-the-bag or optic captured posterior chamber intraocular lens implantation in paediatric cataracts. *Ophthalmologica* 2008;222:302-7.
- 71.Lundvall A, Kugelberg U. Outcome after treatment of congenital unilateral cataract. *Acta Ophthalmol Scand* 2002;80:588-92.

- 72.Luo Y, Lu Y, Lu G, Wang M. Primary posterior capsulorhexis with anterior vitrectomy in preventing posterior capsule opacification in pediatric cataract microsurgery. *Microsurgery* 2008;28:113-6.
- 73.Machemer R. AT. Glaskörperchirurgie, Vitrektomie: Indikationen und Technik. Verlag Hans Huber 1981, 13. 1981.
- 74.Mackey DA. 2005 Gregg Lecture: Congenital cataract--from rubella to genetics. *Clin Experiment Ophthalmol* 2006;34:199-207.
- 75.Mackool RJ, Chhatiawala H. Pediatric cataract surgery and intraocular lens implantation: a new technique for preventing or excising postoperative secondary membranes. *J Cataract Refract Surg* 1991;17:62-6.
- 76.Magno BV, Datiles MB, Lasa MS, Fajardo MR, Caruso RC, Kaiser-Kupfer MI. Evaluation of visual function following neodymium:YAG laser posterior capsulotomy. *Ophthalmology* 1997;104:1287-93.
- 77.Meacock WR, Spalton DJ, Boyce JF, Jose RM. Effect of optic size on posterior capsule opacification: 5.5 mm versus 6.0 mm AcrySof intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg* 2001;27:1194-8.
- 78.Menapace R. Posterior capsulorhexis combined with optic buttonholing: an alternative to standard in-the-bag implantation of sharp-edged intraocular lenses? A critical analysis of 1000 consecutive cases. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2008;246:787-801.
- 79.Menser MA, Harley JD, Hertzberg R, Dorman DC, Murphy AM. Persistence of virus in lens for three years after prenatal rubella. *Lancet* 1967;2:387-8.
- 80.Moore BD. Pediatric cataracts--diagnosis and treatment. *Optom Vis Sci* 1994;71:168-73.
- 81.Moore DB, Ben Zion I, Neely DE, Plager DA, Ofner S, Sprunger DT, Roberts GJ. Accuracy of biometry in pediatric cataract extraction with primary intraocular lens implantation. *J Cataract Refract Surg* 2008;34:1940-7.

82. Mullner-Eidenbock A, Amon M, Moser E, Kruger A, Abela C, Schlemmer Y, Zidek T. Morphological and functional results of AcrySof intraocular lens implantation in children: prospective randomized study of age-related surgical management. *J Cataract Refract Surg* 2003;29:285-93.
83. Nagata T, Minakata A, Watanabe I. Adhesiveness of AcrySof to a collagen film. *J Cataract Refract Surg* 1998;24:367-70.
84. Neely DE, Plager DA, Borger SM, Golub RL. Accuracy of intraocular lens calculations in infants and children undergoing cataract surgery. *J AAPOS* 2005;9:160-5.
85. Nishi O, Nishi K. Preventive effect of a second-generation silicone intraocular lens on posterior capsule opacification. *J Cataract Refract Surg* 2002;28:1236-40.
86. Noack C, Lagreze WA. [The treatment of congenital cataract in Germany--results of a survey]. *Klin Monbl Augenheilkd* 2008;225:80-5.
87. Noorden GK. Mechanisms of amblyopia. *Adv Ophthalmol* 1977;34:93-115.
88. Ohrloff C. [Importance of an intact posterior capsule for the vitreous body. Complication of posterior capsulotomy]. *Klin Monbl Augenheilkd* 1994;205:181-6.
89. Olson L. Anatomy and Embryology of the lens. Tasman W., Jaeger E. A. (eds) *Duane's Clinical Ophthalmology*, Lippincott Company, Philadelphia, Pennsylvania 1989:1-3.
90. Oner FH, Gunenc U, Ferliel ST. Posterior capsule opacification after phacoemulsification: foldable acrylic versus poly(methyl methacrylate) intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg* 2000;26:722-6.
91. Oshika T, Nagata T, Ishii Y. Adhesion of lens capsule to intraocular lenses of polymethylmethacrylate, silicone, and acrylic foldable materials: an experimental study. *Br J Ophthalmol* 1998;82:549-53.

- 92.Pandey SK, Werner L, Escobar-Gomez M, Roig-Melo EA, Apple DJ. Dye-enhanced cataract surgery. Part 1: anterior capsule staining for capsulorhexis in advanced/white cataract. *J Cataract Refract Surg* 2000;26:1052-9.
- 93.Pandey SK, Werner L, Escobar-Gomez M, Werner LP, Apple DJ. Dye-enhanced cataract surgery. Part 3: posterior capsule staining to learn posterior continuous curvilinear capsulorhexis. *J Cataract Refract Surg* 2000;26:1066-71.
- 94.Plager DA, Yang S, Neely D, Sprunger D, Sondhi N. Complications in the first year following cataract surgery with and without IOL in infants and older children. *J AAPOS* 2002;6:9-14.
- 95.Rahi JS, Dezateux C. Congenital and infantile cataract in the United Kingdom: underlying or associated factors. British Congenital Cataract Interest Group. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2000;41:2108-14.
- 96.Raina UK, Gupta V, Arora R, Mehta DK. Posterior continuous curvilinear capsulorhexis with and without optic capture of the posterior chamber intraocular lens in the absence of vitrectomy. *J Pediatr Ophthalmol Strabismus* 2002;39:278-87.
- 97.Raina UK, Mehta DK, Monga S, Arora R. Functional outcomes of acrylic intraocular lenses in pediatric cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 2004;30:1082-91.
- 98.Ram J, Brar GS, Kaushik S, Gupta A. Role of posterior capsulotomy with vitrectomy and intraocular lens design and material in reducing posterior capsule opacification after pediatric cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 2003;29:1579-84.
- 99.Ram J, Pandey SK, Apple DJ, Werner L, Brar GS, Singh R, Chaudhary KP, Gupta A. Effect of in-the-bag intraocular lens fixation on the prevention of posterior capsule opacification. *J Cataract Refract Surg* 2001;27:1039-46.
- 100.Resnikoff S, Pascolini D, Etya'ale D, Kocur I, Pararajasegaram R, Pokharel GP, Mariotti SP. Global data on visual impairment in the year 2002. *Bull World Health Organ* 2004;82:844-51.

101.Rowe NA, Biswas S, Lloyd IC. Primary IOL implantation in children: a risk analysis of foldable acrylic v PMMA lenses. *Br J Ophthalmol* 2004;88:481-5.

102.Schmidbauer JM, Vargas LG, Apple DJ, Escobar-Gomez M, Izak A, Arthur SN, Golescu A, Peng Q. Evaluation of neodymium:yttrium-aluminum-garnet capsulotomies in eyes implanted with AcrySof intraocular lenses. *Ophthalmology* 2002;109:1421-6.

103.Schrader W, Rath M, Witschel H. [Late complications and functional results at least 5 years following pars plana lensectomy for congenital cataract]. *Ophthalmologie* 1994;91:490-7.

104.Shah GR, Gills JP, Durham DG, Ausmus WH. Three thousand YAG lasers in posterior capsulotomies: an analysis of complications and comparison to polishing and surgical discission. *Ophthalmic Surg* 1986;17:473-7.

105.Stifter E, Luksch A, Menapace R. Postoperative course of intraocular pressure after cataract surgery with combined primary posterior capsulorhexis and posterior optic buttonholing. *J Cataract Refract Surg* 2007;33:1585-90.

106.Stifter E, Menapace R, Kriechbaum K, Vock L, Luksch A. Effect of primary posterior continuous curvilinear capsulorhexis with and without posterior optic buttonholing on postoperative anterior chamber flare. *J Cataract Refract Surg* 2009;35:480-4.

107.Stifter E, Menapace R, Luksch A, Neumayer T, Sacu S. Anterior chamber depth and change in axial intraocular lens position after cataract surgery with primary posterior capsulorhexis and posterior optic buttonholing. *J Cataract Refract Surg* 2008;34:749-54.

108.Stifter E, Menapace R, Neumayer T, Luksch A. Macular morphology after cataract surgery with primary posterior capsulorhexis and posterior optic buttonholing. *Am J Ophthalmol* 2008;146:15-22.

109.Szurman P, Heiligenhaus A, Hettlich HJ, Dick HB, Kohnen T. [Cataract surgery in childhood uveitis]. *Klin Monbl Augenheilkd* 2007;224:532-7.

110. Tassignon MJ, De Veuster I, Godts D, Kosec D, Van den Dooren K, Gobin L. Bag-in-the-lens intraocular lens implantation in the pediatric eye. *J Cataract Refract Surg* 2007;33:611-7.

111. Tassignon MJ, Gobin L, De Veuster I, Godts D. [Advantages of the bag-in-the-lens intraocular lens in pediatric cataract surgery]. *J Fr Ophtalmol* 2009;32:481-7.

112. Tetz MR, Nimsger C. Posterior capsule opacification. Part 2: Clinical findings. *J Cataract Refract Surg* 1999;25:1662-74.

113. Trivedi RH, Wilson ME. Biometry data from caucasian and african-american cataractous pediatric eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2007;48:4671-8.

114. Trivedi RH, Wilson ME, Jr. Single-piece acrylic intraocular lens implantation in children. *J Cataract Refract Surg* 2003;29:1738-43.

115. Tromans C, Haigh PM, Biswas S, Lloyd IC. Accuracy of intraocular lens power calculation in paediatric cataract surgery. *Br J Ophthalmol* 2001;85:939-41.

116. Vasavada AR, Nihalani BR. Pediatric cataract surgery. *Curr Opin Ophthalmol* 2006;17:54-61.

117. Vasavada AR, Praveen MR, Nath V, Dave K. Diagnosis and management of congenital cataract with preexisting posterior capsule defect. *J Cataract Refract Surg* 2004;30:403-8.

118. Vasavada AR, Trivedi RH. Role of optic capture in congenital cataract and intraocular lens surgery in children. *J Cataract Refract Surg* 2000;26:824-31.

119. Vasavada AR, Trivedi RH, Nath VC. Visual axis opacification after AcrySof intraocular lens implantation in children. *J Cataract Refract Surg* 2004;30:1073-81.

120.Vasavada AR, Trivedi RH, Singh R. Necessity of vitrectomy when optic capture is performed in children older than 5 years. *J Cataract Refract Surg* 2001;27:1185-93.

121.Verhulst E, Vrijghem JC. Accuracy of intraocular lens power calculations using the Zeiss IOL master. A prospective study. *Bull Soc Belge Ophtalmol* 2001:61-5.

122.Wiesel TN, Hubel DH. Effects of Visual Deprivation on Morphology and Physiology of Cells in the Cats Lateral Geniculate Body. *J Neurophysiol* 1963;26:978-93.

123.Wilson ME, Elliott L, Johnson B, Peterseim MM, Rah S, Werner L, Pandey SK. AcrySof acrylic intraocular lens implantation in children: clinical indications of biocompatibility. *J AAPOS* 2001;5:377-80.

124.Wirtitsch MG, Menapace R, Georgopoulos M, Rainer G, Buehl W, Heinzl H. Intraocular pressure rise after primary posterior continuous curvilinear capsulorhexis with a fixed dorzolamide-timolol combination: randomized safety study with intraindividual comparison using an angulated and a nonangulated intraocular lens. *J Cataract Refract Surg* 2007;33:1754-9.

125.Wormstone IM, Tamiya S, Marcantonio JM, Reddan JR. Hepatocyte growth factor function and c-Met expression in human lens epithelial cells. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2000;41:4216-22.

126.Ye HH, Deng DM, Qian YY, Lin Z, Chen WR. Long-term visual outcome of dense bilateral congenital cataract. *Chin Med J (Engl)* 2007;120:1494-7.

127.Zetterstrom C, Lundvall A, Kugelberg M. Cataracts in children. *J Cataract Refract Surg* 2005;31:824-40.

128.Zubcov AA, Stahl E, Rossillion B, Nutzenberger A, Kohnen T, Ohrloff C, Stark N. Stereopsis after primary in-the-bag posterior chamber implantation in children. *J AAPOS* 1999;3:227-33.

Danksagung

An erster Stelle danke ich meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. T. Kohlen, Leitender Oberarzt des Zentrums für Augenheilkunde an der Johann Wolfgang Goethe-Universität, für die Überlassung dieses interessanten Promotionsthemas. Trotz seines vollen Terminkalenders fand Professor Kohlen immer wieder die Zeit, um mit mir Untersuchungsabläufe und -Inhalte abzusprechen.

Des Weiteren möchte ich Dr. med. habil. M. Lüchtenberg und dem gesamten Team der Sehschule des Zentrums für Augenheilkunde an der Johann Wolfgang Goethe-Universität danken. Ohne das unermüdliche Aktensuchen durch Frau Krüger und Frau Maaß wäre die Auswertung nicht möglich gewesen.

Meinen besonderen Dank möchte ich an Herrn Prof. Dr. Ch. Ohrloff, Geschäftsführender Direktor des Zentrums für Augenheilkunde an der Johann Wolfgang Goethe-Universität, für seine Unterstützung und die Bereitstellung von Räumlichkeiten und technischer Ausstattung zur Durchführung der Untersuchungen aussprechen.

Und schließlich möchte ich meiner Mutter Gabriele Bassarab, meinem Stiefvater Georg Bassarab sowie meinem Vater Emil Lambert danken, ohne deren Unterstützung ich den Weg bis hierher nicht hätte bestreiten können. Meine Lebensgefährtin Nadja Tepe war mir bis zuletzt eine wichtige moralische Hilfe, auch im Kampf gegen die Tücken moderner Textverarbeitungsprogramme.

Lebenslauf

Name: Martin Lambert

Geburtsdatum: 19.11.1976

Geburtsort: Offenbach am Main

Schulabschluss: 06/1996 Abitur am Bachgau
Oberstufengymnasium Babenhausen

Studium: 10/1997 – 05/2005 Justus-Liebig-Universität Gießen

04/2000 Ärztliche Vorprüfung

08/2001 1. Staatsexamen

04/2004 2. Staatsexamen

04/2004 – 04/2005 Praktisches Jahr im Klinikum Wetzlar
und der Augenklinik der Justus-Liebig-
Universität Gießen

05/2005 3. Staatsexamen

05/2005 Ärztliche Approbation

Beruf: 06/2005 – 07/2006 Augenklinik Frankfurt am Main-Höchst
seit 07/2006 Zentrum der Augenheilkunde der
Johann Wolfgang Goethe-Universität
Frankfurt am Main

Frankfurt, den 15.06.2010

Schriftliche Erklärung

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

Nachstarprävention bei kindlicher Kataraktoperation: Vordere Vitrektomie versus optic capture (Knopflochimplantation) ohne Vitrektomie

in der Klinik für Augenheilkunde unter der Betreuung und Anleitung von Herrn Prof. Dr. Thomas Kohnen ohne sonstige Hilfe selbst durchgeführt und bei der Abfassung der Arbeit keine anderen als in der Dissertation angeführten Hilfsmittel benutzt habe. Darüber hinaus versichere ich, nicht die Hilfe einer kommerziellen Promotionsvermittlung in Anspruch genommen zu haben.

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

Frankfurt, den 15.06.2010

(Unterschrift)