

Aus dem Universitätsklinikum Münster
Augenklinik des St. Johannes-Hospitals Dortmund
Direktor: Univ.- Prof. Dr. med. J. Kammann

**Vergleichende Untersuchung des postoperativen
Rotationsverhaltens von zwei im Kapselsack fixierten
pseudotorischen Hinterkammerlinsen
unterschiedlichen Linsendesigns**

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung des doctor medicinae

der Medizinischen Fakultät der
Westfälischen Wilhelms - Universität Münster

vorgelegt von

Stephan Uwe Krause

aus Berlin
2009

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der
Westfälischen Wilhelms - Universität Münster

Dekan: Univ.- Prof. Dr. W. Schmitz

1. Berichterstatter: Univ.- Prof. Dr. med. H. Busse

2. Berichterstatter: Univ.- Prof. Dr. med. J. Kammann

Tag der mündlichen Prüfung: 29.06.2009

Aus der Augenklinik des St.-Johannes-Hospitals
– Direktor: Univ.- Prof. Dr. med. J. Kammann –

Referent: Univ.- Prof. Dr. med. H. Busse
Koreferent: Univ.- Prof. Dr. med. J. Kammann

Zusammenfassung

Vergleichende Untersuchung des postoperativen Rotationsverhaltens
von zwei im Kapselsack fixierten pseudotorischen Hinterkammerlinsen
unterschiedlichen Linsendesigns

Stephan Krause

In dieser prospektiven klinischen Studie wurden in insgesamt 36 Augen (19 Patienten) zu gleichen Anteilen pseudotorische Intraokularlinsen der Firma Acritec, 18 Linsen vom Typ *Acri.Lyc 42TSM-5 und 18 Linsen vom Typ *Acri.Lyc 52MN, implantiert. Beide Linsentypen besitzen Strichmarkierungen und bestehen aus dem gleichen Material, weisen aber ein unterschiedliches Design ihrer Linsenhaptik auf. Die maximale Nachbeobachtungszeit betrug 6 Monate ab dem Datum der Implantation.

Es galt zu untersuchen, ob es einen Unterschied im postoperativen Rotationsverhalten zwischen den pseudotorischen Intraokularlinsen des Typs *Acri.Lyc 42TSM-5 und des Typs *Acri.Lyc 52MN der Firma Acritec gab. Der Einfluss der verschiedenen Linsendesigns hinsichtlich der postoperativen Rotationsstabilität wird dargestellt.

Das Design beider Intraokularlinsentypen ist zur Hornhautastigmatismuskorrektur geeignet. Am Ende der sechsmonatigen Nachbeobachtungszeit bestand kein signifikanter Unterschied im postoperativen Rotationsverhalten zwischen beiden Hinterkammerlinsen unterschiedlichen Designs ($p = 0,29$).

Nur 50% aller beobachteten Linsen rotierten im gesamten postoperativ untersuchten Nachbeobachtungszeitraum. Das heißt, dass die Hälfte aller implantierten pseudotorischen Intraokularlinsen von Anfang an achsenstabil war.

Knapp zwei Drittel der Intraokularlinsen vom Typ *Acri.Lyc 42TSM-5 und ca. ein Drittel der Linsen vom Typ *Acri.Lyc 52MN waren über den gesamten Nachbeobachtungszeitraum rotationsstabil. Dabei scheint der Implantationswinkel von 45 Grad für die *Acri.Lyc 42TSM-5 der rotationsstabilste zu sein.

Tag der mündlichen Prüfung: 29.06.2009

Meiner Frau, meinem Vater und
im besonderen Maße meiner Mutter für deren Unterstützung und
Verständnis

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung und Zielsetzung der Arbeit	1
2. Definition und Epidemiologie der Katarakt	3
2.1 Definition und Begriff der Katarakt	3
2.2 Epidemiologie der Katarakt	3
3. Einteilung der Katarakt	4
3.1 Morphologische Einteilung der Katarakt	4
3.2 Einteilung der Katarakt nach ihrem Manifestationsalter	4
3.2.1 Kongenitale Katarakt	4
3.2.2 Erworbene Katarakt	4
3.3 Einteilung der Katarakt nach ihrer Reife	6
3.4 Sonderformen der Katarakt	6
3.4.1 Katarakt bei systemischen Erkrankungen und bei Begleiterkrankungen	6
3.5 Nachstar (Cataracta secundaria)	7
4. Anatomie der Linse	8
4.1 Embryologie	8
4.2 Linse im adulten Alter	9

5. Emmetropie und Ametropien	11
5.1 Emmetropie	11
5.2 Myopie	11
5.3 Hypermetropie	11
5.4 Astigmatismus	12
5.4.1 Einteilung nach dem Ort des Astigmatismus	12
5.4.2 Einteilung in regulären und irregulären Hornhautastigmatismus	12
5.4.3 Einteilung nach dem Aufbau des Astigmatismus	13
5.4.4 Diagnose des Astigmatismus	13
5.5 Presbyopie	14
6. Korrekturmöglichkeiten der Ametropien	15
6.1 Hypermetropiekorrektur	15
6.2 Myopiekorrektur	15
6.3 Prinzipien der Hornhautastigmatismuskorrektur	16
6.3.1 Nicht-invasive Hornhautastigmatismuskorrektur	16
6.3.1.1 Nicht-invasive Hornhautastigmatismuskorrektur durch Brillengläser	16
6.3.1.2 Nicht-invasive Hornhautastigmatismuskorrektur durch Kontaktlinsen	17
6.3.2 Invasive Hornhautastigmatismuskorrektur	18
6.3.2.1 Hornhautastigmatismuskorrektur durch Laseroberflächenablation	18
6.3.2.2 Hornhautastigmatismuskorrektur durch operative Verfahren	19
6.4 Presbyopiekorrektur	21

9.5 Vergleiche des Rotationsverhaltens pseudotorischer Intraokularlinsen in Abhängigkeit vom Implantationswinkel	71
9.6 Vergleich aller postoperativ rotierten Linsen	76
10. Kritik der Methode	78
11. Diskussion	81
11.1 Allgemeine Betrachtung	81
11.2 Bewertung der Ergebnisse	83
11.2.1 Präoperative Ergebnisse	83
11.2.2 Intraoperative Ergebnisse	83
11.2.3 Postoperative Ergebnisse	84
12. Aussichten und Zukunftsperspektiven	90
13. Zusammenfassung	91
Literaturverzeichnis	92
Danksagung	
Lebenslauf	
Eidesstattliche Erklärung	
Anhang	I

1. Einleitung und Zielsetzung der Arbeit

Im Jahre 2007 wurden laut einer Umfrage des BDOC, des BVA und der DGII unter deutschsprachigen Ophthalmochirurgen 388.107 Katarakte in Deutschland operiert. Bei einer Teilnahmequote von 40% an dieser Umfrage ist von einer Anzahl von ca. 800.000 Kataraktoperationen pro Jahr auszugehen [155]. Damit ist die Kataraktoperation eine der meist durchgeführten Operationen überhaupt. Der Hornhautastigmatismus stellt eine häufige Fehlsichtigkeit dar und ist durch die alleinige Implantation einer sphärischen Intraokularlinse meist nicht auszugleichen. Ca. 15% - 20% der Patienten mit einer Katarakt haben vor einer Kataraktoperation einen Hornhautastigmatismus oder refraktiven Zylinder von bis zu 1,5 Dioptrien [67].

Auch nach erfolgreich durchgeführter Kataraktoperation müssen viele Patienten weiterhin eine die Stabsichtigkeit ausgleichende Brillen- oder Kontaktlinsenkorrektur tragen. Dabei hat die Brillenkorrektur gerade bei stärkeren Astigmatismen den Nachteil, dass bei nicht optimal sitzender Brille oder Dezentrierung der Brillengläser asthenope Beschwerden auftreten. Auch eine postoperative Kontaktlinsenkorrektur ist bei dem in der Augenheilkunde meist älteren Patientenkollektiv aufgrund der häufig bestehenden Siccaproblematik des Auges oft nicht möglich. Vielfach ist es den Patienten aufgrund des Vorliegens von Erkrankungen (z.B. rheumatische Erkrankungen, Lidfehlstellungen, Morbus Parkinson etc.) nicht möglich die Kontaktlinse in das Auge einzusetzen.

Die in der Praxis häufig angewandte Astigmatismus reduzierende Schnittführung (T-Inzision) während der Kataraktoperation bringt in vielen Fällen nicht den gewünschten Erfolg. Sie ist letztendlich nicht exakt zu dosieren und das Ergebnis ist postoperativ vielfach nicht stabil. Ähnlich wie bei der Photorefraktiven Keratektomie (PRK) und der Laser-in-situ-Keratomileusis (LASIK) können auch mit dieser Methode nur geringe bis mittlere Astigmatismen (bis maximal 2,5 Dioptrien) korrigiert werden [7] [28] [91] [148]. Aus diesem Grund wurden torische Intraokularlinsen entwickelt, welche zunehmend auch bei geringen Astigmatismen an Bedeutung gewinnen.

Die Implantation einer torischen Intraokularlinse wird aber nur dann ein zufriedenstellendes Ergebnis liefern können, wenn diese Linse auch über längere Zeit ein stabiles Sitzverhalten im Kapselsack aufweist. Jede Rotation ist mit einer exponentiellen Abnahme der Astigmatismuskorrektur verbunden [148]. Ziel muss es deshalb sein, ein Linsendesign so zu entwickeln und zu implantieren, dass eine Rotation postoperativ weitestgehend ausgeschlossen ist.

Zielsetzung dieser Arbeit war es, anhand eines ausgewählten Patientenkollektivs zu evaluieren, ob es einen Unterschied im Drehungsverhalten zweier pseudotorischer Intraokularlinsen der Firma Acritec in Abhängigkeit vom Einpflanzungswinkel oder vom verwendeten Linsendesign gibt. Dabei sollte überprüft werden, ob es zwischen den vier vorgegebenen Achslagen für die Implantation der jeweiligen pseudotorischen Intraokularlinse einen signifikanten Unterschied im postoperativen Drehungsverhalten gibt. Weiterhin sollte festgestellt werden, zu welchem Zeitpunkt des postoperativen Verlaufes und in welchem Ausmaß eine eventuelle Drehung stattfindet.

2. Definition und Epidemiologie der Katarakt

2.1 Definition der Katarakt

Die Linse im menschlichen Auge ist normalerweise transparent [93]. Eine Linsentrübung bezeichnet man als Katarakt (Synonym: grauer Star). Dabei kann die Durchsichtigkeit des Linsenmaterials so stark herabgesetzt sein, dass sich der Patient in seiner Sicht beeinträchtigt fühlt. Diese Beeinträchtigung kann nicht nur mit der Visusbestimmung bei optimalem Kontrast gemessen werden, sondern auch bei Gegenlichtblendung oder durch die Prüfung der Lesefähigkeit beurteilt werden [60]. Das Ausmaß der Visusminderung ist abhängig von der Ausdehnung und der Lage der Linsentrübung. Der Begriff Katarakt entstammt dem Griechischen und bedeutet „Wasserfall“ (Katarrhaktos = herabstürzen). Früher glaubte man, dass die Katarakt eine Art Flüssigkeit sei, welche dem Gehirn entstammt und vor die Linse fließt [105] oder sich hinter die Pupille ergießt [59]. Im deutschsprachigen Raum hat sich der Begriff des „grauen Stars“ eingebürgert, da Erkrankte durch ihren starren Blick auffielen [59] [126].

2.2 Epidemiologie der Katarakt

Die Linsentrübung ist eine sehr häufige Erkrankung und die Kataraktoperation ist die am meisten durchgeführte Operation [110]. Weltweit sind etwa 20 Millionen Menschen an einer Katarakt erblindet. (nach WHO-Klassifikation Definition der Sehschärfe $\leq 0,05$) [35] [63].

In den industrialisierten Ländern implantiert man nach operativer Entfernung der senilen Katarakt mit einer Häufigkeit von bis zu 95% eine intraokulare Kunststofflinse. Aufgrund der bei Kinderaugen fehlenden Langzeitergebnisse bezüglich der Verträglichkeit besteht auch heute noch große Zurückhaltung bei der Implantation dieser Linsen in kindliche bzw. jugendliche Augen [134].

3. Einteilung der Katarakt

Die Einteilung der Katarakt kann nach der Morphologie, nach dem jeweiligen Entwicklungsstadium, nach dem Manifestationsalter, nach der Ätiologie und nach der Lokalisation der Trübung vorgenommen werden [61].

3.1 Morphologische Einteilung der Katarakt

Je nach Manifestationsort der Katarakt wird morphologisch zwischen einer kapsulären, subkapsulären, kortikalen und einer nukleären Katarakt unterschieden [82].

3.2 Einteilung der Katarakt nach ihrem Manifestationsalter

3.2.1 Kongenitale Katarakt

Die kongenitale Katarakt manifestiert sich vor der Geburt und ist bereits beim Neugeborenen sichtbar. Manchmal kann sie schon pränatal mit Hilfe des Ultraschalls diagnostiziert werden [29]. Zu den häufigsten und schwersten Folgen einer Cataracta congenita zählen die hochgradige Amblyopie oder sogar die Erblindung des Neugeborenen.

Kongenitale Katarakte können sich einseitig und beidseitig manifestieren. Zu den Ursachen der kongenitalen Katarakt zählen beispielsweise genetische Mutationen, Infektionserkrankungen während der ersten 3 Monate der Schwangerschaft [102], Chromosomenabberationen und Stoffwechselerkrankungen [94].

3.2.2 Erworbene Katarakt

Die erworbene Katarakt wird in 3 Formen unterteilt: die juvenile Katarakt, die präsenile Katarakt und die senile Katarakt:

Juvenile Katarakt

Diese Kataraktform ist vererbbar und manifestiert sich im Zeitraum zwischen dem 3. Lebensmonat und der Adoleszenz [29].

Morphologisch können zwei Formen unterschieden werden: die *Cataracta coronaria* und die *Cataracta coerulea*. Der Visus bleibt bei den juvenilen Kataraktformen oft unbeeinträchtigt, da sich die Trübungen meist in der Peripherie befinden [127].

Präsenile Katarakt

Diese Variante der Katarakt manifestiert sich zwischen der Adoleszenz und dem mittleren Lebensalter. Man kann diese Form als eine vorgezogene senile Katarakt bezeichnen. Die Linsentrübung findet sich entweder in der Rinde oder im Linsenkern, ist progredient und führt mit zunehmendem Voranschreiten zur Visusverschlechterung [29].

Senile Katarakt

Die senile Katarakt ist multifaktoriell bedingt und beschreibt die physiologische Alterung mit Eintrübung der Linse. Sie ist weltweit die häufigste Erblindungsursache [128].

Die senile Katarakt schreitet individuell mit unterschiedlicher Geschwindigkeit fort. Der Prozess vom Beginn der Katarakt (*Cataracta incipiens*) bis zur vollständigen Trübung der Linse (*Cataracta matura*) kann sich über Monate bis Jahre entwickeln. Die senile Katarakt tritt überwiegend beidseits auf [98].

3.3 Einteilung der Katarakt nach ihrer Reife

- I. *Cataracta incipiens*: beginnende Katarakt mit leichten peripher beginnenden Linsentrübungen [62] [98]
- II. *Cataracta provecta*: fortgeschrittene Linsentrübung
- III. *Cataracta immatura* oder *praematura*: partiell getrübe Linse mit zunehmendem Visusverlust (beim Augenspiegeln ist ein roter Fundusreflex erkennbar)
- IV. *Cataracta matura*: komplett getrübe Linse (es ist kein roter Fundusreflex mehr erkennbar)
- V. *Cataracta hypermatura*: infolge von Wasserverlusten des Linsengewebes kann die Linsenkapsel schrumpfen und sich fälteln oder infolge einer Verflüssigung der Linse kann der dichte Linsenkern nach unten absinken [62] [83] [99]

3.4 Sonderformen der Katarakt

3.4.1 Katarakt bei systemischen Erkrankungen und bei Begleiterkrankungen

Es gibt Erkrankungen, bei denen die Linsentrübung früh als diagnostisches Zeichen auftreten kann.

Sonderformen können bei Diabetes mellitus, bei Myotonischer Dystrophie, Infrarotstrahlung [85] [107], bei Medikamentengaben wie Kortison [86] [108] oder Chlorpromazin [86] und nach Traumen [34] [84] [107] beobachtet werden.

Auch länger verlaufende Augenerkrankungen, wie z.B. die Heterochromiecyclitis, der Morbus Boeck, die Retinopathia pigmentosa, eine Retinitis oder Erkrankungen des rheumatischen Formenkreises können eine Katarakt verursachen [106].

3.5 Nachstar (Cataracta secundaria)

Die Cataracta secundaria ist gekennzeichnet durch Trübungen von Anteilen der Vorder- und/oder Hinterkapsel nach erfolgter extrakapsulärer Kataraktextraktion. Man unterscheidet verschiedene Formen: die Kapsel­fibrose, den regenerativen Nachstar und die Soemmering-Katarakt [31].

Die Inzidenz der Cataracta secundaria liegt innerhalb der ersten beiden Jahre nach einer extrakapsulären Kataraktextraktion bei ca. 25% [101].

Die heute verwendeten faltbaren Intraokularlinsen aus hochrefraktiven Silikonmaterialien und hydrophoben Acrylaten sollen die Nachstarbildung reduzieren.

4. Anatomie der Linse

4.1 Embryologie

Der Sitz der Linse ist hinter der Iris und vor dem Glaskörper. Entwicklungsgeschichtlich entstammt die Linse zusammen mit dem vorderen Korneaepithel dem Oberflächenektoderm. Die Entwicklung des Auges beginnt noch vor dem Verschluss des Neuralrohres am Ende der 3. Embryonalwoche mit der Bildung der Augengrube. Dabei verdickt sich das Ektoderm auf beiden Seiten des späteren Diencephalons und sinkt zu einer Grube ein. In der 4. Entwicklungswoche buchten sich diese verdickten Gewebeteile zum Augenbläschen aus, welches über den Augenstiel mit dem Diencephalon verbunden bleibt. Wiederum eine Woche später, in der 5. Embryonalwoche, stülpt sich das Augenbläschen ein – der doppelwandige Augenbecher ist entstanden. Aus diesem entwickelt sich im Laufe der Embryonalperiode die Retina. Die Entwicklung der Linse beginnt mit der Ausbildung der Linsenplakode. Diese entsteht, induziert durch das Augenbläschen, durch Zellverdichtungen des angrenzenden Oberflächenektoderms. Gleichzeitig mit der Entwicklung des Augenbechers sinkt die Linsenanlage zur Linsengrube ein. Ebenfalls noch in der 5. Entwicklungswoche schnürt sich das Linsenbläschen vom Oberflächenektoderm ab und wird vom Rand des Augenbechers umfasst. Die Zellen an der Rückwand des Linsenbläschens bilden die Linsenfasern. Sie wachsen in die Länge, so dass sie schrittweise die Lichtung des Augenbläschens füllen. Bis zum 20. Lebensjahr entstehen am Äquator der Linse neue Linsenfasern, die ebenso in die Länge wachsen. Während ihrer Entwicklung wird die Linse durch die Glaskörperarterie versorgt. Der frei durch den Glaskörper ziehende Anteil dieser Arterie bildet sich um den 6. Entwicklungsmonat zurück – aus dem verbleibenden Rest entwickelt sich die Arteria centralis retinae [113].

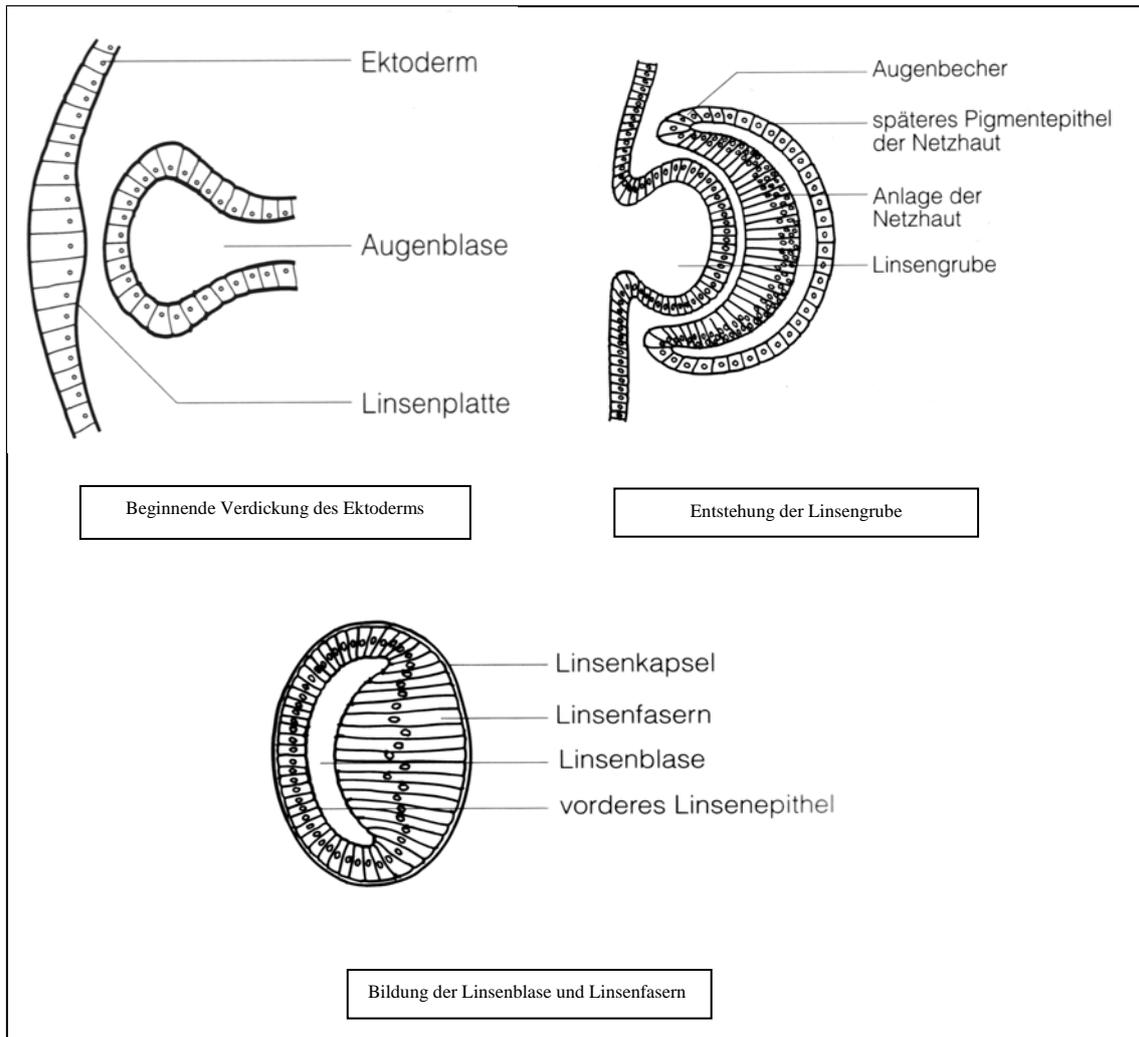


Abbildung 1: Entwicklung der Linse [126]

4.2 Die Linse im adulten Alter

Die Linse hat eine bikonvexe Form und ist physiologisch glasklar. Sie besitzt einen äquatorialen Durchmesser von 9,0 mm und eine Dicke von 4,0 bis 4,8 mm, welche mit dem Alter allerdings deutlich zunehmen kann. Die Linsenvorderfläche ist mit 8,4 mm bis 13,8 mm Krümmungsradius etwas schwächer gekrümmt als ihre Hinterfläche mit 4,6 mm bis 7,5mm [26].

Das Linsengewicht nimmt aufgrund des lebenslangen Wachstums mit dem Alter zu. So liegt es bei der Geburt bei ca. 65 mg, mit 20 Jahren bei etwa 175 mg, während es im Alter von 80 Jahren etwa 260 mg beträgt [32].

Der Brechungsindex der menschlichen Linse ist anhängig vom Akkomodationszustand und beträgt ca. 1,41 [26]. Die Brechkraft der Linse liegt bei etwa 19 Dioptrien.

Die Linse besteht aus einer Kapsel, einer Rinde, einem Linsenkern und besitzt weder Nerven noch Gefäße. Am Linsenäquator, direkt unter der Linsenkapsel, befindet sich einschichtiges Linsenepithel. Dieses bildet im Laufe des Lebens neue Linsenfasern, die sich durch appositionelles Wachstum den älteren Linsenfasern von außen her auflegen [104]. Die Enden dieser Fasern bilden beim Neugeborenen an der Vorderseite und an der Rückseite je einen dreistrahligen Stern. Beide Sterne sind um ca. 60 Grad gegeneinander verdreht. Den Schalenbau der Linse kann man an der Spaltlampe sehen [114]. Die Linsenfasern stellen die Linsenrinde dar. Verbunden mit dem lebenslangen Wachstum neuer Linsenfasern nimmt durch Wasserabgabe und Verdichtungen der Anteil der Linsenrinde stetig ab, während der Anteil des Linsenkerns zunimmt. Diesen Vorgang bezeichnet man als Linsensklerosierung. Aufgrund dessen verliert die Linse einen Teil ihrer Fähigkeit zur Formveränderung. So kann sie in der Jugend fast eine Kugelform annehmen, im höheren Alter hingegen ist ihre Form nahezu starr [104].

Die Linse ist mit ihren Zonulafasern am Ziliarkörper verankert. Diese Fasern entspringen der vorderen und hinteren Linsenkapsel und inserieren in den Buchten der Pars plicata des Ziliarkörpers [50].

5. Emmetropie und Ametropien

5.1 Emmetropie

Das emmetrope Auge vereinigt durch die Brechkraft der Hornhaut und der Linse parallel einfallende Lichtstrahlen in der Fovea centralis der Netzhaut. Der Fernpunkt liegt im Unendlichen [64]. Um in der Nähe scharf zu sehen, muss die Brechkraft des optischen Systems des Auges durch Akkommodation erhöht werden [137].

5.2 Myopie

Die Myopie ist durch einen im Verhältnis zu seiner Brechkraft zu langen Bulbus gekennzeichnet [139]. Der Brennpunkt parallel einfallender Strahlen liegt vor der Netzhaut im Glaskörper, so dass in der Fovea durch die nun schon divergierenden Strahlen ein unscharfes Bild abgebildet wird. Der entfernteste Punkt (Fernpunkt), den das myope Auge gerade noch scharf darstellen kann, liegt im Endlichen. Der myope Patient sieht ohne korrigierende Sehhilfen in der Ferne unscharf [52].

Man unterscheidet zwei Ursachen der Myopie: die Brechungsmyopie und die Achsenmyopie. Bei der Brechungsmyopie ist die Brechkraft bei normaler Bulbuslänge zu hoch – bei der Achsenmyopie ist bei normaler Brechkraft die Augenachse zu lang [135]. Ein etwa 1 mm zu langer Bulbus ist etwa 3 Dioptrien myop [52].

5.3 Hypermetropie

Die Hypermetropie ist durch einen Bulbus, der im Verhältnis zu seiner Brechkraft zu kurz ist, gekennzeichnet. Der Brennpunkt parallel einfallender Lichtstrahlen liegt hinter der Netzhaut [53]. Vergleichbar mit der Myopie gibt es auch bei der Hypermetropie zwei Ursachen. Die erste ist die fast immer angeborene Achsenhypermetropie. Hierbei ist die Brechkraft des Auges normal,

die Bulbusachse aber zu kurz. Die zweite Ursache ist die seltenere Brechungshypermetropie, bei der das Auge eine normale Länge besitzt, die Brechkraft des optischen Systems aber zu gering ist. Der Hyperope muss schon beim Blick in die Ferne akkomodieren [138].

5.4 Astigmatismus

Der Astigmatismus ist eine Krümmungsanomalie der brechenden Medien – Hornhaut oder Linse. Dabei wird das Licht in einem Meridian stärker gebrochen als in dem senkrecht dazu stehenden. Die unterschiedliche Wölbung bedingt die nichtpunktuelle, strichförmige Abbildung von Gegenständen auf der Netzhaut (Astigma = ohne Punkt). Es werden diverse Astigmatismusformen unterschieden:

5.4.1 Einteilung nach dem Ort des Astigmatismus

Dieser Gruppe gehören der häufig auftretende Hornhautastigmatismus und der seltenere Linsenastigmatismus an.

5.4.2 Einteilung in regulären und irregulären Hornhautastigmatismus

Der reguläre Astigmatismus ist gekennzeichnet durch unterschiedlich starke Brechungen in zwei zueinander senkrecht stehenden Meridianen. Sofern die Brechung des einfallenden Lichtes im vertikalen Meridian stärker ist als im horizontalen, spricht man von einem Astigmatismus „nach der Regel“. Dieser ist physiologisch, wenn der Unterschied der Brechkraft 0,75 Dioptrien nicht überschreitet. Der reguläre Astigmatismus wird durch Druck des Oberlides auf die Hornhaut ausgelöst und verursacht in der Regel keine Sehbeeinträchtigung. Trifft der entgegen gesetzte Fall zu und im horizontalen Meridian wird stärker gebrochen als im vertikalen, liegt ein Astigmatismus „gegen die Regel“ vor [140]. In jedem der beiden Meridiane wird Licht unterschiedlich stark gebrochen, so dass ein punktförmiger Gegenstand aus der Umwelt linienartig

oder unscharf auf der Netzhaut abgebildet wird [54]. Bei dem Astigmatismus obliquus liegen die Meridiane schräg [27].

Besitzen verschiedene Hornhautanteile unterschiedliche Wölbungen und Brechkräfte, so spricht man von einem irregulären Astigmatismus. Er kann nach Hornhautulzerationen, bei Hornhautnarben, durch einen Keratokonus oder im Rahmen einer Katarakt mit nicht homogenen Trübungen entstehen.

5.4.3 Einteilung nach dem Aufbau des Astigmatismus

I. Einfacher myoper oder hypermetroper Astigmatismus

Bei dieser Form des Astigmatismus ist ein Hauptmeridian emmetrop und der senkrecht dazu stehende myop bzw. hypermetrop.

II. Zusammengesetzter myoper oder hypermetroper Astigmatismus

Der zusammengesetzte myope oder hypermetrope Astigmatismus ist durch unterschiedlich starke myope oder hypermetrope Meridiane (= Ebenen) gekennzeichnet.

III. Gemischter Astigmatismus

Beim Astigmatismus mixtus ist ein Hauptmeridian hypermetrop während der andere myop ist.

5.4.4 Diagnose des Astigmatismus

Die Diagnose des Hornhautastigmatismus kann relativ einfach mit Hilfe der Placido-Scheibe gestellt werden [141]. Die Scheibe besteht aus konzentrisch angeordneten schwarzen und weißen Kreisen und enthält ein zentrales Loch. Von der Rückseite her schaut der Arzt bei der Untersuchung durch dieses Loch hindurch. Führt man die Scheibe näher an das zu untersuchende Auge des Patienten, so kann man die sich auf der Hornhaut spiegelnden Kreise

erkennen, welche sich ohne Astigmatismus kreisrund darstellen. Liegt beim Patienten ein regelmäßiger Astigmatismus vor, so spiegeln sich die Kreise oval. Spiegeln sich die Kreise der Placido-Scheibe jedoch unregelmäßig verzerrt wieder, so besteht ein irregulärer Astigmatismus [56]. Exaktere Methoden zur Bestimmung des Ausmaßes eines Astigmatismus sind die Ophthalmometrie und die computergestützte Hornhauttopographie [141]. Mit Hilfe des Ophthalmometers können die Hornhautradien in den verschiedenen Achsen gemessen und so ihre Brechkraft bestimmt werden. Dabei werden vom Untersucher die Spiegelbilder zweier Leuchtfiguren durch ein Okular beobachtet. Nun kann der Untersucher den Abstand der Figuren so verändern, dass diese sich gerade überdecken. Die Hornhautbrechkraft in Dioptrien kann nun unmittelbar am Gerät abgelesen werden. Der Gesamtastigmatismus besteht nicht immer nur aus dem Hornhautastigmatismus, sondern in einigen Fällen auch aus dem Linsenastigmatismus. Zur Bestimmung des Gesamtastigmatismus bedient sich der Augenarzt der Skiaskopie oder eines Refraktometers [57].

5.5 Presbyopie

Die Presbyopie bezeichnet den Zustand des fortschreitenden Verlustes des Akkomodationsvermögens mit zunehmendem Lebensalter. Diese Tatsache beruht auf einer fortschreitenden physiologischen Sklerosierung und dem damit verbundenen Elastizitätsverlust der Linse [58]. Die Akkomodationsbreite nimmt im Laufe des Lebens ständig weiter ab. So kann ab einem Alter von ca. 45 Jahren ein Gegenstand in 35 cm Entfernung oder näher nicht mehr scharf auf der Retina abgebildet werden. Der Patient bemerkt die Presbyopie meist erst ab einem Akkomodationsvermögen von unter 3 Dioptrien – er hat Schwierigkeiten beim Lesen. Patienten mit Hypermetropie müssen schon beim Blick in die Ferne akkomodieren, weswegen sie früher als myope Patienten presbyope Beschwerden bekommen [136].

6. Korrekturmöglichkeiten der Ametropien

6.1 Hypermetropiekorrektur

Die Hypermetropie wird durch eine vorgeschaltete Sammellinse (Plusglas) ausgeglichen. Dadurch werden einfallende Lichtstrahlen stärker gebrochen – der Brennpunkt liegt auf der Netzhaut in der Fovea centralis. Eine andere Korrekturmöglichkeit der Hypermetropie besteht in der Anpassung von Kontaktlinsen. Diese gibt es als „harte“ (formstabile) und/oder „weiche“ Kontaktlinsen.

Neben den konservativen/ nicht-invasiven Korrekturmöglichkeiten besteht die Möglichkeit einer operativen/ invasiven Therapie der Hypermetropie. Zu diesen Methoden zählt die photorefraktive Keratektomie (PRK), bei der mit dem Excimerlaser Hornhautgewebe genau in einer bestimmten Tiefe ablatiert werden kann. Weiterhin finden die Laser-epitheliale-Keratomileusis (LASEK) und die Laser-in-situ-Keratomileusis (LASIK) Anwendung (siehe Punkt 6.3.2.1). Während sich mittels der PRK und der LASEK nur leichte Hypermetropien korrigieren lassen, kann mit Hilfe der LASIK eine Hypermetropie von bis zu 4 Dioptrien ausgeglichen werden.

6.2 Myopiekorrektur

Wie die Hypermetropie können zum Ausgleich der Myopie konservative und operative Verfahren angewendet werden. Zu den konservativen Verfahren gehören die Ordination einer entsprechenden Brille (Konvexgläser bzw. Minusgläser) sowie „harter“ oder „weicher“ Kontaktlinsen. Der Myope profitiert im Gegensatz zum Hyperopen zusätzlich von Kontaktlinsen, da mit diesen im Gegensatz zur Brillenkorrektur ein größeres Bild auf die Netzhaut projiziert wird. Operative Möglichkeiten der Myopiekorrektur sind analog zur Hypermetropiekorrektur die PRK, die LASEK und die LASIK (siehe Punkt 6.3.2.1).

6.3 Prinzipien der Hornhautastigmatismuskorrektur

Die Therapie des Astigmatismus beinhaltet je nach Ursache eine Vielzahl von Möglichkeiten. Der reguläre Astigmatismus sollte korrigiert werden, sobald er asthenopische Beschwerden verursacht oder der Visus durch den Brechungsfehler herabgesetzt ist [97]. Wird der irreguläre Astigmatismus nicht oder nicht rechtzeitig ausgeglichen, muss bei Kindern mit einer Refraktionsamblyopie (Schwachsichtigkeit) gerechnet werden. Die Korrektur des Hornhautastigmatismus lässt sich in nicht-invasive und invasive Korrekturverfahren einteilen.

6.3.1 Nicht-invasive Hornhautastigmatismuskorrektur

6.3.1.1 Nicht-invasive Hornhautastigmatismuskorrektur durch Brillengläser

Da beim Astigmatismus ein punktförmiges Objekt als Strich wahrgenommen wird, benötigt man Brillengläser, welche die Brechungsanomalie der Hornhaut ausgleichen.

Die Therapie des einfachen myopen oder hypermetropen Astigmatismus erfolgt mit einem Zylinderglas. Dieses Glas bricht nur in einer bestimmten Richtung. Die Achse des Zylinders gibt dabei die nicht brechende Richtung an.

Zum Ausgleich des zusammengesetzten myopen oder hypermetropen Astigmatismus wird zunächst der sphärische Refraktionsfehler korrigiert. Danach versucht man den Astigmatismus mit Hilfe eines Zylinderglases zu korrigieren. Diese Kombination von Gläsern wird später in einem Brillenglas vereint. Die Therapie des gemischten Astigmatismus erfolgt ebenfalls mit sphärozyklindrischen Gläsern [55].

Gerade bei höheren Astigmatismen ist eine Korrektur mit Brillengläsern schwierig, da bereits kleine Dezentrierungen der Gläser zu einem Wirkungsverlust führen können. Stärkere Brillengläser sind oftmals schwerer und haben demzufolge einen schlechten Tragekomfort.

6.3.1.2 Nicht-invasive Hornhautastigmatismuskorrektur durch Kontaktlinsen

Kontaktlinsen befinden sich unmittelbar auf der Hornhautoberfläche – sie schwimmen beweglich im präcornealen Tränenfilm. Bei fachgerechter Anpassung, sorgsamer Pflege und ausreichendem Tränenfilm sind sie meist gut verträglich. Man unterscheidet formstabile („harte“) von „weichen“ Kontaktlinsen. Formstabile Kontaktlinsen werden aus einem Kunststoffgemisch, meist PMMA mit Copolymeren, hergestellt. Sie sind mit einem Durchmesser von 8-10 mm kleiner als die Hornhaut. Weiche Kontaktlinsen bestehen meist aus Hydroxyethylmethacrylat (HEMA), Silikon und Copolymeren. Ihr Durchmesser beträgt 12,5 mm bis 16 mm. Sie sitzen corneoskleral. Zur Korrektur des Astigmatismus sind in der Regel besonders harte Kontaktlinsen gut geeignet [65] [136]. Ein irregulärer Astigmatismus kann mit einer weichen torischen Kontaktlinse meist nicht effektiv ausgeglichen werden. Reguläre Astigmatismen können sowohl durch harte als auch durch weiche torische Kontaktlinsen korrigiert werden.

Auch höhere Astigmatismen sind durch speziell gefertigte bitorisch-kompensierte Kontaktlinsen gut zu versorgen.

Zu den Vorteilen der Kontaktlinsenkorrektur zählt die optisch exaktere Abbildung, da der Hornhaut-Scheitel-Abstand entfällt. Beim Seitwärtsblick kommt es zu keiner prismatischen Ablenkung. Eine mögliche Gesichtsfeldeinschränkung durch die Brille entfällt.

Nachteile von Kontaktlinsen sind die eingeschränkte Nutzbarkeit bei Störungen des Tränenfilms und bei Entzündungen der vorderen Augenabschnitte sowie deren mögliche Störung des Hornhautstoffwechsels. Die meisten Kontaktlinsen zum Astigmatismausgleich sind pflegeintensiver als Brillen. Ihre Handhabung ist nicht oder nicht mehr von allen Patienten problemlos durchführbar. Besonders ältere Patienten scheitern dabei oftmals an ihren Grunderkrankungen (Rheuma, Arthrose, schlechtes Sehvermögen, Polyarthrit, Morbus Parkinson, schlechter Allgemeinzustand etc.).

6.3.2 Invasive Hornhautastigmatismuskorrektur

Invasive Verfahren zur Behandlung des Astigmatismus sind die ablativen Techniken mittels Laser und die operativen Verfahren.

6.3.2.1 Hornhautastigmatismuskorrektur durch Laseroberflächenablation

Die Entwicklung des Excimerlasers durch Trokel und Srinivasan 1983 eröffnete eine neue Methode zur Behandlung des Hornhautastigmatismus. Erste Versuche dazu fanden an tierischen Augen statt. Dabei war die Korrektur der sphärischen Ametropien das primäre Ziel. Bereits 1985 führte Seiler die erste photorefraktive Keratektomie an einem blinden und 1987 an einem sehenden menschlichen Auge durch [7]. Excimerlaser arbeiten mit Kaltlicht im ultravioletten Bereich. Nach Entfernen des Epithels werden die oberflächlichen Schichten der Hornhaut ablatiert (Photorefraktive Keratektomie = PRK). Mit Hilfe der PRK ist eine Korrektur des Hornhautastigmatismus von bis zu 3 Dioptrien möglich.

Pallikaris et al. stellten 1990 mit der Laser in situ Keratomileusis (LASIK) ein der PRK überlegenes Verfahren vor. Sie kombinierten die Vorzüge der Keratomileusis mit denen des Excimerlaser-Verfahrens. Bei der LASIK wird eine dünne Hornhautlamelle (Flap) mittels Mikrokeratom von der Hornhaut getrennt und wie ein Scharnier aufgeklappt. Im Anschluss werden durch Laserablation, je nach bestehender Ametropie, Teile des Hornhautstromas abgetragen. Zum Schluss kann der Flap wie ein körpereigenes Pflaster auf die entstandene Wunde zurückgeklappt werden. Ein Vernähen der Lamelle mit der restlichen Hornhaut ist nicht nötig, da sie spontan haftet und die Schnittstellen innerhalb der ersten Tage verwachsen. Die LASIK erlaubt Korrekturen des Hornhautastigmatismus von bis zu 5 Dioptrien.

Eine Weiterentwicklung bzw. Modifikation der Standard-PRK stellt die Laser epithelial Keratomileusis (LASEK) dar. Sie ist eine Abwandlung der LASIK. Im Gegensatz zur LASIK wird bei der LASEK nur das Hornhautepithel alkoholisch abgelöst. Die entstandene Epithellamelle wird analog der LASIK

zurückgeschlagen um das gewünschte Hornhautstroma zu ablädieren. Der entstandene Hornhautdefekt wird durch eine Verbandslinse bis zur vollständigen Reepithelialisierung bzw. Abheilung abgedeckt. Dieses Verfahren wurde erstmals von Dimitri Azar 1996 in Boston durchgeführt und erlaubt eine Korrektur des Hornhautastigmatismus von bis zu 3 Dioptrien.

Indikationen zur refraktiven Chirurgie stellen eine unbefriedigende Brillenkorrektur bzw. Brillenintoleranz, eine Kontaktlinsenunverträglichkeit oder die Notwendigkeit eines brauchbaren unkorrigierten Visus (z.B. bei Piloten) dar. Viele Patienten entscheiden sich aufgrund „kosmetischer“ Gesichtspunkte für die refraktive Chirurgie. Sie möchten ohne Brille leben.

Zu den Komplikationen der refraktiven Hornhautchirurgie zählen vor allem die Hornhauttrübung (Haze) mit Halos, Schmerzen und die langsam verheilenden Epitheldefekte bei der PRK. Epithelheilungsstörungen bei der LASEK sowie Faltenbildung, Amputation oder Distorsion des Flaps bei der LASIK können als Komplikationen auftreten.

6.3.2.2 Hornhautastigmatismuskorrektur durch operative Verfahren

1953 präsentierte Sato erstmals die radiäre Keratotomie als operatives Verfahren zur Reduktion des Hornhautastigmatismus. Grundgedanke war, mit Hilfe von 40 – 45 Inzisionen, die Myopie zu verringern. Durch die senkrecht zum Limbus ausgeführten Schnitte flachte die Hornhaut ab. Es zeigte sich, dass diese Keratotomien ebenfalls den Astigmatismus beeinflussten. Diese Methode und deren Wirkung ist ungenau und schlecht zu dosieren.

Ein weiteres operatives Verfahren der Astigmatismusreduktion der Hornhaut besteht in einer bogenförmigen Keratotomie. Hierbei werden paarweise gegenüberliegende Inzisionen in der Achse des steilen Meridians angelegt um eine Abflachung in diesem Bereich zu erzielen. Verbunden mit der Versteilung des im 90 Grad dazu liegenden flachen Meridians soll eine Astigmatismusreduktion erreicht werden. Bei ausgeprägten Astigmatismen kann die bogenförmige Keratotomie mit Kompressionsnähten kombiniert werden. Durch Veränderung der Länge und Tiefe der Inzisionen kann das

Operationsergebnis abweichen. Dieses Verfahren macht man sich auch in der Kataraktchirurgie zu Nutze. Es zeigte sich in Nachuntersuchungen Katarakt operierter Augen, dass es im Heilungsverlauf häufig zu einer Verschiebung des Astigmatismus kam. Mit Hilfe dieses Verfahrens der Arcuate incision (limbusparallele bogenförmige Keratotomie) kann der Hornhautastigmatismus bis ca. 3 Dioptrien korrigiert werden [7] [28] [91] [148].

Eine neue Therapieoption bietet die Implantation torischer Intraokularlinsen (tIOLs). Diese Linsen können für verschiedene Einsatzmöglichkeiten gefertigt werden, beispielsweise als torische Hinterkammerlinsen zur Implantation in aphaken Augen oder im Rahmen einer geplanten Kataraktoperation. Weitere Typen sind torische irisfixierte Intraokularlinsen, die akzessorisch zu den Anwendungsgebieten der torischen Hinterkammerlinsen auch in phake Augen implantiert werden können. Als dritte Gruppe seien die torischen „Add-on“-Intraokularlinsen (sog. Piggyback-Linsen) genannt, die im Sulkus vor der hinterkapsel fixierten Linse platziert werden und deren Hauptindikation die intraokulare Nachkorrektur pseudophaker Augen ist [6].

Torische Intraokularlinsen bieten den Vorteil der genauen Berechnung und Dosierbarkeit beim Ausgleich des Astigmatismus. Sie sind im Gegensatz zu den Hornhautschnitttechniken refraktionsstabiler. Das Hornhautendothel wird, zumindest bei einem peripheren Zugang, nur unwesentlich geschädigt. Des Weiteren ist das Verfahren reversibel und kann auch genutzt werden, wenn andere refraktive chirurgische Verfahren kontraindiziert sind (z.B. LASIK bei dünner Hornhaut). Während sich mit Hilfe der refraktiven Hornhautchirurgie nur geringe Astigmatismen (bis ca. 3 Dioptrien) korrigieren lassen, sind torische Intraokularlinsen bei vielen Herstellern standardmäßig bis ca. 12 Dioptrien lieferbar. Mit Spezialanfertigungen ist ein Astigmatismusausgleich von bis zu 30 Dioptrien möglich [109] [154].

Die häufigste unerwünschte Nebenwirkung torischer Intraokularlinsen ist die postoperative Drehung und damit die Abschwächung bzw. der Verlust der Astigmatismus korrigierenden Wirkung. Aus diesem Grund beschäftigen sich in den letzten Jahren zunehmend mehr Studien mit diesem Thema. Es wird versucht das Linsendesign so zu verbessern und so zu optimieren, dass ein

möglichst stabiles postoperatives Rotationsverhalten torischer Intraokularlinsen gewährleistet werden kann. Bei der Implantation torischer Intraokularlinsen können die in der Kataraktchirurgie bekannten Komplikationen wie Verletzungen der Linsenkapsel, intraokulare Blutungen oder der Verlust der Linse in den Glaskörperraum auftreten. Auch eine Netzhautablösung oder die Bildung eines Makulaödems sind möglich. Wie bei allen anderen bulbuseröffnenden Operationen stellt die intraokulare Infektion eine der schwerwiegendsten und gefürchtetsten Komplikationen dar.

6.4 Presbyopiekorrektur

Die Therapie der Presbyopie ist so einfach wie effektiv. Sie besteht in der Korrektur der Fehlsichtigkeit mittels Sammellinsen (sog. Lesebrillen), Mehrstärkenbrillen (Bifokal- bzw. Gleitsichtbrille) oder Mehrstärkenkontaktlinsen. Dabei richtet sich die Stärke der Korrektur nach Alter und Leseabstand [136]. Seit einigen Jahren werden zum Ausgleich der Presbyopie multifokale Intraokularlinsen implantiert.

7. Kataraktchirurgie

7.1 Geschichte der Kataraktchirurgie

Die Historie der Kataraktchirurgie ist interessant und lässt sich über einen langen Zeitraum zurückverfolgen. Erstmals wurden vor über 3000 Jahren Anweisungen für Augenoperationen in den Gesetzestafeln des Hammurapi (*1728 v. Chr. † 1686 v. Chr.) abgefasst [70].

Später, im alten Ägypten und in Mesopotamien, begannen die ersten Aufzeichnungen über die Kataraktchirurgie [75]. Diese wurden viele Jahrhunderte bis zu Zeiten von Alexander dem Großen aufbewahrt und später von den Griechen überliefert [73].

Weitere authentische Aufzeichnungen über die Kataraktchirurgie entstammen den Sanskrit-Manuskripten, die wahrscheinlich von Sushruta [147], einem indischen Arzt des frühen 6. Jh. v. Chr., verfasst wurden. Er beschrieb weit über 300 Operationen, darunter auch die Staroperation sowie 121 Operationsinstrumente. In dieser Zeit wurden umfassende anatomische und morphologische Erkenntnisse durch Sektionen gewonnen. Sushruta gab schon zu seiner Zeit die Empfehlung Operationen aseptisch durchzuführen [70].

Sofern man die indischen Quellen überhaupt zurückverfolgen bzw. datieren kann, entwickelten sich die Vorstellungen der klassischen Hindumedizin zwischen 700 und 200 v. Chr. [1].

In der Literatur der klassischen babylonischen, griechischen und der antiken ägyptischen Kultur wurden keine Aufzeichnungen über die operative Behandlung der Katarakt gefunden. Erstaunlicherweise finden sich selbst in den über 70 Schriften des Hippokrates (*460 v. Chr. † um 370 v. Chr.) keine Ausführungen über die Kataraktchirurgie.

Celsus (*25 v. Chr. † um 50 v. Chr.) verfasste die medizinische Enzyklopädie „De Medicina“ oder „Acht Kapitel über Medizin“, in der er detailliert die Techniken des Nadelns bzw. der Diszision von Katarakten beschrieb. Im Jahre 1455 wurden diese vom späteren Papst Nikolaus V. zufällig wieder entdeckt und Celsus erlangte endlich das Ansehen, das ihm gebührte [76].

Ali ibn Isa, genannt Jesus Haly (um 1010 n. Chr. gestorben), Arzt in Bagdad, vermochte möglicherweise bereits eine intrakapsuläre Linsenentfernung durchzuführen [77].

Avenzoar (*1109 n. Chr. † 1162 n. Chr.) vertrat in seinem Theisir noch die Meinung, dass die Extraktion der Linse zur Katarakttherapie unmöglich sei und dass die einzige durchführbare Behandlung die Reklination wäre. Diese Lehrmeinung hatte leider bis Mitte des 17. Jahrhunderts im mittelalterlichen Europa Bestand.

Im 16. Jahrhundert vollführte Georg Bartisch (*1535 † 1607), Hofokulist in Dresden, den Starstich mit der linken oder rechten Hand am sitzenden Patienten. Er operierte stets am Bett und nicht mehr auf dem Marktplatz. Dabei „versenkte“ er die getrübte Augenlinse in der Tiefe des Glaskörpers. Durch diese einfache aber wirkungsvolle Maßnahme fielen die Lichtstrahlen wieder ungehindert auf die Netzhaut. Sein bedeutendstes Werk war „Ophthalmoduleia, das ist der Augendienst“ [74] [78].

Ein Jahrhundert später schlug Benito Danza de Valdés (*1591), Arzt in Sevilla, vor, dass nach einer Staroperation Brillen mit konvexen Linsen zu benutzen seien [79].

Behauptungen zufolge entfernte Stephan Blaukaart, ein Schüler des grandiosen Franciscus Sylvius von Lyden, im Jahre 1668 eine Katarakt durch korneale Inzision [3].

1707 entband der berühmte französische Augenarzt Charles de Saint-Yves (* 1667 † 1736) eine opake Linse transkorneal [68] aus einem lebenden Auge, nachdem diese bei einer Reklinationsoperation in die Vorderkammer disloziert war [142].

Als erster Chirurg führte Jacques Daviel (*1693 † 1762) im Jahre 1745 eine geplante Kataraktextraktion aus ihrer natürlichen Position hinter der Iris durch. Mit seinen neuen Techniken sollte Daviel die Kataraktchirurgie revolutionieren [80].

1765/66 zeigte der aus Mailand stammende Okulist Felice Tadini [39] dem Venezianer Giacomo Casanova (*1725 † 1798) einen künstlichen Linsenersatz

– wahrscheinlich aus Bergkristallen, den er nach Extraktion der Katarakt in die noch erhaltene Linsenkapsel einpflanzen wollte [33].

Die Verwirklichung dieses Konzeptes ist Harold Ridley (*1906 † 2001) erst 183 Jahre später im Jahre 1949 gelungen [8].

7.1.1 Erste Generation von Intraokularlinsen

Die erste erfolgreich durchgeführte Implantation einer Kunstlinse gelang Harold Ridley nach dem zweiten Weltkrieg im St. Thomas Hospital in London. Ridley untersuchte während des 2. Weltkrieges verwundete Piloten und fand heraus, dass Acrylglas aufgrund der Reizfreiheit ein geeignetes Implantationsmaterial für Kunstlinsen wäre. Die Idee der Implantation von Polymethylmethacrylatlinsen (PMMA) war geboren. 1949 implantierte Harold Ridley, nach erfolgter extrakapsulärer Kataraktextraktion, eine Intraokularlinse aus PMMA in den Kapselsack. Diese Linse entsprach weitestgehend der natürlichen Linsenform.

Zu den häufigsten Komplikationen, die nach dieser Implantationstechnik auftraten, zählten Reizerscheinungen und Linsenluxationen, da die erste Generation der PMMA-Linsen relativ schwer war und über keinerlei Stützen oder Aufhängevorrichtungen (Haptiken) verfügte [41]. Es begann die Suche nach anderen möglichen Fixationsorten intraokularer Kunstlinsen.

Aus diesen Gründen wurde die zweite Generation der Intraokularlinsen entwickelt.

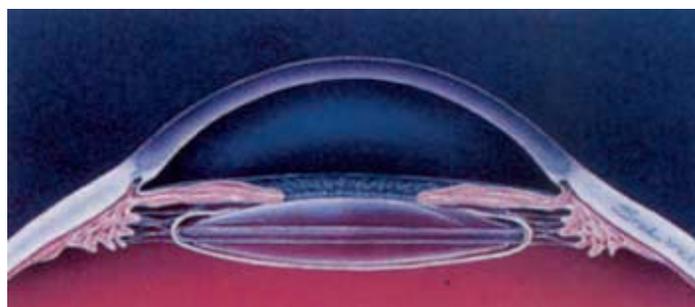


Abbildung 2: schematische Darstellung einer implantierten Ridley-Linse [115]

7.1.2 Zweite Generation von Intraokularlinsen

In den frühen 50ern bis zu Beginn der 60er Jahre wurden die Vorderkammerlinsen (VKL) entwickelt. Man erhoffte sich durch die Fixierung der Intraokularlinse im Kammerwinkel einen stabileren Sitz der Linse und weniger Dislokationen. Die Implantation der VKL konnte sowohl nach extrakapsulärer als auch nach intrakapsulärer Kataraktextraktion erfolgen und war sicherer und schneller als die der von Ridley entwickelten Hinterkammerlinsen. Die Vorderkammerlinsen ließen sich in zwei Gruppen unterteilen: die starren bzw. semistarren VKL nach Baron, Strampelli oder Scharf und die flexiblen bzw. semiflexiblen VKL (mit offener oder geschlossener Haptikschleufe).

Auch die zweite Generation der Intraokularlinsen wiesen zum Teil schwere postoperative Komplikationen auf. Durch ihre implantationsbedingte Nähe zum Hornhautendothel führten die Vorderkammerlinsen, häufig erst nach Jahren, zu Hornhautdekomensationen. Schlechte Herstellungstechniken und Sterilisationsprozesse führten zu schwersten entzündlichen Reaktionen und Erosionen von Fixierungselementen an uvealen Strukturen. Vor allem die Komplikation der kornealen Dekompensation ließ Ophthalmochirurgen nach neuen Implantationsorten und Implantationstechniken suchen – die 3. Generation der Intraokularlinsen (IOL), die irisfixierte IOL, entstand.

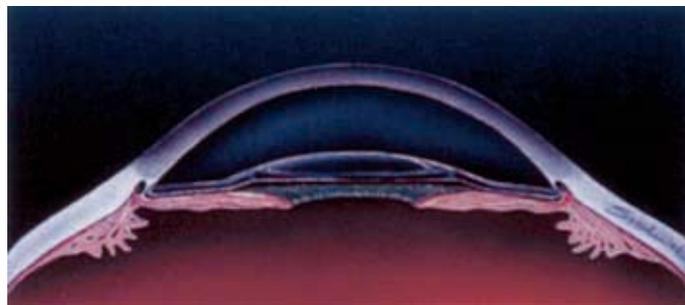


Abbildung 3: schematische Abbildung einer implantierten Vorderkammerlinse [116]

7.1.3 Dritte Generation von Intraokularlinsen

Als erster implantierte Epstein 1953 eine irisfixierte Intraokularlinse. Im postoperativen Verlauf kam es jedoch häufig zu Iripigmentdefekten, Pigmentdispersionsglaukomen und Hornhautkomplikationen. Im Jahre 1957 wurde die erste Iris-Clip-Linse durch Brinkhorst implantiert, deren häufigste Komplikation, vor allem in mydriatischer Pupille, die Dislokation war. Als Versuch zur Senkung der Dislokationsrate verband man, nach Anlage einer basalen Iridektomie, die Haptikbügel der Iris-Clip-Linse mittels eines Prolenefadens. Das Problem der Dislokation konnte damit gemindert werden. Langfristig verursachten die Prolenefäden jedoch Degenerationen im Gewebe. Das Design der Linsen wurde stetig verändert und weiterentwickelt. Worst entwickelte schließlich die Iris-Claw-Linse, die sich durch einen stabileren Sitz auszeichnete. Durch Weiterentwicklung der Iris-Claw-Linse und Variationen der Befestigungen der Haptiken konnte die Dislokationsrate weiter gesenkt werden. Die Haptiken wurden unter anderem im hinteren Kapselsack verankert. Diese iridokapsuläre Fixation beeinflusste die Entwicklung der Hinterkammerlinsen und die Entwicklung der Kapselsackfixation [4] [41].



Abbildung 4: schematische Darstellung irisfixierter Intraokularlinsen

A) Vierschlingenlinse nach Brinkhorst

B) Zweischlingenlinse nach Brinkhorst (iridokapsuläre Fixation) [117]

7.1.4 Vierte Generation von Intraokularlinsen

Sowohl die Iris-Clip-Linsen als auch die Vorderkammerlinsen wurden (in den nächsten 20 bis 30 Jahren) weiterentwickelt. Die neue Generation der Intraokularlinsen zeichnete sich durch verbesserte Herstellungsverfahren, eine verbesserte Linsenoberfläche und das verbesserte Linsendesign aus. 1963 entwickelte Choyce die Mark-8-Linse, die vier Fußplatten zur Befestigung hatte. Das Image dieser Linse litt allerdings unter schlechten unlizensierten Kopien, die häufig das UHG-Syndrom (Uveitis, Hyphäma, Glaukom) auslösten. Ein weiteres Problem der VKL war ihre Größe. Einige Hersteller versuchten dies mit semiflexiblen oder flexiblen Haptiken zu lösen. Auch korneale Komplikationen bis hin zu uveitischen Reizzuständen blieben weiterhin ernst zu nehmende Komplikationen. Durch weitere Optimierungen und Fortschritte in der Entwicklung der Vorderkammerlinsen konnte die Komplikationsrate gesenkt werden. Einige der entwickelten „modernen“ Vorderkammerlinsenmodelle werden bis heute implantiert.

7.1.5 Fünfte Generation von Intraokularlinsen

Diese Generation kann grob in drei Gruppen von Linsentypen unterteilt werden: die PMMA-Hinterkammerlinsen, die Weichlinsen und die Speziallinsen.

Seit ca. 1975 wurden unterschiedlichste Hinterkammerlinsendesigns entwickelt. Auch die Haptiken wurden verändert, wobei die 1977 von Shearing entwickelte J-Haptik den Prototypen für die folgenden Hinterkammerlinsen darstellte.

In den 80ern erfolgte die Implantation der Linsenhaptik vorwiegend in den Sulcus iridociliaris bzw. asymmetrisch mit einer Haptik im Sulcus und der anderen Haptik im Kapselsack. Neben Prolene als Haptikmaterial wurde nun auch PMMA benutzt, es entstanden die einstückigen PMMA-Hinterkammerlinsen. Die kontinuierlichen Weiterentwicklungen der Operationstechniken verbesserten die Kataraktoperation Ende der 80er/ Anfang der 90er Jahre in entscheidendem Maße. Die extrakapsuläre Kataraktextraktion

hatte die intrakapsuläre Kataraktextraktion fast gänzlich in den Hintergrund verbannt.

Zusätzlich zu den Veränderungen im Linsendesign wurde mit Heparin- oder Teflonbeschichtungen versucht die postoperativen Entzündungsreaktionen und Zelladhäsionen der Intraokularlinsen zu reduzieren.

Die ersten faltbaren Weichlinsen entwickelte man mit Hilfe von Tierversuchen bereits Ende der 50er Jahre. Anfang der 80er Jahre implantierte Schlegel in Deutschland die erste faltbare Silikonlinse in ein menschliches Auge. Der Siegeszug der Silikonlinsen begann. Postoperative Komplikationen wie Dislokationen und Pigmentblattverletzungen der Iris konnten erst durch die konsequente Implantation der Silikonlinsen in den Kapselsack beseitigt werden. Anfang der 90er Jahre faltete man die Linsen oder nutzte spezielle Shooter-Systeme (Kammann) zur Implantation derartiger Intraokularlinsen. Die in Studien aufgrund von Materialfehlern gezeigten Trübungen der Intraokularlinsen konnte durch Qualitätsverbesserungen, sowohl bei den einteiligen als auch bei den dreiteiligen Silikonlinsen, beseitigt werden.

In den späten 80er Jahren entstanden ebenfalls verschiedenste Speziallinsen, die das Ziel hatten, die Akkomodationsfähigkeit des Katarakt operierten Auges wiederherzustellen. Es entstanden unter anderem die ersten Multifokallinsen, die bis heute implantiert werden. Aufgrund des häufig beklagten schlechteren Kontrastsehens erreichten sie aber nie den Stellenwert der Monofokallinsen [4] [37] [41].

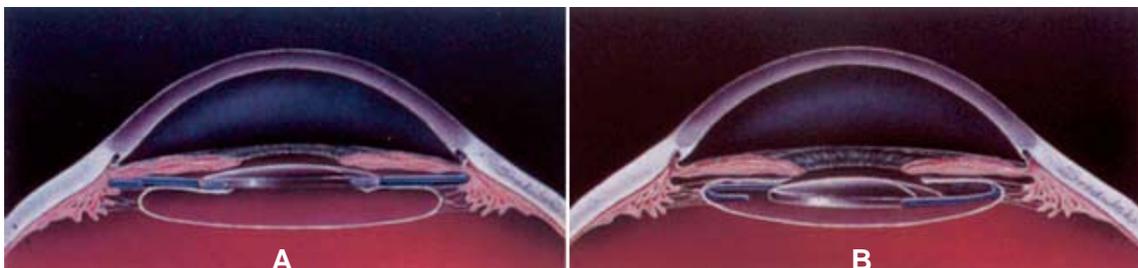


Abbildung 5: schematische Darstellung implantierter Hinterkammerlinsen

A) Fixation im Sulcus iridociliaris

B) Fixation im Kapselsack [118]

7.1.6 Sechste Generation von Intraokularlinsen

Die sechste Generation stellt den gegenwärtigen Stand der „modernen“ Intraokularlinsen dar. Die verwendeten Materialien sind PMMA (für ein- oder dreiteilige IOL) sowie Silikon, Hydrogele und Acrylat/ Methacrylat (für Faltlinsen).

Für komplexe Eingriffe wurden Speziallinsen, wie die Aniridielinsen, entwickelt. Zur sekundären Implantation bei aphaken Augen werden Vorderkammerlinsen und Hinterkammerlinsen verwendet.

Zum Ausgleich von Astigmatismen wurden torische Intraokularlinsen unterschiedlichen Designs für unterschiedliche Implantationsorte entwickelt [4].

7.1.7 Entwicklung der modernen Phakoemulsifikationstechnik

Nicht nur die Intraokularlinsen wurden stetig weiterentwickelt, auch die Operationsinstrumente und -techniken unterlagen Neuerungen. Als einer der herausragendsten Augenspezialisten galt um 1850 *Albrecht von Graefe* (*1828 † 1870), Professor für Ophthalmologie in Berlin. Er eröffnete dort eine Privatklinik, in der er später auch Studentenvorlesungen hielt und gründete 1854 das "Archiv für Ophthalmologie". Graefe verfeinerte die Staroperation mit Hilfe des "Graefe-Messers". Die Eingriffszeit konnte verkürzt und die Operationsergebnisse verbessert werden. Gegen den Willen vieler Chirurgen, die nach wie vor den Starstich praktizierten, wurde er 1866 zum ersten außerordentlichen und 1868 zum ordentlichen Professor für Augenheilkunde ernannt. Der "Augen-Graefe" gilt als der Gründer der "Berliner Ophthalmologie" und als "Lehrer der ganzen Welt" [81]. Zu einer Verbesserung der Operationsbedingungen, auch für die Patienten, führte im Jahre 1884 die Einführung der örtlichen Betäubung durch Carl Koller (* 1857 † 1944) [2]. Die Augenchirurgie war zu jener Zeit aufgrund der Reflexbewegungen der Augen bei Berührung und fehlender geeigneter Anästhesieverfahren schwierig. Koller fand in Tierversuchen heraus, dass einige Tropfen einer Kokainlösung dieses

Problem beseitigten [96]. Er gilt damit als Begründer der Lokalanästhesie in der Augenheilkunde.

1895 entwickelte Paul Chibret (* 1844 † 1911) die erste Saug-Spül-Spritze. Unter anderem aus dieser wiederum konstruierte 1967 Charles Kelman (* 1930 † 2004) ein Kombinationsinstrument zur extrakapsulären Kataraktextraktion. Er gilt damit als Entdecker der Phakoemulsifikation [69].

Es war nunmehr gezielt möglich Linsenkern- und Rindenanteile intraokular zu zertrümmern und diese mit Hilfe des Saug-Spülverfahren im Anschluss abzusaugen [112].

Für die Emulsifikation der Linse im Kapselsack war die Entwicklung der Kapsulorhexis durch Gimbel (1985) und Neuhann (1987) von entscheidender Bedeutung. Dadurch, sowie durch neue Techniken der Phakoemulsifikation, konnte das Risiko einer Kapselruptur verringert werden. Als weitere Verbesserung wurden neue Verfahren der Kernaufteilung wie z.B. die „Divide and Conquer“-Technik entwickelt [66].

Die extrakapsuläre Kataraktextraktion durch Phakoemulsifikation mit Implantation einer Hinterkammerlinse ist in der heutigen modernen ophthalmologischen Behandlung des grauen Stars die Therapie der Wahl.

Durch immer kleinere Schnittführung und Perfektionierung der Phakoemulsifikation [36] wird die Kataraktoperation zunehmend atraumatischer und noch verträglicher für den Patienten.

7.2 Kataraktoperationen in der heutigen Zeit

Noch vor wenigen Jahrzehnten wurde die Kataraktextraktion erst dann durchgeführt, wenn die Linsentrübung so weit fortgeschritten war, dass man sie als „reif“ bezeichnen konnte. Nach Fechner und Teichmann [40] ist heutzutage eine Operation bei deutlicher Reduktion der Sehschärfe oder anderen Gründen wie phakogenem Glaukom oder Uveitis indiziert. Allein in Deutschland werden jährlich mehr als 500.000 Kataraktoperationen durchgeführt. Damit ist diese Form der Operation die häufigste im Bereich der Ophthalmochirurgie [72] sowie

in der gesamten Chirurgie. Begründung findet diese Tatsache vor allem durch die erhebliche Verbesserung der Operationstechniken und der dadurch deutlichen Senkung der Operationsrisiken sowie durch bessere Verträglichkeit der eingesetzten Linsenmaterialien [129].

7.2.1 Indikationen zur Kataraktoperation

Der Hauptbeweggrund, dass sich Patienten für die Kataraktoperation entscheiden, ist die erwünschte Sehverbesserung. Selten sind kosmetische Gründe relevant [87]. Die meisten Patienten fühlen sich im privaten und/oder beruflichen Leben durch die Katarakt gestört [129]. In allen Fällen muss sowohl durch den Arzt als auch durch den Patienten der zu erwartende relative Nutzen in Anbetracht des möglichen individuellen Risikos abgeschätzt werden. Eindeutige medizinische Indikationen sind weiterhin die Subluxation oder Luxation der Linse infolge traumatischer Ereignisse als auch die Phakolyse oder die Verdickung (Intumeszenz) der Linse mit Verlegung des Kammerwinkels [9].

Voraussetzung für ein optimales Sehen nach erfolgter Kataraktoperation ist die einwandfreie Funktion der Netzhaut und ein gesunder Sehnerv. Die Funktionserwartung kann bei nicht homogen zu stark getrüübter Linse mit dem Retinometer annähernd bestimmt werden [145]. Durch die präoperative Ultraschalluntersuchung kann ein pathologischer retrolentaler Prozess bzw. eine vermutete Amblyopie bei erheblicher Anisometropie ausgeschlossen werden. Somit kann man oft schon vor dem eigentlichen Eingriff den möglichen resultierenden postoperativen Visus abschätzen [129].

7.2.2 Präoperative Maßnahmen

1. präoperative Diagnostik

Hat sich ein Patient für die Kataraktoperation entschieden, erfolgt als erstes eine internistische Untersuchung. Dabei wird festgestellt, ob der Patient

aufgrund seiner medizinischen Vorgeschichte in vollem Maße, nur eingeschränkt oder gar nicht operationsfähig ist und welche Anästhesieform für ihn in Frage kommt.

Als nächster Schritt folgt die ophthalmologische Voruntersuchung. Diese beinhaltet: die Allgemeinanamnese, die ophthalmologische Anamnese sowie die berufliche, soziale und die Familienanamnese.

Bei der ophthalmologischen Voruntersuchung werden immer beide Augen untersucht. Es erfolgt eine Refraktion mit genauer Visusbestimmung für Nähe und Ferne, eine Augeninnendruckmessung mittels Tonometer sowie die Spaltlampenuntersuchung. Besondere Aufmerksamkeit ist auf Anzeichen von Entzündungen, Konfigurationsänderungen oder Degenerationserscheinungen der Adnexe, der Kornea und der Linse zu richten. Zur Vervollständigung erfolgt die Fundusuntersuchung bei dilatierter Pupille. Hierbei wird sowohl der Glaskörper als auch die Netzhaut beurteilt.

In vielen Fällen wird, um auf das zu erwartende Sehvermögen schließen zu können, zusätzlich ein Retinometervisus bestimmt. Abschließend erfolgt eine Biometrie zur Berechnung der Intraokularlinsenstärke. Bei spezieller Indikation kann präoperativ eine Gesichtsfelduntersuchung (bei Vorliegen eines Glaukoms in der Anamnese), eine Ultraschalluntersuchung (zur Frage der Netzhautanlage bei stark getrübten Medien), ein Amslergittertest oder die Testung der Farbwahrnehmung durchgeführt werden. Zum Abschluss der Voruntersuchung ist der Patient über die Operation, ihre Risiken und die möglichen Komplikationen aufzuklären. Sein Einverständnis bzw. seine Zustimmung muss schriftlich dokumentiert werden [10].

II. Biometrie zur präoperativen Berechnung der benötigten Kunstlinsenstärke

Die Ultraschallbiometrie dient in der Augenheilkunde in erster Linie der Längenmessung des Auges und der Planung der zu implantierenden künstlichen Intraokularlinse. Für die Längenmessung wird ein 8 MHz Schallkopf mit Parallelschallstrahl unter Verwendung eines Trichters auf die Hornhaut aufgesetzt. Um noch exaktere Messergebnisse zu erzielen bedient man sich

der so genannten Teilstreckenbiometrie im A-Bild, bei der die einzelnen Teilstrecken, z.B. der Hornhaut-Linsen-Abstand, errechnet und zum Schluss addiert werden.

Für die präoperative Berechnung der Kunstlinsenstärke mittels Ultraschallbiometrie existieren im Wesentlichen zwei Gruppen von Formeln. In die erste, nach Gernet oder Binkhorst, fließen physikalische, geometrische und optische Maße wie Achsenlänge, Vorderkammertiefe oder verschiedene Brechungsindizes ein. Daraus wird die benötigte Linsenstärke berechnet. Der große Vorteil besteht darin, dass die patientenspezifische Korrektur der Refraktionsanomalie mit einbezogen wird und eine Aniseikonie berechnet werden kann.

Die zweite große Gruppe sind die empirischen Regressionsformeln, beispielsweise die SRK-Formel:

$$\text{Linsenbrechkraft} = A\text{-Konstante} - (\text{Achsenlänge} \cdot 2,5) - (\text{Hornhautbrechkraft} \cdot 0,9)$$

Dabei werden statistisch die Refraktionen operierter Augen gemittelt und daraus die beste Linsenkorrektur errechnet. Die A-Konstante ist abhängig vom Linsentyp und dessen Hersteller. Die Formel wurde anhand standardisierter Augen von 24 mm Bulbuslänge erstellt, so dass es unerlässlich ist, die Linsenstärke bei Abweichungen der Bulbuslänge anzupassen. Auf eine mögliche postoperative Aniseikonie ist gesondert zu achten.

Für alle Formeln ist es von größter Wichtigkeit, Messwerte so exakt wie möglich zu erheben. Bereits kleine Abweichungen der Achsenlänge oder des Hornhautradius würden zu Fehlberechnungen und damit zur Implantation einer falschen Linsenstärke führen.

Die Laserinterferenzbiometrie dient der Bestimmung des Abstandes von Hornhaut und Netzhaut mittels Laser. Die Vorteile des IOL-Masters liegen in seiner Patienten- und Anwenderfreundlichkeit. So benötigt man für die optische Messung keine medikamentös weitgestellte Pupille und auch keine Lokalanästhesie, was die Gefahr von Hornhautverletzungen und Infektionen auf Null minimiert. Des Weiteren können mit dem IOL-Master auch bei mehreren

Bedienern vergleichbare Ergebnisse erzielt werden. Der IOL-Master gewährleistet bei der präoperativen Intraokularlinsenberechnung die höchste Präzision. Die interindividuellen Fehlerquellen werden so auf ein Minimum reduziert. Der IOL-Master kann jedoch bei Hornhautnarben, dichten Katarakten oder Patienten ohne Compliance nicht angewendet werden, weshalb der Stellenwert der Ultraschallbiometrie auch in Zukunft gesichert sein wird [25] [156].

III. Operative Vorbereitung und Prämedikation

Am Operationstag wird der Patient noch einmal über den Ablauf der bevorstehenden Operation informiert. Bei besonders aufgeregten oder ängstlichen Patienten empfiehlt sich der Einsatz eines niedrigdosierten Benzodiazepins [11], z.B. Lorazepam (Tavor®) 1mg p.o.. Da der überwiegende Anteil der Patienten ambulant operiert wird, muss bei der Auswahl des Sedativums besondere Sorgfalt walten [146]. Der Patient muss auf mögliche Wechselwirkungen hingewiesen werden.

Zur körperlichen Vorbereitung zählen sowohl eingenommene Medikamente, die vorher abgesetzt werden müssen, wie auch Lagerungsarten bei Patienten mit Atemproblemen. Auch Medikamente, die nicht abgesetzt werden müssen, deren Einnahme aber in die Operationszeit fallen, wie beispielsweise Antidiabetika, müssen im Vorfeld beachtet werden.

Zur ophthalmologischen Vorbereitung gehören die präoperative Gabe von Antibiotika zur Infektionsprophylaxe, das rechtzeitige Absetzen von Miotika, die korrekte Einstellung des Augeninnendruckes sowie das präoperative Desinfizieren und Abdecken des Operationsfeldes [12]. Durch den Einsatz eines Okulopressors und der gegebenenfalls unterstützenden Gabe eines Karboanhydrasehemmers werden der Augeninnendruck und der Glaskörperdruck präoperativ gesenkt. Die daraus resultierende Hypotonie des Bulbus kann intraoperative Komplikationen verhindern, vor allem bei der intrakapsulären Extraktion [130].

Zur besseren Erhaltung der intraoperativen Mydriasis und zur Vermeidung einer Reizmiosis empfehlen einige Operateure, präoperativ einen Prostaglandinsynthesehemmer und intraoperativ Epinephrin in die Spüllösung zu geben. Vor Beginn der Operation wird die Pupille des Patienten mit sympathomimetischen und parasymphatolytischen Augentropfen maximal weitgestellt. Es erfolgt eine für den Patienten im Vorfeld individuell bestimmte Anästhesie [12].

7.2.3 Anästhesieverfahren in der Kataraktchirurgie

I. Anästhesiologisches Stand-by

Wird eine Kataraktoperation in Allgemeinanästhesie durchgeführt, so hat das Stand-by-Verfahren des Anästhesisten aufgrund des besonderen Operationsbereiches einen speziellen Stellenwert. Der unmittelbare Zugang zum Kopf- und Halsbereich bleibt weitestgehend versperrt. Durch die präoperative Mydriasis fehlt die Motorik der Pupillen als wichtigster Überwachungsparameter während der Operation.

Zum Standard einer Operation gehören für jeden Patienten ein venöser Zugang, ein EKG-Monitor und die Pulsoxymetrie. Der präoperativ eingebrachte Endotrachealtubus (oder alternativ die Larynxmaske) muss vor Beginn der Operation auf korrekten und sicheren Sitz kontrolliert werden [111].

Die Allgemeinanästhesie findet nur noch selten Anwendung. Sie ist besonders Kindern, Jugendlichen oder Patienten mit cerebraler Schädigung vorbehalten, wird aber auch bei funktioneller Einäugigkeit oder voraussehbarer schwieriger Operationssituation von einigen Operateuren bevorzugt.

II. Regionalanästhesieverfahren

Trotz fehlender Beweise für die Überlegenheit der lokalen Anästhesie gegenüber der Allgemeinanästhesie entscheiden sich heutzutage die meisten Patienten und Operateure für diese Form der Betäubung. Die Lokalanästhesie

bringt ökonomische Vorteile und ist heute Methode der ersten Wahl bei der Kataraktoperation, insbesondere auch, weil der größte Teil der Operationen ambulant durchgeführt wird.

Retrobulbäranästhesie

Die Retrobulbäranästhesie wurde bereits im Jahre 1884 von Hermann Knapp beschrieben. Sie ist eine der ältesten Regionalanästhesieformen in der ophthalmologischen Chirurgie. Ihre Wirkung liegt in einer motorischen und sensiblen Blockade der afferenten und efferenten Nervenäste der Orbitaspitze. Zu diesem Zweck wird eine Kanüle senkrecht zur Hautoberfläche in das Unterlid eingestochen und zwischen Orbitaboden und Bulbus wird mit einem kurzen Druck die Orbitafaszie durchstoßen [123]. Die Nadel wird danach unter dem Bulbus oberhalb des temporalen unteren Orbitarandes in Richtung Ganglion ciliare weiter geschoben. Durch die dortige Injektion eines Lokalanästhetikums, beispielsweise Lidocain 2% (Xylocain® 2%) oder Bupivacain 0,5% (Carbostesin® 0,5%), kommt es zur Anästhesie des Bulbus und zu einer vollständigen Akinesie der äußeren Augenmuskeln (Blockade Nervus III, IV und VII) inklusive des Lidhebers [124].

7.2.4 Intraokularlinsen

7.2.4.1 Linsentypen und Linsendesigns

Grundsätzlich werden drei Typen von Intraokularlinsen voneinander unterschieden: die Vorderkammerlinsen (VKL), die Iris-Clip-Linsen und die Hinterkammerlinsen (HKL). Diese Linsentypen werden je nach Art der Herstellung in zwei weitere Gruppen eingeteilt – einteilige bzw. mehrteilige.

Einteilige Linsen werden sowohl als VKL und HKL hergestellt. Dreiteilige Intraokularlinsen werden nur als HKL produziert. Einteilige Intraokularlinsen besitzen eine Linsenhaptik und eine Linsenoptik aus gleichem Material (meist

Acryl), während bei mehrteiligen Intraokularlinsen die Optik und die Haptik aus verschiedenartigen Kunststoffen hergestellt sein können.

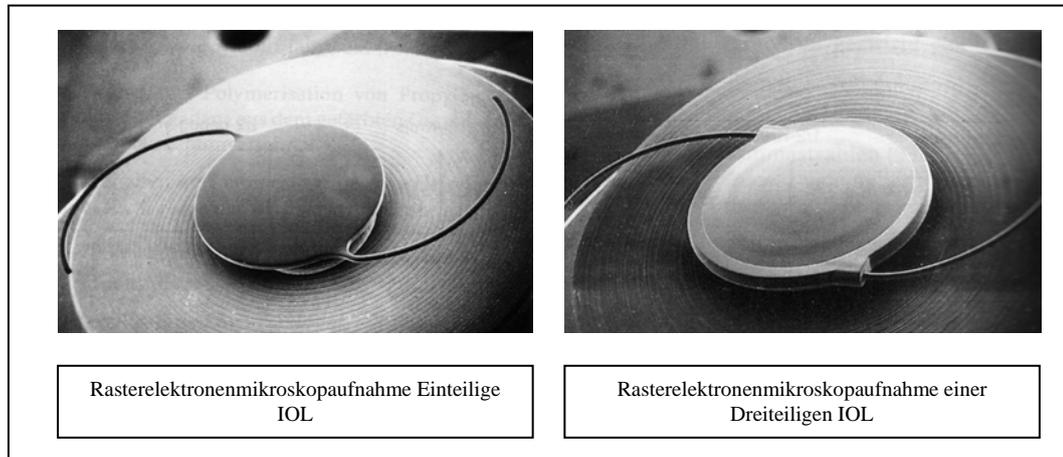


Abbildung 6: Einteilige und dreiteilige Intraokularlinsen [119]

Die Linsenoptik der mehrteiligen Intraokularlinsen wurde in der Vergangenheit meist aus Polymethylmethacrylat (PMMA) gefertigt. Heute verwendet man zur Herstellung der Linsenoptik meistens Acrylate. Die Linsenoptik besteht jedoch häufig aus anderen Kunststoffen (aus nichttransparentem PMMA oder aus Prolene). Optik und Haptik werden nach ihrer Herstellung miteinander verbunden.

Der größte Nachteil einteiliger Intraokularlinsen besteht, sofern es sich um eine Plattenhaptik oder Linsen ähnlicher Konstruktion handelt, darin, dass sie den Kapselsack nicht so gut aufspannen wie dreiteilige Intraokularlinsen. Deshalb sollte bei Plattenhaptiken eine YAG-Laser-Kapsulotomie möglichst nicht innerhalb der ersten drei postoperativen Wochen erfolgen, da sonst die Gefahr der Linsenluxation oder der Linsendezentrierung besteht [20] [25] [46].

Es existieren zahlreiche verschiedene Linsendesigns, deren Zahl auch weiterhin stetig zunimmt. Dabei gibt es nennenswerte Unterschiede in Form und Material der Linsenoptik. Bevorzugt werden derzeit bei Implantation von dreiteiligen Intraokularlinsen jene mit einer C-Haptik, da diese den Kapselsack gut aufspannen. Auch Größe, Form und Material der Linsenoptik unterliegen Unterschieden.

Die scharfkantige Gestaltung des Intraokularlinsen-Optik-Randes und der Kontakt zur hinteren Linsenkapsel sollen, zusammen mit einer die Optik komplett überlappenden Linsenvorderkapsel, die Nachstarentwicklung hemmen. Manche Intraokularlinsen verfügen zur Erleichterung der optimalen Implantation über Positionierungslöcher. Diese Löcher befinden sich entweder an der Optikperipherie oder an der Linsenhaptik [22] [25].

Man unterscheidet monofokale und multifokale bzw. diffraktive Intraokularlinsen.

7.2.4.2 Positionen von Intraokularlinsen

Während die Linsenoptik die beste Refraktion ermöglicht, sorgt die Linsenhaptik für einen sicheren, optimalen und zentrierten Sitz der Intraokularlinse. Die Linsenhaptik wird in oder an intraokularen Strukturen (Kammerwinkel, Sulcus ciliaris, Kapselsack) positioniert. Der geeignetste Ort der Implantation einer Intraokularlinse ist der Kapselsack. Sollte dieser jedoch defekt sein, stehen für die Einpflanzung noch die Vorder- oder die Hinterkammer zur Verfügung. Bei der Vorderkammerimplantation wird die Haptik der VKL im Kammerwinkel positioniert. Bei der Implantation der Intraokularlinse in die Hinterkammer als HKL findet diese im Sulcus ciliaris ihren Platz.

7.2.4.3 Material und Beschichtung von Intraokularlinsen

In der Kataraktchirurgie werden harte und faltbare Intraokularlinsen verwendet [25] [88]. Beide sind mit einem UV-Filter ausgestattet.

Harte Intraokularlinsen sind ausschließlich einteilig. Damit sind eine hohe Stabilität und eine bestmögliche Fixation garantiert. In Abhängigkeit vom Herstellungsverfahren wird hoch- oder niedermolekulares PMMA verwendet. Für die Implantation dieses Intraokularlinsentyps benötigt man eine Inzision von mindestens 5 mm. Bei vergleichbaren faltbaren Intraokularlinsen genügen 2,5 – 3 mm, da diese Linsen über ein Injektorsystem gerollt implantiert werden

können. Einteilige faltbare Intraokularlinsen werden aus Silikon und Acrylat hergestellt [24] [25] [88].

- Polymethylmethacrylat (PMMA) als IOL-Material

Für die Produktion von Intraokularlinsen wird PMMA mit hohem Reinheitsgrad, nahezu ohne Zusatzstoffe und mit einem hohen Molekulargewicht benötigt. Die Herstellung des PMMA findet durch Polymerisation aus Methacrylsäuremethylestern statt.

Der Vorteil von PMMA als Linsenmaterial besteht in seiner guten Verträglichkeit, Langlebigkeit und in der langen Nachbeobachtungszeit in Augen. Die erste Intraokularlinse aus PMMA wurde 1949 von Harold Ridley implantiert. Verglichen mit anderen Materialien erweist sich PMMA als ultraviolett- und oxidationsbeständiger. Des Weiteren besitzt PMMA einen sogenannten Memory-Effekt. Auch nach stärkerer Formveränderung kann es seine ursprüngliche Fertigungsform wieder einnehmen.

In der modernen Fertigung von PMMA-Linsen bedient man sich eines körpereigenen Proteoglykans, des Heparins, um die Verträglichkeit der Intraokularlinse zu steigern. Durch die Linsenbeschichtung mit Heparin wird die Hydrophilie der Linsenoberfläche erhöht. „Dieser Effekt bietet entscheidende Vorteile gegenüber der herkömmlichen Intraokularlinse ohne Heparinbeschichtung. Er soll die Entzündungsreaktionen, die durch das Kunstlinsenmaterial ausgelöst werden, vermindern und senkt gleichzeitig die durch elektrostatische Kraffteinwirkungen entstehenden Zellmembranverletzungen [23].“

- Acrylat als IOL-Material

Die heute in Deutschland zur Implantation verwendeten Intraokularlinsen bestehen zu etwa 80-90% aus Acrylaten. Acrylate für Intraokularlinsen sind aus den Estern der Acrylsäure oder der

Methacrylsäure synthetisiert. Der Methylester der Methacrylsäure reagiert nach vollständiger Polymerisation zu PMMA, welches als Ausgangsstoff für die Herstellung der PMMA-Intraokularlinsen dient. Diese Intraokularlinsen sind nicht faltbar. Das Material der faltbaren Acryllinsen wird durch eine quervernetzende Polymerisation von Acrylsäure und Methacrylsäure gewonnen. Diese Quervernetzung verleiht dem Material dabei seine elastischen Eigenschaften und gibt die dreidimensionale Stabilität.

In Abhängigkeit von ihrem Wassergehalt werden hydrophobe (Wasseranteil von < 1%) von hydrophilen Acryllinsen (Wasseranteil von 18% - 35%) unterschieden [92]. Studien belegen einen Unterschied dieser zwei Klassen von Acryllinsen in der Häufigkeit des Auftretens eines Nachstars. Duncker et al. zeigten eine höhere Nachstarrate nach erfolgter Implantation hydrophiler Linsen im Vergleich zu hydrophoben Acryllinsen und zu PMMA-Linsen [38]. Hydrophobe Materialien besitzen einen höheren Refraktionsindex und sind infolgedessen dünner [92].

Auf der Grundlage von Acrylaten und Methacrylaten wurden neue verbesserte Hochleistungspolymere entwickelt, die eine hohe optische Transparenz und einen guten UV-Schutz, eine hohe mechanische Festigkeit, Flexibilität sowie eine gute Falt- bzw. Rollbarkeit besitzen. Diese Polymere müssen eine hohe Biokompatibilität und eine lange Stabilität aufweisen. Sie dürfen nicht toxisch sein [144].

- Silikonkautschuk als IOL-Material

Silikonpolymere werden schon seit Jahrzehnten in der Ophthalmochirurgie verwendet (Silikonöle, Intraokularlinsen, Plomben). Ausgangsmaterial ist das Naturprodukt Silikondioxid.

Die optischen, chemischen und mechanischen Eigenschaften dieses Materials werden vor allem durch die Beimischung von Füllstoffen

während des Produktionsprozesses und dem Grad seiner Quervernetzung bestimmt. So ist es möglich, dass Silikonkautschuk trotz hoher Verformbarkeit mit einer beträchtlichen Festigkeit und optischen Transparenz (höchster refraktiver Index 1,46) hergestellt werden kann.

Seit der Erstimplantation einer faltbaren Silikon- Intraokularlinse durch Mazocco im Jahre 1984 ist Silikon neben PMMA bevorzugtes Material für Intraokularlinsen.

- Hydrogele als IOL-Material

Für die Produktion von Hydrogel-Linsen finden vor allem Polymere des Methacrylatesters Verwendung. Die besondere Eigenschaft dieser Stoffgruppe ist das enorme Quellvermögen beim Kontakt mit Wasser. Polyhydroxyethylmethacrylat (Poly-HEMA) ist ein weiches quervernetztes Hydrogel mit hoher Hydrophilie. Es hat ein gutes Wasserbindungsvermögen und eine gute biologische Verträglichkeit. Um Linsen herstellen zu können, die aufgrund erhöhter Hydratation zu über 40% aus Wasser bestehen, verwendet man Copolymere.

- Polypropylen als IOL-Bügelmaterial

Durch Polymerisation des Propylens und Ausrichtung seiner Methylgruppenseitenketten entsteht isotaktisches Polypropylen. Trotz hoher Reißfestigkeit ist das isotaktische Polypropylen immer mehr durch PMMA als Haptik-Material von Intraokularlinsen abgelöst worden. Offensichtlicher Nachteil des Polypropylen ist die UV-Sensibilität und der Abbau durch Oxidation.

- Polyimide als IOL-Bügelmaterial

Dieses Material wird heute kaum noch zur IOL-Herstellung verwendet [21] [25].

Material	Spezifisches Gewicht [g/cm ³]	Brechungsindex nD ²⁵	Benetzungswinkel (Grad)	Wasseraufnahmefähigkeit [%]
PMMA	1,21	1,492	65–70	0
Silikon	1,03–1,41	1,41–1,46	92–103	<0,03
HEMA	1,16	1,44 (trocken: 1,51; bei 70% Wasser- gehalt: 1,38)	20	38 (bis zu 80)

Tabelle 1: Gegenüberstellung der physikalischen und chemischen Eigenschaften verschiedener Linsenmaterialien [120]

7.2.5 Kataraktchirurgie bei Erwachsenen

Grundlegend werden die intrakapsuläre und die extrakapsuläre Kataraktextraktion unterschieden. Die extrakapsuläre Kataraktextraktion kann sowohl durch Expression des Linsenkernes als auch durch Linsenkernverflüssigung mit dem Ultraschall (Phakoemulsifikation) durchgeführt werden.

7.2.5.1 Intrakapsuläre Kataraktextraktion (ICCE)

Diese Form der Linsenextraktion ist in ihrer technischen Durchführung die einfachste und war für die Operation Erwachsener bis in die späten 70er Jahre Standard [25] [51]. Heutzutage wird sie bis auf wenige Ausnahmen ausschließlich in Entwicklungsländern durchgeführt, in denen trotz begrenzter finanzieller Mittel sehr viele Menschen operiert werden müssen. Diese Technik kann auch mit einer Lupenbrille durchgeführt werden und erfordert nicht die Anwendung eines OP-Mikroskopes.

Die Vorteile liegen in der hohen Erfolgsrate und den postoperativen klaren Medien. Außerdem kann es nicht zur Bildung eines Nachstars kommen. Nachteile dieser Operationstechnik sind die erheblich größeren Inzisionen mit erhöhtem Infektionsrisiko sowie der Verlust der Stabilität des hinteren Segmentes durch Vorwölbung oder Vorfall des Glaskörpers in die Vorderkammer. Des Weiteren werden bei der intrakapsulären Kataraktextraktion die Linsenkapsel und die Zonulafasern entfernt bzw. zerstört, was die Implantation einer endokapsulären Intraokularlinse unmöglich macht. Es kommt vermehrt zur Amotio retinae. Die Amotiorate liegt bei der intrakapsulären Kataraktextraktion bei 3%. Außerdem ist die Inzidenz des Makulaödems erhöht [13] [25] [133].

Bei der intrakapsulären Kataraktextraktion wird nach präoperativer Okulopression und Schaffung eines relativ großen Zuganges in die Vorderkammer die Linse mittels einer Kryosonde angefroren. Danach wird sie zusammen mit ihrer Kapsel (intrakapsulär) extrahiert [51]. Gegebenenfalls können 1-3 Minuten vor der Linsenextraktion die Zonulafasern enzymatisch mittels α -Chymotrypsin angedaut werden (Zonulolyse) [25] [30] [103].

Nach erfolgter Operation wird der Schnitt meistens durch Nähte verschlossen. In der modernen Mikrochirurgie werden aber auch nahtlose Techniken angewendet.

Bei postoperativer Linsenlosigkeit (Aphakie) kann dem Patienten eine Starbrille oder eine Kontaktlinse angepasst werden. Eine Alternative zur postoperativen Aphakie des Patienten stellt die mögliche Implantation einer Vorderkammerlinse bzw. Iris-Clip-Linse dar [25] [51] [131].

7.2.5.2 Extrakapsuläre Kataraktextraktion mit Kernextraktion (ECCE) und anschließender IOL-Implantation

Die Eröffnung des Bulbus erfolgt durch sklerokornealen Stufenschnitt mit dem Keratom. Zuvor wird die Bindehaut in ausreichendem Maße eröffnet und zurückgeschoben. Bei Bedarf können nach Eröffnung des Bulbus viskoelastische Substanzen, z.B. Hyaluronsäure, in die Vorderkammer injiziert

werden. Dadurch bleibt die Vorderkammer in ihrer Tiefe bestehen und die Gefahr von Verletzungen des Hornhautendothels wird minimiert. Die Eröffnung der Vorderkapsel kann durch eine Kapsulorhexis oder Anwendung der Letterbox-Technik vorgenommen werden [15] [25] [88] [132]. Dabei wird die Kapsel kontrolliert und ohne Druck auf die Linse eröffnet. Im Anschluss an die Kapseleröffnung wird der korneosklerale Schnitt mit dem Diamantmesser oder mit speziellen Scheren für die Linsenkernelnextraktion erweitert. Vor der Extraktion des Linsenkerne wird BSS (balanced salt solution) mit einer Kanüle zwischen Linsenrinde und Kapselrand injiziert. Dadurch trennt sich die Linse von ihrer Kapsel [16] [25] [89]. Zur anschließend erfolgenden Extraktion wird durch alternierenden Druck auf den oberen und unteren Limbus der Linsenkerneln exprimiert. Danach können die in der Kapsel verbliebenen Rindenreste mit Hilfe eines besonderen Saug-Spül-Verfahrens abgesaugt werden [16] [25] [132]. Die nachfolgende Reinigung der Hinterkapsel erfolgt mit einem pyrettenartigen Instrument oder durch Absaugung der Hinterkapsel mit verminderter Saugleistung. Verbleibende Linsenepithelzellen können die Inzidenz des Auftretens eines Nachstars erhöhen.

Zur Erleichterung der Implantation der Hinterkammerlinse bedient man sich wiederum viskoelastischer Substanzen. Diese werden vorsichtig dosiert in den Kapselsack eingegeben. Nun kann die IOL in die Vorderkammer eingeschoben werden. Es sollen beide Linsenlinsen im Kapselsack liegen [16] [25] [89]. Zum Abschluss der Operation wird das Viskoelastikum abgesaugt und die Pupille kann bei Bedarf mit Hilfe einer Acetylcholininjektion enggestellt werden. Die Bulbusinzision wird mittels Nähten verschlossen oder bei Anwendung der nahtlosen Technik so belassen. Danach wird die Bindehaut durch bipolarer Kauterisation oder durch zwei Einzelknopfnähte am Limbus adaptiert. Der Bulbus wird üblicherweise durch Gabe von Luft in die Vorderkammer tonisiert.

Abschließend werden prophylaktisch Antibiotika und Kortikosteroide lokal appliziert. Die Vorteile der extrakapsulären Kataraktextraktion (ECCE) mit Kernexpression gegenüber der intrakapsulären Technik liegen in der Möglichkeit der Implantation einer Hinterkammerlinse in den Kapselsack, da dieser und die Zonulafasern bei der ECCE geschont werden. Bei der ECCE

werden gegenüber der ICCE kleinere Schnitte als Bulbuszugang angewendet. Es kommt seltener zum Auftreten von Glaskörperverlusten, einer Amotio retinae und eines zystoiden Makulaödems. Nachteile dieser Operationstechnik gegenüber der ICCE liegen in der aufwendigeren und schwierigeren Durchführung und in dem Auftreten eines Nachstars. Die Nachteile der extrakapsulären Kataraktextraktion gegenüber der Phakoemulsifikation liegen in der größeren Inzision, dem postoperativ höherer Astigmatismusrisiko und der vermehrten Entzündungsreaktion [16].

7.2.5.3 Extrakapsuläre Kataraktextraktion mittels Phakoemulsifikation und anschließender IOL-Implantation

Die Techniken der Phakoemulsifikation sind nicht einheitlich und ändern sich häufig. Die Anwendung spezieller Techniken richtet sich u.a. nach dem Alter des Patienten, der Konsistenz des Linsenkernes und der Art der Katarakt [25] [45] [100]. Die Vorteile der Phakoemulsifikation gegenüber anderen Operationsmethoden liegen in selbstdichtenden Inzisionen und der damit verbundenen Senkung der Operationsrisiken. Weiterhin ist die Zahl des operativ-induzierten Astigmatismus geringer, die Visusherstellung schneller, die Schnittführung kleiner und daraus folgend die Rehabilitationszeit kürzer. Durch die Verwendung eines geschlossenen Operationssystems behält das Auge einen gleichmäßigeren Tonus.

Die Nachteile der Phakoemulsifikation als extrakapsuläre Technik liegen in der Nachstarbildung sowie in dem technischen Aufwand. Aufgrund der oben angeführten und letztendlich überwiegenden Vorteile, ist die Phakoemulsifikation heute das Standardverfahren. Lediglich bei besonders harten Linsenkernen kann es angebracht sein, eine extrakapsuläre Kataraktextraktion mittels ECCE-Technik durchzuführen [14] [25].

Die drei gängigsten Techniken sind:

- Phakoemulsifikation in der Vorderkammer

Bei dieser Methode muss zunächst der Linsenkern in die Vorderkammer luxiert werden. Danach kann der Kern einhändig und fragmentiert abgesaugt werden. Der Nachteil dieses Vorgehens liegt in der erhöhten Schädigung von Endothelzellen und in einer größeren Inzidenz von Kapseleinrissen. Aus diesen Gründen wird diese Technik kaum noch angewandt.

- Phakoemulsifikation in der Irisebene bzw. in der Hinterkammer

Nach Hydrodissektion des Linsenkerns mittels BSS von den Rindenanteilen werden zunächst die zentralen und danach die restlichen Kernanteile zertrümmert und abgesaugt. Diese Variation der Phakoemulsifikation bedarf des bimanuellen Vorgehens und findet in Iris- bzw. Hinterkammerebene statt. Bei sachgerechter Durchführung ist der Verlust an Endothelzellen gering.

- „Divide-and-Conquer-Technik“

Sie stellt die am meisten angewandte Technik der Phakoemulsifikation in der Hinterkammer dar. Diese Art der Phakoemulsifikation bedarf des bimanuellen Vorgehens. Dafür wird eine zweite Inzision an der Sklerokornealgrenze gelegt. Nach erfolgter Kapsulorhexis wird der Linsenkern mit Hilfe der Hydrodissektion separiert. Nun wird mit der Phakonadel eine vertikale Kerbe im Linsenkern geschaffen. Danach kann der Linsenkern vorsichtig mit einem Spatel um 90° gedreht werden und eine zweite, im rechten Winkel zur ersten stehende, Furche ausgearbeitet werden. Um jedes Kernviertel einzeln nacheinander

fragmentieren und absaugen zu können, muss der Linsenkern entlang der Kerbe mittels separat eingeführtem Spatel und einer Phakonadel je einmal gebrochen werden. Nach erfolgter Absaugung der separierten Kernviertel wird auch die verbliebene Linsenrinde abgesaugt [18] [25] [90].

Neben diesen klassischen Methoden der Phakoemulsifikation gibt es auch zahlreiche Varianten bzw. spezielle Techniken. Dazu zählen die „Chip-&-Flip-Technik“ sowie die „Phako-Chop-Technik“ [19] [25].

8. Patienten und Methodik

Im Zeitraum vom 29.3.2005 bis zum 20.10.2005 wurden bei insgesamt 19 Patienten (36 Augen) markierte Intraokularlinsen (pseudotorische Intraokularlinsen) in einer präoperativ definierten Achslage implantiert. Anhand der Markierung sollte postoperativ eine mögliche Verdrehung der Linsen in Grad gemessen werden.

Für die Implantation vorgegeben waren die Achslagen 0 Grad, 45 Grad, 90 Grad und 135 Grad. Die Kontrolle der möglichen Verdrehung der pseudotorischen Intraokularlinsen fand zu vorher festgelegten Zeitpunkten im postoperativen Verlauf statt. Es sollte untersucht werden, zu welchem Zeitpunkt im postoperativen Heilungsverlauf eine Rotation nachweisbar war.

Der Nachbeobachtungszeitraum war mit 6 Monaten vorgegeben, da dann die Schrumpfungstendenz im Kapselsack als abgeschlossen angesehen werden kann. Postoperativ wurde das Verhalten der bereits präoperativ festgelegten Achslage dokumentiert. Dabei wurden zwei verschiedene Linsentypen der Firma Acritec, die in insgesamt vier verschiedenen Achslagen implantiert worden waren, untersucht.

8.1 Präoperativer Geräteaufbau und Präoperative Untersuchung

8.1.1 Präoperativer Geräteaufbau

Die präoperative Diagnostik wurde in der Augenambulanz des St. Johannes-Hospitals in Dortmund durchgeführt.

Die Patienten wurden an einer Spaltlampe Typ BQ 900 der Firma Haag-Streit, Wedel, untersucht. Die Stärke der zu implantierenden Intraokularlinse wurde mit Hilfe des IOL-Masters der Firma Carl Zeiss AG bestimmt.

8.1.2 Präoperative Untersuchung

Nach der klinischen Voruntersuchung mit Anamnese, Visus, Refraktion, Erhebung des organischen Augenbefundes, Tensionskontrolle, Bestimmung der Intraokularlinsenstärke mit dem IOL-Master oder der Ultraschallbiometrie, wurde vom Operateur festgelegt, ob der betreffende Patient die Kriterien zur Aufnahme in diese Studie erfüllt.

8.1.2.1 Einschlusskriterien

Die Kriterien zur Aufnahme in diese prospektive Studie wurden vor Beginn festgelegt. Einschlusskriterium bei allen männlichen und weiblichen Patienten in diese Studie war eine fortgeschrittene operationsbedürftige Cataracta seniles beider Augen. Weiterhin wurden nur Patienten aufgenommen, denen die von der Firma Acritec bereitgestellten Intraokularlinsen der Stärke +18,5 Dioptrien bis + 23,5 Dioptrien implantiert werden konnten.

Eine schriftliche Einverständniserklärung der Patienten zur Teilnahme an der Studie, nach ausführlicher Aufklärung, musste vorliegen.

8.1.2.2 Ausschlusskriterien

Die Patienten durften in der Anamnese keine okulären Traumen (Perforationen, Bulbusprellungen etc.) aufweisen. Patienten mit Cataracta complicata wurden ausgeschlossen. Ebenso wurden Patienten ausgeschlossen, die vorangegangene intraokulare Operationen in ihrer Anamnese angaben.

Bei bestehendem Diabetes mellitus von über 5 Jahren oder bestehender Retinopathia diabetica wurden die betreffenden Patienten von dieser Studie ausgeschlossen. Bei diesen Patienten bestand aufgrund erhöhter Pigmentausschüttung und der Möglichkeit einer stärkeren Pigmentblattverklebung an der Linsenvorderfläche eine erhöhte Gefahr, dass die Pupille nicht optimal zu erweitern gewesen wäre.

Ausschlusskriterien waren ebenfalls bestimmte pathologische Augenveränderungen. So wurden Patientenaugen mit ein- oder beidseitigem Pseudoexfoliationssyndrom nicht berücksichtigt, da diese häufig ein abnormales Verhalten der Linsenkapsel, des Aufhängeapparates der Linse sowie Verklebungen zwischen Pigmentblatt der Iris und des vorderen Linsenblattes aufweisen.

Von dieser Studie wurden weiterhin Patienten mit intraokularen Erkrankungen, Entzündungen, Infektionen bzw. degenerativen Prozessen in ihrer Anamnese ausgeschlossen, wie eine chronische Iritis/ Iridozyklitis, eine Retinitis pigmentosa, eine rhegmatogene Ablatio retinae oder ein Tumor. Die Patienten waren alle nicht an einem Glaukom erkrankt. Patienten mit Irisanomalien wurden ebenfalls nicht in diese Studie aufgenommen.

Die von der Firma Acritec bereitgestellten markierten Hinterkammerlinsen der Stärken +18,5 Dioptrien bis + 23,5 Dioptrien, mussten implantierbar sein. Als postoperative Zielrefraktion wurde bei allen Patienten dem der Emmetropie nächstliegende Wert angestrebt. Sofern auch nur ein Auge des Patienten eine von diesen vorgegebenen Werten abweichende Hinterkammerlinsenstärke benötigte, wurde der Patient ebenfalls nicht in diese Studie aufgenommen. Es entschied sich demzufolge erst nach der Linsenberechnung mit dem IOL-Master oder mit Hilfe der Ultraschallbiometrie, ob der betreffende Patient tatsächlich in die Studie aufgenommen werden konnte.

Da die Patienten nach erfolgter Kataraktoperation des ersten Auges oft schon zufrieden waren und keine OP des anderen Auges wünschten, erschienen sie teilweise nicht mehr oder lehnten eine weitere Operation ab.

Aufgrund des festgelegten zeitlichen Rahmens dieser Studie, wurden gegen Ende auch Patienten eingeschlossen, denen nur an einem Auge eine pseudotorische Hinterkammerlinse implantiert werden konnte.

8.1.2.3 Präoperative Markierung der Implantationsachse

Im Rahmen der präoperativen Diagnostik wurde eine Spaltlampenphotographie des zu operierenden Auges am sitzenden, geradeaus schauenden Patienten

angefertigt, da es nach Intubationsnarkose, Retrobulbäranästhesie oder Tropfanästhesie während der Operation am liegenden Patienten zu einer Bulbusrotation kommen konnte [5]. Bei dieser Photodokumentation wurden vom Operateur selbst markante Bindehautgefäße aufgesucht, die auf den Zielachsen 0° , 45° , 90° oder 135° lagen. Die Achslagen wurden auf dem Photo eingezeichnet.

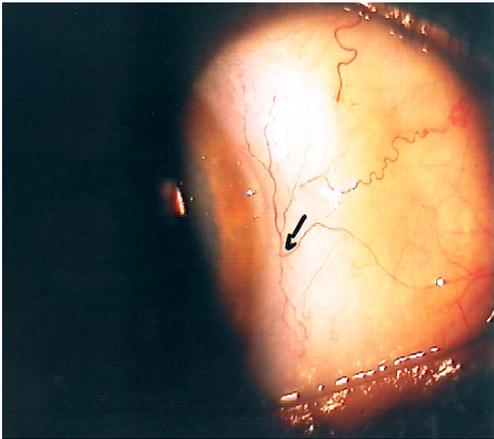


Abbildung 7: Markierung anhand eines Gefäßes in 0 Grad

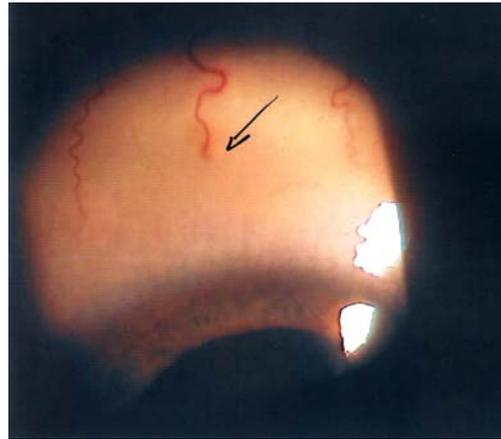


Abbildung 9: Markierung anhand eines Gefäßes in 90 Grad

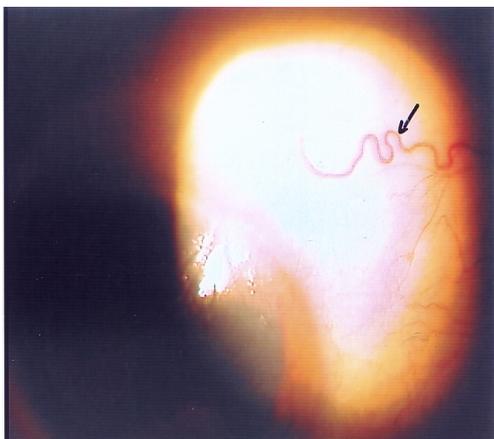


Abbildung 8: Markierung anhand eines Gefäßes in 45 Grad

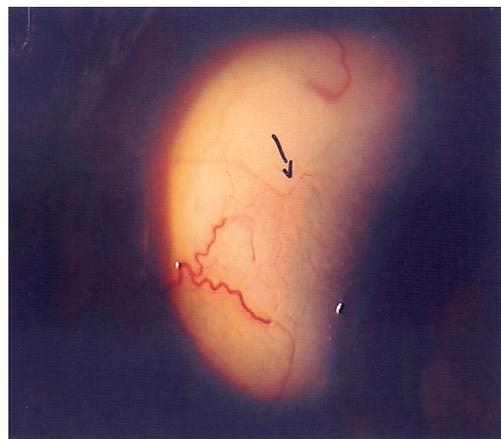


Abbildung 10: Markierung anhand eines Gefäßes in 135 Grad

Diese Kennzeichnungen dienen dem Operateur während der Kataraktoperation als Orientierung und zur Positionierung der pseudotorischen Hinterkammerlinse. Mit Hilfe der vorher angefertigten Photos war es dem

Operateur auch intraoperativ möglich das zuvor markierte Gefäß wiederzufinden. Dieselben Photographien, die dem Operateur zur Verfügung standen, wurden sowohl dem Augenarzt in der Augenambulanz des St. Johannes-Hospitals als auch der überweisenden Augenärztin zur Nachuntersuchung zur Verfügung gestellt.

8.1.2.4 Zuordnung der Patienten in die verschiedenen Gruppen

Die 36 zu untersuchenden Patientenaugen wurden in acht Gruppen eingeteilt. Unterteilt wurden die Gruppen anhand des eingepflanzten Linsentyps und des Implantationswinkels. Die Gruppen eins bis vier berücksichtigen den Linsentyp 42TSM-5 der Firma Acritec wie folgt:

Patienten-Nummer	Augennummer	Alter	Geschlecht	OP-Datum	Operations-Seite
3	A5	60	m	28.04.2005	R
10	A18	81	w	01.08.2005	R
11	A20	56	m	13.06.2005	R
13	A24	85	w	18.10.2005	R

Tabelle 2: Gruppe 1 – *Ari.Lyc 42TSM-5 Einpflanzwinkel 0 Grad

In der Gruppe 1 befanden sich insgesamt vier Patienten, zwei weibliche und zwei männliche. Das Durchschnittsalter betrug $70,5 \pm 7,31$ Jahre.

Patienten-Nummer	Augennummer	Alter	Geschlecht	OP-Datum	Operations-Seite
5	A9	75	m	28.06.2005	R
7	A13	79	w	17.05.2005	R

Tabelle 3: Gruppe 2 – *Ari.Lyc 42TSM-5 Einpflanzwinkel 45 Grad

In der Gruppe 2 befanden sich insgesamt zwei Patienten, je ein weiblicher und ein männlicher. Das durchschnittliche Alter lag bei 77 ± 2 Jahren.

Patienten- Nummer	Augennummer	Alter	Geschlecht	OP-Datum	Operations- Seite
1	A2	82	m	29.03.2005	L
2	A3	81	m	26.04.2005	R
4	A7	84	w	06.05.2005	R
6	A12	83	W	29.04.2005	L
9	A17	75	W	02.08.2005	L
17	A32	75	M	31.08.2005	L
18	A34	72	W	21.09.2005	L
19	A35	74	W	22.08.2005	R

Tabelle 4: Gruppe 3 – *Ari.Lyc 42TSM-5 Einpflanzwinkel 90 Grad

Die Gruppe 3 bestand aus acht Patienten, fünf weiblichen und drei männlichen. Das Durchschnittsalter betrug $78,25 \pm 1,67$ Jahre.

Patienten- Nummer	laufende Augennummer	Alter	Geschlecht	OP-Datum	Operations- Seite
12	A22	75	W	24.03.2005	R
14	A26	53	M	13.09.2005	L
15	A27	80	W	05.09.2005	R
16	A30	77	W	05.09.2005	L

Tabelle 5: Gruppe 4 – *Ari.Lyc 42TSM-5 Einpflanzwinkel 135 Grad

In der Gruppe 4 befanden sich vier Patienten. Drei weibliche und ein männlicher Patient hatten ein Durchschnittsalter von $71,25 \pm 6,17$ Jahren.

Die Gruppen fünf bis acht beziehen sich auf den Linsentyp 52MN der Firma Acritec und berücksichtigen diese wie folgt:

Patienten-Nummer	Augennummer	Alter	Geschlecht	OP-Datum	Operations-Seite
3	A6	60	M	31.03.2005	L

Tabelle 6: Gruppe 5 – *Ari.Lyc 52MN Einpflanzwinkel 0 Grad

Die Gruppe 5 bestand aus einer sechzigjährigen männlichen Person.

Patienten-Nummer	Augennummer	Alter	Geschlecht	OP-Datum	Operations-Seite
14	A25	53	M	15.09.2005	R
16	A29	77	W	19.09.2005	R

Tabelle 7: Gruppe 6 – *Ari.Lyc 52MN Einpflanzwinkel 45 Grad

In der Gruppe 6 befanden sich insgesamt zwei Patienten, ein weiblicher und ein männlicher. Das Durchschnittsalter betrug 65 ± 12 Jahre.

Patienten- Nummer	Augennummer	Alter	Geschlecht	OP-Datum	Operations- Seite
1	A1	82	m	26.04.2005	R
2	A4	81	m	26.04.2005	L
4	A8	84	w	06.06.2005	L
6	A11	83	w	02.06.2005	R
8	A15	77	m	15.07.2005	L
9	A16	75	w	05.10.2005	R
11	A21	56	m	13.06.2005	L
15	A28	80	w	05.09.2005	L
17	A31	75	m	20.09.2005	R
18	A33	72	w	20.10.2005	R
18	A36	72	w	31.08.2005	R

Tabelle 8: Gruppe 7 – *Ari.Lyc 52MN Einpflanzwinkel 90 Grad

Die Gruppe 7 bildeten elf Patienten. Das Durchschnittsalter der fünf männlichen und sechs weiblichen Personen lag bei $76,1 \pm 2,38$ Jahren.

Patienten- Nummer	Augennummer	Alter	Geschlecht	OP-Datum	Operations- Seite
5	A10	75	m	28.06.2005	L
7	A14	79	w	07.04.2005	L
10	A19	81	w	06.10.2005	L
12	A23	75	w	30.03.2005	L

Tabelle 9: Gruppe 8 – *Ari.Lyc 52MN Einpflanzwinkel 135 Grad

Die Gruppe 8 bestand aus insgesamt vier Patienten, drei weiblichen und einem männlichen. Das Durchschnittsalter betrug $77,5 \pm 3$ Jahre.

8.2 Operationsdurchführung und verwendete Hinterkammerlinsen

8.2.1 Operationsdurchführung

Die Operation wurde bei allen 36 Augen bzw. 19 Patienten in identischer Weise durchgeführt. Initial legte der Operateur mit Hilfe eines Diamantmessers einen temporal-limbalen Zugang von ca. 3 mm Länge. Dieser Tunnelschnitt befand sich ca. 3 mm vom Limbus entfernt. Der medial gelegene Abschluss des „Tunnels“ wurde dabei breiter angelegt als das laterale Ende. Der Vorteil der Tunnelschnitttechnik liegt in der Selbstabdichtung durch den intraokular herrschenden Druck am Ende der Operation [17] [25].

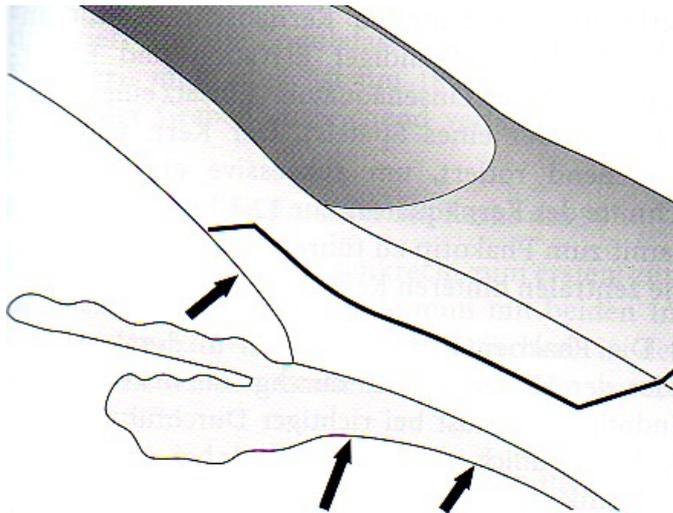


Abbildung 11: Inverser Tunnelschnitt, der zum postoperativen nahtlosen Schnittverschluss führt – die Pfeile kennzeichnen den intraokularen Druck [121]

Weiterhin wurde jeweils eine Parazentese bei 6:00 Uhr und bei 12:00 Uhr angelegt. Im Anschluss an die Vorderkammereröffnung erfolgte die Injektion

des Viscoelastikums Hyaluronsäure. Unter diesem Schutz wurde mit Hilfe der Utrata eine zirkuläre Kapsulorhexis gerissen [25] [89]. Danach erfolgte die Hydrodissektion des Linsenkerns mit anschließender Phakoemulsifikation. Besondere Sorgfalt wurde auf die vollständige Beseitigung von Kern- und Rindenresten gelegt. Anschließend wurde der Kapselsack mit Hyaluronsäure aufgefüllt und der Zugang zur Vorderkammer erweitert. Die jeweilige pseudotorische Hinterkammerlinse der Firma Acritec wurde gefaltet und anschließend mit der Implantationspinzette in den Kapselsack eingebracht. Dabei wurde die Intraokularlinse mit Hilfe der Implantationspinzette solange gedreht, bis die präoperativ festgelegte Zielachse mit der Strichmarkierung auf der Hinterkammerlinse deckungsgleich war. Es wurde angestrebt, dass die Ränder der Kapsulorhexis der Linsenoptik aufliegen. Abschließend wurden das Viscoelastikum und die Operationsinstrumente aus dem Auge entfernt. Zur postoperativen Infektionsprophylaxe wurden Antibiotika und Kortikoide in Form von Augensalben in den Bindehautsack appliziert.

8.2.2 Verwendete Hinterkammerlinsen

Die Firma Acritec stellte für diese Studie zwei pseudotorische Intraokularlinsen unterschiedlichen Designs zur Verfügung. Dabei handelte es sich um die Typen *Acri.Lyc 42TSM-5 und *Acri.Lyc 52MN.

Diese beiden, speziell zu Studienzwecken hergestellten, rein sphärischen pseudotorischen Linsen verfügen über zwei Strichmarkierungen auf der peripheren Optik, außerhalb der optischen Ebene, die jeweils in 180 Grad zueinander liegen.

Um ein möglichst homogenes Patientenkollektiv zu erhalten, wurden für die Studie Intraokularlinsen hergestellt und implantiert, die Stärken von 18,5 bis 23,5 Dioptrien besaßen.

I. *Acri.Lyc 42TSM-5

Die Hinterkammerlinse *Acri.Lyc 42TSM-5 der Firma Acritec, Hennigsdorf, ist eine einteilige faltbare Intraokularlinse zur Kapselsackfixation. Die Optik ist bikonvex. Sie hat einen Optikdurchmesser von 6,6 mm und einen Gesamtdurchmesser von 10,5 mm.

Bei dieser Hinterkammerlinse handelt es sich um eine modifizierte Intraokularlinse aus Acrylat mit scharfer Haptik- und Optikkante.



Abbildung 12: *Acri.Lyc 42TSM-5 [42]

Die Plattenhaptik besitzt mercedessternartige Aussparungen. Der Wassergehalt der Intraokularlinse liegt bei 25 %. Die *Acri.Lyc 42TSM-5 hat eine hydrophobe Oberfläche und einen UV-Absorber.

II. *Acri.Lyc 52MN

Diese dreiteilige Hinterkammerlinse hat einen Gesamtdurchmesser von 13 mm, besitzt aber im Gegensatz zum Linsentyp *Acri.Lyc 42TSM-5 eine c-förmige Schlaufenhaptik. Die bikonvexe Optik der *Acri.Lyc 52MN hat einen Durchmesser von 6,5 mm.



Abbildung 13: *Acri.Lyc 52MN [42]

Die Hinterkammerlinse vom Typ *Acri.Lyc 52MN besteht aus Acrylat mit 25% Wassergehalt und hydrophober Oberfläche. Auch dieser Linsentyp hat einen UV-Absorber.

8.3 Postoperativer Geräteaufbau und postoperative Untersuchung

8.3.1 Postoperativer Geräteaufbau

8.3.1.1 Kontrollen am 1. postoperativer Tag

Am ersten postoperativen Tag wurden die Patienten an einer Spaltlampe Typ BQ 900 der Firma Haag-Streit, 22880 Wedel, in der Augenambulanz des St. Johannes-Hospitals in Dortmund untersucht.



Abbildung 14: Spaltlampe BQ 900 [44]

Diese verfügt über eine Beleuchtungseinheit, welche durch horizontales Drehen beliebig verstellt werden kann und besitzt einen 5-stufigen Vergrößerungswechsler. Zur Winkelmessung drehte der Untersucher die Beleuchtungseinheit zwischen 0 Grad und 180 Grad so, dass das Spaltbild deckungsgleich mit der Winkelmarkierung lag. Im Anschluss wurde anhand der Skala der Beleuchtungseinheit der Winkel abgelesen.

8.3.1.2 Kontrollen ab dem 7. postoperativen Tag

Diese Messungen fanden in der Augenarztpraxis Dr. Roswitha Krause, Dortmund-Körne, statt.

Für die postoperative Bestimmung der Achslagenmarkierung der implantierten Intraokularlinse wurde eine Spaltlampe SL 120 mit Messokular der Firma Carl Zeiss Meditec AG, Jena, des Baujahres 2003 verwendet (Abbildung 15).

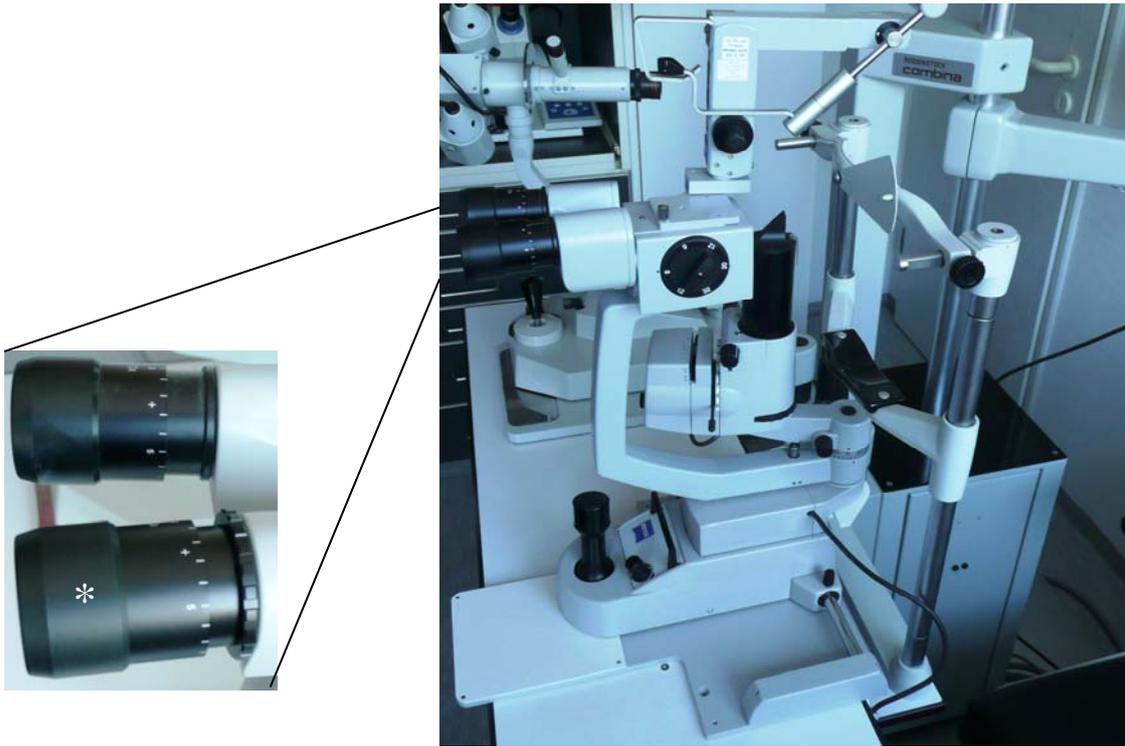


Abbildung 15: Spaltlampe SL 120 mit aufgesetztem Messokular

(siehe * in der Abbildung)

Sie ist mit einem Größenwechsler ausgestattet, der das Umschalten zwischen den verschiedenen optischen Vergrößerungen erlaubt. Die Spaltlampe verfügt über eine 5 fache, 8 fache, 12 fache, 20 fache und eine 32 fache Vergrößerung. Für diese Studie wurde in der Wechslerstellung mit 8facher Vergrößerung gearbeitet.

Das montierte Messokular verfügt über eine Längenskala von 15 mm und eine 180° TABO-Winkelskala. Das Intervall der Längenskala beträgt 0,2 mm, das der TABO-Winkelskala 2°. International hat sich zur Achsenbestimmung das vom technischen Ausschuss für Brillenoptik (TABO) herausgegebene TABO-Schema durchgesetzt. Gemäß TABO-Schema wurde die Gradeinteilung für beide Augen von rechts entgegen des Uhrzeigersinnes abgelesen, von 0° bis 180°.

Mit Hilfe der Winkelskala wurden die Achslagenbestimmungen der implantierten pseudotorischen Hinterkammerlinsen der Firma Acritec vorgenommen, welche

außerhalb ihrer optischen Zone über Markierungen verfügen. Der zur Winkelmessung benötigte künstliche Horizont wurde durch eine im Messokular befindliche Schwerkraftkugel erzeugt (Abbildung 17).

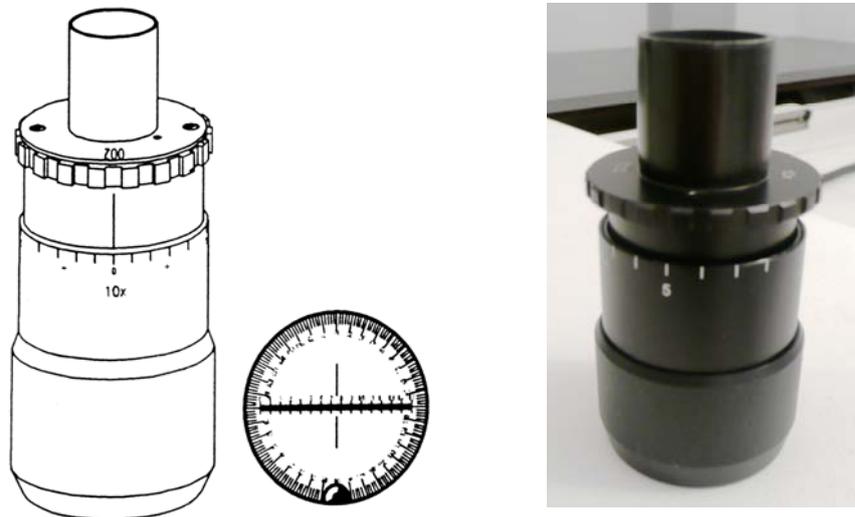


Abbildung 16: Messokular mit Linear- und Winkelskala

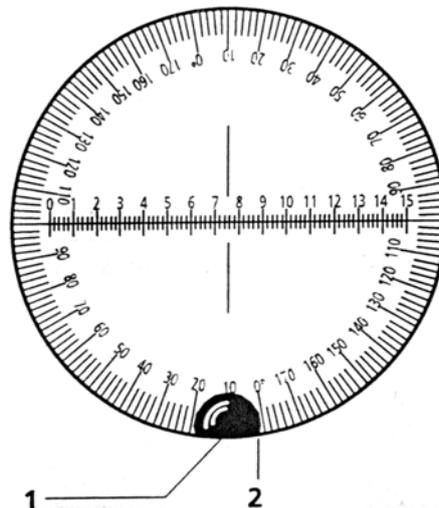


Abbildung 17: Winkelmessung
1 = Schwerkraftkugel 2 = Messpunkt [43]

Für die Möglichkeit der deckungsgleichen Einstellung von Längenskala und Strichmarkierung verfügt das Messokular über einen Rändelring.

8.3.2 Postoperative Untersuchung

Es galt zu untersuchen, ob die bei der Implantation der markierten Hinterkammerlinsentypen, *Acri.Lyc 42TSM-5 und 52MN, angestrebte Zielachse auch im postoperativen Heilverlauf beibehalten werden konnte.

Nachuntersuchungen erfolgten am ersten postoperativen Tag sowie im Abstand von 1 Woche, 1 Monat, 3 Monaten und 6 Monaten nach Implantation.

Zu jedem Untersuchungstermin wurde die Pupille des zu beurteilenden Auges medikamentös erweitert. In das betreffende Auge wurde jeweils ein Augentropfen des Sympathomimetikums Mydriaticum Stulln[®] (Wirkstoff Tropicamid), der Firma Pharma Stulln, und ein Augentropfen des Parasympatolytikums Neosynephrin-POS[®] 10% (Wirkstoff Phenylephrin-HCL), der Firma Ursapharm, getropft. Nach ca. 30 Minuten erreichte die Pupille die benötigte Weite.

Zur Untersuchung saß der Patient aufrecht auf dem Behandlungsstuhl vor der Spaltlampe. Dabei musste das Kinn des Patienten auf der Kinnstütze aufliegen. Die Stirn musste fest an der dafür vorgesehenen Stütze der Spaltlampe anliegen. Damit der Kopf des Patienten auch während der Winkelmessung exakt senkrecht an der Spaltlampe verblieb, assistierte bei jeder Messung eine Arzthelferin oder ein zweiter Augenarzt. Nach dieser Positionierung des Patienten wurde dieser aufgefordert geradeaus zu blicken. Mit Hilfe des Koordinatensteuerhebels zentrierte der Untersucher das Patientenaug. Dazu benutzte er die kleinstmögliche Spaltlampenvergrößerung, dementsprechend die kleinstmögliche Wechslerstellung. Zur besseren Augeneinsicht wurde das Oberlid des Patienten mit Hilfe eines Wattestäbchens von der assistierenden Person angehoben.

Am ersten postoperativen Tag wurde die Winkelmessung in der Augenambulanz des St. Johannes-Hospitals in Dortmund mit Hilfe der Skala an der frei drehbaren Beleuchtungseinheit der Haag-Streit BQ 900 vorgenommen. Ab dem siebenten postoperativen Tag fanden die Messungen in der Augenarztpraxis Dr. Roswitha Krause statt. Zur Achslagenbestimmung wurde das Messokular der Firma Zeiss mit Hilfe des Rändelrings als Ganzes gedreht. Die Drehung musste solange erfolgen, bis sich die Achse der Längenskala mit der Strichmarkierung auf der HKL deckte. Für die Bestimmung des genauen Winkels war die Schwerkraftkugel von entscheidender Bedeutung. An der Messkante, rechte Kugelkante (Abbildung 17, Punkt 1 und 2), wurde der Positionswinkel der Strichmarkierung nach dem TABO-Schema angezeigt. Dabei musste eine geringfügige Einschwingzeit der Kugel berücksichtigt werden.

Für die Messung der Achslage war der Abbildungsmaßstab der Okularebene nicht von Belang. Es war lediglich ein ausreichend großes Objektfeld von Bedeutung. Das Auge musste während der gesamten Messzeit möglichst weit geöffnet sein.

Die Kontrolle der Achsenlagen der pseudotorischen Intraokularlinsen erfolgte mittels des oben beschriebenen Messokulars. Das Ergebnis waren genaue Messungen auch kleinerer Verschiebungen der pseudotorischen Hinterkammerlinsen in ihrer Achse.

Die präoperativ eingeteilten acht Patientengruppen wurden während des gesamten Nachbeobachtungszeitraumes beibehalten.

9. Ergebnisse

9.1 Untersuchte Patienten

Es wurden insgesamt 19 Patienten mit beidseitiger fortgeschrittener Cataracta seniles untersucht.

Die Operation der Patienten mit anschließender Implantation der markierten Hinterkammerlinsen erfolgte ausschließlich nach Einwilligung der Patienten. Alle Patienten wurden dazu ausführlich von dem untersuchenden Arzt der Augenklinik des St. Johannes-Hospitals in Dortmund aufgeklärt. Aus forensischen Gründen erfolgte eine schriftliche Einverständniserklärung des Patienten mindestens 24 Stunden vor der geplanten Operation.

Das Alter der Patienten lag zwischen 53 und 83 Jahren. Das Durchschnittsalter betrug $74,95 \pm 2,09$ Jahre. Es wurden 11 Frauen und 8 Männer untersucht.

Patienten-Nummer	Alter	Geschlecht	laufende Augennummer	OP-Datum	Operations-Seite	Linsen-Typ	geplanter Implantationswinkel (°)
1	82	m	A1	26.04.2005	R	52MN	90
			A2	29.03.2005	L	42TSM-5	90
2	81	m	A3	26.04.2005	R	42TSM-5	90
			A4	26.04.2005	L	52MN	90
3	60	m	A5	28.04.2005	R	42TSM-5	0
			A6	31.03.2005	L	52MN	0
4	84	w	A7	06.05.2005	R	42TSM-5	90
			A8	06.06.2005	L	52MN	90
5	75	m	A9	28.06.2005	R	42TSM-5	45
			A10	28.06.2005	L	52MN	135
6	83	w	A11	02.06.2005	R	52MN	90
			A12	29.04.2005	L	42TSM-5	90
7	79	w	A13	17.05.2005	R	42TSM-5	45
			A14	07.04.2005	L	52MN	135
8	77	m	A15	15.07.2005	L	52MN	90
			A16	05.10.2005	R	52MN	90
9	75	w	A17	02.08.2005	L	42TSM-5	90
			A18	01.08.2005	R	42TSM-5	0
10	81	w	A19	06.10.2005	L	52MN	135
			A20	13.06.2005	R	42TSM-5	0
11	56	m	A21	13.06.2005	L	52MN	90
			A22	24.03.2005	R	42TSM-5	135

			A23	30.03.2005	L	52MN	135
13	85	w	A24	18.10.2005	R	42TSM-5	0
14	53	m	A25	15.09.2005	R	52MN	45
			A26	13.09.2005	L	42TSM-5	135
15	80	w	A27	05.09.2005	R	42TSM-5	135
			A28	05.09.2005	L	52MN	90
16	77	w	A29	19.09.2005	R	52MN	45
			A30	05.09.2005	L	42TSM-5	135
17	75	m	A31	20.09.2005	R	52MN	90
			A32	31.08.2005	L	42TSM-5	90
18	72	w	A33	20.10.2005	R	52MN	90
			A34	21.09.2005	L	42TSM-5	90
19	74	w	A35	22.08.2005	R	42TSM-5	90
			A36	04.10.2005	L	52MN	90

Tabelle 10: Daten der 19 untersuchten Patienten mit Implantation einer markierten pseudotorischen Hinterkammerlinse der Firma Acritec

9.2 Drehungsverhalten aller beobachteten Linsen nach 6 Monaten Beobachtungszeit

Es wurden die Verschiebungen der Achslagen der implantierten pseudotorischen Hinterkammerlinsen gemessen und dokumentiert.

Dabei wurde untersucht, ob ein signifikanter Unterschied in der Drehung der Achslagen der pseudotorischen Linsen zwischen dem Linsentyp 42TSM-5 und dem Linsentyp 52MN der Firma Acritec bestand.

Augennummer	Seite	Linsen-Typ	OP-Tag (°)	1.post-OP Tag (°)	1. post-OP Woche (°)	1. post-OP Monat (°)	3. post-OP Monat (°)	6. post-OP Monat (°)
1	R	52MN	90	90	90	90	90	90
2	L	42TSM-5	90	90	90	90	90	90
3	R	42TSM-5	90	90	90	85	85	88
4	L	52MN	90	95	105	105	110	120
5	R	42TSM-5	0	0	0	0	0	0
6	L	52MN	0	5	5	5	5	5
7	R	42TSM-5	90	90	90	90	90	90
8	L	52MN	90	90	90	85	85	85
9	R	42TSM-5	45	45	45	45	45	45
10	L	52MN	135	135	135	135	160	160

Augennummer	Seite	Linsen-Typ	OP-Tag (°)	1.post-OP Tag (°)	1. post-OP Woche (°)	1. post-OP Monat (°)	3. post-OP Monat (°)	6. post-OP Monat (°)
12	L	42TSM-5	90	88	88	88	88	88
13	R	42TSM-5	45	45	45	45	45	45
14	L	52MN	135	135	135	135	135	135
15	L	52MN	90	90	90	85	80	80
16	R	52MN	90	90	90	90	90	90
17	L	42TSM-5	90	105	105	115	115	115
18	R	42TSM-5	0	0	0	5	5	5
19	L	52MN	135	135	135	135	135	135
20	R	42TSM-5	0	0	0	0	0	0
21	L	52MN	90	90	90	90	90	90
22	R	42TSM-5	135	135	135	135	135	135
23	L	52MN	135	135	135	135	LT	LT
24	R	42TSM-5	0	0	0	0	0	0
25	R	52MN	50	50	50	50	55	55
26	L	42TSM-5	125	135	130	n. e.	n. e.	113
27	R	42TSM-5	135	140	140	140	140	n. e.
28	L	52MN	90	85	80	80	80	n. e.
29	R	52MN	45	45	50	50	50	50
30	L	42TSM-5	135	135	135	135	135	135
31	R	52MN	90	90	90	95	95	95
32	L	42TSM-5	90	90	90	95	95	95
33	R	52MN	90	90	90	90	90	90
34	L	42TSM-5	90	90	90	90	90	90
35	R	42TSM-5	90	92	90	90	90	90
36	L	52MN	90	85	85	85	85	85

Tabelle 11: Darstellung der postoperativ gemessenen Winkel aller Patientenaugen

Legende: n. e. = nicht erschienen

LT = Linsenaustausch

post-OP = postoperativ

Betrachtet man alle in dieser Studie implantierten pseudotorischen Hinterkammerlinsen unabhängig vom Linsentyp und Implantationswinkel über den Beobachtungszeitraum von 6 Monaten, so lag der Mittelwert der Drehung bei $4,424 \pm 1,36$ Grad. Der Median der Drehung befand sich bei 0 Grad. Die Standardabweichung der Drehung ergab 7,818.

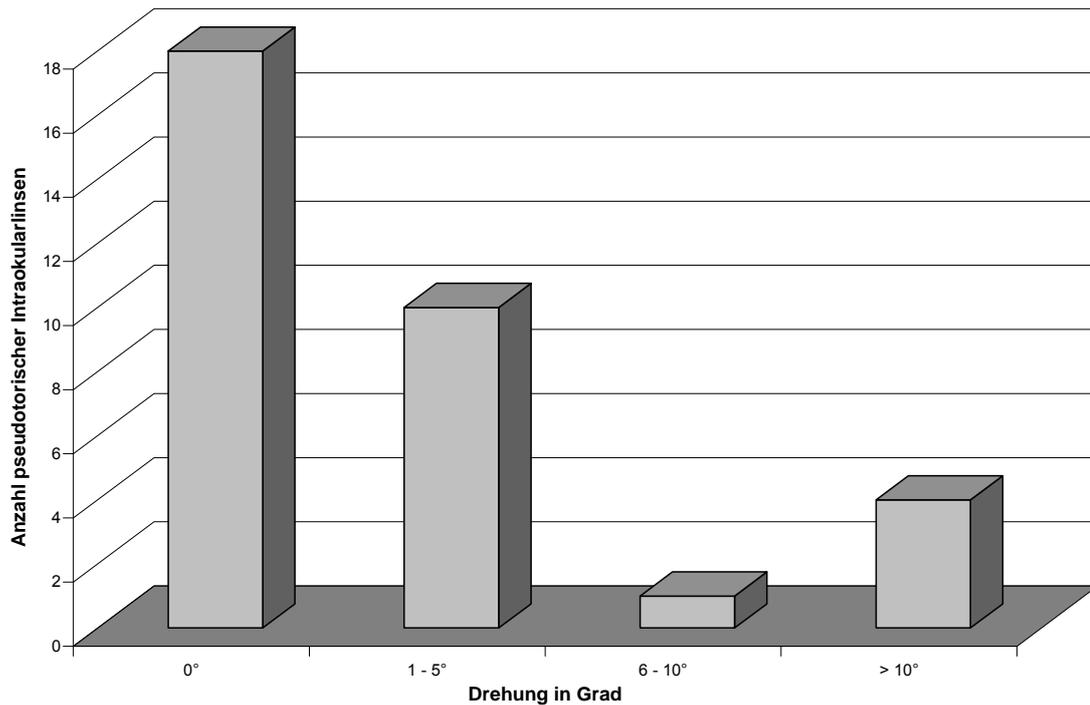


Abbildung 18: Rotationsverhalten aller Linsen 6 Monate postoperativ

Nach sechs Monaten Nachuntersuchungszeitraum zeigte sich, dass 18 pseudotorische Intraokularlinsen (50%) rotationsstabil waren. Zehn Linsen (27,8%) drehten sich um bis zu 5 Grad. Eine untersuchte Intraokularlinse (2,8%) drehte sich um bis zu 10 Grad. Insgesamt 4 pseudotorische Linsen (11,1%) wiesen eine Rotation um mehr als 10 Grad auf. Der maximale Rotationswinkel betrug 30 Grad. Drei Linsen (8,3%) konnten nicht über den gesamten Untersuchungszeitraum beobachtet werden. Von diesen musste eine Linse vorzeitig getauscht werden (postoperative Anisometropie) und ein Patient (zwei Linsen) erschien nicht zum letzten Untersuchungstermin 6 Monate postoperativ.

9.3 Unterschiede im Rotationsverhalten zwischen der 42TSM-5 und der 52MN nach 6 Monaten Beobachtungszeit

Betrachtet man nur die Drehung der 42TSM-5 Intraokularlinsen, unabhängig vom Implantationswinkel, so lag nach 6 Monaten folgendes Ergebnis vor: der

Mittelwert der Achsendrehung betrug $3 \pm 1,57$ Grad, der Median der Drehung lag bei 0 Grad, die Standardabweichung lag bei 6,490.

Im Vergleich dazu wurde mit der 52MN Intraokularlinse folgendes Ergebnis erzielt: der Mittelwert der Achsdrehung lag bei $6 \text{ Grad} \pm 2,25$, der Median der Drehung befand sich bei 5 Grad, die Standardabweichung der Drehung betrug 8,984.

Der Unterschied der postoperativen Drehung zwischen den Intraokularlinsen des Typs 42TSM-5 und der 52MN, unabhängig vom Implantationswinkel, ist nach 6 Monaten Beobachtungszeitraum statistisch nicht signifikant ($p = 0,29$).

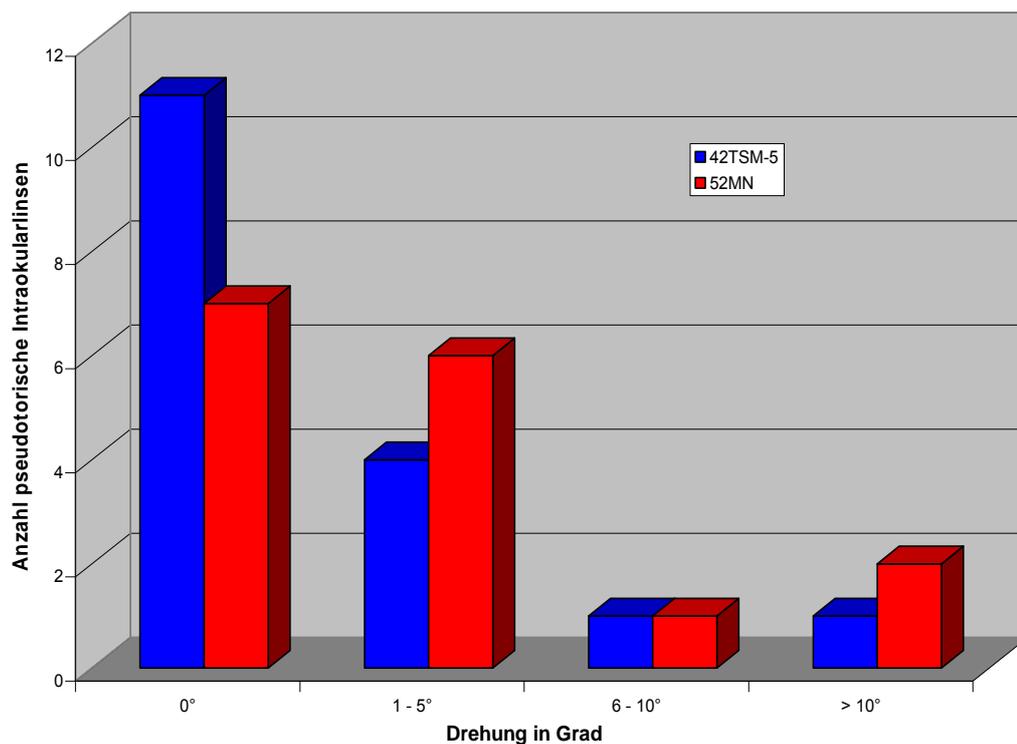


Abbildung 19: Vergleich des Rotationsverhaltens zwischen den Linsentypen
*Acri.Lyc 42TSM-5 und *Acri.Lyc 52MN 6 Monate postoperativ

Während elf der achtzehn implantierten Intraokularlinsen (61,1%) des Typ 42TSM-5 auch nach 6 Monaten postoperativ nicht rotiert waren, konnte dieses

Ergebnis nur bei sieben der achtzehn Intraokularlinsen (38,9%) des Typs 52MN verzeichnet werden.

Bis zu 5 Grad hatten sich beim Typ 42TSM-5 vier Linsen (22,2%), bei dem Linsentyp 52MN sechs (33,3%) gedreht. Jeweils eine Linse beider Linsentypen drehte sich in dem Bereich von 6 Grad bis 10 Grad (5,6%). Eine pseudotorische Intraokularlinse (5,6%) des Typs 42TSM-5 wies nach 6 Monaten Nachbeobachtungszeit eine Rotation von 25 Grad auf. Zwei Linsen (11,1%) des Typs 52MN drehten sich im Beobachtungszeitraum über 10 Grad, wobei die maximale Drehung 30 Grad betrug. Das Rotationsverhalten einer Linse (5,6%) des Typs 42TSM-5 konnte nicht abschließend beurteilt werden, da zwei Monate postoperativ die Linse getauscht werden musste. Zwei Linsen (11,1%) des Typs 52MN konnten nicht abschließend beurteilt werden, da der betreffende Patient zum letzten Kontrolltermin sechs Monate nach Implantation der Linse nicht erschien.

9.4 Vergleiche des Rotationsverhaltens der Intraokularlinsen 42TSM-5 und der 52MN zwischen den einzelnen postoperativen Nachbeobachtungszeiten

Die meisten pseudotorischen Linsen beider Typen drehten sich innerhalb der ersten 24 Stunden nach der Operation. So wiesen am ersten postoperativen Tag fünf Linsen (27,8%) des Typs 42TSM-5 und vier Linsen (22,2%) des Typs 52MN eine andere Achse als die während der Operation implantierte auf.

Innerhalb der ersten postoperativen Woche drehten sich zwei Linsen des Typs 42TSM-5 (11,1%) und drei Linsen (16,7%) des Typs 52MN. Im Zeitraum von einer Woche postoperativ bis zum 1. postoperativen Monat rotierten vier Linsen (22,2%) der 42TSM-5 und drei Linsen (16,7%) des Typs 52MN. Nach Abschluss des 1. Monats bis zum Untersuchungszeitpunkt 3 Monate nach der Operation waren die Achslagen des Linsentyps 42TSM-5 stabil, jedoch drehten sich vier Linsen (22,2%) des Typs 52MN. Ab dem 3. postoperativen Monat bis zum Ende des Untersuchungszeitraums wies jeweils nur eine Intraokularlinse (5,6%) beider Typen eine Rotation auf.

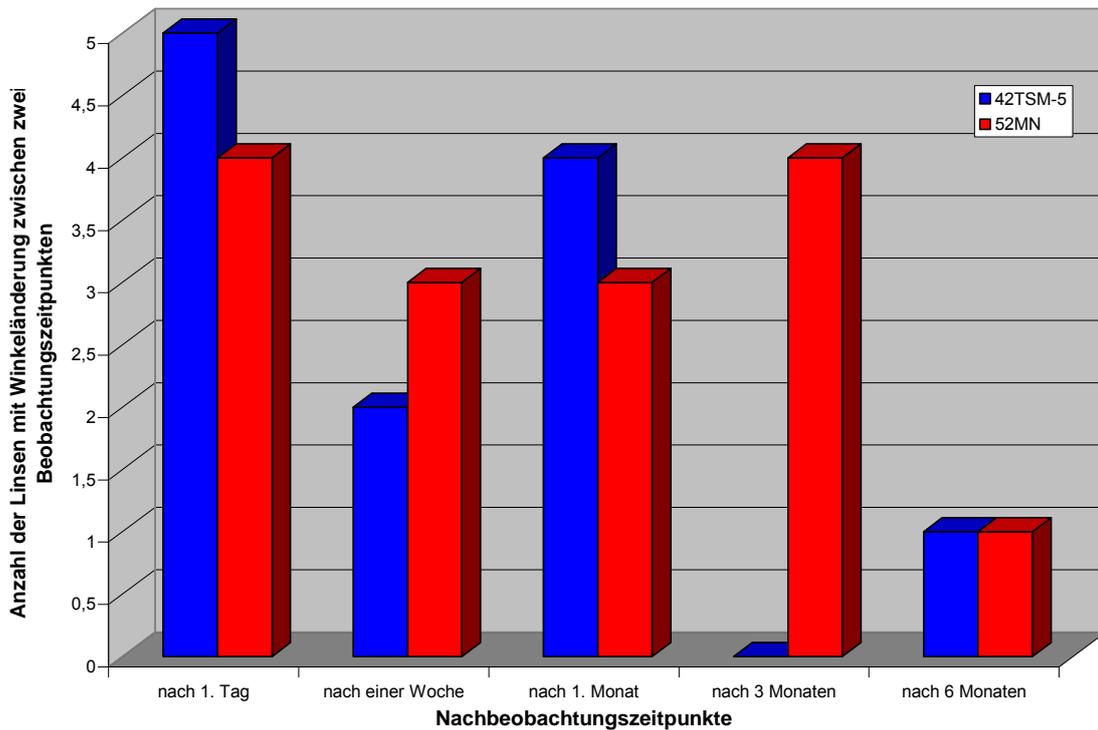


Abbildung 20: Vergleich des Rotationsverhaltens zwischen den verschiedenen Nachbeobachtungszeitpunkten

9.5 Vergleiche des Rotationsverhaltens pseudotorischer Intraokularlinsen in Abhängigkeit vom Implantationswinkel

In dieser Studie wurde untersucht, in welchem Implantationswinkel (0° , 45° , 90° oder 135°) die pseudotorische Linse die stabilste postoperative Achslage aufwies. Die gemessene Drehung der Intraokularlinse vom Operationstag bis 6 Monate nach der Operation wurde für alle 8 Gruppen getrennt voneinander untersucht.

I. Gruppe 1 - Tabelle 12 : *Ari.Lyc 42TSM-5, Achslagen am Operationstag bei 0 Grad Ergebnisse 6 Monate postoperativ

Mittelwert der Drehung	1,25
Median der Drehung	0
SD der Drehung	2,5
SEM der Drehung	1,25
Anzahl der Linsen	4
Anzahl rotationsstabiler Linsen	3 (75%)
Anzahl Linsen mit Drehung bis 5 Grad	1 (25%)
Anzahl Linsen mit Drehung zwischen 6 bis 10 Grad	0
Anzahl der Linsen mit Drehung über 10 Grad	0

Sechs Monate nach Implantation der Linse vom Typ 42TSM-5 sind 75% noch rotationsstabil. Nur eine Linse wies eine Drehung von bis zu 5 Grad auf.

II. Gruppe 2 - Tabelle 13: *Ari.Lyc 42TSM-5, Achslagen bei 45 Grad Ergebnisse 6 Monate postoperativ

Mittelwert der Drehung	0
Median der Drehung	0
SD der Drehung	0
SEM der Drehung	0
Anzahl der Linsen	2
Anzahl rotationsstabiler Linsen	2 (100%)
Anzahl Linsen mit Drehung bis 5 Grad	0
Anzahl Linsen mit Drehung zwischen 6 bis 10 Grad	0
Anzahl der Linsen mit Drehung über 10 Grad	0

Alle Linsen (100%) dieser Gruppe blieben über den gesamten Beobachtungszeitraum rotationsstabil.

III. Gruppe 3 - Tabelle 14: *Ari.Lyc 42TSM-5, Achslagen bei 90 Grad
Ergebnisse 6 Monate postoperativ

Mittelwert der Drehung	4,25
Median der Drehung	1
SD der Drehung	8,565
SEM der Drehung	3,028
Anzahl der Linsen	8
Anzahl rotationsstabiler Linsen	4 (50%)
Anzahl Linsen mit Drehung bis 5 Grad	3 (37,5%)
Anzahl Linsen mit Drehung zwischen 6 bis 10 Grad	0
Anzahl der Linsen mit Drehung über 10 Grad	1 (12,5)

In dieser Gruppe waren 50% der Linsen rotationsstabil. 37,5% der Linsen wiesen eine geringe Drehung von 0 Grad bis maximal 5 Grad auf. Nur eine Linse wies eine Drehung von 25 Grad auf.

IV. Gruppe 4 - Tabelle 15: *Ari.Lyc 42TSM-5, Achslagen bei 135 Grad
Ergebnisse 6 Monate postoperativ

Mittelwert der Drehung	4
Median der Drehung	0
SD der Drehung	6,928
SEM der Drehung	4
Anzahl der Linsen	3
Anzahl rotationsstabiler Linsen	2 (50%)
Anzahl Linsen mit Drehung bis 5 Grad	0
Anzahl Linsen mit Drehung zwischen 6 bis 10 Grad	0
Anzahl der Linsen mit Drehung über 10 Grad	1 (25%)
Anzahl Linsen ohne abschließende Aussage	1 (25%)

50% dieser Linsen waren rotationsstabil, eine Linse (25%) drehte sich um 12 Grad und eine Linse (25%) war wegen Nichterscheinens des Patienten nicht abschließend beurteilbar.

V. Gruppe 5 - Tabelle 16: *Ari.Lyc 52MN, Achslagen bei 0 Grad
Ergebnisse 6 Monate postoperativ

Mittelwert der Drehung	5
Median der Drehung	5
SD der Drehung	SD- und SEM-Wert aufgrund geringen Anzahl nicht berechenbar
SEM der Drehung	
Anzahl der Linsen	1
Anzahl rotationsstabiler Linsen	0
Anzahl Linsen mit Drehung bis 5 Grad	1 (100%)
Anzahl Linsen mit Drehung zwischen 6 bis 10 Grad	0
Anzahl der Linsen mit Drehung über 10 Grad	0

Die Linse (100%) dieser Gruppe drehte sich um bis zu 5 Grad.

VI. Gruppe 6 - Tabelle 17: *Ari.Lyc 52MN, Achslagen bei 45 Grad
Ergebnisse 6 Monate postoperativ

Mittelwert der Drehung	5
Median der Drehung	5
SD der Drehung	0
SEM der Drehung	0
Anzahl der Linsen	2
Anzahl rotationsstabiler Linsen	0
Anzahl Linsen mit Drehung bis 5 Grad	2 (100%)
Anzahl Linsen mit Drehung zwischen 6 bis 10 Grad	0
Anzahl der Linsen mit Drehung über 10 Grad	0

Beide Linsen (100%) dieser Gruppe drehten sich ebenfalls um bis zu 5 Grad.

VII. Gruppe 7 - Tabelle 18: *Ari.Lyc 52MN, Achslagen bei 90 Grad
Ergebnisse 6 Monate postoperativ

Mittelwert der Drehung	5,5
Median der Drehung	2,5
SD der Drehung	9,265
SEM der Drehung	2,793
Anzahl der Linsen	11
Anzahl rotationsstabiler Linsen	5 (45,5%)
Anzahl Linsen mit Drehung bis 5 Grad	3 (27,2%)
Anzahl Linsen mit Drehung zwischen 6 bis 10 Grad	1 (9,1%)
Anzahl der Linsen mit Drehung über 10 Grad	1 (9,1%)
keine abschließende Aussage möglich	1 (9,1%)

In dieser Gruppe wiesen fünf (45,5%) der beobachteten Linsen ein rotationsstabiles Verhalten auf. Drei Linsen (27,2%) drehten sich um bis zu 5 Grad. Jeweils eine weitere Linse (9,1%) drehte sich im Winkel zwischen 6 bis 10 Grad bzw. im Winkel um über 10 Grad. Bei einer Linse (9,1%) war eine abschließende Beurteilung nicht möglich, da der Patient nicht zum Nachbeobachtungstermin erschienen ist.

VIII. Gruppe 8 - Tabelle 19: *Ari.Lyc 52MN, Achslagen bei 135 Grad
Ergebnisse 6 Monate postoperativ

Mittelwert der Drehung	8,333
Median der Drehung	0
SD der Drehung	14,43375673
SEM der Drehung	7,217
Anzahl der Linsen	4
Anzahl rotationsstabiler Linsen	2 (50%)
Anzahl Linsen mit Drehung bis 5 Grad	0
Anzahl Linsen mit Drehung zwischen 6 bis 10 Grad	0
Anzahl der Linsen mit Drehung über 10 Grad	1 (25%)
keine abschließende Aussage möglich	1 (25%)

Im Nachbeobachtungszeitraum blieben zwei Linsen (50%) rotationsstabil, eine Linse (25%) drehte sich postoperativ über 10 Grad. Eine Linse (25%) musste im postoperativen Verlauf getauscht werden und konnte deshalb nicht weiter in der Studie berücksichtigt werden.

9.6 Vergleich aller postoperativ rotierten Linsen

Es wurden alle pseudotorischen Intraokularlinsen untersucht, die während der sechs postoperativen Untersuchungstermine eine Achsendrehung aufwiesen. Von besonderem Interesse war, ob und wann die Achsenrotation abgeschlossen war.

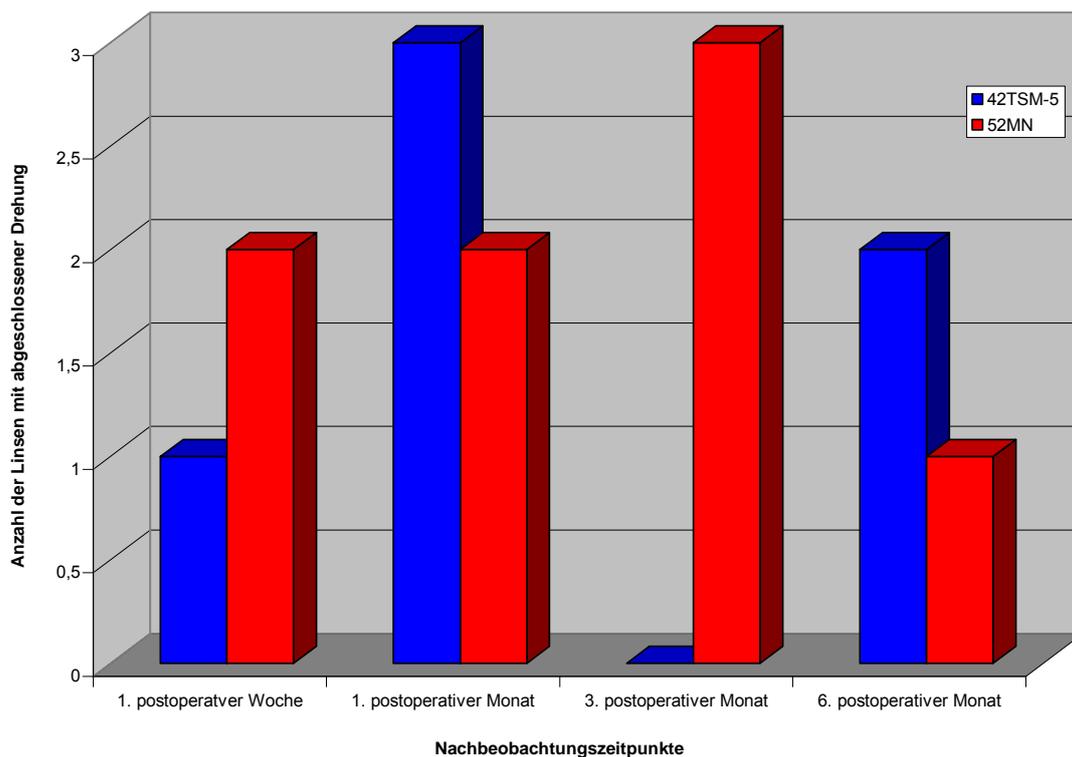


Abbildung 21: Anzahl der Linsen mit abgeschlossener Drehung bezogen auf alle postoperativ rotierenden Linsen

Von den 36 untersuchten Patientenaugen wiesen insgesamt nur 14 Intraokularlinsen (38,9%) überhaupt eine postoperative Drehung auf. Es wurden jeweils 18 Intraokularlinsen des Typs *Ari.Lyc 42TSM-5 und des Typs 52MN implantiert. Es zeigte sich, dass nur sechs (33,3%) der achtzehn Intraokularlinsen vom Typ *Ari.Lyc 42TSM-5 eine postoperative Rotation aufwiesen. Die postoperative Rotation war bei einer Linse (5,6%) dieses Typs innerhalb der ersten postoperativen Woche und bei drei Linsen (50%) innerhalb

des ersten postoperativen Monats abgeschlossen. Bei zwei (33,3%) von allen postoperativ rotierenden Intraokularlinsen des Typs *Ari.Lyc 42TSM-5 war die Drehung bis zum Ende des Beobachtungszeitraumes nicht abgeschlossen.

Im Gegensatz dazu konnte eine postoperative Rotation bei acht (44,4%) der achtzehn implantierten Intraokularlinsen vom Typ *Ari.Lyc 52MN nachgewiesen werden. Bei zwei (25%) der acht postoperativ rotierenden Linsen dieses Typs war die Drehung innerhalb der ersten postoperativen Woche abgeschlossen. Zwei Linsen (25%) rotierten bis zum Abschluss des ersten postoperativen Monats und weitere drei Linsen (37,5%) wiesen erst am Ende des dritten postoperativen Monats ein stabiles Rotationsverhalten auf. Bei einer untersuchten Intraokularlinse (12,5%) des Typs 52MN konnte auch am Ende des Nachbeobachtungszeitraums von 6 Monaten kein stabiles Rotationsverhalten nachgewiesen werden.

10. Kritik der Methode

Torische Kunstlinsen sollen den Hornhautastigmatismus im Rahmen einer Kataraktchirurgie korrigieren. Wichtige Voraussetzungen für den erfolgreichen Ausgleich sind die sorgfältige Indikationsstellung, eine exakte intraoperative Positionierung und die Minimierung von Dezentrierung, Verkippung oder Nachrotation im postoperativen Verlauf.

Die Wahl eines Bindehautgefäßes als Markierungspunkt der Implantationsachse birgt gewisse Unsicherheiten in sich. Einige Gefäße weisen Schlängelungen auf. Je weiter die Markierung vom Limbus entfernt ist, desto schwerer kann die exakte intraoperative Positionierung werden.

Zur Vermeidung derartiger Fehlerquellen könnte bei zukünftigen, endgültigen Implantationen eine kurz vor Operationsbeginn stattfindende Laser-Markierung nahe am Limbus oder auf der Iris sinnvoll sein. Vorstellbar wäre auch eine präoperative Farb- oder Lasermarkierung der Bindehaut bzw. der Hornhaut, ebenso eine Markierung mit Hilfe eines Skalpell. Bei längerer Verzögerung der Operation oder bei Anschwellen der Bindehaut kann es jedoch zu Verzerrungen und/oder Verschiebungen der Markierungen kommen. Eine Linsenimplantation in einer falschen Achsenlage könnte daraus resultieren.

Hilfreich wäre auch eine Achsmarkierung mittels eines resorbierbaren Fadens. Die weitere postoperative Beurteilung würde damit noch sicherer sein. In vereinzelten Fällen könnte dieser Faden allerdings zu Reizerscheinungen oder Missempfindungen beim Patienten führen. Auch eine Festlegung der Implantationsachse mit speziellen Computerprogrammen wäre möglich und vor allem für weniger erfahrene Ophthalmochirurgen vorstellbar. In unserer Studie haben wir jedoch aufgrund der langjährigen Erfahrung des Operateurs darauf verzichtet.

In unseren Untersuchungen wurde die Implantationsachse vom Operateur selbst anhand markanter Bindehautgefäße festgelegt und photodokumentiert. Viestenz et al. [151] empfehlen eine zweite Referenzachse oder –ebene zur Beurteilung der postoperativen Rotation. Sie halten die alleinige Vorderabschnittsphotographie für nicht ausreichend und empfehlen zusätzlich

eine Fundusphotographie mit dem Heidelberg Retina Tomographen. Auch bei unseren postoperativen Messungen zeigt sich, dass mit nur einer Markierung eines Bindehautgefäßes die exakte Bestimmung der Achslagen in manchen Fällen erschwert war. Eine zweite, 180 Grad gegenüberliegende Bindehautmarkierung, könnte die Achsbestimmung deutlich verbessern.

Auf den präoperativ angefertigten Photos war nur ein Ausschnitt und nicht das gesamte Auge mit umgebender Bindehaut abgebildet. Zur Abbildung der zweiten 180 Grad gegenüberliegenden Markierung müsste eine Kamera mit größerem Bildausschnitt verwendet werden.

Die präoperative Photodokumentation fand am aufrecht sitzenden Patienten statt. Im Unterschied dazu liegt der Patient während der Operation. Es besteht die Möglichkeit einer Zyklorotation des Bulbus. Ein Photo mit Abbildung des gesamten Auges könnte die Rotation leichter erkennbar machen, so dass diese Drehung ausgeglichen werden könnte. In der refraktiven Chirurgie wird die Zyklorotation teilweise schon mit Hilfe bestimmter Computerprogramme automatisch vom Lasergerät ausgeglichen [95].

Fehler seitens des Patienten können das nachträgliche Verdrehen des Kopfes an der Spaltlampe in der Longitudinalachse sein (nach exakter Positionierung durch den Arzt).

Bei einem Patienten wich die Achse, in der die Linse implantiert wurde, im Vergleich zur am ersten postoperativ gemessenen Achse um 10 Grad und bei einem anderen um 15 Grad ab.

Eine mögliche Fehlerquelle könnte das „Hängenbleiben“ der Haptik in den Falten des Kapselsacks bei der Linsenimplantation gewesen sein. Durch das Nachgeben der Zonulafasern beim intraoperativen Positionieren der Linse in die festgelegte Achse kann es zu einer „Pseudorotation“ des Kapselsacks gekommen sein. Trotz exakter intraoperativer Positionierung anhand der Bindehautmarkierung kann es durch die postoperative Anspannung der Zonulafasern und die Glättung des Kapselsacks zu einer Drehung der Linse zusammen mit dem Kapselsack gekommen sein.

Das geringfügige Abweichen der Achslagen zwischen dem ersten postoperativen Tag und der Kontrolle der Achslage eine Woche postoperativ kann verschiedene nicht patientenbedingte Ursachen haben. So handelt es sich um verschiedene Untersucher und um unterschiedliche Apparaturen zur Winkelmessung (unterschiedliche Firmen).

In der Augenklinik des St. Johannes-Hospitals in Dortmund wurde zur Winkelmessung am ersten postoperativen Tag die verstellbare Beleuchtungseinheit der Haag-Streit Spaltlampe benutzt. Für alle weiteren Messungen in der Augenarztpraxis Dr. Krause wurde ein speziell angefertigtes Messokular der Firma Zeiss verwendet. Die Messungen mit Hilfe dieses Okulars sind als genauer zu bewerten, da es über eine kleinere Skalierung verfügt. Trotz der relativen feinen Skalierung des Messokulars sind computergestützte Messmethoden, wie z.B. mit dem HRT, in der Achslagenbestimmung als überlegen anzusehen.

In dieser Studie zeigte sich, dass beide Intraokularlinsentypen 42TSM-5 und 52MN der Firma Acritec geeignet sind sphärozyklindrische Refraktionsanomalien auszugleichen. Der Linsentyp 42TSM-5 scheint dabei ein deutlich stabileres postoperatives Rotationsverhalten gegenüber dem Linsentyp 52MN aufzuweisen, so dass dieser für den Ausgleich eines Hornhautastigmatismus bei einer Kataraktoperation bevorzugt werden sollte.

Aufgrund der geringen Fallzahl in allen 8 Untersuchungsgruppen ist das Ergebnis statistisch nicht signifikant und unseres Erachtens nicht zu verallgemeinern.

Interessant wäre eine Untersuchung der Rotationsstabilität in Abhängigkeit vom Implantationswinkel, insbesondere der Intraokularlinse 42TSM-5, bei deutlich größeren Fallzahlen.

11. Diskussion der Ergebnisse

11.1 Allgemeine Betrachtung

Das Streben nach Perfektion macht auch vor der Kataraktchirurgie nicht halt. Der Wunsch nach einem postoperativen „Sehen ohne Brille“ wird von Patientenseite immer stärker.

Durch die alleinige Implantation einer sphärischen Intraokularlinse während einer Kataraktoperation kann ein gleichzeitig bestehender Hornhautastigmatismus nicht ausgeglichen werden. Zur Korrektur standen bis vor einigen Jahren nur Astigmatismus ausgleichende Kontaktlinsen- oder Brillenkorrekturen zur Verfügung.

Gerade bei der Korrektur höherer Astigmatismen durch Brillengläser kann der Komfort des Patienten leiden. Brillengläser aus Glas sind zwar robust und relativ unempfindlich gegenüber Kratzern, wiegen aber meist auch deutlich mehr als jene aus Kunststoff. Je höher der auszugleichende Astigmatismus des Auges ist, umso wichtiger ist die exakte Zentrierung des Brillenglases. Vor allem bei schweren Brillengläsern und bei kranken oder älteren Patienten ist dies aber nicht immer gewährleistet. Die mangelnde Zentrierung des zylindrischen Brillenglases kann zu asthenopen Beschwerden oder zu einem schlechteren Sehen führen. Auch das typische Beschlagen der Brillengläser beim Wechsel der Umgebungstemperatur wird häufig als sehr störend empfunden.

Kontaktlinsen sind zwar leicht und gut anzupassen, haben aber den Nachteil des relativ hohen Pflegeaufwandes. Gerade ältere Patienten fühlen sich damit häufig überfordert. Bei Pflege- und/oder Reinigungsfehlern können schwere Infektionen auftreten, die im Extremfall zum Verlust des Auges führen können. Weitere mögliche Komplikationen beim Tragen von Kontaktlinsen sind Hornhauttrübungen, Hornhautvaskularisationen sowie eine Abnahme der Endothelzelldicke der Hornhaut.

Häufig ist auch nach erfolgter Kataraktoperation eine Kontaktlinsenanpassung aufgrund von Allgemein- bzw. Grunderkrankungen (Störungen des Tränenfilms, trockenes Auge, Rheuma, Arthrose etc.) nicht oder nur eingeschränkt möglich. Zur invasiven Korrektur geringer Astigmatismen wurden geeignete Schnitttechniken, beispielsweise Inzisionen in der Achse des steilen Meridians bei der Keratotomie, entwickelt. Der Nachteil dieser Methoden besteht in der ungenauen Dosierbarkeit der antiastigmatischen Wirkung und in der Schwankung der postoperativen Refraktion.

Auch ablativ Verfahren wie die PRK, die LASEK und die LASIK können den Hornhautastigmatismus reduzieren und/oder korrigieren. Astigmatismen über 2,5 bis 3 Dioptrien lassen sich durch diese Methoden aber meist nicht vollständig korrigieren [49] [125]. Nachteile der ablativen Hornhautastigmatismuskorrektur liegen in dem möglichen Auftreten von Komplikationen, wie z.B. Hornhauttrübungen mit Halos, persistierenden Schmerzen oder Wundheilungsstörungen [7] [28] [91].

Die Kataraktchirurgie und die refraktive Chirurgie sind in den letzten Jahren immer weiter zusammengewachsen. Voraussetzung war die konsequente Verbesserung der Techniken der Kataraktoperation (z.B. kleinere Schnittführung), so dass durch die Operation an sich nur noch ein geringer Hornhautastigmatismus erzeugt wird.

„Torische Kunstlinsen sind im Rahmen der Kataraktchirurgie weitgehend akzeptiert zur Kompensation eines höheren kornealen Astigmatismus. Entscheidend für den Erfolg einer tIOL ist neben der sorgfältigen Indikationsstellung 1. eine exakte Positionierung und 2. die Minimierung von Dezentrierung, Verkippung oder Nachrotation im zeitlichen Verlauf“ [151].

Während laserchirurgische Verfahren den Nachteil der Irreversibilität haben, lassen sich torische Intraokularlinsen bei nicht zufriedenstellender Korrektur des Astigmatismus drehen oder tauschen.

11.2 Bewertung der Ergebnisse

11.2.1 Präoperative Ergebnisse

Durch den verfügbaren Lieferbereich der pseudotorischen Intraokularlinsen 42TSM-5 und 52MN der Firma Acritec war es möglich, ein großes Spektrum an Patienten zu operieren und in diese Studie aufzunehmen.

Die ausgewählten Patienten wurden streng nach den Ein- und Ausschlusskriterien selektiert. Es war somit ausgeschlossen, dass Patienten in diese Studie aufgenommen wurden, deren zusätzliche okuläre Pathologien einen Einfluss auf das postoperative Sitzverhalten der IOL hätten nehmen können. Die Berücksichtigung der Ein- und Ausschlusskriterien war von besonderer Bedeutung um mögliche Fehlerquellen bei der Beurteilung der postoperativen Rotation als Ursache ausschließen zu können.

Die in dieser Studie erfassten Patienten entsprechen demographisch dem für die Erkrankung des grauen Stars typischen Patientengut.

11.2.2 Intraoperative Ergebnisse

Beide Intraokularlinsen, die 42TSM-5 und die 52MN, der Firma Acritec zeigten ein gutes Implantierverhalten.

Unabhängig von der gewählten Achsenposition der Markierungen wurden die Linsen durch einen angelegten Tunnelschnitt in den Kapselsack implantiert. Beide pseudotorischen Intraokularlinsen zeigten ein gutes Zentrierverhalten.

Das präoperativ angefertigte Photo mit der eingezeichneten Markierung eines markanten Bindehautgefäßes war für die korrekte Intraokularlinsenimplantation während der Kataraktoperation von essentieller Bedeutung.

Anhand dieses Photos konnte intraoperativ das zu Orientierung dienende Gefäß wieder aufgesucht werden. Der Vorteil der Photodokumentation lag in dem Ausschluss einer möglichen spontanen Zyklorotation des Bulbus als Fehlerquelle für eine falsche Achslagenimplantation beim liegenden im Vergleich zum sitzenden Patienten. Diese spontanen Rotationen des Bulbus

können bis zu 11,5 Grad in beide Richtungen ausmachen [95] [150] [153]. Anhand des markanten Bindehautgefäßes wurde intraoperativ die Markierung der Intraokularlinse in die gewünschte Achslage ausgerichtet.

11.2.3 Postoperative Ergebnisse

Zahlreiche Arbeiten haben die Nachrotation unterschiedlicher Typen torischer Intraokularlinsen untersucht. Bei allen torischen Intraokularlinsen ist die exakte Positionierung der zylindrischen Achse während der Kataraktoperation von entscheidender Bedeutung. Im Idealfall wird diese auch im weiteren postoperativen Heilungsverlauf beibehalten. Schon eine Rotation der tIOL um zehn Grad kann einen erheblichen verbleibenden Astigmatismus zur Folge haben [48]. Nach Viestenz et al. reduziert die Rotation einer den Astigmatismus voll ausgleichenden torischen Intraokularlinse um nur 3 Grad die kompensatorische antiastigmatische Wirkung um 10%. Eine Drehung dieser Linse um 11,5 Grad führt zu einem Wirkungsverlust von 40% [152].

Aus diesem Grund wurde die exakte Ausrichtung der Linsenmarkierung der pseudotorischen Intraokularlinse auf die präoperativ festgelegte Achse angestrebt.

Ziel muss es sein, eine Linse zu entwickeln, die im postoperativen Heilungsverlauf zu einem hohen Prozentsatz rotationsstabil ist. Sofern dennoch eine Rotation stattfindet, sollte das Ausmaß möglichst gering und die Linsendrehung in einem definierten Zeitraum abgeschlossen sein, damit bei Bedarf eine operative Nachpositionierung stattfinden kann.

In dieser Arbeit wurden zwei Linsentypen unterschiedlichen Designs, aber gleichen Materials, auf ihr postoperatives Rotationsverhalten untersucht.

Bei der 42TSM-5 und der 52MN der Firma Acritec handelt es sich um pseudotorische Intraokularlinsen. Sie korrigieren die sphärische, nicht aber die korneale astigmatische Ametropie. Beide Linsen besitzen zudem jeweils zwei farbige Markierungen am Rande ihrer Optik, anhand derer die Linsen in einer

präoperativ festgelegten Achse implantiert werden können. Im postoperativen Heilungsverlauf kann anhand der Markierungen eine mögliche Achsenrotation bestimmt werden.

Es galt die Auswirkungen unterschiedlicher Linsendesigns auf die postoperative Rotationsstabilität zu untersuchen.

Vergleicht man in unserem Patientengut das Rotationsverhalten zwischen der *Ari.Lyc Intraokularlinse 42TSM-5 und der 52MN über den gesamten sechsmonatigen Untersuchungszeitraum, so lag der Mittelwert der Achsendrehung der 42TSM-5 bei $3 \pm 1,57$ Grad, der Median der Drehung bei 0 Grad. Im Gegensatz dazu drehte sich die Intraokularlinse vom Typ *Ari.Lyc 52MN durchschnittlich um $6 \pm 2,25$ Grad. Der Median der Achsendrehung bei diesem Linsentyp lag bei 5 Grad. Der Unterschied in der Drehung beider Linsentypen ist statistisch nicht signifikant ($p = 0,29$). Knapp zwei Drittel (61,1%) der Linsen vom Typ 42TSM-5 waren über den gesamten Nachbeobachtungszeitraum rotationsstabil. Bei dem Intraokularlinsentyp 52MN war es im Vergleich dazu nur ca. ein Drittel (38,9%). Daraus ergibt sich, dass die Intraokularlinse vom Typ 42TSM-5 in unserem Beobachtungszeitraum primär ein 1,5fach stabileres Rotationsverhalten im Vergleich zur 52MN besitzt. Bezieht man geringe Rotationen (bis zu 5 Grad) in das Ergebnis mit ein, so sind 83,3% der Linsen vom Typ *Ari.Lyc 42TSM-5, aber nur 72,2% des Intraokularlinsentyps 52MN nach sechs Monaten rotationsstabil.

Da beide Linsentypen unter den gleichen prä- und intraoperativen Voraussetzungen und Bedingungen implantiert wurden, könnte der Unterschied im postoperativen Rotationsverhalten der beiden verglichenen Intraokularlinsen in deren unterschiedlichem Design liegen.

In unserem Patientengut drehten sich 11,7% der 42TSM-5 Linsen am Ende des Untersuchungszeitraums um über zehn Grad, bei 88,3% der Linsen blieb die Implantationsachse rotationsstabil bzw. drehte sich um maximal neun Grad. Bei den Patienten mit implantierter 52MN Linse hingegen drehten sich 12,5% der Linsen über zehn Grad verglichen mit der vorgesehenen Implantationsachse

bei der Operation. Gersten et al. empfehlen erst ab einer postoperativen Linsenrotation von mindestens zehn Grad eine operative Nachkorrektur in Erwägung zu ziehen [48].

Würde man diesen Empfehlungen folgen, müsste nur knapp jeder neunte Patient mit implantierter 42TSM-5 Intraokularlinse und ca. jeder achte Patient mit implantierter 52MN Intraokularlinse einer korrigierenden operativen Linsendrehung unterzogen werden.

Shimizu et al. waren der Meinung, dass es innerhalb einer Rotation von bis zu 30 Grad noch zu einer Verbesserung verglichen mit dem präoperativen Astigmatismus kommt. Bei Achsdrehungen über 30 Grad hinaus kommt es hingegen zu einer Verschlechterung [143]. Till et al. wiesen nach, dass sich bei einer Achsenrotation der Intraokularlinse von 30 Grad kein Astigmatismuskorrektureffekt mehr nachweisen ließ. Auch in ihren Studien wurde gezeigt, dass bei Rotationen von über 30 Grad Verschlechterungen, verglichen mit dem präoperativen Zustand, zu verzeichnen sind [149].

In unserer Studie wurde weiterhin untersucht, ob der Winkel, in dem der Linsentyp 42TSM-5 und der Linsentyp 52MN der Firma Acritec implantiert wurde, einen Einfluss auf die postoperative Rotationsstabilität hatte.

Berücksichtigt man bei der Auswertung der 42TSM-5 den Implantationswinkel, so ist nach sechs Monaten die Achslage in 45 Grad die stabilste, da 100% der 42TSM-5 Intraokularlinsen keine Rotation aufwiesen. Bei einem Implantationswinkel von 0 Grad waren es hingegen 75% und bei einem Implantationswinkel von 90 Grad bzw. 135 Grad waren es nur 50% der 42TSM-5 Intraokularlinsen, die ein stabiles postoperatives Rotationsverhalten aufwiesen. Betrachtet man den Implantationswinkel bei der 52MN Intraokularlinse, so blieben lediglich in der Gruppe mit dem Implantationswinkel in 135 Grad 50% der Linsen rotationsstabil. Wurden die 52MN Linsen in der Zielachse von 90 Grad implantiert, so wiesen sie in 45,5% der Fälle ein stabiles postoperatives Rotationsverhalten auf. Alle Linsen des Typs 52MN, die in 0 Grad und in 90 Grad implantiert wurden, rotierten im postoperativen Nachbeobachtungszeitraum.

Auch unter Berücksichtigung des Implantationswinkels der beiden unterschiedlichen Linsentypen zeigte sich, dass die 42TSM-5 Linse der 52MN Linse überlegen (rotationsstabiler) zu sein scheint. Da beide Linsen aus dem gleichen Material bestehen und ihre Optik mit 6,5mm bei der 42TSM-5 und 6,6mm bei der 52MN nahezu identisch im Durchmesser und im Gewicht sind, könnte der Unterschied im Rotationsverhalten durch die unterschiedliche Gestaltung der Haptik begründet sein. In unserer Studie scheint die mercedessternartige Plattenhaptik der 42TSM-5 der Acri.Loop[®]-Haptik der 52MN überlegen zu sein.

Eine weitere Aufgabe unsere Studie bestand in der Untersuchung, ob eine postoperative Drehung der pseudotorischen Intraokularlinsen auftrat und zu welchem Zeitpunkt des Nachbeobachtungszeitraums diese abgeschlossen war. Es konnte gezeigt werden, dass alle Linsen, die sich im postoperativen Heilungsverlauf drehten, sofern sie sich überhaupt drehten, bereits innerhalb der ersten postoperativen Woche mit ihrer Rotation begannen. Nur 38,9% aller beobachteten Linsen rotierten überhaupt im gesamten postoperativ untersuchten Nachbeobachtungszeitraum, das heißt, dass beinahe zwei Drittel aller implantierten pseudotorischen Intraokularlinsen von Anfang an achsenstabil waren.

Von allen beobachteten 42TSM-5 Linsen, die sich postoperativ drehten, war die Achsdrehung in 16,6% der Fälle am Ende der ersten Woche abgeschlossen. Somit zeigten ab diesem Zeitpunkt weit über zwei Drittel (72,2%) aller implantierten Linsen dieses Typs ein stabiles Sitzverhalten. Am Ende des ersten Monats waren bereits 88,9% aller 42TSM-5 Linsen rotationsstabil.

Im Gegensatz dazu war in 25% der Fälle die Achsdrehung des Linsentyps 52MN nach der ersten postoperativen Woche abgeschlossen. Das bedeutet, dass zwei Drittel (66,7%) der implantierten 52MN Linsen am Ende der ersten Woche rotationsstabil waren. Am Ende des ersten postoperativen Monats waren es bereits 77,8% aller 52MN Linsen.

Ca. 90% aller implantierten 42TSM-5 Intraokularlinsen aber nur etwa 75% der 52MN Intraokularlinsen waren am Ende des ersten postoperativen Monats rotationsstabil.

Unsere Ergebnisse zeigen, dass der weitaus größte Teil der implantierten pseudotorischen Intraokularlinsen sofort postoperativ ein rotationsstabiles Sitzverhalten aufwies. Sofern eine Achsenrotation stattfand, war diese bei einem Großteil aller Linsen bis zum Ende des ersten Monats abgeschlossen.

Die in dieser Studie beobachteten Rotationen können sowohl durch die Intraokularlinse als auch durch den Kapselsack verursacht sein.

Die „natürliche“ Linse ist gewöhnlich größer als die zu implantierende Kunstlinse. Der Kapselsack ist demzufolge in den ersten Tagen nach erfolgter Operation „faltig“. Er „glättet“ sich erst innerhalb der ersten sieben bis zehn postoperativen Tage. Dies bedingt unter anderem die Anfälligkeit der Linse für eine Rotation in diesem Zeitraum.

Die einsetzenden Schrumpfungsprozesse des Kapselsackes führen zur allmählichen Stabilisierung des Sitzverhaltens der IOL. In dieser Zeit können sogar der stetige Lidschlag und der damit verbundene rezidivierende Druck auf den Bulbus eine Achsenrotation hervorrufen. Auch die sakkadenartigen Bulbusbewegungen beim Lesen können in dieser Zeit zu Drehungen der implantierten Intraokularlinse führen.

Diese Sachverhalte erklären die häufige Rotationstendenz der Intraokularlinse im Kapselsack innerhalb der ersten postoperativen sieben bis zehn Tage.

Aus genannten Gründen ist es nicht sinnvoll eine Korrektur der tIOL zu zeitig vorzunehmen.

Die Stabilisierung des Kapselsackes und Schrumpfungsprozesse der Kapsel sollten immer abgewartet werden. Wird die Achslage der tIOL zu früh operativ korrigiert, können oben angegebene Prozesse das postoperative Ergebnis erneut negativ beeinflussen. Wird nach der Implantation allerdings zu lange abgewartet, erschweren die zunehmenden Verklebungen der Kapselblätter mit der Intraokularlinse eine Achskorrektur bzw. machen diese unmöglich. Gersten empfiehlt als idealen Zeitpunkt für die Nachkorrektur den Zeitraum drei bis sechs Wochen nach erfolgter Implantation der tIOL [47].

Auch unsere Studie belegt, dass erst nach einem Monat bei einem überwiegenden Teil der implantierten Intraokularlinsen eine Rotationsstabilität

erreicht wurde, weshalb eine Nachkorrektur der Achse frühestens nach diesem Zeitraum zu empfehlen ist.

12. Aussichten und Zukunftsperspektiven

Mit torischen Intraokularlinsen kann allen Patienten mit bestehendem Hornhautastigmatismus, besser als es bisher bei der Implantation von sphärischen Kunstlinsen der Fall ist, zu einer höheren Lebensqualität verholfen werden. Durch die sichere und anhaltende Reduzierung bzw. durch den Ausgleich des Astigmatismus wäre ein Leben wahlweise auch ohne Fern- oder Nahbrille möglich. Sofern torische multifokale Intraokularlinsen zum Einsatz kämen, ist auch ein Leben ganz ohne Brillenkorrektur vorstellbar.

Die Weiterentwicklung der torischen Intraokularlinsen bis hin zur Gewährleistung einer zuverlässigen Rotationsstabilität, könnte bei gleichzeitig bestehendem Hornhautastigmatismus die sphärischen Intraokularlinsen als Standardimplantate in der Kataraktchirurgie ablösen.

Ein Vorteil des häufigeren Einsatzes läge in der Senkung der Produktionskosten von torischen Intraokularlinsen. Damit könnten immer mehr Patienten, unabhängig von ihrer Krankenkassenzugehörigkeit oder von ihren finanziellen Mitteln, diese Linse implantiert bekommen. Es könnten mehr Patienten von den torischen Intraokularlinsen profitieren.

Ziel muss es auch in Zukunft bleiben eine Kunstlinse zu entwickeln, die mit dem Original – der natürlichen Linse des Menschen – in ihrem Aufbau und in ihrer Funktion annähernd vergleichbar ist.

Der optimale Kunstlinsenersatz bestünde in einer akkomodationsfähigen Linse mit einer torischen Korrektur. Damit wäre ein dem physiologischen Zustand ähnliches Sehen in der Ferne und in der Nähe denkbar.

13. Zusammenfassung

In dieser prospektiven klinischen Studie wurden in insgesamt 36 Augen (19 Patienten) zu je gleichen Anteilen pseudotorische Intraokularlinsen der Firma Acritec, 18 Linsen vom Typ *Acri.Lyc 42TSM-5 und 18 Linsen vom Typ *Acri.Lyc 52MN, implantiert. Beide Linsentypen besitzen Strichmarkierungen und bestehen aus dem gleichen Material, weisen aber ein unterschiedliches Design ihrer Linsenhaptik auf. Die maximale Nachbeobachtungszeit betrug 6 Monate ab dem Datum der Implantation.

Es galt zu untersuchen, ob es einen Unterschied im postoperativen Rotationsverhalten zwischen den pseudotorischen Intraokularlinsen des Typs *Acri.Lyc 42TSM-5 und des Typs *Acri.Lyc 52MN der Firma Acritec gab. Der Einfluss der verschiedenen Linsendesigns hinsichtlich der postoperativen Rotationsstabilität wird dargestellt.

Das Design beider Intraokularlinsentypen ist zur Hornhautastigmatismuskorrektur geeignet. Am Ende der sechsmonatigen Nachbeobachtungszeit bestand kein signifikanter Unterschied im postoperativen Rotationsverhalten zwischen beiden Hinterkammerlinsen unterschiedlichen Designs ($p = 0,29$).

Nur 50% aller beobachteten Linsen rotierten im gesamten postoperativ untersuchten Nachbeobachtungszeitraum. Das heißt, dass die Hälfte aller implantierten pseudotorischen Intraokularlinsen von Anfang an achsenstabil war.

Knapp zwei Drittel der Intraokularlinsen vom Typ *Acri.Lyc 42TSM-5 und ca. ein Drittel der Linsen vom Typ *Acri.Lyc 52MN waren über den gesamten Nachbeobachtungszeitraum rotationsstabil. Dabei scheint der Implantationswinkel von 45 Grad für die *Acri.Lyc 42TSM-5 der rotationsstabilste zu sein.

Literaturverzeichnis

- [1] Ackerknecht E. H. (1992) Geschichte der Medizin, Enke-Verlag, Stuttgart, 7. Auflage, S.36
- [2] Ackerknecht E. H. (1992) Geschichte der Medizin, Enke-Verlag, Stuttgart, 7. Auflage, S.142
- [3] Atkinson J (1926) Ophthal. Laryng. 30: 322
- [4] Auffarth GU, Apple DJ (2001) Zur Entwicklungsgeschichte der Intraokularlinsen, Springer-Verlag, Der Ophthalmologe 98: 1017–1028
- [5] Auffarth GU, Rabsilber TM (2007) Torische Hinterkammerlinsen nach Kataraktoperation und refraktivem Linsentausch, Der Ophthalmologe 104: 1024 - 1031
- [6] Auffarth GU (2007) Torische Intraokularlinsen, Springer-Verlag, Der Ophthalmologe 104: 1022 -1023
- [7] Auffarth U (2004) Ophthalmothek – Aktuelle Laseranwendung in der refraktiven Chirurgie, UNI-MED Verlag AG, Bremen, London, Boston, 1. Auflage, S. 15
- [8] Auffarth GU, Schmidbauer J, Apple DJ (2001) Zum Lebenswerk von Sir Nicholas Harold Lloyd Ridley, Springer-Verlag, Der Ophthalmologe 98:1012–1016
- [9] Augustin AJ (2001) Augenheilkunde, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, usw., 2. Auflage, S. 683
- [10] Augustin AJ (2001) Augenheilkunde, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, usw., 2. Auflage, S. 684-686
- [11] Augustin AJ (2001) Augenheilkunde, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, usw., 2. Auflage, S. 686
- [12] Augustin AJ (2001) Augenheilkunde, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, usw., 2. Auflage, S. 686 – 687
- [13] Augustin AJ (2001) Augenheilkunde, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, usw., 2. Auflage, S. 688
- [14] Augustin AJ (2001) Augenheilkunde, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, usw., 2. Auflage, S. 689 – 692
- [15] Augustin AJ (2001) Augenheilkunde, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, usw., 2. Auflage, S. 690
- [16] Augustin AJ (2001) Augenheilkunde, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, usw., 2. Auflage, S. S. 691

-
- [17] Augustin AJ (2001) Augenheilkunde, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, usw., 2. Auflage, S. 693
- [18] Augustin AJ (2001) Augenheilkunde, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, usw., 2. Auflage, S. 694 – 695
- [19] Augustin AJ (2001) Augenheilkunde, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, usw., 2. Auflage, S. 695
- [20] Augustin AJ (2001) Augenheilkunde, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, usw., 2. Auflage, S. 813 – 815
- [21] Augustin AJ (2001) Augenheilkunde, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, usw., 2. Auflage, S. 813 – 822
- [22] Augustin AJ (2001) Augenheilkunde, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, usw., 2. Auflage, S. 814 – 818
- [23] Augustin AJ (2001) Augenheilkunde, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, usw., 2. Auflage, S. 816
- [24] Augustin AJ (2001) Augenheilkunde, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, usw., 2. Auflage, S. 818
- [25] Augustin AJ (2001) Augenheilkunde, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, usw., 2. Auflage, S. 1059-1062
- [26] Augustin AJ (2001) Augenheilkunde, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, usw., 2. Auflage, S. 1188
- [27] Augustin AJ (2001) Augenheilkunde, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, usw., 2. Auflage, S. 1297
- [28] Augustin AJ (2007) Augenheilkunde, Springer, Berlin, Heidelberg, 3. Auflage, S. 825
- [29] Bonafonte S, Muiños A, Martinez OM (1990) Ophthalthothek Taschenatlas Ophthalmologie, Schwer, Stuttgart, S.82
- [30] Bonafonte S, Muiños A, Martinez OM (1990) Ophthalthothek Taschenatlas Ophthalmologie, Schwer, Stuttgart, S.86
- [31] Burk A, Burk R (1999) Augenheilkunde Checkliste der aktuellen Medizin, Thieme-Verlag, Stuttgart, New York, 2. Auflage, S. 240
- [32] Burk A, Burk R (1999) Augenheilkunde Checkliste der aktuellen Medizin, Thieme-Verlag, Stuttgart, New York, 2. Auflage, S. 620
- [33] Casanova Giacomo (1985) Geschichte meines Lebens, Propyläen, Berlin, Bd. 11

-
- [34] Collins JF (1997) Augenheilkunde, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2. Auflage, S. 20
- [35] Coombes A, Gartry D (2003) Fundamentals of Clinical Ophthalmology: Cataract Surgery, BMJ Publishing Group, London, S. 193
- [36] Dick HB, Eisenmann D, Fabian E, Schwenn O (1999) Refraktive Kataraktchirurgie mit multifokalen Intraokularlinsen, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg und New York
- [37] Dick HB (2000) Klinische und experimentelle Untersuchungen zur Hornhauttunnelinzision sowie zur Wahl der Intraokularlinse in der Kataraktchirurgie, Habilitationsschrift, Shaker Verlag Aachen
- [38] Duncker G, Ohrloff C, Wilhelm F (1999) 12. Kongress der Deutschsprachigen Gesellschaft für Intraokularlinsen Implantation und Refraktive Chirurgie, Springer-Verlag, Berlin, S. 182-186
- [39] Fechner PU, Fechner MU, Reis H (1980) Der Okulist Tadini – Zur Geschichte der künstlichen Augenlinse, Thieme-Verlag, Klin Monatsbl Augenheilkd 176: 1007-1008
- [40] Fechner PU, Teichmann KD (2000) Medikamentöse Augentherapie, Enke im Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York, 4. Auflage, S. 383
- [41] Fjodorow SN (1991) Implantation einer künstlichen Augenlinse, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1. Auflage
- [42] freundlichst bereitgestellt durch *Acri.Tec GmbH, Neuendorfstr. 20a, 16761 Hennigsdorf
- [43] freundlichst bereitgestellt durch Carl Zeiss Jena GmbH, Carl-Zeiss-Promenade 10, 07745 Jena
- [44] freundlichst bereitgestellt durch Haag-Streit Deutschland GmbH, Rosengarten 10, 22880 Wedel
- [45] Gerl R (1997) Ambulante Operationen in der Augenheilkunde, Hippokrates-Verlag, Stuttgart, S. 58
- [46] Gerl R (1997) Ambulante Operationen in der Augenheilkunde, Hippokrates-Verlag, Stuttgart, S. 71
- [47] Gersten G (2005) Torische Intraokularlinsen. Patientenauswahl, Ergebnisse, Komplikationen, Ophthalmo-Chirurgie 17: 191 – 198
- [48] Gersten G, Micheal A, Olmes A (2001) Torische Intraokularlinsen, Klinische Ergebnisse und Rotationsstabilität, Der Ophthalmologe 98: 715 – 720

-
- [49] Gills JP, Van der Karr M, Cherchio M (2002) Combined toric intraocular lens implantation and relaxing incisions to reduce high preexisting astigmatism, *J Cataract Refract Surg* 28: 1585-1588
- [50] Grehn F (1998) *Augenheilkunde*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, usw., 27. Auflage, S. 146
- [51] Grehn F (1998) *Augenheilkunde*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, usw., 27. Auflage, S. 158
- [52] Grehn F (1998) *Augenheilkunde*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, usw., 27. Auflage, S. 320-321
- [53] Grehn F (1998) *Augenheilkunde*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, usw., 27. Auflage, S. 322
- [54] Grehn F (1998) *Augenheilkunde*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, usw., 27. Auflage, S. 326
- [55] Grehn F (1998) *Augenheilkunde*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, usw., 27. Auflage, S. 326-327
- [56] Grehn F (1998) *Augenheilkunde*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, usw., 27. Auflage, S. 327
- [57] Grehn F (1998) *Augenheilkunde*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, usw., 27. Auflage, S. 327-328
- [58] Grehn F (1998) *Augenheilkunde*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, usw., 27. Auflage, S. 338-339
- [59] Grehn F (2006) *Augenheilkunde*, Springer-Verlag, Heidelberg, 29. Auflage, S. 162
- [60] Grehn F (2006) *Augenheilkunde*, Springer-Verlag, Heidelberg, 29. Auflage, S. 163
- [61] Grehn F (2006) *Augenheilkunde*, Springer-Verlag, Heidelberg, 29. Auflage, S. 163-164
- [62] Grehn F (2006) *Augenheilkunde*, Springer-Verlag, Heidelberg, 29. Auflage, S. 164
- [63] Grehn F (2006) *Augenheilkunde*, Springer-Verlag, Heidelberg, 29. Auflage, S. 165
- [64] Grehn F (2006) *Augenheilkunde*, Springer-Verlag, Heidelberg, 29. Auflage, S. 368
- [65] Grehn F (2006) *Augenheilkunde*, Springer-Verlag, Heidelberg, 29. Auflage, S. 380

-
- [66] Gimbel HV: Divide and conquer nucleofractis phacoemulsification (1991) Development and variations, Journal of Cataract and Refractive Surgery 17: 281-291
- [67] Hoffer KJ (1980) Biometry of 7,500 cataractous eyes, Am J Ophthalmol 90: 360–368
- [68] <http://www.dog.org/jhg/paradig.html>
- [69] http://www.ool.de/news/personalien/,navigation_id,49,medcon_artikel_id,62378,_psmand,3.html
- [70] <http://de.wikipedia.org/wiki/Augenheilkunde>
- [71] <http://de.wikipedia.org/wiki/susruta>
- [72] <http://www.wissenschaft.de/wissenschaft/hintergrund/257693.html>
- [73] Illustrierte Geschichte der Medizin (1990) Deutsche Ausgabe, Andreas & Andreas Verlagsbuchhandel, Salzburg, Buch 3, S. 1177
- [74] Jähne M (2008) Medizingeschichte - Kursächsische Hofokulisten, Dresden, Ärzteblatt Sachsen, S. 435 - 437
- [75] Jetter D (1991) Geschichte der Medizin – Einführung in die Entwicklung der Heilkunde aller Länder und Zeiten, Thieme-Verlag, Stuttgart, S. 35 – 37
- [76] Jetter D (1991) Geschichte der Medizin – Einführung in die Entwicklung der Heilkunde aller Länder und Zeiten, Thieme-Verlag, Stuttgart, S. 95 – 96
- [77] Jetter D (1991) Geschichte der Medizin – Einführung in die Entwicklung der Heilkunde aller Länder und Zeiten, Thieme-Verlag, Stuttgart, S. 138
- [78] Jetter D (1991) Geschichte der Medizin – Einführung in die Entwicklung der Heilkunde aller Länder und Zeiten, Thieme-Verlag, Stuttgart, S. 219
- [79] Jetter D (1991) Geschichte der Medizin – Einführung in die Entwicklung der Heilkunde aller Länder und Zeiten, Thieme-Verlag, Stuttgart, S. 246
- [80] Jetter D (1991) Geschichte der Medizin – Einführung in die Entwicklung der Heilkunde aller Länder und Zeiten, Thieme-Verlag, Stuttgart, S. 283
- [81] Jetter D (1991) Geschichte der Medizin – Einführung in die Entwicklung der Heilkunde aller Länder und Zeiten, Thieme-Verlag, Stuttgart, S. 341 – 342
- [82] Kanski JJ, Menon J (1994) Klinische Ophthalmologie Lehrbuch und Atlas, Urban & Fischer, München, Jena, 5. Auflage, S. 163
- [83] Kanski JJ, Menon J (1994) Klinische Ophthalmologie Lehrbuch und Atlas, Urban & Fischer, München, Jena, 5. Auflage, S. 165
- [84] Kanski JJ, Menon J (1994) Klinische Ophthalmologie Lehrbuch und Atlas, Urban & Fischer, München, Jena, 5. Auflage, S. 165 – 166

-
- [85] Kanski JJ, Menon J (1994) Klinische Ophthalmologie Lehrbuch und Atlas, Urban & Fischer, München, Jena, 5. Auflage, S. 165 – 167
- [86] Kanski JJ, Menon J (1994) Klinische Ophthalmologie Lehrbuch und Atlas, Urban & Fischer, München, Jena, 5. Auflage, S. 167
- [87] Kanski JJ, Menon J (1994) Klinische Ophthalmologie Lehrbuch und Atlas, Urban & Fischer, München, Jena, 5. Auflage, S. 168-169
- [88] Kanski JJ, Menon J (1994) Klinische Ophthalmologie Lehrbuch und Atlas, Urban & Fischer, München, Jena, 5. Auflage, S. 170
- [89] Kanski JJ, Menon J (1994) Klinische Ophthalmologie Lehrbuch und Atlas, Urban & Fischer, München, Jena, 5. Auflage, S. 171
- [90] Kanski JJ, Menon J (1994) Klinische Ophthalmologie Lehrbuch und Atlas, Urban & Fischer, München, Jena, 5. Auflage, S. 172
- [91] Kanski JJ, Menon J (1994) Klinische Ophthalmologie Lehrbuch und Atlas, Urban & Fischer, München, Jena, 5. Auflage, S. 324 - 325
- [92] Kanski JJ, Menon J (1994) Klinische Ophthalmologie Lehrbuch und Atlas, Urban & Fischer, München, Jena, 5. Auflage, S. 351
- [93] Kanski JJ (2008) Klinische Ophthalmologie Lehrbuch und Atlas, Urban & Fischer, München, Jena, 6. Auflage, S. 343
- [94] Kanski JJ (2008) Klinische Ophthalmologie Lehrbuch und Atlas, Urban & Fischer, München, Jena, 6. Auflage, S. 372
- [95] Kohnen T, Kühne C, Cichocki M, Strenger A (2007) Zyklorotation des Auges bei wellenfrontgeführter LASIK mit statischem Iriserkennungstracker, Der Ophthalmologe 104: 60 – 65
- [96] Koller C (1884) Vorläufige Mitteilung über lokale Anästhesierung am Auge. Beilageheft zu den Klinischen Wochenblättern für Augenheilkunde 22: 60-63
- [97] Küchle HJ, Busse H (1991) Taschenbuch der Augenheilkunde, Hans Huber Verlag, Bern, Stuttgart, Toronto, 3. Auflage, S. 59 – 60
- [98] Küchle HJ, Busse H (1991) Taschenbuch der Augenheilkunde, Hans Huber Verlag, Bern, Stuttgart, Toronto, 3. Auflage, S. 316-317
- [99] Küchle HJ, Busse H (1991) Taschenbuch der Augenheilkunde, Hans Huber Verlag, Bern, Stuttgart, Toronto, 3. Auflage, S. 317
- [100] Küchle HJ, Busse H (1991) Taschenbuch der Augenheilkunde, Hans Huber Verlag, Bern, Stuttgart, Toronto, 3. Auflage, S. 318
- [101] Küchle HJ, Busse H (1991) Taschenbuch der Augenheilkunde, Hans Huber Verlag, Bern, Stuttgart, Toronto, 3. Auflage, S. 319

-
- [102] Küchle HJ, Busse H (1991) Taschenbuch der Augenheilkunde, Hans Huber Verlag, Bern, Stuttgart, Toronto, 3. Auflage, S. 307
- [103] Küchle HJ, Busse H (1991) Taschenbuch der Augenheilkunde, Hans Huber Verlag, Bern, Stuttgart, Toronto, 3. Auflage, S. 320
- [104] Lang GK (2004) Augenheilkunde – Verstehen – Lernen – Anwenden, Thieme-Verlag, Stuttgart, 3. Auflage, S. 183-184
- [105] Lang GK (2004) Augenheilkunde – Verstehen – Lernen – Anwenden, Thieme-Verlag, Stuttgart, 3. Auflage, S. 185-187
- [106] Lang GK (2004) Augenheilkunde – Verstehen – Lernen – Anwenden, Thieme-Verlag, Stuttgart, 3. Auflage, S. 194
- [107] Lang GK (2004) Augenheilkunde – Verstehen – Lernen – Anwenden, Thieme-Verlag, Stuttgart, 3. Auflage, S. 196 – 197
- [108] Lang GK (2004) Augenheilkunde – Verstehen – Lernen – Anwenden, Thieme-Verlag, Stuttgart, 3. Auflage, S. 197
- [109] Langenbacher A, Viestenz A, Szentmáry N, Behrens-Baumann W, Viestenz A (2008) Berechnung torischer Intraokularlinsen, Springer-Verlag, Der Ophthalmologe 105: 685 – 692
- [110] Liebsch R (1999) Kurzlehrbuch Augenheilkunde, Urban & Fischer, München, Jena, S. 125
- [111] Liedke H, Radke J, Stein A, Wilhelm F (1999) Refresher Course - Aktuelles Wissen für den Anästhesisten 25: S. 175
- [112] Linebarger EJ, Hardten DR et al. (1999) Survey of Ophthalmology, Vol. 44, No. 2, Sept-Oct: 123-130
- [113] Lippert H (2000) Lehrbuch Anatomie, Urban & Fischer, München, Jena, 5. Auflage, S. 525 – 526
- [114] Lippert H (2000) Lehrbuch Anatomie, Urban & Fischer, München, Jena, 5. Auflage, S. 528
- [115] nach Auffarth GU, Apple DJ (2001) Zur Entwicklungsgeschichte der Intraokularlinsen, Springer-Verlag, Der Ophthalmologe 98: 1018
- [116] nach Auffarth GU, Apple DJ (2001) Zur Entwicklungsgeschichte der Intraokularlinsen, Springer-Verlag, Der Ophthalmologe 98: 1019
- [117] nach Auffarth GU, Apple DJ (2001) Zur Entwicklungsgeschichte der Intraokularlinsen, Springer-Verlag, Der Ophthalmologe 98: 1021
- [118] nach Auffarth GU, Apple DJ (2001) Zur Entwicklungsgeschichte der Intraokularlinsen, Springer-Verlag, Der Ophthalmologe 98: 1023

-
- [119] nach Augustin AJ (2001) Augenheilkunde, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, usw., 2. Auflage, S. 814
- [120] nach Augustin AJ (2001) Augenheilkunde, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, usw., 2.Auflage, S. 815
- [121] nach Augustin AJ (2001) Augenheilkunde, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, usw., 2. Auflage, S. 1059-1062
- [122] nach Sachsenweger M (1994) Augenheilkunde, Hippokrates-Verlag, Stuttgart, S. 184
- [123] Niesel HC, van Aken H (2003) Lokalanästhesie, Regionalanästhesie, Regionale Schmerztherapie, Thieme-Verlag, S. 501-511
- [124] Niesel HC, van Aken H (2003) Lokalanästhesie, Regionalanästhesie, Regionale Schmerztherapie, Thieme-Verlag, S. 516-517
- [125] Rabsilber TM, Holzer MP, Auffarth GU (2006) How to implant toric intraocular lenses, Klin Monatsbl Augenheilkd, S. 223
- [126] Sachsenweger M (1994) Augenheilkunde, Hippokrates-Verlag, Stuttgart, S. 183
- [127] Sachsenweger M (1994) Augenheilkunde, Hippokrates-Verlag, Stuttgart, S. 190-191
- [128] Sachsenweger M (1994) Augenheilkunde, Hippokrates-Verlag, Stuttgart, S. 191
- [129] Sachsenweger M (1994) Augenheilkunde, Hippokrates-Verlag, Stuttgart, S. 203
- [130] Sachsenweger M (1994) Augenheilkunde, Hippokrates-Verlag, Stuttgart, S. 204
- [131] Sachsenweger M (1994) Augenheilkunde, Hippokrates-Verlag, Stuttgart, S. 205
- [132] Sachsenweger M (1994) Augenheilkunde, Hippokrates-Verlag, Stuttgart, S. 206
- [133] Sachsenweger M (1994) Augenheilkunde, Hippokrates-Verlag, Stuttgart, S. 208
- [134] Sachsenweger M (1994) Augenheilkunde, Hippokrates-Verlag, Stuttgart, S. 210
- [135] Sachsenweger M (1994) Augenheilkunde, Hippokrates-Verlag, Stuttgart, S. 336
- [136] Sachsenweger M (1994) Augenheilkunde, Hippokrates-Verlag, Stuttgart, S. 380
- [137] Sachsenweger M (1994) Augenheilkunde, Hippokrates-Verlag, Stuttgart, S. 381
- [138] Sachsenweger M (1994) Augenheilkunde, Hippokrates-Verlag, Stuttgart, S. 383-385
- [139] Sachsenweger M (1994) Augenheilkunde, Hippokrates-Verlag, Stuttgart, S. 385
- [140] Sachsenweger M (1994) Augenheilkunde, Hippokrates-Verlag, Stuttgart, S. 388-389
- [141] Sachsenweger M (1994) Augenheilkunde, Hippokrates-Verlag, Stuttgart, S. 389
- [142] Saint-Yves (1708) Historic Academy Royal Science, Paris, S. 501

-
- [143] Shimizu K, Misawa A, Suzuki Y (1994) Toric intraocular lenses: correcting astigmatism while controlling axis shift, *J Cataract Refract Surg* 20: 523-526
- [144] Storsberg J, Görnitz E, Laschewsky A, Müller-Lierheim W (2006) Neue Hochleistungspolymere mit hohem Brechungsindex für ophthalmologische Implantate, 19. Kongress der Deutschen Ophthalmochirurgen – Internationales Symposium, DOC, wissenschaftliche Kurzvorträge, Nürnberg, S. 58-140
- [145] Straub W, Kroll P, Kühle HJ (1995) *Augenärztliche Untersuchungsmethoden*, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 2. Auflage, S. 368
- [146] Striebel HW (2003) *Die Anästhesie Grundlagen und Praxis*, Schattauer Verlag, 2. Auflage, S. 36
- [147] Susruta S, Band 7, Kapitel 17, Verse 59-73
- [148] Tehrani M, Schwenn O, Burkhard Dick H (2001) Torische Intraokularlinse zur Korrektur eines höhergradigen Astigmatismus nach Keratoplastik bei Pseudophakie - eine Kasuistik. *Klinisches Monatsblatt* 218: 795 – 799
- [149] Till JS, Yoder Jr PR, Wilcox TK et al. (2002) Toric intraocular lens implantation: 100 consecutive cases; *J Cataract Refract Surg* 28: 295-301
- [150] Viestenz A, Langenbacher A, Seitz B (2006) Beeinflussung der Achslagenanalyse bei torischen Intraokularlinsen durch die Bulbuszyklorotation: Vorschläge zur optimierten Evaluierung der Rotationsstabilität torischer Intraokularlinsen, *Klin Monatsbl Augenheilkd* 223: 134-140
- [151] Viestenz A, Langenbacher A, Seitz B (2006) Beeinflussung der Achslagenanalyse bei torischen Intraokularlinsen durch die Bulbuszyklorotation: Vorschläge zur optimierten Evaluierung der Rotationsstabilität torischer Intraokularlinsen, *Klin Monatsbl Augenheilkd* 223: 139
- [152] Viestenz A, Seitz B, Langenbacher A (2005) Evaluating the eye's rotational stability during standard photography: Effect on determining the axial orientation of toric intraocular lenses, *J Cataract Refract Surg* 31: 557-561
- [153] Viestenz A., Walter S., Viestenz A., Behrens-Baumann W., Langenbacher A (2007) Torische Intraokularlinsen und Astigmatismuskorrektur, Springer-Verlag, *Der Ophthalmologe* 104, S. 620–627
- [154] Viestenz A., Walter S., Viestenz A., Behrens-Baumann W., Langenbacher A (2007) Torische Intraokularlinsen und Astigmatismuskorrektur, Springer-Verlag, *Der Ophthalmologe* 104, S. 622

-
- [155] Wenzel M, Pham D, Scharrer A, Schayan K, Klasen J (2008) Derzeitiger Stand der ambulanten Intraokularchirurgie: Ergebnisse der Umfrage 2007 des BDOC, BVA und der DGII, *Ophthalmologie* 20: 137-146
- [156] Wiemann H (2006) Vergleich von A-Scan Biometrie, Immersions Biometrie und Videokeratometrie versus IOL-Master zur Intraokularlinsen-kalkulation in der Kataraktchirurgie, Inaugural Dissertation, S. 55

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. med. Jochen Kammann für die Überlassung des Dissertationsthemas sowie die Ermutigung, neben meiner klinischen Tätigkeit diese Arbeit auch erstellen zu können.

Seine außerordentlich gute und hilfreiche Betreuung der Arbeit, die vielen wertvollen Hinweise, zahlreichen Ideen und die ständige Erreichbarkeit bei wichtigen Rückfragen, sind mir bei der Bewerkstelligung der Arbeit in den entscheidenden Phasen außerordentlich hilfreich gewesen.

Ich danke auch allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Augenklinik des St. Johannes- Hospitals Dortmund, die mich in meiner Arbeit unterstützt haben.

Lebenslauf

Name: Stephan Krause
Geburtstag und –ort: 09.10.1978 in Berlin
Wohnort: 44287 Dortmund
Familienstand: verheiratet
Staatsangehörigkeit: deutsch
Konfession: keine
Eltern: Uwe Krause
Dr. Roswitha Krause

Schulbildung

1985 – 1991 4. Polytechnische Oberschule in Berlin
1991 - 1998 Gymnasium an der Schweizer Allee in Dortmund
05/1998 Abitur

Berufsausbildung:

10/2000 Studium der Humanmedizin an der Martin-Luther-
Universität Halle (Saale)
03/2003 Physikum
02/2006 – 02/2007 Praktisches Jahr
05/2007 Zweiter Teil der Ärztlichen Prüfung nach neuer
Approbationsordnung
ab 08/2007 Assistenzarzt

Dissertation

seit 04/2004

Thema: Vergleichende Untersuchung des
postoperativen Rotationsverhaltens von zwei im
Kapselsack fixierten pseudotorischen
Hinterkammerlinsen unterschiedlichen Linsendesigns

Betreuer: Prof. Dr. med. Kammann,
Augenklinik des St. Johannes-Hospitals Dortmund

Eidesstattliche Erklärung

Eidesstattliche Erklärung:

„Ich, Stephan Krause, erkläre, dass ich die vorgelegte Dissertationsschrift mit dem Thema: Vergleichende Untersuchung des postoperativen Rotationsverhaltens von zwei im Kapselsack fixierten pseudotorischen Hinterkammerlinsen unterschiedlichen Linsendesigns, selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und ohne die unzulässige Hilfe Dritter verfasst habe.“

Stephan Krause

Anhang

Tabellenverzeichnis

- Tabelle 1: Gegenüberstellung der physikalischen und chemischen Eigenschaften verschiedener Linsenmaterialien
- Tabelle 2: Gruppe 1 – *Ari.Lyc 42TSM-5 Einpflanzwinkel 0 Grad
- Tabelle 3: Gruppe 2 – *Ari.Lyc 42TSM-5 Einpflanzwinkel 45 Grad
- Tabelle 4: Gruppe 3 – *Ari.Lyc 42TSM-5 Einpflanzwinkel 90 Grad
- Tabelle 5: Gruppe 4 – *Ari.Lyc 42TSM-5 Einpflanzwinkel 135 Grad
- Tabelle 6: Gruppe 5 – *Ari.Lyc 52MN Einpflanzwinkel 0 Grad
- Tabelle 7: Gruppe 6 – *Ari.Lyc 52MN Einpflanzwinkel 45 Grad
- Tabelle 8: Gruppe 7 – *Ari.Lyc 52MN Einpflanzwinkel 90 Grad
- Tabelle 9: Gruppe 8 – *Ari.Lyc 52MN Einpflanzwinkel 135 Grad
- Tabelle 10: Daten der 19 untersuchten Patienten mit Implantation einer markierten pseudotorischen Hinterkammerlinse der Firma Acritec
- Tabelle 11: Darstellung der postoperativ gemessenen Winkel aller Patientenaugen
- Tabelle 12 : *Ari.Lyc 42TSM-5, Achslagen am Operationstag bei 0 Grad
Ergebnisse 6 Monate postoperativ
- Tabelle 13: *Ari.Lyc 42TSM-5, Achslagen bei 45 Grad
Ergebnisse 6 Monate postoperativ
- Tabelle 14: *Ari.Lyc 42TSM-5, Achslagen bei 90
Grad Ergebnisse 6 Monate postoperativ
- Tabelle 15: *Ari.Lyc 42TSM-5, Achslagen bei 135 Grad
Ergebnisse 6 Monate postoperativ
- Tabelle 16: *Ari.Lyc 52MN, Achslagen bei 0 Grad
Ergebnisse 6 Monate postoperativ
- Tabelle 17: *Ari.Lyc 52MN, Achslagen bei 45 Grad
Ergebnisse 6 Monate postoperativ
- Tabelle 18: *Ari.Lyc 52MN, Achslagen bei 90 Grad
Ergebnisse 6 Monate postoperativ

Tabelle 19: *Ari.Lyc 52MN, Achslagen bei 135 Grad
Ergebnisse 6 Monate postoperativ

Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1: Entwicklung der Linse
- Abbildung 2: schematische Darstellung einer implantierten Ridley-Linse
- Abbildung 3: schematische Abbildung einer implantierten Vorderkammerlinse
- Abbildung 4: schematische Darstellung irisfixierter Intraokularlinsen
- Abbildung 5: schematische Darstellung implantierter Hinterkammerlinsen
- Abbildung 6: Einteilige und dreiteilige Intraokularlinsen
- Abbildung 7: Markierung anhand eines Gefäßes in 0 Grad
- Abbildung 8: Markierung anhand eines Gefäßes in 45 Grad
- Abbildung 9: Markierung anhand eines Gefäßes in 90 Grad
- Abbildung 10: Markierung anhand eines Gefäßes in 135 Grad
- Abbildung 11: Inverser Tunnelschnitt, der zum postoperativen nahtlosen Schnittverschluss führt – die Pfeile kennzeichnen den intraokularen Druck
- Abbildung 12: *Acri.Lyc 42TSM-5
- Abbildung 13: *Acri.Lyc 52MN
- Abbildung 14: Spaltlampe BQ 900
- Abbildung 15: Spaltlampe SL 120 mit aufgesetztem Messokular
- Abbildung 16: Messokular mit Linear- und Winkelskala
- Abbildung 17: Winkelmessung
- Abbildung 18: Rotationsverhalten aller Linsen 6 Monate postoperativ
- Abbildung 19: Vergleich des Rotationsverhaltens zwischen den Linsentypen *Acri.Lyc 42TSM-5 und *Acri.Lyc 52MN 6 Monate postoperativ
- Abbildung 20: Vergleich des Rotationsverhaltens zwischen den verschiedenen Nachbeobachtungszeitpunkten
- Abbildung 21: Anzahl der Linsen mit abgeschlossener Drehung bezogen auf alle postoperativ rotierenden Linsen

Abkürzungsverzeichnis

BDOC =	Bundesverband Deutscher Ophthalmochirurgen e.V.
BVA =	Berufsverband der Augenärzte Deutschlands e.V.
DGII =	Deutschsprachige Gesellschaft für Intraokularlinsen- Implantation, Interventionelle und Refraktive Chirurgie
ECCE =	Extrakapsuläre Kataraktextraktion
HEMA =	Hydroxyethylmethacrylat
HKL =	Hinterkammerlinse
HRT =	Heidelberg Retina Tomograph
ICCE =	Intrakapsuläre Kataraktextraktion
IOL =	Intraokularlinse
LASEK =	Laser epithelial Keratomileusis
LASIK =	Laser in situ Keratomileusis
PMMA =	Polymethylmethacrylat
Poly-HEMA =	Polyhydroxyethylmethacrylat
PRK =	Photorefraktive Keratektomie
TABO =	technischen Ausschuss für Brillenoptik
tIOL =	torische Intraokularlinse
VKL =	Vorderkammerlinse