

Aus der Klinik und Poliklinik für Augenheilkunde der
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Direktor : Univ.- Prof. Dr. med. habil. G. I. W Duncker

**Nachstarprophylaxe durch Polieren
des Kapselsackes mit dem Water jet:
Biomikroskopische, lichtmikroskopische und rasterelektronen-
mikroskopische Untersuchungen an enukleierten Schweineaugen**

Dissertation

zur

Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Medizin

(Dr. med.)

vorgelegt

der Medizinischen Fakultät

der

Martin-Luther-Universität

Halle-Wittenberg

2001

von Jacques Junior Darman

Geboren am 18. Februar 1970 in Meiganga

GUTACHTER:

1. PD Dr. Wilhelm
2. Prof. Dr. Heynemann
3. Prof. Dr. Metelmann

Verteidigungsdatum: 10.01.2002

urn:nbn:de:gbv:3-000003783

[<http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn=nbn%3Ade%3Agbv%3A3-000003783>]

Referat

Die Kataraktchirurgie hat mit der Phakoemulsifikation technisch heute einen sehr hohen Standard erreicht. Trotzdem gibt es noch ungelöste Probleme. Dazu zählt der Nachstar. Auf der Suche nach Lösungen für dieses Problem stießen wir auf die Anwendungsmöglichkeit mit dem Wasserstrahlskalpell, ein Verfahren, das in anderen operativen Fachrichtungen, insbesondere in der Leberchirurgie, bereits eingesetzt wird.

Es war Aufgabe der Arbeit festzustellen, ob der Einsatz des Wasserstrahlskappells bei der Kapselpolierung die Möglichkeit bietet, eine Verbesserung der Operationsergebnisse zu erreichen.

An enukleierten Schweineaugen wurde nach Ultraschallphakoemulsifikation die Technik der manuellen Kapselpolitur und die Politur mittels Wasserstrahl vorgenommen.

Die Kapseln wurden biomikroskopisch, lichtmikroskopisch und rasterelektronenmikroskopisch untersucht und mit den Befunden an nicht polierten Kapselsäcken verglichen.

Die Kapseln zeigten nach Einsatz des Wasserstrahls insbesondere in der Äquatorgegend deutlich weniger verbliebene Epithelzellen und Rindenreste als nach manueller Kapselpolierung.

Die Ergebnisse weisen darauf hin, daß die Polierung der Hinterkapsel mit dem Water jet eine weitere Reduzierung der Nachstarrate bringen kann und ermutigen damit zu weiteren Untersuchungen, um diese Technik in der Praxis einsetzen zu können.

Darman, Jacques Junior: Nachstarprophylaxe durch Polieren des Kapselsacks mit dem Water jet. Biomikroskopische, lichtmikroskopische und rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen an enukleierten Schweineaugen.

Halle / Saale, Univ., Med. Fak., Diss., 59 Seiten, August 2001

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Geschichte der Kataraktchirurgie	1
1.2	Anatomie und Physiologie der Linse	2
1.3	Zur Problematik des Nachstars	3
1.3.1	Primärer Nachstar	4
1.3.2	Sekundärer Nachstar	4
1.3.3	Fibrotischer Nachstar	4
1.3.4	Regeneratorischer Nachstar	5
1.3.5	Präventionsversuche und Behandlung des Nachstars aus heutiger Sicht	5
1.4	Der Water jet	6
1.4.1	Einsatz des Water jets in der Technik	6
1.4.2	Anwendung des Water jets in der Medizin	6
1.4.3	Einsatzmöglichkeiten des Water jets in der Augenheilkunde	7
2	Zielstellung	8
3	Material und Methode	10
3.1	Das Schweineauge als Modell	10
3.2	Das Wasserstrahlgerät und der Applikator	10
3.3	Vorbereitende Operation des Schweineauges	11
3.4	Ablauf der Untersuchungen	13
3.5	Durchführung der Kapselpolitur	14
3.5.1	Manuelle Kapselpolitur	14
3.5.2	Kapselpolitur mittels Water jet	14
3.6	Biomikroskopische Untersuchungen	14
3.6.1	Materialgewinnung und Vorbereitung für die Biomikroskopie	14
3.6.2	Biomikroskopische Einschätzung der Präparate und Bewertung	15
3.7	Lichtmikroskopische Untersuchungen	17
3.7.1	Materialgewinnung für die Lichtmikroskopie	17
3.7.2	Fixation und Vorbereitung für die Lichtmikroskopie	17
3.7.3	Einschätzung der lichtmikroskopischen Objekte und Bewertung	19

3.8	Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen der Kapsel	19
3.8.1	Materialgewinnung für die Rasterelektronenmikroskopie	19
3.8.2	Probenpräparation für die Rasterelektronenmikroskopie	19
3.8.3	Bewertung der rasterelektronenmikroskopischen Präparate	20
3.9	Statistische Auswertung	21
4	Ergebnisse	23
4.1	Biomikroskopie	23
4.2	Lichtmikroskopie	24
4.3	Rasterelektronenmikroskopie	26
5	Diskussion	28
5.1	Methodenkritische Bemerkungen	28
5.2	Kritische Einschätzung der Ergebnisse im Vergleich mit der Literatur	28
5.3	Schlußfolgerungen und Ausblick	30
6	Zusammenfassung	31
7	Literaturverzeichnis	32
8	Anlagen	43
9	Thesen	58
	Lebenslauf	
	Selbständigkeitserklärung	
	Hinweise auf Publikationen dieser Arbeit	
	Vorträge über Ergebnisse dieser Arbeit	
	Poster über Ergebnisse dieser Arbeit	
	Erklärung über Promotionsversuche	
	Danksagung	

Abkürzungsverzeichnis

ÄR	Äquatorregion
ECCE	extrakapsuläre Kataraktextraktion
GK	Glaskörper
HH	Hornhaut
HK	Hinterkapsel
ICCE	intrakapsuläre Kataraktextraktion
IOL	Intraokularlinse
MP	Manuelle Politur
Phako	Phakoemulsifikation
REM	Rasterelektronenmikroskop
VK	Vorderkapsel
WJ	Water jet
YAG-Laser	Yttrium-Argon-Garnet-Laser

1 Einleitung

1.1 Geschichte der Kataraktchirurgie

Die Katarakt oder der graue Star (aus dem Althochdeutschen) ist eine Krankheit, die schon im Altertum bekannt war. Man ging damals von einer pathologischen Veränderung der intraokularen Flüssigkeit aus [117]. Die Unsicherheit über die Kenntnisse der Pathogenese dieser Krankheit äußerte sich in der Beschreibung des grauen Stars mit verschiedenen Begriffen, zum Beispiel „Hypochyma“, „Hypochysis“ oder „Suffusio“ [117]. Der Begriff Katarakt stammt aus Übersetzungen arabischer Schriften und bedeutet „herabfließendes Wasser“ [41]. Die Ursprünge der Kataraktchirurgie liegen nach Meinung verschiedener Autoren um etwa 800–600 v. Chr. in Indien [41, 69]. Man operierte die Katarakt damals, indem man nach der Eröffnung der Sklera mit einer scharfen Lanzette die getrübte Linse mittels einer Nadel in den Glaskörper drückte.

Diese als „Starstich“ bezeichnete Methode, die manche Autoren heute „Depression“ bzw. „Reklination“ der Linse nennen, wurde mit leichten Änderungen von der Antike bis etwa zur Mitte des 19. Jahrhunderts durchgeführt. In vielen Ländern Afrikas und Asiens wird sie heute noch praktiziert [45, 112]. Der nächste Schritt in dieser Entwicklung kommt nach Hirschberg den Arabern zu. Rhazes (850 n. Chr.) und Abull Quasim Ammar verfeinerten die Methode, indem sie die Reklination mit dem Absaugen kombinierten [41, 42]. Diese Methoden der Kataraktabsaugung gingen zwar nicht völlig verloren, wurden jedoch bis zum 19. Jahrhundert nicht mehr praktiziert.

Die Kenntnisse über die Pathogenese der Katarakt wurden erst im 17. Jahrhundert erweitert. Bereits 1615 versuchte Jacob Schallings, sich dem Kampf um den wahren Sitz des Stares zu stellen und die Welt zu überzeugen, daß der Star eine Trübung der Linse ist und nicht, wie zuvor irrtümlicherweise angenommen wurde, eine Haut vor der Linse. Das gelang ihm nicht und wurde schnell vergessen [117]. 1705 veröffentlichten Brisseau und Maitre Jean eine „Arbeit über den wahren Sitz der Katarakt“. Diese Publikation wurde der Pariser Akademie vorgelegt und erhielt, im Gegensatz zu Jacob Schallings Aussage, Anerkennung. 1753 beschrieb Jacques Daviel eine Operationsmethode, die der heutigen extrakapsulären Kataraktextraktion (ECCE) entspricht [21]. In der Folgezeit wurde das Davielsche Verfahren der Linsenextraktion durch die Einführung von neueren Instrumentarien verbessert [21]. De La Faye brauchte für eine ECCE nur noch zwei Instrumente: ein Starmesser für den Cornealschnitt und ein Cystotom zur Eröffnung der Linsenkapsel [22]. Neben dem in dieser Zeit entwickelten Starmesser von Georg Josef Beer (ein dreieckförmiges, an der Spitze doppelschneidiges Messer) sei noch das strohhalmförmige Schmalmesser von Al-

brecht von Graefe erwähnt, mit dem er nicht nur einen eleganten, schnellen Starschnitt durchführte, sondern auch eine prophylaktische Iridektomie.

Die Entwicklung der Kataraktchirurgie profitierte von der Einführung des Lokalanästhetikums Cocain durch den Wiener Arzt Carl Koller (1884). Damit war die Ära der ophthalmologischen Eingriffe ohne jede Schmerzlinderung beendet. Als Oberflächenanästhetikum hat es heute noch seinen festen Platz in der Augenheilkunde.

Ein weiterer bedeutender Schritt war der Beginn der Linsenimplantation durch den Londoner Arzt Harold Ridley. Diese Idee wurde im Herbst 1949 geboren, als er nach einer Staroperation von einem Medizinstudenten gefragt wurde, warum er nicht die erkrankte Linse durch eine neue ersetzt habe [29]. Die Namen Epstein, Binkhorst, Worst, John L. Pearce, Steven P. Shearing sind in der weiteren Entwicklung der Linsenimplantation noch zu erwähnen [56, 69].

Einen weiteren Fortschritt in der Kataraktchirurgie brachte Barraquer im Jahre 1958 mit der fermentativen Zonulolyse mit Alpha-Chymotrypsin [12, 95].

Nach Meinung von Kelman [54] ist 1961 das Jahr der Revolution auf dem Gebiet der Kataraktchirurgie, da in diesem Jahr der Pole T. Krawicz seinen Kryoextraktor zur intrakapsulären Kataraktextraktion (ICCE) vorstellte. Hierbei wurde ein Instrument in die Vorderkammer eingeführt. Am Ende des Instruments befand sich eine Metallsonde, welche eine Temperatur von -60°C bis -70°C hatte. Damit konnte man die Linse anfrieren und durch seitliche Bewegungen entfernen.

1962 entwickelte C. D. Kelman das nach ihm benannte Kelman-Phakoemulsifikations- und Aspirationssystem für die Kataraktchirurgie [54]. Fünf Jahre später begann der klinische Einsatz in den USA.

1.2 Anatomie und Physiologie der Linse

Entwicklungsgeschichtlich geht die Linse aus dem Linsenbläschen, einem Derivat des Ektoderms, hervor. Dies erklärt die Beteiligung der Linse an verschiedenen Hautkrankheiten, z.B. bei der *Cataracta syndermatotica*. Die Arteria hyaloidea versorgt die embryonale und fetale Linse, bildet sich jedoch kurz vor der Geburt zurück. Die Linse des Neugeborenen ist somit avaskulär, d.h. gefäßfrei. Die Linse ist ein bikonvexes Gebilde mit einem äquatorialen Durchmesser von 9,0 mm und einem sagittalen Durchmesser von 4,5 mm [60]. Sie liegt hinter der Iris und ist durch die Zonulafasern (*Zonula zinnii*) mit dem Ziliarkörper verbunden. An die hintere Fläche der Linse grenzen der retrolentale Raum und der Glaskörper. Mikroskopisch besteht die Linse aus

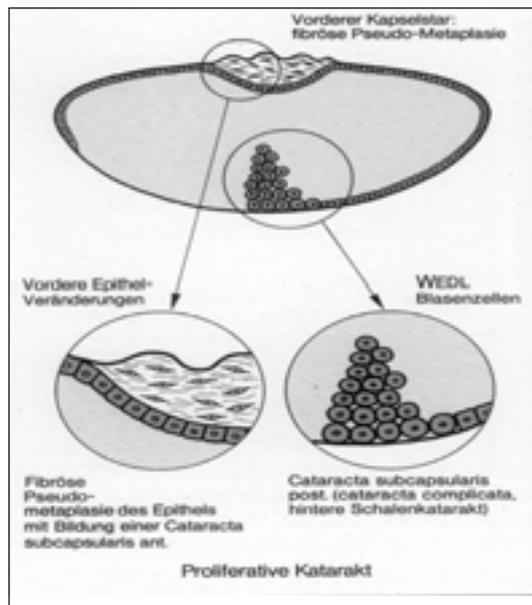


Abb. 1: Schematische Darstellung der Linse (nach Naumann [71])

einer hochelastischen Kapsel, einem subkapsulären Linsenepithel und den Linsenfasern [19, 28, 31,58].

Die Dicke der Linsenkapsel differiert in den verschiedenen Zonen erheblich. Am vorderen Pol beträgt die Dicke bis zu 23 μm , während am hinteren Pol nur 4 μm gemessen wurden. Die Linsenkapsel ist eine semipermeable Membran, die Wasser und Elektrolyte durchtreten lässt [84].

Die prääquatorialen Epithelzellen des subkapsulären Linsenepithels teilen sich stetig und bilden sich zu Linsenfasern um, die sich im ganzen Leben vom Linsenäquator, d.h. vom Übergang zwischen Linsenvorderfläche und Linsenrückfläche, auf die Zentralfasern im Linsenkern aufschichten und zum ständigen Wachstum und zur Faser Vermehrung der Linse beitragen (Abb. 1) [52, 71].

Da die Linsenfasern nicht abgebaut werden, besteht der Kern der Linse zeitlebens aus den primären Linsenfasern, die während der Embryonalperiode gebildet worden sind, während sich die konzentrischen Schichten sekundärer Linsenfasern in verschiedenen Differenzierungsstadien befinden [60, 71].

1.3 Zur Problematik des Nachstars

Trotz der immensen Fortschritte in der Katarakt-Chirurgie ist es bis jetzt noch nicht gelungen, die häufigste Spätfolge der Operation, die Entwicklung des Nachstars, wirkungsvoll zu bekämpfen [8, 111, 20].

Die Nachstarrate wird unterschiedlich angegeben (10% bis 50%). Dies ist auf mehrere Faktoren zurückzuführen, wie auf das Alter der Patienten, die Zeit der Nach-

kontrolle, die subjektive Sehinderung des Patienten, die Art des Nachstars und auf das Vorliegen von Begleiterkrankungen wie zum Beispiel Diabetes mellitus [20, 32, 67]. Es gibt keine standardisierte Methode zur Nachstaranalyse [5, 67].

Man unterscheidet den primären Nachstar vom sekundären Nachstar.

1.3.1 Primärer Nachstar

Bei dem selten vorkommenden primären Nachstar handelt es sich um eine fibrotische Hinterkapselauflagerung, die während der Operation am hinteren Linsenpol sichtbar sein kann. Sie kann durch „Peeling“ mit Hilfe einer abgewinkelten Kanüle am Rande von der Unterlage abgehoben und dann mit einer feinen anatomischen Pinzette in Verlafrichtung von der Hinterkapsel abgezogen werden [40, 107].

1.3.2 Sekundärer Nachstar

Der sekundäre Nachstar tritt klinisch vorwiegend in zwei Formen in Erscheinung, mit zum Teil unterschiedlicher Pathogenese: als fibrotischer Nachstar oder als regenerativer Nachstar. Beide können aber auch kombiniert vorkommen.

1.3.3 Fibrotischer Nachstar

Bereits 1828 beschrieb Soemmerring die charakteristische Form des nach ihm benannten peripheren Nachstars [92]. Dieser Nachstar (Soemmerringscher Nachstar) imponiert klinisch als periphere, ringförmig gelegene, streifige, netzartige, milchigweiße Trübung der hinteren Kapsel (Abb. 2) [8]. Diese Soemmerringsche Kristallwulst entsteht durch die Fusion der restlichen Vorderkapsel mit der Hinterkapsel, zwischen denen zurückgebliebene Rindenanteile sowie degenerierende und proliferierende Epithelzellen eingeschlossen sind [79, 90, 102].

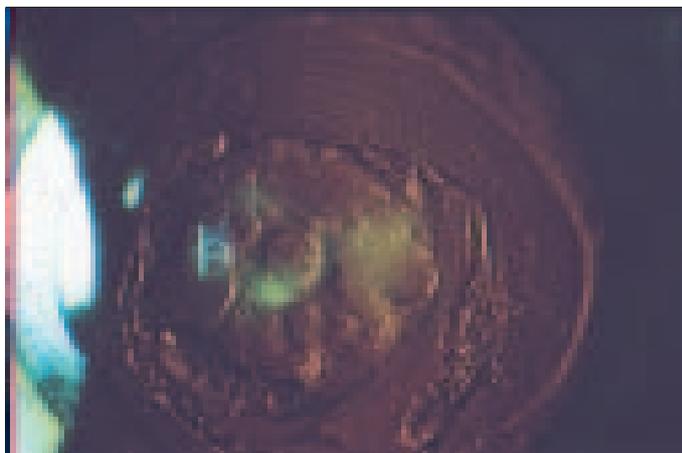


Abb. 2: Ein klinisches Beispiel für den fibrotischen Nachstar

Aus elektronenmikroskopischen und immunhistochemischen Untersuchungen [16, 33, 39] ist heute bekannt, daß die netzartig weißlichen Trübungen der HK die Folge von Kollagenfasern und Basalmembranen produzierenden, wandernden Fibroblasten sind. Diese sind durch Pseudometaplasie aus zurückgebliebenen Linsenepithelzellen entstanden [34, 63, 68].

Diese Fibroblasten besitzen durch ihre myofibrillären Elemente die Fähigkeit zur Kontraktion, welche zur Faltenbildung an der Hinterkapsel und damit zur Sehminderung führen kann [68].

1.3.4 Regeneratorischer Nachstar

Pathogenetisch stellt der regeneratorische Nachstar eine zentripetale Proliferation von peripheren Linsenepithelzellen entlang der Hinterkapsel dar [63, 68]. Der regeneratorische Nachstar entsteht aber auch aus einer vom Linsenäquator ausgehenden, langsamen, grobzelligen Wucherung zurückgebliebener Linsenepithelzellen in Form von froschlauchähnlichen, tropfenartigen Zellkonglomeraten, den sogenannten Elschnig-Perlen [26, 53]. Diese führen zu Sehminderungen, die unter Umständen behandlungsbedürftig sein können (Abb. 3).

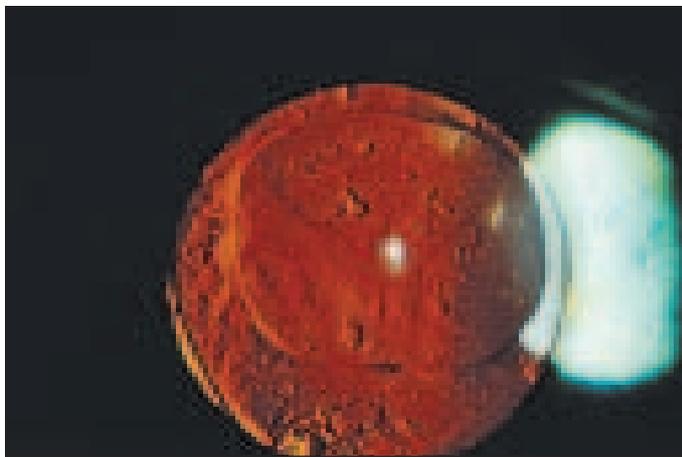


Abb. 3: Ein klinisches Beispiel für den regeneratorischen Nachstar

1.3.5 Präventionsversuche und Behandlung des Nachstars aus heutiger Sicht

Um den Nachstar zu verhindern, gibt es verschiedene Möglichkeiten. So versucht man, mit Hilfe eines bimanellen Spülungs- und Absaugungssystems die Rindenreste und die Epithelzellen zu entfernen [55, 75, 98]. Diese Methode ist nicht immer ungefährlich [66, 88]. Eine andere Möglichkeit ist die Anwendung von verschiedenen

Polierkanülen (vgl. Abb. 6). Mit der Polierkanüle erfolgt die mechanische bzw. die manuelle Politur der HK und der Äquatorregion. Rensch et al. verfeinerten die Polierkanüle und entwickelten eine spezielle Kürette, die sogenannte Rensch-Kürette. Damit führen sie die Abrasio von Rindenresten und Epithelzellen durch [64, 83]. Beschrieben wurde auch die Hinterkapselpolitur mit Laserstrahlen [77].

Es wurde außerdem über die Anwendung verschiedener Pharmaka (Antimetaboliten) zur Verhinderung von Proliferation bzw. Metaplasie der Epithelzellen berichtet [25, 37, 48, 85].

Es gibt Kunstlinsen aus verschiedenen Materialien und mit unterschiedlichem Design, beispielsweise mit scharfen Kanten, die zum Teil auf der ganzen Oberfläche der HK liegen, um die Proliferation und die Metaplasie der Epithelzellen zu unterbinden [6, 13, 14, 43, 70, 103, 118].

Ist der Nachstar einmal vorhanden, kann man ihn entweder durch eine sogenannte chirurgische hintere Kapsulotomie beseitigen [46], was aber eine invasive Maßnahme darstellt, oder durch eine YAG-Laser-Kapsulotomie [9, 113, 114].

1.4 Der Water jet

1.4.1 Einsatz des Water jets in der Technik

Der Wasserstrahl ist als schneidendes, putzendes und glättendes Werkzeug in der Industrie bereits seit Jahrzehnten etabliert. Durch eine Düse mit feinstem Durchmesser und genau determiniertem Wasserdruck ist man in der Lage, Objekte genauer und ökonomischer zu durchtrennen als mit konventionellen Werkzeugen, wie zum Beispiel Messer, Säge oder Skalpell. Seine Anwendung in der Industrie breitete sich von der Plastik- über die Glas- bis zur Metallindustrie aus [59].

1.4.2 Anwendung des Water jets in der Medizin

Aufgrund der guten Dosierbarkeit des Wasserstrahles und des im Verhältnis zur Lasertechnik verhältnismäßig geringen Geräteaufwandes war der Einsatz in der operativen Medizin folgerichtig zu erwarten [82].

Obwohl derzeit diese Technik in verschiedenen chirurgischen Fachdisziplinen klinisch erprobt wird, ist bisher hauptsächlich über den Einsatz des Water jets in der Leberchirurgie publiziert worden [10, 80, 108]. Nachdem Papachristou und Barters 1982 erstmals die Chirurgie der Leber mit dem Wasserstrahlskalpell vorstellten [78], hat es nahezu zehn Jahre gedauert, bis die ersten Anwenderberichte aus verschiedenen

Arbeitsgruppen über den Einsatz zur blutarmen Resektion von Lebergewebe erschienen sind [78, 80, 108]. Diese Erfolgsmeldungen haben sicher dazu beigetragen, daß auch Vertreter anderer operativer Fächer die Vorteile des schonenden und äußerst gut dosierbaren Vorgehens nutzen wollten. Zum Beispiel wird in der Orthopädie beim Bandscheibenprolaps der Nucleus pulposus mit dem Wasserstrahl entfernt, wobei die angrenzenden Gewebe, Gefäße und Nerven kaum traumatisiert werden.

Auch bei der partiellen Nephrektomie konnten mit dem Wasserstrahl bessere Ergebnisse erreicht werden. Durch die gezielte Resektion und die Schonung der intraparenchymalen Gefäße gelang es, Parenchymnekrosen und Blutungen weitestgehend zu vermeiden [44].

In der Stomatologie ist es möglich, mit dem Prophy-Jet (gleiches Prinzip wie Water jet) die Zahnoberfläche zu reinigen und Zahnstein zu entfernen [11].

Auch in der Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie, beispielsweise bei der Präparation von Tumoren [49] und in der Neurochirurgie zum Durchtrennen von Hirngewebe [81, 99], hält diese Methode ihren Einzug.

Zusammenfassend ist zu sagen, daß man mit dem Wasserstrahlkapell unter Erhalt von Blutgefäßen und Nerven biologische Strukturen gezielt durchtrennen kann [49, 99].

1.4.3 Einsatzmöglichkeiten in der Augenheilkunde

In der ophthalmologischen Fachliteratur sind Meldungen über dieses Verfahren und seine Anwendbarkeit in der Ophthalmochirurgie äußerst selten. In den Gedanken, mittels des Water jets erkranktes Gewebe (hier ging man primär überwiegend von Tumoren aus) zu entfernen, wurde erstmals bereits 1976 im Rahmen eines US-Patentes durch Wallach [115] auch die menschliche Linse einbezogen. Es wurden jedoch keinerlei Versuche der praktischen Umsetzung bekannt.

Die erste Anwendung des Wasserstrahls in der Ophthalmochirurgie wurde durch Lipshitz et al. 1996 beschrieben. Sie schnitten die Hornhaut lamellär mit einem sogenannten „Water jet Keratom“ [62]. 1997 zertrümmerten Lindstrom et al. Linsenkerne mit dem Wasserstrahl [61]. 1998 führte die Arbeitsgruppe von Wilhelm Untersuchungen zur Linsenkernzertrümmerung mittels Water jet [119,120] und hinsichtlich der Belastbarkeit der Hinterkapsel mit dem Water jet durch [121].

2 Zielstellung

Der graue Star ist eine vor allem im Alter auftretende Trübung der Linse, deren Häufigkeit infolge der höheren Lebenserwartung in den Industrienationen und aufgrund der Bevölkerungsentwicklung in den Entwicklungsländern zunimmt. Bei 450 000 Kataraktoperationen in Deutschland [50, 116] gibt es immer wieder neue Impulse zur Optimierung dieser Prozedur [7].

Folgende Schritte werden derzeit bei der überwiegend angewandten Operationsmethode, der Phakoemulsifikation, favorisiert [56]:

- Eröffnung des Auges durch einen dreistufigen Tunnelschnitt
- Eröffnung der Vorderkapsel durch eine möglichst kreisrunde intakte Kapsulorhexis
- Phakoemulsifikation, d.h. der Linsenkern wird unter Einsatz von Ultraschallenergie verflüssigt und dann abgesaugt
- Absaugung der Rindenreste
- Das Polieren der Linsenkapsel (von Operateur zu Operateur unterschiedlich)

Die Phakoemulsifikation der Linse ist nicht immer ungefährlich. Die Schädigung des Auges durch Ultraschallenergie wird diskutiert [2, 15, 23]. Außerdem entsteht im Bereich des Eintrittes in die Vorderkammer durch die Hornhaut hindurch während der Phakoemulsifikation des Kerns mit Hilfe von Ultraschallenergie überschüssige Wärme, die zur Schädigung des Hornhautgewebes führen kann [24, 123, 124].

Bei der Entfernung der Rindenmassen durch Aspiration gelingt es oft nicht, periphere Rindenanteile, welche unter der Iris verborgen bleiben, vollständig zu entfernen. Auch reicht das aufwendige Polieren der Kapsel meist nicht aus, um Faser- und Epithelreste vollständig zu entfernen.

Wie bereits im Abschnitt 1.3 beschrieben, ist die Entwicklung des Nachstars die häufigste Spätkomplikation der Kataraktoperation [17]. Als wesentliche Ursache für dessen Entstehung wird das Zurückbleiben von proliferationsfähigem Linsenepithel auf der Hinterkapsel bzw. im Äquatorbereich der Linsenkapsel angesehen [27, 79, 90, 97]. Bisherige Bemühungen, dies mittels Polierkanüle [64], manueller Spülung [98], pharmakologischer Substanzen [48, 72, 73, 74] oder durch Designvariationen der Intraokularlinse [3, 4, 43, 51, 65, 96] zu verhindern, können nur bedingt als erfolgreich betrachtet werden, da in jedem Falle trotzdem die Ausbildung eines Nachstars beobachtet werden konnte.

Nach erfolgreicher Kataraktoperation mit Implantation einer Kunstlinse besteht bei jedem Patienten die Möglichkeit der Ausbildung eines regenerativen Nachstars. Diese, als sekundäre Katarakt bezeichnete erneute Trübung in der optischen Achse,

wird durch verbliebene Linseneithelzellen und Rindenmassen in der Äquatorregion hervorgerufen [27, 79]. Da durch diese proliferierenden Epithelien das Sehen wieder erheblich beeinträchtigt werden kann, wird angestrebt, die Linsenkapsel während des Primäreingriffes möglichst gründlich von Epithelresten zu säubern [27, 75, 79], weil bei entsprechend ausgeprägtem Nachstar die Sehschärfe oft so deutlich reduziert ist, daß ein zweiter operativer Eingriff notwendig wird. Die Häufigkeit ist zum Teil mit über 40 Prozent angegeben [32]. Der Zweiteingriff kann invasiv chirurgisch [47] oder von außen mit Hilfe eines YAG-Lasers durchgeführt werden [9, 53, 114]. Obgleich eine Operation mit erneuter Eröffnung des Auges alle Risiken des Primäreingriffes birgt, kann es auch bei der Behandlung mit dem Laser zu erheblichen Komplikationen kommen [9, 76, 113]. Bei kurzsichtigen Patienten wird eine besonders hohe Rate an Netzhautablösungen nach diesem Eingriff beschrieben [1].

Daraus ergibt sich die Notwendigkeit einer effektiven Nachstarprophylaxe durch eine primär sorgfältige Entfernung der Linseneithelien [50]. Es wurden verschiedene Instrumente entwickelt, um den Kapselsack gründlich zu säubern [83]. Jeder Kataraktoperateur weiß um die Hartnäckigkeit der auf der Hinterkapsel und in der Peripherie fest haftenden Rindenreste. Die Entfernung von peripheren Linsenresten gestaltet sich in der Region des Linsenäquators besonders bei enger Pupille schwierig.

Durch manuelle Hydro-Jet-Spülung mittels einer Spritze können periphere Linsenreste mobilisiert werden [65, 79]. Jedoch ist auch damit keine kontinuierliche Säuberung des Kapselsackes über 360° möglich.

Deshalb ist es Ziel der vorliegenden Arbeit, den Einsatz des Wasserstrahlskalpells für die Prophylaxe des Nachstars zu testen. Das Kriterium hierfür ist die Effektivität der Entfernung von Rindenresten und Linseneithelien im Kapselsack.

3 Material und Methode

3.1 Das Schweineauge als Modell

Die frischen Schweinebulbi wurden im Schlachthof 30 Minuten post mortem enukleiert. Dabei wurde darauf geachtet, daß die Augen vor dem Brühen der Tiere gewonnen wurden, um thermische Hornhautschäden auszuschließen. In einer gekühlten, feuchten Kammer (Kühlbox) bei ca. + 4 °C erfolgte dann der Transport (45 min. Dauer) ins Labor. Bei den Tieren handelte es sich um ca. 4 Monate alte Schweine der Rasse „Deutsches Landschwein“ mit einem Gewicht von 110 bis 150 kg.

3.2 Das Wasserstrahlgerät und der Applikator

Das in der vorliegenden Arbeit getestete Wasserstrahlskalpell wurde von der Firma Andreas Pein Medizintechnik GmbH (Schwerin) gebaut und zur Verfügung gestellt (Abb.4 a-c).

Das auch „micro-jet“ genannte Gerät wurde zusammen mit dem notwendigen Applikationssystem als Medizinprodukt zertifiziert. Der Mediumdruck wird nicht wie bei allen anderen in der Medizin bekannten Wasserstrahlschneidanlagen dynamisch erzeugt, sondern es wirkt ein quasi statischer Druck durch einen innovativen Mediumwandler auf das Schneidemedium (Anlage 1, 2). Über ein Fußpedal kann dieser Druck nach Bedarf stufenlos reguliert werden (Abb. 4 a). Der Applikator ist über ein flexibles Kapillarsystem mit dem Gerät verbunden (Abb. 4 c).

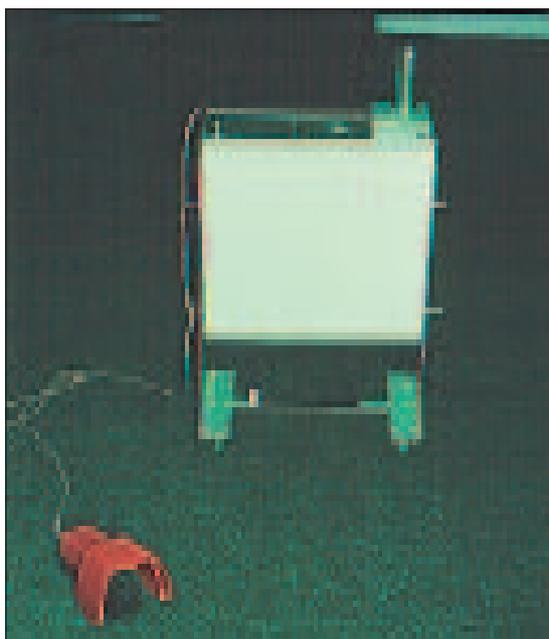


Abb. 4a: Eingesetzter Prototyp des Grundgerätes für den Water jet mit Fußschalter (vgl. Anlage 1 und 2)



Abb. 4b: Armatur des Gerätes aus Abb. 4a

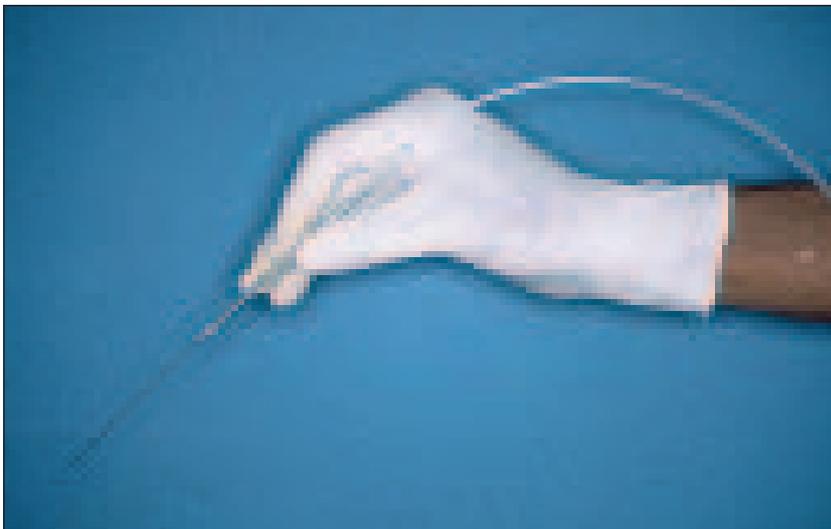


Abb. 4c: Applikator für den Water jet, 50 μm Innendurchmesser (vgl. Anlage 1)

Das Gerät ist zum selektiven Trennen biologischer Strukturen in der Humanmedizin geeignet. Darüber hinaus ist die Indikation für kleine chirurgische Eingriffe, die nur wenig Schneidemedium erfordern, in Lokalanästhesie gegeben. In der durchgeführten Studie kam für die Untersuchungen als Trennmedium destilliertes Wasser zum Einsatz.

3.3 Vorbereitende Operation des Schweineauges

Das ausgewählte Schweineauge mit klarer Hornhaut und gutem Rotlichtreflex wurde auf einem Halter nach Spitznas (Abb. 5) durch Ansaugung [93] fixiert und unter einem binokularen Operationsmikroskop sorgfältig vorbereitet.

Die Bindehaut wurde abpräpariert, dann wurde bei 12 Uhr ein 3 mm langer, dreistufiger Tunnelschnitt (1 mm vom corneoscleralen Übergang entfernt) gelegt: die erste,



Abb. 5: Versuchsanordnung mit dem im Bulbushalter nach Spitznas fixierten Schweineauge [93]

senkrechte Stufe mit einer Klinge, die zweite Stufe als lamellärer Schnitt mit dem Rundmesser bis in das Hornhautstroma hinein und die dritte Stufe zur Perforation der Descemetsche Membran mit einer Phakolanze [56]. Anschließend wurden zwei Parazentesen, d.h. zwei zusätzliche Zugänge, bei 10 Uhr und bei 2 Uhr angelegt, die zur Einführung des Instrumentariums und zur bimanuellen intraokulären Manipulation dienten.

Dann wurde Methocel® sowohl auf die Hornhaut gegeben, als auch in die Vorderkammer eingebracht. Dadurch wird die Übersichtlichkeit verbessert und die Vorderkammer des Auges vertieft, um zu verhindern, daß sich diese während des Eingriffes abflacht.

Durch die bei 2 Uhr gelegte Parazentese wurde ein vorbereitetes Zystotom eingeführt. Das Zystotom wurde folgendermaßen präpariert: Die Spitze einer Einmal-Injektions-Kanüle der Firma B. Braun Melsungen AG (Größe 12 G) wurde im Anschliff mittels Nadelhalter um ca. 45° abgeknickt und die Kanüle in ihrer gesamten Länge so gebogen, daß sie einen Viertelkreis darstellte. Mit dem Zystotom wurde eine möglichst kreisförmige Kapsulorhexis, d.h. eine Eröffnung der Vorderkapsel, durchgeführt [56]. Mit einer Kanüle wurde Methocel zwischen Linsenkapsel und Kapselinhalt gebracht, um diesen zu mobilisieren und damit die Absaugung zu erleichtern. Dann wurde mittels Phakolanze die Vorderkammer über den bei 12 Uhr gelegten Tunnel eröffnet. Durch diesen konnte man anschließend den Phaco-Tip oder den Water jet-Tip einführen. Mit dem Phaco-Tip erfolgte die Phakoemulsifikation, d.h. die Zerkleinerung des Linsenkerns durch Ultraschall, und mit dem Irrigation/Aspiration-Tip wurde die Absaugung der Rindenreste vorgenommen.

3.4 Ablauf der Untersuchungen

An den auf diese Weise vorbereiteten Bulbi wurden Untersuchungen mit folgender Zielstellung vorgenommen:

Es sollte die Qualität der Kapselpolitur bei Anwendung der Polierkanüle nach Simcoe und bei Einsatz des Water jets miteinander verglichen werden. Zu diesem Zweck wurde sowohl mit der Kanüle als auch mit dem Water jet eine halbminütige Kapselpolitur bei jeweils 15 Augen durchgeführt. Zur Gewinnung des Vorderabschnittes wurde anschließend die hintere Bulbushälfte mit einer Schere abgetrennt. Um die Entfernung der Rindenmassen in der Äquatorzone der Linsenkapsel vergleichend beurteilen zu können, wurden pro Serie (Kapselpolierer und Water jet) jeweils zehn Präparate biomikroskopisch und anschließend lichtmikroskopisch sowie 5 Präparate rasterelektronenmikroskopisch untersucht. Als Vergleichsserien dienten jeweils die gleichen Zahlen an Augen, bei denen die Operation bis zur Phakoemulsifikation und Rindenabsaugung ohne Politur erfolgte (Tab. 1).

Tab. 1: Überblick über die durchgeführten Versuche der Kapselpolitur

Untersuchung	Biomikro- skopie (n)	Lichtmikro- skopie (n)	REM (n)	Summen (n)
Ohne manuelle Polierung	Gruppe I (10)	Gruppe IV (10)	Gruppe VII (5)	(25)
Manuelle Polierung	Gruppe II (10)	Gruppe V (10)	Gruppe VIII (5)	(25)
Water jet Polierung	Gruppe III(10)	Gruppe VI (10)	Gruppe IX (5)	(25)
Summen (n)	(30)	(30)	(15)	(75)

3.5 Durchführung der Kapselpolitur

3.5.1 Manuelle Kapselpolitur

Hier wurde versucht, die gesamte Zirkumferenz von 360° mit der Polierkanüle nach Simcoe (Abb. 6 und Anlage 3) manuell zu polieren, wobei insbesondere im Bereich der nichteinsehbaren Peripherie hinter der Iris vorsichtig vorgegangen werden mußte, um keine Kapselruptur zu provozieren. Diese Manipulation wurde bei jedem Auge nach 30 Sekunden beendet.

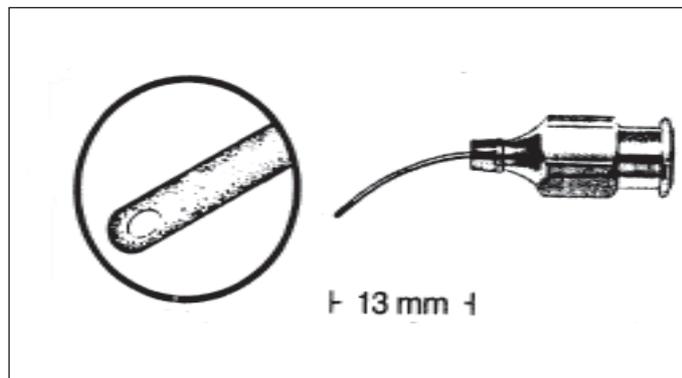


Abb. 6: Polierkanüle nach Simcoe (s. Anlage 3)

3.5.2 Kapselpolitur mittels Water jet

Nach Durchführung von Kapsulorhexis und Hydrodissektion erfolgte die Kapselpolitur mit dem Water jet bei einem Druck von 4 bar [121] über die drei Zugänge. Durch das wechselseitige Einführen des Düsenhandstückes in die beiden Parazentesen konnte die gesamte Zirkumferenz von 360° erreicht werden. Dabei wurde die Spitze des Instrumentes nur soweit vorgeschoben, daß sie hinter dem Kapsulorhexisrand plaziert war und damit sichtbar blieb. Auch in dieser Serie betrug die Zeitdauer der Politur bei jedem Auge eine halbe Minute.

3.6 Biomikroskopische Untersuchungen

3.6.1 Materialgewinnung und Vorbereitung für die Biomikroskopie

Die nach der Beschreibung in Abschnitt 3.4 gewonnenen Vorderabschnitte wurden biomikroskopisch in der Miyake/Apple-Perspektive beurteilt. Aus dieser retrograden Sicht auf den Kapselsack und den Ziliarkörper konnten die gesamten 360° des Kapselsackes bis in den äußersten Äquator sicher beurteilt werden [8].

3.6.2 Biomikroskopische Einschätzung der Präparate und Bewertung

Zur Beurteilung der biomikroskopischen Präparate wurde ein Score festgelegt (Tab. 2). Anhand dieses Scores und einer für die Untersuchung entworfenen Schablone (Abb.7) konnten die 12 verschiedenen Uhrzeiten eines Präparates hinsichtlich der verbliebenen Rindenanteile bewertet werden (Anlage 4, 5 und 6).

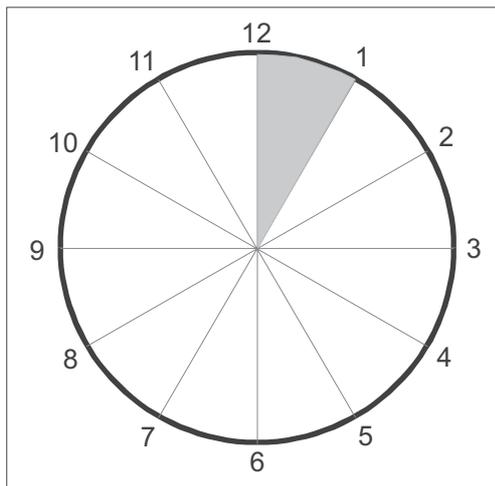
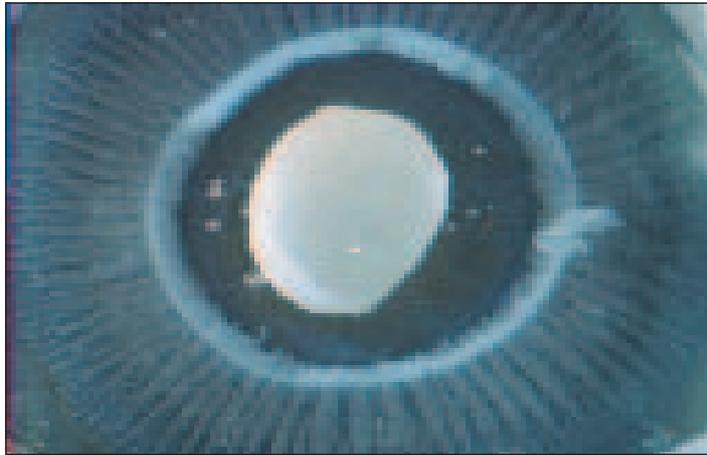


Abb. 7: Schablone zur Beurteilung der biomikroskopischen Präparate

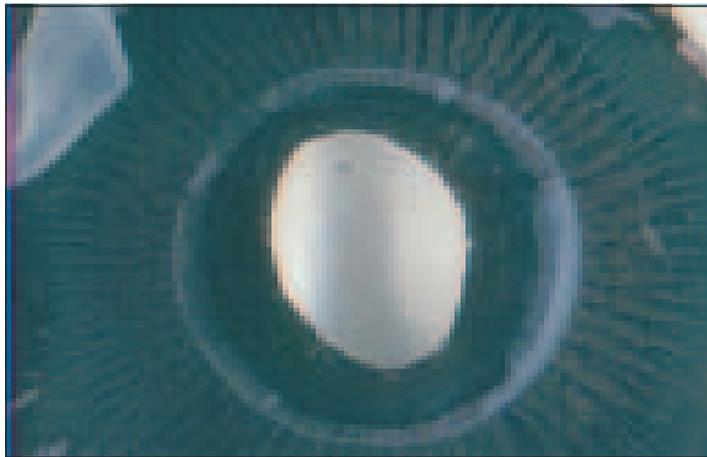
Tab. 2: Score zur biomikroskopischen Beurteilung der Präparate

Kriterien	Punktwert	Beispiel
Ausgesprägte Rückstände von Rindenresten im Äquatorbereich des Kapselsackes sichtbar	2	Abb. 8a
Peripherer Saum von Rindenresten im Äquatorbereich des Kapselsackes sichtbar	1	Abb. 8b
keine Rindenreste im Äquatorbereich des Kapselsackes sichtbar	0	Abb. 8c

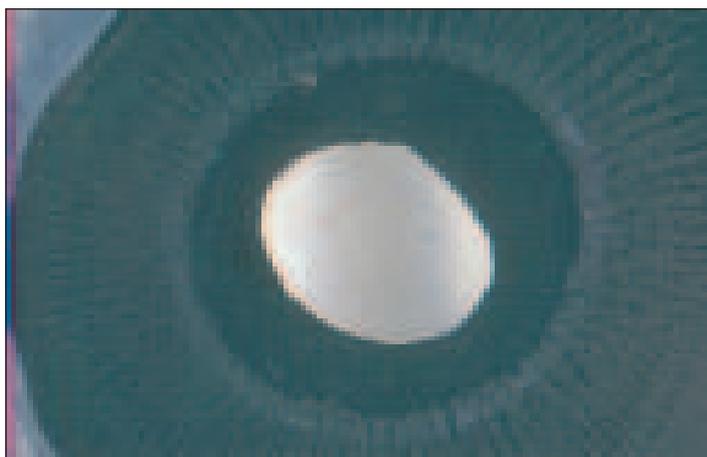
Typische Beispiele für die einzelnen Punkte zur Beurteilung des Scores sind in den Abbildungen 8 a-c dargestellt.



a. ohne Polierung: zirkulär massive Rindenreste sichtbar



b. nach manueller Polierung mittels Polierkanüle nach Simcoe: vereinzelte Rindenreste bei 2 – 5 Uhr erkennbar



c. nach Politur mit dem Water jet: keine Rindenreste sichtbar

Abb. 8 a-c: Miyake/Apple-Biomikroskopische-Perspektive von Schweineaugen nach Phakoemulsifikation und Absaugung der Rindenreste (3fache Vergrößerung)

3.7 Lichtmikroskopische Untersuchungen

3.7.1 Materialgewinnung für die Lichtmikroskopie

Für die Anfertigung histologischer Schnitte zur lichtmikroskopischen Beurteilung mußte der Kapselsack vom Vorderabschnitt isoliert werden. Dies gestaltete sich am nativen Präparat schwierig und erfolgte deshalb nach Formalinfixierung [16,18]. An den so fixierten Vorderabschnittspräparaten wurden die Zonulafasern mittels einer feinen Vannasschere durchtrennt.

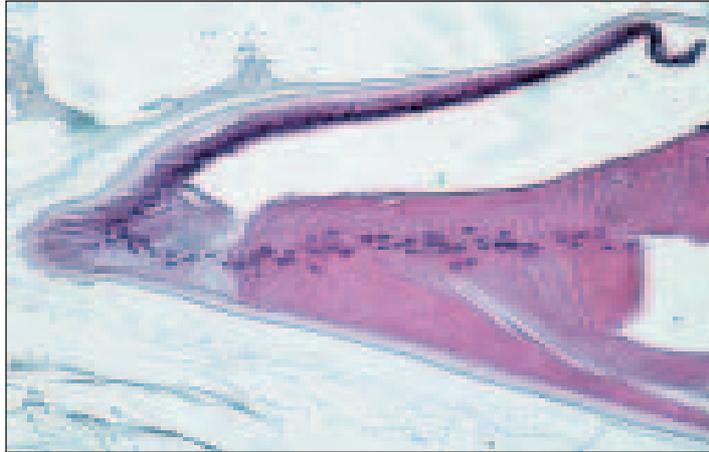
Danach konnte der Kapselsack vorsichtig entnommen werden. Dabei war ein Einreißen der hochvulnerable Struktur des isolierten Kapselsackes nicht in jedem Fall vermeidbar, so daß die doppelte Anzahl von Präparationen notwendig war, um die angestrebte Zahl von 10 bewertbaren Sackpräparaten pro Serie zu gewinnen.

3.7.2 Fixation und Vorbereitung für die Lichtmikroskopie

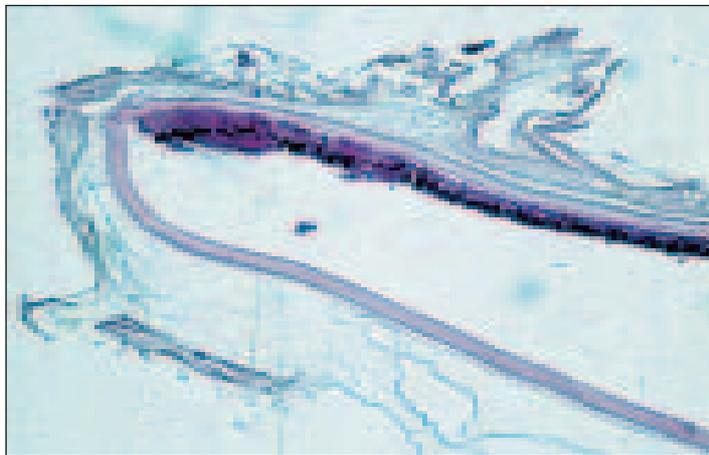
Der Paraffinblock mit dem Kapselsackpräparat wurde jeweils so geschnitten, daß im Bereich des maximalen Kapselsackdurchmessers 3 Schnitte resultierten, was die Beurteilung der beiden gegenüberliegenden Äquatorregionen ermöglichte. Somit konnten in diesen Fällen insgesamt 6 Schnitte der Kapselsackäquatorbucht pro Kapselsack eingeschätzt werden. Dabei erfolgte die Wahl für die Schnitte nach dem Zufallsprinzip.

Tab. 3: Score zur lichtmikroskopischen Beurteilung der Präparate

Kriterien	Punktwert	Beispiel
Rindenreste und Epithelreste im untersuchten Äquatorbereich des Kapselsackes sichtbar	2	Abb. 9a
Epithelreste im untersuchten Äquatorbereich des Kapselsackes sichtbar	1	Abb. 9b
Weder Rindenreste noch Epithelreste im untersuchten Äquatorbereich des Kapselsackes sichtbar	0	Abb. 8c



a. nach Phakoemulsifikation und Rindenabsaugung: Linsenepithelzellen und massive Rindenreste imponieren



b. nach Polierung mittels Polierkanüle: Linsenepithelzellen und Rindenreste erkennbar



c. nach Politur mit dem Waterjet: weder Linsenepithelzellen noch Rindenreste sichtbar

Abb. 9 a-c: Histologischer Schnitt der Äquatorregion eines Kapselsackes (HE-Färbung, 100fache Vergrößerung)

3.7.3 Einschätzung der lichtmikroskopischen Objekte und Bewertung

Zur semiquantitativen Einschätzung der histologischen Präparate wurde ein Score festgelegt, der je nach Verbleib von Rindenresten und Epithelzellen eine maximale Punktzahl von 2 zuließ und damit der Qualität der Kapselsackpolitur Rechnung trug (Tab. 3 und Anlage 7, 8, 9). Typische Beispiele für die einzelnen Kriterien sind in den Abbildungen 9 a-c dargestellt.

3.8 Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen der Linsenkapsel

3.8.1 Materialgewinnung für die Rasterelektronenmikroskopie (REM)

Die gemäß Abschnitt 3.4 gewonnenen Vorderabschnitte des Auges wurden 24 h in 3% Glutaraldehyd in Phosphatpuffer nach SÖRENSEN (pH 7,4) vorfixiert. Anschließend wurde der Kapselsack freipräpariert (Vgl. 3.7.1), wobei mit einer Schere die Zonulafasern unter dem Mikroskop durchschnitten wurden [33].

Das Präparat bestand nun aus einem zirkulär geschlossenen, reifenförmigen Gebilde, welches lediglich die durch die Kapsulorhexis entstandene Öffnung an der Vorderfläche des Kapselsackes aufwies. Aus diesem Präparat wurden mit einer Schere Segmente in der Ausdehnung eines Quadranten aus dem Kapselsack herausgeschnitten. Vorversuche hatten gezeigt, daß der Kapselsack während der Probenpräparation schrumpft und sich zusammenrollt. Daher wurden diese Segmente mit Hilfe von sehr feinen Nadeln auf Korkstücken befestigt. In diese Korkblöcke waren vorher Vertiefungen in einem Winkel von 45° geschnitten worden. Dadurch war es möglich, den Kapselsackäquator so aufzuspannen, daß er nach der Probenpräparation der rasterelektronenmikroskopischen Untersuchung zugänglich wurde.

3.8.2 Probenpräparation für die Rasterelektronenmikroskopie

Eine biologische Probe, die rasterelektronenmikroskopisch untersucht werden soll, muß folgende Eigenschaften aufweisen [16, 86, 87, 91]:

- sie muß frei von Wasser sein,
- sie muß frei von störenden Auflagerungen sein,
- sie muß hochvakuumbeständig sein,
- sie darf sich nicht bei einem Beschuß mit Elektronen verändern.

Um diese Anforderungen zu erfüllen, wurden die Proben in der vorliegenden Studie mit der im folgenden beschriebenen Methode fixiert, entwässert, getrocknet und leitfähig gemacht :

Die auf Korkstücke aufgespannten Präparate wurden 2 h in 3% Glutaraldehyd (FLUKA, Deisenhofen) in 0,1 M Cacodylatpuffer (pH 7,4) mit 1 mM CaCl_2 und mit 1 mM MgCl_2 fixiert. Anschließend wurde das nicht gebundenen Glutaraldehyd durch 4 x 15 minütiges Waschen mit Waschpuffer (0,1 M Cacodylatpuffer, pH 7,4 mit 1 mM CaCl_2) herausgewaschen. Die Proben wurden dann abgedunkelt 2 h in Osmiumtetroxid 2% in Waschpuffer bei Raumtemperatur nachfixiert (MERCK®, Darmstadt).

Nach Auswaschen des überschüssigen Osmiumtetroxids in Aqua bidest (4 x 2,5 min, 2 x 10 min) erfolgte eine stufenweise Entwässerung in Ethanol (je 15 min in 20, 40 und 60% Ethanol bei Raumtemperatur, in 70% Ethanol über Nacht bei 4°C, dann wieder bei Raumtemperatur je 15 min in 80, 90 und 96% und 3 x in 100%igem Ethanol).

Die Präparate wurden dann über Ethanol : Essigsäure-isoamylacetat Mischungen (3:1, 1:1, 1:3, je 15 min) in reines Essigsäure-isoamylacetat (MERCK, Darmstadt) überführt (3 x 20 min) und mit Hilfe der Kritischen Punkttrocknung in einer Polaron CPD7501-Apparatur (VG Microtech, East Sussex, U.K.) unter Verwendung von CO_2 getrocknet. Nach 12 Austauschvorgängen mit flüssigem CO_2 wurde in der verschlossenen Probenkammer die Temperatur auf 38°C erhöht, wobei das CO_2 in den gasförmigen Aggregatzustand überging.

Die trockenen Präparate wurden im Exsikkator unter Vakuum aufbewahrt, auf Aluminiumobjektträger aufgeklebt und in einem Sputter coater Polaron SC7640 (VG Microtech, East Sussex, U.K.) bei 1 kV und 13 mA durch Aufspüttern von Gold leitfähig gemacht (Schichtdicke ca. 5 nm). Die Beurteilung erfolgte mit dem Rasterelektronenmikroskop ZEISS DSM 940 bei einer Beschleunigungsspannung von 10 kV.

3.8.3 Bewertung der rasterelektronenmikroskopischen Präparate

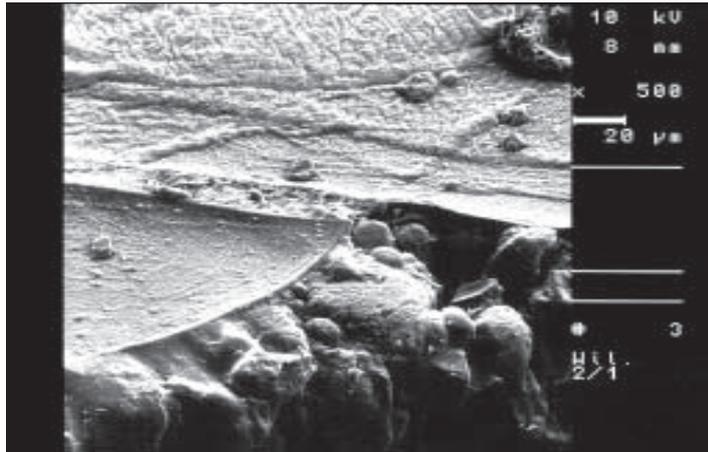
In Anlehnung an die biomikroskopischen und lichtmikroskopischen Untersuchungen wurde ein Score erstellt, um die Präparate rasterelektronenmikroskopisch zu beurteilen und semiquantitativ einzuschätzen (vgl. 3.6.2 u. 3.7.3). Dabei wurden analog zu den lichtmikroskopischen Untersuchungen maximal 2 Punkte bei verbliebenen Rindenmassen und Epithelresten in der Äquatorregion vergeben (Tab. 4 und Anlage 10, 11, 12).

Tab. 3: Score zur lichtmikroskopischen Beurteilung der Präparate

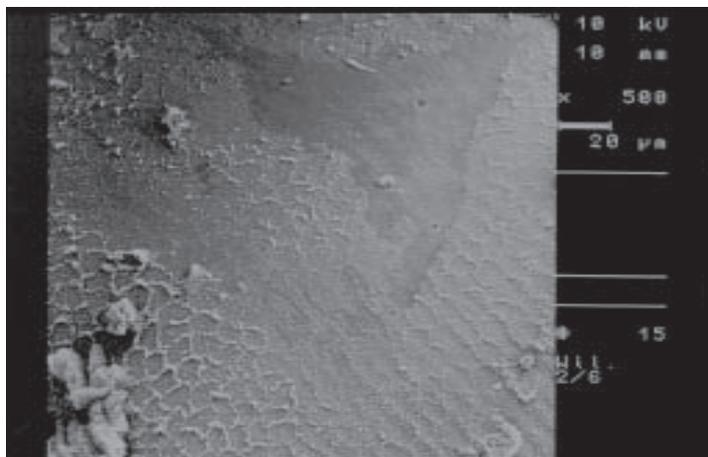
Kriterien	Punktwert	Beispiel
Rindenreste und Epithelreste im Äquatorbereich des Kapselsackes rasterelektronenmikroskopisch sichtbar	2	Abb. 10a
Epithelreste im Äquatorbereich des Kapselsackes rasterelektronenmikroskopisch sichtbar	1	Abb. 10b
Weder Rindenreste noch Epithelreste im Äquatorbereich des Kapselsackes rasterelektronenmikroskopisch sichtbar	0	Abb. 10c

3.9 Statistische Auswertung

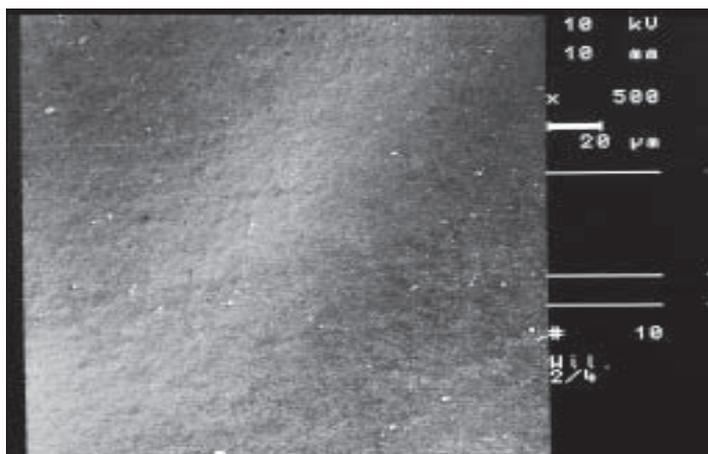
Die nach den verschiedenen Prozeduren (ohne Polierung, manuelle Polierung, Water jet Polierung) verbliebenen Linsenepithelien bzw. Rindenreste wurden anhand des vorher definierten Scores mit 0 bis 2 Punkten bewertet. Die statistische Signifikanz der sich aus diesen Parametern ergebenden Summenscores pro Auge zwischen den einzelnen Behandlungsverfahren wurden mit dem SPSS-Programm berechnet (Anlage 13, 14 und 15) [94]. Die biomikroskopischen und lichtmikroskopischen Ergebnisse wurden durch Varianzanalyse und multiplen Vergleich (Anlage 13, 14) und die rasterelektronenmikroskopischen Ergebnisse mittels Chi-Quadrat-Test (Exakter Test nach Fisher) statistisch verglichen (Anlage 15) [106].



a. ohne Polierung: deutlich sichtbare verbliebene Rindenreste



b. nach manueller Polierung: deutlich sichtbare verbliebene Epithelzellen



c. nach Polierung mit dem Water jet: keinerlei Epithelzellen oder Rindenmaterial sichtbar

Abb. 10a-c: REM-Aufnahme der Äquatorregion eines Kapselsackes (Schweineauge, 500fache Vergrößerung)

4 Ergebnisse

4.1 Biomikroskopie

Bereits bei der Vorbereitung der separierten Kapseln zeigte sich biomikroskopisch, daß bei den nicht polierten Kapseln und bei den manuell polierten Kapseln im Gegensatz zu den Präparaten, die nach Polierung mit dem Water jet gewonnen wurden, auf der Hinterkapsel, aber insbesondere in der Äquatorregion, vermehrt amorphe Linsenmassen verblieben waren. Anhand des Scores für die Einschätzung der verbliebenen Rindenreste (Abschnitt 3.6.2, Tab. 2) konnten die einzelnen Gruppen verglichen werden.

Tab. 5: Bewertung der biomikroskopischen Präparate

Gruppe	Ohne Polieren I	Manuelle Politur II	Water jet Politur III
Σ Uhrzeiten mit Punktwert 0	3	36	90
Σ Uhrzeiten mit Punktwert 1	22	44	23
Σ Uhrzeiten mit Punktwert 2	95	40	7
Σ Uhrzeiten (n)	120	120	120

Die Tabelle 5 zeigt die Summe der Uhrzeiten entsprechend dem Score. Es wurden die 12 Uhrzeiten für jedes der 10 Augen pro Gruppe zusammengefaßt. Die Angaben für die einzelnen Präparate sind den Anlagen 4, 5 und 6 zu entnehmen.

Zum übersichtlichen Vergleich erfolgte die graphische Darstellung in einem Diagramm (Abb. 11). Dabei ist deutlich zu erkennen, daß in der Gruppe I (ohne Polierung) kaum Rindenreste entfernt wurden, in der Gruppe II (manuelle Polierung) Rindenreste zum Teil entfernt werden konnten und in der Gruppe III (Water jet Polierung) sowohl Epithelzellen als auch Rindenreste nahezu vollständig entfernt wurden.

Es konnten Unterschiede zwischen den 3 Gruppen festgestellt werden. Der multiple Vergleich (TUKEY) konnte die statistische Signifikanz dieser Unterschiede ebenfalls bestätigen. Sie beträgt $p=0,001$ für Gruppe I und II, $p < 0,001$ für die Gruppen I und III und $p=0,001$ für die Gruppen II und III (Anlage 13) [94].

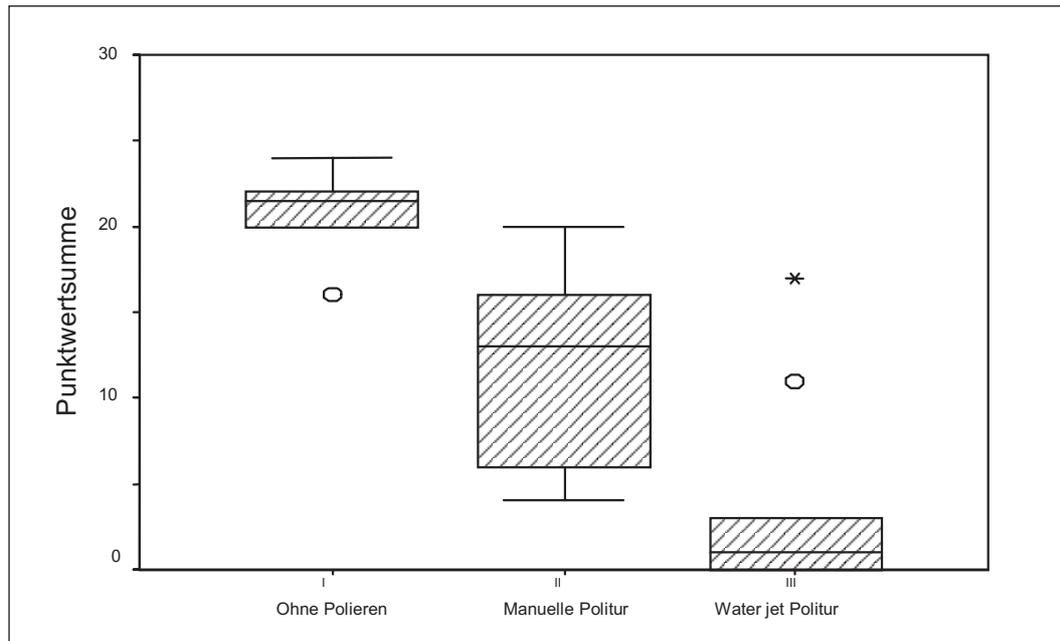


Abb.11: Biomikroskopischer Vergleich der durchschnittlichen Punktwertsumme je Kapselsack (12 Uhrzeiten, maximal 24 Punkte je Kapselsack) in den Gruppen I, II und III je 10 Augen

4.2 Lichtmikroskopie

Mit Hilfe des Lichtmikroskopes ließen sich in der Gruppe IV ohne Polierung auf fast allen Kapseln Rindenreste und Epithelzellen (Abb. 9a) in der Äquatorgegend nachweisen. In der Gruppe V (nach manueller Polierung) ließen sich wenig Rindenreste,

Tab. 6: Bewertung der lichtmikroskopischen Untersuchung von je 6 Äquatorbuchten (ÄR = Äquatorregion) bei 10 Augen je Gruppe

Gruppe	Ohne Polieren IV	Manuelle Politur V	Water jet Politur VI
Σ ÄR mit Punktwert 0	3	10	50
Σ ÄR mit Punktwert 1	4	15	9
Σ ÄR mit Punktwert 2	53	35	1
Σ ÄR (n)	60	60	60

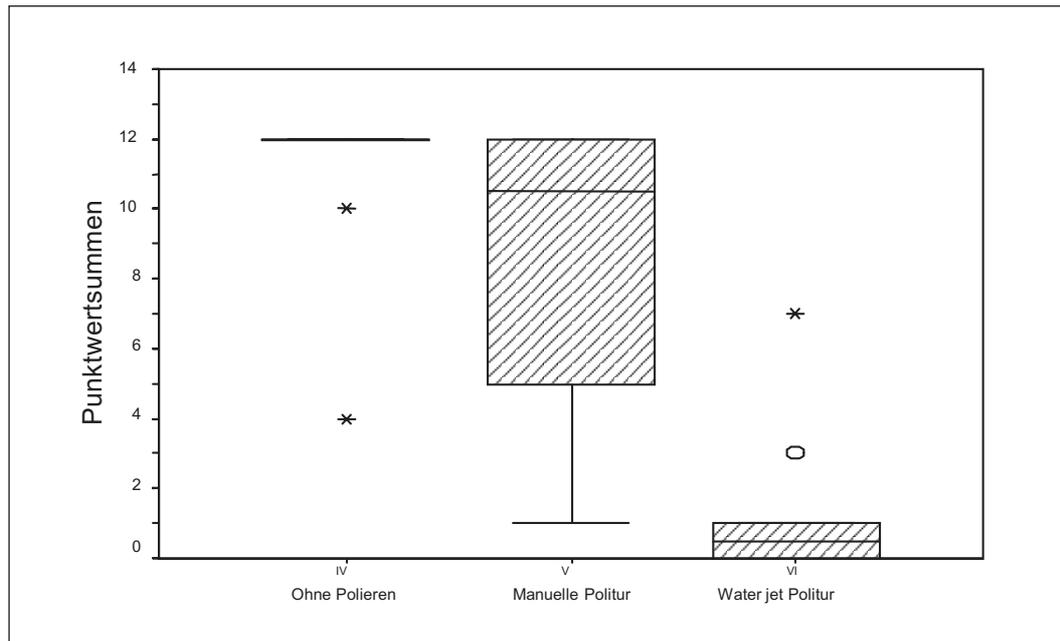


Abb.12: Vergleich der Anteile für die Punktwertsummen in den verschiedenen Gruppen anhand der lichtmikroskopischen Untersuchungen (IV ohne Polierung, V nach manueller Polierung und VI nach Water jet Polierung, jeweils 6 Äquatorregionen für 10 Schweineaugen, n=60)

aber viele Epithelzellen darstellen (Abb. 9b). Mit dem Wasserstrahl (Gruppe VII) gelang es hingegen in den meisten Fällen, die Äquatorregion vollständig zell- bzw. rindenrestfrei zu polieren (Abb. 9c). In der Tab. 6 sind die Ergebnisse der lichtmikroskopischen Untersuchungen zusammengefaßt.

Anhand der Punktwerte (Tab. 3) für die Bewertung der Äquatorregion wurde das Diagramm in Abb. 12 erstellt. Es zeigt, daß die Äquatorregionen in der Gruppe VI besser gesäubert wurden als in den Gruppen IV und V. Die Unterschiede zwischen den drei Gruppen sind deutlich zu erkennen und statistisch signifikant ($p < 0,001$), was varianzanalytisch bestätigt werden konnte. Mit dem Mehrfachvergleich (TUKEY) konnte ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen festgestellt werden ($p = 0,180$) aber für die Gruppe IV und V, keinen signifikanten Unterschied $p < 0,001$ für die Gruppe IV und VI, sowie $p < 0,001$ für die Gruppe V und VI (Anlage 14) [94, 106].

4.3 Rasterelektronenmikroskopie

Mit der Rasterelektronenmikroskopie konnten die Ergebnisse der Untersuchungen mittels Biomikroskopie und Lichtmikroskopie bestätigt werden, wie dies im Säulendiagramm der Abb. 13 zu erkennen ist. Dabei zeigten die Äquatorregionen nach Einsatz des Wasserstrahls deutlich weniger verbliebene Rindenreste und Epithelzellen als nach Ultraschallphako- und manueller Kapselpolierung (Abb.10 a-c). Ohne Polierung waren massive Rindenreste nachweisbar, nach manueller Polierung wenig Rindenreste und viel Epithelzellen. Die Tab. 7 stellt die Ergebnisse der REM-Untersuchungen dar. Durch den exakten Test nach Fisher konnte eine borderline Signifikanz ($p = 0,054$) der Unterschiede zwischen den Gruppe festgestellt werden (Anlage 15), wobei die Zahl der untersuchten Objekte wesentlich kleiner war ($n = 15$).

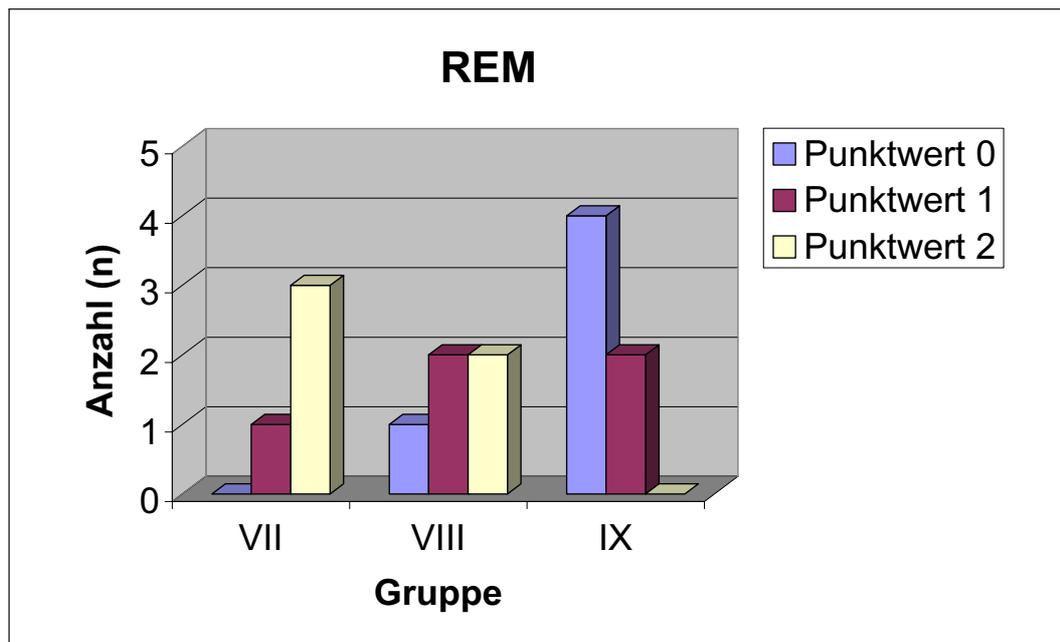


Abb.13: Rasterelektronenmikroskopischer Vergleich der Anteile der einzelnen Punktwerte in den verschiedenen Gruppen (ohne Polierung = VII, nach manueller Polierung = VIII und nach Water jet Polierung = IX) , 5 Kapselhälften von 5 Schweineaugen je Gruppe (n=15)

Tab. 7: Bewertung der Ergebnisse nach REM-Untersuchung der Äquatorregion (ÄR) von 15 Schweineaugen

Gruppe	Ohne Polieren VII	Manuelle Politur VIII	Water jet Politur IX
Σ ÄR mit Punktwert 0	0	1	3
Σ ÄR mit Punktwert 1	1	2	2
Σ ÄR mit Punktwert 2	4	2	0
Σ ÄR (n)	5	5	5

5 Diskussion

5.1 Methodenkritische Bemerkungen

Für diese in vivo durchgeführte Studie darf die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf den Menschen nur mit Einschränkungen erfolgen. Das Schweineauge wird oft als Modell in der Kataraktchirurgie eingesetzt, denn es ist anatomisch dem menschlichen Auge sehr ähnlich und daher für Voruntersuchungen sehr geeignet. Die Operationstechnik muß dabei kaum modifiziert werden.

Man geht heute davon aus, daß sich der Nachstar zum Teil aus den verbliebenen Epithelzellen der Vorderkapsel entwickelt. Mitunter verkleben der Vorderkapselrest mit der Hinterkapsel, weshalb einige Autoren eine große Kapsulorhexis oder eine primäre hintere Kapsulorhexis empfehlen, um die Nachstarrate zu verringern. Die Gefahren einer Linsenluxation und eines Glaskörperprolapses limitieren allerdings die Anwendung dieser Methoden [30].

Der Nachstar entsteht aber auch durch Wanderung der Epithelien aus der Äquatorregion auf die Hinterkapsel, deshalb besteht die Nachstarprophylaxe, wie schon erwähnt, in der Abrasio der Epithelzellen mit Polierkanüle [83], mit einem scharfen Strahl [65, 89], in der Anwendung von Antimetaboliten [38, 43] oder durch Spül- und Absaugsysteme [55, 75].

In der vorliegenden Arbeit wurde versucht, die Epithelien und Rindenreste mit dem Wasserstrahl zu entfernen [119, 120, 121]. Dies gelang zum Teil sehr gut (vgl. Abschnitt 4). Eine vollständige Entfernung der Epithelien, wie sie hier erreicht wurde, birgt möglicherweise die Gefahr der Kapselsackschrumpfung, denn es könnte möglich sein, daß die Epithelzellen normalerweise in gewissem Umfang die Ernährung der Hinterkapsel übernehmen. Aus diesem Grund sollten die Ergebnisse dieser Arbeit noch an lebenden Tieren überprüft werden.

5.2 Kritische Einschätzung der Ergebnisse im Vergleich mit der Literatur

Die Kapselpolitur mittels Polierkanüle bzw. Rensch-Kürette erniedrigt zwar geringfügig die Nachstarrate, aber die fest auf der Linsenkapsel haftenden Linsenepithelzellen lassen sich oftmals in der nicht gut einsehbaren Äquatorregion der Kapsel auf mechanischem Weg mit Hilfe der Polierkanüle und der Kürette nur unvollständig entfernen. Hinzu kommt die Gefahr einer Hinterkapselruptur, besonders bei nicht geübten Operateuren. Der Einsatz des Wasserstrahls, ähnlich einem Sandstrahlgebläse, säubert die Linsenkapsel von hartnäckigen Restepithelien und Rindenfasern.

Der Einsatz antimetabolisch wirkender Substanzen zur Nachstarprophylaxe wird durch mangelnde Selektivität und die damit verbundene Toxizität für intraokuläre Strukturen (Hornhautendothel, Retina und Iris) limitiert [35, 74, 105]. Bei Einsatz des Water jets könnte das möglicherweise vermieden werden. Hierzu sind gezielte Untersuchungen geplant.

Zur Nachstarprophylaxe entwickelte man verschiedene IOL-Typen, die sich in Material [100, 103, 102], Design, Dimension und Haptikkonstellation unterscheiden [51, 96, 110]. Zur Verhinderung von Adhäsionen werden IOL mit Proteinen beschichtet [25, 38]. Durch eine feste Verbindung zwischen IOL und Hinterkapsel gelingt es teilweise, die Migration von Epithelzellen der Vorderkapsel und der Äquatorregion auf die Hinterkapsel zu verhindern und damit eine Minimierung der Nachstarrate zu erreichen [3, 4, 109]. Diese Methode wird kontrovers diskutiert. Einige Studien berichten über Erfolge und einige über Mißerfolge [17, 38]. Um das Problem der Epithelzellmigration gar nicht auftreten zu lassen, könnte eine Water jet-Polierung im Vorfeld geeigneter sein.

Sowohl die chirurgische hintere Kapsulotomie über die Pars plana als auch die YAG-Laser-Kapsulotomie werden bei der Behandlung des Nachstars angewendet [36, 51, 57]. Die Eröffnung der hinteren Kapsel ist wie jeder chirurgische Eingriff nicht nur mit einem gewissen Operationsrisiko, sondern auch mit zusätzlichen Kosten verbunden. Diese Methode wurde mit der Zeit optimiert, es besteht aber nach wie vor neben den Risiken eines jeden intraokularen Eingriffs (Infektionen, Blutungen) beispielsweise die Gefahr einer postoperativen Netzhautablösung, einer irreversiblen Hornhautdekomensation [24], einer revisionsbedürftigen Aderhautamotio, einer intraoperativen Hinterkapselruptur und einer IOL-Dislokation.

Die YAG-Laser-Kapsulotomie ist ein wirkungsvoller und komplikationsärmerer Eingriff als die chirurgische hintere Pars plana Kapsulotomie [122]. Neben den Kosten sollten jedoch die unerwünschten Nebenwirkungen nicht unberücksichtigt bleiben. In der Literatur wird von folgenden Nebenwirkungen berichtet: zystoides Makulaödem, Netzhautablösung, Erhöhung des intraokulären Druckes, Zerstörung und Dezentralisierung oder IOL, Hornhautendotheldefekte, intraokulärer Temperaturanstieg [113], Kammerwasser-Glaskörper- und Blut-Kammerwasser-Barrierestörung [76].

Der Einsatz des Ultraschalls in der Nachstarprophylaxe wurde beschrieben. Die Erfolge dieser Methode hängen von einer direkten Berührung des Ultraschalls mit der Hinterkapsel ab. Die Ultraschallenergie ist nicht immer ungefährlich. So wird eine Schädigung des Auges durch Ultraschallenergie diskutiert [15, 105, 123]. Folgende Komplikationen werden in der Literatur erwähnt: HH-Endotheldefekt, HH-Ödem, Glas-

körperverlust, zystoides Makulaödem, Netzhautablösung, intraokulare Druckerhöhung, Hinterkapselruptur, Zonularisse und suprachoroidale Hämorrhagien [104].

5.3 Schlußfolgerungen und Ausblick

Durch strahlförmiges Spülen werden nicht einsehbare Linsenreste aus dem peripheren Kapselsack mobilisiert und anschließend abgesaugt. Dadurch werden diese peripher verbliebenen und zu Proliferation bzw. zu Metaplasie neigenden Linsenepithelien entfernt. Solche nicht sichtbaren Epithelreste führen sonst durch ihr postoperatives Wachstum zur erneuten Sehverschlechterung. Jeder dadurch notwendig werdende Eingriff bedeutet neben der Belastung für den Patienten auch und gerade in diesen Fällen die Gefahr von Komplikationen und das Auftreten zusätzlicher Kosten.

Die Ergebnisse deuten an, daß die Anwendung des Water jets zur Nachstarprophylaxe eine weitere Verbesserung der Operationsergebnisse bzw. eine Erniedrigung der Nachstarrate bringen könnte und ermutigen zu weiteren Untersuchungen, um diese Technik am menschlichen Auge einsetzen zu können

Um die Anwendung des Wasserstrahls zur Kapselpolitur zu optimieren, sind weitere Versuche in vivo sowie eine Anpassung an diesen Einsatzbereich notwendig. Insgesamt erscheint uns jedoch der Einsatz des Wasserstrahlskalpells als probate Methode, um die Entstehung des Nachstars zu vermeiden. Weitere Experimente müssen die Wirksamkeit dieser vielversprechenden Methode zunächst jedoch auch an humanen Kapseln nachweisen.

6 Zusammenfassung

Die Kataraktchirurgie hat mit der Phakoemulsifikationstechnik heute einen sehr hohen Standard erreicht. Trotzdem gibt es noch ungelöste Probleme. Die häufigste postoperative Komplikation einer Kataraktoperation ist der Nachstar. Auf der Suche nach Lösungen für dieses Problem stießen wir auf das Wasserstrahlskalpell, ein Verfahren, das in anderen Fachrichtungen, insbesondere der Leberchirurgie, bereits eingesetzt wird.

Es war Aufgabe der Arbeit festzustellen, ob der Einsatz des Wasserstrahlskappells bei der Kapselpolierung eine Möglichkeit bietet, eine Verbesserung der Operationsergebnisse zu erreichen.

An enukleierten Schweineaugen wurden durch Wasserstrahl und mittels herkömmlicher Technik eine Kapselpolitur durchgeführt. Anschließend wurden die Linsenkapseln biomikroskopisch, lichtmikroskopisch und rasterelektronenmikroskopisch untersucht und die Ergebnisse miteinander verglichen.

Die Kapseln zeigten nach Einsatz des Wasserstrahls insbesondere in der Äquatorgegend deutlich weniger verbliebene Epithelzellen und Rindenreste als nach Ultraschallphako- und manueller Kapselpolierung. Durch gut dosierbares und kontrollierbares strahlförmiges Spülen konnte eine sorgfältigere Entfernung der Linsenepithelien und Rindenreste erreicht werden.

Am Schweineauge konnte gezeigt werden, daß mit dem Water jet eine gründliche Politur des gesamten Kapselsackes möglich ist (Abb. 8-10). In welchem Maße sich diese Resultate auf den Menschen übertragen lassen, bleibt abzuwarten.

7 Literaturverzeichnis

1. Alldredge CD, Elkins B, Alldredge CO: Retinal detachment following phacoemulsification in highly myopic cataract patient. *J Cataract Refract Surg* 24 (1998) 777-780
2. Alzner E, Grabner G: Dodick laser phacolysis: Thermal effect. *J Cataract Refract Surg* 25 (1999) 800-803
3. Artaria LG, Ziliotti F, Ziliotti-Mandelli A: Langzeitergebnisse nach Implantation faltbarer Silikon-Hinterkammerlinsen. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 204 (1994) 268-270
4. Auer C, Gonvers M: Implant intraoculaire monobloc en silicone et fibrose de la capsule antérieure. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 206 (1995) 293-295
5. Auffarth GU, Anatkov S, Schmidt B, Nimsgern C, Tezt MR: Morphologische Analyse der Nachstarentwicklung nach Kataraktoperation und Einfluß des Fixationsverhaltens. In: Duncker G, Ohrloff C, Wilhelm F (Hrsg): 12. Kongreß der DGII. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1999, S. 298-302
6. Auffarth GU, Appel DJ, Peng Q, Visessook N, Gomez ME, Pandey SK: Faktoren zur Lösung der Nachstarproblematik. In Kohnen T, Ohrloff C, Wenzel M (Hrsg): 13. Kongreß der DGII. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 2000, S. 293-299
7. Auffarth GU, Apple DJ: Einfluß von Intraokularlinsendesign und operativen Techniken auf die Nachstarentwicklung. In: Ohrloff C, Kohnen T, Duncker G (Hrsg): 11. Kongreß der DGII. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1998, S. 241-247
8. Auffarth GU, Beischel CJ, Wesendhal TA, Apple DJ: Soemmerring-Ring Bildung nach Kataraktoperation und HKL-Implantation in menschlichen Autopsieaugen. In: Rochels R, Duncker G, Hartmann C (Hrsg): 9. Kongreß der DGII. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1996, S. 408-413
9. Auffrath GU, Nimsgern C, Tetz MR, Krastel H, Völker HE: Erhöhte Nachstarrate und Besonderheiten der Nd:YAG-Laserkapsulotomie bei Retinitis pigmentosa. *Ophthalmologie* 94 (1997) 791-795
10. Baer HU, Metzger A, Barras JP, Mettler D, Wheatley AM, Czerniak A: Laparoscopic liver resection in the large white pig. A comparison between waterjet

- dissector and ultrasound dissector. *Endosc-Surg-Allied-Technol* 2(3-4) (1994) 189-193
11. Banek-Himpler MK: Die Auswirkungen von Pulverstrahlgeräten zur Zahnreinigung auf die Oberfläche von Zahnschmelz und Gingiva. Eine klinisch- experimentelle Untersuchung am Beispiel des Pulverstrahlgerätes Air-Flow der Firma EMS. Med. Diss., Aachen, 1987
 12. Barraquer J: Totale Linsenextraktion nach Auflösung der Zonula durch alpha-Chimotrypsin enzymatische Zonulyse. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 133 (1958) 609-611
 13. Beck R, zur Linde B, Stave J, Werner C, Nitschke M, Guthoff R: In-vitro-Kapselsackmodel zur Testung des Einflusses des Linsendesigns auf die Entstehung einer posterioren Kapsel fibrose – eine In-vitro-Studie. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 205 (2001) 111-115
 14. Bernbach G, Mayer U, Naumann GOH: Human lens epithelial cells in tissue culture. *Exp Eye Res* 52 (1991) 113-119
 15. Bissen-Miyajima H, Shimmura S, Tsubota K: Thermal effect on corneal incisions with different phacoemulsification ultrasonic tips. *J Cataract Refract Surg* 25 (1999) 60-64
 16. Bleckmann H, Khodadadyan C, Schnoy N: Licht- und Elektronenmikroskopie der humanen anterioren Kapsel. *Fortschr Ophthalmol* 86 (1989) 556-560
 17. Bühler C, Löw M, Mestler U: Intraindividuellem Langzeitvergleich der Nachstarrate nach HSM- versus PMMA-IOL- Implantation. In: Kohnen T, Ohrloff C, Wenzel M (Hrsg): 13. Kongreß der DGII. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 2000, S. 315-320
 18. Burck HC: Histologische Technik. Leitfaden für die Herstellung mikroskopischer Präparate in Unterricht und Praxis. 6. unver. Aufl., Thieme, Stuttgart, New York, 1988, S. 67-69
 19. Byrdwell WC, Borchman D: Liquid chromatography / mass-spectrometric characterization of sphingomyelin and dihydrosphingomyelin of human lens membranes. *Ophthalmic Res* 29 (1997) 191-206
 20. Cabernard E, Niesel P: Nachstarinzidenz bei verschiedenen Typen faltbarer Silikonlinsen. In: Duncker G, Ohrloff C, Wilhelm F (Hrsg): 12. Kongreß der DGII. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1999, S. 187-191

21. Daviel J: Une nouvelle méthode de guérir la cataracte par l'extraction du cristallin. *Mém Acad R Chir* 2 (1753) 337-340
22. De La Faye G: Mémoire pour servir à perfectionner la nouvelle méthode de faire l'opération de la cataract. *Mém Acad R Chir* 2 (1753) 563-566
23. DeBry P, Olson JR, Crandall AS: Comparison of energy required for phaco-chop and divide and conquer phacoemulsification. *J Cataract Refract Surg* 24 (1988) 200-203
24. Díaz-Valle D, Benítez del Castillo Sánchez JM, Castilo A, Sayagués O, Moriche M: Endothelial damage with cataract surgery techniques. *J Cataract Refract Surg* 24 (1988) 951-955
25. Dick B, Greiner K, Magdowski G, Pfeiffer N: Langzeitstabilität der Heparinbeschichtung von PMMA-Intraokularlinsen. Ergebnisse einer In-vitro-Studie. *Ophthalmol* 94 (1997) 920-924
26. Eschnig A: Klinisch-anatomischer Beitrag zur Kenntnis des Nachstars. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 49 (1911) 444-451
27. Etzrodt D, Behrend D, Rybka M, Beck R, Guthoff R: Nachweis von extrazellulärer Matrix auf PMMA und Silikonlinsen durch proliferierende menschliche Linsenepithelzellen. In: Duncker G, Ohrloff C, Wilhelm F (Hrsg): 12. Kongreß der DGII. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1999, S. 206-209
28. Fagerholm PP, Philipson BT: Human lens epithelium in normal and cataractous lenses. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 21 (1981) 408-414
29. Fechner PU, Alpar JJ: *Intraokularlinsen Grundlagen und Operationslehre*. 2. Aufl., Enke, Stuttgart, 1984
30. Findl O, Amon M: Anterior capsulotomy created bei radiofrequency endodiatomy and continuous curvilinear posterior capsulorhexis in a patient with intumescent cataract and primary capsular fibrosis. *J Cataract Refract Surg* 24 (1998) 870-871
31. François J, Troncoso V: Histology of the Epithelium of the Normal and Cataractous Lens. *Ophthalmologica (Basel)* 177 (1978) 168-174
32. Frohn A, Thiel HJ: Eine In-vivo-Methode für die meßtechnische Untersuchung der Nachstarmembran. In: Ohrloff C, Kohnen T, Duncker G (Hrsg): 11. Kongreß der DGII. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1998, S. 366-370
33. Hanschke R, Schauer F: Improved ultrastructural preservation of yeast cells for scanning electron microscopy. *J of Microscopy* 184 (1996) 234-239

34. Haß C, Kohlmann H, Lommatzsch PK: Morphologische Veränderungen des Linsenepithels bei Patienten mit altersbedingter Katarakt, Strahlen- und Steroidkatarakt und Katarakt nach Contusiobulbi. *Ophthalmologie* 92 (1995) 741-744
35. Haus CM, Galand AL: Mitomycin against posterior capsular opacification: an experimental study in rabbits. *Br J Ophthalmol* 80 (1996) 1087-1091
36. Hennekes R, Adank T: Nd-YAG-Kapsulotomie bei Kapselsackimplantierten Linsen. In: Rochels R, Duncker G, Hartmann C (Hrsg): 9. Kongreß der DGII. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1996, S.430-434
37. Hepsen IF, Bayramlar H, Gultek A, Ozen S, Tilgen F, Evreklioglu C: Caffeic acid phenethyl ester to inhibit posterior capsule opacification in rabbits. *J Cataract Refract Surg* 23 (1997) 1572-1576
38. Hesse L, Bienert H, Richter H, Mittermayer C: Proteinbeschichtung von Intraokularlinsen zur Verminderung der Hinterkapselfibrose: eine tierexperimentelle Untersuchung. In: Ohrloff C, Kohnen T, Duncker G (Hrsg): 11. Kongreß der DGII. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1998, S. 250-254
39. Hettlich HJ, Wenzel M, Janssen M, Mittermayer C: Immunhistochemische Untersuchungen der menschlichen Linsenkapsel. *Fortschr Ophthalmol* 87 (1990) 147-149
40. Hettlich HJ: Cortex Peeling – ein Verfahren zur kontrollierten Entfernung von Rindenresten aus dem Kapselsack. In: Kohnent T, Ohrloff C, Wenzel M (Hrsg): 13. Kongreß der DGII. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 2000, S. 300-302
41. Hirschberg J: Geschichte der Augenheilkunde. Register-Band 15. Springer, Berlin, 1908, S.191
42. Hirschberg J: Einführung in die Augenheilkunde. Band II. Egelmann, Leipzig, 1901, S.159
43. Hollick EJ, Spalton DJ, Ursell PG, Pande MV, Barman S, Boyce J, Tilling K: The effect of polymethylmethacrylate, silicone and polyacrylic intraocula lenses on posterior capsular opacification in 3 years after Cataract Surgery. *Ophthalmology* 106 (1999) 875-880
44. Hubert J, Mourey E, Coissard A, Floquet J, Mangin P: Water-jet dissection in renal surgery: experimental study of a new device in the pig. *Urol Res* 24 (1996) 355-359

45. Jacob KHA: Der Starstich in Äthiopien: *Klin Monatsbl Augenheilkd* 162 (1973) 407-411
46. Janknecht P, Funk J: Die chirurgische Nachstarabsaugung. *Ophthalmologe* 89 (1992) 291-294
47. Janknecht P, Funk J: Erfolgsquote, Komplikationen und Rezidive der chirurgischen Nachstarabsaugung. In: Rochels R, Duncker G, Hartmann C (Hrsg): 9. Kongreß der DGII. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1996
48. Jousseaume AM, Kruse FE, Kaus M, Völker HE: Endogene Porphyrine zur photodynamischen Therapie des Nachstars in vitro. *Ophthalmologe* 94 (1997) 428-435
49. Kaduk WM, Stengel B, Pohl A, Nizze H, Gundlach K: Hydro-jet cutting a method for selective surgical dissection of nerve tissue. An experimental study on the sciatic nerve of rats. *J Craniomaxillofac* 27 (1999) 327-330
50. Kammann J, Dornbach G, Kreiner CF, Cosmar E: Kapsulotomie nach Silikon- und PMMA-Linsenimplantation: Ein intraindividueller Vergleich. In: Rochels R, Duncker C, Hartmann C (Hrsg): 9. Kongreß der DGII. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1996, S. 425-429
51. Kammann J, Dornbach G, Thiele H: Intraoperative Nachstarprävention – eine neue Methode. In: Kohnen T, Ohrloff C, Wenzel M (Hrsg): 13. Kongreß der DGII. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 2000, S. 307-310
52. Karim AKA, Jacob TJC, Thomson GM: The human anterior lens capsule: Cell density, Morphology and Mitotic Index in normal and cataractous lenses. *Exp Eye Res* 84 (1987) 865-874
53. Kato K, Kurosaka D, Bissen-Miyajima H, Negishi K, Hara E, Nagamoto T: Elschmig pearl formation along the posterior capsulotomy margin after neodymium: YAG capsulotomy. *J Cataract Refract Surg* 23 (1997) 854-857
54. Kelman C: Phacoemulsification and aspiration a new technic of cataract removal. A preliminary report. *Am J Ophthalmol* 64 (1967) 23-27
55. Klemen UM: Irrigation/Aspiration beim regenerativen Nachstar. In: Ohrloff C, Kohnen T, Duncker G (Hrsg): 11. Kongreß der DGII. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1998, S. 255-259
56. Knorz MC: Phakoemulsifikation und Intraokularlinsen-Implantation. Kaden, Heidelberg, 1995, S. 4-40

57. Kohnen T, Dick B, Jacobi KW: Auswirkungen von Mikroexplosionen des Nd:YAG-Lasers auf heparinbeschichtete PMMA-Intraokularlinsen. *Ophthalmologie* 92 (1995) 293-296
58. Krag S, Andreassen TT : Biomechanical Measurements of the Porcine Lens Capsule. *Exp Eye Res* 62 (1996) 253-260
59. Labus TJ, Pilarski R: Fluid jet technology for industrial applications. Proceedings of the Nontraditional Machining Conference. Society of Carbide & Tool Engineers, American Society for Metal, Metcut Research Associates, Abrasive Engineering Society, 1985
60. Langman J: Medizinische Embryologie. 8. Aufl., Thieme, Stuttgart, 1989, S. 55–60
61. Lindström RL: Water jets could perform phaco and microkeratome procedures. *Ocular Surgery News* 14 (1996) 1-3
62. Lipshitz L, Bass R, Loewenstein A: Cutting the cornea with a waterjet keratome. *J Refract Surg* 12 (1996) 184-186
63. Lius CS, Wormstone IM, Duncan G, Marcantonio JM, Webb SF, Davies PD: A study of human lens cell growth in vitro. A model for posterior capsule opacification. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 37 (1996) 906-914
64. Mathey CF, Kohnen TB, Ensikat HJ, Koch HR: Polishing methods for the lens capsule: Histology and scanning electron microscopy. *J Cataract Refract Surg* 20 (1994) S. 64-69
65. Menapace R, Findl O, Rainer G, Georgopoulos M, Vass C, Nishi O: Kapselknickringimplantation zur Nachstarverhütung – Prinzip, Technik, Studiendesign und Ergebnisse. In: Duncker G, Ohrloff C, Wilhelm F (Hrsg): 12. Kongreß der DGII. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1999, S. 181
66. Menapace RM: Nachstarprophylaxe – Welche Möglichkeiten gibt es? Was ist sinnvoll? Vortrag gehalten auf dem 13. Kongreß der Deutschen Ophthalmochirurgen – DOC –, Nürnberg 16.-18. Juni 2000
67. Milnd VP, Ursell PG, Spalton DJ, Heath G, Kundaiker S: High-resolution digital retroillumination imaging of the posterior lens capsule after cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 23 (1997) 1521-1527
68. Morgan JE, Ellingham RB, Young RD, Trmal GJ: The mechanical properties of the human lens capsule following capsulorhexis or radiofrequency diathermy capsulotomy. *Arch Ophthalmol* 114 (1996) 1110-1115

69. Münchow W: Geschichte der Augenheilkunde. Enke, Stuttgart, 1984, S. 100
70. Nagata T, Watanabe I: Optic sharp edge or convexity: comparison of effects on posterior capsular opacification. *Jpn J Ophthalmol* 40 (1996) 397-403
71. Naumann GOH: Pathologie der Auges II, 2. – 2. Aufl., Springer, Stuttgart, 1997, S. 855-859
72. Nishi O, Nakai Y, Mizumoto Y, Yamada Y: capsule opacification after refilling the capsule with an inflatable endocapsular balloon. *J Cataract Refract* 23 (1997) 1548-1555
73. Nishi O, Nishi K, Mano C, Ichihara M, Honda T, Saitoh I: Inhibition of migrating lens epithelial cell by blocking the adhesion molecule integrin: a preliminary report. *J Cataract Refract Surg* 23 (1997) 860-865
74. Nishi O, Nishi K, Morita T, Tada Y, Shirasawa E, Sakanishi K: Effect of intraocular sustained release of indomethacin on postoperative inflammation and posterior capsule opacification. *J Cataract Refract Surg* 22 (1996) 806-810
75. Novak J, Nozicka H, Gebhardt H, Quadri M: Aspiration des Linseneithels – eine Methode zur chirurgischen Prävention der Nachstarbildung. In: Kohnen T, Ohrloff C, Wenzel M (Hrsg): 13. Kongreß der DGII. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 2000, S. 303-306
76. Ohrloff C: Die Bedeutung der intakten Hinterkapsel für die Glaskörper-Komplikationen nach hinterer Kapsulotomie. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 205 (1994) 181-186
77. Omar EH, Vinay BA, Semyon P, Del Cerro M, James VA: Posterior capsule polishing with the neodymium: YLF picosecond laser: Model eye study. *J Cataract Refract Surg* 23 (1997) 1561-1571
78. Papachritou DN, Barters R: Ressection of liver with a water jet. *Br J Surg* 69 (1982) 93-94
79. Pau H, Novotny GEK: Zur Metaplasie von Linseneithelien in Fibroblasten. *Fortschr Ophthalmol* 82 (1985) 132-138
80. Penchev RD, Kjossev KT, Losanoff JE: Application of a new water jet apparatus in open hepatobiliary surgery: Hepatic resection, cholecystectomy, common bile duct lavage. *Int Surg* 82 (1997) 182-186
81. Piek J, Wille Ch, Warzok R, Gaab MR: Water jet dissection of the brain experimental and first clinical result. *J Neurosurg* 89 (1998) 861-864

82. Rau HG, Arnol H, Schildberg FW: Schneiden mit dem Wasserstrahl (Jet-Cutting) – eine Alternative zum Ultraschallaspirator. *Chirurg* 61(1990) 735-738
83. Rentsch FJ, Bauer W: Langzeitergebnisse nach Entfernung des Linseneithels bei der extrakapsulären Kataraktextraktion mit Phakoemulsifikation. In: Rochels R, Duncker G, Hartmann C (Hrsg): 9. Kongreß der DGII. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1996, S. 398-407
84. Reyer RW, Liou W, Pinkstaff C: Ultrastructure and glycoconjugate histochemistry of the lens capsule during lens regeneration from the iris in the new. *Exp Eye Res* 58 (1994) 315-329
85. Ries M, Tetz M, Lucas C, Stricker H, Völcker HE: Nachstarprävention durch ein Hinterkammerlinsengetragenes Wirkstoff-Freisetzungssystem. In: Rochels R, Duncker G, Hartmann C (Hrsg): 9. Kongreß der DGII. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1996, S.414- 419
86. Robinson DG, Ehlers U, Herken R, Herrmann B, Mayer F, Schümann FW: Präparationsmethodik in der Elektronenmikroskopie / Eine Einführung für Biologen und Mediziner. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1985, S. 46-52
87. Rosenbauer KA, Kegel BH: Rasterelektronenmikroskopische Technik. Thieme, Stuttgart, 1978, S. 225
88. Saber HR, Butler TJ, Gottrell DG: Resistance of the human posterior lens capsule and zonules to disruption. *J Cataract Refract Surg* 24 (1998) S. 536-542
89. Sachsenweger U: Wasserstrahl kontra Nachstar. Vortrag gehalten auf dem 13. Kongreß der Deutschen Ophthalmochirurgen – DOC –, Nürnberg 16.-18. Juni 2000
90. Saika S, Ohmi S, Tanaka S, Miyamoto T, Kawashima Y, Ohnishi Y, Kanagawa R, Yamanata A, Ooshima A: Cell proliferation on the outer anterior capsule surface after extracapsular lens extraction in rabbits. *J Cataract Refract Surg* 23 (1997) S. 1528-1531
91. Saika S, Ohmi S, Tanaka S, Ohnishi Y, Yamanaka A, Ooshima A: Light and scanning electron microscopy of rabbit lens capsule with intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg* 23 (1997) 787-794
92. Soemmering W: Beobachtungen über die organischen Veränderungen im Auge nach Staroperation. Wesché, Frankfurt, 1828
93. Spitznas M: Ein Übungssockel für intraokulare Eingriffe am Auge. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 168 (1976) 435-436

94. SPSS Inc. (Hrsg): SPSS® Base 10.0 Benutzerhandbuch. Chicago, 1999
95. Straub W: Geschichte und Technik der intrakapsulären Kataraktextraktion. *Fortschr Ophthalmol* 82 (1985)139-143
96. Strenn K, Menapace R, Vass C: Capsular bag shrinkage after implantation of an open-loop silicone lens and a poly(methyl methacrylate) capsule tension ring. *J Cataract Refract Surg* 23 (1997) 1543-1547
97. Struck HG, Ehrich D, Seydewitz V: Zur Bedeutung des Linsenepithels für die Kataraktentwicklung: Ein klinischer und strukturanalytischer Beitrag. In: Rochels R, Duncker G, Hartmann C (Hrsg): 9. Kongreß der DGII. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1996, S. 435-440
98. Teping C, Deppe W, Backes-Teping C: Klinische Erfahrungen mit dem bimanuellen Saug-/ Spülsystem. In: Rochels R, Duncker G, Hartmann C (Hrsg): 9. Kongreß der DGII. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1996, S. 45-49
99. Terzis AJA, Nowak G, Rentzsch O, Arnold H, Diebold J, Baretton G: A new system for cutting brain tissue preserving vessel water jet cutting. *Br J Neurosurg* 3 (1989) 361-366
100. Tetz M, Imkamp E, Hansen SO, Solomon KD, Apple DJ: Experimentelle Studie zur Hinterkapseltrübung und optischen Dezentrierung verschiedener Hinterkammerlinsen nach interkapsulärer Implantation. *Fortschr Ophthalmol* 85 (1988) 682-688
101. Tetz MR, Ries MW, Lucas C, Stricker H, Völker HE: Inhibition of posterior capsule opacification by an intraocular-lens-bound sustained drug delivery system: An experimental animal study and literature review. *J Cataract Refract Surg* 22 (1996) 663-669
102. Tetz MR, Greiner C, Blum M, Faller U, Völker HE: Zellbesiedlung und Hinterkapseltrübung bei Polyfluorcarbon-beschichteten Hinterkammerlinsen – erste klinische Ergebnisse. In: Ohrloff C, Kohlen T, Duncker G (Hrsg): 11. Kongreß der DGII. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1998, S. 350-355
103. Tetz MR, Auffarth GU, Nimsgern C, Wersching C, Völker HE: Ausmaß von Vorderkapsel- und Hinterkapseltrübung bei verschiedenen Kunstlinsenmaterialien. In: Duncker G, Ohrloff C, Wilhelm F (Hrsg): 12. Kongreß der DGII. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1999, S. 182-186
104. Thomas R: Posterior capsule rupture after blunt trauma. *J Cataract Refract Surg* 24 (1998) S. 283-284

105. Tong TJ, Miller MK: Intraocular pressure change after sutureless phacoemulsification and foldable posterior chamber lens implantation. *J Cataract Refract Surg* 24 (1998) S. 256-262
106. Trampisch HJ, Windeler J (Hrsg): *Medizinische Statistik*. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, S. 254-263 und S. 273-285
107. Treumer H: Neue Operative Technik der Cataracta congenita zur Verhütung regenerativer Nachstars. Kontrollierte zentrale Exzision der Kapselblätter mit Endodiathermiekoagulation der Kapselsackperipherie. *Ophthalmologie* 92 (1995) 311- 317
108. Une Y, Uchino J, Horie T, Sato Y, Ogasawara K, Kakita A, Sano F: Liver resection using a water jet. *Cancer Chemother Pharmacol* 23 (1989) 74-77
109. Ursell PG, Spalton DJ, Pande MV, Hollick EJ, Barman S, Boyce J, Tilling K: Relationship between intraocular lens biomaterials and posterior capsule opacification. *J Cataract Refract Surg* 24 (1998) 352-360
110. Vasavada A, Singh R: Relationship between lens and capsular bag size. *J Cataract Refract Surg* 24 (1998) S. 547-551
111. Vasavada AR, Chauhan H, Shah G: Incidence of posterior capsular plaque in cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 23 (1997) S. 798-802
112. Verin P, Benjelloun D, Comte P: Die Ergebnisse der Reklination der Linse, eine wichtige Ursache von Blindheit in den Entwicklungsländern. *Fortschr Ophthalmol* 82 (1985) 144-146
113. Vogel A, Schweiger P, Frieser A, Asiyu M, Birngruber R: Wirkungsmechanismen, Schadensreichweite und Reduzierung von Nebenwirkungen bei der intraokularen Nd:YAG-Laserchirurgie. *Fortschr Ophthalmol* 87 (1990) 675-687
114. Walkow T, Anders N, Hartmann C: Ergebnisse nach Nd:YAG-Laserkapsulotomie – eine prospektive Langzeitstudie. In: Duncker G, Ohrloff C, Wilhelm F (Hrsg): 12. Kongreß der DGII. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1999, S. 230-236
115. Wallach M: Apparatus for removal of tissue. United States Patent No. 3, 930, 505. 1976
116. Wenzel M, Ohrloff C, Duncker G: Zum derzeitigen Stand der Katarakt- und refraktiven Hornhautchirurgie – Ergebnisse der Umfrage der DGII 1996. In:

- Duncker G, Ohrloff C, Wilhelm F (Hrsg): 12. Kongreß der DGII. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1999, S. 14-20
117. Wenzel M: Warum heißt der Graue Star „Star“? *Klin Monatsbl Augenheilkd* 205 (1994) 167-171
118. Weyhe FV, Auffarth GU, Florea M, Völcker HE: Einfluss der Optik- und Haptikdimensionen von kapselsackfixierten Hinterkammerlinsen auf die morphologische Nachstarentwicklung. In: Kohnen T, Ohrloff C, Wenzel M (Hrsg): 13. Kongreß der DGII. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 2000, S.311-314
119. Wilhelm F, Duncker G, Holtkamp A, Darman J, Hanschke R: Einsatzmöglichkeiten des Water Jets in der Kataraktchirurgie? In: Duncker G, Ohrloff C, Wilhelm F (Hrsg): 12. Kongreß der DGII. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1999, S. 356-360
120. Wilhelm F, Holtkamp A, Darman J, Hanschke R, Duncker G, Pein A: Was kann der Wasserstrahl in der Kataraktchirurgie? *Ophthalmologie* 95 (1998) 721-723
121. Wilhelm F, Holtkamp A, Theurer A, Darman J, Duncker G, Wilhelm L: Untersuchungen zur Belastung der Linsenkapsel durch den Waterjet. *Ophthalmologie* 96 (1999) 640-642
122. Winther-Nielsen A, Johansen J, Petersen GK, Corydon L: Posterior capsule opacification and Nd:YAG capsulotomy with heparin-surface-modified intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg* 24 (1998) S. 940-944
123. Wirt H, Heisler JD, von Domarus D: Experimentelle Studie zum Temperaturverlauf während der Phakoemulsifikation. *Ophthalmologie* 92 (1995) 339-345
124. Zetterstrom C, Laurell CG: Comparison of endothelial cell loss and phacoemulsification energy during endocapsular phacoemulsification surgery. *J Cataract Refract Surg* 21 (1995) 55-58

8 Anlagen

Anlage 1

Technische Daten des Wasserstrahlskalpells
(Firma © Andreas Pein Medizintechnik GmbH, Schwerin)

Druck :	von 0 bis 150 bar stufenlos einstellbar
Druckerzeugung:	Mediumumwandler mit elektronisch gesteuarter Hydraulik
Elektrischer Anschluß:	230 V, 2A, 50 Hz
Injektorspritze :	100 ml Inhalt
Trennmedium:	Wasser
Kapillare :	PEEK, Innendurchmesser 0,75 mm, Außendurchmesser 1,59 mm
Handstück:	Düsen-Durchmesser 50 µm
Strahlenqualität und -geometrie:	Kohärenter zylindrischer Strahl, an der Oberfläche schraubenartig gedreht.
Abmessungen:	560 mm (B) x 1000mm (H) x 330 mm (T)
Gewicht:	30 kg

Anlage 2

Eigenschaften des Wasserstrahlskalpells (aus dem Firmenprospekt der Firma © Andreas Pein Medizintechnik GmbH, Schwerin):

"Die Schnittwirkung des Wasserstrahls hängt von seinem Querschnitt und dem anliegenden Druck ab. Dabei wird der kreisförmige Durchmesser des Strahls von der Düsenöffnung bestimmt, welche die Werte 80, 100, 120 und 150 µm annehmen kann.

Der Druck wird elektro-hydraulisch in einem Ölzylinder erzeugt und über einen Medienwandler auf das Wasser übertragen, so daß Druck- und Schneid-system voneinander getrennt sind. Dadurch kann eine separate Sterilisierung der einzelnen Geräteteile durchgeführt werden.

Den Aufbau des Wasserstrahls löst der Operateur über einen Fußschalter aus, dessen Betätigung zudem eine lineare Steigerung des Druckes ermöglicht. Der maximale Wert liegt bei 150 bar."

Anlage 3

Eigenschaften des Hinterkapselpolierers (aus dem Firmenprospekt der Firma ©
STORZ Instrument GmbH, Heidelberg)

STORZ OPHTHALMOLOGISCHE PRODUKTE

STORZ HD-W. Germany, 1992

Augenkanüle, Seite 190

Bezeichnung: Hinterkapselpolierer

Qualität: gebogen, aufgerauht

Länge der Spitze: 13 mm

Instrument-Nr.: 85511

Artikel: E0558 PS

Anlage 4

Einzelwerte für die biomikroskopische Beurteilung der Kapselsäcke (n = 10) in jeweils 12 Uhrzeiten (Uz) ohne Polieren entsprechend dem Score aus der Tabelle 2

Gruppe	1.Uz	2.Uz	3.Uz	4.Uz	5.Uz	6.Uz	7.Uz	8.Uz	9.Uz	10.Uz	11.Uz	12.Uz
I/ 1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
I/ 2	1	0	2	1	0	2	1	2	2	1	2	2
I/ 3	2	2	2	2	1	2	2	1	2	2	2	2
I/ 4	2	1	0	2	2	2	2	2	2	1	2	2
I/ 5	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1
I/ 6	2	2	2	1	1	2	2	2	1	2	2	2
I/ 7	2	2	2	1	2	2	1	2	2	2	2	2
I/ 8	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
I/ 9	2	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2
I/10	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1

Anlage 5

Einzelwerte für die biomikroskopische Beurteilung der Kapselsäcke (n = 10) in jeweils 12 Uhrzeiten (Uz) nach manueller Politur entsprechend dem Score aus der Tabelle 2

Gruppe	1.Uz	2.Uz	3.Uz	4.Uz	5.Uz	6.Uz	7.Uz	8.Uz	9.Uz	10.Uz	11.Uz	12Uz
II/ 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
II/ 2	0	2	2	0	2	2	2	0	2	2	2	2
II/ 3	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0
II/ 4	1	2	2	1	2	1	2	2	2	1	2	2
II/ 5	2	2	2	0	2	2	1	0	1	2	1	1
II/ 6	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	2
II/ 7	0	1	2	2	2	1	2	2	0	1	0	0
II/ 8	1	1	1	2	0	2	0	2	2	2	0	2
II/ 9	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
II/10	1	0	1	1	1	1	2	2	0	0	2	2

Anlage 6

Einzelwerte für die biomikroskopische Beurteilung der Kapselsäcke (n = 10) in jeweils 12 Uhrzeiten (Uz) nach Water jet Politur entsprechend dem Score aus der Tabelle 2

Gruppe	1.Uz	2.Uz	3.Uz	4.Uz	5.Uz	6.Uz	7.Uz	8.Uz	9.Uz	10.Uz	11.Uz	12.Uz
III/ 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
III/ 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
III/ 3	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0
III/ 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
III/ 5	0	1	0	0	2	1	2	1	1	1	1	1
III/ 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
III/ 7	1	2	2	2	2	1	1	2	1	1	1	1
III/ 8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
III/ 9	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
III/10	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0

Anlage 7

Einzelwerte für die lichtmikroskopische Beurteilung der Äquatorregion (ÄR) ohne Polieren entsprechend dem Score aus der Tabelle 3

Gruppe	Punktwert der 1. ÄR	Punktwert der 2. ÄR	Punktwert der 3. ÄR	Punktwert der 4. ÄR	Punktwert der 5. ÄR	Punktwert der 6. ÄR
IV/1	2	2	2	2	2	2
IV/2	2	2	2	2	2	2
IV/3	2	2	2	2	2	2
IV/4	0	1	0	1	0	2
IV/5	2	2	2	2	2	2
IV/6	2	2	2	2	2	2
IV/7	2	2	2	2	2	2
IV/8	2	2	2	1	1	2
IV/9	2	2	2	2	2	2
IV/10	2	2	2	2	2	2

Anlage 8

Einzelwerte für die lichtmikroskopische Beurteilung der Äquatorregion (ÄR) nach manuellem Polieren entsprechend dem Score aus der Tabelle 3

Gruppe	Punktwert der 1. ÄR	Punktwert der 2. ÄR	Punktwert der 3. ÄR	Punktwert der 4. ÄR	Punktwert der 5. ÄR	Punktwert der 6. ÄR
V/1	2	2	2	2	2	2
V/2	2	2	2	2	2	2
V/3	0	0	0	1	0	0
V/4	2	2	2	1	2	2
V/5	2	1	1	2	2	2
V/6	2	2	2	2	2	2
V/7	1	0	0	1	0	1
V/8	2	1	2	2	2	2
V/9	2	2	1	1	0	2
V/10	1	1	0	1	1	1

Anlage 9

Einzelwerte für die lichtmikroskopische Beurteilung der Äquatorregion (ÄR) nach Polieren mit dem WJ entsprechend dem Score aus der Tabelle 3

Gruppe	Punktwert der 1. ÄR	Punktwert der 2. ÄR	Punktwert der 3. ÄR	Punktwert der 4. ÄR	Punktwert der 5. ÄR	Punktwert der 6. ÄR
VI/1	0	0	0	0	0	0
VI/2	0	0	0	0	0	0
VI/3	0	0	1	0	0	0
VI/4	0	0	0	0	1	0
VI/5	0	0	0	0	0	0
VI/6	0	1	1	1	0	0
VI/7	0	0	0	0	0	0
VI/8	1	2	2	0	1	1
VI/9	0	0	0	0	0	0
VI/10	0	0	0	1	0	0

Anlage 10

Einzelwerte für die rasterelektronenmikroskopische Beurteilung der Äquatorregion (ÄR) des Kapselsackes ohne Polieren entsprechend dem Score aus Tabelle 4

Gruppe	Punktwert
VII/1	2
VII/2	1
VII/3	2
VII/4	2
VII/5	2

Anlage 11

Einzelwerte für die rasterelektronenmikroskopische Beurteilung der Äquatorregion (ÄR) des Kapselsackes nach manuellem Polieren entsprechend dem Score aus der Tabelle 4

Gruppe	Punktwert
VIII/1	2
VIII/2	1
VIII/3	1
VIII/4	2
VIII/5	2

Anlage 12

Einzelwerte für die rasterelektronenmikroskopische Beurteilung der Äquatorregion (ÄR) des Kapselsackes nach Polieren mit dem Water jet entsprechend dem Score aus der Tabelle 4

Gruppe	Punktwert
IX/1	0
IX/2	1
IX/3	0
IX/4	0
IX/5	1

Anlage 13

Statistische Auswertung der biomikroskopischen Untersuchungen

Einfaktorielle Varianzanalyse mit multiplem Vergleich (HSD-Test nach Tukey)

PUNKTSUMME

	Quadrat- summe	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Zwischen den Gruppen	1549,067	2	774,533	34,532	0,000 (p< 0,001)
Innerhalb der Gruppen	605,600	27	22,430		
Gesamt	2154,667	29			

Post-Hoc-Tests

Mehrfachvergleiche

Abhängige Variable: SUM_SCOR, Tukey-HSD

(I) VAR00001	(J) VAR00002	Mittlere Differenz (I-J)	Standard- fehler	Signifikanz	95%-Konfidenzintervall	
					Unter- grenze	Ober- grenze
1,00	2,00	9,0000*	2,1180	0,001	3,7486	14,2514
	3,00	17,6000*	2,1180	0,000	12,3486	22,8514
2,00	1,00	-9,0000*	2,1180	0,001	-14,2514	-3,7486
	3,00	8,6000*	2,1180	0,001	3,3486	13,8514
3,00	1,00	-17,6000*	2,1180	0,000	-22,8514	-13,3486
	2,00	-8,6000*	2,1180	0,001	13,8514	-3,3486

*. Die mittlere Differenz ist auf der Stufe 0,05 signifikant.

Anlage 14

Statistische Auswertung der lichtmikroskopischen Untersuchungen
Einfaktorielle Varianzanalyse mit multiplem Vergleich (HSD-Test nach Tukey)

PUNKTSUMME

	Quadrat- summe	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Zwischen den Gruppen	507,267	2	253,633	27,110	0,000 (p< 0,001)
Innerhalb der Gruppen	252,600	27	9,356		
Gesamt	759,867	29			

Post-Hoc-Tests

Mehrfachvergleiche

Abhängige Variable: PUNKTSUMME, Tukey-HSD

(I) VAR00001	(J) VAR00002	Mittlere Differenz (I-J)	Standard- fehler	Signifikanz	95%-Konfidenzintervall	
					Unter- grenze	Ober- grenze
1,00	2,00	2,5000	1,3679	0,180	-0,8916	5,8916
	3,00	9,7000*	1,3679	0,000	6,3084	13,0916
2,00	1,00	-2,5000	1,3679	0,180	-5,8916	0,8916
	3,00	7,2000*	1,3679	0,000	3,8084	10,5916
3,00	1,00	-9,7000*	1,3679	0,000	-13,0916	-6,3984
	2,00	-7,2000*	1,3679	0,000	-10,5916	-3,8084

*. Die mittlere Differenz ist auf der Stufe 0,05 signifikant.

Anlage 15

Statistische Auswertung der rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen
Kontingenztafel (3 x 3 Feldertafel) mit exaktem Test nach Fisher

Verarbeitete Fälle

	Fälle					
	Gültig		Fehlend		Gesamt	
	N	Prozent	N	Prozent	N	Prozent
VAR00001*VAR00002	15	100%	0	0%	15	100%

Anzahl

VAR00001*VAR00002 Kreuztabelle

	VAR00002			Gesamt
	0,00	1,00	2,00	
VAR00001		1	4	5
1,00				
2,00	3	2	3	5
3,00	3	2		5
Gesamt		5	7	15

Chi-Quadrat-Test

	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	Exakte Signifikanz (2-seitig)
Chi-Quadrat nach Pearson	10,114a	4	0,039	b
Likelihood- Quotient	12,848	4	0,012	0,037
Exakter Test nach Fisher	8,509			0,054
Zusammenhang linear-mit-linear	7,679c	1	0,006	
Anzahl der gültigen Fälle	15			

a. 9 Zellen (100%) haben eine erwartete Häufigkeit kleiner 5. Die minimale erwartete Häufigkeit ist 1,00.

b. Kann nicht berechnet werden, da zu wenig Arbeitsspeicher vorhanden ist.

c. Die standardisierte Statistik ist $-2,771$.

9 Thesen

1. Aufgrund der wachsenden Zahl von Kataraktoperationen in den letzten Jahren wurde die Operationsmethode optimiert und perfektioniert. Die Kataraktchirurgie stellt eine der am besten beherrschten Operationen in der Medizin dar. Der Verlauf der Operation ist komplikationsarm, wenn diese von einem erfahrenen Ophthalmochirurgen durchgeführt wird.
2. Eine der häufigsten postoperativen Komplikationen dieses Eingriffes ist der Nachstar; er entsteht aus zurückgebliebenen Epithelien sowohl auf der Vorderkapsel und Hinterkapsel als auch in der Äquatorregion.
3. Um die Nachstarrate zu minimieren, wurden verschiedene Methoden entwickelt. Es wird in der Literatur der Einsatz von pharmakologischen Antimetaboliten, Polierkanüle, Kürette usw. beschrieben. Keine der Methoden ist zufriedenstellend, da sich trotzdem immer wieder Nachstar bildet.
4. In der vorliegenden Arbeit wurde experimentell an enukleierten Schweineaugen eine Möglichkeit zur Prävention des Nachstars unter Einsatz des Water jets getestet.
5. In Vorbereitung der Untersuchungen wurde eine Analyse der Literatur über verschiedene Möglichkeiten zur Nachstarprävention und über Untersuchungsmöglichkeiten der Linsenkapseln durchgeführt, deren Ergebnisse in die Arbeit eingeflossen sind. Wir verglichen Linsenkapseln nach Politur mit einer manuellen Polierkanüle und Linsenkapseln nach Politur mit dem Wasserstrahl unter Anwendung verschiedener Untersuchungsmethoden (Biomikroskopie, Lichtmikroskopie und Rasterelektronenmikroskopie).
6. Der retrospektive biomikroskopische Befund enukleierter Schweineaugen zeigte bei Anwendung verschiedener Behandlungsmethoden anhand der Einschätzungen von morphologischen Veränderungen (Rindenreste in der Äquatorregion) mittels eines Scores, daß man Rindenreste mit dem Wasserstrahl gründlicher entfernen kann als mit der Polierkanüle.
7. Auch mit der lichtmikroskopischen Beurteilung der Präparate durch Einschätzung der Äquatorregion nach einem Score zeigte sich, daß die Entfernung der Rindenanteile mit dem Wasserstrahl vollständiger gelingt als mit der Polierkanüle.

8. Mit der Rasterelektronenmikroskopie wurden die Ergebnisse der biomikroskopischen und lichtmikroskopischen Untersuchungen bestätigt. Hier kam es insbesondere auf den Nachweis verbliebener Linsenepithelzellen auf der Vorderkapsel und von Rindenresten in der Äquatorregion an. In allen drei Untersuchungen wurde festgestellt, daß die Entfernung von Epithelzellen und Rindenresten mit dem Wasserstrahl besser gelingt.
9. Eine Zusammenfassung der einzelnen Ergebnisse für die verschiedenen Untersuchungsmethoden zeigte, daß es eine Korrelation der Ergebnisse bei den Schweineaugen nach manueller Polierung als auch nach Water jet Polierung gibt. Somit kann man von guter Prävention des Nachstars (zumindest in vivo) unter Einsatz des Wasserstrahls ausgehen.
10. Die vorliegende Arbeit bietet die methodische Grundlage für den Einsatz des Wasserstrahls bei der Prophylaxe des Nachstars im klinischen Alltag.

Lebenslauf

Jacques Junior Darman

Persönliche Angaben

Staatsangehörigkeit: Kamerun
Familienstand: Getrennt lebend
Geburtsdatum: 18. Februar 1970
Geburtsort: Meiganga (Kamerun)
Wohnort: 06114 Halle (S.), Heinrich-Heine-Str. 1

Schulausbildung

1976 – 1987 Grundschole in Ngaoundere (Kamerun)
1987 – 1990 Gymnasium in Garoua (Kamerun)
Juni 1990 Abitur
1990 – 1991 Stipendium für Studium / Deutschsprachkurs

Studium

1991 – 1993 Studium: Biopharmakologie, Ernst-Moritz-Arndt Universität Greifswald
1993 – 1999 Studium: Humanmedizin, Ernst-Moritz-Arndt Universität Greifswald
1996 Abschluß Staatlich geprüfter Rettungssanitäter, Greifswald
April 1998 – Juli 1998 Beginn des Praktischen Jahres Chirurgie-Tertial, Universitätsklinikum Yaoundé (Kamerun)
Aug. 1998 – Nov. 1998 Ophthalmologie-Tertial, Universitätsklinikum Laval Québec (Kanada)
Dez. 1989 – März 1999 Innere Medizin-Tertial, Universität Lausanne-Hôpital de Sion, Universitätsklinikum Lausanne (Schweiz)

Staatsexamina

1995 Physikum
1997 1. Staatsexamen
1998 2. Staatsexamen
1999 3. Staatsexamen

Vom 1. Sept. 1999 bis 28. Febr. 2001 als Arzt im Praktikum an der Universitätsaugenklinik Halle beschäftigt

Seit 1. März 2001 als Arzt in Weiterbildung an der
Universitätsaugenklinik Halle beschäftigt

Studienbegleitende Tätigkeiten

Famulaturen: Augenheilkunde, Universitätsklinik Greifswald
 Innere Medizin, Universitätsklinik Greifswald
 Chirurgie, Hôpital Protestant de Ngaoundere Kamerun
 Augenheilkunde, Hôpital Acha Tugi Bamenda Kamerun

Nebentätigkeiten

1995 – 1997 Studentische Hilfskraft, Universitätsaugenklinik Greifswald
1996 – 1999 Rettungssanitäter, Rettungsdienst HKS Greifswald
1998 – 1999 Wissenschaftlicher Mitarbeiter des Wasserstrahl Labors im
 Biotechnikum Greifswald

Sprachkenntnisse

Französisch, Deutsch, Englisch

Halle, 4. September 2001

.....
(Unterschrift)

Selbständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, daß ich die vorliegende Dissertation selbst verfaßt und mich dabei keiner anderen als der von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel bedient habe, sowie wörtlich oder inhaltlich übernommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Halle, 4. September 2001

Hinweise auf Publikationen von Ergebnissen dieser Arbeit

1. Wilhelm F, Holtkamp A, Darman J, Hanschke R, Duncker G, Pein A: Was kann der Wasserstrahl in der Kataraktchirurgie? *Ophthalmologie* 95 (1998) 721-724
2. Wilhelm F, Duncker G, Holtkamp A, Darman J, Hanschke R: Einsatzmöglichkeiten des Water Jets in der Kataraktchirurgie? In: Duncker G, Ohrloff C, Wilhelm F (Hrsg): 12. Kongress der DGII. Springer, Berlin Heidelberg, New York 1999. S. 356-360
3. Wilhelm F, Holtkamp A, Theurer A, Darman J, Duncker G, Wilhelm L: Untersuchungen zur Belastung der Linsenkapsel durch den Water jet. *Ophthalmologie* 96 (1999) 640-642
4. Wilhelm F, Darman J, Wilhelm L: Einsatzmöglichkeiten des Wasserstrahls in der Ophthalmochirurgie. In: Siegert R, Jurk V, Magritz R (Hrsg): Wasserstrahldissektion in der Medizin. Books on Demand [2001], S. 98-106
5. Darman J, Knorrn M, Duncker G, Wilhelm F: Biomikroskopische und lichtmikroskopische Untersuchungen zur Nachstarprophylaxe durch Polieren des Kapselsacks mit Water jet. *Ophthalmologie* (eingereicht Juli 2001)

Vorträge über Ergebnisse dieser Arbeit

1. Wilhelm F, Holtkamp A, Darman J, Hanscke R, Duncker G, Pein A:
„Was kann der Wasserstrahl in der Kataraktchirurgie?“
Vortrag – 95. Tagung der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft
Berlin, 20./23. September 1997

2. Wilhelm F, Duncker G, Kietzmann G, Darman J, Jendral G, Kleiner A:
„Einsatzmöglichkeiten des Water jets in der Kataraktchirurgie“
Vortrag – 12. Kongreß der Deutschen Gesellschaft für Intraokularlinsen-Implan-
tation und refraktive Chirurgie
Halle, 13./14. März 1998

3. Darman J, Wilhelm F, Holtkamp A, Hanschke R, Duncker G, Wilhelm L:
„Nachstarprophylaxe durch Kapselpolitur mit dem Water jet“
Vortrag – 10. Tagung der Sächsischen Augenärztlichen Gesellschaft
Torgau, 9./10. Oktober 1999

4. Wilhelm F, Darman J, Holtkamp A, Duncker G:
„Der Water jet als ophthalmochirurgisches Instrument“
Vortrag – 49. Tagung der Vereinigung Norddeutscher Augenärzte
Hamburg 8./9. Juli 2000

Poster über Ergebnisse dieser Arbeit

1. Wilhelm F, Darman J:
„Einsatz des Wasserstrahlskalpells in der Ophthalmochirurgie“
Poster – Biotechnologiekonferenz des BMFT;
10. Mai 1998 Berlin
2. Darman J, Duncker G, Wilhelm F:
„Biomikroskopische und lichtmikroskopische Untersuchungen zur Nachstarprophylaxe durch Polieren des Kapselsacks mit Water jet“
Poster - 98. Tagung der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft
21. / 24. Sept. 2000 Berlin

Erklärung über Promotionsversuche

Hiermit erkläre ich an Eides statt, daß ich weder diese noch eine andere Dissertation früher oder jetzt an einer in- oder ausländischen Fakultät zu Promotionszwecken eingereicht habe.

Halle/ Saale, 4. September 2001

Danksagung

Herrn Privatdozent Dr. med. habil. F. Wilhelm danke ich herzlichst für die Überlassung dieses Themas und die engagierte, kritische, aber auch freundschaftliche Betreuung bei der Bearbeitung dieser Aufgabe, die ich jederzeit von ihm erfahren habe.

Dem Direktor der Universitätsaugenklinik Halle, Herrn Professor Dr. med. habil. G. I. W. Duncker danke ich für die Möglichkeit, in seiner Einrichtung den letzten Teil der Experimente für die vorliegende Dissertation durchzuführen.

Hier fand ich freundliche Unterstützung durch den Fotografen Herrn Haugk, die medizinisch-technischen Assistentinnen Frau Lenz und Frau Vetter, denen mein besonderer Dank gilt.

Ein herzliches Dankeschön ergeht an Frau Dr. rer. nat. R. Hanschke, Frau Meuche und Herrn Fischer vom Labor für Elektronenmikroskopie der Universität Greifswald. Während meiner zahlreichen Konsultationen in dieser Einrichtung war ich freundlicher Hilfe in allen Fragen gewiß.

Zu bedanken habe ich mich auch bei Herrn A. Pein von der Firma © Andreas Pein Medizintechnik GmbH Schwerin für die Bereitstellung des von uns verwendeten Prototyps des Wasserstrahlskalpells.

Herrn Prof. Dr. med. habil. J. Haerting aus dem Institut für Medizinische Epidemiologie, Biometrie und Informatik der Martin-Luther-Universität Halle danke ich für die freundliche Beratung bei der statistischen Auswertung der Ergebnisse dieser Arbeit.

Ein besonderes Dankeschön gilt meinen Freunden Dr. med. F. Podmelle aus der Universitätsklinik Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie Greifswald und Dr. med. T. Gießman aus dem Institut für Pharmakologie, die mich während der gesamten Zeit tatkräftig unterstützt haben.

Herrn J. Gunia, Frau Dr. med. A. Goldhahn und Herrn Prof. Dr. med. habil. H. G. Struck danke ich für die Bereitschaft zum Korrekturlesen dieser Arbeit.

Besonders herzlich bedanken möchte ich mich bei Familie Podmelle, die mir jederzeit Rückhalt gab und bei denen ich in allen Belangen auf aktive, verständnisvolle Unterstützung stieß.