

2. Grundlagen

2.1 Glaukom

Unter Glaukome versteht man eine Gruppe von Erkrankungen, bei der ein gegebener Augendruck die Sehnervenfasern schädigt. Dadurch kommt es zur Verschlechterung der visuellen Funktion.

Für die Einteilung und Klassifikation der klinischen Glaukome gibt es 2 Möglichkeiten: 1. nach Ätiologien und 2. nach Pathomechanismen. Die erste Einteilung geschieht nach den zugrundeliegenden Veränderungen, die zur Störung der Kammerwasserdynamik führen, die entweder primär, sekundär oder entwicklungsbedingt sein können. Die Einteilung nach Pathomechanismen basiert auf den Vorgängen im Kammerwinkel, die zu einer Drucksteigerung führen. Letztere Klassifikation unterscheidet zwischen Offenwinkel-, Winkelblock- und kongenitalen Mechanismen, die wiederum unterteilt werden nach den zugrundeliegenden Ursachen und speziellen strukturellen Veränderungen [Shields 1993].

Differenziert werden hier primäre Glaukome (primäres Offenwinkelglaukom, primäres Winkelblockglaukom, primäres kongenitales Glaukom) und sekundäre Glaukome, die infolge anderer Augen- oder Allgemeinleiden auftreten. Primäre Glaukome bestehen typischerweise bilateral, sekundäre Glaukome uni- oder bilateral.

Bei der weißen und schwarzen Bevölkerung stellt das Offenwinkelglaukom die häufigste Glaukomform dar. Hierbei ist ein signifikanter Unterschied bezüglich des Alters zum Zeitpunkt der Erstdiagnose vorhanden. Einige Studien [Bengtson 1981, Sommer 1991, Congdon 1997, Quigley 1996] kommen zu dem Ergebnis, dass das primär chronische Offenwinkelglaukom früher bei der schwarzen Bevölkerung mit einem Häufigkeitsgipfel im 57. Lebensjahr auftritt, während bei der weißen Rasse der Häufigkeitsgipfel bei 77 Jahren liegt.

Daraus folgt, dass Vorsorgeuntersuchungen bei verschiedenen Rassen zu unterschiedlichen Zeitpunkten durchgeführt werden sollten. Die schwarze Bevölkerung sollte demnach ab dem 30. und die weiße ab dem 50. Lebensjahr auf das Vorliegen einer Glaukomerkrankung untersucht werden [Sommer 1991, Quigley 1996].

Die Winkelblockglaukome dagegen kommen bei den Asiaten am meisten vor und bilden wegen der hohen Bevölkerungszahl in dieser Region - insbesondere in China - die Hälfte der Glaukomformen weltweit [Kim 1997, Colemann 1999, 2001, Foster 2001].

2.1.1 Offenwinkelglaukome

Offenwinkelglaukome werden als eine Neuropathie des N. opticus durch langsam progredienten Verlust retinaler Ganglienzellen, Axone und intrapapillärer Astrozyten mit nachfolgender Gesichtsfeldschädigung bei normal konfigurierem Kammerwinkel definiert [Quigley 1995]. Gonioskopisch wird häufiger eine nach vorne verlagerte Insertion der Iriswurzel, eine intensivere Pigmentierung des Trabekelwerks und eine ausgeprägtere Segmentierung der Pigmentierung des Trabekelmaschenwerkes gefunden [Grehn 1993].

Das primäre Offenwinkelglaukom tritt familiär gehäuft auf und ist prävalenter bei höherem Alter, dunkelhäutiger Rasse, Myopie und bestimmten Allgemeinerkrankungen, wie Diabetes oder kardiovaskulären Krankheiten. Es ist typischerweise asymptomatisch, bis eine fortgeschrittene Gesichtsfeldschädigung auftritt. Definitionsgemäß liegt der Augendruck stets über 21 mmHg, obwohl eine klinische Glaukomform besteht, bei der Papille und Gesichtsfeld glaukomtypisch verändert sind, wenngleich der Augendruck nie 21 mmHg übersteigt (Normaldruckglaukom) [Bengtson 1981, Sommer 1991]. Der präzise Mechanismus der Abflußwiderstandserhöhung für Kammerwasser beim Offenwinkelglaukom ist noch unklar, obwohl mit großer Wahrscheinlichkeit eine Beziehung zu ultrastrukturellen Veränderungen im Trabekelmaschenwerk und/oder Schlemm-Kanal besteht [Lütjen 1968, Rohen 1993].

2.1.2 Winkelblockglaukome

Das primäre Winkelblockglaukom unterscheidet sich bezüglich Entstehungsmechanismus und Therapie grundsätzlich vom primären Offenwinkelglaukom. Es werden drei Formen des primären Winkelblockglaukoms unterschieden:

1. Das akute und intermittierende Winkelblockglaukom,
2. das chronische Winkelblockglaukom, und
3. das zilio-lentikuläre Blockglaukom [Grehn 1988].

Der häufigste Pathomechanismus des primären Winkelblockglaukoms ist der Pupillarblock, bei dem der Kammerwasserdurchfluss von der hinteren in die vordere Augenkammer durch eine funktionelle Blockierung zwischen pupillarsaumnaher Iris und Linse erschwert ist [Shaffer 1973, Grehn 1988]. Nur selten kommt ein Plateau-Iris-Mechanismus vor [Pavlin 1992, Marchini 1998, Kim 1997]. Differentialdiagnostisch muss insbesondere ein Neovaskularisationsglaukom mit akuter Drucksteigerung ausgeschlossen werden. Beim intermittierenden Winkelblockglaukom löst sich der Winkelverschluss von selbst, kann aber Irisinfarkte und Goniosynechien hinterlassen.

Das chronische Winkelblockglaukom ist durch Synechien im Kammerwinkel gekennzeichnet, wobei anfallsartige Druckspitzen fehlen [Grehn 1988]. Bei sehr engen Kammerwinkelverhältnissen kann nur mit der Impressionsgonioskopie das Ausmaß der Synechierung erkannt werden [Forbes 1966].

Bei ziliolentikulärem Glaukom wird der Verschluss durch eine Anlagerung des Linsenäquators am Ziliarkörpers hervorgerufen [Pham 1987]. Der Verschluss wird durch Parasympathomimetika verstärkt; deshalb sind diese kontraindiziert. Eine Zykloplegie dagegen senkt den Augendruck.

Durch Vergrößerung der Linse im Alter kann sich einem primär chronischen Offenwinkelglaukom ein Winkelverschluss aufpfropfen. Man spricht dann von einer „Mischform“. Der Begriff „Engwinkelglaukom“ ist dagegen weniger gut definiert, weil er nicht zwischen chronischem Winkelblockglaukom und chronischen Offenwinkelglaukom unterscheidet [Grehn 1988, Kim 1997].

Das akute Winkelblockglaukom lässt sich an dem plötzlich eintretenden Beschwerdebild bei akut erhöhtem Augendruck und durch den Nachweis des Winkelverschlusses erkennen.

Ein akutes Winkelblockglaukom kann bei prädisponierter anatomischer Situation durch eine Mydriasis ausgelöst werden, z.B. Aufenthalt in abgedunkelten Räumen, Stresssituationen und auch durch Pharmaka [Shaffer 1957, Ishikawa 1999, Woo 1999]. Zum klinischen Bild eines akuten Anfalls gehören starke Schmerzen, heftige Bindehauthyperämie, trübe Hornhaut und möglicher Verlust des Sehvermögens. Bei einer subakuten Blockierung sind dumpfer Kopfschmerz, Verschwommensehen und farbige Ringe um Lichter typisch.

2.2 Anatomie des Kammerwinkels

Der Kammerwinkel ist ein Abschnitt der Vorderkammer und liegt in ihrem peripheren verengten Bereich. Gebildet wird der Kammerwinkel außen von der Cornea und Sklera. Die innere Begrenzung ist der Ziliarkörper und die Iris [Van Beuningen 1955, Unger 1959]. Das Kammerwasser wird im Ziliarkörper gebildet und ist für fast alle Abschnitte des Auges von Bedeutung, wenngleich die beiden Hauptstrukturen der Kammerwasserdynamik der Ziliarkörper und der Limbus sind. Der Limbus ist eine anatomische Übergangszone zwischen Hornhaut und Sklera und enthält die wesentlichen Abflussstrukturen für das Kammerwasser (Abb. 1)

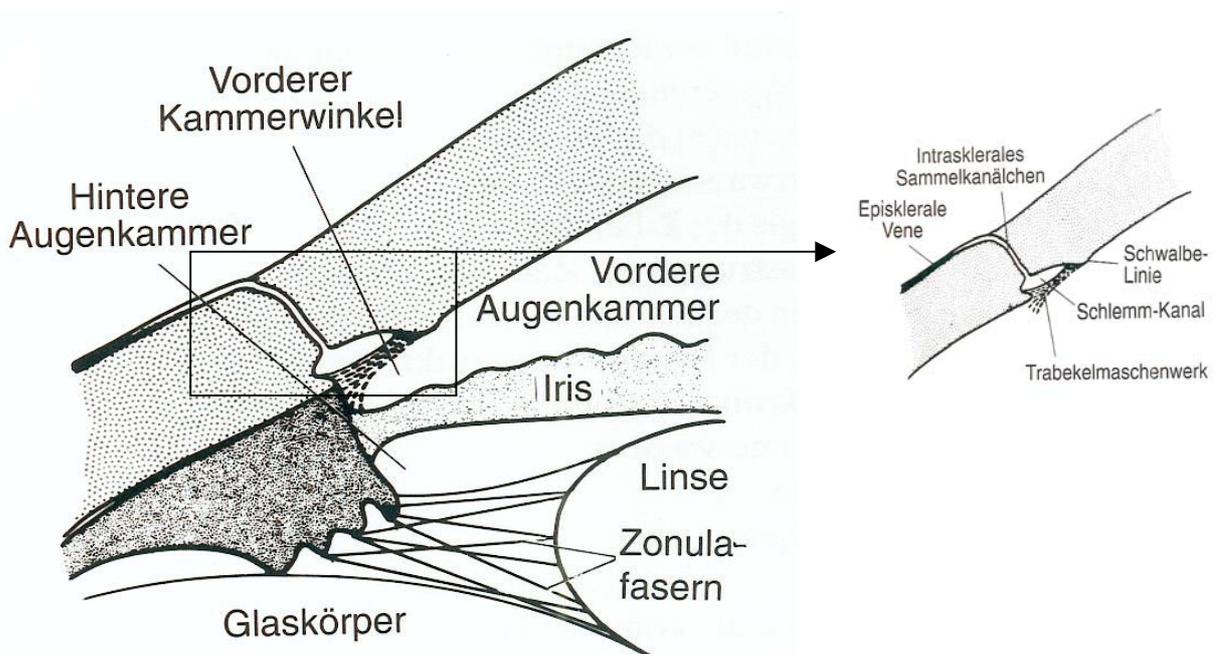


Abbildung 1: Vordere und hintere Augenkammer, Trabekelmaschenwerkregion (Schema modifiziert nach Shields 1993)

An der inneren Oberfläche des Limbus liegt eine Eindellung, der Sulcus scleralis, der einen scharf abgesetzten posterioren Rand aufweist, den Sklerasporn, und eine abfallende vordere Wandung, die sich in die periphere Hornhaut fortsetzt.

Ein siebartiges Gewebe, das Trabekelmaschenwerk, überbrückt den Sulcus scleralis im Kammerwinkel und geht in einen ringförmigen Kanal, den sog. Schlemm-Kanal über (Abb. 1). Wo das Trabekelmaschenwerk in die periphere Hornhaut inseriert, entsteht ein kleiner Wulst, der als Schwalbe-Linie bekannt ist.

Der Schlemm-Kanal ist durch intrasklerale Sammelkanälchen mit den episkleralen Venen verbunden (Abb. 1). Das Trabekelmaschenwerk, der Schlemm-Kanal und die intraskleralen Sammelkanälchen repräsentieren die Hauptabflusswege für Kammerwasser.

Der Ziliarkörper setzt am Sklerasporn an und bildet einen potentiellen Raum zwischen sich und der Sklera, den Supraziliarraum. Im Querschnitt erscheint der Ziliarkörper wie ein rechtwinkliges Dreieck und die Ziliarkörperfortsätze (der tatsächliche Produktionsort für Kammerwasser) nehmen den nach innen und vorne gelegenen Anteil des Ziliarkörpers ein, der etwa 2 mm nach posterior in die Pars plicata reicht. Die posterioren 4 mm des Ziliarkörpers, die Pars plana hat eine flache innere Oberfläche und geht an der Ora serrata in die Aderhaut über.

Die Iris inseriert an der Pars anterior des Ziliarkörpers (Abb. 1) und lässt eine variable Bandbreite dieser Struktur im Kammerwinkel zwischen der Iriswurzel und dem Sklerasporn sichtbar werden, der im gonioskopischen Befund als Ziliarkörperband bezeichnet wird.

Die Linse ist am Ziliarkörper durch die Zonulafasern aufgehängt und ist hinten von Glaskörper und vorne von Kammerwasser begrenzt. Die Iris unterteilt den kammerwassergefüllten Raum des Auges in eine hintere und vordere Augenkammer und der Winkel, der zwischen peripherer Iris und peripherer Hornhaut gebildet wird, wird allgemein als die vordere Kammerwinkelbucht oder Kammerwinkel bezeichnet (Abb. 1).

2.3 Geschichte der konventionellen Kammerwinkeldiagnostik

Die ersten Kammerwinkeluntersuchungen am lebenden menschlichen Auge stammen von A. Trantas. 1898 beschrieb er seine Beobachtungen, bei denen mit Hilfe eines Ophthalmoskopes im umgekehrten Bild der temporale Abschnitt eines Auges mit tiefer Vorderkammer untersucht wurde. Er gab der Kammerwinkeluntersuchung den Namen „Gonioskopie“. M. Salzmann erkannte als erster, dass die Totalreflexion der Lichtstrahlen an der Hornhautoberfläche die Ursache dafür ist, dass eine direkte Betrachtung der Kammerwinkelstrukturen (Abb. 2) ohne optische Hilfsmittel nicht möglich ist [Van Beuningen 1955, Alward 1999].

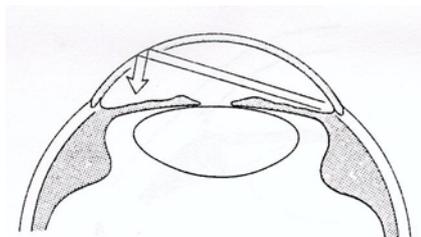


Abbildung 2: Totalreflexion der Lichtstrahlen an der Hornhautoberfläche (Schema modifiziert nach Grehn 1993)

Mit einem Haftglas, das Fick bei einem Patienten mit Keratokonus anwandte, gelang es Salzmann an einem Auge mit tiefer Vorderkammer und steiler Hornhautkrümmung bei Keratoglobus und kongenitalem Glaukom den Kammerwinkel von der Seite her direkt einzusehen.

Er zog dann aus den sich daraus ergebenden theoretischen Überlegungen die Schlussfolgerung, dass ein Einblick in den Kammerwinkel möglich ist, wenn ein Kontaktglas benutzt wird, dessen äußere Krümmung steiler als die der Hornhaut ist. Da der Brechungsindex des Kontaktglases und des Hornhautgewebes annähernd gleich sind, wird die Reflexion an der Hornhautvorderfläche aufgehoben. Vom Kammerwinkel ausgehende Strahlen können durch das Kontaktglas hindurch an der neu geschaffenen Grenzfläche Kontaktglas/Luft nach außen austreten, da die konvexe Begrenzung des Kontaktglases so beschaffen ist, dass der Grenzwinkel überschritten wird und keine Totalreflexion auftreten kann [Alward 1999].

Erst Goldmann ermöglichte 1938 durch Einführung der indirekten Gonioskopie mit einem Spiegelkontaktglas eine vollständige Untersuchung des Kammerwinkels an der Spaltlampe. Dieser entscheidende Fortschritt in der Entwicklung der Gonioskopie verhalf der Methode durch die Einfachheit der Durchführung zur breiten Anwendung in der ophthalmologischen Diagnostik [Alward 1999]. Als weitere Entwicklung zur Quantifizierung der Gonioskopie dient die biometrische Gonioskopie nach Congdon. Hierbei wird bei der Gonioskopie mittels einer Messskala, die an der Spaltlampe adaptiert ist, der Abstand zwischen Schwalbe-Linie und Irisansatz gemessen. Werte unter 0,25 mm entsprechen einem verschlussgefährdeten Kammerwinkel. Bei 0 mm liegt ein verschlossener Kammerwinkel vor [Congdon 1999].

2.4 Neuere Untersuchungsmethoden zur Kammerwinkeldiagnostik

Bemühungen, die Abmessung der Kammerwinkelbucht präziser und quantitativer zu bestimmen, konzentrierten sich auf die Sonographie und neuere photographische Methoden [Böcker 1995]. Pavlin und Mitarbeiter entwickelten die Technologie für ein Ultraschallbiomikroskop (UBM). Hohe Ultraschallfrequenzen von 50 MHz stehen erst seit wenigen Jahren zur Verfügung. Sie haben methodisch bedingt nur eine geringe Eindringtiefe (3 bis 8 mm), bieten aber eine hohe Ortsauflösung von bis zu ca. 25 µm. Sie eignen sich hauptsächlich zur Diagnostik des Bulbusvorderabschnittes.

Die Technik des Eintauchens eines Schallkopfes in ein flüssiges Ankopplungsmedium (Immersionstechnik), bei der ein flüssigkeitsgefüllter offener Trichter von 18 bis 22 mm Durchmesser nach Lokalanästhesie auf die Augenoberfläche gesetzt wird, schafft im Ankopplungsmedium eine Entfernung zur Augenoberfläche und damit einen Abstand des störungsreichen Nahfelds. Aufgrund der Immersionsmethode muss die Untersuchung im Liegen durchgeführt werden. In zahlreichen Studien wurde die korrekte Wiedergabe der bestehenden Strukturen mit ihren jeweiligen Strecken und Winkeln [Pavlin 1990, 1991], die gute Übereinstimmung der UBM-Bilder mit histologischen Präparate sowie die Reproduzierbarkeit der Kammerwinkeldarstellung nachgewiesen [Tello 1994, Spaeth 1997].

Dabei entspricht das ultraschallbiomikroskopische Binnenecho der mikroskopischen Textur bei sechs- bis achtfacher Vergrößerung. Der Übergang am Limbus in die Sklera kann durch die hochreflektiven irregulär angeordneten Kollagenfasern identifiziert werden. Weiterhin kann das darüber liegende episklerale Gewebe und der tiefer gelegene Ziliarkörper gegen die hochreflektive Sklerastruktur abgegrenzt werden. Die Sklera ist in der Region des Sklerasporns besonders reflektiv. Der Sklerasporn wird als Referenzpunkt für die meisten Messstrecken angegeben (Abb. 3).

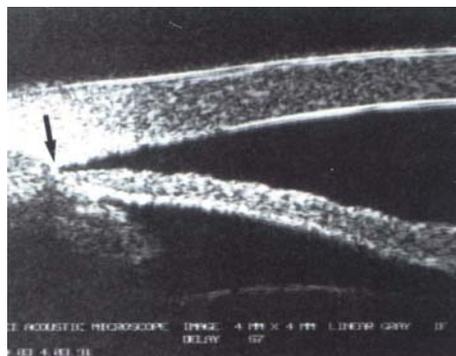


Abbildung 3: UBM-Bild eines normalkonfigurierten Kammerwinkels (aus Pavlin 1990), Pfeil deutet auf den Sklerasporn

Diese posteriore Begrenzung des Sulcus scleralis, die in den Kammerwinkel etwas vorspringt, kann im UBM sichtbar sein und an dem Reflexionsverhalten –ähnlich dem der Sklera- von den anderen Kammerwinkelstrukturen unterschieden werden. Die Iris hat Kontakt mit der reflexreichen Linsenoberfläche im Bereich der Pupillenöffnung.

Kürzlich wurden auch optische Verfahren wie, die optische Kohärenz-Tomographie (OCT) entwickelt, die eine höhere Auflösung haben und ohne Kontakt arbeiten.

Einzelheiten der OCT-Technik und der apparativen Realisierung zur Darstellung und quantitative Bestimmung des Kammerwinkels (OCT-Goniometrie) werden ausführlich im Kapitel Methode unter Prinzipien und Technik der optischen Kohärenztomographie behandelt.