

Vergleichend-morphologische Untersuchungen über die Gewebe der Kammerbucht des Auges bei Kaninchen und Affen, durchgeführt mit Dünnschnittmethoden

I. Teil

VOLKER SCHULZ

Anatomisches Institut Marburg a. d. Lahn (Lehrstuhl I: Prof. Dr. J. W. ROHEN)

Eingegangen am 11. Dezember 1965

Vergleichend-morphologische Untersuchungen über das reaktive Verhalten der Gewebe der Augenkammerbucht wurden bisher nur von wenigen Autoren durchgeführt (ROHEN und UNGER, 1957, 1959; FLOCKS, 1958; ROHEN, 1958). Diese Untersucher experimentierten hauptsächlich an Affenaugen oder an enucleierten, menschlichen Augen; diese Untersuchungen wurden also immer an Augen ausgeführt, deren Filterwerk nach dem gleichen Strukturprinzip gebaut ist. Wie ROHEN (1962) gezeigt hat, stellt die Struktur der Kammerbucht bei höheren Affen und beim Menschen den Endpunkt einer evolutiven Entwicklung dar, die durch die zunehmende Vereinheitlichung des Ciliarkörpers, Rückbildung des Lig. pectinatum, Umbau des retikulären in ein lamelläres, trabeculäres Filterwerk charakterisiert ist. Experimentelle Arbeiten an Versuchstieren mit einer primitiveren Kammerbuchtstruktur sind selten.

Ziel dieser Arbeiten war es nun, das reaktive Verhalten sowohl kompliziert aufgebauter als auch primitiv strukturierter Filtergewebe unter verschiedenen, experimentellen Bedingungen mit Ultradünnschnittmethoden zu analysieren. Dabei sollte zuerst von der normalen Struktur des Trabekelwerkes der genannten Arten und deren Entwicklung ausgegangen werden, um dann das Reaktionsvermögen experimentell zu prüfen.

Material und Methodik

Untersucht wurden vor allem Augen von Meerkatzen (*Cercopithecus aethiops*) und Kaninchen. Nach Entnahme streifenförmiger Sektoren aus dem Kammerwinkelbereich und deren Fixation in 2% gepufferter OsO_4 -Lösung wurde der Rest der Bulbi in Susa (HEIDENHAIN) fixiert. Der osmiumfixierte Teil des Materials wurde in ein Methyl-Butylmethacrylatgemisch, die Bulbi in Paraffin eingebettet. Zum Studium der postnatalen Entwicklung der Kammerbucht beim Kaninchen wurden die Augen neugeborener Tiere am 3., 4., 6., 7., 8., 9., 10., 12., 14., 17., 18., 40. und 53. Tag nach der Geburt enucleiert und in Paraffin sowie in Kunststoff eingebettet.

Diejenigen Sektoren, die in Paraffin eingebettet wurden, wurden auf den üblichen Mikrotomen geschnitten. Die Bulbusteile, die wir nach BOELLARD und TH. HIRSCH (1959) in ein Kunststoffgemisch eingebettet hatten, wurden auf dem Spezialmikrotom K der Fa. Jung, Heidelberg, geschnitten; die Schnittdicke betrug 2—5 μ . Die Schnitte wurden wie folgt gefärbt: Azanfärbung (HEIDENHAIN), Resorcinfuchsin-Kernechtrot, Trichromfärbung in der Modifikation von GOLDNER, PAS-Reaktion, Alcianblau (nach LISON) und Hämalaun-Eosin.

Das osmiumfixierte, in ein Methyl-Butylmethacrylatgemisch eingebettete Material wurde mit dem Ultramikrotom von Porter-Blum geschnitten. Dünnschnitte von 0,5—1 μ wurden mit einem feinen Pinsel auf einen Objektträger übertragen und in einem Tropfen Aqua dest. aufgefangen. Im Thermostaten wurden die Schnitte dann bei 38°C getrocknet.

Da sich die in der Literatur für die Anfärbung von Dünnschnitten angegebenen Methoden an unserem Material nicht bewährten, haben wir die Schnitte nach einer von uns selbst erarbeiteten Methode gefärbt. Giemsa-Farblösung (Merck) wird im Verhältnis 10:1 mit Aqua dest. verdünnt. Um Niederschläge zu vermeiden, die besonders bei allzu starker Säuerung der verdünnten Farblösung in Form von rechteckigen, dunkelvioletten Plättchen auftreten, benutzten wir zur Verdünnung ein Aqua dest., das mit Hilfe des Puffergemisches nach Haden (Romeis) auf ein pH von 6,4 eingestellt war. Färbung und Nachbehandlung wurde in folgender Weise durchgeführt:

Einstellen der Schnitte in eine mit verdünnter Farblösung besetzte Färbewanne. — Färbezeit 4 Std in einem auf 47°C einregulierten Thermostaten. — Schwenken der Schnitte in einer mit Aqua dest. gefüllten Schale. — Einstellen der Schnitte in eine mit Aqua dest. gefüllte Schale, um kristalline Niederschläge der Puffersubstanzen auf dem Schnitt zu vermeiden. [Niederschläge treten meist bei Kaltwerden der Farblösung auf.] — Trocknen der Schnitte an der Luft. Trocknen die Schnitte nicht vollständig, bevor sie in Alkohol übergeführt werden, so lösen sie sich leicht ab. Differenzieren in 30% Alkohol (20—30 sec). Höherprozentige Alkohole lösen die Farbstoffe so schnell, daß ein kontrastreiches Bild nicht zu erreichen ist. — Trocknen der Schnitte, Xylol, Balsam.

Diese Färbemethode läßt sich nur bei in Methyl-Butylmethacrylatgemisch eingebettetem Material durchführen. In Vestopal eingebettetes Material färbt sich wohl auch an, allerdings wird hier das Einbettungsmittel in einem bläulichen Ton mittingiert, so daß die Gewebstrukturen weitgehend überdeckt werden. Vestopal muß daher vor der Färbung mit Hilfe eines Lösungsmittels extrahiert werden.

Ergebnisse

Die Struktur der Kammerbucht bei Kaninchen und Affen weist große Unterschiede auf. Bei *Meerkatzen* kann man am Filterwerk der Augenkammerbucht ein oberflächlich gelegenes, an die Vorderkammer angrenzendes, uveales Maschenwerk und ein corneosklerales Maschenwerk unterscheiden. Die nicht sehr zahlreichen Stränge des uvealen Gewebes steigen radiär von der Iriswurzel auf, teilen sich mehrfach dichotom und verbinden sich wieder auf kurzen Strecken miteinander. Sie heften sich größtenteils an die Lamellen des Trabeculum corneosclerale an. Die Fasern sind von einer einschichtigen Lage von Endothelzellen, die sich vom Corneaendothel ableiten, überzogen. Das Endothel sitzt einer an sauren Mucopolysacchariden reichen subendothelialen Hüllschicht auf. Diese Schicht stellt eine Fortsetzung der Descemet-

schen Membran dar, mit der sie histochemische und strukturelle Gemeinsamkeiten besitzt. In der von der subendothelialen Hüllschicht umgebenen Innenzone lassen sich Fasern verschiedener Qualität feststellen, wie

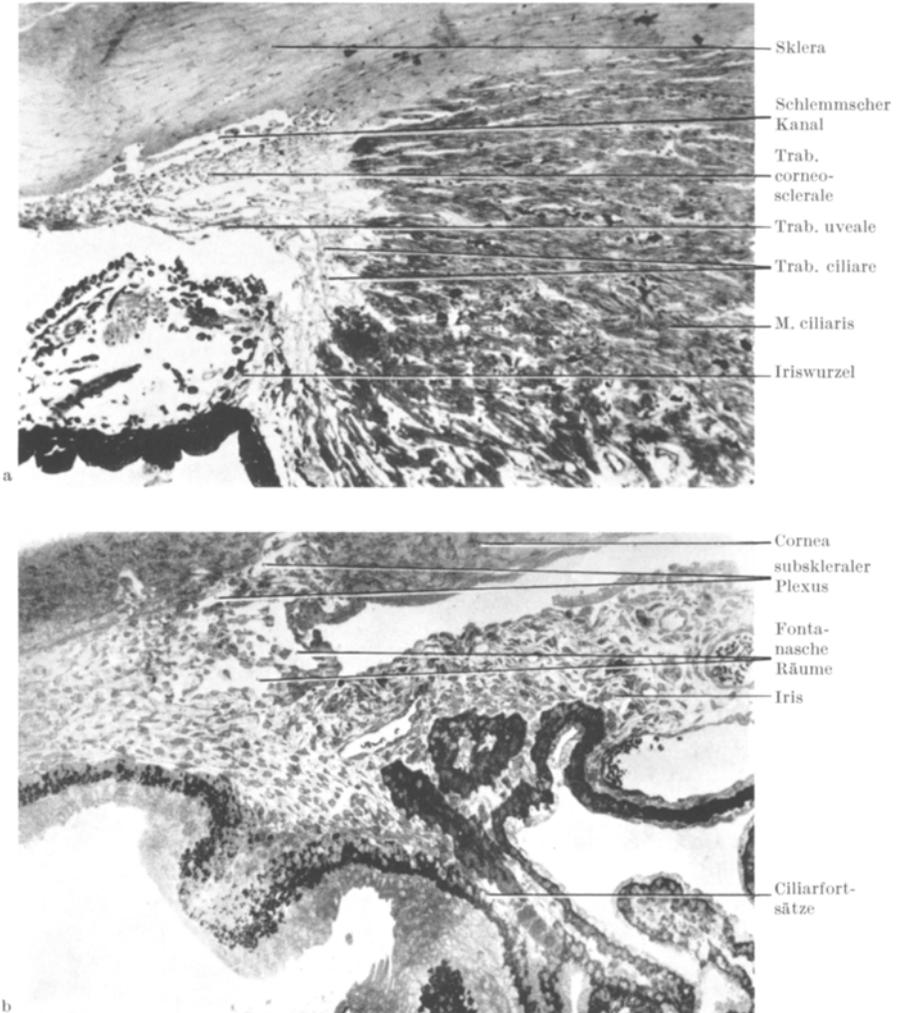


Abb. 1a u. b. Vergleich der Kammerwinkelregion bei *Cercopithecus aethiops* (a) und Kaninchen (b). (0,5 μ dicker Dünnschnitt nach Methacrylateinbettung. Giemsa-Färbung; Vergr. in a 79 \times , in b 160 \times)

kollagene und elastische Fasern, die in eine homogene Substanz eingebettet sind.

Das sogenannte Trabeculum corneosclerale erscheint auf dem Sagittalschnitt als ein fast rechteckiges, straff lamellär geordnetes Membransystem, das in eine Skleranische eingelassen ist (Abb. 1). Im

Gegensatz zum Trabeculum iridis handelt es sich nicht um einzelne Faserzüge, sondern um parallel zur Verlaufsrichtung der Corneosklera gestellte Membranen, die nur enge, interlamelläre Spalten zwischen sich freilassen. Die Lamellen haben denselben Innenbau wie die uvealen Trabekel.

Unmittelbar vor dem Schlemmschen Kanal verliert sich die lamelläre Struktur. In dieser Zone werden die Fasern feiner und bilden ein dreidimensionales, ungeordnetes Netz argyrophiler Fibrillen mit zahl-

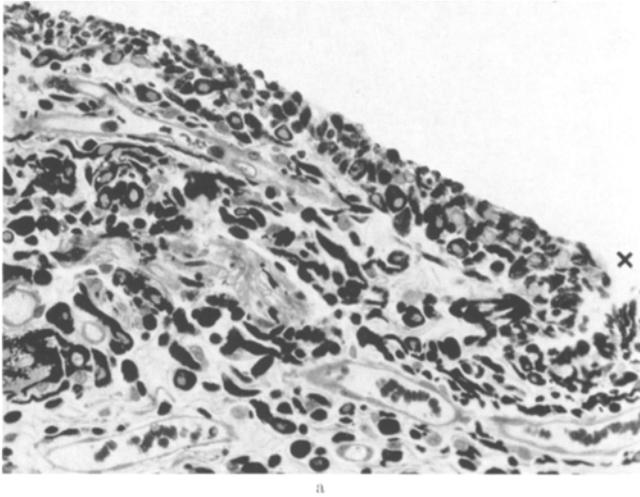


Abb. 2a—c. Vergleich der Irisstruktur bei *Cercopithecus aethiops* (a) und beim Kaninchen (b u. c). (0,5 μ dicke Dünnschnitte nach Methacrylateinbettung, Giemsa-Färbung, Vergr. in a 275 \times , in b 1150 \times (Ölimmersion), in c 224 \times). Bei Abb. 2a u. c handelte es sich um adulte Tiere, in Abb. 2b um ein 6 Tage altes, neugeborenes Kaninchen. Man beachte vor allem die unterschiedliche Struktur der Irisvorderfläche bei Affen und Rodentiern. Die Dünnschnitte zeigen deutlich das geschlossene Endothel der Irisoberfläche beim Kaninchen (b u. c). \times Krypte. \downarrow Mitose

reichen, größeren und kleineren Löchern. Die äußerste Schicht dieser Gewebsformation bildet die Innenwand des Schlemmschen Kanals.

Den hinteren Bereich der Kammerbucht nimmt das sogenannte Trabeculum ciliare ein. Es schiebt sich zwischen Trabeculum iridis und corneosclerale ein (Abb. 1). Dieses bei Meerkatzen äußerst schmale Band zwischen Ciliarmuskulatur und Kammerbucht besteht aus locker angeordnetem Bindegewebe. Die elastischen Fasern, die sich netzförmig zwischen den kollagenen ausbreiten, stellen zum großen Teil die Sehnen des Ciliarmuskels dar. Der Ciliarmuskel ist bei der Meerkatze stark entwickelt, so daß er fast vollständig den Raum zwischen Sklera und Ciliarepithel ausfüllt. Die Grundplatte ist daher schmal (Abb. 1). Auch im vorderen Bereich des Ciliarkörpers, an der Wurzel der Ciliarfortsätze, kann von einer umfangreichen Grundplatte nicht gesprochen werden. Die Muskulatur selbst ist auffallend kompakt und feinfaserig. Das

intermuskuläre Bindegewebe ist spärlich entwickelt, oft sind nur schmale, durch einzelne Chromatophoren markierte Gefäßnervenstraßen zu sehen (Abb. 1). Nur im Bereich der zirkulären Portion können die Fasern stär-

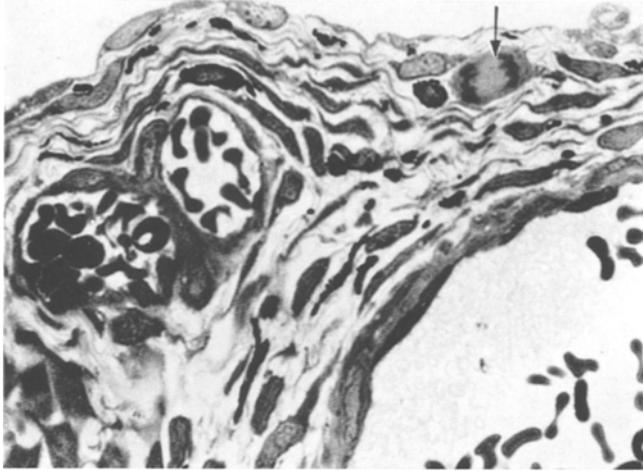


Abb. 2b

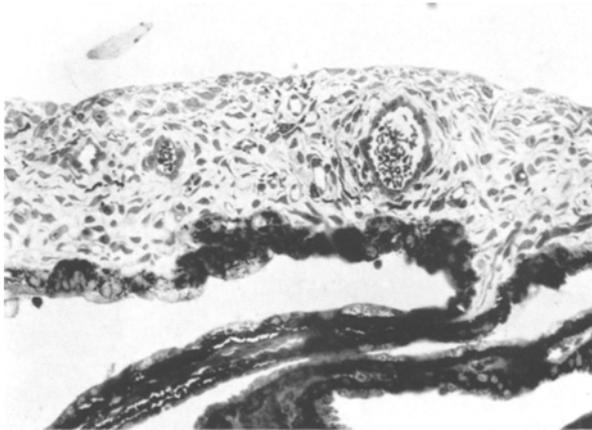


Abb. 2c

ker auseinandertreten und dem interstitiellen Bindegewebe mehr Raum lassen.

Die Iriswurzel ist bei Meerkatzen dünn (Abb. 1). Das Vorderblatt wird durch die sogenannte vordere Grenzschicht von der Vorderkammer abgegrenzt. Diese Schicht, die sich in ihrer Faserarchitektur und im histochemischen Verhalten vom angrenzenden Stroma unterscheidet, ist kräftiger pigmentiert (Abb. 2). Das Pigment liegt entweder in runden, isolierten Zellen mit auffallend großen Kernen oder in netz-

artig verbundenen Chromatophoren, die im Stroma eingelagert sind und dessen Struktur nachahmen. Zur Vorderkammer wird die Iris durch eine einschichtige Endothellage abgegrenzt; allerdings ist der epitheliale Verband häufig unterbrochen, so daß die Abgrenzung unvollständig ist (Abb. 2a). In diesen Bereichen wölben sich Pigmentzellen nach außen vor.

Die intensiv perjodatreaktive Descemetsche Membran splittert sich in Höhe des Trabekelwerkes in feinste Lamellen auf, die auf die Trabekel übergehen. Das Corneaendothel steht in kontinuierlicher Verbindung mit dem Zellsystem des Trabekelwerkes. Im Übergangsbereich lassen sich mehrere Besonderheiten feststellen: häufig ist das Endothel verdickt, und es entstehen Zellkonglomerate, die in den Vertiefungen der sich ausbreitenden Trabekel liegen (Abb. 3b). Diese Zellen, die durchweg kleiner als die angrenzenden Trabekel- und Corneaendothelien sind, besitzen einen kleinen, stark basophilen und chromatinreichen Kern. Auch das Cytoplasma ist basophil. Da in diesem Bereich auch Mitosen auftreten, werden diese Zellen als Proliferationsorte, als Nachschub für das Cornea- und Trabekelendothel betrachtet (ROHEN, 1964).

Die Struktur der Kammerbucht ist beim *Kaninchen* wesentlich von derjenigen der Meerkatze verschieden. Das Filterwerk ist hier mehr lockermaschig und retikulär aufgebaut (Abb. 4 u. 5).

Der Ciliarmuskel ist nur gering entwickelt und liegt mehr im hinteren Drittel des Ciliarkörpers. Er besteht ausschließlich aus meridional ausgerichteten Fasern, die sich im mittleren Drittel meist besenreiserartig aufsplintern (Abb. 4b). Die Sehnen gehen in das uveale Gerüst oder in die angrenzende Sklera über. Dadurch wird der Ciliarkörper sowohl in antero-posteriorer Richtung als auch von innen nach außen deutlich in zwei Abschnitte geteilt (Abb. 8a).

Im vorderen Bereich der Kammerbucht entfalten sich im Unterschied zur Meerkatze mächtige Lig.-pectinatum-Stränge, die bogenförmig in mehreren Reihen hintereinander die Kammerbucht umgreifen und tief in den Ciliarkörper eindringen. Zwischen den kräftigen Strängen liegen die sogenannten Fontanaschen Räume. Die Lig.-pectinatum-Stränge gehen aus den Faserbündeln der Iriswurzel hervor und werden teilweise von Ausläufern der Descemetschen Membran umhüllt. Auch das Corneaendothel geht auf die Stränge über. Es erscheint an Dünnschnitten an dieser Stelle meist vacuolisiert.

In der Tiefe der Fontanaschen Räume treten dann kollagenfaserige Zellstränge, die hauptsächlich aus retikulären Zellen bestehen, auf. Die länglichen Zellen zeigen zahlreiche Fortsätze und einen rundlichen Kern. Der Kern ist chromatinarm und läßt für das stark basophile Cytoplasma nur eine schmale Randzone frei. Durch den lockeren Zusammenhang

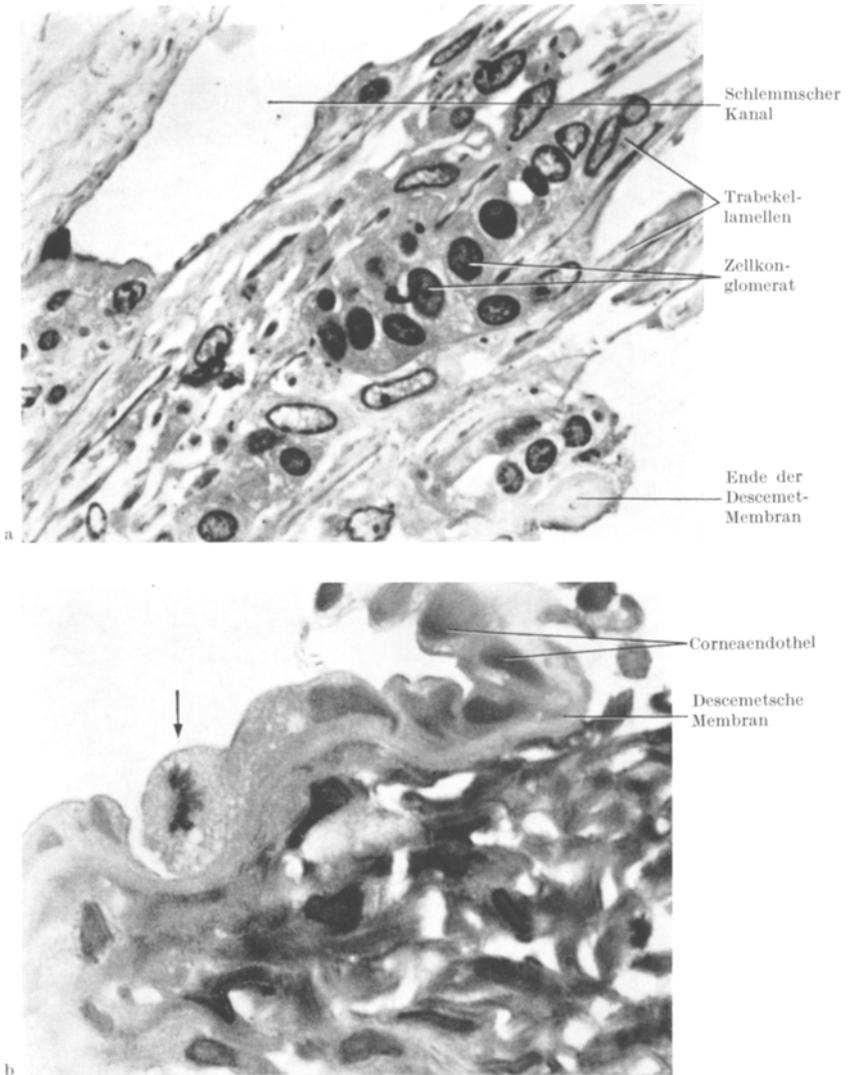


Abb. 3a u. b. Vergleich der Übergangzone der Cornea in die Kammerwinkelregion bei *Cercopithecus aethiops* (a) und Kaninchen (b) (Ultradünnschnitte nach Methacrylateinbettung und Giemsa-färbung, Vergr. in a $1000\times$ (Öl-immersion), in b $1550\times$ (Öl-immersion). Man beachte die Anhäufung basophiler, kleinkerniger Zellen im Bereich der Corneaperipherie und in der Nähe des Schlemmschen Kanals bei *Cercopithecus aethiops* sowie die Mitosen im Corneaendothel (Pfeil)

zwischen den Zellen und ihren Ausläufern entsteht ein großmaschiges Reticulum (Abb. 4a, 5b).

Im hinteren Bereich der Fontanaschen Räume treten die Zellen näher aneinander. Die im vorderen Bereich locker nebeneinander

liegenden, kollagenen Fasern werden hinten zahlreicher. Weiter innen formiert sich ein mehr straffes Bindegewebe mit vorwiegend äquatorial

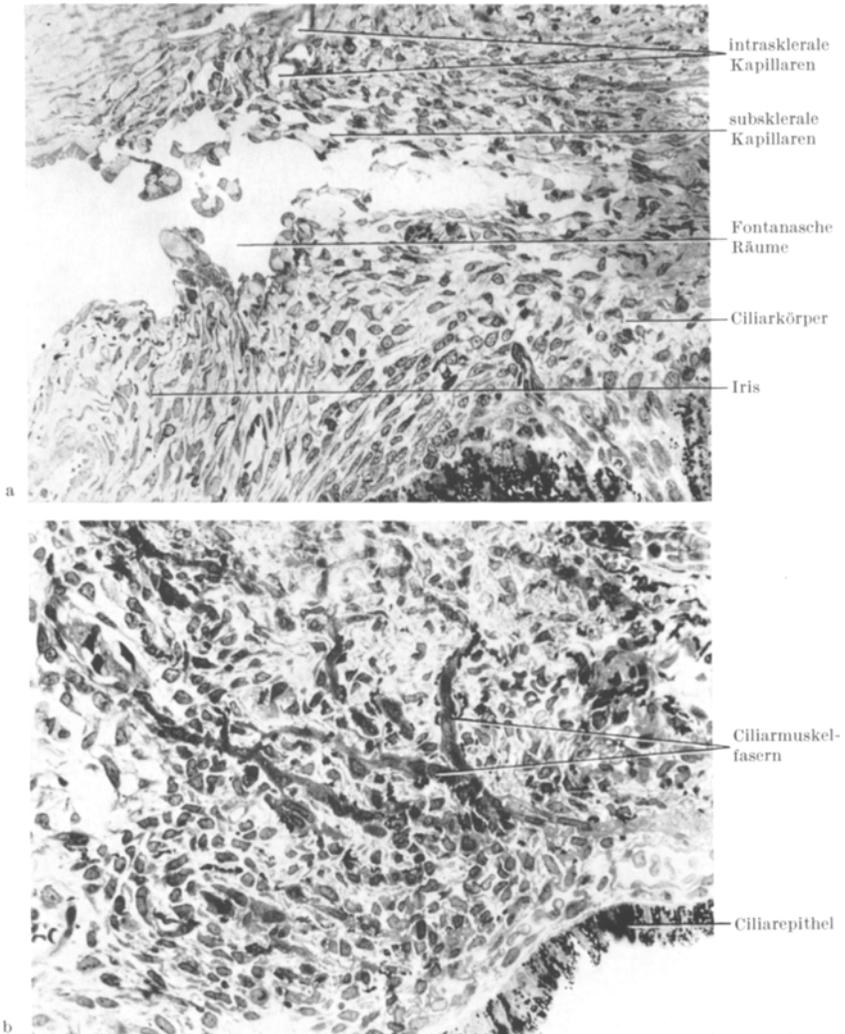


Abb. 4 u. b. Sagittalschnitte durch die Regionen der Kammerbucht und des Ciliarkörpers beim Kaninchen (Ultradünnschnitte, Giemsa-Färbung, Vergr. in a $325\times$, in b $375\times$). Der Ausschnitt der Abb. a stammt aus dem vorderen Bereich des Ciliarkörpers, derjenige der Abb. b aus dem hinteren Teil

angeordneten Faserbündeln. Die Übergänge zum Grundplattengewebe sind fließend.

Das eigentliche Filtergewebe besteht aus einem dreidimensionalen Netz retikulärer Zellen. Die intercellulären Zwischenräume werden von einer

mucopolysaccharidreichen, teilweise wasserlöslichen Substanz ausgefüllt und von kollagenen sowie argyrophilen Fasern durchsetzt. Ein Schlemm-

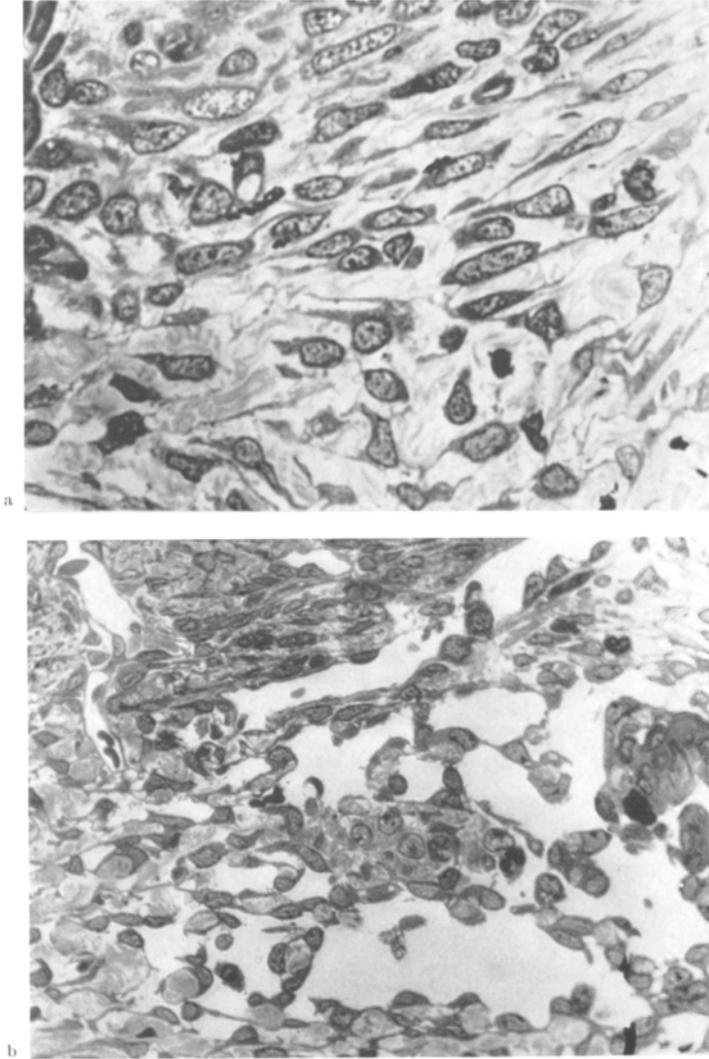
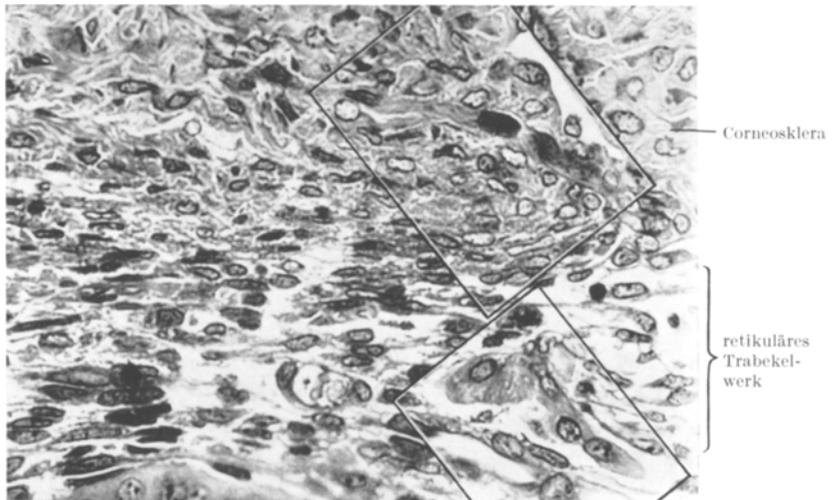


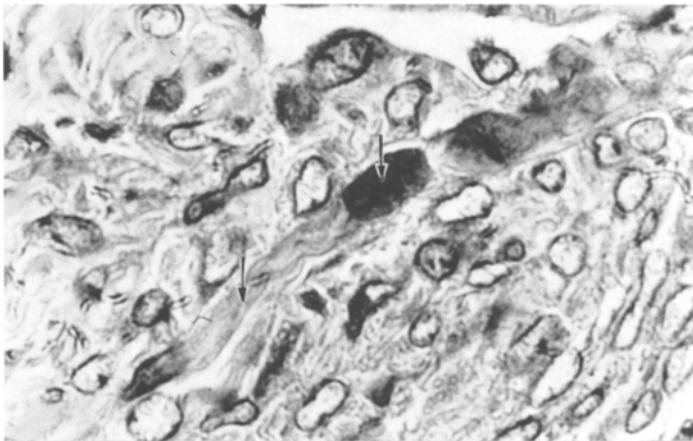
Abb. 5a u. b. Sagittalschnitte durch das retikuläre Trabekelwerk eines neugeborenen (a) und erwachsenen Kaninchens (b). Ultradünnschnitte nach Methacrylateinbettung, Giemsa-Färbung, Vergr. in a 100 \times , in b 620 \times

schers Kanal wie bei der Meerkatze besteht nicht. Von einem intraskleralen, teilweise auch subskleral gelegenen, venösen Plexus gehen kleine, capillarartige Schlingen aus, die sich in das retikuläre Filterwerk

vorstülpen (Abb. 8, 9). Das Kammerwasser durchströmt also beim Kaninchen kein kompliziert gebautes, lamelläres Trabekelsystem, sondern ein einfaches, retikuläres Filterwerk. Die Capillaren des intra-



a



b

Abb. 6a u. b. Sagittalschnitte durch den kammerbuchtnahen Abschnitt des Ciliarkörpers und der Sklera von einem 3 Tage alten Kaninchen (Ultradünnschnitte nach Methacrylateinbettung, Giemsa-färbung, Vergr. in a $620\times$, in b $1380\times$, in c $1900\times$). Die Rechtecke geben die in Bild b u. c wiedergegebenen Ausschnitte an. Man beachte das Fehlen von „Strömungskanälchen“ und Fontanaschen Räumen sowie die zellreichen Capillarsprossen (Pfeile) in Sidera und Kammerwinkel

und subskleralen Plexus sind regelmäßig mit Blutbestandteilen gefüllt. Im Gegensatz zum Schlemmschen Kanal, in dem unter normalen Bedingungen niemals Blut auftritt, stellen diese Gefäße also Abschnitte eines capillaren Systems dar (vgl. auch RUSKELL, 1961).

Die subskleralen Capillaren haben keinen unmittelbaren Kontakt mit der Kammerbucht oder mit den Fontanaschen Räumen (Abb. 5b). Diesen vermitteln kleinere „Strömungskanälchen“, die sich im retikulären Filterwerk befinden. Im Bereich dieser Kanälchen fehlt die sonst zwischen den Reticulumzellen vorhandene homogene Inter-cellularsubstanz. Die Strömungskanälchen stellen jedoch keine Gefäße mit eigener Wandung dar; vielmehr begrenzen die Reticulumzellen des Filterwerks diese Strömungsstraßen, ohne sich zu einer geschlossenen

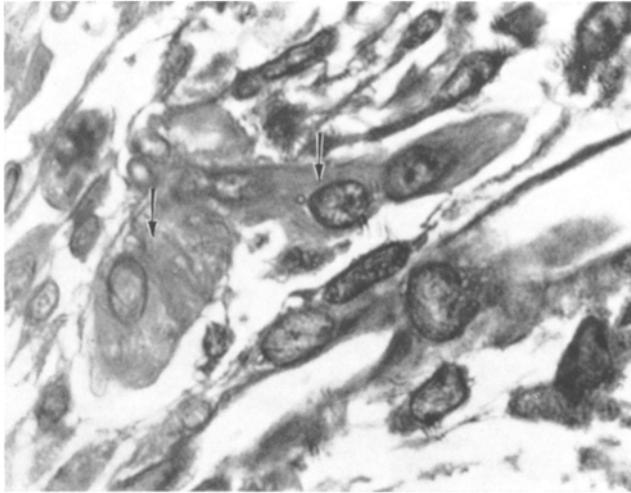


Abb. 6c (Legende s. S. 208)

Wandung zu formieren. Die Kanälchen ähneln daher mehr den Sinus der großen lymphatischen Organe als Capillaren.

Die Iris des Kaninchens besitzt im Gegensatz zu der der höheren Affen eine vollständige, endotheliale Abgrenzung ihrer Vorderfläche (Abb. 2b). Eine dichter pigmentierte vordere Grenzschicht wie bei der Meerkatze ist jedoch nicht zu erkennen. Die Stromazellen sind relativ gleichmäßig verteilt. Eine zellfreie, homogene Adventitiahülle an den Gefäßen fehlt (Abb. 2b und c). Verzweigte Chromatophoren durchsetzen in regelmäßiger Verteilung das Stroma und ahmen dessen Bindegewebsarchitektur nach.

Die postnatale Entwicklung der Kammerbuchtgewebe beim Kaninchen

Am 3. Tage nach der Geburt zeigt die Kammerbucht des Kaninchenauges noch ein ganz undifferenziertes Aussehen. Die Zweiteilung des Ciliarkörpers in einen Lig.-pectinatum-Abschnitt vorn und einen Ciliarmuskelabschnitt hinten ist noch nicht vorhanden. Fontanasche Räume fehlen. Ebenso wenig läßt sich das als schmales Band unmittelbar unter der Sklera liegende Filterwerk abgrenzen. Der primitive Kammerwinkel

ist erfüllt von einem engmaschigen Netz retikulärer Zellen. Die meist in meridionaler Richtung angeordneter Zellen bilden eng zusammenliegende Zellreihen, die parallel zur Sklera verlaufen (Abb. 5a). Mitosen sind nicht selten anzutreffen. Die Grenze zwischen diesem retikulären Zellverband und dem Skleragewebe ist schwer festzulegen, da die äußerst eng gelagerten, turgeszenten Zellen der Sklera denen der primi-

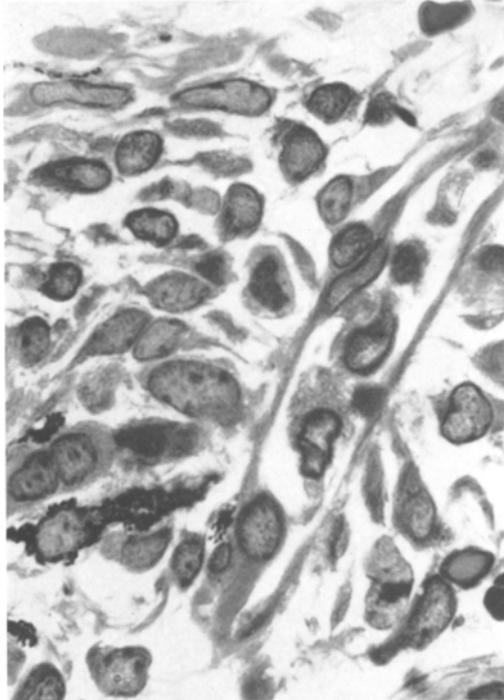


Abb. 7. Sagittalschnitt durch das Filtergewebe der Kammerbucht eines 7 Tage alten Kaninchens mit einer Capillare des subskleralen Plexus, die im Begriff zu sein scheint, ihr Lumen zu bilden (Ultradünnschnitt nach Methacrylateinbettung, Giemsa-Färbung. Vergr. 1270 ×)

tiven Kammerbucht sehr ähnelt. Die Zwischensubstanz des retikulären Zellverbandes der Kammerbucht ist zunächst nur spärlich ausgebildet.

Charakteristisch für diese Entwicklungsstufe ist, daß sich das dem Kammerwasserabfluß dienende Gefäß- und Kanälchensystem noch in Ausbildung befindet. In der Sklera sieht man einige enge, meist meridional verlaufende Gefäße. Eine eigene adventitielle Wandabgrenzung ist nicht vorhanden. Von diesen Gefäßen, die wir als intrasklerale Gefäße bezeichnen können, gehen kleinere Zweige zur Kammerbucht hin ab. Verbindungen dieser Gefäße mit dem retikulären Zellsystem der Kammerbucht sind noch nicht festzustellen. Neben diesen wenigen ausdifferenzierten Gefäße treten zahlreiche noch uneröffnete, lumenlose Zellstränge, die solide Capillarsprossen darstellen. (Abb. 6). Die Stränge enthalten

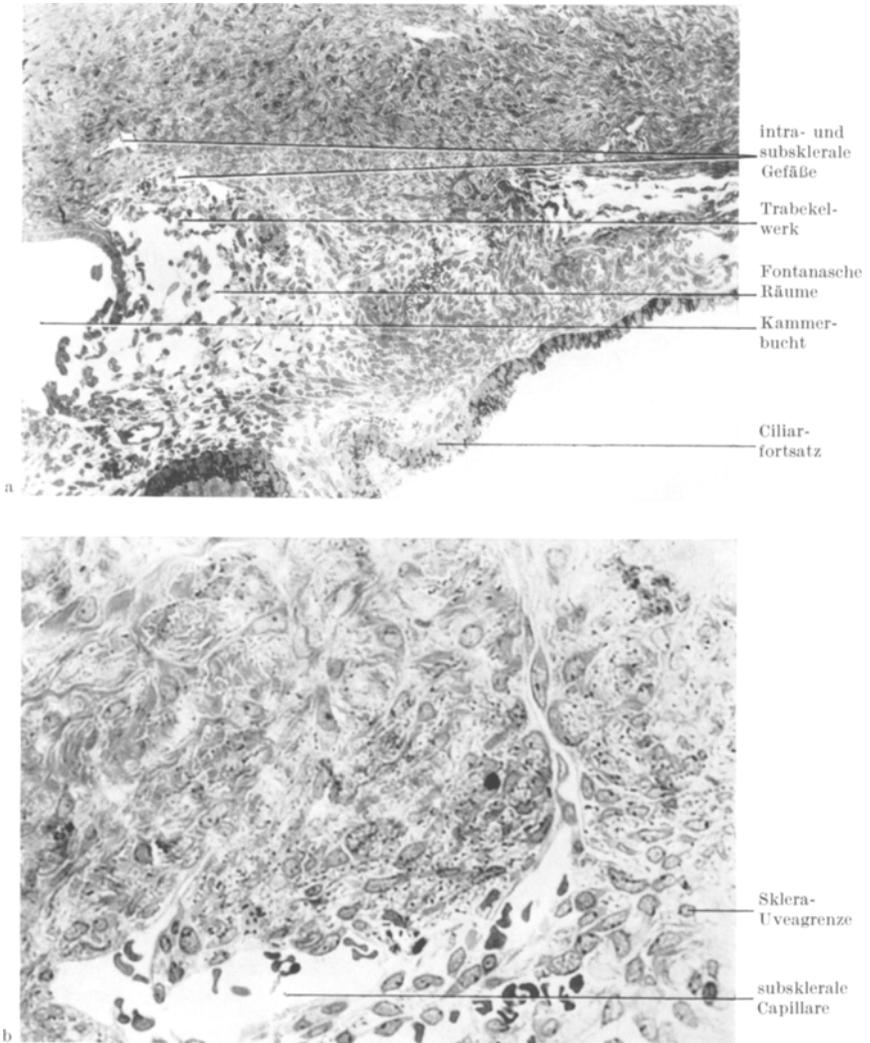


Abb. 8. a Sagittalschnitt durch die Kammerwinkelregion eines 7 Tage alten Kaninchens (Technik wie bei Abb. 1—7, Vergr. 160×). Die Fontanaschen Räume und Strömungskanälchen sind voll-differenziert, der Kammerwinkel ist „eröffnet“. b Ausschnittvergrößerung aus dem skleranahen Grenzbereich des Filtergewebes bei einem 7 Tage alten Kaninchen zur Darstellung der subkleralen Capillaren (Technik wie bei a, Vergr. 580×)

große Kerne, die sich deutlich von den Fibroblastenkernen des Skleragewebes abheben. Auch im retikulären Zellsystem der Kammerbucht sind zu diesem Zeitpunkt Capillarsprossen zu sehen. Sie nehmen innerhalb des retikulären Zellverbandes oft bizarr gestaltete Formen an (Abb. 6a, c).

Zwischen dem 4.—6. Tag nach der Geburt ändert sich das Bild etwas. Die soliden Capillarstränge des vorderen Ciliarkörpers, der Iriswurzel

und Sklera zeigen jetzt Lumina. In der Gegend der späteren Fontanaschen Räume bereitet sich eine Umordnung des retikulären Zellverbandes vor; indem die spindeligen Zellen mehr Fortsätze ausbilden und voneinander abrücken. Die parallel stehenden Zellreihen formen sich also zu einem retikulären, dreidimensionalen Netzwerk um. In Serien-

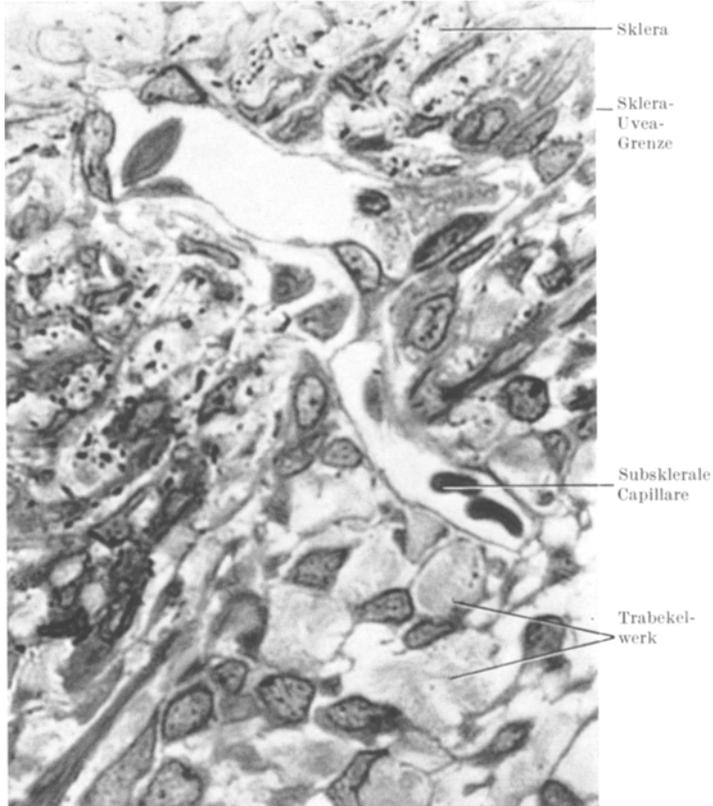


Abb. 9. Sklera und angrenzendes Filterwerk von einem 9 Tage alten Kaninchen (Ultradünnschnitt nach Methacrylateinbettung, Giemsa-färbung, Vergr. 1370 \times , Ölimmersion). Man beachte die im retikulären Filtergewebe gelegene, subsklerale Capillarschlinge, deren Wandung von den uvealn Reticulumzellen mit aufgebaut wird

schnitten zeigt sich, daß diese Umordnung nicht in allen Sektoren gleichzeitig abläuft. Um diese Zeit sieht man zahlreiche Mitosen in den Geweben der primitiven Kammerbucht. Die auf die Irisstränge sich fortsetzenden Corneaendothelien sind sehr hoch. Der Kern ist basophil. Auch hier treten Mitosen auf.

Vom 7.—9. Tage nach der Geburt vollzieht sich die definitive Ausgestaltung der Kammerbucht. Die Gefäßsprosse der intraskleralen und subskleralen Gefäße ist so weit fortgeschritten, daß nunmehr von einem eröffneten, funktionsfähigen Capillarpexus im Filtergewebe und innerhalb der Sklera gesprochen werden kann (Abb. 8, 9). Diese sinus-

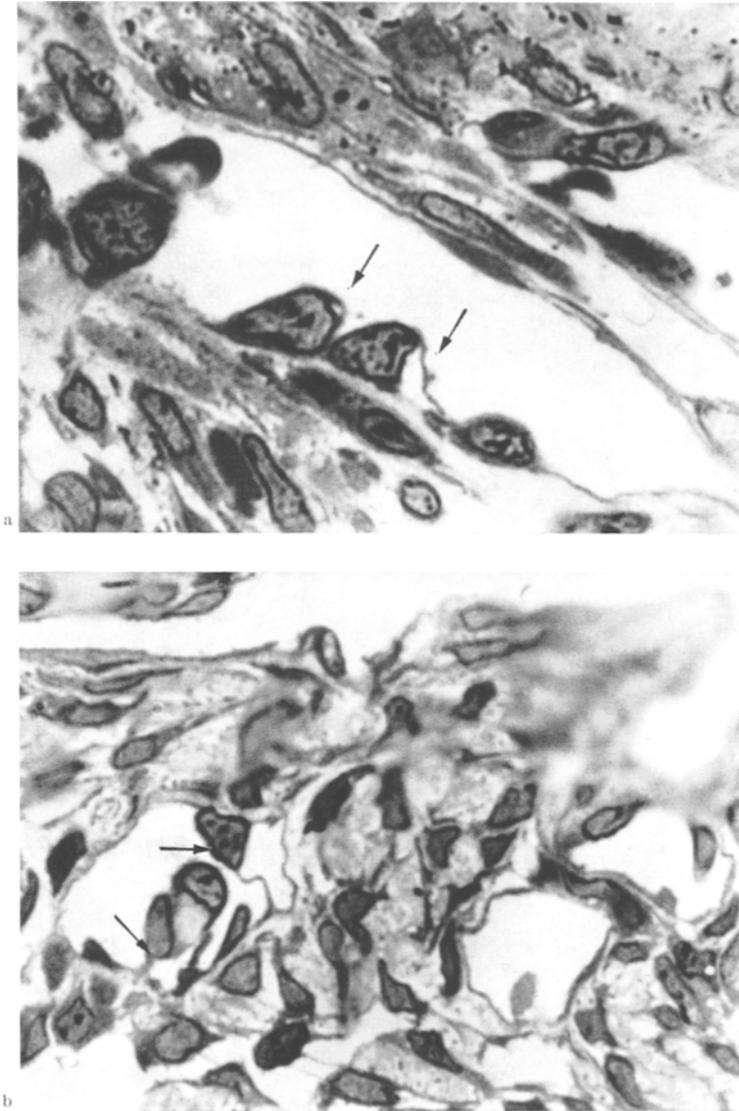


Abb. 10a u. b. Querschnitte durch subsklere Capillarschlingen des retikulären Filterwerkes der Kammerwinkelregion von 9 Tage alten (a) und 10 Tage alten (b) Kaninchen (Technik wie in Abb. 1, Vergr. a 1950 \times , b 1750 \times). Man beachte die vollständige Einlagerung der Capillaren in das retikuläre Filtergewebe und die vacuolisierten Capillarendothelien (Pfeile)

artigen Capillarräume, die wir als subsklere Plexus bezeichnen möchten, bilden sich dadurch, daß die unter der Sklera gelegenen, soliden Zellstränge hohl werden und außen von Reticulumzellen begrenzt werden. Die äußere Wand der subsklere Capillaren bildet also das Filtergewebe selbst (Abb. 9).

An querschnittenen Capillaren sieht man häufig stark in das Lumen vorspringende Kerne und Zellen mit rundlichen, großen Vacuolen (Abb. 10). Die subskleralen Capillarschlingen werden vielfach durch Zonen getrennt, in denen die Reticulumzellen mit einer homogenen, mucopolysaccharidreichen Zwischensubstanz einen kompakten Gewebsverband bilden. Daneben treten aber jetzt auch Zonen auf, in denen die Zwischensubstanz fehlt und die Reticulumzellen kanälchenartige Hohlräume umgrenzen. Erstmals werden die Fontanaschen Räume sichtbar (Abb. 8). Die Zweiteilung des Ciliarkörpers ist damit konstituiert.

Vom 9. Tage nach der Geburt an sind die Kammerbuchtgewebe praktisch so gestaltet, wie wir es vom erwachsenen Tier kennen. Nur noch ganz vereinzelt findet man Mitosen. Capillarsprossen treten jetzt nicht mehr auf.

Diskussion

Überblicken wir die morphologischen Verhältnisse der Kammerbucht von Meerkatzen und Kaninchen, so ergeben sich bei beiden Arten grundsätzliche Unterschiede. ROHEN hat diese Unterschiede 1959 genauer beschrieben und mit evolutiven Vorgängen in Zusammenhang gebracht. Danach repräsentieren die Strukturverhältnisse in der Kammerbucht der Primaten einen höher differenzierten Zustand, während bei Rodentia und anderen Säugern primitivere Strukturverhältnisse vorliegen (vgl. auch RUSKELL, 1961).

Es liegt nun die Annahme nahe, daß sich das trabeculäre Lamellensystem der Primaten gegenüber dem primitiveren, retikulären Filterwerk in der Kammerbucht des Kaninchens auch während der postnatalen Entwicklung in unterschiedlicher Weise ausdifferenziert. Leider stand uns für diese Frage noch kein Primatenmaterial zur Verfügung, jedoch waren die Untersuchungen am Kaninchenauge ganz aufschlußreich.

Die die Kammerbucht des Kaninchens bildenden Gewebe sind nach der Geburt noch nicht voll ausgebildet. Wie unsere Untersuchungsbefunde zeigen, setzt die Entwicklung des subskleralen Gefäßsystems im wesentlichen erst nach der Geburt ein. Auch die Eröffnung der im vorderen Ciliarkörper und in der Iriswurzel liegenden präformierten Gefäßsprossen fällt in die Zeit nach der Geburt. Die Capillarisation der Sklera und der subskleralen Abschnitte des Filtergewebes erfolgt nicht gleichzeitig, vielmehr entwickelt sich zuerst das intrasklerale Capillarnetz etwa zwischen dem 3.—6. Tag postnatal. Die anfangs zu beobachtenden soliden Zellbänder, die immer mit großen, ovalen Kernen besetzt sind, bilden erst allmählich Lumina aus. Erst vom 7. Tage an, an dem die skleralen Gefäße bis zur uvealen Grenzfläche eröffnet sind, erscheinen dann auch eröffnete Capillarschlingen und Strömungskanälchen im

Reticulum des Filterwerkes selbst. Unmittelbar unter der Sklera entstehen schlingenartige, subsklerale Gefäße, die sich mit den aus der Sklera kommenden verbinden. Dagegen treten die intraretikulären Strömungskanälchen erst zwischen dem 7.—9. Tag im Filterwerk auf.

Der Bau der subskleralen Capillarschlingen und der Strömungskanälchen weist Besonderheiten auf. Biegen die skleralen Gefäße in das retikuläre Zellsystem des Filterwerkes ein, so ändert sich deren Wandaufbau. Die Capillarwand wird von Zellausläufern der umgebenden Reticulumzellen mit eingeschleitet. Die an den Grenzflächen liegenden Endothelzellen sind vielfach vacuolisiert. Die Reticulumzellen beteiligen sich am Aufbau der Gefäßwand. Die Frage, ob die im Filterwerk liegenden Capillaren Öffnungen oder Poren besitzen, also frei mit dem umliegenden Reticulum kommunizieren, ist an Ultradünnschnitten nicht zu klären. Die vacuolisierten Zellen gleichen jedoch in vielem denjenigen der Innenwand des Schlemmschen Kanals höherer Affen (HOLMBERG, 1960; ROHEN, 1961, 1964).

Die im Filterwerk auftretenden Gefäße, die sich durch die beschriebene, spezifische Wandstruktur auszeichnen, entstehen vermutlich nicht aus den Gefäßsprossen der skleralen und ciliaren Gefäße, sondern größtenteils durch eine vom 6. Tag an beginnende Umordnung der Reticulumzellen im Filterwerk selbst. Am 7.—9. Tag p. n. sind alle mit der Kammerwasserzirkulation in Zusammenhang stehenden Strukturen differenziert. Das Kammerwasser fließt dann über die Strömungskanälchen und die subskleralen Capillarschlingen in die intraskleralen Gefäße ab.

Diese Befunde stimmen gut mit den biochemischen Ergebnissen von KINSEY et al., (1945) überein, wonach die Kammerwassersekretion beim Kaninchen zwischen dem 7.—9. Tag einsetzt. Die beobachtete Umordnung der Reticulumzellen, die Entstehung der Strömungskanälchen, das Auftreten der eröffneten subskleralen Capillaren sowie die Entfaltung der Fontanaschen Räume treten mehr oder weniger zum gleichen Zeitpunkt auf.

Es ist daher sehr wahrscheinlich, daß das Auftreten von Strömungsstraßen innerhalb des zuerst ganz kompakt angelegten retikulären Gewebes der Kammerbucht des Kaninchenauges mit dem Einsetzen der Kammerwasserzirkulation in Zusammenhang zu bringen und auf diese Weise Sekretions- und Abflußmechanismen zeitlich miteinander korreliert sind. Die schrittweise postnatale Differenzierung der Kammerbuchtgewebe beim Kaninchen ist ein für den primitiveren Strukturzustand dieser Region charakteristischer Befund, der wahrscheinlich mit dem Nesthockertum und der verspäteten Ausbildung des Sehapparates im ganzen in Zusammenhang gebracht werden muß.

Zusammenfassung

An Ultradünnschnitten nach Methacrylateinbettung wird die Morphologie der Gewebe der Kammerbucht des Auges von Meerkatzen und Kaninchen neu untersucht und miteinander verglichen. Beim Kaninchen erreicht das Kammerwasser über die Fontanaschen Räume ein retikuläres Maschenwerk (Filterwerk), in dem „Strömungskanälchen“ besonderer Bauweise vorhanden sind. An der Skleragrenzfläche existiert ein subskleraler Gefäßplexus, der mit schlingenartigen Capillaren in das retikuläre Filterwerk hineinragt.

Beim Kaninchen wird auch die postnatale Entwicklung der Kammerbuchtgewebe mit der gleichen Methodik untersucht und festgestellt, daß das Filtergewebe bei der Geburt morphologisch noch nicht ausdifferenziert ist. Bis zum 6. Tag p.n. finden sich zahlreiche kompakte Capillarsprossen in Sklera und Kammerwinkel, die erst in den folgenden Tagen Lumina bekommen. Zwischen dem 7.—9. Tag nach der Geburt vollzieht sich eine Umgruppierung innerhalb der Kammerbuchtgewebe. Es treten Fontana'sche Räume, Strömungskanälchen und weitlumige, subsklerale Capillaren auf. Es wird angenommen, daß um diese Zeit bei den Nesthockern die Kammerwasserzirkulation in Gang kommt.

Summary

The morphology of the chamber angle in vervets and rabbits was investigated in ultrathin sections embedded in methacrylate. The structure of the aqueous-outflow systems in the two species was compared. In the rabbit the aqueous humour traverses the Fontana's spaces to a "reticular meshwork" which contains small aqueous channels of a specific type. On the scleral border there is a plexus of small blood vessels which forms capillary loops into the reticular meshwork.

The postnatal development of the chamber angle tissues was investigated with the same methods; it was found that these tissues are not fully differentiated at birth. Until the 6th day after birth there are numerous capillary sprouts in the area of the sclera and the chamber angle which open during the following days. Between the 7th and 9th day after birth the organization of the various tissues in the chamber angle is modified. The spaces of Fontana; the small aqueous channels within the reticular meshwork and the subsceral capillaries appear for the first time. It is assumed that during this period the aqueous humour begins to circulate in the insessorial rabbit, whereas in the vervet, the structure of the chamber angle is probably completed and functioning immediately after birth.

Literatur

- FLOCKS, M.: The pathology of the trabecular meshwork in primary open angle glaucoma. *Trans. Amer. Acad. Ophthal. Otolaryng.* **62**, 556—577 (1958).
- HOLMBERG, Åke S.: The fine structure of the ciliary epithelium and its relationship to aqueous secretion. *Glaucoma, Transact. IV. Conf. 1959*, p. 179—202. New York: Macy Foundation 1960.
- KINSEY, V. E., B. JACKSON, and T. L. TERRY: Development of secretory function of ciliary body in the rabbit eye. *Arch. Ophthal.* **34**, 415—417 (1945).
- ROHEN, J. W.: Kammerwinkelstudien. *Albrecht v. Graefes Arch. Ophthal.* **158**, 310—325 (1957). *Anatomie des Auges*. In: *Der Augenarzt, Lehrbuch der Ophthalmologie in 4 Bänden*, hrsg. von Prof. K. VELHAGEN, Bd. 1, S. 1—123. Leipzig: Georg Thieme 1958.
- Besonderheiten des Schlemmschen Gefäßplexus. *Verh. Anat. Ges.* 56. Verslg Zürich 1959. *Anat. Anz., Suppl.* **106/107**, 298—308 (1959).
- Morphology and pathology of the meshwork. In: *Symposium: The structure of the eye*, ed. by G. K. SMELSER. New York, Academic Press 1961.
- Morphologische Veränderungen des Auges bei experimentell erhöhtem Innendruck. *Verh. Anat. Ges.* 57. Verslg 1961. *Erg.-H. zu Bd. 111 des Anat. Anz.*, S. 293—297 (1962).
- Das Auge und seine Hilfsorgane. In: *Handbuch der mikroskopischen Anatomie*, begründet von W. v. MÖLLENDORFF, fortgeführt von W. BARGMANN, Bd. III/4. Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer 1964.
- , u. H. H. UNGER: Feinbau und Reaktionsmöglichkeiten des Trabekelwerkes im menschlichen Auge. *Anat. Anz.* **104**, 287—297 (1957).
- Zur Morphologie und Pathologie der Kammerbucht des Auges. *Abh. Mainzer Akad. Wiss., math.-nat. Kl., H. 3*. Wiesbaden: Steiner-Verlag 1959.
- RUSKELL, G. L.: Aqueous drainage paths in the rabbit. A neoprene latex cast study. *Arch. Ophthal.* **66**, 861—870 (1961).

Prof. Dr. J. W. ROHEN
 Lehrstuhl I, Anatomisches Institut der Philipps-Universität
 355 Marburg a. d. Lahn, Robert-Koch-Str. 6