

Aus dem Anatomischen Institut der Johannes Gutenberg-Universität Mainz  
(Direktor: Prof. Dr. med. et phil. A. DABELOW)

### **Kammerwinkelstudien\***

#### **Zur funktionellen Struktur des Ciliarkörpers einiger Versuchstiere und des Menschen**

Von

**JOHANNES ROHEN**

Mit 6 Textabbildungen

Nachdem kürzlich festgestellt werden konnte, daß beim Menschen die vorderen Sehnen der Ciliarmuskulatur (besonders der meridionalen Faserzüge) in das Bodennetz des SCHLEMMschen Kanals, bogenförmig übergehen (ROHEN 1956) und damit sicher einen funktionellen Einfluß auf das Trabeculum corneo-sclerale und den Kammerwasserabfluß gewinnen, interessierte uns die Frage, wieweit sich ähnliche Verhältnisse auch bei höheren Säugern nachweisen lassen, um daraus die Möglichkeit einer funktionellen Prüfung dieser Strukturen zu gewinnen. Überraschenderweise zeigten dabei die untersuchten Tiere zum Teil so abweichende Verhältnisse im Aufbau ihrer Ciliarkörperformation sowie des Kammerwinkels, daß eine unmittelbare Vergleichung mit den menschlichen Strukturen, mit Ausnahme der Primaten, zunächst nicht möglich erschien.

Dennoch lassen sich alle Beobachtungen zwanglos in ein Gesamtbild einordnen, das in Andeutungen LAUBER (1901) schon einmal skizziert hat. Es besteht nämlich die interessante Tatsache, daß der uns beim Menschen so einheitlich erscheinende Ciliarkörper ursprünglich zweigeteilt war, nämlich in einen vorderen, mit der Iris zusammenhängenden Teil, der große, kammerwasserführende Maschenräume besitzt, und einen, weiter hinten gelegenen Abschnitt, der hauptsächlich aus einer zusammenhängenden Bindegewebsmasse und der Ciliarmuskulatur besteht (Abb. 1). Diese Trennung ist funktionell, denn der hintere Teil dient der Akkommodation, der vordere dagegen der Kammerwasserzirkulation. Man könnte dazu noch einen dritten Abschnitt unterscheiden, die Ciliarfortsätze als Ort der Kammerwasserproduktion. Doch soll davon in diesem Zusammenhang abgesehen werden.

Diese Spaltung des Ciliarkörpers, die nach LAUBER innerhalb der Wirbeltierreihe bei Vögeln ihren Höhepunkt erreicht, wird nun bei den Säugern allmählich aufgegeben; und man kann zeigen, daß es hauptsächlich die Massenzunahme der Muskulatur ist, die den Ciliarkörper vereinheitlicht (s. a. ROCHON-DUVIGNEAUD).

\* Ausgeführt mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft.

Dadurch wird der Kammerwinkel zunehmend eingeschränkt, die großen FONTANASchen Räume werden verkleinert, die breite Resorptionsfläche der Sklera für das Kammerwasser, das in einen ausgedehnten intraskleralen Plexus übergeht, wird auf einen schmalen Streifen

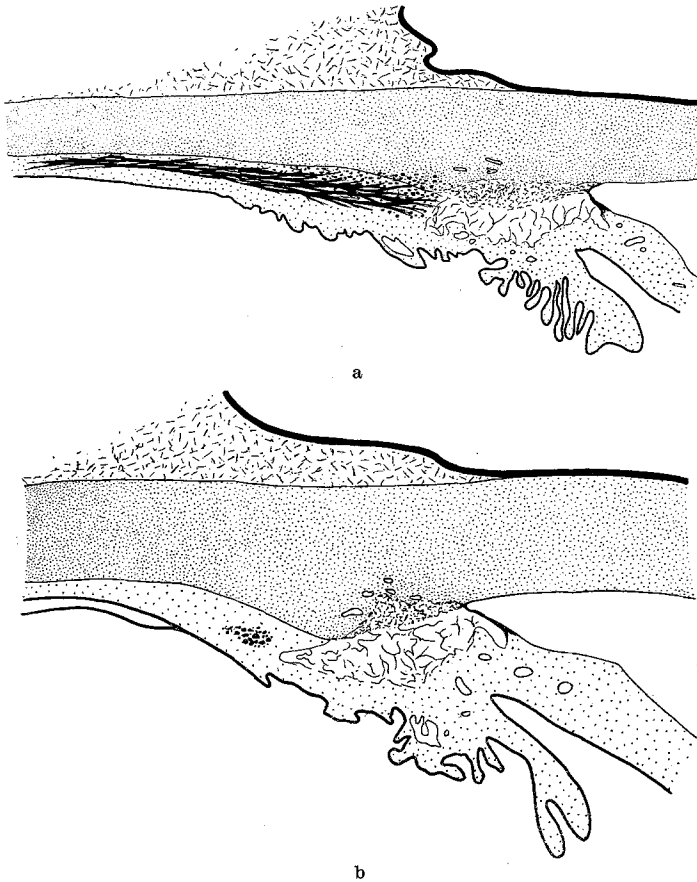


Abb. 1 a u. b. Sagittalschnitte durch die Ciliarkörperformation vom *Schwein*. a Temporal, b nasal (Zeichnung: D. SEIDEL). Man beachte die Verkürzung des Ciliarkörpers im nasalen Quadranten (unteres Bild), die Konzentration des Filterwerkes und der Resorptionsfläche, sowie die Gestaltänderung des Ciliarmuskels (nasal nur noch zirkuläre „Haltefasern“)

zusammengeschoben, wobei auf der anderen Seite aus dem Gefäßplexus allmählich ein geschlossener Kanal (SCHLEMMscher Kanal) wird; das lockere, uveale Gerüstwerk verschwindet fast ganz und der Ciliarmuskel rückt immer mehr an dessen Stelle nach vorn. Von den hier untersuchten Arten fand sich bei den Nagern und Wiederkäuern die schwächste Ciliarmuskulatur, und zwar bei den wildlebenden Verwandten

jeweils kräftiger entwickelt als bei den domestizierten. Dann folgten zunehmend Schwein, Raubtiere, Affen, Mensch (s. auch WÜRDINGER 1886, ZIETZSCHMANN 1906). Es läßt sich also eine morphologische Reihe aufstellen: Nager, Wiederkäuer, Schwein, Carnivoren, Primaten, Mensch, die selbstverständlich keinen stammesgeschichtlichen oder genetischen Charakter hat, sondern lediglich durch die allmähliche Zunahme der Ciliarmuskulatur gewisse korrelative Änderungen innerhalb der am Aufbau des Kammerwinkels beteiligten Gewebsformationen deutlich machen kann.

Diese Korrelationsänderung besteht nun hauptsächlich darin, daß mit steigender Akkommodationskraft die ursprüngliche, funktionelle und morphologische Zweiteilung des Ciliarkörpers überwunden wird und mit dem Vorrücken der Kammerwasserabflußgebiete und der Verdrängung des uvealen Gerüstwerkes allmählich eine Vereinheitlichung des Ciliarkörpers eintritt, die auch funktionell dadurch in Erscheinung tritt, daß der Akkommodationsmuskel nun mehr durch seine engere, räumliche Anlagerung an den Sinus mit seinen vorderen, elastischen Sehnen Einfluß gewinnt auf den Kammerwasserabfluß. Dadurch treten die vorher innerhalb des Ciliarkörpers getrennten Systeme (Akkommodation und Abfluß) erstmals in eine funktionelle Beziehung. Wie groß das Ausmaß dieser Beziehung ist, ist eine physiologische Frage, die hier nicht beantwortet werden kann. Daß morphologisch eine solche auftritt, ist sicher und erscheint auch sinnvoll, denn durch die Ciliarmuskelervergrößerung ist der Kammerwinkel erheblich eingeschränkt und auf einen schmalen Abschnitt konzentriert worden. Indem nun der Muskel selbst wiederum an der Ventilation des Gerüstwerkes aktiven Anteil nimmt, wird die Einengung und die daraus vielleicht resultierende Abflußbeschränkung kompensiert.

Es ist naheliegend in diesem Gedankengang die Tatsache der bei höheren Primaten einsetzenden Reduktion des Irisvorderblattes mit einzubeziehen, weil nämlich dadurch eventuell eine zusätzliche Resorptionsfläche für das Kammerwasser entsteht, die die im Kammerwinkelbereich verlorengegangenen Oberflächen kompensatorisch ersetzen könnte. Doch müssen solche Gedanken so lange hypothetisch bleiben, solange nicht die Frage geklärt ist, ob und in welchem Ausmaß überhaupt Kammerwasser durch die Iris abfließt.

*Einzelbefunde.* Es kann hier nicht meine Aufgabe sein, die Ciliarkörperformation sämtlicher genannten Tiere nochmals zu beschreiben, da darüber ausgezeichnete Darstellungen bei ELLENBERGER (1906), FRANZ (1913, 1934), LAUBER (1901), ZIETZSCHMANN (1906) KOLMER-LAUBER (1936), sowie vor allem bei TRONCOSO und CASTROVIEGO (1936), zu finden sind. Jedoch beziehen sich alle diese Beschreibungen auf den sagittalen Durchschnitt, ohne eine Analyse der funktionellen Korrelationen der Gewebe untereinander zu geben, was hier erstmals versucht wird. TRONCOSO beschreibt darüber hinaus mit ausgezeichneten Bildern das

gonioskopische Aussehen des Kammerwinkels am toten Auge, ohne eine eingehendere, histologische Strukturuntersuchung anzuschließen. Eine gute Zusammenstellung der Literatur über die Ciliarmuskelformation der Haussäuger, die durch eigene Befunde erweitert wird, gibt SCHILDWÄCHTER (1911). Eine allgemeine Übersicht findet sich bei ELLENBERGER (1906).

*Methodisch* muß erwähnt werden, daß wir hauptsächlich durch Flachschnitte, Häutchenpräparate, binoculare Lupenpräparation, sowie Paraffin- und Celloidinschnitte versucht haben, das räumliche In- und Nebeneinander der Ciliarkörpergewebe zu analysieren, wobei wiederum der „dicke Schnitt“ nach DABELOW häufig zur Anwendung kam. (Technische Einzelheiten s. bei ROHEN 1953.) Erst durch solche, von mehreren Seiten vordringende Untersuchungsverfahren erhält man eine umfassendere räumlichere Vorstellung vom Aufbau des Kammerwinkels, der am histologischen Sagittalschnitt meist nur recht unvollkommen zur Erscheinung kommt.

Da es uns hier nicht auf eine neue deskriptive Einzelbeschreibung, sondern auf eine Analyse der Funktionszusammenhänge ankam, brauchen die Befunde nicht nach Tiergruppen — wie üblich —, sondern können nach funktionellen Gesichtspunkten geordnet werden. So soll zuerst der Einfluß der Ciliarmuskelvergrößerung auf die Gestaltung der den Kammerwinkel bildenden Gewebe, sowie auf die Ciliarkörpergestalt im ganzen, dann als zweites der Zusammenhang zwischen der Zweiteilung des Ciliarkörpers und der Irisfixation und als drittes die Form der endothelialen Kammerwinkelauskleidung selbst besprochen werden.

### 1. Ciliarmuskulatur und Kammerwinkelstruktur

Besonders bei Haussäufern und Kaninchen tritt die Zweiteilung des Ciliarkörpers deutlich in Erscheinung. Der Muskel liegt sehr weit hinten, besteht ausschließlich aus Längsfasern, die aber *skleraseitig*, oft erst innerhalb des mächtigen Skleraspornes, in zirkuläre Muskelbündel arkadenförmig umbiegen. Dies ist beim Schwein am ausgeprägtesten, findet sich aber auch bei den übrigen Haussäufern (Pferd, Rind, Schaf, Ziege), worauf bereits WÜRDINGER (1886), SCHILDWÄCHTER (1911) u. a. aufmerksam gemacht haben. Unklar war jedoch bis jetzt der systemartige Zusammenhang dieser merkwürdigen, skleralen Ringfasern mit der Längsmuskulatur, der im ganzen Ciliarkörpererring anzutreffen ist.

Da diese Zirkulärfasern nichts mit dem MÜLLERsehen Muskel gemein haben und die ganze Ciliarmuskulatur außen fixieren, möchte ich sie als *Haltefasern* bezeichnen. Die meridionalen Bündel, die syncytial miteinander zusammenhängen, strahlen jedoch auch an der Innenseite mit langen, elastischen Sehnen in das Gewebe der Grundplatte ab, wobei sie mit diesem zusammen ein regelmäßiges, kollagen-elastisches Maschengitter aufbauen, das beim Schwein besonders klar zu erkennen ist.

Auffallend sind bei den Haussäufern die strukturellen Unterschiede der Ciliarmuskulatur in den verschiedenen Quadranten (Abb. 1). Während dorsal und ventral ein kräftiger, langgestreckter Muskel vorhanden ist,

wird dieser vor allem nasal bedeutend reduziert. Hier erscheint der gesamte Ciliarkörper stark verkürzt, die Ora reicht unmittelbar bis an die hinteren Spitzen der Ciliarfortsätze, so daß ein *Orbicularis ciliaris* vielfach fast ganz fehlt, ein Großteil der *Processus ciliares* greift weit auf die Iris über, und vom Ciliarmuskel sind oft nur einige, kurze Längsfasern (Rind, Schaf) oder nur noch Zirkulärbündel übrig (Schwein, Pferd), die aber nicht isoliert liegen, sondern zum Gesamtmuskelring gehören; d. h. sie stellen Haltefasern dar.

Funktionell folgt daraus, daß der Muskelring bei den eigentlichen Haussäufern eine asymmetrische Kontraktionsbewegung nach nasal hin ausführen müßte, da auch entsprechende Strukturunterschiede im Zonula- und Ciliarfortsatzapparat nachweisbar sind. Doch liegen entsprechende physiologische Untersuchungen bisher nicht vor. PAU (1950, 1952) hat in seinen Akkommodationsstudien am Schwein die regionalen Unterschiede nicht eigens berücksichtigt.

Weitgehend unabhängig von der Ciliarmuskulatur, besteht der Hauptteil des Ciliarkörpers aus einem lockeren, kollagen-elastischen Gerüstwerk (*uveales Gerüst*), das von den weiten FONTANASchen Räumen durchsetzt wird. Vom Ansatz des vordersten Irisfortsatzes (*Lig. pectinatum*) bis zum Skleralsporn ist die Sklerawand aufgelockert (*sklerales Gerüstwerk*) und mit einem dichten Capillarnetz durchsetzt, das den SCHLEMMschen Kanal vertritt. Einen echten SCHLEMMschen Sinus gibt es, entgegen vielen Lehrbuchangaben, bei den Haussäufern, auch beim Kaninchen nicht. Ich möchte diesen Wandabschnitt als *Resorptionsfläche* bezeichnen. Sie kann außerordentlich groß sein (Rind durchschnittlich 1—1,6 mm, Schaf 1,3 mm, Ziege 0,6—0,8 mm, Schwein 0,8—1,0 mm) und wird von einem äquatorialen, kollagenen Maschennetz verdeckt, das auffallend dicht mit Endothelzellen besetzt ist. Dieses sklerale Gerüst (s. VIRCHOW) hat Filterfunktion, denn es ist dem Abflußgebiet des Kammerwassers unmittelbar vorgelagert und mit seinen retikulären Endothelzellen zur Vitalspeicherung befähigt. (NEMETH 1936, BLOTEVOGEL). Dieses Netz ist der Vorläufer des sog. „*Lig. pectinatum*“ beim Menschen, das hier noch keine Beziehungen zu den Sehnen der Ciliarmuskulatur hat und von mir — um es von dem eigentlichen *Lig. pectinatum* der Iris zu unterscheiden — als *Lig. pectinatum „corneosclerale“* oder vielleicht auch „*ciliare*“ bezeichnet werden soll. Die Haltefasern der Iris müßten dann sinngemäß als *Lig. pectinatum „iris*“ (FRITZ 1906) bezeichnet werden. Auf diese Weise könnten auch zahlreiche, nomenklatorische Unklarheiten und Mißverständnisse beseitigt werden.

Interessant im Sinne dieser Darstellung ist nun bei den Haussäufern die Tatsache, daß die Gestaltänderungen der Ciliarmuskulatur in den einzelnen Quadranten auch korrelative Veränderungen in den übrigen

Gewebsformationen des Ciliarkörpers nach sich ziehen. So wird meist die Ausdehnung des uvealen Gerüstwerkes und der FONTANASchen Räume nasal verkleinert, die Grundplatte und der Muskel mehr nach vorn verlagert im Sinne einer gewissen Vereinheitlichung und die Resorptionsfläche eingeschränkt. So betrug z. B. beim Rind die Resorptionsfläche dorsal/temporal 1,6/1,5 mm, nasal dagegen nur 0,7 mm; oder beim Schaf dorsal/temporal 1,6/1,1 mm nasal nur 0,6 mm; beim Schwein dorsal 1,0 mm, nasal 0,5 mm, oder bei der Ziege dorsal 0,8 mm, nasal 0,4—0,6 mm. Obwohl die Gewebe funktionell noch nicht in Beziehung treten, zeichnet sich doch bereits äußerlich ein gewisser korrelativer Umbau ab, der jedoch erst bei den Primaten und beim Menschen ganz vollzogen wird.

Beim *Kaninchen* bestehen im wesentlichen die gleichen Verhältnisse wie bei den Haussäufern, nur fehlen die Asymmetrien (Abb. 2b). Der Ciliarmuskel (s. KRAUSE 1921) ist sehr schwach, nur längs orientiert, geht aber auch sklerawärts in einzelne, in die Sklera eingelagerte Zirkulärbündel über, was selten berücksichtigt wird. Das sind wiederum keine MÜLLERSchen Fasern, sondern Haltefasern im obigen Sinne. Diese Tatsache weist auf die auch hier vorhandene funktionelle Zweiteilung des Ciliarkörpers hin.

Das Lig. pectinatum „iridis“ ist mehrstufig und läßt kleine, kammerartige Hohlräume zwischen sich frei, die von einem geschlossenen Endothel ausgekleidet werden. Die Grundplatte zeigt ein sehr regelmäßig geflochtenes Gitter, das hinten vor allem meridional, vorn im Bereich der Iriswurzel aber äquatorial umgruppiert wird.

Obwohl bei den *Carnivoren* (Hund, Katze) die Muskulatur bereits erheblich zugenommen hat, wird die Zweiteilung des Ciliarkörpers doch noch nicht aufgegeben. Die Resorptionsfläche ist meist kleiner. Ein SCHLEMMscher Kanal fehlt auch hier. Auf die besonderen Gefäßverhältnisse im Limbusbereich habe ich kürzlich an anderer Stelle aufmerksam gemacht (ROHEN 1956). Die FONTANASchen Maschenräume nehmen den Hauptteil des Ciliarkörpers ein (Abb. 2c). Zirkuläre, intrasklerale Haltefasern gibt es nicht mehr. Alle vorderen Muskelsehnen laufen radiär mit langen, untereinander netzig verbundenen Sehnen bis zur Cornea durch, wobei sie die Resorptionsfläche überqueren. Auch sonst ist der Muskel gegenüber Kaninchen und Haussäufern weiter nach vorn gerückt.

Die Irisfortsätze sind relativ kräftig (s. TRONCOSO und CASTROVIEGO 1936) und bauen ein dichtes mehrstufiges Lig. pectinatum („iridis“) auf, dessen weite, ovale Maschen eine freie Flüssigkeitskommunikation mit der Vorderkammer gestatten.

Etwas anders liegen die Verhältnisse bei der *Katze*. Hier schiebt sich die Ciliarmuskulatur noch weiter nach vorn bis an die Iriswurzel heran (Abb. 3). Aber die Zweiteilung wird aufrechterhalten. Die

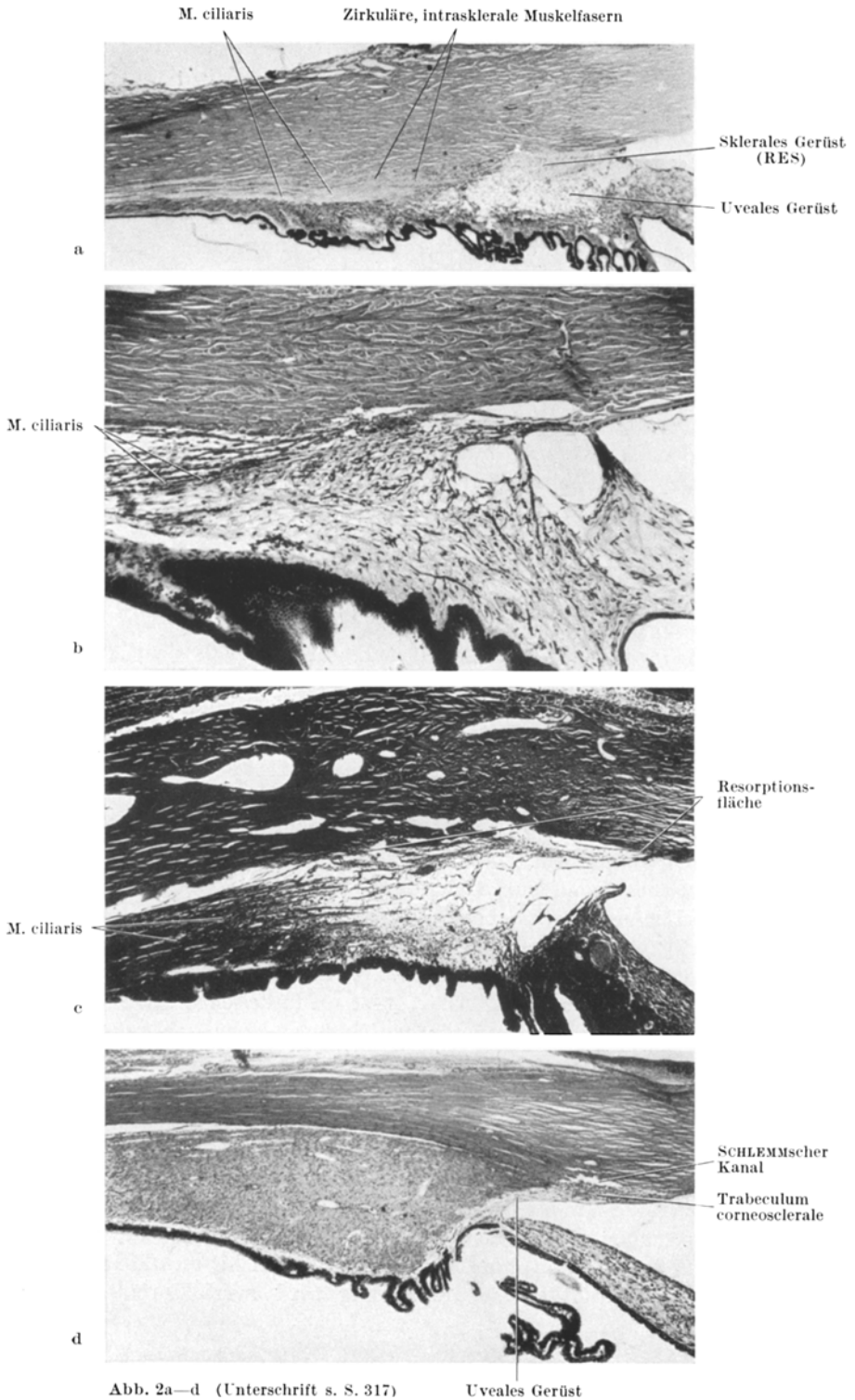


Abb. 2a—d (Unterschrift s. S. 317)

Uveales Gerüst

äußeren Anteile des langgestreckten Meridionalmuskels gehen wie beim Hund in radiäre Endsehnen über, die die Cornea erreichen. Die inneren, der Grundplatte angelagerten Muskelfasern gehen vorn, im Bereich der Iriswurzel plötzlich in äquatoriale Züge über, die im ganzen einen kräftigen Muskelring im Auge aufbauen, welcher häufig unmittelbar mit der

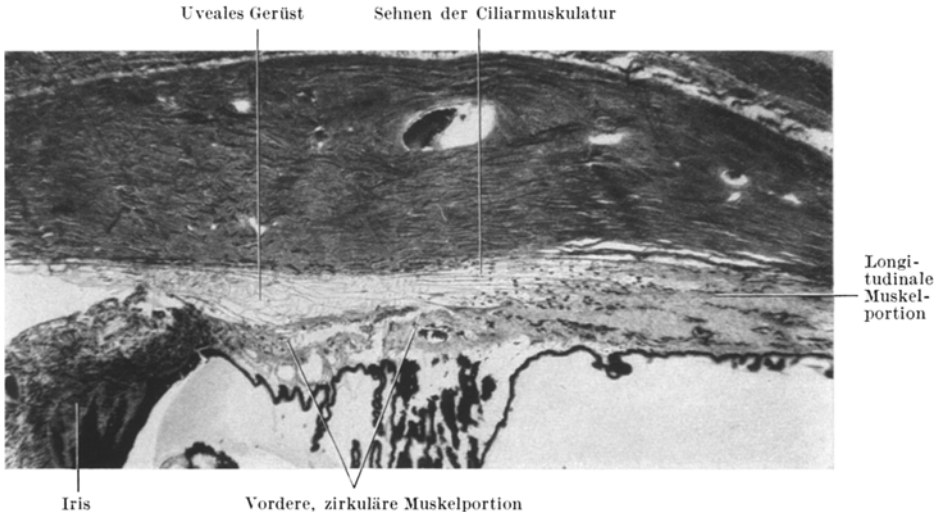


Abb. 3. Katze, Sagittalschnitt durch den Ciliarkörper. Linke Kammerbucht (Azanfärbung, 29fach). Das Gerüstwerk der Kammerbucht wird vornehmlich von den longitudinalen Sehnen der Ciliarmuskulatur gebildet (von der Fläche betrachtet: s. Abb. 6b). Darunter die vordere, z. T. äquatoriale Portion des Ciliarmuskels, die bis an die Iriswurzel reicht und beim Hund fehlt (Abb. 2c), (dadurch Zweiteilung des Ciliarkörpers besonders deutlich)

Irismuskulatur zusammenhängt. Auch von hier steigen kurze, arkadenförmig umbiegende Muskelbündel steil zum Kammerwinkel auf, um mit langen Sehnen in das übrige Sehnenansatzfeld überzugehen. Zwischen beiden Muskelteilen breiten sich die weiträumigen, kammerwasser-

Abb. 2a—d. Sagittalschnitte durch den Ciliarkörper und den Kammerwinkel von a Schwein (21fach), b Kaninchen (92fach), c Hund (20fach), d Husarenaffe (*Erythrocebus*) (36fach). Aus der Gegenüberstellung wird die korrelative Umgestaltung der Ciliarkörpergewebe mit zunehmender Muskelvergrößerung (Akkommodation) deutlich. Bei a (Schwein) Zweiteilung des Ciliarkörpers, der stark von kammerwasserhaltigen Maschenräumen durchsetzt wird (uveales Gerüst), breite Resorptionsfläche. Bei b und c Vorverlagerung des Ciliarmuskels, Verkleinerung der FONTANASchen Räume und der Resorptionsfläche für das Kammerwasser. Bei d (Affe, ähnlich Mensch), der Ciliarmuskel ist ganz an die Stelle des stark reduzierten, uvealen Gerüstwerkes getreten. Das endothelreiche Filterwerk (sklerales Gerüst) konzentriert sich nur noch auf die Bodenfläche des SCHLEMMschen Kanals (sog. Bodennetz oder *Lig. pectinatum*, besser zusätzlich: „*corneosclerale*“). Mit der Einengung des Kammerwinkels gewinnt der Ciliarmuskel durch seine Sehnen kompensatorisch einen funktionellen Einfluß auf das Filterwerk, der bei den andern Ciliarkörpern fehlte. Man beachte auch den Unterschied zwischen der endothelialen Kammerwinkelauskleidung beim Kaninchen b, wo ein geschlossenes Endothel vorliegt, und Hund c, wo eine offene Kommunikation zwischen Ciliarkörper und Kammerbucht besteht.



gefüllten FONTANASchen Hohlräume aus, die zur Kammerbucht hin offenstehen.

Bei den *Primaten* wird nun erstmals die Zweiteilung des Ciliarkörpers aufgegeben. Der Muskel hat die vom Menschen bekannte Struktur mit äußeren Längs- und inneren, iriswärts gelegenen Zirkulärfasern, wobei jedoch häufig auffallend wenig Übergänge zwischen beiden Portionen bestehen. Er ist jetzt auch in unmittelbare Nachbarschaft des Kammerwinkels gerückt. Die FONTANASchen Räume sind auf einen schmalen Abschnitt vor dem Muskel reduziert. Die Resorptionsfläche beträgt nur noch 300—400  $\mu$  (Schimpanse) oder 500—600  $\mu$  (*Aotes triv.*) (Abb. 2d), und statt eines weitläufigen, intraskleralen Capillarnetzes auf der Gegenseite hat sich ein SCHLEMMscher Plexus herausgebildet.

## 2. Zweiteilung des Ciliarkörpers und Irisfixation

Wir sehen also, daß sich die Ciliarkörperstrukturen der untersuchten Tiere in eine morphologische Reihe ordnen lassen, was selbstverständlich keinerlei phylogenetische Konsequenzen hat, dagegen für die funktionell-korrelativen Beziehungen der einzelnen, am Aufbau des Ciliarkörpers beteiligten Gewebe von Interesse sein kann. Betrachten wir zuerst die Bedeutung der Ciliarmuskelvergrößerung für das retikuläre Filterwerk der Kammerbucht (sog. sklerales Gerüstwerk nach VIRCHOW — beim Menschen meist Lig. pectinatum genannt) und den Muskelansatz selbst, dann die mechanisch-funktionelle Umgestaltung der Irisanheftung.

Beim *Kaninchen* liegt die Ciliarmuskelanheftung durchschnittlich 0,8 mm hinter dem Ende der Descemet. In ähnlicher Weise heftet sich die Muskulatur der *Haussäuger* weit hinten an der Sklera an, so daß fast der ganze Ciliarkörper von lockerem Bindegewebe erfüllt ist, in das — mit dem Alter zunehmend — die FONTANASchen Räume vordringen. So beträgt die Tiefe dieser Räume z. B. beim Rind 1,1—1,3 mm, beim Schwein 1,2—1,4 mm, beim Schaf 1,0—1,6 mm, bei der Ziege 0,6—0,8 mm. Entsprechend dieser großen Ausdehnung der Vorderkammer in den Ciliarkörper hinein zeigt sich bei allen diesen Tieren eine große, sklerale "Resorptionsfläche" ohne SCHLEMMschen Kanal. Dieser aber vorgelagert, findet sich regelmäßig ein besonders engmaschiges, vornehmlich aus kollagenen Fasern aufgebautes Gitterwerk, das auffallend dicht mit Endothelzellen besetzt ist (Abb. 1 und 4). Es handelt sich um ein biologisches Filter, das die Fähigkeit der Vitalspeicherung besitzt und daher dem RES zugerechnet werden muß.

Dasselbe Filtergerüstwerk findet sich auch bei den *Carnivoren*, jedoch durch die Vorverlagerung des Muskelansatzes nur noch als schmales, langgestrecktes Gewebsband unmittelbar der Resorptionsfläche vorgelagert. Interessanterweise bestehen aber hier noch keine

funktionellen Beziehungen zwischen den Muskelsehnen und dem resorbierenden Filter. Dies tritt erst ein nach völliger Aufgabe der Zweiteilung des Ciliarkörpers durch die Zunahme der Muskelmasse bei den Primaten und beim Menschen. Hier wird das Filter zugleich zum „Bodennetz“ des SCHLEMMschen Kanals und zum Ansatzfeld des Ciliarmuskels (s. ROHEN 1956) und wird jetzt meist als Lig. pectinatum, besser Lig. pectinatum „corneasclerale“ bezeichnet. Daß dieses Band nicht im Lig. pectinatum der Iris seinen Vorläufer hat, sondern in dem

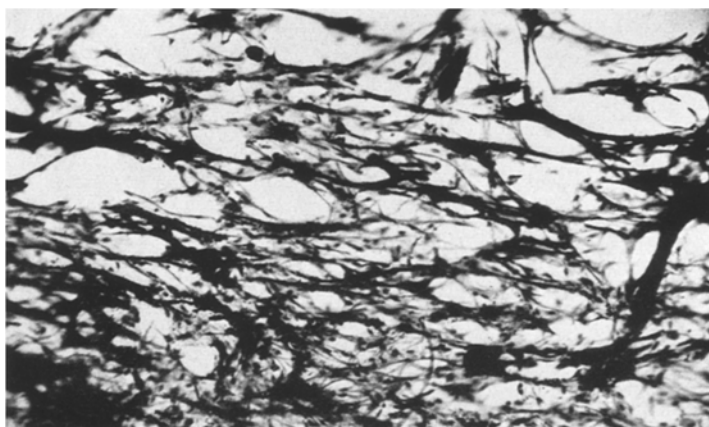


Abb. 4. Häutchenpräparat vom zellreichen Filterwerk (sog. sklerales Gerüstwerk) des Schweines (Azan, 96fach). Man erkennt die großen ovalen, von breiten Endothelzellen überspannten Poren des Filters, das der Resorptionsfläche unmittelbar vorgelagert ist (vgl. Abb. 1 und 2a)

so besonders zellreichen, skleralen Gerüstwerk der Resorptionsflächen, zeigen unsere Bilder eindeutig. Dieses hatte ursprünglich keine mechanischen, sondern nur biologische (Abwehr-) Funktionen und übernimmt erst nach der Einengung des Kammerwinkels durch die Muskelvergrößerung beide Aufgaben. Daß es sich hier aber immer noch um ein speicherfähiges System handelt, zeigt Abb. 5, wo ein Großteil aller Endothelzellen dieses Gewebes intracelluläre Pigmente gespeichert hat. Daß die vorderen Ciliarmuskelsehnen gerade hier ihren mechanischen Fixpunkt gewinnen und nicht an der Cornea, hängt offenbar mit der korrelativen Einschränkung der Kammerbucht zusammen, die wahrscheinlich durch die neugewonnene Ventilation des Gerüstwerkes die zwangsläufig eingetretene Verkleinerung der Resorptionsfläche teilweise wieder auszugleichen vermag.

Da auf diese Weise die mechanische Fixation des Ciliarkörpers und der Aderhaut auf das Bodennetz übergegangen ist, wird auch die Irisanheftung wesentlich verändert. Bekannt ist der kräftige, vielstufige

Aufhängeapparat der Iris bei den Haussäugetern (sog. Lig. pectinatum der vergleichenden Anatomie, in unserem Zusammenhang besser Lig. pectinatum „iridis“). Bei Lupenpräparation (TRONCOSO 1936) erscheint es wie ein Nadelholzwald mit seinen kräftigen, schlanken Stämmen (Irisfortsätze) und großen Zwischenräumen, so daß man weit in die Tiefe sehen kann. Mechanisch-funktionell ist also die Iris bei diesen Tieren, auch beim Kaninchen, tatsächlich durch diese kräftigen, kollagenen Bindegewebsstränge an der Hornhaut aufgehängt, weniger am

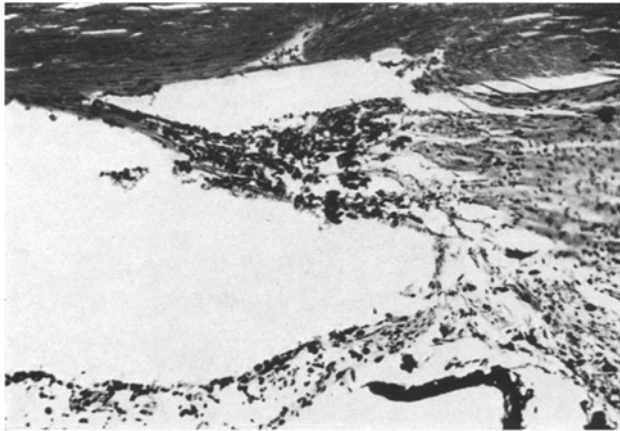


Abb. 5. Sagittalschnitt durch die Kammerbucht bei der *Meerkatze* (*Cercopithecus vir.*) (Goldner-Masson, 92fach). Die Endothelzellen des Lig. pectinatum (Bodennetz und Ursprung des Ciliarmuskels) haben reichlich Pigment gespeichert (Zufallsbeobachtung)

Ciliarkörper. Dieser selbst ist wesentlich weiter hinten, durch die Ciliarmuskulatur am Skleralsporn fixiert (funktionelle Zweiteilung des Ciliarkörpers!). So wird es verständlich, daß der Hauptteil des Corpus ciliare weitmaschig durch eingedrungenes Kammerwasser aufgelockert und durchsetzt ist. Indem nun bei den Primaten und beim Menschen der Ciliarmuskel diese Räume ausfüllt und mit seinem Ursprung weiter nach vorn rückt, geht die periphere Irisfixation auf den Ciliarkörper selbst über. Der neuauftretende MÜLLERSche Muskel, dessen elastische Sehnen nicht mehr das Bodennetz (*Trabeculum corneosclerale*) erreichen, sondern äquatorial in das Bindegewebe der Iriswurzel und des Sinus abstrahlen, baut an dieser Stelle einen kräftigen, elastischen Ring auf, der mit dem Gewebe der Grundplatte zusammen durchaus in der Lage ist, die Iris zu fixieren. Damit werden die Irisfortsätze mechanisch entlastet und schließlich weitgehend rückgebildet. Beim Menschen findet man daher meist nur zarte, kollagene Stränge, die durch schräge und quere Brücken locker untereinander verbunden sind.

Interessant ist in diesem Zusammenhang der Unterschied zwischen dem Lig. pectinatum bei Hund und Katze. Da bei der *Katze* der Ciliarmuskel mit einer eigenen Portion weit auf der Grundplatte nach vorne bis an die Iriswurzel heranreicht und hier auch starke Zirkulärteile ausbildet (s. Abb. 3), wird die Iris hier schon viel mehr am Ciliarkörper fixiert als beim Hund, wo diese Muskelspaltung fehlt. Tatsächlich sind die Irisfortsätze der Katze auch wesentlich zarter und seltener als beim Hund, was auch TRONCOSO beobachtet hat. Bei *Primaten* findet man häufig noch dünne, dicht pigmentierte Stränge isoliert durch den Kammerwinkel zur Cornea ziehen, denen eine mechanische Bedeutung sicher nicht mehr zukommt. Es sind Reste des alten Lig. pectinatum. Daß dem verbliebenen Fasernetz der Irisfortsätze bei den höheren Affen und beim Menschen keine große mechanische Aufgabe mehr zufällt, läßt sich aus dem Verlauf dieser Faserzüge erschließen. Biegen sie doch um den Sinus des Kammerwinkels von der Iris aufsteigend bogenförmig, oft 180° nach vorne zur Hornhaut um und laufen in das Bodennetz des SCHLEMMschen Kanals aus bzw. bis zur Descemet vor. Würde an diesen Fasern ein derberer Zug angreifen, müßten sie senkrecht-radiär den Kammerwinkel durchsetzen, wie das ja auch bei den Haussäufern und beim Kaninchen der Fall ist.

### 3. Die endotheliale Kammerwinkelauskleidung

Die geschilderten Änderungen in den korrelativen Beziehungen der Gewebe, die sich am Aufbau des Ciliarkörpers und daher auch am Kammerwinkel beteiligen, hat auch für die Struktur der endothelialen Auskleidung eine Bedeutung.

Bei den Haussäufern fehlt eine solche überhaupt. Das Kammerwasser dringt durch die weiten Zwischenräume der Irisfortsätze tief in den Ciliarkörper, um erst von hier aus durch das endotheliale Filterwerk vor der breiten Resorptionsfläche zu den skleralen Capillaren abzufließen. Da auch diese z. T. in offener Verbindung mit dem Filtergerüst stehen, d. h. mit ihrer endothelialen Gefäßauskleidung unmittelbar, ohne Schranke oder Zwischenwandung, frei in diese Maschenräume übergehen, möchte ich hier von einem „*offenen Kammerwinkel*“ sprechen.

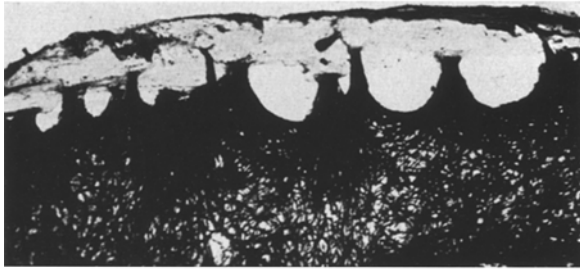
Anders liegen die Verhältnisse beim *Kaninchen*. Obwohl hier die Irisfortsätze noch relativ kräftig sind, fehlt doch die weitmaschige Durchsetzung des Ciliarkörpers mit Kammerwasser. Statt dessen findet man rundliche, sinusartige Ausbuchtungen im vorderen Teil des Corpus ciliare, die fast immer mit einem geschlossenen Endothelbelag versehen sind (Abb. 2b). Nur in der Tiefe dieser Buchten, besonders bei den kleineren proximalen, ist diese Auskleidung am Häutchenpräparat und histologischen Schnitt manchmal nicht ganz lückenlos. Doch könnte es sich dabei um postmortale Artefakte handeln. Wenn am toten

Präparat die Endothelbedeckung dieser kleinen, oft mehrstufig hintereinander gelegenen Hohlräume geschlossen und vollständig ist, so spricht das auf jeden Fall dafür, daß dies im Leben auch so ist. Wenn sie dagegen defekt ist, so braucht das nicht unbedingt vital auch der Fall gewesen zu sein, da die Endothelien postmortal häufig retikulär schrumpfen. Jedenfalls muß das Kammerwasser beim Kaninchen in der Tiefe der Kammerausbuchtungen eine geschlossene, endotheliale Wandung passieren, ehe es zur Resorptionsfläche der Sklera gelangt, was funktionell sicher nicht bedeutungslos ist. Ich möchte morphologisch daher hier von einem „geschlossenen Kammerwinkel“ sprechen (Abb. 2 b).

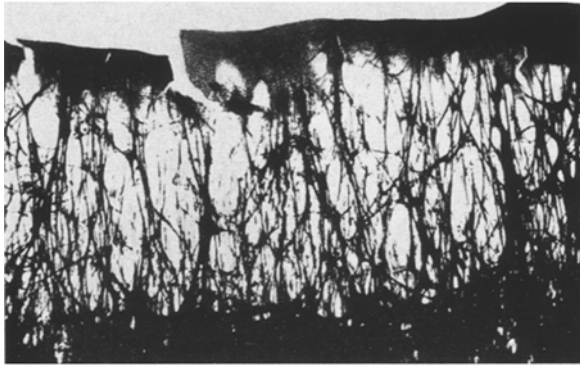
Bei den *Carnivoren* liegt wiederum ein offenes System vor. Primaten und Mensch dagegen scheinen eine gewisse Mittelstellung einzunehmen. Hier ist das uveale Gerüstwerk auf ein schmales Band vor dem Ciliarmuskel reduziert. Dieses besteht aus einem lockeren, kollagen-elastischen Fasergitter, das vorderkammerseitig von einer endothelialen Membran überzogen ist, die ich vorschlagen möchte: „Membrana iridocornealis“ zu nennen. An sorgfältig präparierten, von der Fläche betrachteten Häutchenpräparaten dieser Membran erkennt man bei Primaten größere, radiär-ovale Lücken in dieser Membran, die von den Endothelzellen nicht vollständig überspannt werden (Abb. 6 d). Die Endothelmembran sitzt dem hauptsächlich radiär-orientierten, kollagenen Fasernetz der Irisfortsätze flächenhaft auf und überkleidet es an vielen Stellen lückenlos. Doch fanden sich bei zahlreichen, von mir untersuchten Affenaugen (*Aotes*, Schimpanse, *Erythrocebus* u. a.) häufig größere Maschen, die wahrscheinlich auch vital von den Endothelien nicht voll geschlossen werden können.

Beim *Menschen* dagegen hatte ich den Eindruck, daß diese „Sinuswandung“, diese Endothelmembran am Übergang der Irisoberfläche zur Cornea von einem geschlossenen Endothel bedeckt wird, das dem Gerüst der Irisfortsätze, dem Lig. pectinatum der Tiere, wie einem Skelet aufsitzt. Dadurch wird das Gerüstwerk der Kammerbucht, der Ciliarkörper und ebenso der daran anschließende, suprachoroidale Raum beim Menschen wohl weitgehend vom Kammerwasser getrennt, was bisher nicht so gesehen wird. Da sich jedoch auf der corneaseitigen Fläche des Gerüstwerkes, im Bereich des sog. Trabeculum corneosclerale, was wir auch vielfach Bodennetz des SCHLEMMschen Kanals genannt haben, bei flächenhafter Betrachtung weite, endothelumkleidete Poren nachweisen lassen (Querdurchmesser durchschnittlich 6—9  $\mu$ ), dürfte der Abfluß des Kammerwassers wohl vornehmlich an dieser Stelle erfolgen.

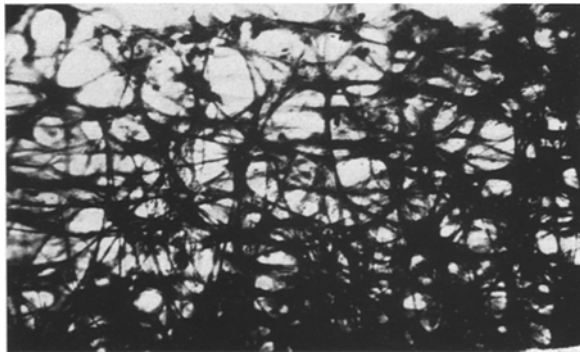
Es liegen damit beim Menschen gegenüber vielen anderen Säugern (*Carnivoren*, Ungulaten usw.) wesentliche Unterschiede im strukturellen Aufbau des Kammerwinkels vor. Mit einer Massenzunahme des Ciliarmuskels treten korrelativ auch Änderungen im Bindegewebsapparat



a



b



c



d

Abb. 6 a—d. Häutchenpräparate (total) vom Lig. pectinatum („iridis“) verschiedener Tiere. a Kaninchen (92fach); b Katze (36fach); c *Aotes triv.* (92fach); d Schimpanse (92fach). Die Reihe zeigt die zunehmende Reduktion der Irisaufhängung bei Massenzunahme der Ciliarmuskulatur. Bei Affen (d) und Mensch bleibt nur noch ein zartes, lockeres Gerüst übrig, das die Kammerbucht auskleidet

der Kammerbucht auf. Während bei Haussäugetern, Kaninchen und Carnivoren keine funktionellen Beziehungen zwischen den vorderen Ciliarmuskelsehnen und dem Lig. pectinatum bestehen, treten diese bei Primaten und Mensch auf, wo das Filterwerk und damit die Abflußstätte des Kammerwassers auf einen engen Bereich zusammengeschoben erscheint. Diese neue, funktionelle Beziehung zwischen Abflußfilter und Ciliarmuskulatur ist also offenbar die Folge der zunehmenden Einengung des Kammerwinkels und der Ausschaltung des Ciliarkörpers als Durchflußort. Auch das Auftreten eines SCHLEMMschen Kanals sowie eines zunehmenden Abschlusses des Ciliarkörpers durch Endothel wird in diesem Zusammenhang gesehen. Wahrscheinlich stellt die bekannte Reduktion des Irisendothels, die nicht nur beim Gorilla und Schimpansen vorkommt, wie WOLFRUM meinte, sondern, wie ich jetzt fand, bei den Primaten sehr viel weiter verbreitet ist, auch in einem funktionellen Zusammenhang mit der Verkleinerung der Resorptionsflächen des Kammerwinkels und würde damit zusätzliche Abflußmöglichkeiten eröffnen.

Die Studie zeigt damit, daß die Änderung einer Gewebsformation (Muskelvergrößerung bei Akkommodationssteigerung) in einem lebendig-funktionellen System auch Gestaltänderungen bei andern Geweben (Bindegewebsgerüst der Kammerbucht, Irisfixation, Abfluß- und Filtermechanismen) zur Folge hat und deshalb Strukturuntersuchungen nur Sinn haben, wenn sie den Gesamtverband berücksichtigen, in dem ein bestimmtes Gewebe lebt und tätig ist.

### Zusammenfassung

Der Aufbau des Ciliarkörpers und Kammerwinkels bei verschiedenen Säugetieren wird an Hand von Häutchenpräparaten, Mikropräparationen und dicken Schnitten unter funktionellen Gesichtspunkten studiert. Bei Haussäugetern, Kaninchen, z. T. auch noch Carnivoren besteht eine funktionelle Zweiteilung des Ciliarkörpers, indem der Ciliarmuskel weit hinten mit zirkulären, intraskleralen „Haltefasern“ ansetzt, der Bindegewebskörper aber durch kammerwasserhaltige Maschenräume und ein zellreiches Filterwerk stark aufgelockert ist. Die Iris wird mechanisch hauptsächlich durch das Lig. pectinatum („iris“) an der Cornea fixiert. Da die kammerwasserresorbierende Sklerafläche („Resorptionsfläche“) sehr groß ist, fehlt ein SCHLEMMscher Kanal. Bei Primaten und beim Menschen wird durch die Massenzunahme des Ciliarmuskels der Kammerwinkel eingeengt, die Resorptionsfläche auf einen schmalen Bereich konzentriert. Die FONTANAschen Räume verschwinden weitgehend, ein SCHLEMMscher Kanal bildet sich heraus. Der nach vorn verlagerte Ciliarmuskel tritt jetzt in eine funktionelle Beziehung zu den Abflußstrukturen. Die vorderen Muskelsehnen gehen in das Filterwerk des SCHLEMMschen Kanals über (sog. Lig. pectinatum, zur Unterscheidung zum vorigen besser zusätzlich „corneosclerale“ genannt), und der MÜLLERSche Muskel,

der mit seinen Sehnen einen elastischen Faserring im Bereich der Iriswurzel aufbaut, übernimmt die Irisfixikation. Dadurch wird das Lig. pectinatum („iris“) entlastet und morphologisch reduziert. Beim Menschen bleibt nur ein zartes, kollagenes Gerüst, das einer den Sinus auskleidenden geschlossenen Endothelmembran („Membrana iridocornealis“) als Unterlage dient. Nur das Trabeculum corneosclerale zeigt größere Poren (Durchmesser sagittal durchschnittlich 6—9  $\mu$ ), die von den Endothelien teilweise überspannt werden. Offenbar steht die Reduktion des Irisendothels, die bei Affen beginnt, mit der Einengung des Kammerwinkels durch die Muskelvergrößerung (Akkommodationszunahme) und die Vereinheitlichung des Ciliarkörpers in Zusammenhang.

### Literatur

- ASAYAMA, J.: Zur Anatomie des Lig. pectinatum. Graefes Arch. **53**, 113 (1902). — DOSTOJEWSKY, A.: Über den Bau des Corpus ciliare und der Iris der Säuger. Arch. mikrosk. Anat. **28**, 91 (1886). — EISLER, P.: Anatomie des Auges. In SCHIECK-BRÜCKNER, Kurzes Handbuch der Augenheilkunde, Bd. I. 1930. — FRANZ, V.: Vgl. Anatomie des Wirbeltierauges im Handbuch der vergleichenden Anatomie Bd. II, S. 2. 1934. — FRITZ, W.: Über die Membrana Descemet und das Lig. pectinatum iridis bei den Säugern und beim Menschen. Sitzgs.ber. Akad. Wiss., Wien, Math.-naturwiss. Kl. **115** (1906). — KRAUSE, R.: Mikroskopische Anatomie der Wirbeltiere, Bd. I, Säugetiere. Berlin: W. de Gruyter & Co. 1921. — KOLMER-LAUBER, H.: Das Auge. In MÖLLENDORFFS Handbuch der mikroskopischen Anatomie des Menschen, B. III/2. Berlin: Springer 1936. — LAUBER, H.: Beiträge zur Anatomie des vorderen Bulbusabschnittes der Wirbeltiere. Anat. H. **18**, 469—552 (1901). — Ziliarkörper, Aderhaut, Glaskörper. In GRAEFE-SAEMISCH, Bd. I/2, S. 1—161. 1931. — MARTIN, N.: Lehrbuch der Anatomie der Haustiere, Bd. I u. II. 1902—1904. — NEMETH, L.: Das retikuloendotheliale System des Auges. Klin. Mbl. **96**, 613 (1936). — PAU, H.: Beobachtungen über die Funktion des Ziliarmuskels an der Linsenkapsel und am Glaskörper. Graefes Arch. **150**, 617 (1950). — Die akkommodative Linsenverschiebung als Ausdruck antagonistisch wirkender Kräfte. Ophthalmologica (Basel) **124**, 271 (1952). — ROHEN, J.: Arteriovenöse Anastomosen im Limbusbereich des Hundes. Graefes Arch. **157**, 361 (1956). — Über den Ansatz der Ziliarmuskulatur im Bereich des Kammerwinkels. Ophthalmologica (Basel) **131**, 51 (1956). — Die funktionelle Gestalt des Auges. Wiesbaden 1953. — SCHILDWÄCHTER, J. W.: Histologische Untersuchungen über den Ziliarmuskel von Pferd, Schwein, Schaf. Freiberg 1911. Med. Diss. Leipzig. — TRONCOSO, M. U., and R. CASTROVIEJO: Microanatomy of the eye. I—III. Amer. J. Ophthalm. **19**, 371, 481, 583 (1936). — THOMPSON, K.: The gross anatomy of the filtration angle of the human eye. Ophthalmoscope **8**, 608 (1901); **9**, 470 (1911). — VIRCHOW, H.: Mikroskopische Anatomie der äußeren Augenhaut. In GRAEFE-SAEMISCH' Handbuch, Bd. I, S. 1. 1910. — WOLFRUM, M.: Mikroskopische Anatomie der Iris. In GRAEFE-SAEMISCH' Handbuch, Bd. I/2, S. 1—209. 1926. — WÜRDINGER, L.: Über die vergleichende Anatomie des Ziliarmuskels. Z. Augenheilk. **4**, 121 (1886). — ZIMMERMANN, A.: Über den Ziliarmuskel des Pferdes. Arch. Tierheilk. **65**, 626 (1932). — ZIETZSCHMANN, O.: Die Akkommodation und die Binnenmuskulatur des Auges, Schweiz. Arch. Tierheilk. **48**, 442 (1906). — Das Sehorgan. In ELLENBERGERS Handbuch der vergleichenden Anatomie der Haustiere, Bd. I, S. 422. 1906.

Dozent Dr. J. ROHEN, Mainz, Johannes Gutenberg-Universität,  
Anatomisches Institut