

(Aus der Augenklinik des Königlichen Instituts für höhere Studien in Florenz
[Direktor Prof. A. de Lieto Vollaro].)

Entwicklung und Morphologie des Glaskörpers beim Menschen und bei einigen Säugetieren.

Von

Dr. Guido Fracassi,

Assistent.

Mit 52 Textabbildungen.

Seit mehr als 70 Jahren, d. h. seitdem *Schöler*¹⁾ in seiner berühmten gewordenen Arbeit über das embryonale Auge des Huhns eine Lamina des Mesodermgewebes zwischen der Linse und der Augenblase beschrieb, haben sich die Untersuchungen und die Schriften vervielfältigt, die bezwecken, die Frage des Ursprungs des Glaskörpers und seiner Bildung zu lösen, sowohl während des embryonalen Lebens als auch beim Erwachsenen. Zuerst wurden die Untersuchungen fast ausschließlich von Anatomen und Embryologen gemacht, während seit 25 Jahren das Problem überwiegend den Ophthalmologen zufällt. Sowohl unter den Ersten wie unter den Zweiten haben sich im Gebiet ihrer Wissenschaft sehr bekannte Männer mit dieser Frage beschäftigt. Wenn dessenungeachtet sichere Resultate bisher nicht erreicht sind, so muß das den Schwierigkeiten der Untersuchungen über die Bildung des Glaskörpers zugeschrieben werden.

Diese Schwierigkeiten, die sehr groß sind und die jeder, der sich persönlich für das Problem interessiert hat, sehr gut kennt, werden im Verlaufe der Arbeit dargelegt werden, zusammen mit den Verfahren, die ich angewandt habe, um sie zum Teil zu überwinden.

Schöler war mit seiner oben zitierten Arbeit der Gründer der Mesodermtheorie, die von *Virchow*²⁾, *Kölliker*³⁾, *van Bamcke*, *Beauregard*, *Angelucci* und *Retzius*⁴⁾ unterstützt wurde, um nur von den bekanntesten zu sprechen⁵⁾.

1) *H. Schöler*, De oculi evolutione in embrionibus gallinaceis. Inaug.-Dissert. Dorpat 1848.

2) *R. Virchow*, Notiz über den Glaskörper. Virchows Arch. f. pathol. Anat. u. Physiol. 4, 468. 1851.

3) *A. Kölliker*, Entwicklungsgeschichte des Menschen und der höheren Wirbeltiere. Leipzig 1861. S. 179—297.

4) *G. Retzius*, Über den Bau des Glaskörpers und der Zonula Zinnii in dem Auge des Menschen und einiger Tiere. Biologische Untersuchungen 6, 66. 1894.

5) In Italien war auch *F. Magni* (Intorno alla formazione e costituzione definitiva del vitreo nell'occhio umano, Milano 1882) Unterstützer der Mesodermtheorie des Glaskörpers. Seine Theorie, die wir „mechanisch“ nennen können, liest ein bemerkenswertes Interesse auch für den Wert des Mannes.

Es ist hier nicht der geeignete Ort, um über die durch viele Jahre fortgesetzte Diskussion über das Vorhandensein einer Lamina mesodermica anterior sowohl bei Vögeln wie bei Säugetieren zu berichten.

Eine Variante der Mesodermtheorie von *Schöler*, der den Glaskörper aus den in die sekundäre Augenblase eingestülpten Mesodermzellen entstehen ließ, wurde im Jahre 1871 von *Kessler*¹⁾ gebracht, der behauptete, daß der Glaskörper nichts anderes sei, als eine Ausschwitzung der hyaloidealen Gefäße. Dieser Theorie stimmte unter anderen *Spampani*²⁾ in Italien bei.

Im Jahre 1897 auf dem Internationalen medizinischen Kongreß in Moskau legte *Tornatola* zum ersten Male seine Theorie über die Entstehung des Glaskörpers aus der Netzhaut dar, die der Abschluß der von ihm unter der Leitung des Prof. *Kleinernberg* durchgeführten embryologischen Studien war.

In einer kurzen Publikation, die im Jahre 1901 erschien und mit einigen, in der Tat nicht sehr beweiskräftigen Photographien³⁾ ausgestattet war, befestigte *Tornatola*, auch durch die Unterstützung von *Rabl*⁴⁾ gestärkt, seine Theorie über den retinalen Ursprung des Glaskörpers, indem er sie etwas modifizierte, denn er gab *Rabl* zu, daß er vor allem in der Ciliarregion seinen Ursprung habe (genau in Übereinstimmung der Grenze zwischen dem optischen und dem blinden Teil der Netzhaut), während er zuerst behauptet hatte, daß gleichmäßig von der ganzen Netzhaut die Fasern des Glaskörpers ihren Ausgang nähmen.

Die neue Theorie, die auch auf dem Kongreß der italienischen ophthalmologischen Gesellschaft, der in Turin abgehalten wurde (1898), vorgebracht wurde, fand Zustimmung: *Rabl-Fäschel-Kölliker*⁵⁾: der zur ursprünglichen Meinung zurückkehrte, indem er einen gemischten Ursprung des Glaskörpers gelten ließ, und zahlreiche Gegner.

Unter diese Letzten zählen wir *Carini*⁶⁾ und *Spampani*, von denen der erste die ursprüngliche Mesodermtheorie von *Schöler* unterstützte und der zweite diejenige der Ausschwitzung von *Kessler*. *Bertacchini*⁷⁾ unterstützte noch die Theorie des Mesodermursprungs, indem er sie indes von einem eigenen Gesichtspunkt aus vorbrachte. *Haemers* legte dem Kongreß von Brügge (1901) und später (1903) in den Archives d'Ophthalmologie⁸⁾ die Resultate zahlreicher Versuche dar, die er am Kaninchen angestellt hatte, denen zufolge der dem Auge entzogene Glaskörper sich in *gut sichtbarer Weise* aus der Netzhaut wiederherstellte. Diese unter der Leitung von *van Duyse* angestellten Versuche, denen dieser letztere die Stütze seiner Autorität gab, hätten eine außerordentliche Tragweite, aber, wie wir in der Folge sehen werden, haben sie bisher jetzt keine Bestätigung erhalten.

1) *L. Kessler*, Untersuchungen über die Entwicklung des Auges usw. Inaug. Dissert. Dorpat. 4, 30.

2) *Spampani*, Alcune ricerche sull'origine e la natura del vitreo. Monit. Zoolog. Ital. 1901, S. 145—153.

3) *S. Tornatola*, Nota di embriologia oculare. Messina 1901.

4) *C. Rabl*, Über den Bau und die Entwicklung der Linse. Zeitschr. f. wiss. Zoolog. 67, H. 1, S. 28.

5) *A. Kölliker*, Über Entwicklung und Bedeutung des Glaskörpers. Zeitschr. f. wiss. Zool. 76, 1904.

6) *A. Carini*, Osservazioni sull'origine del vitreo. Monit. Zool. Italiano 1899, S. 33—39.

7) *P. Bertacchini*, Sullo sviluppo dell'umor vitreo. Boll. d. soc.-chirurg. di Modena, 1901, und andere Veröffentlichungen.

8) *A. Haemers*, Regeneration du corps vitré. Arch. d'Ophth. T. 23, 103—114. 1903.

v. *Lenhossék*¹⁾ machte sich auch zum Verfechter der neuen Theorie, aber er ließ wenigstens beim Kaninchen den Glaskörper aus der Linse, statt aus der Netzhaut herkommen.

Auf dem Kongreß der Italienischen ophthalmologischen Gesellschaft, der im Jahre 1902²⁾ in Florenz abgehalten wurde, legte *Tornatola* von neuem seine Theorie dar, deren Richtlinien so zusammengefaßt wurden:

1. Der Glaskörper ist aus Fasern gebildet, die aus dem Ektoderm entstehen oder genauer aus der distalen Wand der Augenblase (Ebene der Netzhaut).

2. Der Glaskörper, sei er embryonal, vollständig oder regeneriert, bildet ein faseriges Netz; und in diesen drei Zuständen besteht eine Beziehung zwischen ihm und der Neuroglia der Netzhaut.

3. Die Zellen, die in der embryonalen Periode bei den Säugetieren bestehen, zeigen sich später am Glaskörper und tragen nur zur Bildung der Blutgefäße bei.

4. Die Zonula ist nur ein Teil des Glaskörpers, für einen anderen physiologischen Zweck ausgestattet. Er hielt außerdem aufrecht: daß es keine Hyaloidealmembran gibt, daß auch nicht eine wirkliche und eigene Membrana limitans der Netzhaut besteht, und daß der Glaskörper ohne Kern sich direkt aus der Grundfläche der Zellen der Pars ciliaris und Netzhaut fortsetzt und mit den Elementen, die in der differenzierten Netzhaut das Stützgewebe bilden, das heißt mit der Neuroglia.

Die Mitteilung von *Tornatola* erregte die lebhafteste Gegnerschaft von *Addario* und noch mehr von *Cirincione*, welcher letzterer schon zu jener Zeit sehr bekannt auf dem Gebiet der Augenembryologie war³⁾.

Cirincione, der jedoch nicht die Theorie von *Tornatola* an und für sich bekämpfte, über deren Bedeutung er erklärte, sich nicht a priori aussprechen zu wollen, hielt aufrecht, daß die von *Tornatola* zur Unterstützung seiner Behauptungen vorgebrachten Beweise ungenügend wären und alles andere eher als überzeugend. Die Diskussion nahm dann einen ziemlich scharf polemischen Charakter an und wurde in verschiedenen Publikationen von *Tornatola* bis zum Jahre 1904⁴⁾, von *Cirincione* bis 1905⁵⁾ fortgesetzt. Aber während der erste, soviel ich weiß, sich seit jener Epoche nicht mehr mit dem Glaskörper beschäftigt hat, sind aus der Schule des zweiten, auch aus neuester Zeit, verschiedene Arbeiten hervorgegangen, die sich alle auf die Theorie des Mesodermursprungs des Glaskörpers stützen. Ich werde Gelegenheit haben, einige dieser Arbeiten zu erörtern oder sie im Laufe dieser Veröffentlichung zu erwähnen.

Seinem Gedanken getreu, daß die Netzhaut sich direkt im Glaskörper fortsetze, veröffentlichte *Tornatola*⁶⁾ im Jahre 1904 eine kurze Erklärung, in der er

¹⁾ von *Lenhossék*, Die Entwicklung des Glaskörpers. Leipzig 1903. S. 107. 2. Tafel, 10. Abb.

²⁾ *S. Tornatola*, Sull'origine del vitreo. Rend. Riassunt. des VI. Congr. dell'Assoz. oftalm. Italiana. Firenze 1902, S. 77—82.

³⁾ *Cirincione*, G. Sulla genesi del vitreo del vertebrati (Com. e dimostr. fatta al Congresso Anatom. di Heidelberg, giugno 1903). La Clinica Oculistica, luglio 1903, S. 1353—1366; Sullo sviluppo della capsula perilenticularis. Napoli 1894; Über die Entwicklung der Capsula perilenticularis. Arch. f. Anat. u. Entwickl. Suppl. 1897; Sullo sviluppo dell'occhio dei rettili. Palermo 1901.

⁴⁾ *S. Tornatola*, Rettifiche al prof. Cirincione (Per la storia del vitreo). Messina 1904.

⁵⁾ *G. Cirincione*, Sullo stato odierno della questione riguardante la genesi del vitreo. Siena 1905.

⁶⁾ *S. Tornatola*, Sulla membrana limitante interna della retina dei vertebrati. Anat. Anz. 23, 536. 1904.

ohne weiteres behauptet, daß die Membrana limitans der Netzhaut in der Tat nicht existiere, und daß es tatsächlich nicht wahr sei, daß, wie *Retzius*¹⁾ behauptete, die Fasern von *Müller* sich am inneren Rand der Netzhaut ausbreiteten, bis sie miteinander in Berührung träten, sondern daß sie, wo es auch immer sei, dieselbe Dichte behielten. *Retzius*, dessen einflußreiche Arbeiten auf mannigfachen Gebieten der Anatomie und der Embryologie¹⁾ wohlbekannt sind, erwiderte im selben Jahre und erklärte, daß er, nachdem er die Versuche, die er näher angibt, wiederholt habe, zu den gleichen Schlüssen wie das erstemal kommen müsse, das heißt zu schließen, daß die Membrana limitans interna der Netzhaut existiere²⁾. Ich möchte einen Satz aus seinen Schlußfolgerungen anfügen:

„Die (inneren) Seiten der Stützfaser von *Müller* sind mosaikartig verbunden, und durch diese Art entsteht auf der inneren Fläche der ganzen Netzhaut eine Fläche, auf der normalerweise keine Höhlung oder Spalt besteht. Bei den erwachsenen Tieren besteht mit der Hyaloidea des Glaskörpers keine andere Verbindung außer der nahen Nachbarschaft. Weil die innere Limitansfläche eine kontinuierliche ist, so findet sich auch kein direkter Zusammenhang zwischen den Gewebsteilen der Retina und des Glaskörpers. Die schon erwähnte Veröffentlichung von *Tornatola* scheint einer wirklichen Grundlage zu ermangeln.

Wenn auch während der embryonalen Entwicklung das Gewebe des Glaskörpers zum kleinen Teil aus dem äußersten Ende der Müllerschen Bündel herkommt, so findet man später und besonders bei den Erwachsenen keine strukturelle Fortsetzung der Elemente der Netzhaut in dem Gewebe des Glaskörpers.“

Diese Behauptungen von *Retzius* sind, sei es durch den Wert des Verfassers, sei es, weil sie reichlich dokumentiert werden, derart, daß sie einen guten Teil der Grundlagen erschüttern, auf denen die Theorie *Tornatolas* ruht. Dennoch hat diese Theorie heute eine Autorität und Verbreitung wie nie zuvor. In Deutschland, Frankreich und Belgien haben sich die größten Namen zur Ektodermtheorie bekehrt, *E. Hertwig* — *Fuchs* — *Axenfeld* — *V. Franz* — *F. Keibel* — *Wolfrum* — *Seefeld* — *von Dujse* — *Mawas* und *Magitot* usw.). In Italien stehen *Cirincione* und seine Schule treu zur Mesodermtheorie, die eine neuere und schätzenswerte, obwohl nur vorläufige Arbeit von *Monesi*³⁾ gleichfalls unterstützt.

Indes geben die deutschen Autoren, zum Unterschied von *Tornatola*, die Abstammung der ganzen Netzhaut nur vom primordialen Glaskörper für die weniger vorgerückten embryonalen Perioden zu, während der Glaskörper später von der Pars ciliaris herkommt.

Folgendes sind die Schlußfolgerungen der Arbeit von *Wolfrum*⁴⁾, eine der geschätztesten und bekanntesten über diese Frage:

Der Glaskörper ist bei den Säugetieren eine reine Ektodermbildung. In der Entwicklung können zwei Perioden unterschieden werden:

1. Die Bildung eines ursprünglichen Glaskörpers, der durch das Vorhandensein von radiären Fasern gekennzeichnet wird, die von den Stützzellen (Gliazellen von *Müller*) abstammen.

2. Die Bildung eines festen Gerüsts durch transversale Verflechtungen, das aus den radiären Fasern, wie auch aus der Netzhaut herkommt, und das in einer

¹⁾ *Retzius, G.*, Om membrana limitans retinae interna. Nordiskt Medicinskt-Arch. III. 1871.

²⁾ *G. Retzius*, Die membrana limitans interna der Netzhaut des Auges (separ. Druck). Stockholm 1904.

³⁾ *L. Monesi*, Contribuito allo studio della genesi del vitreo nei vertebrati. Estr. Atti Soc. Lomb. di Scienze Med. e Biol. Vol. X, fasc. 2. Milano 1921.

⁴⁾ *Wolfrum*, Zur Entwicklung und normalen Struktur des Glaskörpers. v. Graefes Arch. f. Ophthalmol. 65, 220—266. 1907.

vorgeschrittenen Periode hauptsächlich dem ciliaren Teil der Netzhaut zuzuschreiben ist.

3. Die Linse nimmt nicht an der Bildung des Glaskörpers teil: Die Lenticularprozesse sind nichts anderes als Vorbereitungen zur Fixation.

4. Das Mesoderm, besonders das Gefäßsystem, hat nur eine Ernährungsfunktion bei der Entwicklung des Glaskörpers.

5. Es existiert keine Hyaloidea als vom Glaskörper getrennte Membran, sondern die Limitans interna ist eine Trennungsmembran, die gemeinsam dem Glaskörper und der Netzhaut angehört.

In der neueren Arbeit von *Mawas* und *Magitot*¹⁾ wird gleichfalls die reine Ektodermtheorie aufrechterhalten; aber der Glaskörper wird von der ganzen Oberfläche der Netzhaut, auch in relativ vorgeschrittenen embryonalen Perioden, abgeleitet. Indessen nehmen diese Autoren auch einen, wenn auch nur teilweisen und vorübergehenden Ursprung des Glaskörpers aus der Linse an und erkennen, daß der sog. primitive Glaskörper keine charakteristische Bildung der sekundären Augenblase ist, sondern sich auch vor dem Aufpfropfen der Linse bildet und in den Höhlungen der ganzen Nervenscheide vorkommt²⁾.

Nach den Untersuchungen von *v. Szily*³⁾ findet sich ein morphologisch mit dem primitiven Glaskörper identisches fibrilläres Netz in allen Höhlungen des Embryo in den ersten Perioden der Entwicklung, einerlei, ob sie von einem Epithel ektodermalen oder mesodermalen Ursprungs begrenzt sind.

Diese Fibrillen wären nichts anderes als feine Intercellularbrücken. So wäre der primitive Glaskörper gleichfalls aus Intercellularbrücken zwischen Netzhaut und Netzhaut oder zwischen Linse und Netzhaut gebildet. Später nähmen die Zellen der Gefäße des Glaskörpers gleichfalls teil an der Bildung des Glaskörpers. Die Theorie von *v. Szily* ist, wie man sieht, gemischt, und dem Mesoderm wird sicher nicht ein sekundärer Anteil an der Bildung des Glaskörpers zugewiesen, wenigstens in den ersten embryonalen Perioden, denn mit diesen allein beschäftigt sich der Autor.

Mawas und *Magitot* führen einen neuen Faktor in die Bildung des Glaskörpers ein: den präpapillären Pfropf (zaffo prepapillare) und seine vermutlichen Fortsätze auf dem ganzen Gefäßbaum des Glaskörpers.

Der präpapilläre Pfropf, der auch von den früheren Forschern der Augenembryologie nicht unbemerkt geblieben war, zog in besonderer Weise die Aufmerksamkeit von *R. Seefelder*⁴⁾ auf sich, der auf der Basis zahlreicher und genauer Beobachtungen seine Entwicklung und histologische Beschaffenheit in einer Mittheilung beschrieb, die auf dem XI. Internationalen Kongreß für Ophthalmologie, der im Jahre 1909 in Neapel abgehalten wurde, gemacht wurde, und ein Jahr später in einer ausführlichen Publikation, die in *v. Graefes Archiv für Ophthalmologie* erschien⁵⁾.

1) *Mawas* und *A. Magitot*, Étude sur le développement du corps vitré et de la zonule chez l'homme. Bull. Fond. Ophtalm. Rothschild 1912, p. 123—226.

2) *van Pée*, Recherches sur l'origine du corps vitré. Arch. de Biologie 19, 317 bis 385. 1902.

3) *A. von Szily*, Zur Glaskörperfrage. Anat. Anz. 24, 417—428. 1904. — *Derselbe*, Über das Entstehen eines fibrillären Stützgewebes im Embryo und dessen Verhältnis zur Glaskörperfrage. Anat. Hefte Abt. 1, Bd. 35, H. 3, S. 649—757. 1908.

4) *R. Seefelder*, Über die Entwicklung der Netzhautgefäße des Menschen. XI. Congr. Intern. di oftalmol. Fascio 2. Comun. 84, 493—500. Napoli 1909.

5) *R. Seefelder*, Beitrag zur Histogenese und Histologie der Netzhaut, des Pigmentepithels und des Sehnervs. v. Graefes Archiv 73, 419—537. 1910.

Seefelder gab den ektodermalen oder genauer den Gliacharakter des präpapillären Pfropfs „Gliamantel“ zu, auf Grund von Betrachtungen, die später Gegenstand der Diskussion sein werden.

Auf demselben Kongreß zu Neapel wurde von *Calderaro*¹⁾ eine andere Mitteilung gemacht, in der die Frage des präpapillären Pfropfs kürzer, wir können sagen fast nebensächlich behandelt wurde, aber auf Grund nicht weniger genauer Beobachtungen als derjenigen von *Seefelder*, wie übrigens alle Beobachtungen der Augenembryologie der Schule von *Cirincione*.

Calderaro bestätigt den Mesodermcharakter des präpapillären Pfropfs, dessen Hauptaufgabe wäre, die Netzhautgefäße entstehen zu lassen. Es erregt wirklich Erstaunen, wie vollkommen entgegengesetzte Behauptungen über dasselbe Thema ohne Diskussion bei jenem Kongreß aufgenommen wurden. Indessen ist heute die Ektodermtheorie des präpapillären Pfropfs fast allgemein angenommen, während die Mesodermtheorie fast ganz vergessen ist.

Nun legen, wie weiter oben gesagt worden ist, *Mawas* und *Magitot* dem präpapillären Pfropf eine große Wichtigkeit bei, und hauptsächlich seinen vermutlichen Fortsätzen über alle Verzweigungen der Hyaloidea bei der Bildung des Glaskörpers (axialer Glaskörper), der in einer bestimmten Periode der Entwicklung (Ende des 3. Monats) den größten Teil des ganzen Glaskörpers darstellen würde.

Diese Autoren behaupten, daß die vom präpapillären Pfropf an der Arteria hyaloidea gebildete Scheide nicht in klarer Weise an einem gewissen Punkte stehen bleibt, der mehr oder weniger entfernt von der Papille sein kann, je nach der embryonalen Periode, sondern daß er sich in Cellularverzweigungen fortsetzt, die sich, wie der Efeu, an den äußeren Wänden der Hyaloidealgefäße emporranken und sich bis in die kleinsten Zweige vordrängen.

„Cette disparition de l'enveloppe névrologique n'est qu'une apparence. En réalité, si on ne la voit pas sur les branches de l'artère hyaloïde sous forme de gaine autonome et nettement visible, il n'existe pas de rameau vasculaire, si petit soit-il, qui ne présente sur sa face vitrée quelques cellules névrogliales issues du manteau basilaire.“

Ces cellules montent le long de l'endothélium du vaisseau, comme la lierre grimpe le long d'un arbre en s'agrippant intimement à l'écorce. On trouve aussi des cellules gliales de loin en loin, mais elles restent en concession les unes avec les autres par leurs prolongements fibrillaires. Ce qui a pu faire croire à la termination brusque de la gaine perivascularaire c'est que la plupart du temps les coupes intéressent obliquement les deux organes. Il s'ensuit alors un véritable bec de flûte plus ou moins allongé.“

Diese an der äußeren Wand der Gefäße angehefteten Gliazellen lösen sich von Zeit zu Zeit ab und fallen in den Glaskörper, wo sie zahlreiche fadenförmige Verlängerungen abgeben, die in Beziehung treten zu den von der Netzhaut herührenden Fasern.

Es würde folglich existieren:

1. Ein primordiales Glaskörper, aus der Netzhaut in ihrer ganzen Ausdehnung und zum kleinen Teil aus der Linse herstammend.
2. Ein axialer Glaskörper, der vom 3. bis 6. Monat der embryonalen Entwicklung existiert, und der seine größte Entwicklung am Ende des 3. Monats hat.
3. Ein definitiver Glaskörper, der aus den Gliaelementen der Netzhaut herührt, zuerst in ihrer ganzen Oberfläche, später nur aus der Ciliarregion.

¹⁾ *Calderaro*, Recherche anatomique, embriologique e cliniche sulla persistenza dei tessuti ialoidei nell'occhio umano adulto. XI. Congr. Intern. di Oftalmol. Fasc. 2. Comun. 81, 468—483. Napoli 1909.

Das Mesoderm, das in die sekundäre Augenblase eintritt, hätte gefäßbildende Funktion, *aber keinen Anteil an der Bildung des Glaskörpers.*

Nach *Franz*¹⁾ wäre der Glaskörper histologisch nichts anderes, als eine stark entwickelte Basalmembran der Netzhaut; aber alle Zellen, die sich dort finden, wären mit aller Wahrscheinlichkeit mesodermalen Ursprungs.

Anhänger eines gemischten Ursprungs des Glaskörpers sind, wie wir gesehen haben, *Kölliker* in seinen letzten Lebensjahren, *v. Szily* und *van Pée*. Man kann sogar sagen, daß *van Pée* der wirkliche Autor der Theorie des gemischten Ursprungs gewesen ist. Nach diesem Autor bildet sich der Glaskörper zuerst aus der Linse und dann aus der Netzhaut. Gleichzeitig mit der Arteria hyaloidea dringen spindelförmige Mesodermzellen in die Augenhöhle ein, die in Verbindung stehen mit der Lamina mesodermica anterior und mit dem ganzen extraokularen Mesoderm. Aus diesen Zellen entstehen Glaskörperfasern, die in der Folge das Übergewicht über die Fasern des Ektoderms erhalten.

Kürzlich ist *Harvey J. Howard*²⁾ der Theorie vom Ursprung des Glaskörpers wieder nachgegangen, indem er anatomisch ein Kinderauge mit Überresten von Gefäßen auf der hinteren Oberfläche der Linse untersuchte und nimmt an:

1. Einen primitiven Glaskörper, der aus den konischen Basalzellen der Linse und den tiefen Zellen der Netzhaut her stammt.

2. Einen transitorischen Glaskörper von Mesodermursprung, der aus den Bindegewebszellen abstammt, in Abhängigkeit von dem System der Arteria hyaloidea.

3. Einen permanenten Glaskörper, der aus den Zellen der Pars ciliaris der Netzhaut her stammt.

Die Frage der Morphologie des Glaskörpers ist eng verbunden mit seiner Entwicklung, so daß alle diejenigen, die sich mit der Entwicklung des Glaskörpers beschäftigt haben, sich notwendigerweise mehr oder weniger ausführlich auch mit der histologischen Struktur in den verschiedenen embryonalen Phasen und im Auge des Erwachsenen beschäftigt haben. Indessen haben sich in nicht weit zurückliegender Zeit *Schwalbe*³⁾, *Retzius* (l. c.) und *H. Virchow*⁴⁾ spezieller damit befaßt. Die älteren Untersuchungen von *Stilling*, *Brücke*, *Iwanoff*⁵⁾, *Hannover*, *Bowman* usw. haben heute einen großen Teil ihres Wertes verloren; das System konzentrischer Lamellen und radialer Spalten des Glaskörpers, das einige dieser Autoren unter Anwendung verschiedener Reagenzien (besonders Bleizucker und Chromsäure) aufzeigen konnten, wird heute als künstlich betrachtet und gerade durch die Reagenzien selbst verursacht, obwohl *Testut*⁶⁾ in seiner Ausgabe des Jahres 1899 es noch für tatsächlich existierend ausgibt.

Was *Schwalbe* betrifft, so stellt er weder die oben angeführte Struktur in Abrede, noch bestätigt er sie, wenn er sie auch für wahrscheinlich hält. Er nimmt Fibrillen im Glaskörper an bei der Ciliarregion und genauer bei der Ora serrata.

1) *V. Franz*, Im Lehrbuch der vergleich. mikroskop. Anatomie der Wirbeltiere. 7. Teil, Sehorgan, S. 153—155. 1913.

2) *Harvey J. Howard*, L'origine du corps vitré. Amer. Journ. of Ophthalm. 5, 3. VIII. 1920 (Rec. Ann. d'Oculistique 158, 304. 1921).

3) *G. Schwalbe*, Anatomie du corps vitré. — Traité complet d'Ophthalmol. De Wecker et Landolt 11, 517. 1884.

4) *H. Virchow*, Über Zellen an der Oberfläche des Glaskörpers bei einem Alpakaschaf und bei zwei Hühnern. Internat. Monatsschr. f. Anat. u. Physiol. 21, 299—310. 1904.

5) *Iwanoff*, Zur normalen und path. Anatomie des Glaskörpers. v. Graefes Arch. f. Ophthalmol. 11, 55.

6) *L. Testut*, Trattato di anatomia umana. Vol. 11. Parte 4, p. 192—195. Torino 1899.

während sie anderswo außerordentlich selten beim Erwachsenen, häufiger beim Embryo wären.

Ausgesprochen fibrilläre Struktur hätte der Glaskörper des Embryo und des Erwachsenen nach *Retzius*¹⁾; gleicherweise schließt *Ciaccio*²⁾ auf eine fibrilläre Struktur des Glaskörpers und mit ihm fast die Gesamtheit jener, die sich mit der Frage beschäftigt haben, unter den ersten durch die Weite und Genauigkeit der Untersuchungen ist *Contino*³⁾.

Fast allein bei der Bestätigung der homogenen Struktur des Glaskörpers bleibt *Bertacchini*, der den Glaskörper von aus den Hyaloidealgefäßen ausgewanderten Zellen ableitet. Aber in der Vergangenheit waren auch, wie bekannt ist, *R. Virchow* (1851), *Kölliker* (1860) und *Beauregard* (1880) der Meinung, daß der Glaskörper des Erwachsenen ohne Struktur sei.

Der Hyaloidealkanal, der die Arteria hyaloidea umgibt, erscheint zuerst in der zweiten Hälfte des 3. Monats des embryonalen Lebens und modifiziert ihre Bildung in der Folge. Die Veränderung der Bildung der Arteria hyaloidea und ihrer Zweige ist, soviel ich weiß, beim Embryo von niemand in Zweifel gezogen worden.

Dagegen ist die Existenz des Hyaloidealkanals im Auge des Erwachsenen viel diskutiert, von manchen geleugnet und auch kürzlich Gegenstand lebhafter Diskussion gewesen. Der embryonale Kanal (Kanal von *Cloquet*) und derjenige des Auges des Erwachsenen (Kanal von *Stilling*) wären nach *Schwalbe* nicht das gleiche, was augenscheinlich ist; aber ebenfalls scheint die Entstehung des zweiten aus dem ersten evident. Es gelang *Stilling*, den Hyaloidealkanal mit einer Karminlösung zu demonstrieren, die er tropfenweise auf den Glaskörper fallen ließ, der am korrespondierenden Punkte der Papille des Nervus opticus isoliert war.

Andere haben den Glaskörper durch einen äquatorialen Schnitt in zwei Teile zerlegt und die färbende Flüssigkeit auf die Schnittoberfläche tröpfeln lassen. Die Demonstration ist vor allem leicht bei den Augen des Schweins.

In ziemlich neuer Zeit hat sich in v. Graefes Archiv eine Diskussion entwickelt zwischen *Wolfrum*⁴⁾, der die Existenz des Hyaloidealkanals beim Erwachsenen in Abrede stellt, und *Stilling*⁵⁾ und besonders *Schaaß*⁶⁾, die ihn zugeben. In letzter

¹⁾ *Retzius*, Beobachtungen über den inneren Bau des Glaskörpers im Auge usw. Moleschotts Unters. zur Natur **10**, Heft 6, S. 583—589. 1870.

²⁾ *Ciaccio*, Du mode de formation des vésicules primaires des yeux et pourquoi elles se transforment en secondaires; origine, formation et texture interne de l'humeur vitrée — Arch. Ital. de Biologie. 1893. Vol. XIX. p. 232—240.

³⁾ *A. Contino*, Il corpo vitreo dell'uomo e degli animali superiori. Col. I. Ricerche chimiche, biologiche e istologiche. Palermo 1919.

⁴⁾ *M. Wolfrum*, Zur Frage nach der Existenz des Glaskörperkanales. v. Graefes Arch. f. Ophthalmol. **67**, 170. 1908. — *Derselbe*, Zur Bemerkung Prof. Stillings zur Frage nach der Existenz des Glaskörperkanales. v. Graefes Arch. f. Ophthalmol. **70**, 236. 1909. — *Derselbe*, Ist das konstante Vorkommen des Glaskörperkanales Kunstprodukt oder präformierte Struktur? v. Graefes Arch. f. Ophthalmol. **75**, 213 bis 215. 1910.

⁵⁾ *Stilling*, Eine Studie über den Bau des Glaskörpers. v. Graefes Arch. f. Ophthalmol. **15**, 300. 1869. — *Derselbe*, Bemerkung der Mitteilung von Wolfrum: Zur Frage nach der Existenz des Glaskörperkanales. v. Graefes Arch. f. Ophthalmol. **69**, 192. 1908.

⁶⁾ *E. Schaaß*, Der Zentralkanal des Glaskörpers. v. Graefes Arch. f. Ophthalmol. **67**, 58. 1908. — *Derselbe*, Das konstante Vorkommen des Zentralkanals des Glaskörpers. v. Graefes Arch. f. Ophthalmol. **71**, 186. 1909. — *Derselbe*, Nochmals zur Frage nach dem konstanten Vorkommen des Zentralkanals des Glaskörpers. v. Graefes Arch. f. Ophthalmol. **73**, 200. 1909.

Zeit sind *Bribach*¹⁾ und *v. Szent-Györgyi*²⁾, dieser letztere aus der Schule von *Lenhossék*, in die Diskussion eingetreten zur Unterstützung der Ansicht von *Stilling* und *Schaaf*, indem der erste auch Photographien von Präparaten vorzeigte, auf denen der *Canalis hyaloideus* klar dargelegt wurde. Wenn *Wolfrum* auch nicht nachträglich entgegnet hat, wenigstens nicht in *v. Graefes Archiv*, so glaube ich doch nicht, daß sich seine Ansicht geändert hat, noch daß die Frage in dem einen oder dem anderen Sinn definitiv gelöst ist³⁾. Nach *Seefelder* und *Magitot-Mawas* finden sich in dem primordialen Glaskörper, sofort nach der Einstülpung der Augenblase Zellen, die der Netzhaut entstammen und aus der Randschicht abgewandert sind. Diese Tatsache wird mit vielem Widerstreben von *Franz* angenommen.

Wenig später füllt das Mesoderm die ganze Augenhöhle aus, indem es die *Arteria hyaloidea* und Abzweigungen entstehen läßt, und dann scheinen alle Zellen des Glaskörpers von Mesodermursprung zu sein. Nachdem einmal der Gefäßbaum gebildet wäre, würden die übrigbleibenden Mesodermzellen zerstört werden, weil ihre ausschließlich gefäßbildende Aufgabe erfüllt wäre, nach *Tornatola*. Dieser Autor sagt uns aber nicht, welcher Art, noch welchen Ursprungs die Zellen seien, die sich zu jeder Periode des embryonalen Lebens mehr oder weniger zahlreich im Glaskörper finden, besonders um die Gefäße herum, oder bei der ganzen Oberfläche der Netzhaut (*Cellulae subhyaloideae*). Als *Schwalbe* den Glaskörper in den Lymphsack des Frosches eingeführt hatte, sah er, daß der Glaskörper sich mit Lymphzellen füllte, die in allem den Zellen gleich waren, die zuvor im Glaskörper vorhanden waren. Er schloß daraus, daß alle Zellen, die im Glaskörper existieren, als aus den *Hyaloidalgefäßen* ausgewanderte Zellen betrachtet werden müßten. Dieser Ansicht scheint der größte Teil der Autoren und auch *Bertacchini* zu sein, der gerade von diesen Zellen den Glaskörper abstammen läßt. *Mawas* und *Magitot* dagegen, wie weiter oben angedeutet wurde, nehmen an, daß diese Zellen *Gliaursprung* hätten; aber ihre Auffassung ist durchaus nicht original, da kurz zuvor *Seefelder*, wenn er sich auch nicht über ihre Aufgabe aussprach, die Möglichkeit zugegeben hatte, daß eine gewisse Anzahl von Zellen des *Gliamantels* in den Glaskörper abwanderte.

Auch beim Erwachsenen, wenigstens beim Menschen und bei den Säugetieren, ist die Existenz wenig zahlreicher Zellen im Glaskörper an seiner Randzone (*Cellulae subhyaloideae*) von fast allen zugegeben und kann als konstant gelten. Dagegen wurde das Vorhandensein von Zellen oder Pseudozellen im Innern des Glaskörpers bald zugegeben und bald bestritten, und man kann sagen, daß sich unter *normalen Bedingungen* keine Zelle im Innern des ausgewachsenen Glaskörpers der Säugetiere finden wird.

Zahlreiche Untersuchungen über die chemischen Bestandteile, über den osmotischen Druck, über den Refraktionsindex des Glaskörpers, sei es im ganzen, sei es, bei den zwei vermutlichen Bestandteilen (*Fibrillargerüst* und *flüssiger Teil*) wurden gemacht. Unter andern von *Frerichs*, *Joung*, *Dor*, *Leber* usw., in Italien von *Giacosa*⁴⁾,

¹⁾ *E. Bribach*, Über den Zentralkanal des Glaskörpers. *v. Graefes Arch. f. Ophthalmol.* **76**, 202—211. 1900.

²⁾ *A. v. Szent-Györgyi*, Der *Canalis hyaloideus* im Auge des Schweines. *v. Graefes Arch. f. Ophthalmol.* **85**, 137—145. 1913.

³⁾ Mit der Spaltlampe von *Gullstrand* hätten *Vogt*, *Köppe* und andere keine Spur des *Canalis hyaloideus* beim Erwachsenen gefunden, wenn man den leeren Raum hinter der Linse wegnimmt. Indes kann auch so die Frage nicht gelöst genannt werden.

⁴⁾ *Giacosa*, Ricerche chimiche sul corpo vitreo dell'occhio umano. *Arch. per le Scienze Mediche* **5**, **6**, 29. 1883.

Bottazzi und *Scalini*¹⁾, *Alessandro*²⁾, besonders *Cirincione*³⁾ und *Contino* in der schon erwähnten Arbeit, die außerdem, daß sie sehr zahlreiche eigene Untersuchungen enthält, eine Übersicht der vorangegangenen Forschungen gibt, die man vollständig nennen kann.

Eine ausgedehnte Literatur betrifft die Entwicklung der Zonula Zinnii und ihre Morphologie, und da die beiden Untersuchungsobjekte eng miteinander verbunden sind, beschäftigt sich der größte Teil der Arbeiten gleichzeitig mit dem Glaskörper und mit der Zonula. Sehr kurz und zuletzt werde auch ich mich mit der Zonula befassen, ohne irgendwelche Behauptungen über die Resultate meiner Forschungen aufzustellen, die, für andern Zweck gemacht, in dieser Hinsicht fragmentarisch und ungenau sind. Ich halte in der Tat, und wie ich glaube mit Recht, die Frage der Entwicklung und der Morphologie des Aufhängebands der Linse für noch schwerer lösbar, als die analoge, die den Glaskörper betrifft.

Über das Thema kann man eine ergiebige Literatur und Kritik der früheren Veröffentlichungen in der schon erwähnten Arbeit von *Mawas* und *Magitot* finden und in jener von *Carlini*⁴⁾, die reich mit Tafeln ausgestattet ist.

Die Übersicht, die ich von den hauptsächlichsten Arbeiten über die Entwicklung und die Morphologie des Glaskörpers gegeben habe, ist sehr unvollkommen; sie kann auch nicht anders sein, in anbetracht der sehr großen Menge der Publikationen über diese Materie.

Ich hoffe, mit genügender Klarheit den aktuellen Stand der Frage dargelegt zu haben, auf Grund der älteren und neueren Forschungen.

Zusammenfassend bestehen tatsächlich drei Theorien über den Ursprung des Glaskörpers:

1. Die Mesodermtheorie, ausgegangen von *Schöler* im Jahre 1848; hauptsächlichliche Variante die Theorie der Ausschwizung von *Kessler* (1871), andere Variante die Theorie des Ursprungs der wandernden Zellen von *Bertacchini* (1901).

2. Die Ektodermtheorie, von *Tornatola* im Jahre 1897 vorgetragen; Variante die Linsentheorie von *Lenhossék* (1902) und die Theorie des teilweisen Ursprungs aus den die Gefäße umgebenden Zellen (Gliazellen) von *Mawas* und *Magitot* (1912).

3. Die gemischte Theorie, von *van Pée* im Jahre 1902 veröffentlicht. In dieser, wie in der gemischten Theorie von *v. Szily*, hat das Mesoderm einen überwiegenden Einfluß, während in der gemischten Theorie von *Kölliker* das Mesoderm eine sekundäre Aufgabe hat⁵⁾.

Die Ektodermtheorie hat heute die größte Anzahl von Anhängern.

¹⁾ *Bottazzi* e *Scalini*, Recherches chimico-physiques sur la lentille cristalline. Arch. ital. di biol. **51**, 95. 1909.

²⁾ *Alessandro*, Sull'Anatomia del vitreo. Messina 1900.

³⁾ *Speciale Cirincione*, Sull'indice di refrazione dei mezzi oculari etc. Palermo 1912.

⁴⁾ *V. Carlini*, Sullo sviluppo e la struttura della zonula di Zinn. Dissertazione di libera docenza. Livorno 1911. (V. auch v. Graefes Arch. f. Ophthalmol. **82**, 75 bis 149. 1912.)

⁵⁾ Auch *Cirincione* gab in seinem Bericht auf dem Kongreß zu Heidelberg (1903) zu, daß der Glaskörper zum kleinen Teil aus der Ciliarregion stammt.

Den hauptsächlichsten Einwand, den *Tornatola* gegen die Mesodermtheorie macht, ist, daß sie nicht erklärt, wie der Glaskörper fortfahren kann, zu wachsen und die Augenhöhle zu füllen, nach dem sehr frühen Schließen des embryonalen Spaltes und der darauffolgenden Rückbildung des in die Augenhöhle eingedrungenen Mesoderms. Nun scheint es, daß diese Rückbildung des Mesoderms der Augenhöhle, die auch von *Seefelder*¹⁾ bestätigt wurde, wie wir aus meinen Präparaten ersehen werden können, nicht vorkommt. In Übereinstimmung hiermit ist die von *Seefelder* und von *Mawas* und *Magitot* auf Grund indirekter Beweise behauptete Ektodermnatur des präpapillären Pfropfs alles andere als bewiesen.

Die Zusammenhänge der Fasern des Glaskörpers mit dem Stützgewebe der Netzhaut sind evident in den Zeichnungen, aber nicht in den Photographien von *Tornatola*. Statt dessen sind in der ersten Zeit die Zusammenhänge des Glaskörpers mit dem Mesoderm und mit den hyaloidealen und den die Linse umgebenden Gefäßen klar erwiesen; ebenso besteht der Zusammenhang in jeder anderen Zeit der Entwicklung mit den Gefäßen und mit den perivascularären und subhyaloidealen Zellen. Die Fixationskegel der Fasern des Glaskörpers auf der ganzen Oberfläche der Netzhaut bestehen ohne jeden Zweifel in den ersten embryonalen Perioden, aber nur unter *bestimmten Bedingungen*; sie werden nach genauer Beschreibung und nach der Prüfung der Mikrophotographien der Diskussion wert sein. Andererseits ist bekannt, daß sich solche Kegel auch auf der äußeren Oberfläche der Linse, bald nach ihrer Trennung vom Ektoderm finden; daher versteht man nicht, daß, wie *Wolfrum* will, nur die von der Netzhaut stammenden Kegel die Verbindung von einem Gewebe zum andern herstellen, während diejenigen, die von der Linse herkommen, einfache Fixationsmittel sein sollen. Logischer scheinen mir bei der Betrachtung *Mawas* und *Magitot* zu sein, die nicht gänzlich den Ursprung des Glaskörpers aus der Linse in Abrede stellen. In den weiter vorgeschrittenen Perioden der embryonalen Entwicklung soll der Glaskörper ausschließlich aus der Ciliarregion stammen, aber da sich beim Beginn der Ciliarfortsätze die ersten Fasern der Zonula zeigen, scheint es mir nicht sehr leicht, zu unterscheiden, was dem Glaskörper und was der Zonula zugehört. *Es handelt sich hier also um eine unkontrollierbare Behauptung.*

In den noch weiter vorgeschrittenen embryonalen Perioden trennt sich der Glaskörper deutlich von der Zonula; dann ist in der ganzen Ausdehnung der inneren Oberfläche der bis jetzt geschlossenen Netzhaut die Membrana limitans interna gut sichtbar, und der Glaskörper ist deutlich von der Netzhaut getrennt. Wie erklärt man mit der Ekto-

¹⁾ *Seefelder*, Über den Verschuß der fötalen Augenspalte beim Menschen. Ber. über die 39. Vers. d. Ophthalmol. Ges. Heidelberg, S. 235.

dermtheorie die Möglichkeit, daß der Glaskörper und *besonders sein fibrilläres Stroma* wachsen kann, bis sie den Augapfel bilden können, der wenigstens um das fünf- oder sechsfache vergrößern wird?

Man müßte eine Kontinuität der Fasern des Glaskörpers mit der Netzhaut auch in dem nach-embryonalen Leben annehmen, was, wie wir sahen, von *Retzius* verneint und durch meine Präparate widerlegt wird. Die Erfahrungen von *Haemers* und die Schlußfolgerungen, zu denen er gelangte, wären in der Tat von wesentlicher Bedeutung, aber niemand hat sie seitdem wieder bestätigt, und der Autor selbst hat sich nicht mehr dazu geäußert. *Wolfrum*, der, nach seinen Ansichten über den Ursprung des Glaskörpers, alles Interesse daran hätte, sich auf diese Erfahrungen zu stützen, drückt sich hierzu folgendermaßen aus: „Diese Untersuchungen (jene von *Haemers*) bedürfen immer noch der Bestätigung, da sie bis heute von anderer Seite noch nicht bestätigt worden sind. Seit langer Zeit habe ich mich selbst damit beschäftigt, die Versuche von *Haemers* zu wiederholen, aber ohne zu abschließenden Resultaten zu gelangen.“

Auch ich habe bei zwei Kaninchen erfolglos die Versuche von *Haemers* wiederholt.

Aus dem obenstehenden ergibt sich eine andere Frage, die von größter Bedeutung ist: *Ist die fibrilläre Struktur des Glaskörpers ein durch die verschiedenen Fixationsflüssigkeiten entstandenes Kunstprodukt* (auch in den färbenden Substanzen sind fast beständig Fixationssubstanzen enthalten; folglich kann man bei der frischen Färbung des Glaskörpers schwer die Fixierung verhindern), *oder besteht sie auch intra vitam?*

Wie wir sahen, wird die fibrilläre Struktur des Glaskörpers fast von allen zugegeben. Bei der Besprechung von *Bertacchini*, der die fibrilläre Struktur des Glaskörpers ausschließt, sagt *Contino*, wenn es diesem nicht gelang, die Fibrillen des Glaskörpers zu färben, so sei dies der fehlerhaften Technik zuzuschreiben (l. c. S. 108). Es bleibt indes die Tatsache, daß es bis jetzt niemand gelungen ist, die Fibrillen des Glaskörpers frisch und ohne Färbung zu sehen; *Addario* behauptet, daß es *Ciaccio* gelungen wäre, die Fibrillen ohne Fixativ und ohne Färbung vorzuzeigen. Aber die Behauptung von *Addario* muß als irrig betrachtet werden, weil bekannt ist, daß *Ciaccio* den Glaskörper mit Acidum aceticum fixierte. Ich besitze selbst Photographien von *Ciaccio*, die ich der Gefälligkeit des Freundes, Prof. *Pereyra*, verdanke, auf denen der nicht gefärbte, aber vorher fixierte Glaskörper eine sehr deutliche fibrilläre Struktur zeigt.

Natürlich wäre die Beobachtung der Fibrillen des frischen Glaskörpers von entscheidender Tragweite, um die Frage der Struktur des Glaskörpers selbst zu lösen. Wenn sie stattgefunden hätte, so wäre die

fibrilläre Struktur des Glaskörpers keine Theorie (beachtenswert, wenn man will, aber eben nur Theorie), sondern eine sichere Tatsache, was sie, nach dem Bekenntnis *Continos* selbst, nicht ist. Ich selbst habe mehrmals während langer Zeit am Mikroskop Stückchen des Glaskörpers vom Kaninchen, vom Ochsen oder vom Menschen beobachtet bis zu ihrer vollständigen Austrocknung. Niemals konnte ich Fibrillen im Glaskörper bemerken; aber als Endprodukt sah ich in dem Glase, das den Glaskörper enthielt, nach der vollständigen Verdampfung des Wassers, stäbchenförmige oder kugelförmige Ablagerungen, die unregelmäßig oder in Rosetten angeordnet waren. Dagegen sind die Anheftungsstellen der Zonula in frischem Zustand sichtbar.

Nur *Schwalbe* gelang es nach zahlreichen Versuchen, die Fibrillen des Glaskörpers frisch darzustellen. Es handelte sich indessen um einen Glaskörper, der während langer Zeit im Lymphsack des Frosches war, wo er den größten Teil seines Wassers verloren hatte; folglich ist die Demonstration, wie *Schwalbe* selbst anerkennt, wertlos.

Auch der faserige Rückstand auf dem Filter, auf den man den Glaskörper gelegt hatte, scheint keine größere Bedeutung zu haben; da man auch mit einfachem Eiweißwasser ein analoges Resultat erhält.

Folglich ist die fibrilläre Struktur des Glaskörpers nicht in unanfechtbarer Weise bewiesen. Wir werden später mit Hilfe von Photographien sehen, wie der fibrillären Theorie des Glaskörpers mehrere Tatsachen widersprechen.

Untersuchtes Material und Technik.

Wie wir gesehen haben, findet die Ektodermtheorie, obwohl sie heute vorherrschend ist, nicht einstimmige Zustimmung; vielmehr sind die Verteidiger der Mesodermtheorie zahlreich und beachtenswert.

Ferner haben wir weder eine einzige Ektoderm-, noch eine einzige Mesodermtheorie, und viele Autoren haben, um den vielfachen Tatsachen gerecht zu werden, die man während der Embryogenese des Glaskörpers beobachtet, einen gemischten Ursprung mit Vorherrschaft des Mesoderms oder des Ektoderms angenommen.

Die Ursache vielfältiger und oft sich widersprechender Erklärungen über unveränderliche Phänomene ist in den außerordentlich großen Schwierigkeiten zu suchen, die sich der Erlangung eines gut konservierten und anatomisch unveränderten Materials für die histologischen Forschungen über den Glaskörper entgegenstellen.

In der Tat verändert sich der Glaskörper, der ein noch empfindlicheres Organ als die Netzhaut ist, mit einer außerordentlichen Schnelligkeit post mortem; bei seinem reichen Wassergehalt schrumpft er stark, bevor er für die Schnitte mit dem Mikrotom benutzt werden

kann. Daher verliert er ganz oder teilweise oder verändert stark seine Beziehungen zu den benachbarten Organen.

Natürlich verändern nicht alle Fixationsflüssigkeiten den Glaskörper in gleicher Weise; einige beeinflussen ihn, wie es heute scheint, gar nicht oder in geringem Maße, aber die folgende Übertragung in steigende Alkohole und die Einbettung in Paraffin oder in Celloidin verursachen immer eine beträchtliche Schrumpfung.

Bekanntlich sind alle im Gebrauch befindlichen Fixative für den erwachsenen und embryonalen Glaskörper angewandt worden, aber es ist gleichfalls bekannt, daß nur einige dieser Flüssigkeiten nach wiederholten Versuchen bevorzugt werden. Was mich betrifft, so habe ich, nachdem ich Formol, die Flüssigkeit von Müller, von Zenker, die Mischung von Schaudin, Sublimat usw. angewandt habe, mich davon überzeugt, daß man die besten und beständigsten Resultate mit der Flüssigkeit von Tellyenniczky erhielt, aber nur stark verdünnt (Bichrom. von K. 0,50%, Acidum aceticum im Augenblick des Gebrauchs 0,50%).

Diese so verdünnte Mischung hat sich mir übrigens als sehr gutes Fixationsmittel auch beim erwachsenen Auge gezeigt, vorausgesetzt, daß man sie wenigstens 3—4 Tage wirken läßt und einmal oder mehrmals wechselt. Für die kleinen Embryonen dagegen sind 12—18 Stunden Einlegen in die Lösung, die wenigstens einmal gewechselt wird, nicht nur genügend, sondern eine längere Dauer gibt weniger gute Resultate.

Für größere Embryonen und für Foetusaugen der vorgeschritteneren Perioden genügt die Dauer von 24—36 Stunden.

Die Embryonen bis zur Hälfte des 3. Monats und den entsprechenden embryonalen Perioden bei den Tieren, sind ganz eingetaucht worden; in den weiter vorgeschrittenen Perioden sind die Augen ausgeschält worden, weil die Entkalkung des Knochens, der sich zu bilden beginnt, bei der Anwendung jeder Säure nicht ohne Schaden für die normalen Beziehungen der Augengewebe ist.

Auch die Augen von beträchtlicher Größe sollen auch nach dem Einlegen in absoluten Alkohol nicht geöffnet werden; jedesmal, wenn ich nach Mawas und Magitot¹⁾ vorging, ergaben sich derartige Beschädigungen des Glaskörpers, sei es in seiner Struktur oder in seinen Beziehungen zu anderen Organen, daß ich schließlich darauf verzichtete. Die Augenhüllen bilden in der Tat einen günstigen Schutz für ein so empfindliches Organ wie den Glaskörper. Die Fixationsflüssigkeiten und die Alkohole durchdringen in gleicher Weise die Augenhüllen, und höchstens können einige oberflächliche Einschnitte mit der Spitze eines Messer von Graefe durch die Sclera der erwachsenen Augäpfel gemacht werden.

Zwar bietet die homogene Einschließung bei Augäpfeln von beträchtlicher Größe manchmal Schwierigkeiten, die aber zu überwinden sind durch die Einbettung in Paraffin, oder besser durch die Einschließung in den leeren Raum.

Ich habe immer die Einbettung in Paraffin jener in Celloidin vorgezogen, wegen der größeren Vertrautheit mit der ersten Methode an unserer Klinik, wegen der Möglichkeit, feinere Schnitte zu machen, und endlich um den Übelstand der Färbung des Grundes auszuschließen. Seitdem hat die Einbettung in Paraffin mir fast beständig sehr gute Resultate geliefert; ich habe nicht für richtig gehalten, die Methode zu wechseln; die Schrumpfung, die das Paraffin hervorruft (wenn die Temperatur des Paraffins nicht 55° übersteigt), ist übrigens nicht beträchtlich.

Man muß die unvermeidliche Schrumpfung, die durch die Alkohole entsteht

¹⁾ Mawas und Magitot, l. c. S. 159.

möglichst beschränken, indem man mit 20% Alkohol beginnt, die Konzentration allmählich steigert und die Einwirkungszeiten ständig verkürzt.

Ich habe die mannigfachsten Methoden der Färbung angewandt, ohne jemals zur Färbung im ganzen zu greifen: sehr gut schien mir die Färbung mit Eisen-Hämatoxylin von *Weigert* und *van Gieson* zu sein, auch sehr nützlich die modifizierte Methode von *Mallory*, d. h. indem man das Hämatoxylin durch Fuchsin ersetzt.

Unter bestimmten Umständen haben gute Dienste geleistet das Rubin, Giemsa, Unna-Pappenheim, Muzicarmin, Tionin, polichromes Blau usw.

Im allgemeinen färbt sich der Glaskörper gut mit den verschiedensten Substanzen, aber nicht in den allerersten embryonalen Perioden und den am meisten vorgeschrittenen, in denen es einer Überfärbung bedarf, um die Fibrillen deutlich erkennbar zu machen. In diesem letzten Fall erwies sich mir das Eisen-Hämatoxylin von *De Lieto Follaro* und das Hämatoxylin von *Carazzi* sehr nützlich.

Die jüngeren embryonalen Augen sind in Serien geschnitten worden; für die weiter vorgeschrittenen Perioden ist das nicht immer möglich gewesen.

Das angewandte Material ist sehr reichlich und umfaßt 19 menschliche Embryonen zwischen dem Beginn des 2. und der zweiten Hälfte des 6. Monats, sehr zahlreiche embryonale Augen vom Ochsen aus jeder Entwicklungsperiode, noch zahlreichere Augen vom Kaninchen; diese jedoch fast alle aus den vorgeschrittensten und erwachsenen Perioden, einige embryonale Augen vom Schwein, einige Augen von der Maus, erwachsene Augen von Huhn und Taube; endlich zwei Embryonen vom Huhn von 40 und 45 Stunden.

Unglücklicherweise waren zwei der jüngeren menschlichen Embryonen nicht brauchbar für das Studium des Glaskörpers, und ich mußte mich entsprechender Embryonen vom Ochsen bedienen, die ich ganz frisch erhalten konnte. Obschon zugegeben wird, daß in den allerersten Perioden die Entwicklung des menschlichen Auges sich nicht in einer von der des Ochsen und anderer höherer Säugetiere verschiedener Art vollzieht, so können doch die Schlußfolgerungen nicht in jedem Fall auf den Menschen angewandt werden. Die andern 17 menschlichen Embryonen sind alle in verschiedener Weise verwendbar gewesen.

Beschreibung des untersuchten Materials.

Die Beschreibung betrifft vor allem die menschlichen embryonalen Augen; aber in den allerersten Perioden mußte, wie schon gesagt wurde, auch zu Embryonen vom Ochsen gegriffen werden, um die Lücke auszufüllen.

Embryo vom Ochsen von 11 mm Länge, entsprechend den menschlichen Embryonen von 5 oder 6 mm Länge (in Formol fixiert).

Dieser Embryo ist wichtig, weil er uns die Linse, im Begriff, sich abzuschnüren, zeigt, aber noch nicht vom Ektoderm gelöst, von dem sie her stammt (s. Abb. 1a). An der hinteren Wand der Linse an derselben Stelle stülpt sich eine dichte Mesoderm-lamina in die sekundäre Augenblase ein.

Die Netzhaut ist in diesem Stadium, was die histologische Bildung betrifft, vom Gehirn in der Tat nicht anders unterscheidbar, als durch die schon beginnende Pigmentierung ihres äußeren Blattes. Die noch nicht sehr zahlreichen Pigmentkörnchen umgeben die Kerne der äußeren Schicht der Netzhaut, aber verdecken sie nicht ganz; sie gelangen bis zum Rand der Augenblase. Nicht nur im Auge, sondern auch anderswo bemerkt man bei diesem Embryo sehr seltene Zellen mit gut differenziertem Protoplasma; die Gewebe bestehen aus Kernen, die an einer intercellulären, homogenen Substanz liegen, die durch ihren Reichtum an Wasser

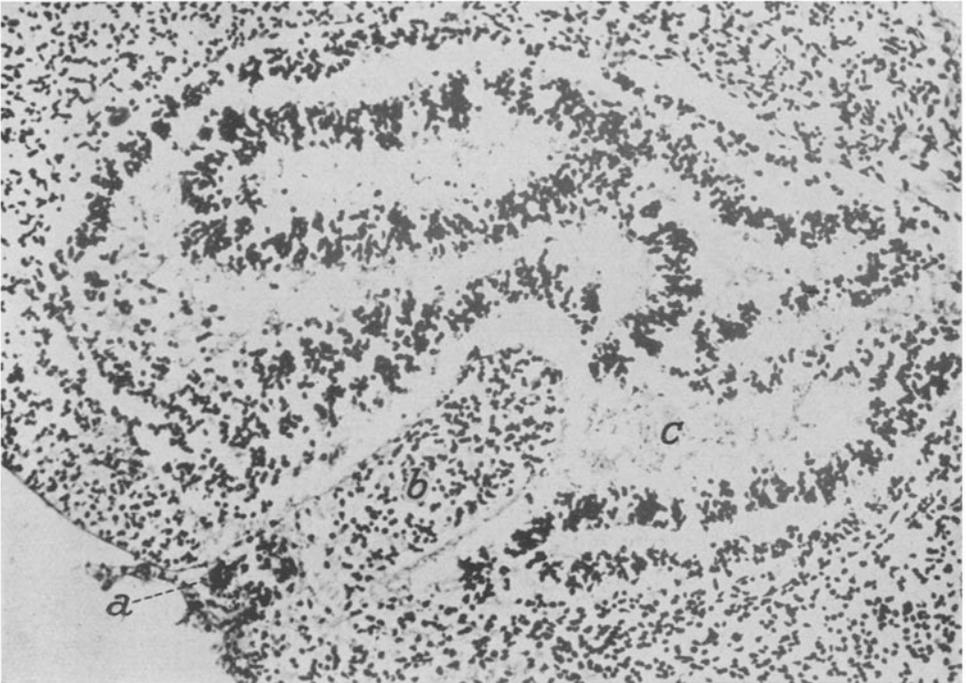


Abb. 1. Von vorn nach hinten gehender Horizontalschnitt durch die Augenblase bei einem Embryo vom Ochsen von 11 mm Länge: *a* = die Linse noch nicht vom Ektoderm losgelöst; *b* = Lamina mesodermica anterior, die, im Zusammenhang mit der Linse, einen guten Teil der sekundären Augenblase ausfüllt; *c* = primordiales Glaskörper.

und durch das angewandte Fixativ (Formol) unter dem Mikroskop in Form von oft zerrissenen Fibrillen erscheint, die netzförmig von Kern zu Kern gehen. Dieses Netz ist besser sichtbar in der Hirnhöhle und in der fast tatsächlich vorhandenen Höhle der sekundären Augenblase (primordialer Glaskörper). Es ist jedoch nicht möglich, dieses Gebilde als charakteristisches Gewebe der Augenhöhle anzusehen, nicht einmal als Gewebe überhaupt. Aller Wahrscheinlichkeit nach muß es sich um Verflüssigung und die spätere Ausschwitzung der Grundsubstanz, des primitiven Syncytium handeln, die sehr rasch, post mortem, die in dem Auge oder anderswo befindlichen Höhlen füllt. Auf diese Weise sind meiner Ansicht nach die Befunde von *v. Szily* zu erklären; sonst wäre nicht zu verstehen, wie das Reticulum existiert, nicht nur zwischen den beiden, zur Netzhaut gehörenden Blättern,

die in dieser Entwicklungsperiode einander wieder genähert, aber nicht verklebt sind, sondern auch zwischen den Falten des inneren Blattes der Netzhaut, die künstlich hervorgerufen sind durch die energische Kontraktionswirkung des Formols.

Schon in dieser Periode ist das äußere Blatt der Netzhaut weniger dicht als das innere; gegen den hinteren Teil der Augenblase ist es aus ein oder zwei Schichten von Kernen zusammengesetzt, die an Zahl zunehmen gegen den Rand der Blase. Das Mesoderm der Lamina anterior verbindet sich (wenigstens anscheinend) mit dem sogenannten primordialem Glaskörper. Außer dem Mesoderm der Lamina

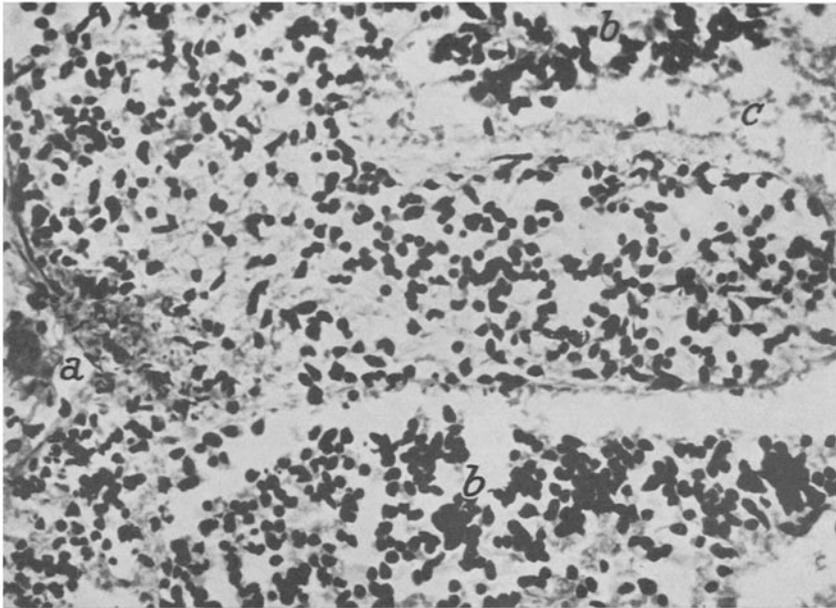


Abb. 2. Teil eines Schnittes desselben Auges bei stärkerer Vergrößerung: *a* = Linse, die bei dem seitlicheren Schnitt der Einstülpung des Ektoderms entspricht; *b* = Netzhaut; *c* = Fibrillen, die die Lamina mesodermica anterior mit der Netzhaut verbinden.

anterior dringt in die Augenblase auch Mesoderm von unten ein, von unten und nach innen und auch ein wenig von unten nach außen. Dieses Mesoderm verschmilzt mehr oder weniger vollständig, je nach den verschiedenen Schnitten, mit dem Mesoderm der Lamina anterior. In von vorn nach hinten horizontal gelegten Schnitten, von oben nach unten ausgeführt, entdeckt man zuerst, wie das Mesoderm der Lamina anterior sich im Mesoderm fortsetzt, das rings herum die Augenblase umgibt.

Bei den folgenden Schnitten erscheint die Linse als Verdichtung des Ektoderms, während das Mesoderm der Lamina anterior weiterhin dieselben Beziehungen zu dem periokularen Mesoderm hat. Bei den mittleren Schnitten, beginnt die Linse sich vom Ektoderm zu trennen, während das Mesoderm der Lamina anterior fast ganz von dem die Blase umgebenden Mesoderm vorn und innen getrennt ist und sich in dem vorderen und äußeren Mesoderm fortzusetzen scheint.

Bei den folgenden Schnitten, durch die unteren Teile der Augenblase, geht das Mesoderm immer ausgedehntere Beziehungen zum Mesoderm der Lamina anterior ein, außen, unten und unten innen, bis sie als autonome Bildung verschwindet. Der choroideale Spalt, durch den das Mesoderm außerhalb der Blase sich mit der Lamina mesodermica anterior verbindet, ist in diesem Stadium sehr weit offen.

Ich habe weder Blutgefäße, noch Blutkörperchen in dem intra- und perikularen Mesoderm finden können und an keinem Orte der Schnitte durch den ganzen Kopf.

Aus dem obenstehenden ergibt sich, wie mir scheint, daß die Existenz einer Lamina mesodermica anterior beim Ochsen nicht bestritten werden kann. Nach der

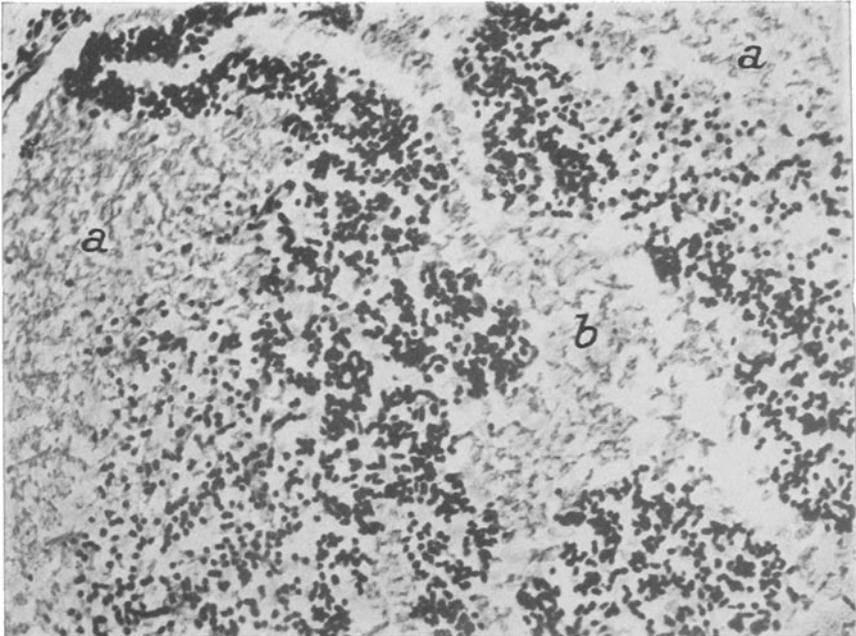


Abb. 3. Teil des Vorderhirns des Embryo, von dem Abb. 1 und 2 stammen. *a* = fibrilläres Netz, wo sich später die Nervenfasern differenzieren; *b* = Netz innerhalb der Höhle des Vorderhirns, identisch mit dem ersten.

großen Ähnlichkeit oder fast Identität der Entwicklung des Auges vom Ochsen und dem menschlichen Auge in den ersten embryonalen Perioden, ist es sehr wahrscheinlich, daß die Lamina auch beim Menschen existiert; aber ihre kurze Dauer und die Schwierigkeit, gute menschliche Embryonen von jener Periode zu erhalten, machen ihre Beobachtung schwierig. So wird die Lamina mesodermica anterior von vielen beim Menschen bestritten, und ist auch in dem kürzlich erschienenen Atlas von *Bach-Seeffelder*¹⁾ nicht abgebildet. Was den primordialen Glaskörper betrifft, so werden, wie ich hoffe, die Abb. 1, 2, besonders die Abb. 3, welche einen Schnitt des Vorderhirns wiedergibt, die oben ausgesprochene Ansicht bestätigen. In der Tat, wenn es sich in *a* (Abb. 3) um primitive Nervenfasern

¹⁾ *Bach* und *R. Seeffelder*, Atlas zur Entwicklungsgeschichte des menschlichen Auges. 3. Lieferung. Leipzig 1911, 1912, 1914.

handeln kann, so ist das pseudofibrilläre Netz b, in der Hirnhöhle enthalten, den in Betracht kommenden Nervenfasern und dem sogenannten primordialen Glaskörper in allem analog.

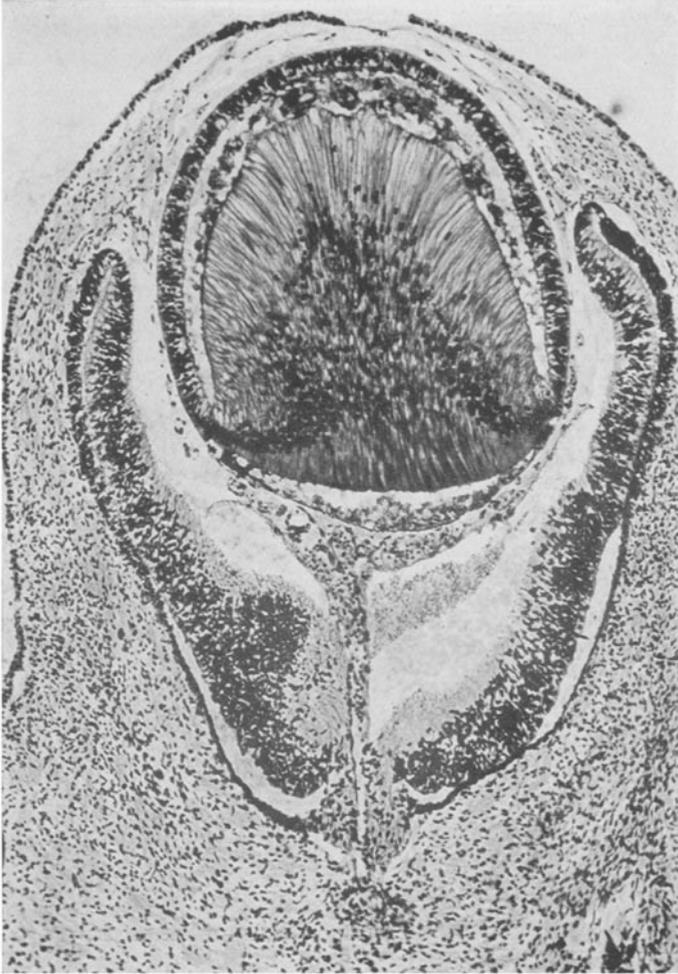


Abb. 4. Axialer Horizontalschnitt in der Richtung von vorn nach hinten durch ein Auge eines Embryo vom Ochsen (Länge Nacken—Steißbein 20 mm). Obwohl das Präparat lange mit Eisen-hämatoxilin Weigert und dann mit Rubin gefärbt wurde, erscheint der Glaskörper bei dieser und bei stärkerer Vergrößerung fast homogen.

In der Höhle der Augenblase hinter der Lamina mesodermica trifft man keine Zelle an, sondern nur das Pseudonetz des primordialen Glaskörpers (Abb. 1c).

Embryo vom Ochsen 20 mm lang (Nacken bis Steißbein). Obwohl dieser Embryo nur eine Woche oder höchstens 10 Tage älter ist als der vorstehend beschriebene, so zeigt sich doch die Entwicklung des Auges in diesem letzteren beträchtlich fortgeschritten (s. Abb. 4).

Die Linse ist nicht nur vollständig vom Ektoderm getrennt, sondern durch das rasche Wachstum ihrer Fasern füllt sie beinahe ganz ihre innere Höhle. Sie tritt um ein gutes Drittel aus den Rändern der Augenblase nach vorn heraus, während sie nach hinten gut die Hälfte der Augenhöhle einnimmt. Sie ist vollständig umgeben von einem Gefäßnetz, das von hinten von der Arteria hyaloidea, die in dieser Periode außerordentlich entwickelt ist, gespeist wird, und von vorn

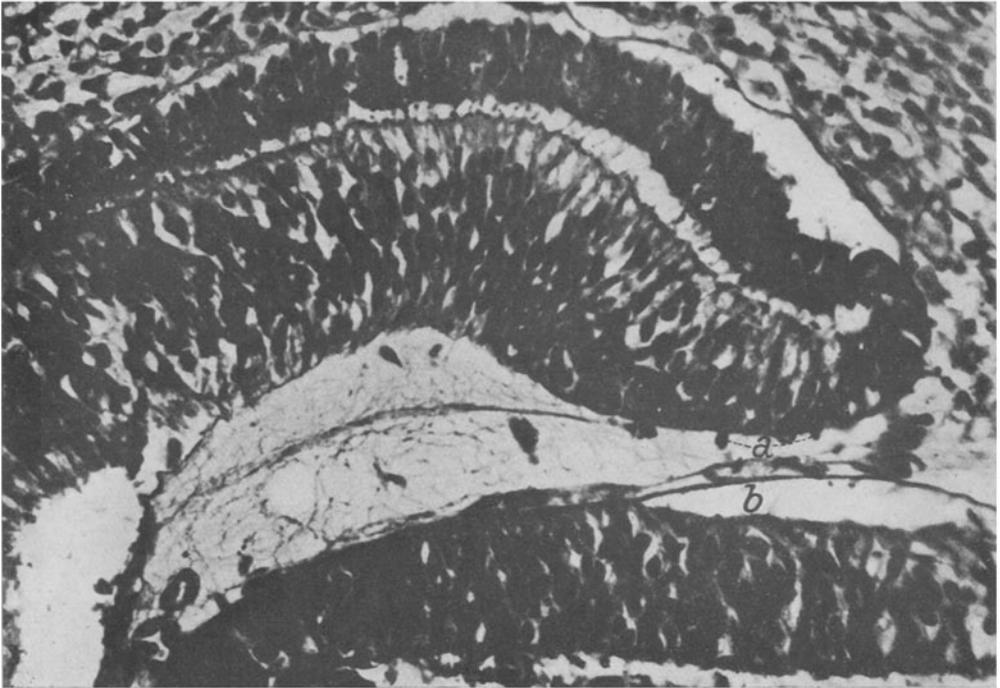


Abb. 5. Gleicher Embryo der vorhergehenden Abb. Vorderer Teil des Auges. Bei diesem Präparat wurden die Fibrillen des Glaskörpers sichtbar gemacht durch Überfärbung mit Hämatoxylin Carazzi. An vielen Punkten ist die Netzhaut gut vom Glaskörper unterscheidbar. Hier und dort einige Kegel mit retinaler Befestigung der Fibrillen des Glaskörpers: *a* = Zellen, die eben von der Netzhaut in den Glaskörper abwandern (Seefelders); *b* = Teil der Gefäßumhüllung und der Kapsel der losgelösten Linse.

und seitlich von dem zirkulären Gefäß, welches einen vollständigen Ring vor dem Rand der Augenblase bildet.

Diese beiden Gefäßbäume bilden durch mehrere Anastomosen ein einziges System. Vor der Linse in der zentraleren Zone ist das Gefäßnetz dünner und von weniger dichten Schlingen als anderswo. Dies ist die erste Anlage der *eigentlichen Pupillarmembran*, die in jeder Periode des fötalen Lebens ausschließlich aus Gefäßen gebildet wird. Dieses vordere Gefäßnetz ist vom Ektoderm (künftiges Epithel der Cornea, durch eine einzige Schicht von Mesodermzellen in seinem zentralen Teil getrennt. Seitlich verdichtet das Mesoderm sich immer mehr, und gegen den Rand der Augenblase setzt es sich hinten in dem die Linse umgebenden perikrystallinischen Mesoderm nach hinten und außen im perivesiculären Mesoderm fort.

Von jetzt ab sind die beiden Blätter der Netzhaut miteinander verklebt. Die Pigmentierung des äußeren Blattes ist sehr vorgeschritten; das innere Blatt besteht aus mehreren Reihen von gewöhnlich länglichen Kernen und aus einer Schicht von Fasern, welche die Augenhöhle begrenzt. In dieser Schicht sind die Neurogliafasern von Müller schon erkennbar; außerdem ist die Membrana limitans interna schon angedeutet.

Der Sehnerv besteht aus länglichen Kernen, die in allem dem peri- und endokularen Mesoderm gleichen, aber etwas dicker und aus Fasern gebildet sind. Er erscheint schon vollständig ausgebildet, außer unten, wo er die Arteria hyaloidea durchtreten läßt. Die Arteria hyaloidea hat geradlinigen Verlauf von vorn nach hinten, näher bei der hinteren Oberfläche der Linse, wo sie sich in viele Zweige aufteilt. Sowohl die Arteria hyaloidea wie die anderen Gefäße haben als Wand eine einfache Endothel-Schicht, wo die länglichen Kerne deutlich hervortreten, während sich das Protoplasma ohne Unterbrechung von einem Kern zum andern fortsetzt. Im Innern der Gefäße finden sich dicke kernhaltige und kernlose Körperchen; die ersten herrschen vor.

Es scheint nicht, daß eine beträchtliche Anzahl von Mesodermzellen die Arteria hyaloidea bei ihrem Durchtritt durch den Sehnerv begleitet. Bei den Serienschritten kann man sehen, wie schon in dieser frühen Periode der embryonale Spalt tatsächlich in seiner ganzen Ausdehnung geschlossen ist. Das intravesiculäre Mesoderm steht nur vorn in Beziehung zum perivesiculären Mesoderm.

Es ist gut sich zu vergegenwärtigen, daß bei diesem Embryo nur die Blutkörperchen als wahre Zellen betrachtet werden können, wenigstens die kernhaltigen, während sich überall sonst Kerne von mehr oder weniger verschiedener Form und schwerer oder leichter färbbar finden, aber noch kein deutlich ausgeprägtes Zellprotoplasma existiert.

Der Glaskörper wird von einem dichten Netz von Fibrillen gebildet, die sich in jeder Richtung kreuzen; *jedoch sind diese Fibrillen schwer färbbar, und um sie sichtbar zu machen, muß man die Schnitte überfärben.* Er steht, außer mit den zuerst beschriebenen Mesodermelementen, mit dem vorderen Mesoderm, mit der Linse und mit der Netzhaut in Verbindung. An der Kapsel der Linse und an den Gefäßen, die sie umgeben, heften sich zahlreiche Fibrillen an, ohne daß man jedoch einen wirklichen und richtigen Fixationskegel bemerkt. An die Netzhaut heften sich zahlreiche Fibrillen an, die, indem sie sich zusammenziehen, die Lostrennung der Limitans und teilweise der hinteren Netzhautsubstanz hervorgerufen haben. Seitlich ist die Membrana limitans interna an einigen Punkten gleichfalls losgelöst; weiter vorn bemerkt man zahlreiche kegelförmige Erhebungen, die sich mit den Fibrillen des Glaskörpers fortsetzen. Noch weiter vorn, gegen den Rand der Augenblase zu, heften sich die Fibrillen an die Limitans interna, ohne irgendwelche Erhöhung hervorzurufen. Das fibrilläre Gewebe des Glaskörpers setzt sich vor der Linse und an den Seiten außerhalb des Randes der Augenblase fort.

Es scheint nicht, daß die kegelförmigen Erhebungen auf der inneren Oberfläche der Netzhaut als eine Fortsetzung des Gewebes zwischen Netzhaut und Glaskörper zu erklären sind; eher muß es sich um eine stufenweise fortschreitende Zugwirkung handeln, die auf der inneren Oberfläche der Netzhaut konzentrisch ausgeübt wird, hervorgerufen durch die von den Fixierungsmitteln bewirkte Zusammenziehung des Glaskörpers. Unter diesem Zug verlängert sich die Membrana limitans, und die dahinterliegende Protoplasmamasse folgt der Bewegung bis zu einem gewissen Grade. Außerhalb dieses Gebiets findet sich die Loslösung der Membrana limitans interna von einem Teil der kernlosen Schicht der Netzhaut. *Man kann kleine teilweise Trennungen abwechselnd mit kegelförmigen Erhebungen sehen, was nach meiner Meinung den Hergang beider Phänomene erklärt (s. Abb. 6).*

Das Fehlen von Loslösungen und kegelförmigen Erhebungen am Rand der Augenblase erklärt sich mit der geringeren Entfernung zwischen Netzhaut und Linse an diesem Punkte, deshalb ein geringerer Zug infolge der Erstarrung des Glaskörpers. Ich habe niemals bei der aufmerksamsten Beobachtung gesehen, daß die Fibrillen des Glaskörpers sich ohne Unterbrechung in das Netzhautgewebe fortgesetzt hätten, aber jedenfalls ist zwischen Netzhautfasern und Fibrillen des Glaskörpers mehr oder weniger deutlich die *Membrana limitans* aufzuzeigen. Dagegen ist die Fortsetzung der Fibrillen des Glaskörpers mit den Mesodermelementen hinten und vorn an der Linse sehr in die Augen fallend. Die Unterscheidung,

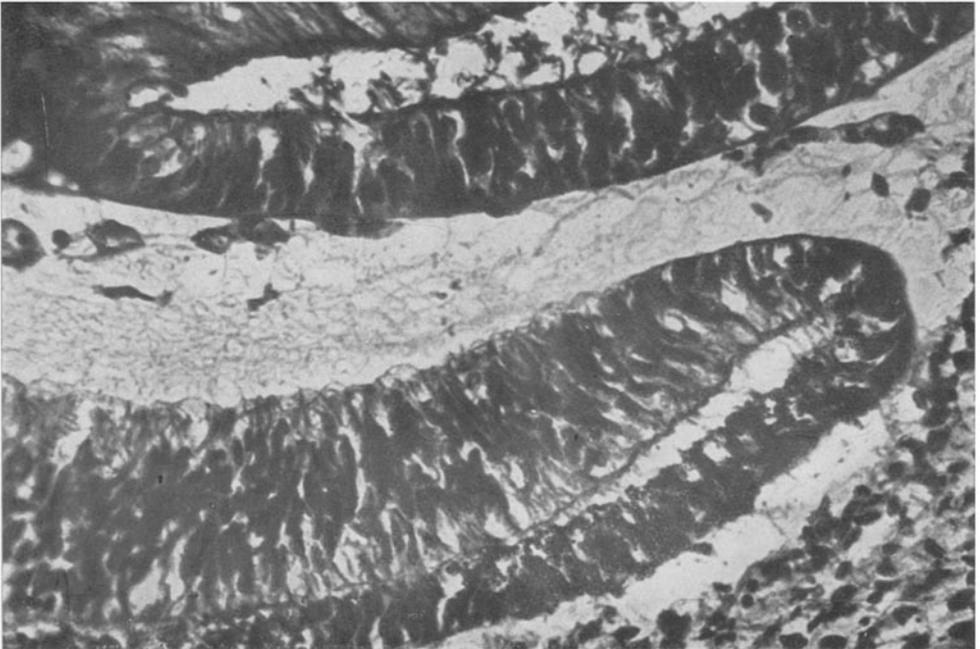


Abb. 6. Gleicher Embryo. — Vorderer Teil des Auges. — Die Befestigungskegel wechseln ab mit begrenzten Ablösungen der *Membrana limitans*. — Trotz der Überfärbung sind die Fibrillen des Glaskörpers wenig sichtbar.

die *Mawas* und *Magitot* zwischen den von den Protoplasmafortsätze der Mesodermzellen ausgehenden Fibrillen und zwischen denen machen, die sich bis zur Höhe der zur Netzhaut gehörenden Kegel erstrecken, hat keine Berechtigung. Sie beide haben das gleiche Aussehen und das gleiche Verhalten gegenüber den Fixierungsmitteln und den verschiedenen Farbstoffen. Außerdem ist die Zahl von Mesodermelementen mit Fortsätzen, die sich in das Netz des Glaskörpers erstrecken, im Gegensatz zu den Behauptungen der meisten Autoren sehr bedeutend. In den Glaskörper dringen auch einige Elemente, die von der Netzhaut herkommen, besonders vom Rand des Augenkelches. Die Wanderung dieser Netzhautzellen, die zuerst von *Seefeldler* bemerkt und von *Mawas* und *Magitot* bestätigt wurde, kann, wie es scheint, nicht in Zweifel gezogen werden, wie aus der Abb. 5a ersichtlich ist, wo einige von ihnen nur halb aus der Netzhaut in den Glaskörper hervorragen.

Es ist wahrscheinlich, daß ihre Bedeutung derjenigen der Zellen analog ist, die in die Linsenhöhle fallen (s. Mikrophotographie Nr. 4), d. h. abblätternde Zellen. Ich habe übrigens beobachtet, daß auch vom Epithel der Linse einige wenige Zellen in den Glaskörper abwandern. Wenn diese Elemente einmal im Glaskörper sind, so lösen sie sich rasch auf, ohne die Protoplasmafortsätze der Mesodermzellen aufzuweisen, die sich im Netz des Glaskörpers (s. Mikrophotographie Nr. 8) fortsetzen und die sich gleichfalls schließlich, aber viel langsamer auflösen.

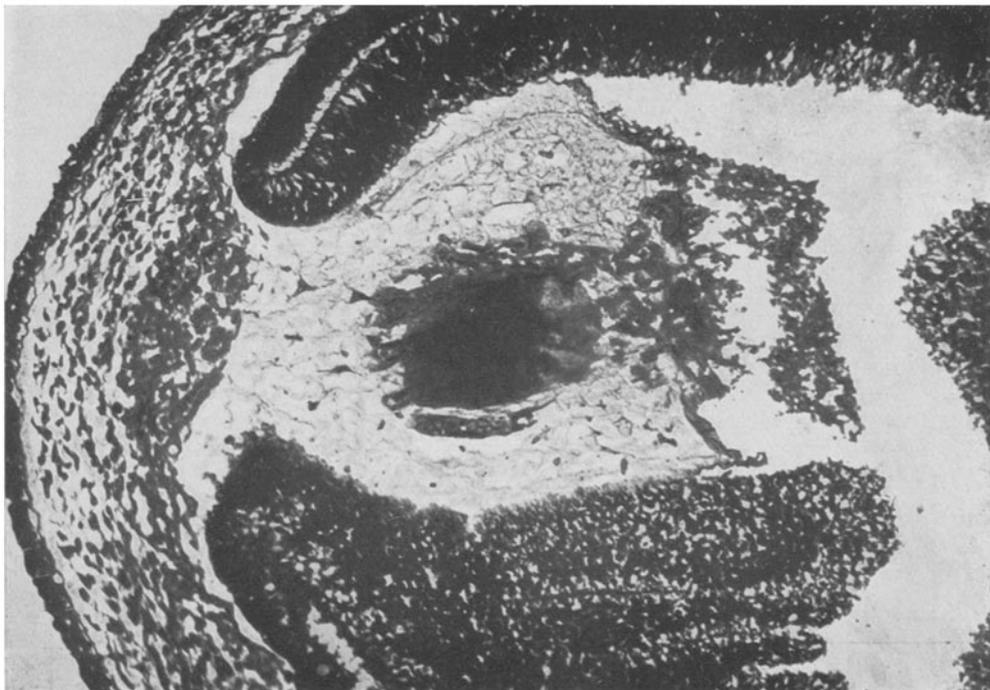


Abb. 7. Gleicher Embryo. Weit seitlicher Schnitt durch das Auge. Das Gewebe des Glaskörpers, welches sich hinter und vor der Linse befindet, steht in augenscheinlicher Beziehung zum extraokularen Mesoderm; pyramiden- und spindelförmige Mesodermzellen mit ihren Fortsätzen beteiligen sich an der Bildung des Glaskörpernetzes.

Menschlicher Embryo mit der Gesamtlänge von $18\frac{1}{2}$ mm (Nacken bis Steißbein). Er stammt von einer Tubenschwangerschaft, und man kann berechnen, daß er zwischen dem 35. und dem 40. Tag der embryonalen Entwicklung steht. Er ist daher etwas weiter vorgeschritten, als der vorstehend beschriebene Embryo vom Ochsen; in der Tat ist das Linsenbläschen schon vollständig ausgebildet.

Jedoch ist die Ausbildung des intraokularen Gefäßsystems hier weniger in die Augen fallend als beim Embryo vom Ochsen, so daß an einigen Stellen schwer zu sehen ist, ob wirkliche, schon gut differenzierte Gefäßwände bestehen, oder ob sie nicht vielmehr oft unterbrochen sind und die Blutelemente mit den anderen Mesodermzellen vermengt sind. Fast alle Blutelemente sind hier mit Kernen versehen; sie sind kugelförmig und zeigen keine wesentlichen Unterschiede der Gestalt

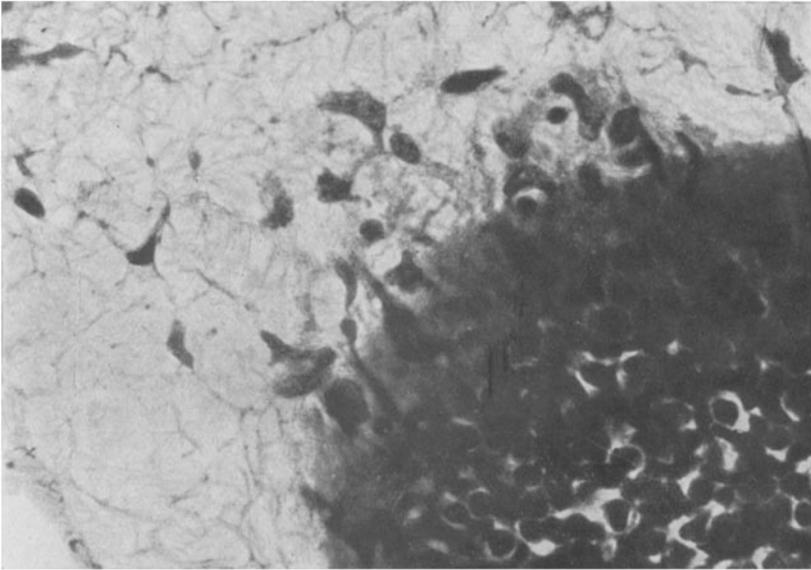


Abb. 8. Gleicher Embryo. Mesodermzellen bei stärkerer Vergrößerung, die mit ihren Protoplasmafortsätzen in das Netz des Glaskörpers übergehen. Sie befinden sich in der Nähe der Linse.

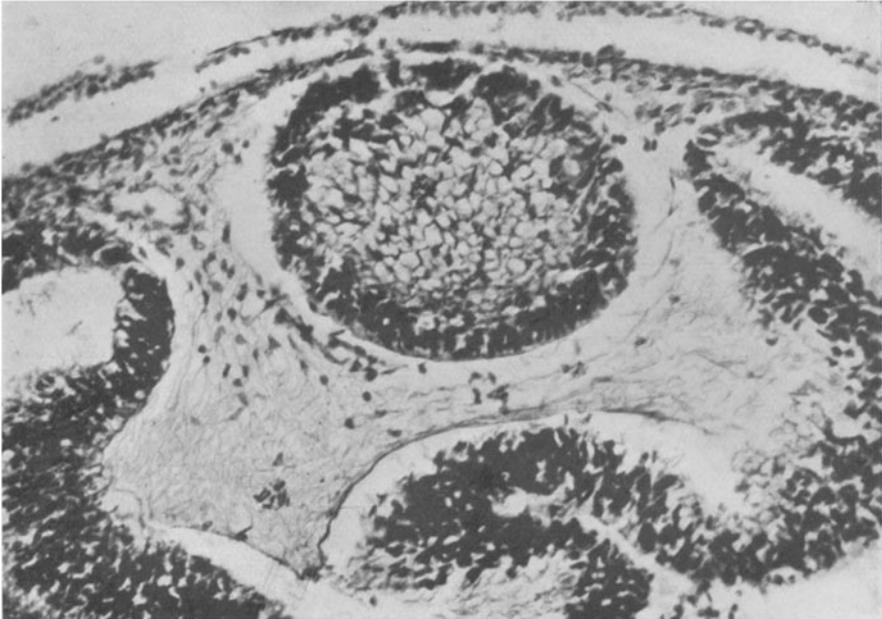


Abb. 9. Menschlicher Embryo von $18\frac{1}{2}$ mm Höchstlänge (Nacken—Steißbein 11 mm). Schnitt durch das ganze Auge, wo man das extraokulare Mesoderm in das intraokulare übergehen sieht. Auch bei dieser Vergrößerung sieht man, daß die Fortsätze der Mesodermzellen in das Netz des Glaskörpers übergehen.

untereinander. Kein Anzeichen der Differenzierung der Hornhaut; die Linse ist rings herum von Mesodermgewebe umgeben, das aus runden, ovalen, birnförmigen oder pyramidenförmigen Kernen gebildet wird, mit Protoplasmafort-sätzen, die ohne Unterbrechung in das Netz des Glaskörpers übergehen (s. Abb. 9). Zwischen Linse und Ektoderm schleicht sich auch in der zentralsten Zone eine dünne Mesoderm-lamina ein, die aus Zellen der gleichen Struktur, wie die eben beschriebenen, gebildet ist. In dieser Weise ist die Mesodermumhüllung um die Linse vollständig; aus dieser Mesodermhülle nimmt das noch nicht vollständig differenzierte Gefäßnetz sein Material.

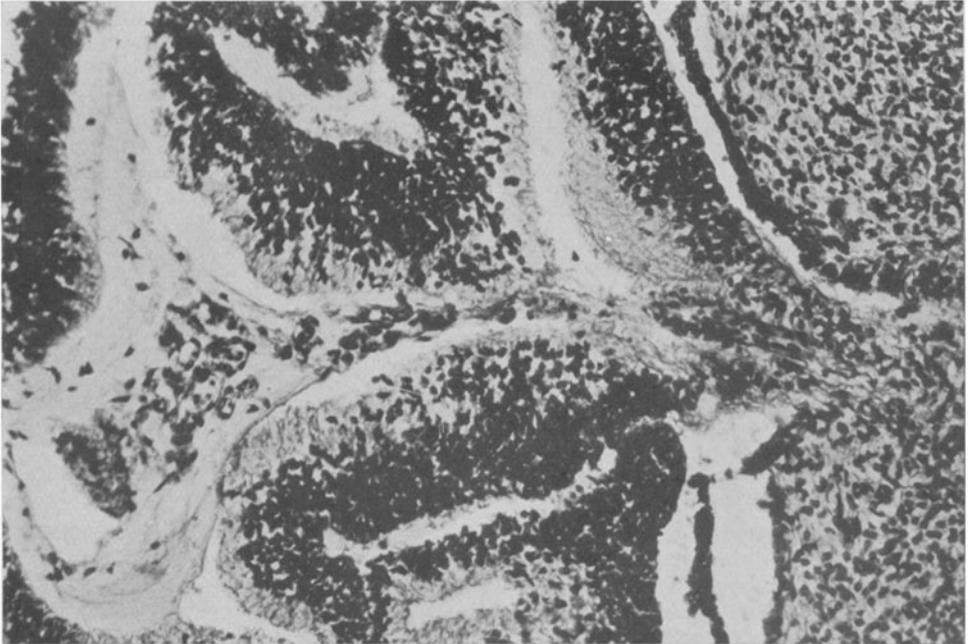


Abb. 10. Gleicher Embryo. Eintritt der Arteria hyaloidea in die Augenblase.

Indessen scheint es, daß auch die Gefäßhülle schon in dieser Periode die Linse vollständig umgibt, obwohl sie vorn in der zentralen Zone äußerst dünn ist. Die beiden Netzhautblätter sind miteinander verklebt; in dem sehr dünnen äußeren ist die Pigmentation sehr vorgeschritten; bei dem inneren erkennt man die äußere Schicht der Kerne und die mehr innen liegende Schicht der Fasern. Schon gut sichtbar sind die Fasern von *Müller*, und abgegrenzt ist die *Membrana limitans interna*. Der Sehnerv ist fast vollständig geschlossen, ausgenommen an seinem unteren Teil, wo ein enger, mit der Hirnhöhle in Verbindung stehender Kanal den letzten Rest der Höhle des Augenstiels darstellt. Vorn unter diesem Kanal dringt die Arteria hyaloidea ein, begleitet von nicht zahlreichen Mesodermzellen (s. Abb. 10). Dies ist der letzte Überrest des choroidealen Spalts, der sonst überall verklebt ist. Auch die Wände der Arteria hyaloidea sind schlecht abgegrenzt, aber längs ihres Durchtrittskanals sehen wir vermischte Blutkörperchen und

Mesodermzellen. Der Sehnerv ist aus länglichen und gut färbbaren Kernen und aus im Vergleich mit diesen seltenen Fasern gebildet.

Der Glaskörper wird aus einem dichten Netz von Fibrillen gebildet, die sich in allen Richtungen kreuzen; es bestehen Befestigungskegel auf der ganzen Oberfläche der Netzhaut, aber sie sind nicht sehr zahlreich. Das erklärt sich, wenn man beobachtet, wie das innere Netzhautblatt durch die Wirkung der Befestigung sich später sehr von dem äußeren Blatt entfernt hat, indem es die Höhle der Augenblase verkleinert.

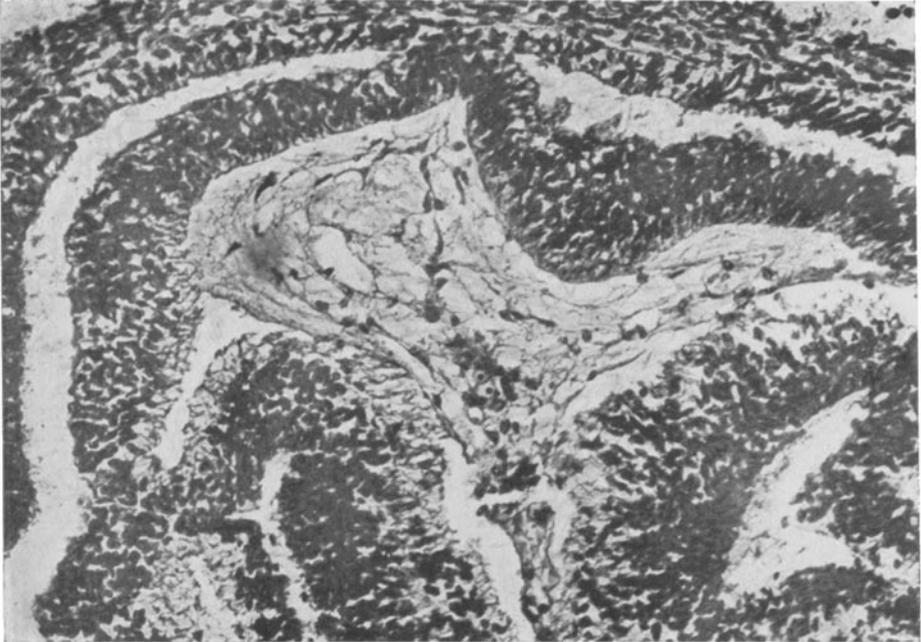


Abb. 11. Gleicher Embryo. Weit seitlicher Schnitt. An vielen Punkten bemerkt man die deutliche Trennung zwischen Glaskörper und Netzhaut, während die zahlreichen Mesodermzellen sich deutlich mit ihren Verlängerungen in das Netz des Glaskörpers fortsetzen.

An vielen Stellen, wie aus der Mikrophotographie Nr. 11 ersichtlich ist, ist die Trennung des Glaskörpers von der Netzhaut sehr deutlich.

Bei diesem Embryo ist die Höhle der Augenblase sehr reich an Mesodermzellen, die sich in dem Netz des Glaskörpers fortsetzen. *Die Struktur des Gewebes vorn an der Linse und am Rand der Augenblase ist absolut identisch mit jener des hinter der Linse gelegenen Gewebes.* Man kann auch ebensogut sagen, daß das perivesiculäre Mesoderm sich ohne Unterbrechung im Innern der Augenblase fortsetzt, und daß der Glaskörper sich vorn an der Linse im perivesiculären Mesoderm fortsetzt (s. Abb. 9). Keine sichtbare Verbindung zwischen den Fibrillen des Glaskörpers und der Netzhaut; bei diesem Embryo habe ich keine Netzhautzelle bemerkt, die in den Glaskörper abgewandert wäre.

Bei dem Embryo vom Ochsen von 11 mm scheinen die Lamina mesodermica anterior (s. Abb. 1 und 2) und auch das Mesoderm, das durch den choroidealen

Spalt in die sekundäre Augenblase dringt, von einer gemischten, schwach färbbaren Grundsubstanz und von Kernen gebildet zu sein. Das Erscheinen von Fibrillen jeweils zwischen zwei Kernen bedeutet wahrscheinlich nichts anderes als eine größere Verdichtung der internuclearen Substanz, die durch Fixative verursacht ist. Es finden sich tatsächlich, sei es in der Lamina mesodermica anterior wie anderswo, Zellen mit mehr oder weniger gut abgegrenztem Protoplasma, aber sie sind verhältnismäßig selten. Es ist nicht möglich, auf Grund des mikroskopischen Befunds zu entscheiden, ob eine viel weitergehende Abgrenzung der Zellen intravitam statthat oder nicht; wahrscheinlich ist jedoch, daß die cellulare Abgrenzung bei einer größeren Anzahl von Zellen bestanden hat und daß die Reagenzien sie zerstört haben.

Beim Embryo vom Ochsen von 20 mm (Nacken bis Steißbein) und bei dem menschlichen von 18 $\frac{1}{2}$ mm zeigt sich cellulare Abgrenzung noch nicht häufig, wenn man sich auf die Befunde bei den erwachsenen Geweben bezieht. Dennoch ist diese Abwanderung sehr deutlich bei den Blutzellen, weniger klar bei den Ektodermzellen, noch wenig ausgebildet bei den Mesodermzellen.

Der Glaskörper erscheint bei geringer Vergrößerung und bei den stark gefärbten Schnitten aus Fibrillen gebildet. Bei stärkerer Vergrößerung bemerkt man, daß zwischen den Fibrillen ein homogenes, aber schwach gefärbtes Gewebe besteht, dessen Existenz besonders stark hervortritt durch die gelegentlichen Zerreißen des Gewebes, wo der Grund vollkommen ungefärbt ist.

Was die Beziehungen des Glaskörpers zu der Netzhaut betrifft, so findet sich nur in dem Embryo vom Ochsen von 11 mm keine Abgrenzung des Gewebes zwischen Lamina mesodermica-Netzhaut oder dem sogenannten primordialen Glaskörper. Aber bei diesem Embryo besteht nirgends eine Abgrenzung zwischen den verschiedenen Geweben. Bei den andern weiter vorgeschrittenen Embryonen ist an einigen Punkten, wo die Zusammenziehung des Gewebes weniger stark war, die Trennung zwischen Glaskörper und Netzhaut sehr deutlich; an anderen Punkten ist die Membrana limitans zu den sogenannten Befestigungskegeln ausgezogen, und anderswo ist sie geradezu weggerissen mit einem Teil des Netzhautgewebes. Aber nirgendswo sieht man, daß sich Fibrillen des Glaskörpers direkt in Netzhautfasern fortsetzen, und nur da, wo Faltungen der Netzhaut sich finden, besteht ein Schein von Zusammenhang zwischen den beiden Geweben. Auch bei den vielen Schnitten durch die Krümmung des Augapfels und folglich der Netzhaut scheint ein Zusammenhang zwischen Netzhaut und Glaskörper zu bestehen, welcher sich als illusorisch herausstellt. Das Vorhandensein einer Trennungsmembran zwischen Glaskörper und Netzhaut in den ersten Perioden der embryonalen Entwicklung ist übrigens auch von *Tornatola* und von *Mawas-Magitot* bemerkt worden; aber der erste hat geglaubt, sie als eine künstliche Bildung erklären zu können, die dem Zusammenfließen der Fibrillen des Glaskörpers zuzuschreiben sei, sobald sie aus den Fibrillen von *Müller* längs des inneren Randes der Netzhaut entstanden sind. Die zweiten erklären folgendermaßen das Erscheinen einer Membrana limitans der Netzhaut bei einem menschlichen Embryo von 12 mm: „Du côté de la rétine les filaments semblent se poursuivre directement dans la zone marginale. Celle-ci est toutefois assez bien limitée de ce côté par une condensation ou par l'étalement des pieds des fibres de Müller. Cette condensation donne l'apparence d'une membrane limitante, la membrane limitante interne de la rétine des auteurs. Malgré ce fait, il semble incontestable que les filaments du corps vitré de cet embryon se poursuivent directement dans les intrications fibrillaires de la zone marginale“¹⁾.

Diese Erklärung, wenn man sie so nennen kann, scheint mir nicht sehr überzeugend.

¹⁾ *Mawas und Magitot*, l. c., S. 155.

Nachzuprüfen ist die Behauptung von Franz¹⁾, daß der Glaskörper nichts anderes wäre, als eine außerordentlich entwickelte *Membrana limitans* der Netzhaut. So daß die *Membrana limitans interna* sich einerseits in den Müllerschen Neurogliafasern, andererseits in den Fasern des Glaskörpers fortsetzen würde. Dies ist eine geistreiche aber auch künstliche Auffassung, deren wir durchaus nicht bedürfen. Wenn man in der Tat die Abb. 7, 8, 9 und 11 und die klaren Mikrophotographien von Monesi²⁾ Nr. 4, 5, 6, 7, 8, betrachtet, so erscheint die Entstehung des Glaskörpers aus den Mesodermzellen und die Fortsetzung dieses Gewebes im extraokularen



Abb. 12. Menschlicher Embryo vom Ende des 2. Monats. Horizontalschnitt von vorn nach hinten durch das eine Auge. *a* = Verbindung zwischen dem extra- und intraventriculären Mesoderm; *b* = Spindel- und pyramidenförmige Mesodermzellen, deren Protoplasma sich im Netz des Glaskörpers fortsetzt; *c* = *Limitans interna* der Netzhaut, die deutlich den Glaskörper von der Netzhaut trennt; *d* = Kleine Zerreißen der *Limitans interna* am Rand der Augenblase, welche an diesem Punkte eine Kontinuität zwischen Netzhaut und Glaskörper vortäuschen; *e* = kelförmige Verdichtung des Glaskörpers längs der *Limitans interna* der Netzhaut.

Mesoderm so einleuchtend, daß man nicht verstehen kann, warum so viele und so tüchtige Autoren einen Netzhautursprung annehmen wollten, der von niemand und in keiner Weise bewiesen worden ist.

Die gleichzeitige Entwicklung der Nabelschnur bei verschiedenen Embryonen hat mich davon überzeugt, daß wirklich eine gewisse Analogie zwischen dem Glaskörper und dem Gewebe der Schnur besteht, wenn auch die letztere viel reicher an Kernen ist. In diesen primitiven Stadien der embryonalen Entwicklung bestehen übrigens Analogien zwischen dem Glaskörper und dem Bindegewebe,

¹⁾ Franz, l. c.

²⁾ Monesi, L., l. c.

da wo es schlaffer ist; aber die stärkste Analogie besteht mit dem Gewebe der Plexus choroidei, welches schon beim menschlichen Embryo von 18 mm sich zu bilden beginnt, ohne jedoch noch in die Hirnhöhle vorzudringen. Wie wir sehen werden, wird später, wenn die Plexus choroidei in die Hirnventrikel eingedrungen sein werden und mit dem Ependymepithel bekleidet sind, die Analogie noch deutlicher sein.

Menschlicher Embryo von 30 mm Gesamtlänge (Nacken bis Steißbein 18 mm), Ende des 2. Monats.

Die Rudimente der Augenlider sind entwickelter als beim vorhergehenden Embryo, aber weit entfernt, sich zu schließen. Die Anlage der äußeren Augen-

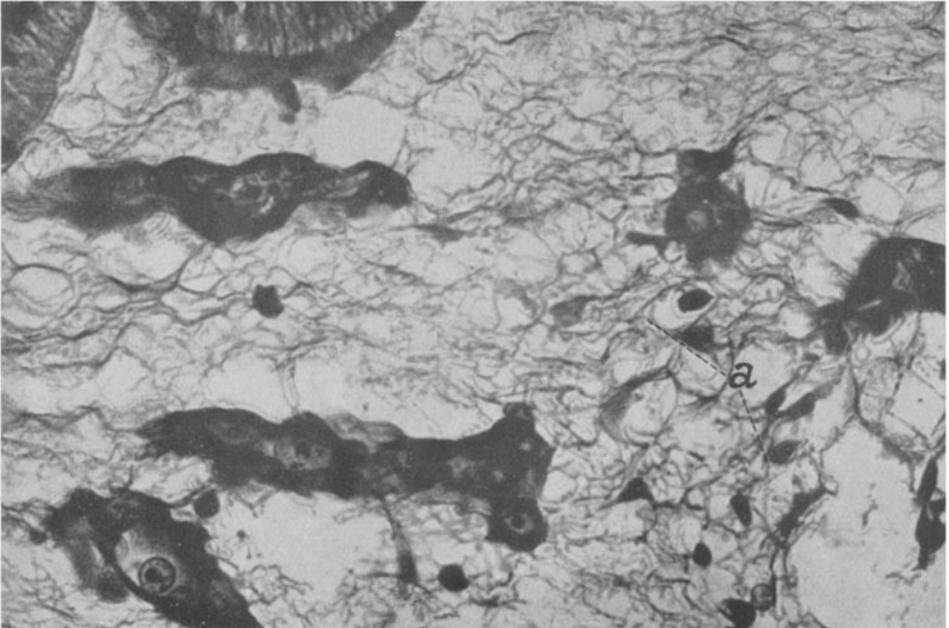


Abb. 13. Gleicher Embryo. Ein Ausschnitt des Glaskörpers bei stärkerer Vergrößerung: a = spindel- und pyramidenförmige Zellen, deren Protoplasma sich deutlich im Netz des Glaskörpers fortsetzt.

muskeln besteht schon, wo man bei starker Vergrößerung die Umwandlung der Mesodermzellen in Muskelfasern verfolgen kann. In dieser embryonalen Periode bemerkt man auf der inneren Seite des Augapfel seinen vollen epithelialen Zylinder, der als erste Anlage des Tränensackes angesehen wird. Ich habe indessen keine Spur der Tränendrüse bemerken können.

Das Hornhautgewebe ist auch in seinem zentralen Teil schon gebildet und ist von der Pupillarmembran getrennt. Ich konnte jedoch ein gut abgegrenztes Endothelium posterius nicht entdecken. Das perivasculäre Mesoderm steht sichtbar mit dem intervesiculären in Verbindung durch den Raum, welcher zwischen der Linse und dem Rand der Augenblase besteht (s. Abb. 12a). In der ganzen Höhle der Augenblase, aber besonders gleich hinter der Linse, bestehen noch Mesodermzellen mit pyramiden- und spindelförmigen Kernen, deren Protoplasma sich direkt im fibrillären Netz des Glaskörpers fortsetzt (s. Abb. 12b und Abb. 13a), aber der

größte Teil der freien Zellen, die sich im Inneren der Augenblase finden, hat in dieser Periode einen runden exzentrischen Kern und gut abgegrenztes Protoplasma. Diese Zellen scheinen sich zum größten Teil von der äußeren Oberfläche der Gefäße des Glaskörpers abzulösen, während andere durch die Umwandlung der ursprüng-

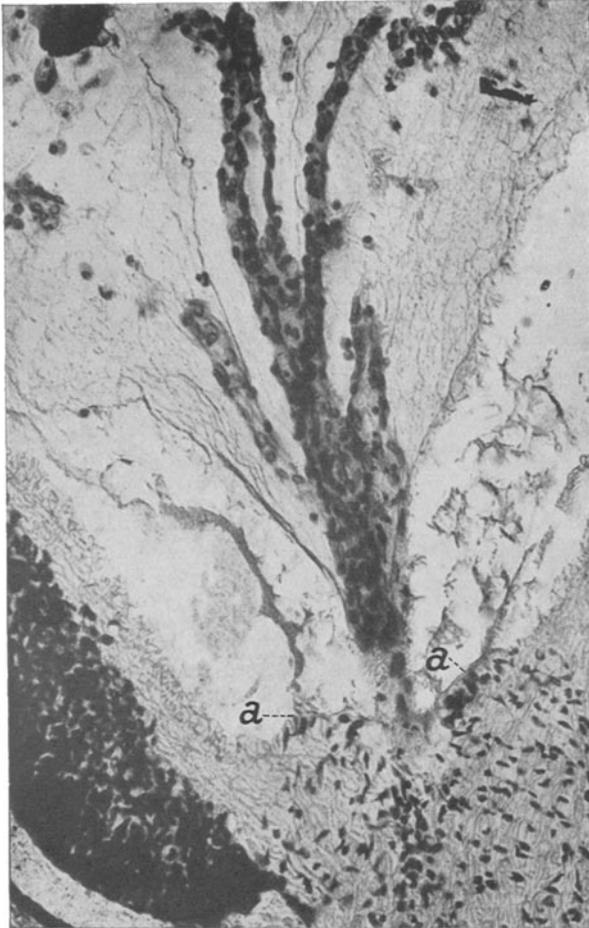


Abb. 14. Gleicher Embryo. Arteria hyaloidea und ihre hauptsächlichsten Verzweigungen: *a* = Anhäufung von Neutroglakernen auf der Papille rings um die Eintrittsstelle der Arteria hyaloidea.

lichen Mesodermzellen zu entstehen scheinen. In der Tat bestehen alle Übergänge zwischen den spindel- und pyramidenförmigen Zellen einerseits und den runden Zellen andererseits. Die Zellen, welche die Gefäßwände bilden, haben das gleiche Aussehen wie die die Gefäße umgebenden Zellen und die freien runden Zellen im Glaskörper; wenn das Protoplasma nicht immer rund ist, so ist das offenbar dem gegenseitigen Druck zuzuschreiben (Abb. 12 und 14).

Die Arteria hyaloidea, die wir in den vorangegangenen embryonalen Perioden

ungeteilt fanden bis nahe zur hinteren Oberfläche der Linse, verzweigt sich bei diesem Embryo kurz nach dem Eintritt in das Innere des Auges (Abb. 14).

Ihre Wände und diejenigen ihrer ziemlich schlecht abgegrenzten Abzweigungen erzeugen üppige Zellwucherungen; viele Zellen lösen sich los und fallen in den Glaskörper, wo sie sich allmählich auflösen.

Die aufeinanderfolgenden Phasen der Auflösung der Zellen sind leicht zu verfolgen; zuerst scheint das Protoplasma, später der Kern sich in dem Netz des Glaskörper fortzusetzen.

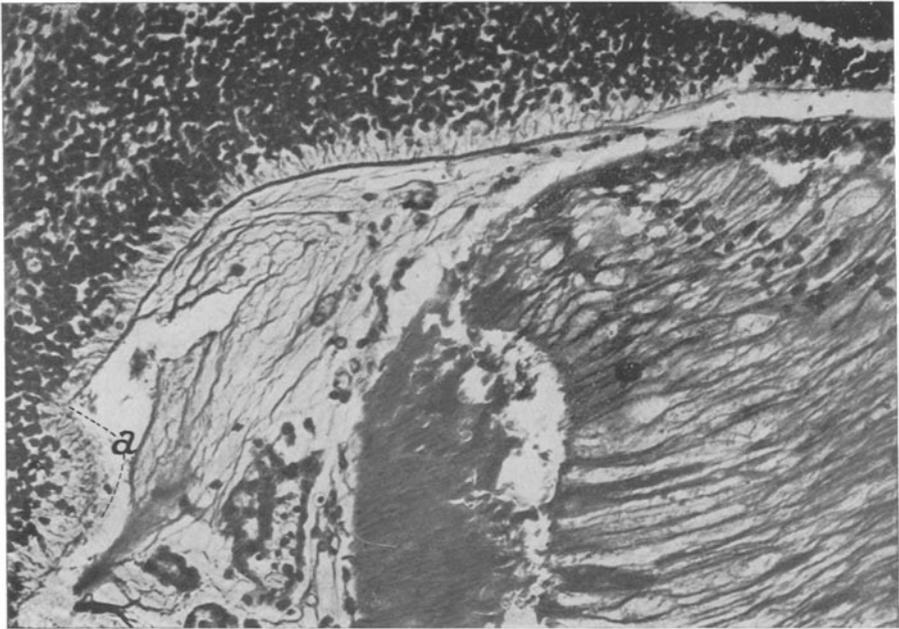


Abb. 15. Gleicher Embryo. Schräger Schnitt von hinten unten nach vorn oben durch das andere Auge. Überall ist der Glaskörper deutlich von der Netzhaut getrennt, außer hinten, *a* = wo die Membrana limitans interna und ein Teil der Netzhaut losgelöst wurden.

In der Papille des Sehnervs zu beiden Seiten der Arterie sind Verdichtungen von Neurogliakernen sichtbar, die etwas in den Glaskörper hineinragen.

Diese Neurogliawucherungen, welche eine vollständige Umkleidung der Arterie bilden und die, wie wir später sehen werden, dazu bestimmt sind, den Sehnerv mit dem präpapillären Mesodermpfropf in Verbindung zu setzen, wurden zuerst von Seefelder und dann von anderen Autoren irrtümlicherweise als erste Anlage des präpapillären Pfropfs, deshalb „Gliamantel“ genannt, angesehen.

Der Verlauf der Arteria hyaloidea im Sehnerv ist ziemlich kurz und schräg von vorn oben nach hinten unten. Im vorderen Teil hängt die Arterie nicht mit dem Sehnerv zusammen, sondern befindet sich in einer trichterförmigen Exkavation mit nach vorn gewandter Basis. In dieser Exkavation zeigen die Wände der Arterien gleichfalls die Zellwucherung, von der wir kurz zuvor gesprochen haben. Nur ist hier diese Wucherung nicht mehr im Fortschreiten, wie in den

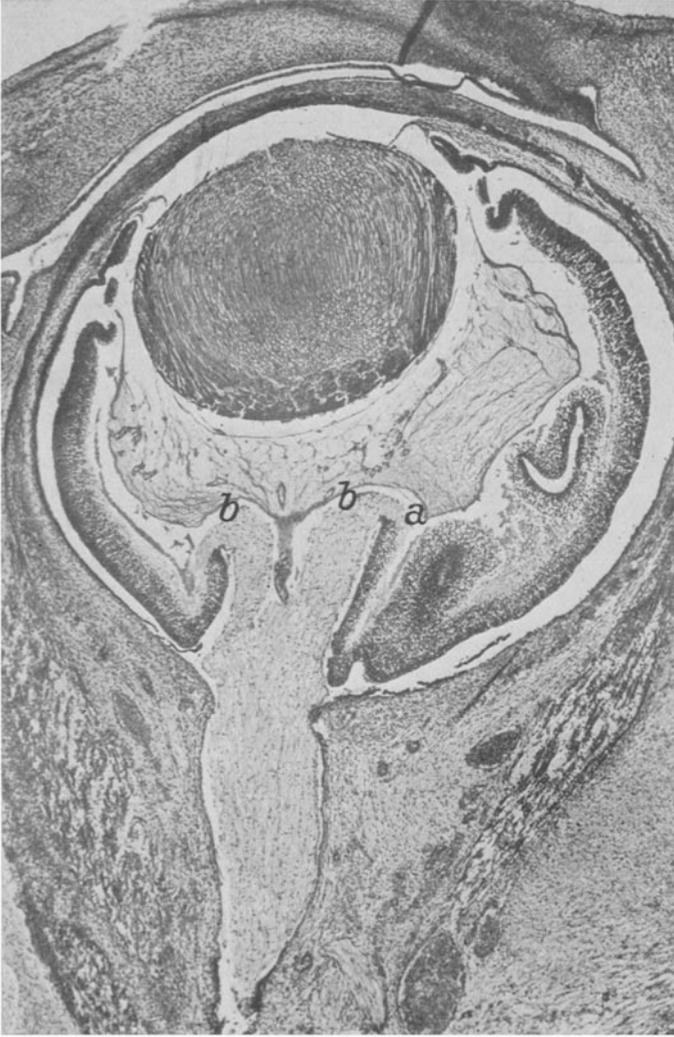


Abb. 16. Menschlicher Embryo, 31 mm lang. (Nacken—Steißbein.) Horizontalschnitt von vorn nach hinten durch das ganze Auge: *a* = Membrana limitans interna, an einer Stelle von der Netzhaut und vom Glaskörper getrennt; *b* = Proliferation von Gliazellen auf dem Sehnerv zu seiten der Arteria hyaloidea.

vorderen Teilen der Arterie und ihren Verzweigungen. Es besteht folglich noch keine Spur des *präpapillären Mesodermpropfs*, dessen Beginn wir erst in den folgenden embryonalen Stadien sehen werden. Mit Ausnahme des Kanals in seinem unteren Teil, wo sich die Arteria hyaloidea befindet, ist der Sehnerv kompakt.

Bei einer nicht sehr eingehenden Prüfung scheint die Netzhaut keine wichtigen Veränderungen im Vergleich mit dem vorhergehenden Embryo erlitten zu haben,

nur die Membrana limitans erscheint besser unterscheidbar, und die *Müllerschen Fasern* sind an mehreren Stellen gut sichtbar.

Der Glaskörper zeigt fibrilläre Struktur, aber die Fasern haben nicht immer die gleiche Struktur und Anlage (s. Abb. 12, 13 und 15).

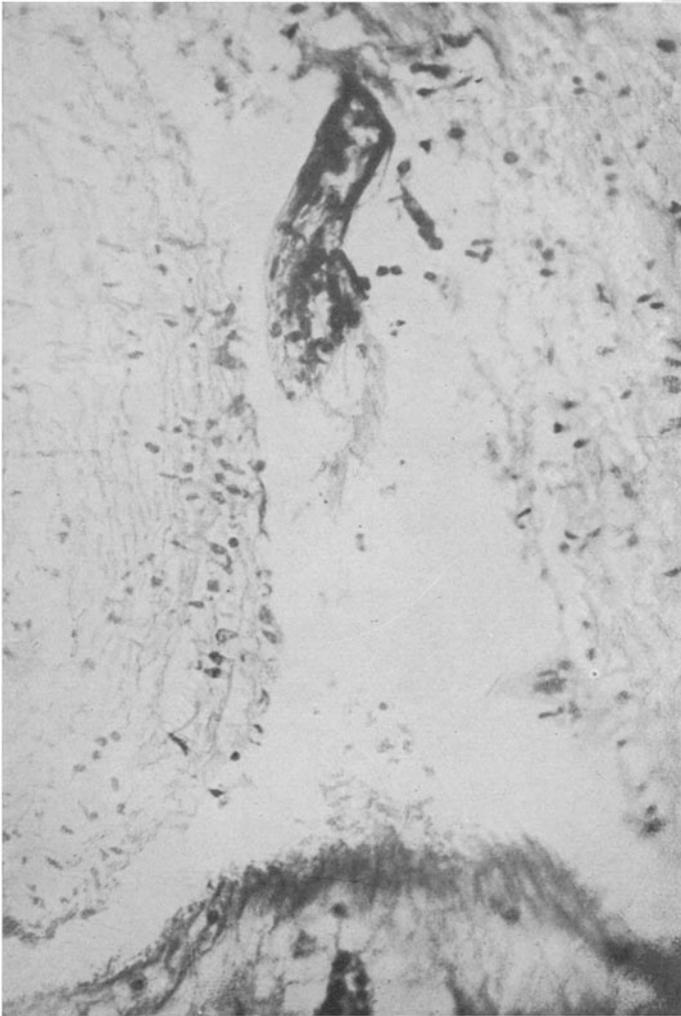


Abb. 17, 18, 19, 20, 21. Mikrophotographien bei derselben Vergrößerung von fünf Serieauschnitten von 9 μ , alle horizontal in der Richtung von vorn nach hinten und von unten nach oben beim gleichen menschlichen Embryo ausgeführt. Sie sollen die Bildung des Pflorps aus Mesodermzellen zeigen, der in dieser embryonalen Periode die Arteria hyaloidea und ihre Abzweigungen in der Exkavation des Sehnervs begleitet. Er wird später, indem er sich organisiert, einer Scheide der Arteria hyaloidea Platz machen, für die irrthümlicherweise Gliaursprung angenommen wurde (Gliaanteil).

Die Trennung des Glaskörpers von der Netzhaut ist überall gut ersichtlich (s. Abb. 12c und Abb. 15), wo die Membrana limitans nicht durch die plötzliche Ausdehnung im ganzen (s. Abb. 15a) oder in kleinen Teilen (s. Abb. 12d) losgelöst ist. In diesem letzten Fall kann man bei einer nicht allzu genauen Beobachtung wirklich den Eindruck erhalten, daß das Gewebe des Glaskörpers und das der Netzhaut in direktem Zusammenhang stehen.

Manchmal verdichtet sich der Glaskörper längs der Limitans interna der Netzhaut gleichmäßig für eine lange Strecke; es scheint, daß dies eine Art amorphe Membran ist, die peripher den Glaskörper begrenzt (s. Abb. 15). Dies wäre die Membrana hyaloidea, die von den verschiedenen Autoren mannigfach beschrieben

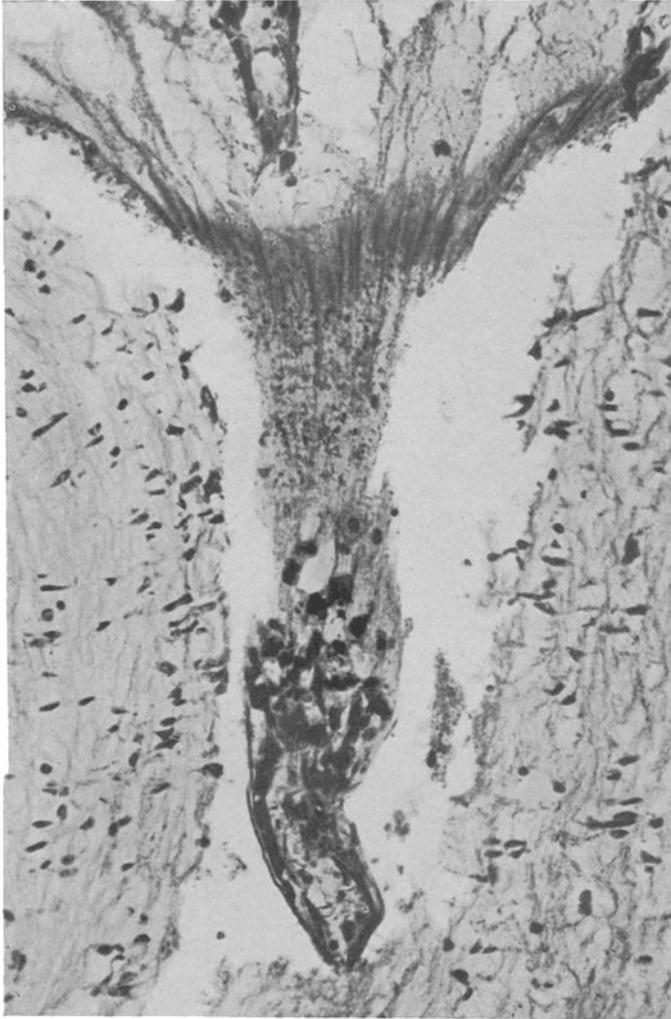


Abb. 18.

oder gelegnet wurde. Bei anderen Präparaten jedoch ist die periphere Verdichtung des Glaskörpers nicht gleichmäßig und ist nur eine kurze Strecke weit abgegrenzt (s. Abb. 12e). Bei anderen Präparaten endlich bemerkt man nirgends die periphere Verdichtung des Glaskörpers.

Menschliche Embryonen von 31 und 32 mm Länge (Nacken bis Steißbein), Anfang des 3. Monats.

In sehr gut erhaltenem Zustand wurden die Augen in Serien geschnitten, das eine in vertikaler Richtung von vorn nach hinten, das andere in horizontaler Richtung von vorn nach hinten. Das zweite hat mehr interessante Einzelheiten gezeigt, weil die Schnitte parallel zur Achsenebene gelegt werden konnten. Der Glaskörper ist überall von der Netzhaut getrennt durch die eingetretene Zusammenziehung seines Gewebes; so wurde die ganze Membrana limitans und ein kleiner Teil der Fasernschicht zerrissen. Die Existenz einer Membrana limitans ist jedoch mit dem Mikroskop gut abschätzbar; an einigen Stellen hat sich sogar der Glaskörper nachträglich von der Membrana limitans getrennt, die folglich isoliert erscheint (Abb. 12a). Bei diesem Embryo befindet sich im Vergleich zu den vorhergehenden das Auge in einem viel mehr seiner endgültigen Ausbildung genäherten Zustand.

Die Augenlider sind schon vollständig gebildet und zusammengewachsen, während sich keine Spur von ihnen im 1. Embryo fand, und bei dem 2., 3. und 4. Embryo nur kleine seitliche Umrisse bestanden. Erstes Anzeichen der Tränenrüse und des Ausscheidungsapparates der Tränen, dieser letztere noch nicht durchlöchert; schon gebildete äußere Augenmuskeln (tatsächlich bestand eine Andeutung dieser Muskeln auch bei den Embryonen 2 und 3); schon gebildete Hornhaut mit dem gut sichtbaren hinteren Endothel; Anzeichen des Winkels zwischen Iris und Cornea (wenn man von einem solchen sprechen kann, da die Iris noch fehlt); die Pupillarmembran von der Hornhaut getrennt, an die sie angelehnt ist; die vordere Kammer schon angelegt. Die Linse, mit einer vollständigen Gefäßhülle versehen; die Arteria hyaloidea mit ziemlich gut abgegrenzten Wänden, die sich gleich nach ihrem Eintritt in das Augeninnere verzweigt.

Man bemerkt schon einige Faltungen des Pigmentepithels der Netzhaut in Übereinstimmung mit dem zukünftigen Ciliarkörper; in dem inneren Blatt der Netzhaut ist schon das Anzeichen für die Zweiteilung der Kernschicht enthalten.

Der Sehnerv besteht aus länglichen Kernen und aus Fasern; letztere überwiegen stark.

Aber die wichtigsten Befunde finden sich im Trichter des Sehnervs am Eintritt der Arteria hyaloidea in das Auge.

Zahlreiche Mesodermzellen umgeben die Arterie an ihrem Eintritt in das Auge, wie man aus den Abb. 16, 17, 18, 19, 20 und 21 ersehen kann, welche Serienschnitte von 9 μ Dicke darstellen, die von unten nach oben horizontal ausgeführt wurden. Daß diese Zellen aus Mesoderm und nicht aus Neuroglia herkommen, ist nicht so sehr durch die Trennung des Gewebes vom Sehnerv bewiesen, die künstlich ist, als aus dem gleichartigen Aussehen mit den Gefäßwandzellen, während keine dem Sehnerv benachbarte Zelle auch nur entfernt den Zellen ähnlich ist, welche die Zweige der Arteria hyaloidea umgeben.

Es sind Zellen mit ziemlich dicken Kernen, einige mit mehr oder weniger rundlichem Protoplasma, während der größte Teil ein mehr oder weniger unregelmäßiges Protoplasma hat, das mit Fortsätzen in das Gewebe des Glaskörpers übergeht. Besonders vorn sind einige im Zustand weiter vorgeschrittener Auflösung im Glaskörper. Dieses Gewebe erscheint für eine gewisse Strecke noch nicht fibrillär, sondern körnig und ist sehr dicht; seine Fortsetzung im Protoplasma der Mesodermzellen, welche die Arterie umgeben, ist unbestreitbar (s. Abb. 18).

Dieser Pfropf von Mesodermzellen, die sich im Trichter des Sehnervs um die Arteria hyaloidea herum finden, ist das erste Anzeichen des präpapillären Pfropfs, der so eingehend von Seefelder beschrieben und abgebildet ist.

Dieser Autor läßt jedoch den präpapillären Pfropf aus Gliagewebe entstehen, und ich konnte mir früher nicht darüber klar werden, weshalb ein so genauer und in der Materie so kompetenter Forscher nicht beobachtet hat, was mir als

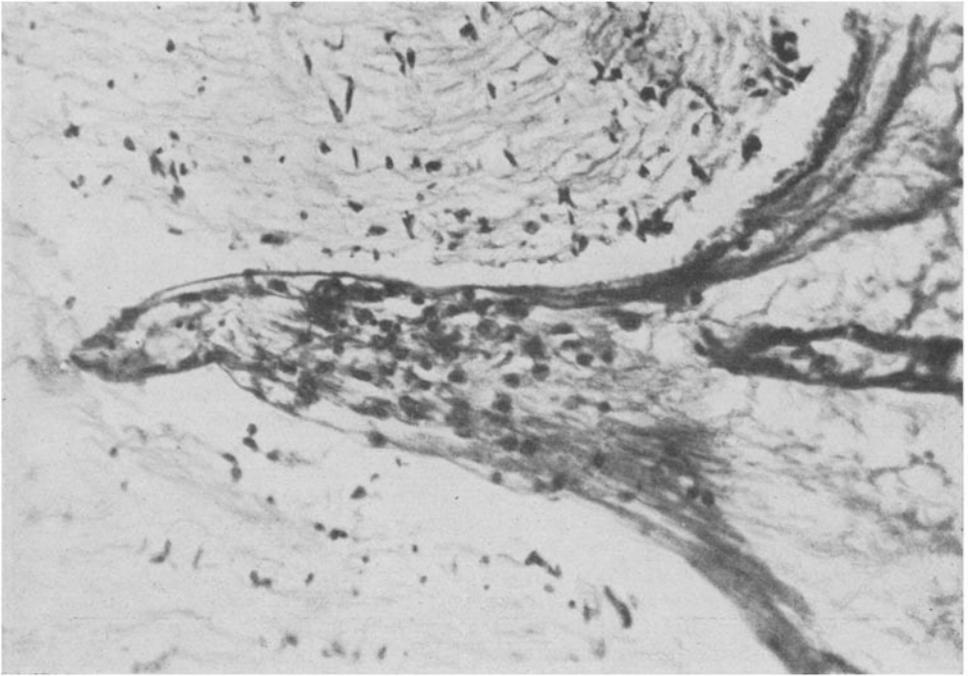


Abb. 19.



Abb. 20.

augenfällige Resultate meiner Mikrophotographien erscheint. Andererseits ist der menschliche Embryo, von dem die Präparate herrühren, noch aus einem vorgeschritteneren Stadium als diejenigen, bei denen *Seefelders* das erste Anzeichen des Gliamantels angetroffen haben will.

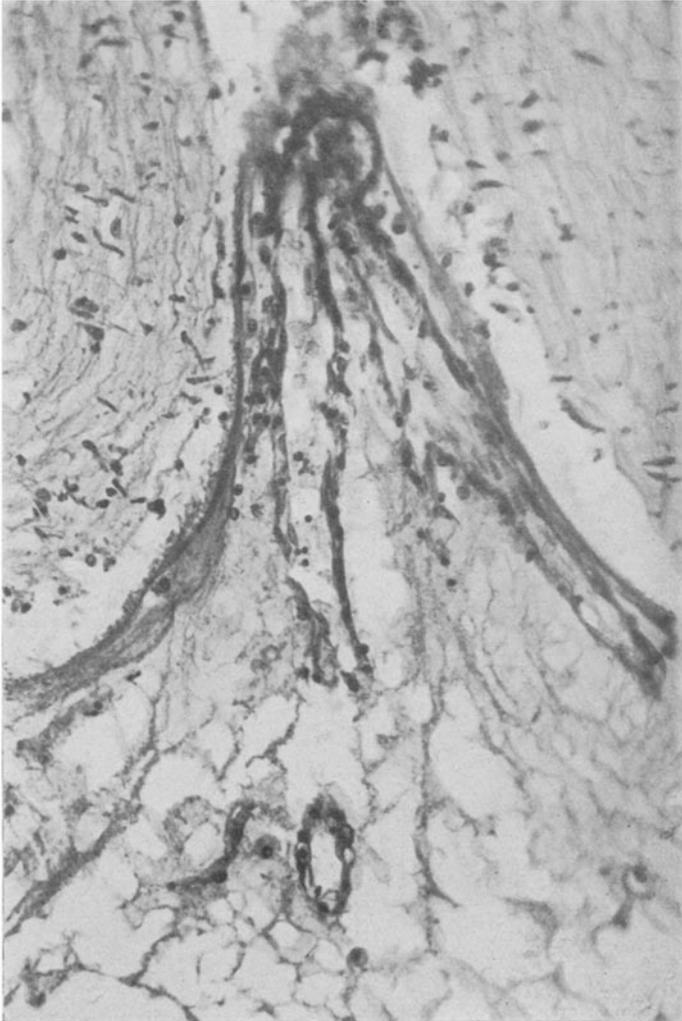


Abb. 21.

Bei der Abb. 16 b sieht man Anhäufungen von Gliakernen auf der Papille zu beiden Seiten der Arteria hyaloidea, aber etwas von ihr entfernt. Die Untersuchung der Serienschritte zeigt, daß diese Gliawucherung einen vollständigen, perivaskulären Ring bildet. Natürlich scheinen bei den seitlicheren Schnitten die Anhäufungen von Gliazellen näher beieinander zu liegen, was *Seefelders* veranlaßt haben kann, zu glauben, daß von ihnen die Bildung des präpapillären Pfropfs herrühre.

Er muß etwas schräge Schnitte gemacht haben; hierdurch und durch seine geringe Dichte blieb der Mesodermpfropf fast unbemerkt, während der viel weitere Ring der Gliakerne mehr hervortrat. Später, wie wir sehen werden, gestalten sich die Beziehungen zwischen den Gliaelementen des Sehnervs und der Basis des Pfropfs immer enger, während der Mesodermpfropf wächst und sich ausbildet und seine Zellen sich verändern, indem sie ihre Kerne verlängern und ihr rundliches Protoplasma verlieren, um das Aussehen eines schlaffen Bindegewebes anzunehmen. Indessen wird eine gewisse Anzahl von Zellen das ursprüngliche Aussehen behalten; es handelt sich um die Wanderzellen von *Seefelder*, die, diesem Autor zufolge, in den Glaskörper abwandern, was wahrscheinlich richtig

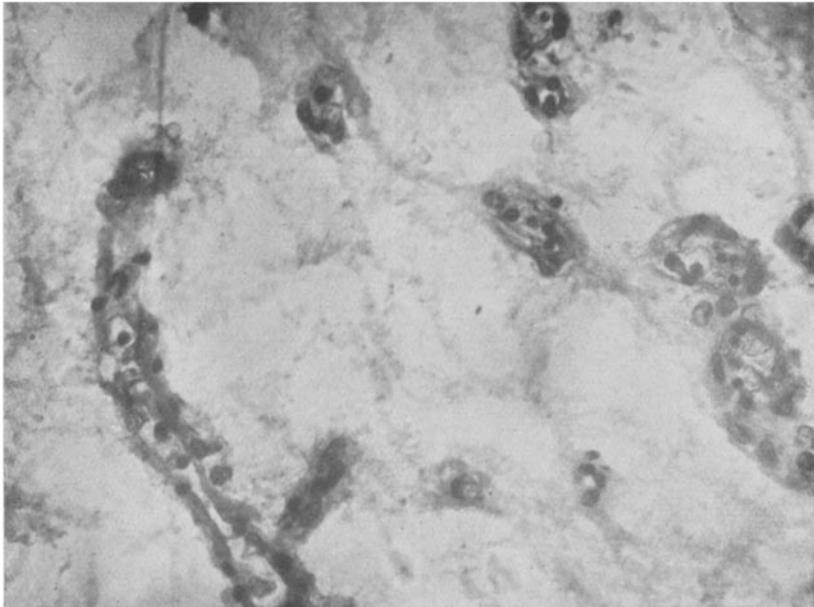


Abb. 22. Gleicher Embryoausschnitt des Glaskörpers bei starker Vergrößerung. Mesodermzellen sind der äußeren Gefäßwand angeheftet; wie bei den vorhergehenden Abbildungen und noch klarer erscheint der Glaskörper körnig und nicht fibrillär, wie er bei kleiner Vergrößerung erschien.

ist, aber die auch eine andere sehr wichtige Aufgabe haben, wie wir in der Folge sehen werden.

Der Gefäßbaum ist bei diesem Embryo sehr gut entwickelt, jedoch sind überall die Gefäßwände nicht sehr gut abgegrenzt, die jetzt zum größten Teil aus Zellen mit runden Kernen und aus ziemlich gut differenziertem Protoplasma gebildet sind, Zellen, die in nichts abweichen von jenen, die in mehr oder weniger beträchtlicher Menge die Gefäßwände außen umgeben. Diese perivasalen Zellen mit ihren Protoplasmafortsätzen gehen in den Glaskörper über, welcher bei starker Vergrößerung noch nicht aus Fibrillen gebildet scheint, wie es bei geringer Vergrößerung den Anschein hatte, sondern aus körniger Protoplasmasubstanz (siehe Abb. 22).

Sie haben dasselbe Aussehen wie diejenigen des präpapillären Pfropfs, der übrigens nicht plötzlich endigt, sondern vorn in die perivasculären Mesodermzellen übergeht.

Also gleiches Aussehen und gleiche Bedeutung; was die Hypothese von *Mawas* und *Magitot* rechtfertigt, daß aus dem präpapillären Pfropf (dem sie Neuroglia-ursprung zusprechen) die Zellen herkommen, die überall die größten und kleinsten Hyaloidealzweige umgeben.

Jedoch stammt die eine Bildung nicht von der andern ab, sondern beide haben den gleichen Ursprung: es sind wieder die Mesodermzellen, welche in die Augenblase durch die Lamina mesodermica anterior und den choroidealen Spalt eingedrungen sind, aus denen die Gefäße und das Gewebe des Glaskörpers entstanden sind. Sie sind jetzt besser abgegrenzt, weil der Embryo, dem sie zugehören, aus einer

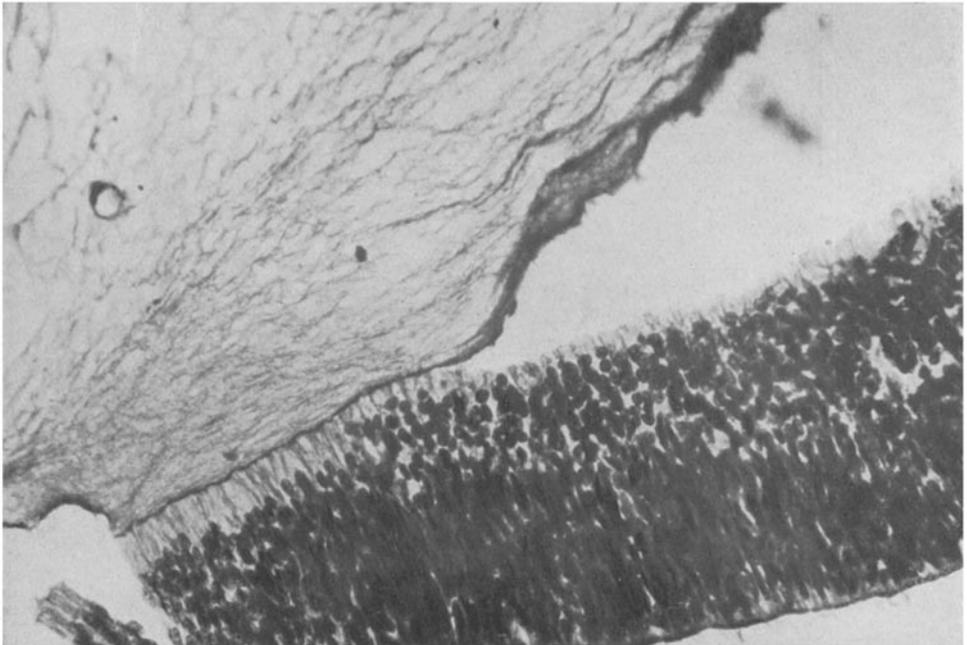


Abb. 23. Menschlicher Embryo, 43 mm lang (Nacken—Steißbein). Beziehungen zwischen Netzhaut und Glaskörper entsprechend der künftigen Ciliarregion. Die Membrana limitans interna der Netzhaut, aus den Ausläufern der *Müllerschen Fasern* gebildet, ist gut ersichtlich.

vorgeschrittenen Periode ist als die schon untersuchten. Der gleiche Vorgang vollzog sich bei der Bildung und Abgrenzung der anderen Gewebe.

Die Zellen, die weiter von den Gefäßen entfernt sind, sind selten und meistens in mehr oder weniger vorgeschrittenem Stadium der Auflösung. Auch die Randzellen des Glaskörpers, die sogenannten Subhyaloidealzellen, sind nicht sehr zahlreich. Alle diese Zellen teilen sich durch direkte Abschnürung, und ihre Vermehrung ist ziemlich lebhaft. Diesen Zellen die Bedeutung von Mesodermzellen abzusprechen, wäre gleichbedeutend damit, sie den Zellen der Gefäßwände abzusprechen.

Aus diesen Gründen kann ich nicht der Ansicht von *Seefelders* beitreten, daß das intraokulare Mesoderm sich vor dem Schließen des choroidealen Spalts vollkommen zurückbildet.

Menschlicher Embryo von 43 mm Länge (Nacken bis Steißbein), Alter annähernd 70 Tage.

Dieser Embryo wurde sozusagen lebend in die Fixativlösung gebracht; er war nahezu vollkommen erhalten.



Abb. 24. Gleicher Embryo. Horizontalschnitt von vorn nach hinten durch das ganze Auge. Er umfaßt die Arteria hyaloidea in ihrem Verlauf im Sehnerv und durch das Innere des Auges. Man bemerkt zahlreiche Verdichtungen des Glaskörpers den Gefäßen entsprechend.

Wir halten uns nicht dabei auf, die vorgeschrittenere Ausbildung der verschiedenen Gewebe des Auges zu beschreiben, sondern beschäftigen uns sofort mit dem, was uns interessiert.

Wie bei den beiden vorhergehenden Embryonen wurden in dem einen Auge vertikale Schnitte von vorn nach hinten, in dem anderen horizontale von vorn nach hinten ausgeführt.

In der Netzhaut sind jetzt zwei Schichten von Kernen, die äußere dichter, die innere weniger dicht, ziemlich gut differenziert. Die *Müllerschen Fasern* sind schon deutlich differenziert, und mit van Gieson und mit Mallory können sie nicht nur in der Schicht der Netzhautfasern, sondern auch zwischen den Kernen verfolgt

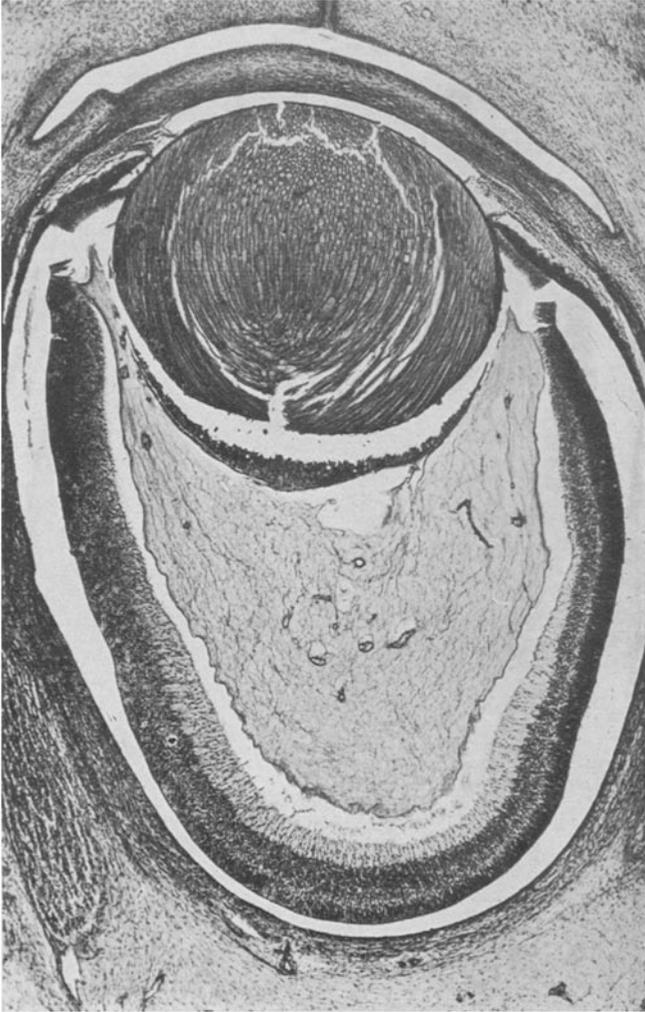


Abb. 25.

werden. Die Bildung einer *Membrana limitans* der Netzhaut geht von den äußersten Enden dieser Fasern aus; dies ist eine Tatsache, die *Retzius* schon hervorhob.

So ist die Trennung des Glaskörpers von der Netzhaut, da, wo die beiden Gewebe in Berührung geblieben sind, klar ersichtlich (s. Abb. 23). Nur gegen den Rand der Augenblase auf den beiden Seiten ist der Glaskörper mit der Netzhaut

in Zusammenhang geblieben, während überall sonst die Membrana limitans und ein Teil der Fasernschicht abgerissen sind.



Abb. 26. Gleicher Embryo. Mikrophotographie mit stärkerer Vergrößerung eines Ausschnittes des Präparats von Abb. 24. Arteria hyaloidea und ihre hauptsächlichsten Abzweigungen: *a* = Gliazellen des Sehnervs, die mit dem präpapillären Pfropf Beziehungen eingehen; *b* = inneres Blatt und *c* = äußeres Blatt des präpapillären Pfropfs.

Auch ein Teil der Linsenmasse ist nachträglich abgerissen worden (s. Abb. 24 und 25).

Unter den anderen Beweisen für die Abstammung der Fasern des Glaskörpers von der Netzhaut bringen *Mawas* und *Magitot* auch das Abreißen der Netzhaut,

was für sie ein Beweis des Zusammenhangs der beiden Gewebe ist. Nun könnte man, wenn dieses Argument gültig wäre, bei diesem Embryo auch eine Abstammung des Glaskörpers von der Linse annehmen, da der hintere Teil der letzteren weggerissen wurde.

Tatsache ist aber, daß durch den konzentrischen Zug des Glaskörpers, der sich mehr als die anderen Gewebe zusammenzieht, ein stärkerer Zusammenhang der verschiedenen Elemente desselben Gewebes erzeugt wird. Die schwächere Netzhaut reißt leichter ab, seltener die Linse, die etwas kompakter ist.

Die Arteria hyaloidea teilt sich nicht bei ihrem Eintritt in das Auge, sondern etwas weiter vorn; sie zeigt ein sehr weites Lumen (s. Abb. 26). Wie der Sehnerv ist sie merklich gegen den inneren Teil abgerückt (s. Abb. 24). Ihre Wände, wie die ihrer Abzweigungen, bestehen immer aus einem Endothelium, das aus einer einzigen Zellschicht gebildet ist; aber an der äußeren Wand liegen da und dort zusammenhängende Zellen von rundlicher Form mit großem Kern, welche sich oft davon ablösen und sich nach mehr oder weniger langer Erhaltung und einigen Teilungsversuchen im Glaskörper auflösen. Die subhyaloidealen Zellen sind zahlreicher als beim vorhergehenden Embryo; sie haben das gleiche Aussehen wie die perivasalen Zellen, von denen sie wahrscheinlich herkommen. Bei allen diesen Zellen beobachtet man interessante Stadien der direkten Teilung, gleichzeitig mit einer fortschreitenden Auflösung im Glaskörper. Noch vitale Zellen teilen ihren Kern in querer Richtung, indem sie zwei neue Zellen bilden, die sich häufig wieder vermehren. Andere Zellen lösen sich im Glaskörper gleich nach ihrer Teilung oder noch vorher auf. Sehr häufig teilt sich der Kern in ungleicher Weise und schiebt eine kleine, gewundene Knospe aus. Meist scheinen diese anormalen Teilungen nicht vollendet zu werden, denn schon vorher lösen sich Mutter- und Tochterzellen auf. Auch sind die verschiedenen Stadien und Arten der Zellauflösung im Glaskörper interessant. Einige Zellen bilden Vakuolen, und der Kern wird seitlich herausgetrieben; sie nehmen unter dem Mikroskop ringförmige Gestalt an. In anderen Zellen löst sich das Protoplasma im umgebenden Glaskörper homogen auf; in anderen bildet es zahlreiche Verlängerungen, welche sich einerseits mit dem Kern verbinden und andererseits im Netz des Glaskörpers fortsetzen, indem sie den Zellen ein besonderes Aussehen geben (behaarte Zellen). Manchmal löst sich der Kern zuerst auf, und es finden sich kernlose Protoplasmaringe.

Alle diese Arten der Vermehrung und Auflösung haben mehrere Autoren auf das Vorhandensein von verschiedenen Typen von Glaskörperzellen schließen lassen, während es sich um die Umwandlung eines einzigen Typs handelt. Das Vorhandensein von mehr Kernen (Teilungsprodukt der Zellen) hat zu der Vermutung geführt, daß die Zellen des Glaskörpers nichts anderes wären als Leukocyten, eine durchaus unbegründete Hypothese, da in dieser Periode der Entwicklung im Lumen der Gefäße rote kernlose und kernhaltige Blutkörperchen und Körperchen mit blaßrot gefärbtem Protoplasma vorkommen, die viel größer als die andern sind und weniger intensiv gefärbte Kerne besitzen; aber es kommen noch keine Zellen mit mehreren Kernen vor. Das Aussehen dieser Zellen des Glaskörpers ist identisch mit jenem der Leukocyten; nur sind die wirklichen Leukocyten im Blut noch nicht differenziert.

Die Zellen der Gefäßwände haben länglicheren Kern als die perivasalen Zellen; ihre Protoplasmakörper sind jetzt verbunden oder wenigstens nicht differenzierbar mit den gewöhnlichen Färbemitteln.

Bei dem Austritt der Arteria hyaloidea aus dem Sehnerv beginnt der präpapilläre Pfropf sich abzugrenzen; seine Zellen vereinigen sich vorn zu einer Wand, welche vollkommen jener gleicht, die senkrecht zu ihr steht und sich seitlich bis zu dem am weitesten hervorragenden Teil der Papille des Opticus erstreckt. Diese Bildung ist bilateral, aber auf der Abb. 22 ist sie nur links gut sichtbar.

Hinten gehen die abgeworfenen Gliazellen Verbindungen mit der Basis des Pfropfs ein (Abb. 26 a). Längs der Wände der Arteria hyaloidea, nur bei dem Trichter des Opticus, ordnen sich noch Mesodermzellen an (Abb. 22 b), deren Protoplasma fast immer differenzierbar ist. Wie *Calderaro* meint, scheint also in dieser Ent-



Abb. 27. Menschlicher Embryo, 85 mm lang (Nacken—Steißbein). Horizontalschnitt von vorn nach hinten durch das eine Auge: a = präpapillärer Pfropf.

wicklungsperiode der präpapilläre Pfropf aus zwei Blättern gebildet zu sein, die nach vorn zunehmend, in vorgeschrittenen Entwicklungsperioden die Arteria hyaloidea umgeben, wie die Pleura die Lunge umgibt. Aber diese Anordnung in zwei Blättern ist nur scheinbar, und bei dem Präparat der Abb. 22 rührt sie von der Retraktion der Gewebe her. Jedoch besteht bei dem Menschen zwischen diesen scheinbaren zwei Blättern ein sehr schlaffes Gewebe, welches leicht zerrißt und

vermuten ließ, daß der Pfropf, wenigstens an seinem Anfang, wie die Serosa gebildet wäre.

Das Netz des Glaskörpers hat bei diesem Embryo Fibrillen, welche sich in allen Richtungen regellos kreuzen (s. Abb. 23, 24, 25 und 26). Um die Gefäße herum besteht fast immer eine Verdichtung der Glaskörpersubstanz (s. Abb. 24), und diese

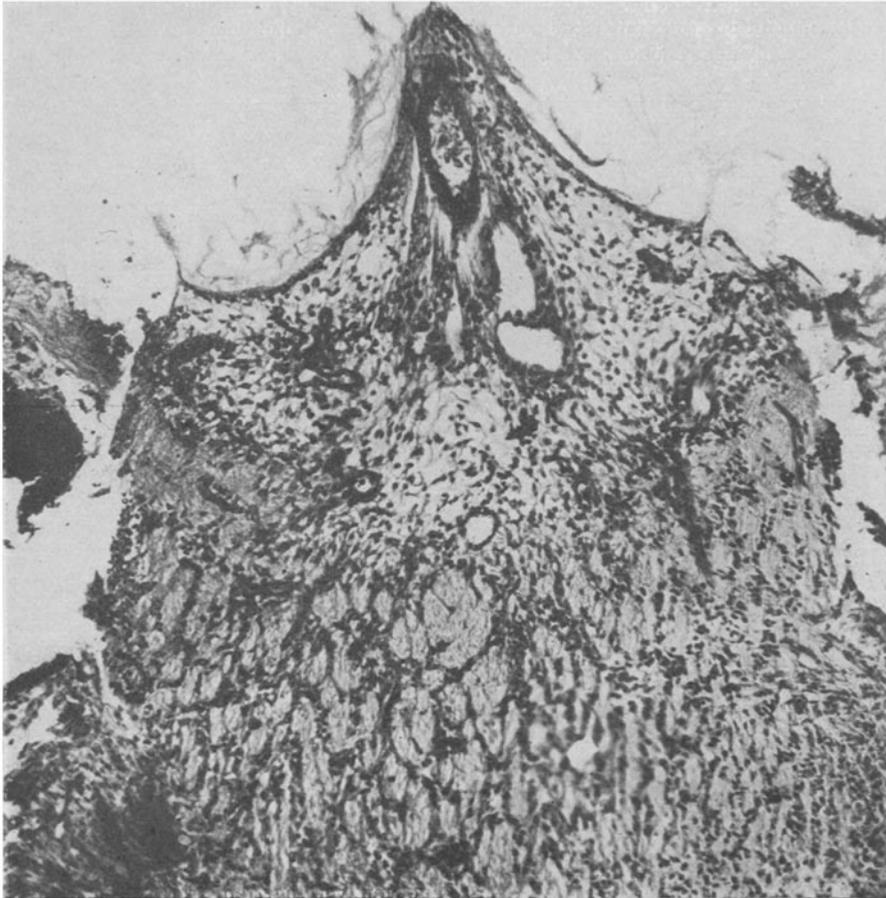


Abb. 28. Präpapillärer Pfropf und Sehnerv eines Embryo vom Ochs am Ende des 3. Monats (Periode, die derjenigen des menschlichen Embryo der Abb. 27 entspricht).

Verdichtung macht bei den die Gefäße treffenden Schnitten oft sternförmigen Bildungen Platz. Sowohl bei diesem Embryo wie bei den beiden vorangehenden zeigen die choroidealen Plexus, welche in die Hirnhöhlen eingedrungen sind, eine nahe Analogie zum Gewebe des Glaskörpers, den sie nur an Zellenreichtum übertreffen.

Menschlicher Embryo von 50, 56, 61, 63, 65, 67, 90, 97 und 100 mm Länge (Nacken bis Steißbein).

Für alle diese Embryonen gilt die Zeit zwischen der Mitte des 3. und dem Beginn des 4. Monats. Alle Augengewebe entwickeln sich weiter, und wir werden uns nicht mehr besonders damit beschäftigen.

Die Arteria hyaloidea verliert immer mehr ihre Zweige für den Glaskörper und behält bei Beginn des 4. Monats nur die für die Linse bestimmten Abzweigungen. Gegen die Mitte des 3. Monats erscheint der Hyaloidealkanal, welcher zuerst sehr schlecht abgegrenzt ist; erst am Ende des 3. Monats ist er gut erkennbar (s. Abb. 27). Er umgibt zuerst unmittelbar den präpapillären Pfropf bei dem Hauptstamm der Arteria hyaloidea und später den Kegel der hyaloidealen Abzweigungen, welche

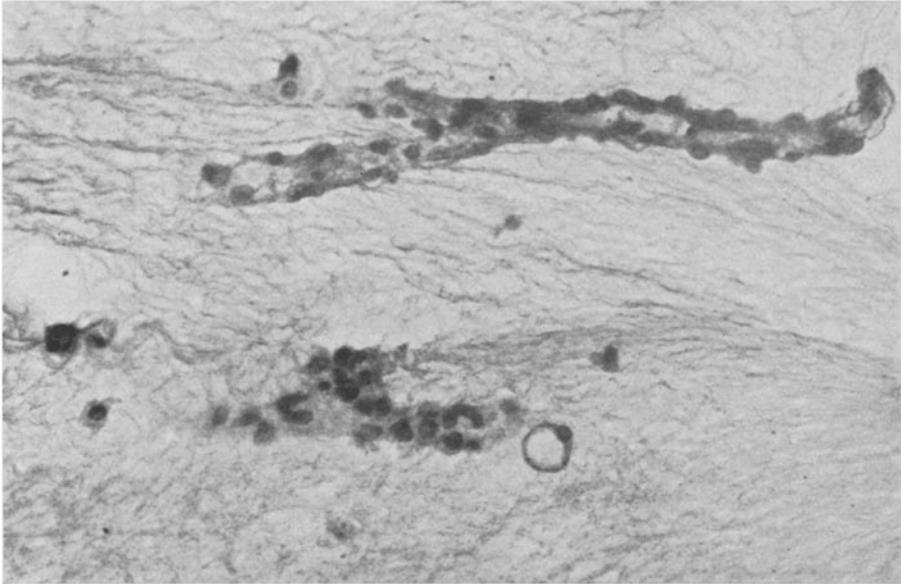


Abb. 29. Hyaloideale Gefäße und perivasale Zellen im Auge eines menschlichen Embryo von 67 mm Länge (Nacken—Steißbein). Verschiedene Stadien der Auflösung der in den Glaskörper abgewanderten perivasalen Zellen.

zur Linse führen. Er besteht folglich aus einem vorderen und einem hinteren kegelförmigen Teil, die durch einen engeren mittleren Teil verbunden sind.

Der präpapilläre Pfropf (s. Abb. 23a) verlängert sich kegelförmig immer mehr nach vorn. Außen wird er aus einer Wand mit verlängerten Protoplasmazellen gebildet, die sich gegen die Spitze des Kegels selbst verdichten; zwischen dieser Wand und der Wand der Arteria hyaloidea finden sich wenige ebenfalls längliche Kerne, welche untereinander durch fibrilläre Protoplasmafortsätze verbunden sind. In dieser Entwicklungsperiode ist der präpapilläre Pfropf bei dem Menschen noch sehr dürrtig, während er bei einigen höheren Wirbeltieren, zum Beispiel beim Ochsen, sehr viel dichter und gleichmäßig gebildet ist (s. Abb. 28). Immer enger erscheinen die Verbindungen zwischen der Basis des Pfropfs und den Gliazellen des Sehnervs.

Bei dem Menschen erscheinen schon am Ende des 3. Monats bis Anfang des 4. die zentralen Venen der Netzhaut zu beiden Seiten der Arteria hyaloidea im Sehnerv. Beim Ochsen ist, wie bekannt ist, in der entsprechenden embryonalen

Periode das Gefäßsystem des Opticus viel besser entwickelt, und voll ausgebildet ist die vasculäre Gefäßhaut der Retina, welche gegen die Ciliarregion und weiter nach hinten Verbindungen zu den Hyaloidealgefäßen eingeht.

Von der Stelle an, wo der präpapilläre Kegel nach vorn endet, werden die Wände der Arteria hyaloidea und ihrer Abzweigungen höckerig aussehen durch die Meso-



Abb. 30. Vorderer Teil des Auges des Embryo vom Ochsen der Abb. 28: *a* = Amorphe Eiweißsubstanz zwischen Iris und vorderer Kammer; *b* = Protoplasma der heilen Zellen der ciliaren Netzhaut, das sich in Zonulafasern fortzusetzen scheint; *c* = amorpher Glaskörper, in nichts von den amorphen Substanzen der vorderen Kammer zu unterscheiden.

dermzellen, welche der äußeren Oberfläche der Wand aufsitzen (s. Abb. 29). Diese Zellen schuppen sich beständig von den Gefäßwänden ab und verschwinden im Glaskörper, indem sie alle vorher beschriebenen Auflösungsstadien durchmachen. Diese Anlage bleibt unverändert bei allen hyaloideal und die Linse umgebenden Gefäßen, bis zu ihrem Verschwinden; folglich haben auch die Gefäße der Pupillarmembran ein höckeriges Aussehen und schuppen Zellen ab, welche, indem sie sich

in dem engen Raum zwischen Pupillarmembran und Endothel der Hornhaut auflösen, ein dem Glaskörper analoges Gewebe bilden (s. Abb. 30 a), und welches vom Glaskörper auch die fibrilläre Struktur annimmt, wenn die vordere Kammer sich etwas erweitert und dadurch das Gewebe ärmer an festen Bestandteilen wird.



Abb. 31. Vorderer Ausschnitt des Auges des menschlichen Embryo der Abb. 27; *a* = Glaskörper, der Verbindungen zur Ciliarregion einzugehen scheint; *b* = Verdichtung des Randes des Glaskörpers oder *Membrana hyaloidea*, die bei diesem Embryo bemerkbar ist, während sich in anderen, noch besser konservierten keine Spur davon zeigt.

Diese Beobachtungen bestätigen, was *Marvas* und *Magitot*¹⁾ zuerst bewiesen. Nur schrieben sie dem Phänomen eine Bedeutung zu, welche mit den Resultaten meiner Forschungen in Widerspruch steht. Sie vermuteten und wollten um jeden

¹⁾ *Marvas* und *Magitot*, Les cellules du corps vitré de l'oeil humain. Ann. d'oculist. 150, 323—337. 1913.

Preis aufrechterhalten, daß auch die perivasalen Zellen der Pupillarmembran von glialem Ursprung wären.



Abb. 32. Horizontalschnitt von vorn nach hinten durch das Auge eines menschlichen Embryo, 67 mm lang (Nacken—Steißbein). Der Glaskörper ist noch für eine weite Strecke mit der inneren Oberfläche der Netzhaut verbunden. Man sieht die Limitans interna der Netzhaut im Begriff, sich fast überall loszulösen durch die Zusammenziehung des Glaskörpers, der einen Teil der Fasernschicht abhebt. Es ist keine Spur der Membrana hyaloidea vorhanden; *a* = Verdichtung des Glaskörpers, den Hyaloidealgefäßen entsprechend.

Wir werden später durch die einschlägigen Betrachtungen auf dies Thema zurückkommen.

Immer mehr differenzieren sich die Ciliarfortsätze in Form von Wellungen der Pigmentschicht der Netzhaut. Am Ende des 3. Monats kann man schon

von rudimentären Ciliarfortsätzen sprechen, und zum ersten Male bemerkt man einen anscheinenden Zusammenhang des Gewebes, entsprechend demjenigen zwischen Netzhaut und Glaskörper. Es handelt sich wahrscheinlich um die erste Anlage der Zonula und nicht um Fortsetzung des Glaskörpers in der ciliaren Netzhaut (s. Abb. 31a). In der Tat sieht man in der entsprechenden embryonalen Periode des Auges vom Ochsen die Fasern der Zonula sich im Protoplasma der ciliaren Zellen fortsetzen, während der Glaskörper, welcher in diesem Fall homogen erscheint, durch Retraktion etwas weiter entfernt ist (Abb. 30 b).

Überall sonst erscheint immer klar die Trennung zwischen Glaskörper und Netzhaut (Abb. 32, Abb. 31b), eine Trennung, die bis zum Rand der Augenblase aufweisbar ist bei den menschlichen Embryonen bis ungefähr zum Ende des 3. Monats, wie ich bei zwei mit Formol fixierten Embryonen von 67 und 70 mm Länge (Nackten bis Steißbein) sehen konnte. Die Struktur des Glaskörpers erscheint fibrillär bei kleiner und mittlerer Vergrößerung; aber bei stärkeren Vergrößerungen sieht man, daß es sich nicht um wirkliche Fasern handelt, sondern um protoplasmatische Körnelung. Wenn der Glaskörper, indem er sich von der Netzhaut löst, sich in kleinem Raum zusammendrängt, kann er eine körnige oder auch homogene Struktur annehmen, welche unverändert bleibt auch bei den stärksten Vergrößerungen. Dies ist der Fall beim Embryo des Ochsen am Ende des 3. Monats (Abb. 30 c), und das nicht seltene Phänomen kann mit jedem beliebigen Fixativ erzeugt werden. Den hyaloidealen Gefäßen entsprechend findet man häufig eine Verdichtung des Glaskörpers, wie bei jüngeren Embryonen beobachtet wurde (Abb. 32 a).

Menschlicher Embryo von 180 mm Höchstlänge (Beginn des 5. Monats). Beide sehr gut erhaltenen Augen dieses Embryos wurden in der Richtung von vorn nach hinten horizontal geschnitten. Bei dem einen war es möglich, zur Achse vollkommen parallele Schnitte zu erhalten, und dadurch wurde der präpapilläre Pfropf in seiner ganzen Länge getroffen.

Bei diesem Embryo ist die Netzhaut gut differenziert, und es findet sich mehr als eine Anlage des Ciliarkörpers. Den Zellen der Ciliarfortsätze entsprechend scheinen sich der Glaskörper und die Zonula in den Geweben des ciliaren Epithels selbst fortzusetzen. Anderswo ist überall der Glaskörper von der Netzhaut abgelöst, von der er außer der Limitans einen kleinen Streifen der Randzone abgehoben hat, nicht nur die Fasern, sondern auch einige Ganglienzellen einbegriffen. Trotzdem ist die Membrana limitans interna der Netzhaut an manchen Punkten gut erkennbar. Der Glaskörper besteht aus dünnen Fibrillen, welche bei starker Vergrößerung oft unterbrochen erscheinen, und die sich in jeder Richtung regellos schneiden. Es finden sich Zellen in der Randzone (*Cellulae subhyaloideae*) und um die Gefäße und den Pfropf herum; diese Zellen haben das gleiche Aussehen und erleiden die gleichen Umwandlungen wie die zuvor beschriebenen bei jüngeren Embryonen. Das Netz der Arteria hyaloidea ist hier aus dem Hauptstamm gebildet, der fast geraden Verlauf von der Papille bis zur hinteren Oberfläche der Linse hat. Nachdem die Arterie zwei Drittel der Entfernung durchlaufen hat, ohne sich zu teilen, gehen vom Hauptstamm fast in derselben Ebene verschiedene seitliche Zweige aus und bilden sozusagen einen Wirbel. Indem sie sich von dem Ausgangspunkt ausbreiten, bilden diese Abzweigungen einen Gefäßkegel, der mit den Gefäßen der Gefäßumhüllung der Linse Verbindungen eingeht (s. Abb. 33).

Die Gefäßwände bestehen immer nur aus dem Endothel, dessen äußerer Oberfläche Zellen anhaften, die sich in den Glaskörper abschuppen und in Auflösung übergehen.

Der präpapilläre Pfropf ist jetzt am stärksten entwickelt; seine Länge beträgt fast zwei Fünftel der Entfernung zwischen Papille und Linse und nicht viel weniger als 2 mm.

Die Asymmetrie seines basalen Teils wurde von *Seefelder* gut beschrieben, und so ist sie auf den Abb. 33, 34 und 35 zu sehen.

Er hat nicht mehr Kegel-, sondern Scheidenform und besteht scheinbar aus

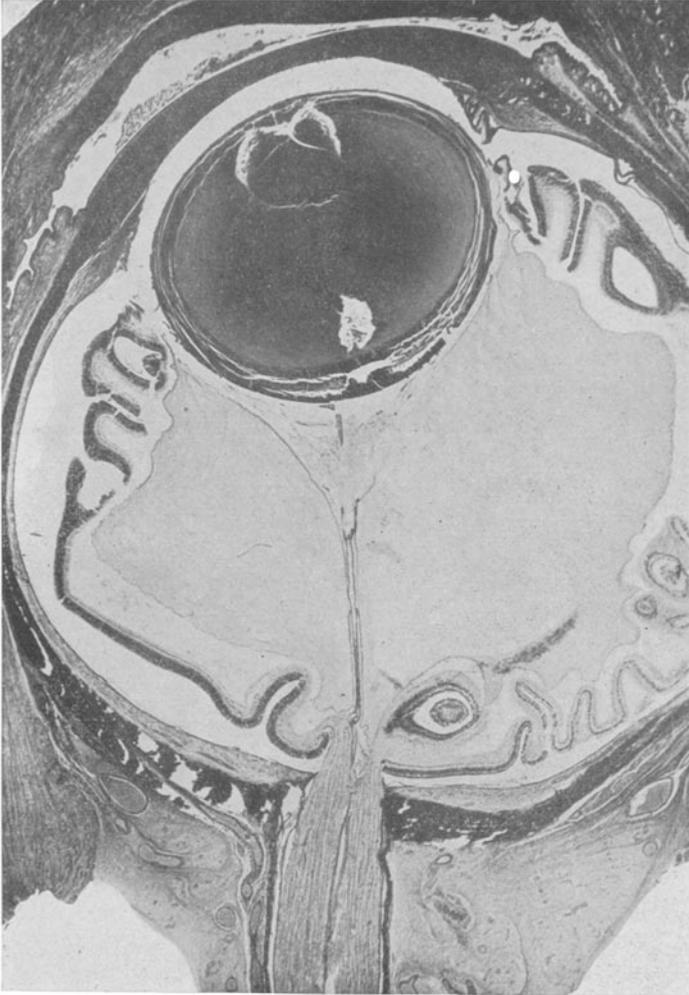


Abb. 33. Menschlicher Embryo, 180 mm lang (Höchstlänge). Horizontalschnitt von vorn nach hinten durch das Auge. Der Schnitt ist axial und umfaßt die Arteria hyaloidea fast in ihrem ganzen Verlauf im Inneren des Auges und im Sehnerv; der Hyaloidealkanal und der präpapilläre Pfropf in ihrer ganzen Länge.

zwei Blättern, einem visceralen, das der Gefäßwand anhängt, und einem parietalen, die von einander getrennt sind.

Diese Trennung ist nur scheinbar, da ein schlaffes, sehr dünnes Gewebe die beiden Blätter verbindet, welche nur künstlich an mehreren Stellen getrennt sind.

Entgegen der Meinung von Mawas und Magitot endet der präpapilläre Pfropf vorn unvermittelt. Die Abb. 31, welche einen Achsenschnitt wiedergibt, beseitigt, wie ich glaube, jeden Zweifel über diese Frage. Histologisch scheint der Pfropf sich nicht von der Wand der Arteria hyaloidea zu unterscheiden, die er umgibt. Die Zellen der äußeren Wand des Pfropfs und die der Arterienwand anhaftende Schicht sind absolut identisch mit denen des Gefäßes; da sie aus einem ovalen Kern und aus

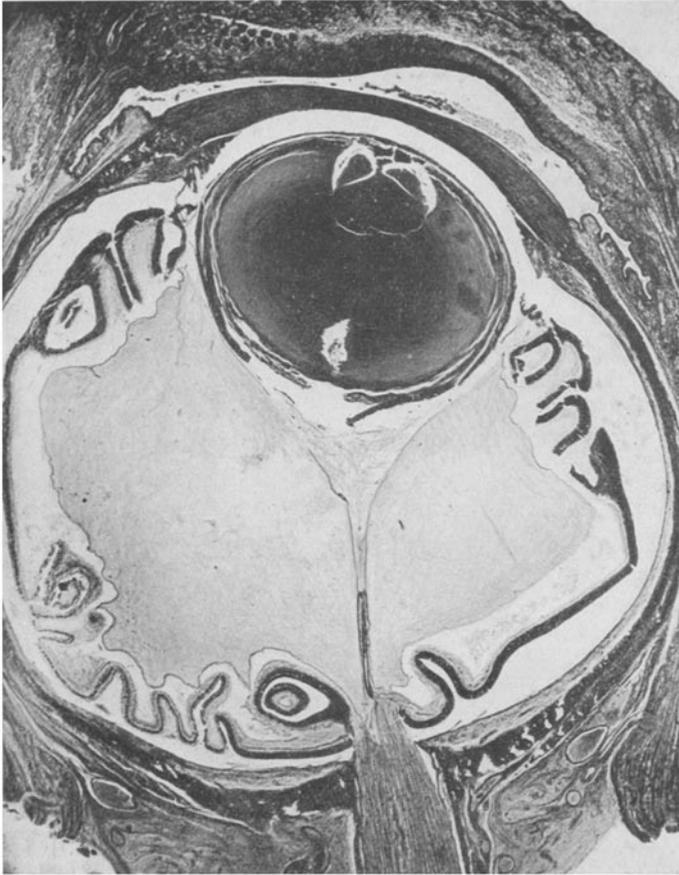


Abb. 34. Etwas seitlicherer Schnitt desselben embryonalen Auges.

gewöhnlichem Protoplasma bestehen, haben die Zellen, welche die beiden Blätter verbinden, denselben Kern, aber das Protoplasma besteht nur noch aus Fibrillen, welche die verschiedenen Kerne untereinander verbinden. Die Abb. 36, welche einen parietalen Schnitt durch den Pfropf und die Arterienwand darstellt, zeigt die ebenbeschriebenen Eigentümlichkeiten. Auf Grund der histologischen Bildung des Pfropfs und der Arterienwand ist es schwer, für diese beiden Gewebe einen verschiedenen Ursprung anzunehmen.

Was vorher gesagt wurde, gilt für den zylindrischen Teil des Pfropfs, während wir an seinem basalen Teil viele Zellen mit rundlichem und gut abgegrenztem

Protoplasma sehen, einige sehr große, deren Hauptaufgabe, wenigstens in dieser Periode, die Gefäßbildung zu sein scheint, ohne nach *Seefelder* auszuschließen, daß ein Teil von ihnen in den Glaskörper abwandert (s. Abb. 37c).



Abb. 35. Ein Ausschnitt der Abb. 33 bei stärkerer Vergrößerung. Axialer Schnitt durch die Arteria hyaloidea in ihrer ganzen Länge und durch die Mesodermscheide (*Gliamantel* von *Seefelder*), die sie begleitet. Das plötzliche Ende oberhalb der Scheide ist gut sichtbar.

Schon zur Seite der Arteria hyaloidea im Sehnerv ist das System der Netzhautvenen sichtbar geworden, und venöse Äste bestehen jetzt in den an der Oberfläche liegenden Schichten der Netzhaut. Noch gibt es keine Verzweigung der Netzhautarterien, und auch der Bildungsprozeß der venösen Gefäße ist bei weitem nicht vollendet, aber um so reger, wie aus der Abb. 37 zu ersehen ist.

Seefelder, der spezielle Untersuchungen¹⁾ über die Entwicklung der Netzhaut-

¹⁾ *R. Seefelder*, Untersuchungen über die Entwicklung der Netzhautgefäße des Menschen. v. Graefes Arch. f. Ophthalmol. 70, 448—464. 1909.

gefäße gemacht hat, scheint, wenn ich seine Worte richtig verstanden habe, daran festzuhalten, daß zu einer gewissen Zeit die Netzhautgefäße und besonders die Venen sich noch nicht durch Knospung, sondern in autonomer Art bilden, indem sie sich in die Gewebe eingraben, wie man annimmt, daß es in den allerersten

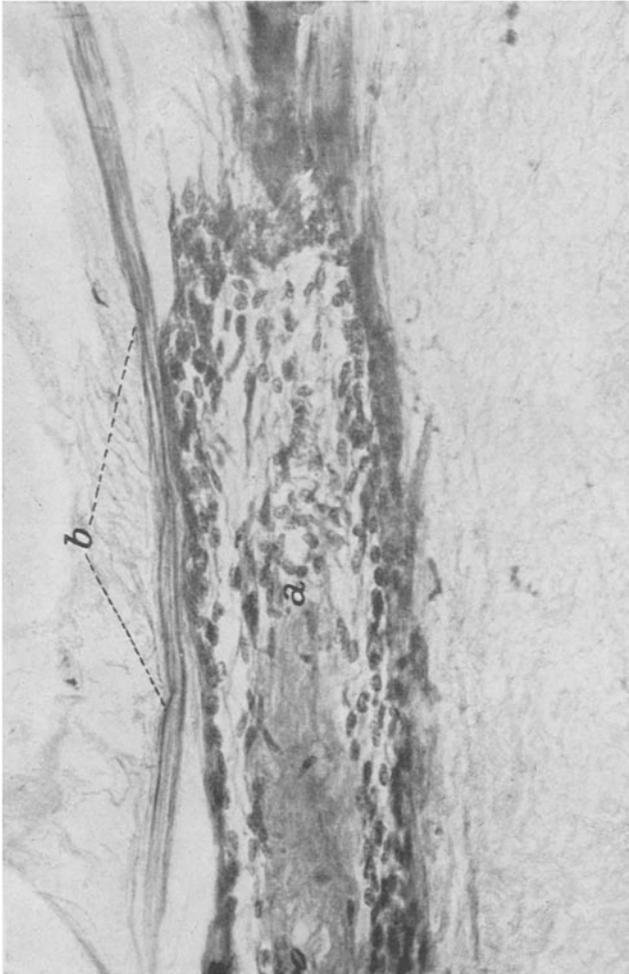


Abb. 36. Partieller Schnitt durch die Wand der Hyaloidea und ihrer Scheide bei starker Vergrößerung: *a* = Zeilelemente der Wand der Arterie, die nicht unterscheidbar sind von den Zellen der Scheide (präpapillärer Pfropf); *b* = membranöse Wand des Hyaloidealkanals.

embryonalen Perioden geschieht. Er drückt sich folgendermaßen aus: „Schon vor dem Auftreten der ersten arteriellen Gefäßsprossen ist bei der Achse des Opticus und ganz nahe bei der Papille ein primitives Venensystem vorhanden, an welches die jungen Netzhautgefäße Anschluß gewinnen.“

Wenn die Ansicht von *Seefeld* darüber so ist, wie ich zu verstehen glaube, so besteht ein deutlicher Widerspruch, denn da niemand bestreitet, daß die Gefäße immer aus Mesoderm gebildet sind, während der Gliäursprung des Pfropfs zugegeben

wird, so befindet sich in der Papille und der Netzhaut kein Mesodermmaterial, aus dem die Gefäße entstehen können.

Dieses Hervorheben ist übrigens nicht von großer Bedeutung, da ich glaube, durch die Mikrophotographien die Mesodermnatur des Pflrops bewiesen zu haben.

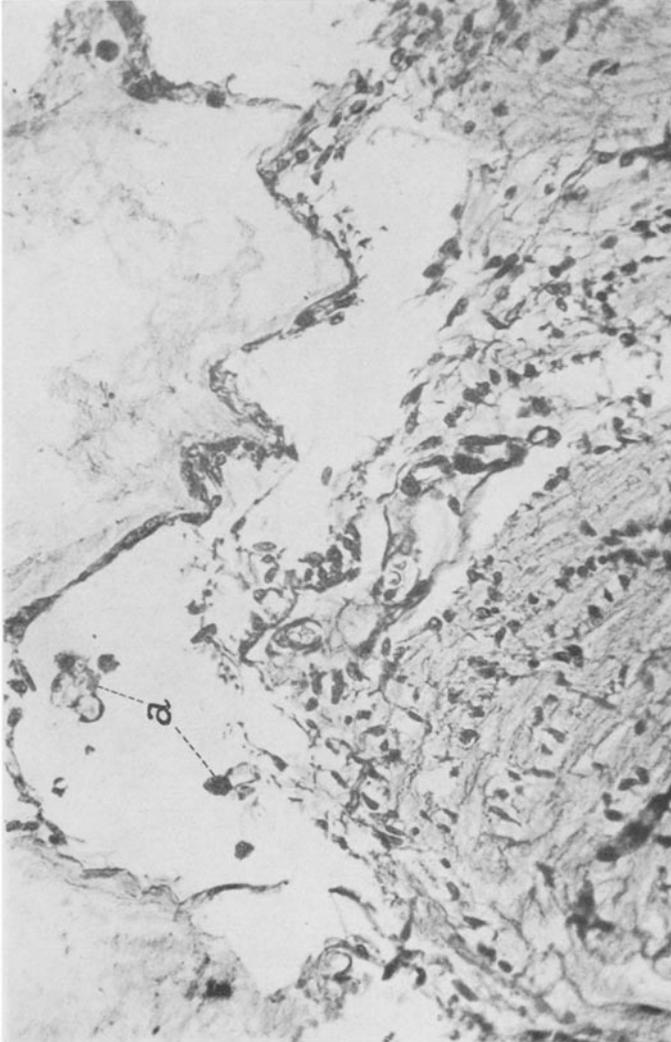


Abb. 37. Seitlicher Schnitt durch die Basis des präpapillären Pflrops (gleiche Vergrößerung wie bei der vorhergehenden Abbildung). Man bemerkt eine lebhaftc Neubildung von Gefäßen. In α = in Entstehung begriffene Gefäße bilden ihr Lumen im Protoplasma der Wanderzellen (Sektärer) des Pflrops.

Auch *Calderaro* nimmt an, daß es die Aufgabe des basalen Teils des Pflrops ist, Material für die Bildung der Netzhautgefäße zu liefern, denn auch er ist der Meinung, daß der Pflrop eine Mesodermbildung ist.

Um sich Klarheit über die Bildung der Netzhautgefäße an der Basis des Pflrops zu verschaffen, wären Serienschnitte nötig, und sobald ich im Besitz anderen menschlichen Materials bin, werde ich sie ausführen.

Der Hyaloidealkanal bildet sich zuerst genau aus dem Pfropf, dann aus den Abzweigungen der Hyaloidealarterie; er nimmt so genau die Form eines Trichters an, dessen weiter Teil nach der hinteren Oberfläche der Linse zu liegt. Seine Ränder

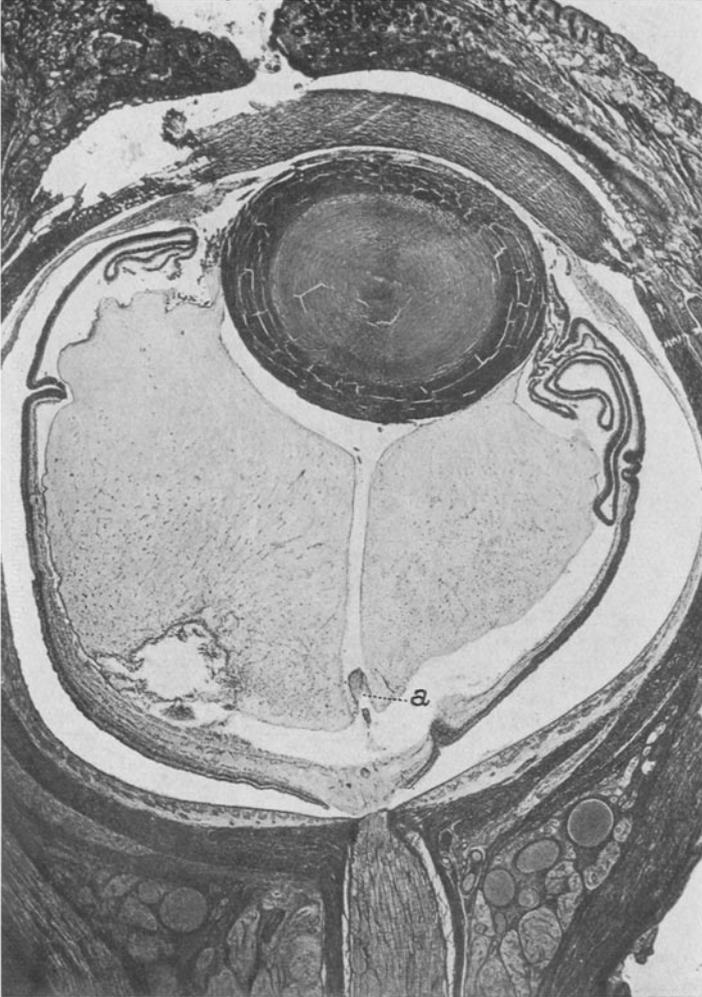


Abb. 38. Menschlicher Embryo, 230 mm lang (Höchstlänge). Horizontalschnitt von vorn nach hinten durch das eine Auge. Der Glaskörper ist infiltriert (wie übrigens auch die andern Teile des Auges) von einer sehr großen Zahl von Zellelementen, die bei dieser Vergrößerung wie Pünktchen erscheinen.

verlieren sich ohne deutliche Grenzen gegen die Äquatorregion der Linse. Er ist von dem übrigen Glaskörper durch kräftige Fasern abgegrenzt, welche eine Art fortlaufender, verhältnismäßig kräftiger Wand bilden (s. Abb. 36 b). Im Innern des Kanals haben wir außer dem Pfropf und dem System der Arteria hyaloidea einen Glaskörper, welcher weniger dicht erscheint, als der äußere, weil seine Fibril-

len spärlicher und dünner sind. Am vorderen Ende des Pfropfs entspringen kräftige Fibrillen, die sich bei geradem Verlauf eine gute Strecke nach vorn fortsetzen. Schon in dieser embryonalen Periode kann man das erste Anzeichen der Lamina

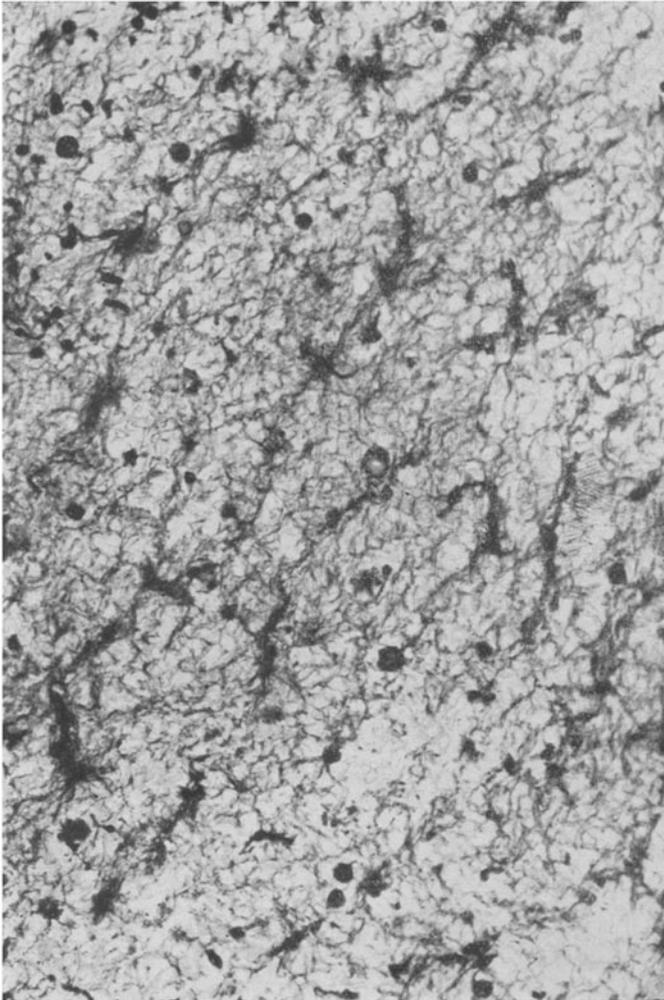


Abb. 89. Ausschnitt der vorhergehenden Abbildung bei stärkerer Vergrößerung. Verschiedene Stadien der Auflösung der in den Glaskörper abgewanderten Zellen, deren Protoplasma offenbar das fibrilläre Netz ernährt.

cribrosa entdecken, von der *Seefelder* eine sehr viel spätere Entwicklung annimmt.

Menschlicher Embryo von 230 mm Höchstlänge (2. Hälfte des 6. Monats).

Im Glaskörper beider Augen dieses Embryos (s. Abb. 38 und 39) bestehen sehr zahlreiche runde Zellen, die alle Stadien der Zellauflösung aufweisen.

Gleiche Infiltration runder Zellen habe ich bei allen Geweben im Auge und um das Auge gefunden, so daß wir hier eine intrauterine Entzündung vor uns haben,

die wahrscheinlich der fötalen Syphilis zuzuschreiben ist, da auch die spontane Unterbrechung der Schwangerschaft vorliegt. Jedoch war es nicht möglich, eine genaue Anamnese der Mutter aufzunehmen, die schon an ihren Wohnort zurückgekehrt war, bevor die Entzündung nachgewiesen wurde. Die pathologischen Befunde dieses Auges dienen sehr zur Klärung einiger Fragen, die durch die vorangehenden Präparate keine genügende Lösung gefunden hatten.

Im Auge dieses Embryo bemerkt man sonstige Fortschritte zur endgültigen Entwicklung der Gewebe, mit denen wir uns nicht beschäftigen werden.

Der präpapilläre Pfropf hat sehr an Länge abgenommen (Abb. 38 a) im Vergleich

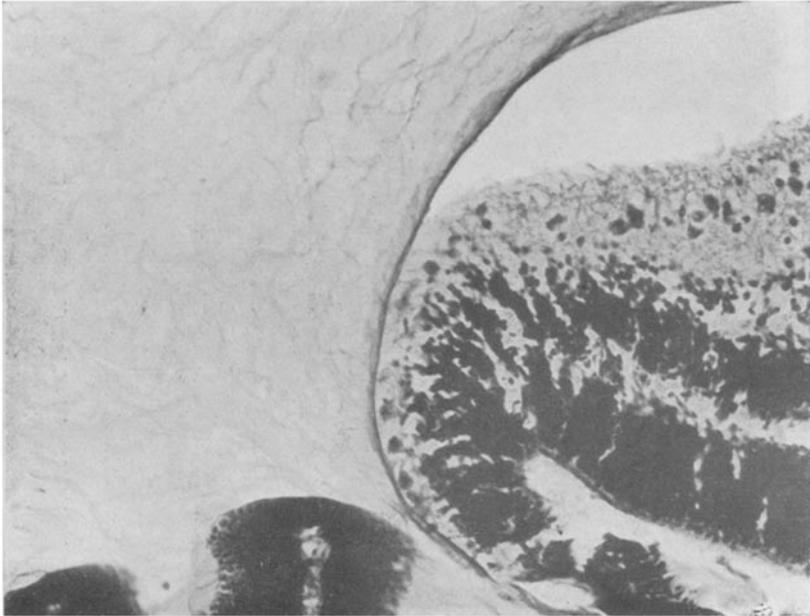


Abb. 40. Vordere äußere Region des Auges eines 5 Tage alten Kaninchens. Die Membrana limitans, die den Glaskörper von der Netzhaut trennt, ist sichtbar bis zur Ora serrata.

mit dem vorhergehenden Embryo und wird aus Zellen mit länglichem, stark färbbarem Kern und aus kompaktem oder fibrillärem Protoplasma gebildet.

Die Arteria hyaloidea ist verengt, aber überall durchgängig und enthält Blutkörperchen.

Wie *Seefeld* richtig bemerkt, scheint die Vermutung von *Calderaro*, daß der präpapilläre Pfropf die Aufgabe habe, die Arteria hyaloidea zu obliterieren, unbegründet zu sein. In der Tat ist diese letztere noch durchgängig, während der Pfropf schon deutlich umkleidet ist.

Der Hyaloidealkanal hat sich verändert; er besteht aus einem mittleren zylindrischen Teil, der die Arterie umgibt, aus einem gleichfalls zylindrischen, aber weiteren Teil, der den Pfropf umgibt, und einem verbreiterten vorderen Teil. Dieser entsteht jedoch etwas entfernt von der hinteren Oberfläche der Linse und umgibt die Abzweigungen der Arteria hyaloidea, welche hier vom Hauptstamm nicht weit von der Linse ausgehen. Schließlich formt sich der Hyaloidealkanal

genau nach dem System der Arteria hyaloidea, die er umgibt. Auch bei diesem Embryo ist der Glaskörper fast überall von der Netzhaut abgelöst, ausgenommen in der Ciliarregion; die Membrana limitans interna ist jedoch gleichfalls abgrenzbar.

Die sehr zahlreichen Zellen, welche in den Glaskörper eingedrungen sind, sind zum größten Teil verändert und im Zustand mehr oder weniger vorgeschrittener Auflösung. Einige sind stark gequollen, und ihr Protoplasma ist jetzt stark färbbar; bei anderen sind eine oder mehrere Vakuolen im Protoplasma entstanden; aber am häufigsten ist die Zelle ganz leer, und das Protoplasma und der Kern sind an den Rand gedrückt worden. Bei anderen Zellen sieht man, wie das Protoplasma sich

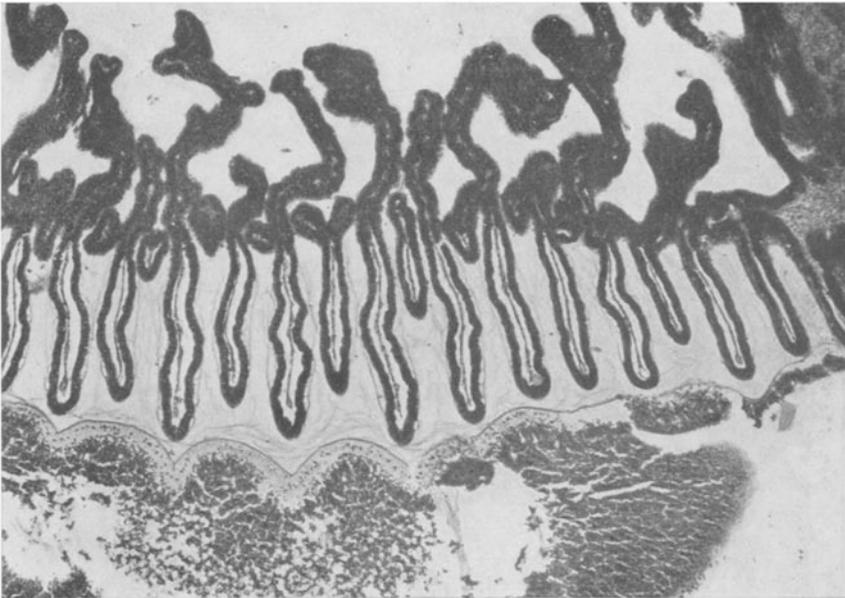


Abb. 41. Ciliare Fortsätze und Netzhaut bei der Ora serrata im schräg geschnittenen Auge eines 3 Tage alten Kaninchens. Noch deutlicher als bei der vorhergehenden Abbildung ist die Limitans interna der Netzhaut hier sichtbar.

im umgebenden Glaskörper auflöst und wie die Zelle so die Form einer Spindel oder eines Sterns annimmt; andere nehmen das charakteristische Aussehen der behaarten Zellen an, welche von allen Autoren, und in besonderer Weise von Retzius, beschrieben wurden (s. Abb. 39). Dem Protoplasma entsprechend, aber gewöhnlich etwas später, durchläuft der Kern die verschiedenen Stadien der Auflösung. Manchmal jedoch löst sich der Kern zuerst auf, und dann finden sich sternförmige, haarige und kringelförmige Bildungen ohne Kern.

Alle diese Umwandlungen der Zellen sind von mir und von anderen in den verschiedenen Entwicklungsperioden wiedergefunden worden, ausgenommen in der allerersten, wo der Vorgang, obwohl an sich der gleiche, sich unter etwas verschiedener Form zeigt.

Bei diesem Embryo zeigt sich nichts, was neu wäre; nur sind hier die bei den normalen Embryonen wenig in die Augen fallenden Tatsachen aufdringlich und können auch einer oberflächlichen Beobachtung nicht entgehen.

Die Protoplasmafortsätze gehen ununterbrochen in das Netz des Glaskörpers über und unterscheiden sich nicht vom Glaskörper selbst.

Wenn wir bei demselben Präparat die aufeinanderfolgenden Umwandlungen der in den Glaskörper abgewanderten Zellen bis zu ihrer vollständigen Auflösung nicht verfolgen könnten, so wäre an eine Umwandlung derselben Zellen in Fasern zu denken; aber die Hypothese scheint nicht erwägenswert zu sein. Es handelt sich augenscheinlich um das Aussehen, welches die mehr oder weniger vorgeschrittene Verflüssigung der Zellen annimmt, wenn sie durch die Einwirkung der Fixierungsmittel unterbrochen und sozusagen photographiert wird.

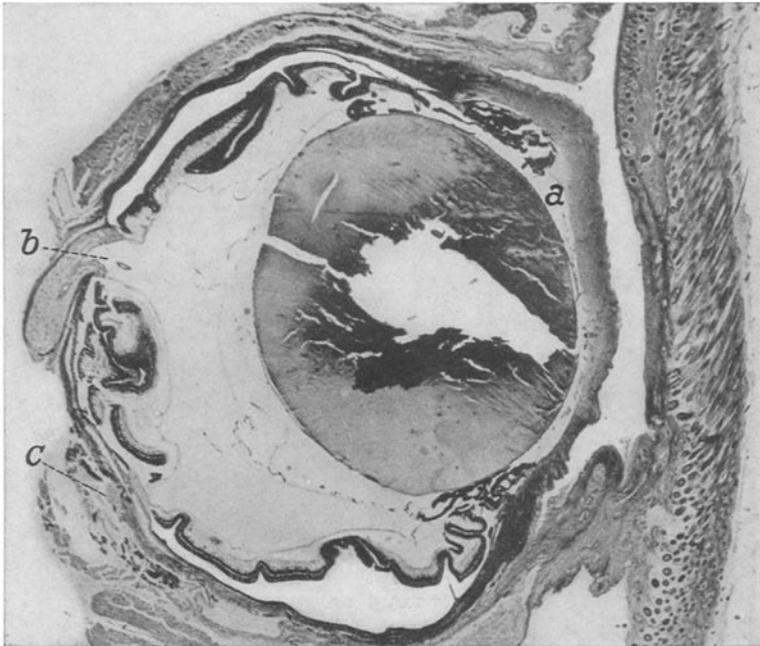


Abb. 42. Auge eines neugeborenen Kaninchens, bei dem im mittleren Teil der choroideale Spalt offen geblieben ist; Vertikalschnitt von vorn nach hinten: *a* = amorphe Masse in der vorderen Kammer; *b* = Schnitt durch die Arteria hyaloidea, kurz nach ihrem Eintritt in das Auge; *c* = Glaskörper, der dem choroidealen Spalt entsprechend das Aussehen der amorphen Substanz der vorderen Kammer annimmt.

Wenn diese scheinbaren Fibrillen, welche von sich auflösenden Zellen ausgehen, nicht als solche betrachtet werden können, so kann man kaum eine wirkliche fibrilläre Struktur des übrigen Glaskörpers zugeben, der eine Einheit mit der aus den abgewanderten Zellen herrührenden Masse ist.

Da die richtig verwerteten pathologischen Befunde die möglichen Lücken der normalen Befunde füllen können, halte ich diesen Embryo für besonders wichtig. Ich werde binnen kurzem auf die Frage zurückkommen.

Bis jetzt konnte ich das Studium der Glaskörperentwicklung nicht durch menschliche Föten in noch vorgeschritteneren Entwicklungsperioden vervollständigen; ich mußte zu neugeborenen oder einige Tage alten Kaninchen greifen, da, wie bekannt ist, das Auge des Kaninchens bei der Geburt noch unvollständig

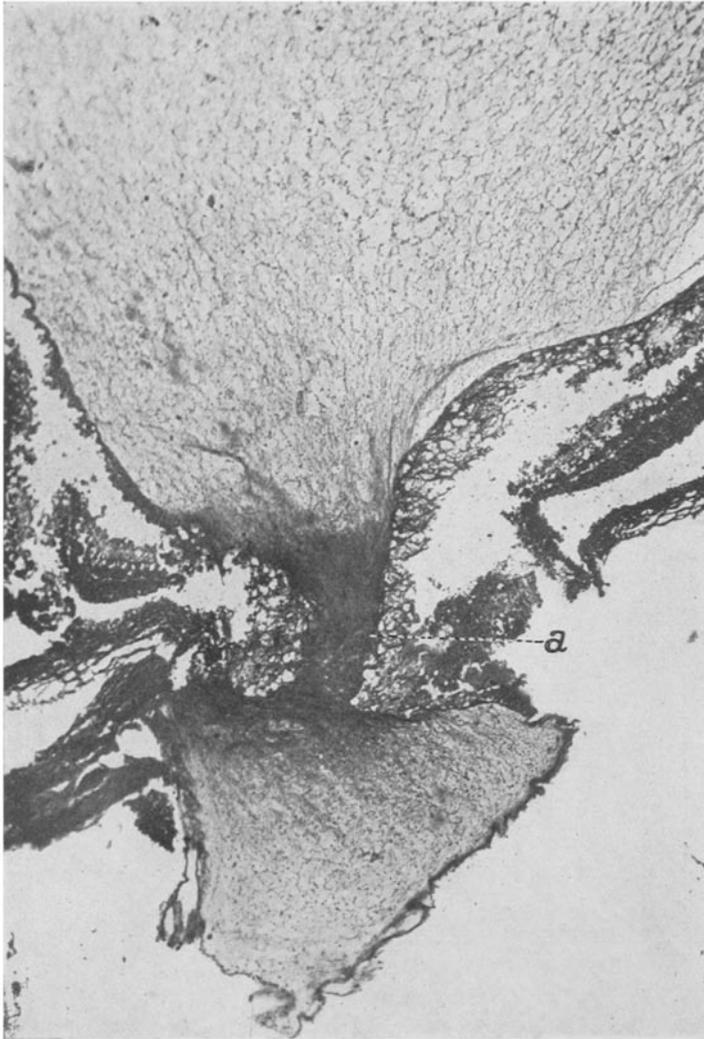


Abb. 43.

Abb. 43 und 44. Innere seitliche Schnitte wie bei der vorhergehenden Abbildung am selben Auge des Kaninchens, dem choroidealen Spalt entsprechend. Der Glaskörper von gleichem fibrillären Aussehen verdichtet sich außer- und innerhalb der Augenhöhle, entsprechend dem choroidealen Spalt (*a*) und nimmt eine körnige Struktur an. Bei der Abb. 44 geht ein Bündel von Fibrillen von dem verdichteten Teil des Glaskörpers aus, der sich fächerförmig im intraokularen Glaskörper zerstreut und sich in seinem Netz fortsetzt. Bei diesen Präparaten hat das Hämatoxylin De Lieto Vollarò glänzend sichtbar gemacht: 1. die deutliche Trennung zwischen Glaskörper und Netzhaut; 2. das Vorhandensein der Membrana limitans interna; 3. die Abwesenheit der Membrana hyaloidea.

ist. Ich werde kurz das Resultat dieser meiner ergänzenden Untersuchungen darlegen.

Bei den guterhaltenen Augen des Kaninchens bemerkt man immer an der Grenze zwischen Glaskörper und Retina die Limitans interna der Netzhaut, welche

deutlich die beiden Gewebe bis zur Ora serrata trennt, wo es, wie schon gesagt, unmöglich ist festzustellen, was dem Glaskörper und was der Zonula zugehört. Aber in der zweiten Woche des postfötalen Lebens tritt eine ziemlich deutliche Trennung zwischen Zonula und Glaskörper ein, und dann ist der Glaskörper un-

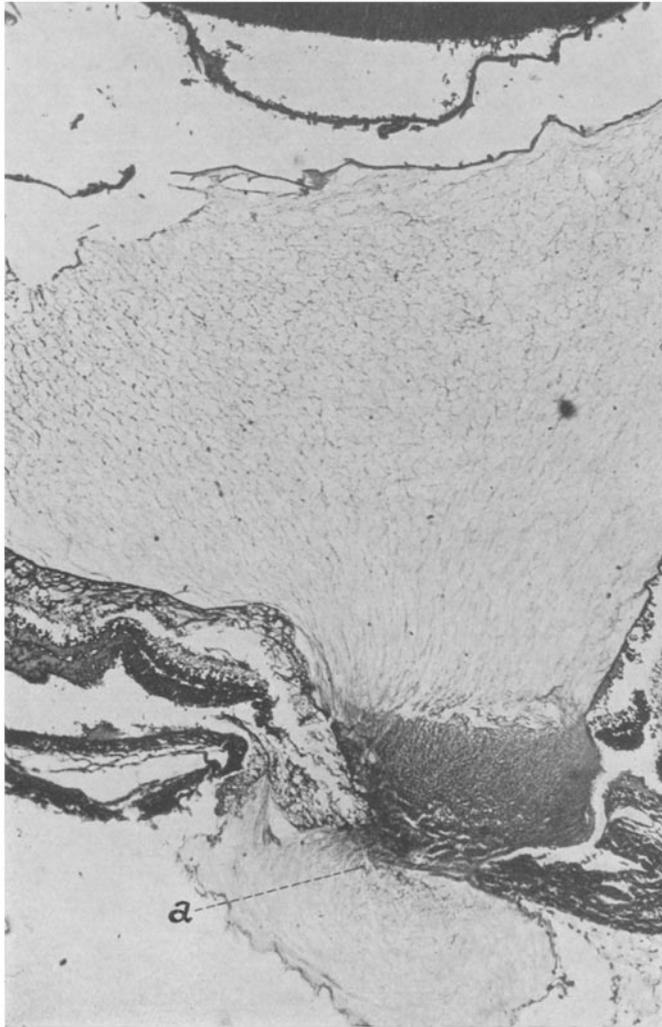


Abb. 44.

bestreitbar in seiner ganzen Ausdehnung von der Netzhaut getrennt (s. Abb. 40, 41, 42, 43, 44 und 45). Die Membrana hyaloidea ist bei den Präparaten frischer Augen nicht auffallend, und trotzdem ist die Membrana limitans der Netzhaut, entgegen *Wolfrum*, eine von der Hyaloidea gut unterscheidbare Bildung, wie man aus der Abb. 47a ersehen kann, welche einen Schnitt durch eine menschliche pathologische Netzhaut darstellt.

Aus der Auflösung des präpapillären Pfropfs, die beim Kaninchen am 2. Tag nach der Geburt vollständig ist, bilden sich anscheinend neue Fibrillen des Glaskörpers (s. Abb. 46).



Abb. 45. Der Ausschnitt *c* der Abb. 42 bei stärkerer Vergrößerung: *a* = dem fötalen Spalt entsprechend erscheint der Glaskörper auch bei stärkster Vergrößerung amorph; *b* = die Fasern des Glaskörpers scheinen eine tangentielle Richtung zur Linse anzunehmen, von der sie sich losgelöst haben.

Solange die hyaloidealen und die Linse umgebenden Gefäße nicht verschwunden sind, bewahren sie immer das höckerige Aussehen, das wir beschrieben haben, und das von den Mesodermzellen herrührt, welche mit ihnen zusammenhängen und sich beständig von ihnen ablösen, indem sie sich im Glaskörper zersetzen. Das gleiche sieht man in der vorderen Kammer, wo die Gefäße soeben die Pupillarmembran

bilden (s. Abb. 44). Bis zum 10. Tag des postfötalen Lebens, dem Zeitpunkt, an welchem das hyaloideale Netz schon fast gänzlich verschwunden ist, und über den meine systematischen Forschungen nicht hinausgehen, bestehen Subhyaloidealzellen mit gleichem Aussehen wie die perivasalen Zellen.

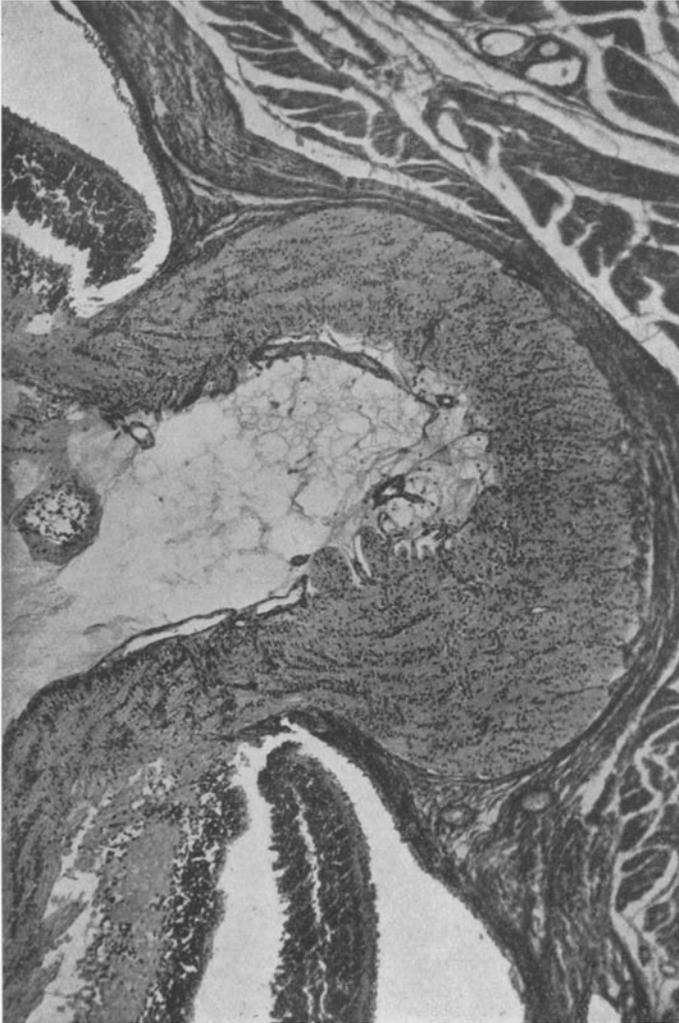


Abb. 46. Exkavation des Sehnerven bei einem 2 Tage alten Kaninchen. Nachdem der präpapilläre Pfropf den Gefäßen der Papille Platz gemacht hat, ist er fast völlig verschwunden. Seine Überreste scheinen neue Fibrillen des Glaskörpers entstehen zu lassen.

Diese letzteren verschwinden gleichzeitig mit dem hyaloidealen System, während die ersten, wie bekannt ist, durch das ganze Leben bestehen.

Der Hyaloidealkanal ist beim Kaninchen gut erkennbar, solange noch eine Andeutung des Systems besteht; für weiter vorgeschrittene Perioden wurden, wie gesagt, systematische Untersuchungen noch nicht gemacht.

Die Zellen des Glaskörpers.

Die große Bedeutung der im Glaskörper befindlichen Zellen für die Histogenese des Glaskörpers selbst wurde von *R. Virchow*¹⁾ erkannt, der ihnen Mesodermnatur zuschrieb und das Glaskörpergewebe mit dem Nabelschnurgewebe in Beziehung brachte, beides schleimige Gewebe. nach diesem Autor.

Der Glaskörper habe beim Embryo homogene Struktur mit spärlichen Fibrillen und wenig Zellen, welche dann beim Erwachsenen verschwinden.

Von allen Anhängern des Mesodermursprungs wurde den Zellen des Glaskörpers große Bedeutung zugesprochen, und die Auffassung von *Virchow* blieb klassisch. Die Zellen des Glaskörpers sollen nach *Virchow* die Grundsubstanz des Glaskörpers hervorbringen, die nichts anderes wäre, als intercellulare Substanz.

Nach *Tornatola* und den Anhängern der Ektodermtheorie haben die Zellen des Glaskörpers nur gefäßbildende Aufgabe, und nachdem diese beendet ist, erleiden die übrigen Zellen eine Rückbildung und Auflösung. Aber unter den Anhängern der reinen Ektodermtheorie haben *Mawas* und *Magitot* den Zellen des Glaskörpers wieder die ihnen gebührende Bedeutung zugeschrieben, mit Ausnahme jener aus den primitiven embryonalen Zeiten. Wenn die Deutung des Ursprungs dieser Zellen nicht richtig ist, was ich bewiesen zu haben glaube und noch stützen werde, so sind nichtsdestoweniger die Beobachtungen der beiden zitierten Autoren wertvoll, da sie genau und systematisch sind.

Sie behaupten, daß in den ersten embryonalen Perioden Mesodermzellen bestehen mit Protoplasmafortsätzen, welche an der Bildung des Netzes des Glaskörpers unbeteiligt sind, und von der Netzhaut abstammende Zellen, die, sobald sie in den Glaskörper gefallen sind, ihre Flüssigkeit abgeben und sich rasch auflösen.

Gliazellen, die sich vom Sehnerv in den präpapillären Pfropf desselben Ursprungs fortsetzen, wandern allmählich zur äußeren Wand der Hyaloidealgefäße und gelangen nach vorne bis zur Linse mit den Gefäßen der Pupillarmembran.

Es ist nicht klar, wann diese Verbreitung der Gliazellen entlang dem hyaloidealen Gefäßbaum sich vollzieht, aber es scheint gegen den Beginn des 3. Monats des fötalen Lebens beim Menschen zu sein. Diese Zellen machen dem axialen Glaskörper Platz, der zu einer gewissen Zeit (Ende des 3. Monats) fast den ganzen Glaskörper darstellt; vorn an der Linse machen die Gliazellen einer zähen Flüssigkeit Platz, die, ähnlich dem Glaskörper, reich an Albuminen ist.

¹⁾ *R. Virchow*, Notiz über den Glaskörper. Arch. f. pathol. Anat. u. Physiol. 4, 468. — *Derselbe*, Über den menschlichen Glaskörper. Arch. f. pathol. Anat. u. Physiol. 5, 278.

Es ist merkwürdig, daß *Mawas* und *Magitot* diesen Zellen nur die Aufgabe zuschreiben, eine zähe Flüssigkeit vorn an der Linse auszuscheiden, während sie in der Höhle des Glaskörpers in der Hauptsache Fibrillen bildeten.

Wir betrachten jetzt die Zellen des Glaskörpers nach unseren Untersuchungen und bemühen uns, ihre sich für uns ergebende Bedeutung klar auseinanderzusetzen.

Bei den jüngsten Embryonen (s. Abb. 1 b und Abb. 2) dringt gleichzeitig mit der Bildung der Linse und der Rundung der Augenblase Mesoderm in das Innere des Auges, sei es durch die Lamina anterior, sei es durch den choroidealen Spalt. Nicht viel später dringen die Gefäße nacheinander in die sekundäre Augenblase ein, und es ist nicht richtig, daß das Mesoderm, wie *Mawas* und *Magitot* behaupten, mit den Gefäßen in das Innere des Auges eindringt. Das schon eingestülpte Mesoderm wird zur Bildung der Gefäßwände und des Glaskörpers (s. Abb. 8 und 9) benutzt.

In dieser ersten embryonalen Periode, bevor die Hornhaut abgegrenzt ist, hat das Gewebe hinter der Linse und das vordere vor dem Rand der Augenblase gleiches Aussehen und gleiche Bedeutung. Zellen, die von der Netzhaut und auch vom Glaskörper herrühren, fallen in den Glaskörper, wo sie sich rasch auflösen. Von diesen Zellen konnte ich den Kern, aber nicht das Protoplasma gut abgegrenzt sehen, während *Mawas* und *Magitot* behaupten, sie gesehen zu haben, und sie geben sie mit rundem Protoplasma wieder, das lichtbrechende und färbbare Granula wie der Kern enthält (s. Taf. 1 a, p. 405, Ann. d'oculistique — CL — 1913). Obwohl ihr Vorhandensein in einer gewissen Entwicklungsperiode unbestreitbar ist, so scheint doch ihre Aufgabe bei der Bildung des Glaskörpers bescheiden zu sein. Sie entsprechen, nach Ansicht der eben zitierten Autoren, bei demselben Embryo den Zellen, die in die Höhle der Linse abblättern.

Die Mesodermzellen, welche bei der Bildung der Gefäße nicht verwendet werden, bilden den Glaskörper, in welchem sich ihre Protoplasmafortsätze verlieren. Sie wechseln die Form, indem sie pyramiden-, spindelförmig und oval werden (s. Abb. 7, 8, 11), bis sie sich im Glaskörper langsam auflösen. Andere, die den Gefäßwänden aufsitzen, treten an ihre Stelle, denn die Vermehrung der intraokularen Mesodermelemente durch direkte Teilung ist beständig und lebhaft.

Bei weiter vorgeschrittenen Embryonen (Ende des 2. Monats bis Anfang des 3.) sind die Gefäße schon vollständig gebildet, aber an ihren äußeren Wänden sitzen immer Mesodermzellen auf, die jetzt einen runden Kern und ein gleichfalls rundes Protoplasma haben (s. Abb. 4, 9, 20, 21 und 22). Diese Zellen finden sich in beträchtlicher Anzahl am

Eintritt der Arteria hyaloidea in das Auge und bilden die erste Anlage des präpapillären Pfropfs.

Um die kleineren Abzweigungen herum finden sich auch reichlich Zellen. Einige perivasale Zellen des Pfropfs schicken Protoplasma-

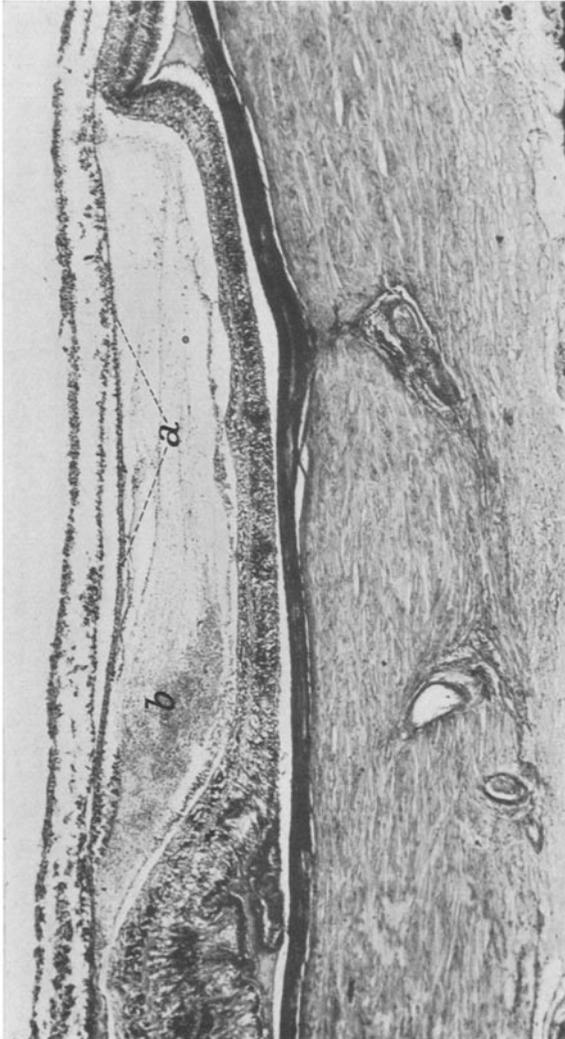


Abb. 47. Ausschnitt eines menschlichen Auges, wegen hämorrhagischen Glaukoms entfernt. Die Membrana limitans interna (a) getrennt durch einen auf der Photographie sichtbaren Bluterguß (b), ist für eine lange Strecke sichtbar. Da sich hier keine Spur des Glaskörpers findet, ist die Hypothese von Wolff um zu verwerfen, daß Membrana limitans interna und Hyalotrocha eine gemeinsame Bildung seien.

fortsätze in die Glaskörpermasse, wo sie sich langsam auflösen. In gleicher Weise verhalten sich die Randzellen des Glaskörpers, die künftigen subhyaloidealen Zellen, die nichts anderes sind, als abgewanderte perivasale Zellen. Daß es sich um Mesodermzellen handelt, beweist die vollkommene Gleichartigkeit mit den Zellen der Gefäß-

wände und das Fehlen von Zellelementen im Optikus zu dieser Zeit, welche ihnen auch nur einigermaßen ähnlich sehen (s. Abb. 16, 17, 18, 19, 20 und 21).

Während die perivasalen und subhyaloidealen Zellen ihr Aussehen unverändert bewahren, verlängern bei vorgeschritteneren Embryonen die Zellen der Gefäße etwas ihren Kern und lösen ihr Protoplasma auf. Gleichzeitig bildet sich der Pfropf, während seine Zellelemente sich gleichfalls von den perivasalen Zellen differenzieren, denen noch die abwandernden Zellen ähnlich sind (s. Abb. 26).

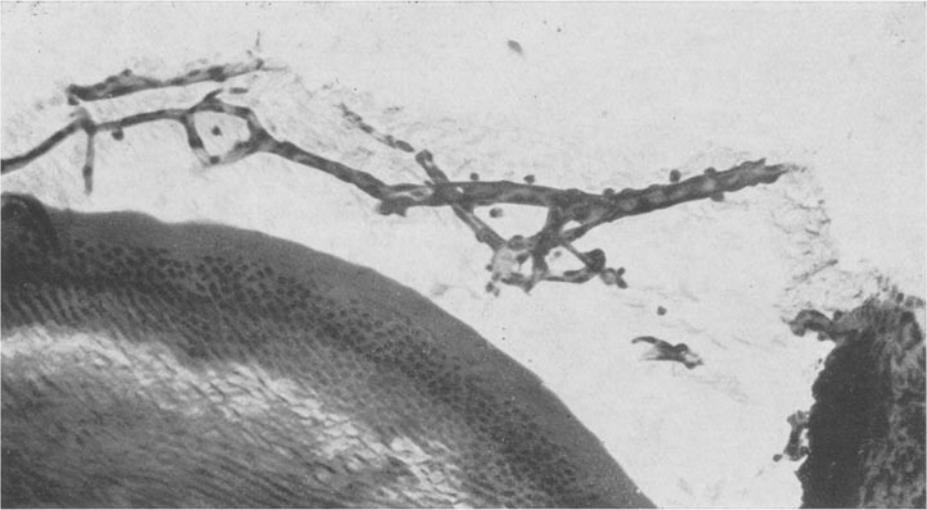


Abb. 48. Teil der Pupillarmembran bei einem 3 Tage alten Kaninchen. Die zahlreichen Zellen, die sich von der Gefäßwand lösen und zerfallen, machen einem Netz Platz, das ähnliche Struktur wie das Glaskörpernetz hat. In diesem Augenblick besteht eine, wenn auch nur seichte *tatsüchliche* vordere Kammer.

Jetzt ist der Glaskörper weniger konsistent als in den ersten embryonalen Perioden; die Mesodermzellen finden, solange sie den Gefäßen anhaften, ihre Ernährung und sehr gute Lebens- und Vermehrungsbedingungen; dagegen nimmt, wenn sie von ihnen abfallen, ihre Vitalität ab, und man sieht die schon erwähnten merkwürdigen Teilungsversuche. In der sehr flüssigen Mitte quellen die Zellen auf (gut färbbares Protoplasma), bilden Vakuolen und lösen sich auf, indem sie das verschiedenartigste Aussehen annehmen (s. Abb. 29). Ihre Auflösung im Glaskörper ist, sozusagen, pathologisch, im Vergleich zur physiologischen Umwandlung der Mesodermzellen in den weniger vorgeschrittenen embryonalen Perioden.

Dieses Verhalten, das auch die Hyaloidealzellen haben, die dann

dasselbe sind wie die perivasalen, bleibt unverändert, solange die hyaloidealen und die Linse umgebenden Gefäße existieren (s. Abb. 29 und 49). Es scheint Zeiten zu geben, in denen die Abschuppung der Zellen von den Gefäßen stärker ist, und infolgedessen ist auch ihre

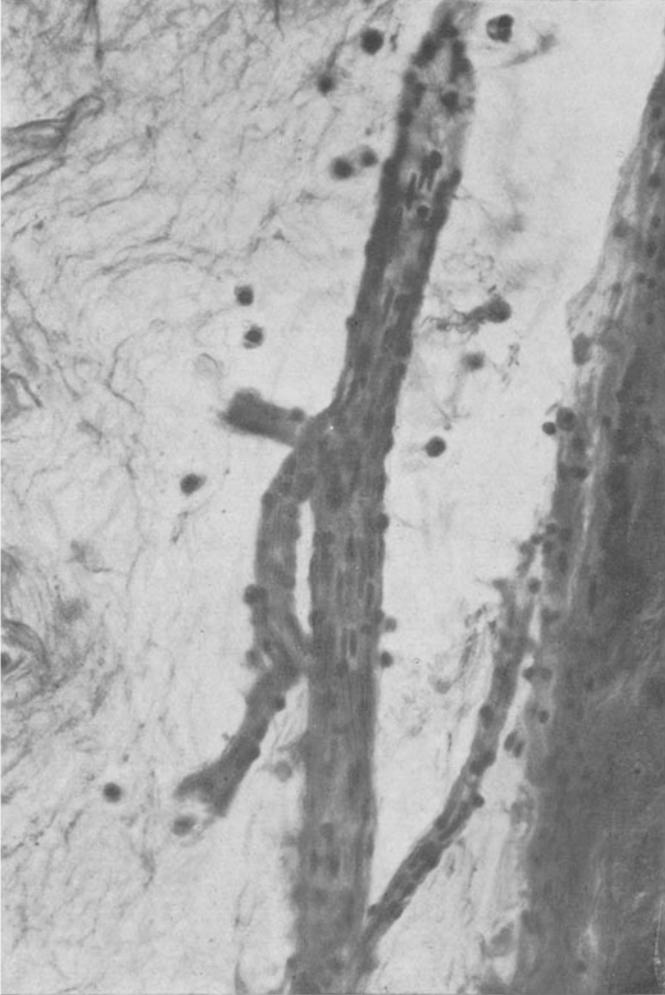


Abb. 49. Hyaloidealgefäße bei einem Embryo vom Kaninchen von 25—26 Entwicklungstagen. Man bemerkt eine sehr lebhafte Abschuppung der perivasalen Zellen, die in den Glaskörper fallen und sich dort auflösen, indem sie im fibrillären Netz vergehen.

Auflösung im Glaskörper stärker. Sie zeigen, wie wir gesehen haben, das verschiedenartigste Aussehen, und sehr oft scheinen ihre Fortsätze das scheinbare Netz des Glaskörpers zu ernähren. Wenn die Gefäße der Linse und des Glaskörpers verschwinden, beginnt ein Teil des Zellmaterials den Glaskörper zu ernähren (s. Abb. 48).

Bei einem menschlichen Embryo von 70 Tagen habe ich vor der

Linse schon dieselben Zellen wie im Glaskörper gefunden; in dem Auge eines Ochsen vom Ende des 3. embryonalen Monats befand sich eine kompakte Substanz vor der Linse und der Iris, die völlig dem Glaskörper desselben Embryo glich (Abb. 26a). Dieser Befund ließ sich übrigens nicht nur bei einem, sondern bei mehreren Embryonen gegen Ende des 3. Monats und der folgenden embryonalen Perioden erheben, und gleichzeitig fanden sich einfache Zellen, die sich von den Gefäßen der Pupillarmembran loslösten und alle Stadien der Auflösung erlitten. Bei einem menschlichen Embryo vom Anfang des 4. Monats hingen die Pupillarmembran und die hintere Oberfläche der Hornhaut durch eine dünne Schicht homogener Substanz zusammen.

Im Auge eines neugeborenen Kaninchens konnte man vor der Iris eine homogene Masse sehen (s. Abb. 42a), die dem Glaskörper desselben Auges in einigen Punkten glich. Endlich sind in der Abb. 48, die einen Schnitt durch das Auge eines 4 Tage alten Kaninchens darstellt, die Gefäße der Pupillarmembran höckerig durch die Zellen, die ihrer äußeren Wand anhaften. Indem sie sich los- und auflösen, machen sie jetzt einer Bildung Platz, die dem fibrillären Netz des Glaskörpers ähnlich ist.

Dies kommt wahrscheinlich von der beginnenden Bildung einer endgültigen vorderen Kammer her, derart, daß die festen Bestandteile, die von der Zellauflösung herrühren, sich auf einen weiteren Raum verteilen.

Wer die Gefäße in und um das Auge bei einem menschlichen Embryo zu Beginn des 3. Monats beobachtet, entdeckt, daß ihr größter Teil nur aus Epithel gebildet ist, dem außen eine Anzahl von Mesodermzellen unregelmäßig anhaften. Diese perivasalen Zellen, die sich später vermehren, werden der Tunica media und der Adventitia Platz machen. Daß dies so ist, beweist, meiner Meinung nach, die Tatsache, daß auch die Gefäße inmitten der zentralen Nervensubstanz, die ursprünglich nur mit Endothel versehen sind, später wie die andern aufgebaut sind, was nicht der Fall wäre, wenn das Material für die Media und die Adventitia von dem umgebenden Mesoderm geliefert würde. So beginnt inmitten des Sehnervs, schon gegen die Mitte des 3. Monats des embryonalen Lebens, die Arteria hyaloidea sich zu bilden, wie die anderen Gefäße. Im intraokularen Teil ist die Arteria hyaloidea von dem Pfropf umgeben, welcher ebenfalls ein Gebilde der perivasalen Mesodermzellen ist; aber weiter vorn schuppen sich die Zellen, welche den Hauptstamm und seine Abzweigungen umgeben, in den Glaskörper ab und lösen sich in ihm auf und zersetzen sich, nachdem sie sich vielfältigt haben. Gegen die Mitte der embryonalen Entwicklung oder wenig später, während die endgültigen Gefäße rascher ihre Wände bilden, scheint eine intensivere Vermehrung der die Hyaloidealgefäße

umgebenden Zellen sicher zu sein (s. Abb. 49). Gleichzeitig ergießt sich eine größere Anzahl von Zellen in den Glaskörper und zersetzt sich dort.

Schließlich machen die perivasalen Zellen in den endgültigen embryonalen Gefäßen der Tunica media und adventitia Platz; in den Augengefäßen, die vor der Geburt verschwinden, ernähren sie mit ihrer Vervielfältigung den Glaskörper, der beginnt, die immer weitere Augenhöhle zu füllen.

Die Vielgestaltigkeit der Glaskörperzellen erklärt sich durch den Evolutions- oder Involutionszustand, in dem die Zellen mit der Fixativflüssigkeit in Berührung kamen. Die Abb. 39, wo dieser Vorgang sich in größerem Maßstab vollzieht, zeigt alle verschiedenen Stadien der Zellauflösung und beweist, daß sich die verschiedenen Arten der beschriebenen und abgebildeten Glaskörperzellen letzten Endes auf die verschiedenen Zustandsbilder einer einzigen Zellart zurückführen lassen.

Die Glaskörperzellen sind identisch mit denjenigen der Gefäßwände und haben denselben embryonalen Ursprung. *Wenn sie auch den weißen Blutkörperchen sehr ähnlich sind, sind sie doch nicht mit ihnen identisch, die sich von den roten Blutkörperchen relativ spät differenzieren, nachdem die Glaskörperzellen schon längst ihr definitives Aussehen angenommen haben.*

Jedesmal wenn Leukocyten sich in den Glaskörper ergießen, wie es bei den Abb. 39 und 40 der Fall ist, so verhalten sie sich ähnlich wie die richtigen Glaskörperzellen. Diese Beobachtung ist wichtig, wie wir bald sehen werden. Einstweilen scheint festzustehen, daß in allen embryonalen Perioden das Gewebe vor und hinter der Linse gleich ist. Erst nachdem die Gefäße der Linse verschwunden sind, ist die Flüssigkeit der vorderen Kammer gänzlich verschieden vom Glaskörper. Der eben ausgesprochenen Ansicht, die fast schon Beweis ist, sind teilweise auch *Magitot* und *Mawas*.

Die Meinung von *Seefeldt*, daß das intraokulare Mesoderm sich ganz zurückbilde, bevor noch der choroideale Spalt ganz geschlossen sei, scheint mir durch meine Beobachtungen völlig widerlegt zu sein.

Histogenese und Struktur des Glaskörpers.

Wie wir gesehen haben, bildet sich der Glaskörper von Anfang an aus den in die Augenblase eingestülpten Mesodermzellen. Diese Beteiligung des Mesoderms an der Bildung des Glaskörpers wird von wenigen bestritten, sei es, daß man dem Mesoderm einen vorherrschenden oder untergeordneten Anteil zuweisen will. Man kann sagen, daß nur *Tornatola* und *Mawas-Magitot* jede Beteiligung des Mesoderms bestritten; und es scheint wirklich unfaßbar, den merkwürdigen Einwand

zu erheben, die Protoplasmafortsätze der Mesodermzellen seien etwas anderes als die Fibrillen, die von der Netzhaut abstammen sollen, wie wenn man irgendwie die einen von den andern unterscheiden könnte.

Monesi sagt richtig, daß die Beteiligung des Mesoderms bei der Bildung des Glaskörpers außer Zweifel steht, die Beteiligung der Netzhaut dagegen nicht ebenso nachweisbar ist. Seine schönen Photographien beweisen völlig die Richtigkeit seiner Behauptungen.

Vielleicht ist er außerordentlich vorsichtig, wenn er die Möglichkeit eines teilweisen Ursprungs des Glaskörpers aus der Netzhaut zuläßt, während bei seinen Präparaten die Unterscheidung zwischen den beiden Geweben klar ist. Die Kegel haben keine Bedeutung; sie beweisen nur, daß das Gewebe, bevor es zerreißt, noch dehnbar ist, wodurch es die Retraktion des Glaskörpers unterstützt. In der Linse, wo sich früh eine ziemlich widerstandsfähige Kapsel bildet, verschwinden die Befestigungskegel sehr früh; die Kapsel kann durch das Ausdehnen auf weite Strecken losgelöst werden (s. Abb. 5b), aber man entdeckt keine Befestigungskegel. Bei der Netzhaut dagegen entdeckt man sie auch in weiter vorgeschrittenen embryonalen Perioden, weil die Membrana limitans noch ziemlich elastisch ist.

Für den Netzhautursprung des Glaskörpers beweisend wäre der Fortbestand des einen Gewebes im andern; aber dies wurde nur bei den schrägen Schnitten und bei den Falten der Netzhaut beobachtet (*Mawas* und *Magitot*), und man braucht kein Wort über den Wert eines derartigen Befunds zu verlieren. Bei allen von mir untersuchten Säugetieren und beim Menschen scheint in irgendeiner Entwicklungsperiode die Trennung der Netzhaut vom Glaskörper, wo die beiden Gewebe in Berührung geblieben sind, außer Zweifel zu stehen (Abb. 5, 6, 15, 23, 24, 25, 31, 32, 40, 41, 43, 44 und 45). Nur am Ende des 3. Monats, wenn sich die ciliare Netzhaut differenziert, ist die Trennung zwischen Netzhaut und Glaskörper an einigen Stellen nicht sehr deutlich, und die Behauptung, daß ein Teil des Glaskörpers von den Zellen der ciliaren Netzhaut her stammt, ist nicht leicht kontrollierbar. Wenn theoretisch ein teilweiser und zeitweiliger Ursprung des Glaskörpers aus der ciliaren Netzhaut nicht absolut auszuschließen ist, so ist trotz der Behauptungen der Anhänger der Ektodermtheorie diese Hypothese durchaus nicht nötig.

Neben den schon vorgebrachten Tatsachen dienen die Präparate eines Auges vom neugeborenen Kaninchen mit in seinem mittleren Teil noch offenen choroidealen Spalt zum Beweise des Mesodermursprungs des Glaskörpers, reproduziert auf den Abb. 42, 43, 44 und 45. In diesem Auge, das anormal mit dem Äußeren in Verbindung steht, stellt ein Gewebe, das dem Glaskörper außerhalb des Auges ähnlich ist, durch

eine sehr enge Öffnung (Abb. 43a und 44a) die Verbindung mit dem intraokularen Glaskörper her. Ich habe von ähnlichem Gewebe gesprochen, aber es handelt sich zweifellos um identische Gewebe, das sich in der Gegend des choroidealen Spalts verdichtet.

Jetzt erklärt sich leicht, wie die ursprüngliche *Lamina mesodermica* in ihrem ganzen Verlauf die gleiche Umwandlung erlitten hat, während man schwer annehmen und beweisen kann, daß der Glaskörper, der sich aus der Netzhaut gebildet hat, durch den engen Spalt aus der Augenhöhle herausgetrieben worden ist. Bei diesen Präparaten ist übrigens die Trennung zwischen Netzhaut und Glaskörper auffälliger denn je. Auch in diesem Fall dienen pathologische Befunde ausgezeichnet zur Erklärung physiologischer Vorgänge.

Der menschliche Embryo vom Ende des 6. Monats zeigt uns übertrieben die Entstehung des Glaskörpers, der sich normalerweise durch die Auflösung der Zellen bildet, die in ihm leben und sich vermehren (Abb. 38 und 39). Aber das, was wir hier an einem pathologischen Vorgang im großen sehen, findet in geringerem Maße während des ganzen embryonalen Lebens statt, und sogar *Mawas* und *Magitot*, die vielleicht als einzige Schritt für Schritt die Entwicklung des Glaskörpers verfolgt haben, fiel die große Bedeutung der Glaskörperzellen auf, obwohl sie ihnen Gliarsprung zuschrieben.

Man könnte auf Grund des Befunds bei dem pathologischen menschlichen Embryo der zweiten Hälfte des 6. Monats Einspruch erheben.

Das heißt, man könnte fragen, warum eingewanderte Zellen mehr oder weniger als perivasale Zellen dem Glaskörper Platz machen können. Wenn das, wie wir sehen, vorkommen kann, so folgt daraus, daß der Glaskörperursprung nicht unbedingt von einer einzigen Zellart herrühren muß: Dies scheint für ein fast überall gleich aussehendes Gewebe in einer vorgeschrittenen Entwicklungsperiode merkwürdig.

Aber ist der Glaskörper wirklich ein Gewebe? Oder nicht vielmehr das letzte Ergebnis der Auflösung der in ihm befindlichen Zellen?

Diese letzte Hypothese scheint mir am wahrscheinlichsten, wenigstens nach vollendeter Entwicklung des Auges. In den allerersten embryonalen Perioden handelt es sich um ein wirkliches Gewebe mit relativ spärlichen Zellen und reichlicher intercellularer Substanz; aber dieses Aussehen ändert sich bald, was aus der Aufquellung und Auflösung der Glaskörperzellen ersichtlich ist.

Nach und nach verliert der Glaskörper im Verlaufe der embryonalen Entwicklung das Aussehen eines Gewebes. *R. Virchow*, der ihn mit dem noch zellenreichen Gewebe der Nabelschnur verglichen hat, hätte den Vergleich später nicht aufrecht erhalten können. Die Gefäße nehmen an Anzahl und Dicke ab, ebenso die Zellen. Die intercelluläre Substanz nimmt immer zu und füllt die immer größer werdende Höhle

des Auges; dagegen nimmt der Gehalt an festen Substanzen in gleichem Maße ab. Solange die Zellen an die Gefäße angeheftet sind, leben sie, teilen sich, zersetzen sich auch, jedoch langsam; dagegen quellen sie auf, bilden Vakuolen und lösen sich rasch auf, wenn sie sich von den Gefäßen trennen. Wie die Zellen auch zerfallen, immer vermehren diese Überreste die Masse des Glaskörpers, in dessen scheinbarem Netz wir sie noch lange sehen.

Ich sage scheinbar, weil nach meiner Überzeugung der Glaskörper keine wirkliche und eigene Struktur besitzt, vielleicht mit Ausnahme der Wand des Hyaloidealkanals.

Er ist in den ersten embryonalen Perioden homogen und dicht und erweist sich wegen seines Reichtums an festen Bestandteilen auch nach der Fixation als eine beständige Substanz, die gleichmäßig, aber schwach den Farbstoff aufnimmt. Nur bei Überfärbung kann man die Fibrillen sichtbar machen, welche eine Verdichtung der Substanz dadurch wirklich darstellen, daß die Fortsätze einer Mesodermzelle in sie übergehen, wogegen andere künstlich sind durch die Retraktion des Fixativs.

Später haben wir eine scheinbare Fibrillation, die schon bei den gewöhnlichen Färbemitteln und ohne Überfärbung sichtbar ist; aber während es sich bei geringer Vergrößerung um wirkliche Fibrillen zu handeln scheint, so ändert sich das Aussehen bei stärkerer Vergrößerung radikal (Abb. 17, 18, 19, 20, 21 und 22). Man hat den Eindruck, eine Substanz von koagulierten Albuminen vor sich zu haben, gemäß einem obligaten System, das Zwischenräume in seinen Maschen läßt. Aber in Übereinstimmung mit dem präpapillären Mesodermpfropf (s. Abb. 18) und durch größeren Zufluß von Material aus den in Auflösung begriffenen Zellen ist der Glaskörper dichter und granulierter.

Erst später, bei dem Menschen gegen Ende des 4. Monats, finden sich die wirklichen Fibrillen des Glaskörpers mit relativ regelmäßiger Struktur, dünn und von gleicher Dicke und mit ihren Schnittpunkten. Dies ist wahrscheinlich durch zwei Tatsachen bedingt: der geringere Gehalt an festen Bestandteilen im Glaskörper und das Erscheinen des Mucin, das vorher nicht nachweisbar ist bei den gewählten Färbungen (Mucihämatin, Mucicarmin) und mit den metachromatischen (Tionin, Tolaidin-blau).

Diese Substanz, die für ein organisches Kalksalz angesehen wird [*Hoyer*¹⁾], ohne daß ihre chemische Formel, soviel ich weiß, genau bekannt wäre, ist jetzt allgemein im Glaskörper zugegeben, während sie früher von einigen bestritten wurde (*Ciaccio*). Wenn sie auch nur in geringer Menge vorhanden ist, so rührt doch wahrscheinlich von ihr die Konsistenz und Zähigkeit des Glaskörpers her, die durchaus nicht

¹⁾ Enzyklopädie der mikroskopischen Technik. Bd. II. S. 489—491.

von den festen Substanzen abhängig ist. Ihr ist wahrscheinlich die zarte, fast einheitliche und regelmäßige Fibrillenbildung zuzuschreiben, die man bei den Präparaten von Augen der weiter vorgeschrittenen Perioden des embryonalen Lebens beobachtet.

Aber auch diese Fibrillenbildung ist wahrscheinlich nur scheinbar. In allen embryonalen Perioden erscheint der Glaskörper da, wo er natürlicherweise dichter ist, und wo er sich auf engem Raum zu-

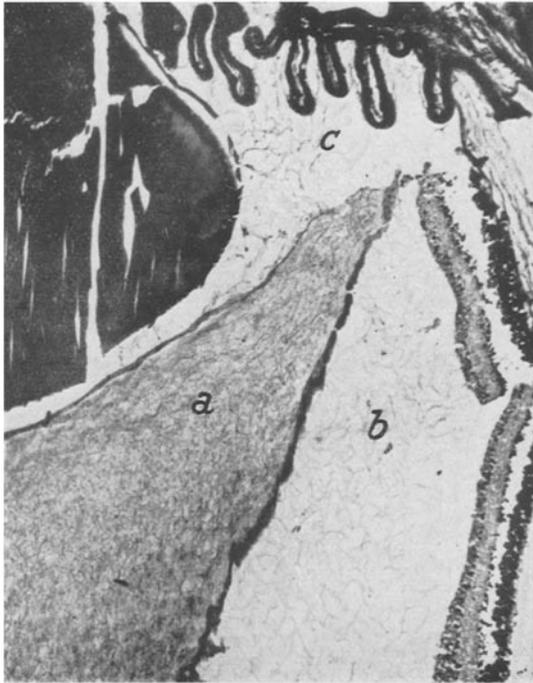


Abb. 50. Vorderer äußerer Ausschnitt des Auges eines 3 Tage alten Kaninchens: *a* = Glaskörper, der die Limitans interna und einen Teil der Schicht der Netzhautfasern abgehoben hat; *b* = Netz, demjenigen des Glaskörpers ähnlich, dessen Erklärung sich im Text findet; *c* = Zonula Zinnii.

sammendrängt, durch die Zusammenziehung der Fixative nicht mehr fibrillär, sondern homogen oder granuliert (Abb. 18, 20c, 42c, 43a, 44a, 45a).

Dies unabhängig von der Art des Fixativs, und man halte sich gegenwärtig, daß der Glaskörper anderswo bei demselben Schnitt fibrillär erscheint.

Die Abb. 50, welche einen Teil des Auges eines 3 Tage alten Kaninchens darstellt, scheint mir zur Entscheidung über die fibrilläre oder nicht fibrilläre Struktur des Glaskörpers sehr wichtig zu sein. In a

haben wir den Glaskörper, der die Membrana limitans und einen Randteil der Netzhaut abgehoben hat, indem er sich gegen die axiale Region zurückzog. In b entdeckt man zwischen Netzhaut und Glaskörper ein dünneres fibrilläres Netz, das auch scheinbare Verbindungen zur Netzhaut unterhält, welcher die Randschicht fehlt.

Ich kann den Befund nicht anders erklären, als durch die Annahme, daß der im Leben homogene Glaskörper¹⁾ durch die Wirkung des Fixativs zuerst, aber nicht völlig koaguliert, und daß ein Teil der

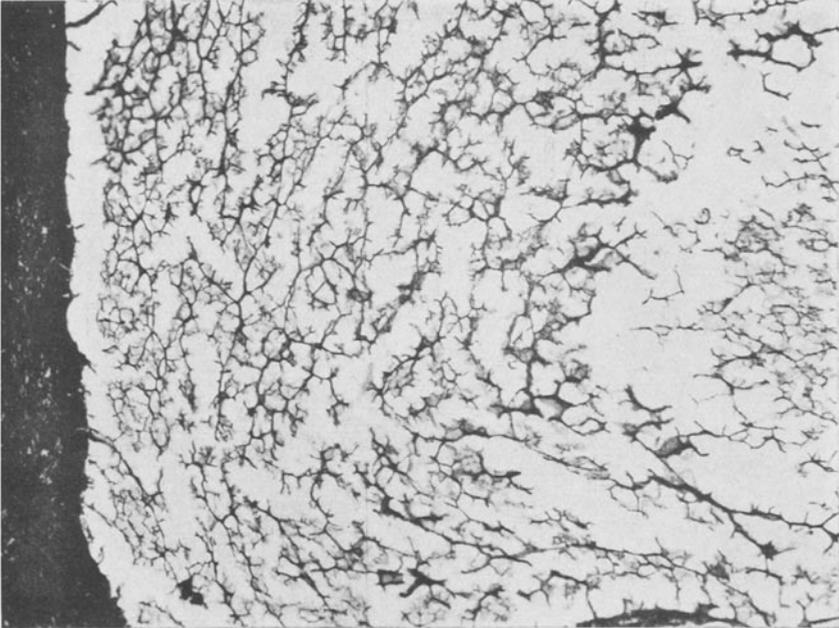


Abb. 51. Aussehen und Beziehungen einer fibrinösen amorphen Exsudation eines Stumpfes zwischen Netzhaut und Choroidea eines wegen Gumma des Ciliarkörpers enucleierten Auges, nach Fixierung und Färbung.

übrigen Flüssigkeit, die sich in den abfallenden Partien gesammelt hat, später koaguliert und dem zarteren fibrillären Netz Platz macht.

Die Möglichkeit, daß eine amorphe, in der Augenhöhle enthaltene Substanz durch die von den Fixativen verursachte Zusammenziehung einem fibrillären Netz Platz macht, wird durch die Abb. 51 bewiesen. Es handelt sich um ein Auge, oder besser um das, was von einem menschlichen, an Gumma des Ciliarkörpers leidenden Auge übrig geblieben ist; bei ihm ist die völlig losgelöste Netzhaut nach vorne getrieben

¹⁾ Das Wort „homogen“ ist in relativem Sinn zu verstehen, da, wie bekannt, die Albuminsubstanzen nicht ganz homogen sind.

und im Begriff, den Platz der Hornhaut, der Iris und der Linse einzunehmen, die fast völlig zerstört sind. In der so entstandenen Höhle zwischen Netzhaut und Choroidea besteht ein fibrinreiches, amorphes Exsudat, das bei den montierten und gefärbten Schnitten aussieht, wie die Abbildung zeigt. An einigen Stellen bestehen scheinbare Zusammenhänge zwischen scheinbaren Fibrillen mit dem choroidealen Gewebe.

Wie sich das fibrilläre Netz darstellt, hängt ab von der Dichte des Glaskörpers, von der Beschaffenheit der in ihm enthaltenen, festen Bestandteile, durch die eine größere oder geringere Zähigkeit, ich möchte fast sagen Dehnbarkeit, verursacht wird und von der Form und dem Inhalt der Augenhöhle. Dies sind leicht faßliche physikalische Grundgesetze.

Wenn ich auch die Überzeugung habe, daß der Glaskörper kein fibrilläres Gerüst hat, sondern überall aus einer halbflüssigen, mehr oder weniger homogenen Substanz in den verschiedenen Entwicklungsperioden gebildet wird, so verhehle ich mir doch nicht die großen Schwierigkeiten, den unanfechtbaren Beweis zu erbringen. Die Präparate, nach denen die Photographien gemacht wurden, die meine Ansicht stützen sollen, mögen manchen genügen; andere finden wahrscheinlich, daß eine andere Auslegung möglich ist. Ich habe versucht, die Frage durch Experimente zu lösen, und zu diesem Zweck habe ich mit einem scharfen und dünnen *v. Graefeschen* Messerchen entsprechend der äquatorialen Ebene den Glaskörper von kaum enucleierten Augen eines neugeborenen Kaninchens durchschnitten. Der Schnitt durch die Augenmembranen ist beschränkt geblieben auf den Bezirk der Incision des Messers, mit dem der Glaskörper in voller Dichte in schräger Richtung durchschnitten wurde. Sofort darnach wurden die so behandelten Augen in das Fixativ getaucht und nacheinander entwässert, in Paraffin eingeschlossen und geschnitten. Ich hoffte, durch dieses Vorgehen den Beweis des Nichtvorhandenseins des fibrillären Netzes zu erhalten, wenn ich keine Unterbrechung der Kontinuität zwischen den Fibrillen selbst unter dem Mikroskop gefunden hätte.

Jedoch das rasch in die Schnittfläche dringende Fixativ hat immer das genaue Zusammenfügen der beiden Schnittoberflächen durch ihre sofortige Fixierung verhindert. Bei der mikroskopischen Untersuchung habe ich den Glaskörper noch teilweise getrennt vorgefunden, während sich an den Schnittoberflächen und etwas seitlich keine Fibrillen mehr fanden, sondern stäbchenförmige oder körnige, stärker gefärbte Bildungen; noch weiter seitlich waren die Fibrillen wieder gut sichtbar. Nachdem diese ersten Versuche fehlgeschlagen waren, habe ich dann den Schnitt durch den Glaskörper mit den oben beschriebenen Änderungen bei lebenden, neugeborenen Kaninchen ausgeführt, die ich

3 Stunden später tötete und deren Augen ich sofort darnach enucleierte und fixierte. Ich dachte, daß so die beiden Hälften des Glaskörpers sich rasch wieder zusammenfügen könnten, aber die Fibrillen hätten sich schwerlich so zusammenfügen können, daß vom Schnitt keine Spur mehr sichtbar wäre. Gleichzeitig sollte ein fibrinreiches Gerinnungsmittel verhindern, daß das Fixativ zu rasch in die Augenhöhle eindringe, indem es die Wundränder verbinden und scleral verkleben sollte. Dies wurde tatsächlich während des Fixierens erreicht; aber die Sclera bog sich derart an der Schnittfläche gegen die Augenhöhle, daß diese sehr verkleinert wurde. Unter dem Mikroskop erschien der Glaskörper als homogene, hinten die Linse umgebende Masse; jede Spur des Schnittes war jedoch im Glaskörper verschwunden, während sehr deutliche Spuren sich an den Augenmembranen fanden. Diese letzten Experimente wurden bei vielen kleinen Kaninchen angestellt, aber das Resultat war jedesmal dasselbe. Deshalb bin ich jetzt davon überzeugt, daß sie aus folgenden Gründen nicht zu abschließenden Resultaten führen können:

Weil es in der Tat möglich ist, daß die äußersten Enden der durchgeschnittenen Fibrillen sich mit der gleichen oder auch mit größerer Schnelligkeit wieder zusammenfügen, mit der z. B. das Hornhautepithel sich wiederbildet.

Weil im Auge des neugeborenen Kaninchens, das noch die hyaloidealen Gefäße besitzt, der Schnitt durch diese die Gerinnung des Glaskörpers verändern muß, und deshalb die Fibrillen, auch wenn sie Produkt der Gerinnung sind, Veränderungen in der Bildung und dies besonders im Gebiet des axialen Glaskörpers, erleiden müssen.

Es entsteht jetzt die Frage nach der Existenz des Hyaloidealkanals im fötalen und außerfötalen Leben, oder besser, da einige Tiere die Entwicklung erst nach der Geburt vollenden, während der Entwicklung des Auges und im erwachsenen Auge. Im ausgewachsenen Auge habe ich keine einschlägigen Untersuchungen gemacht; folglich kann ich hierzu nichts sagen; im embryonalen Auge scheint die Existenz des Kanals sicher zu sein, obwohl man, wenn man durchaus die tatsächliche Existenz seiner Wände in Zweifel ziehen will, über die Art erstaunt sein kann, wie sich um den Pfropf und um die Arterie und auf ihren Zweigen die Wände des Kanals bilden, so daß die Bildung des Kanals selbst mit dem Variieren der Bildung des hyaloidealen Gefäßbaumes ständig wechselt. Man könnte nämlich an eine größere Verdichtung fester Substanzen durch Gerinnung längs der Gefäßwände denken; so wie wir in früheren embryonalen Perioden eine Verdichtung des Glaskörpers, den Gefäßen entsprechend, gesehen haben, als die Arteria hyaloidea noch kein Gefäß mit geradem Verlauf, abgesehen von den Abzweigungen durch die Linse war, und der präpapilläre Pfropf eine zurückgebliebene Bildung war (Abb. 24, 25, 27, 32a, 33 und 38). So bildet sich beim

Schwein, wo sich in einer ziemlich späten embryonalen Periode (Embr. von 90 mm Nacken-Steißbein) die Arteria hyaloidea gleich vor der Papille in verschiedene Zweige teilt, in der Folge der Hyaloidealkanal, und seine Wände sitzen den seitlichen Wänden der Gefäße eng auf. Was die membranösen Wände betrifft, welche den Hyaloidealkanal zu bilden scheinen (Abb. 36b), so kann man unter dem Mikroskop analoge Bildungen beim Eidotter des Huhns finden, in *Tellyesniezky* fixiert, eingeschlossen und geschnitten.

Aber um das Nichtvorhandensein eines Hyaloidealkanals beim Embryo zu behaupten, scheinen mir die angeführten Gründe nicht zu genügen. Dagegen steht vielleicht das verschiedene Aussehen der Fibrillen im Innern des Kanals nicht nur mit geringerem Gehalt an gerinnungsfördernden Substanzen, sondern mit der Bildung des Kanals im Zusammenhang.

Wenn es auch meinen Präparaten nicht gelingt, völlig zu beweisen, daß der Glaskörper kein fibrilläres Stroma besitzt, so kann man doch zusammenfassend sagen, daß die Ansicht der großen Mehrheit der Anatomen und Ophthalmologen, das fibrilläre Netz bestehe tatsächlich, noch schlechter bewiesen ist. Die frische Färbung des fibrillären Netzes, welche mit verschiedenen Färbemitteln versucht wurde, ist mir bei den wenigen gemachten Versuchen nie gelungen, und ich gebe gern zu, mich nicht genügend damit befaßt zu haben und nicht die geeignete Technik angewandt zu haben, um die Bemerkung zu verdienen, die *Contino Bertacchini* gegenüber macht.

Trotzdem läßt die Darstellung der Fibrillen nach sehr langem Verweilen in der Farblösung, die fast immer mehr oder weniger Alkohol oder andere Fixative enthält, die Notwendigkeit, häufig ein sog. Fixativ der Farbe zur endgültigen Färbung anzuwenden, sehr skeptisch sein über den Wert dieser Befunde.

Der Glaskörper ist also, mit Ausnahme der primitiven embryonalen Perioden, wahrscheinlich kein wirkliches Gewebe, sondern eine amorphe Substanz, aus der cellulären Verarbeitung und Zerstörung entstanden, nicht homogen während der Entwicklung, homogen oder fast homogen nach vollendeter Entwicklung¹⁾. Die Hyaloidealmembran ist wahrscheinlich ein künstliches Erzeugnis, welches auch von der Veränderung des Glaskörpers herrührt, da es sich bei den sehr gut erhaltenen Embryonen im allgemeinen nicht findet (Abb. 23, 43, 44). Der Hyaloidealkanal ist fast sicher eine wirkliche Bildung während des embryonalen Lebens; in seinem Innern ist der Glaskörper ärmer an gerinnbaren Sub-

¹⁾ Man kann jedoch dieser fast amorphen Substanz, die indes immer einige celluläre Elemente enthält (subhyaloideale Zellen), nicht ohne weiteres einen reduzierten Metabolismus absprechen, wie andererseits dieser Metabolismus nicht bewiesen werden kann.

stanzen, weil sein Netz dünner und von weniger dichten Maschen ist (Abb. 27, 23, 34).

Entsprechend den ältesten Forschungen von *Gradenigo*¹⁾ und den neuesten von *Elschnig*²⁾, von *B. Löwenstein* und *B. Samuels*³⁾ und von *Schreiber*⁴⁾, konnte auch ich sehen, daß die aseptische Herausnahme auch eines größeren Teils des Glaskörpers keine Trübung in ihm und keine Anzeichen von Reaktion der Netzhaut hervorrief. *Bartolotta*⁵⁾ bemerkte nach Einführung verschiedener Fremdkörper in den Glaskörper, daß trotz der verschiedensten, *aber aseptischen* Fremdkörper der Glaskörper in keiner Weise reagiert und sich auch nicht aus verschiedenen Geweben regeneriert. Dies kann die Ansicht stützen, daß der Glaskörper kein Gewebe ist, weil jedes beliebige Gewebe immer reagiert, wenn ein Teil von ihm entfernt wird, und es kann dazu dienen, die Beteiligung der Netzhaut bei der Regeneration des Glaskörpers auszuschließen, da auch seitens der Netzhaut nicht die geringste Reaktion besteht.

Andererseits wird auch eine starke Verdrängung des Glaskörpers bei einigen Operationen am Augapfel oft sehr gut ertragen, wenn keine Sepsis dazwischentritt, oder Blutergüsse ex vacuo oder andere Komplikationen dazukommen, welche durch den vorherigen Zustand der Gefäße und der Augenmembranen verursacht wurden.

Die Praxis lehrt außerdem, daß der Glaskörper sehr empfänglich für Infektionen ist, und daß nach der operativen Verdrängung des Glaskörpers besonders die Infektionsmöglichkeit zu fürchten ist. Dies wäre ein Beweis für den guten Nährboden, welchen eine Eiweißlösung den Keimen bietet, da beim Fehlen des lebenden Gewebes die Abwehrmittel fortfallen. Andere haben zu dieser Frage behauptet, daß der Glaskörper im Gegenteil eine mehr oder weniger große Immunität für Infektionen besitzt.

Man kann einwenden, daß der an festen Bestandteilen arme Glaskörper doch reicher daran ist als das Blutplasma; deshalb müßten sich durch den osmotischen Druck die beiden Substanzen bald isotonisch einstellen, da der Glaskörper diesem physikalischen Gesetz keinen entsprechenden Widerstand entgegensetzen kann.

Der Einwand ist jedoch nicht besonders stichhaltig, weil auch der

1) *P. Gradenigo*, Sulla trasfusione del vitreo e di un nuovo strumento per la stessa. Mem. 16. Congr. di Oftalm. Ital. Firenze 1902, S. 28—33.

2) *A. Elschnig*, v. Graefes Arch. f. Ophthalmol. 80, 514—536. 1912.

3) *B. Löwenstein* und *B. Samuels*, v. Graefes Arch. f. Ophthalmol. 81, 500—513. 1912.

4) *Schreiber*, Über den Verlust des Glaskörpers und seinen spontanen Ersatz. Ges. f. Ophthalmol. zu Heidelberg, 31. VII. bis 1. VIII. 1916.

5) *E. Bartolotta*, Comportamento del vitreo in presenza di corpi estranei aseptici. La Clinica oculistica. 1912. Fasc. Marzo-Aprile e Maggio-Giugno.

Humor aquaeus eine, vom Blutplasma verschiedene Zusammensetzung besitzt und sich trotzdem die Isotonie nicht einstellt. Es kann wohl sein, daß einige die wässrige Flüssigkeit für ein Sekret ansehen, das sich mehr oder weniger rasch erneuert; aber in vielen Fällen, wie z. B. bei dem kolloidalen Stroma sammeln sich im Organismus Substanzen an, die sehr viel dichter als das Blutplasma sind und doch nicht wieder resorbiert werden. Außerdem wenden wir auf Lebensprozesse physikalische und chemische Phänomene an, obgleich wir über die Bedingungen, unter denen sich diese Phänomene entwickeln, völlig im unklaren sind.

Man spricht gewöhnlich von Blutplasma und vom osmotischen Druck des Blutes, während man mit anscheinend zum guten Teil logischen Gründen behaupten kann, daß ein wirkliches Plasma nicht existiert, sondern ein künstliches Produkt ist, welches sich von den roten Körperchen nach deren Tode getrennt hat¹⁾.

Nachdem die Gefäße des Glaskörpers und die die Linse umgebenden verschwunden sind, wird der Glaskörper einigermaßen gleichmäßig. Nichts spricht gegen die Annahme, daß er sich dauernd unverändert so erhalten kann, wenn nicht Infektionen oder aseptische Entzündungen der Gefäße, der Netzhaut und der Choroidea eine Zelleinwanderung oder eine fibrinöse und eiterige Ausschüttung hervorrufen. Das Ergebnis dieses reaktiven Vorgangs ist, neben der Zerstörung des Glaskörpers, oft eine zeitweilige Verdichtung desselben (wie wir es beim oben beschriebenen, 6 Monate alten, menschlichen Auge durch die Zerstörung der eingewanderten Zellelemente gesehen haben), auf welche oft die Sektion durch eine Verflüssigung des Glaskörpers folgt.

Dies bemerkt man besonders bei hereditärer Myopie, wo durch die Wirkung der chronischen Entzündung des hinteren Abschnittes des Auges die Exsudate im Glaskörper häufig sind. Übrigens verändert der Glaskörper sich auch bei Erwachsenen, wenn auch nur in geringem Maße, weil immer die subhyaloidealen Zellen vorhanden sind, die sich vermehren und zerstören, wie die Zellen der embryonalen Periode, und deren Leben durch die unmittelbare Nachbarschaft der Netzhautgefäße sichergestellt ist.

Eine letzte Stütze zugunsten des Fehlens einer Glaskörperstruktur wurde beim Kapitel über die Glaskörperzellen schon angedeutet, aber sie kann hier wiederholt werden:

Die perivasalen Zellen der Gefäße der Pupillarmembran, welche, wie man beobachten kann, das gleiche Aussehen und das gleiche Verhalten der perivasalen und subhyaloidealen Zellen in der Höhle des Glaskörpers haben, machen durch ihre Rückbildung einer Substanz Platz, die in den Präparaten homogen aussieht, solange die vordere

¹⁾ C. Triolo, Nuova concezione sulla struttura del sangue. Haematologica 3, Fasc. 1, S. 29—37. 1912.

Kammer, die von vielen bestritten wird, noch aus einem schmalen, noch in der Anlage befindlichen Spalt besteht (Abb. 30a und 42a). Aber wenn die vordere Kammer weiter wird, wird ein fibrilläres, dem des Glaskörpers sehr ähnliches Netz, auf der Abb. 48 wiedergegeben und allen Embryologen bekannt, sichtbar um die Gefäße der Pupillarmembran herum, während die Teilungsprozesse der perivasalen Zellen lebhafter als je sind.

Diese Feststellung, verbunden mit den andern, schon vorgebrachten und durch Mikrophotographien gestützten Beweisen, scheint mir wichtig zu sein. Es scheint daher unerklärlich, wie *Mawas* und *Magitot*, welche die Identität der Zellen der vorderen Kammer mit denjenigen des Glaskörpers richtig beobachtet haben, sich gar nicht fragten, wieso durch die Auflösung der einen eine amorphe Substanz, durch die der andern auch ein fibrilläres Netz entstehen könne.

Die Autorität so vieler Autoren, die jetzt noch behaupten, der Glaskörper habe ein fibrilläres Gerüst, unter denen in Italien die Schule von Cirincione besonders maßgebend ist, veranlaßt mich dazu, jetzt noch als einfache Hypothese die nicht weniger Beachtung als die entgegengesetzte verdient, das Fehlen der Struktur des Glaskörpers des Erwachsenen und in gewissem Sinn auch des embryonalen zu behaupten.

Ich glaube, den Mesodermursprung des Glaskörpers von der Einstülpung der Linse an durch das ganze embryonale Leben geklärt zu haben¹⁾. Wenn die Hypothese eines teilweisen und zeitweiligen Herkommens aus den Ciliarzellen behauptet werden kann, so ist sie jedenfalls durchaus nicht notwendig; aber ihr Wert ist mit den bis jetzt zur Verfügung stehenden Mitteln nicht nachzuprüfen. Eine *Membrana limitans interna* der Netzhaut differenziert sich früh, wird aber später immer deutlicher; sie bildet sich in der von *Retzius* (s. Abb. 23) beschriebenen Art und besteht bis zur zweiten Hälfte des 3. Monats auf der ganzen inneren Oberfläche der Netzhaut. Später, mit der Differenzierung der ciliaren Netzhaut, scheint die *Limitans interna* in dieser Zone zu verschwinden, und die Zellelemente setzen sich mit den Fasern der Zonula und, wie viele annehmen, auch mit den Fibrillen des Glaskörpers in Verbindung.

Die Zonula Zinnii.

Die ursprüngliche Auffassung von der Zonula Zinnii ging dahin, sie als eine Membran zu betrachten, die in mehr oder weniger engen Beziehungen zum vorderen Teil der Hyaloidealmembran steht [*Saint-Yves* (1722), *Petit* (1726), *Maître-Jean*

¹⁾ Zur Unterstützung der Theorie der Mesodermnatur des Glaskörpers können, wo das Bedürfnis danach vorhanden ist, die Beobachtungen des durch Metaplasie in Fett verwandelten Glaskörpers dienen (*O. Lange*, v. Graefes Arch. f. Ophthalmol. 1897). Andererseits ist die Umwandlung des Fetts in schleimiges Gewebe bei den ersten kachektischen Zuständen, wie bei perniziöser Anämie, bekannt.

(1740), Zinn (1755), Schwalbe (1870 und 1886), Aeby (1882)]; aber zahlreicher sind die Anhänger der Theorie der fibrillären Struktur der Zonula [Gerlach (1880), Berger (1882), Czermak (1885), Treacher-Collins (1890), Topolanski (1891), Retzius (1894), Agabow (1897), Terrien (1898), Damianoff (1900), Wolfrum (1908), Sbordone (1900), v. Lenhossék (1911), Carlini (1911), Mawas und Magitot (1912)].

Die meisten Autoren untersuchten die Zonula zusammen mit dem Glaskörper, und viele zogen ihre enge genetische Beziehung zum Glaskörper selbst in Betracht. Man versteht gut, wie einerseits die Theorie des Mesodermursprungs des Glaskörpers auch für die Zonula angenommen wurde und andererseits die Anhänger der Ektodermtheorie ihr ektodermalen Ursprung zuschrieben.

Andere hielten sie für teilweise vom Glaskörper und teilweise von der ciliaren Netzhaut herstammend.

Fast alle endlich, die sich in neuester Zeit mit der Frage befaßt haben, behaupten den ausschließlichen Ursprung der Zonula aus dem ciliaren Epithel. Es ist verständlich, daß die Anhänger des Ektodermursprungs des Glaskörpers ihr auch in diesem Fall die gleiche Genese mit dem letzteren zuschrieben.

Zugegeben, daß die Zonulafasern aus den Zellen der ciliaren Netzhaut herkommen, welches sind die Übergangsformen dieser Abstammung? Für Damianoff ist es eine Ausscheidung, dem Byssus vergleichbar, mit dem einige Lamellibranchiaten (Muscheln) sich auf dem Meeresgrund anheften und mit langen Fasern befestigen.

Agabow-Terrien und Motzner sehen die mehr oder weniger differenzierten Zonulafasern als Neurogliafasern an, die außen mehr oder weniger weit inserieren, nach Motzner bis zum Ciliarmuskel.

Wolfrum sah zuerst (1907), daß die Zonulafasern an der inneren Grenze der hellen Zellen haltmachen, in denen sie sich fortsetzen.

„Die Zonulafasern sind direkte Fortsetzungen der Zellen der Pars ciliaris retinae“ (l. c., Über den Ursprung des Glaskörpers, S. 259). Aber bei den folgenden Untersuchungen, bei welchen er die spezielle, von Held für die Neuroglia angegebene Methode anwandte, fand er, daß die Zonulafasern sich bis zur äußeren Grenze der hellen Zellen fortsetzen (Kittleiste) nach einem intracellulären Verlauf¹⁾.

Carlini, der die Untersuchungen auch mit der Technik von Held wiederholte, konnte den Befund von Wolfrum nicht bestätigen, während Mawas²⁾ zuerst allein und dann in Zusammenarbeit mit Magitot zu den gleichen Ergebnissen wie Wolfrum gelangte.

v. Lenhossék (1911) läßt eine Membrana limitans interna in der ciliaren Region zu und bestreitet, daß die Zonulafasern außen diese Membran überschreiten. Übrigens behauptet dieser Autor wieder, daß die Zonulafasern sich nicht auf autonome, dem Glaskörper mehr oder weniger analoge Art, sondern als sekundäres Produkt der Differenzierung des Glaskörpers bilden.

Man sieht, daß die Ungleichheit der Ansichten über den Ursprung und die Struktur der Zonula sicher nicht geringer, sondern wahrscheinlich größer als die über die gleichen Fragen betreffs des Glaskörpers sind.

Was mich betrifft, so habe ich bei den verschiedensten Fixations- und Färbungsmethoden niemals die Zonulafasern die innere Grenze der hellen Zellen des ciliaren Epithels überschreiten sehen. Bei sehr vielen Präparaten habe ich den Eindruck erhalten, daß das Protoplasma

¹⁾ M. Wolfrum, Über Ursprung und Ansatz der Zonulafasern im menschlichen Auge. v. Graefes Arch. f. Ophthalmol. 69, 148—171. 1908.

²⁾ J. Mawas, La structure de la rétine ciliaire. Fond. Ophtalm. Rothschild. Bull. et Travaux 1911, S. 89—108.

jeder hellen Zelle sich direkt in einer Zonulafaser fortsetzt, und dies beim Beginn der Bildung der Zonula (Abb. 26b), wie auch bei der vollständig entwickelten und differenzierten Zonula. Die Zonulafasern scheinen fast immer aus den Einsenkungen des ciliaren Epithels zu entstehen, aber manchmal finden sie sich auch in Verbindung mit den Zellen der hervorspringenden Stellen. Sehr oft erhält man den Eindruck, daß eine *Limitans interna* in den hervorspringenden Teilen der ciliaren Netzhaut besteht, fast niemals auf dem Grund der Einsenkungen, wo sich jedoch fast *beständig die Schicht der hellen, etwas schräg geschnittenen Zellen in verschiedenen Zellreihen zeigt*.

Während der embryonalen Entwicklung sehen wir immer eine starke Entwicklung des Gefäßsystems und in Übereinstimmung damit Reichtum an Zellelementen in der Zonularegion.

Bei den Embryonen des Ochsens am Ende des 3. Monats sieht man deutlich das Eindringen der hyaloidealen Gefäße in die ciliare Netzhaut mit verschiedenen, ziemlich großen Abzweigungen.

Diese Befunde beweisen offenbar eine intensive Bildungsaktivität in dieser Region, ohne daß ich mich jedoch zurzeit über die Natur des Prozesses aussprechen könnte.

Die Fasern der Zonula, die mit den hellen Zellen in Verbindung stehen, *vereinigen sich manchmal zu einer dickeren Faser, welche axial durch die Einsenkung hindurchgeht*. Andere bilden nach sehr kurzem Verlauf eine Art Membran, die fast den inneren Rand der hellen Zellen berührt, eine Anordnung, die man angedeutet sieht in der Abb. 37, nicht sehr klar, weil mit geringer Vergrößerung.

Nicht selten endlich, und besonders bei den Vögeln, wo das Aufhängeband der Linse, wie der ganze Akkomodationsapparat kräftiger als anderswo ist, kann man beobachten, wie die Zonula nahe bei ihrer Anheftung in die ciliare Netzhaut fibrillär erscheint, *aber für eine gewisse Strecke homogen aussieht, von ihrer Insertion an der Linse an bis zur Linse selbst* (Abb. 52b). Seltener aber findet sich dieses homogene Aussehen der Zonula in der Nähe der ciliaren Insertion.

Diese eigentümliche Art, in der die schon fixierte und gefärbte Zonula sich darstellt, läßt spontan die Frage auftauchen, ob das fibrilläre Aussehen der Zonula wirklich und das homogene künstlich ist, oder umgekehrt. Im wesentlichen die gleiche Frage, die, wie wir gesehen haben, beim Glaskörper entstanden war.

Ich weiß wohl, daß die Theorie der homogenen Konstitution für den Glaskörper noch mehr als für die Zonula seit langer Zeit begraben ist; es ist jedoch nicht immer gesagt, daß eine Theorie mit Recht und vor allem definitiv begraben ist.

Wie mir scheint, haben die Histologen seit Jahren vergessen, daß wir uns durch in Paraffin oder in Celloidin eingeschlossene Präparate

Gewebe gegenüber sehen, die durchschnittlich 80% ihrer Gesamtmasse durch die eingetretene völlige Entwässerung verloren haben. Und diese Tatsache muß, auch wenn man momentan die den Fixativen, Entwässerung usw. zuzuschreibenden Veränderungen zu wenig beachtet, einschneidende Veränderungen in dem Zusammenhang der Gewebe hervorrufen. Diese Veränderungen sind bei den Geweben mit gut differenzierten Zellen geringer, wo vor allem das Protoplasma stark verändert wird. So wird bei der Linse, einem sehr wasserreichen Organ, die gewöhnliche Form meist wenig verändert und das Volumen nach einer vollständigen Fixierung wenig verringert; die dichte und

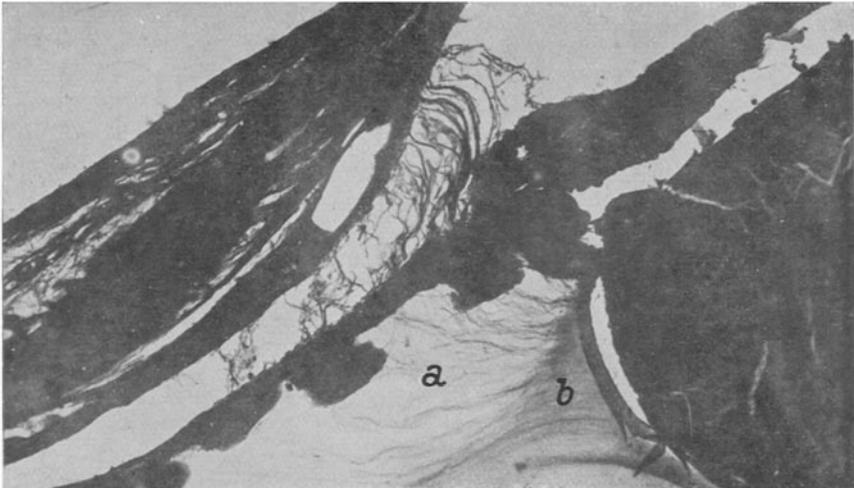


Abb. 52. Ciliarregion eines ausgewachsenen Huhnes. Bei *a* erscheint die Zonula fibrillär, bei *b* zuerst gestreift und dann homogen bis zu ihrem Ansatzpunkt an der Linse.

dem Auge eng verbundene Linse bleibt vermutlich unverändert; die durch eine feste Membran bezeichneten Grenzen der Fasern bleiben gleichfalls wahrscheinlich unverändert, wie auch die Kerne; aber vom Protoplasma *bleibt nur ein körniger Überrest, oder mit Anzeichen von Fibrillenbildung*. Einschneidender sind die Veränderungen bei den Geweben mit unvollkommenerer Zellorganisation, wie das schleimige embryonale Gewebe der alten Anatomen (von vielen auch jetzt noch zugelassen), ein schlaffes Bindemittel, eine Bildung *sui generis*, wie z. B. der Glaskörper und die Zonula, die beim Erwachsenen arm an Zellelementen und überaus reich an Wasser sind.

Ich frage mich, wie man ohne weiteres auf eine fibrilläre Struktur des Glaskörpers und der Zonula schließen kann, da bekannt ist, daß durch die Wirkung derselben Prozesse amorphe Substanzen gleichfalls

die fibrilläre Struktur annehmen können? Um die Unsichtbarkeit der Fibrillen des frischen Glaskörpers zu erklären, hat man gesagt, daß sie denselben Refraktionsindex wie die Grundflüssigkeit hätten, eine wohl mögliche, aber billige und unkontrollierbare Hypothese. Es wurde auch gesagt, daß, wenn der Glaskörper nicht sofort bei vielen Operationen und Verwundungen des Augapfels heraustritt, das durch die Umhüllung der Hyaloidea und durch die Durchquerung des fibrillären Netzes verursacht werde; aber genügt nicht die deutliche Zähigkeit des Glaskörpers, um das Anhaften an den Wänden und das verhältnismäßig erschwerte Heraustreten aus dem Innern des Augapfels zu erklären?

Das stellenweise homogene Aussehen des Glaskörpers und auch der Zonula nach der Fixierung, Entwässerung und Färbung kann sehr kräftige Beweise für die Behauptung bieten, daß im Leben die Struktur ebenso ist. Die Sache ist intuitiv, und es scheint mir, daß kein weiterer Beweis benötigt wird. Natürlich kann die schon frisch mit bloßem Auge oder bei geringer Vergrößerung wahrnehmbare komplizierte äußere Bildung der Zonula nicht in Zweifel gezogen werden.

Beim Abschluß meiner Arbeit halte ich es für angezeigt, auf die mannigfachen am lebenden Auge und auch am Glaskörper gemachten Untersuchungen mittels der Spaltlampe von *Gullstrand* hinzuweisen.

Köllner (Arch. f. Augenheilk. **83**, 12. 1918) behauptet, mit der Spaltlampe die Membrana hyaloidea gesehen zu haben beim Austritt des Glaskörpers in die vordere Kammer.

L. Koepe (siehe die verschiedenen Publikationen in v. Graefes Arch. f. Ophthalmol. vom Jahre 1918 ab; siehe auch *E. Hertel* im Zentralbl. f. d. ges. Ophthalmol. **5**, 359. 1921) behauptet, im Glaskörper ein Gerüst von konzentrischen Lamellen parallel zur Retina gesehen zu haben und Radialfasern, mit den von *Rabl* und *Wolfrum* beschriebenen identisch. Der Schüler von *Vogt*, *Koby* (Rev. gén. d'ophtalmol. **34**, 159—172. 1920) hat eine Struktur des Glaskörpers gefunden, die der von *Koepe* beschriebenen ähnlich, aber sehr vielgestaltig ist. Aber *Vogt* ist im Text seines Atlas (*Vogt, A.*, Atlas der Mikroskopie des lebenden Auges mittels der Spaltlampe, Julius Springer 1921, S. 148—182, Abb. 330—356) in seinen Schlüssen in bezug auf die Struktur des Glaskörpers sehr vorsichtig. „Die Spaltlampe erschließt uns den Glaskörper in seiner lebenden, unveränderten Form. Bald zeigt er flottierende, hell leuchtende Falten, bald beschränkt er sich auf wenige dünne Stäbchen oder Membrane einer gegebenen Form, oder endlich zeigen sich die verschiedenartigsten Übergangsbilder“ (Einführung S. 2).

Schon bei der gewöhnlichen fokalen Beleuchtung gelingt es aphakisch leicht, das Netz des Glaskörpers zu unterscheiden, besonders indem man sich des Sonnenlichts oder einer Bogenlampe bedient. Es erscheint wellenförmig und reicht oft bis in die vordere Kammer; *Gullstrand* sah zuerst das Netz im nicht aphakischen Auge (Demonstration der Nernstspaltlampe; Vers. O. G. Heidelberg 1911, S. 174). *Nichtsdestoweniger stehen wir heute noch am Beginn unserer Forschungen auf diesem wichtigen Gebiet, und einige Befunde bedürfen der Revision.*

Das normale Gerüst des Glaskörpers zeigt sich sehr veränderlich und ist individuell verschieden deutlich sichtbar. Beim einen tritt es sehr klar hervor,

schon indem man sich der Nernst- oder der Nitalampe bedient; beim anderen dagegen erscheint der Glaskörper fast optisch leer, wenn er in dieser Weise beleuchtet wird. Im allgemeinen jedoch können wir sagen (und hierin stimmen wir mit den anatomischen Befunden von *E. Fuchs* überein), daß es sich überwiegend um eine lamelläre Struktur des Gerüsts, um Membranbildungen handelt.

Das spezifische Gewicht des Netzes ist wenig höher als das der Flüssigkeit des Glaskörpers, so daß er bei den Bewegungen des Augapfels hin und her schwankt und sich faltet wie ein aufgehängtes Tuch.

Was die Struktur des Netzes betrifft, wurden besonders von *Koeppe* mehr oder weniger typische Formen unterschieden.

Vorerst wollen wir diese Theorie nicht besprechen, da eine solche Frage bis zu einem gewissen Grade von der angewandten Lichtquelle abhängt und deshalb noch weiterer Forschungen bedarf.

Außerdem hat *Vogt*, entgegen seinem Schüler *Koby*, einen hinter der Linse befindlichen, optisch leeren Raum bei jeglichem Beleuchtungsmittel konstatiert. Hinten hat er eine sehr fein gefaltete Membran gesehen, die viel diskutierte Membrana hyaloidea. Zu im großen ganzen gleichen Resultaten wie *Vogt* kommen auch *E. Gallemarts* und *G. Klee-feld* (Ann. d'Oculistique CLV, 1920, p. 165—170, Abb. 40—44).

Wie wir gesehen haben, ergibt sich vorläufig noch nichts Sicheres über die Struktur des Glaskörpers, und man versteht die außerordentliche Mannigfaltigkeit der Struktur des normalen Glaskörpers bei gleichaltrigen Individuen nicht. Die Membrana hyaloidea, die *Vogt* und andere gesehen haben wollen, könnte nichts anderes sein als eine optische Täuschung, welche durch die verschiedene Dichte der Flüssigkeit, die vermutlich den hinter der Linse befindlichen Raum einnimmt und durch den Glaskörper verursacht wäre. Da es mir jedoch an irgendwelcher Erfahrung in der Erforschung des lebenden Auges mit der Spaltlampe fehlt, so wäre es selbstverständlich meinerseits gewagt, eine eingehende Kritik am Befunde von *Koeppe* und *Vogt* zu üben.

Bei der Erforschung des aphakischen Auges mittels des Sonnenlichts konnte ich bisher nicht das bei den Bewegungen des Auges und des Kopfes hin und her schwankende Netz des Glaskörpers bemerken; ich habe nur den durch unzählige Teilchen unterbrochenen Lichtschein gesehen, wie das Sonnenlicht erst sichtbar wird durch die Hemmung durch die winzigen Partikel des Staubes der Luft.

Der ganz frische Glaskörper des Kaninchens, unter dem Mikroskop mit Dunkelfeldbeleuchtung (paraboloide) beobachtet, zeigt nur Körnerbildungen von verschiedener Größe, die bei derselben Untersuchung im Zellprotoplasma gefunden werden. Keine Spur von Fibrillen, und man versteht nicht, warum sie nicht wie die Protoplasmagranula sichtbar wären, wenn sie existierten.

Man wird daher vernünftigerweise annehmen, daß der, wenn auch weniger dichte Glaskörper nicht verschieden ist vom Zellprotoplasma, von dem er übrigens, wie wir gesehen haben, zum größten Teil ab-

stammt. Wie beim Zellprotoplasma die dichteren Partikel als Körner oder auch als Fasern erscheinen können, so können sie im Glaskörper eine kompliziertere Pseudostruktur bilden, die nicht nur bei verschiedenen Individuen, sondern auch bei demselben Individuum zu verschiedenen Zeiten sehr veränderlich ist. Während im Zellprotoplasma die dichteren Partikel durch *Brownsche* Bewegungen erst hervorgerufen werden, stehen Bewegungen und Schwankungen der dichteren Substanzen in der relativ weiteren Augenhöhle mit der Gravität und den Bewegungen des Individuums in Beziehung.

Die Photographien (s. Abb. 30, 42, 43, 44 und 45) sprechen, wie wir schon hervorhoben, für eine relativ homogene Struktur des Glaskörpers, wie auch viele andere Präparate, die ich besitze. In der Abb. 18 werden die Körnelungen des Glaskörpers sichtbar. Trotzdem bedarf die Frage noch weiterer Klärung.

Die Frage, ob der Glaskörper einen vitalen, wenn auch verringerten Metabolismus hat, sich also auch beim Erwachsenen als ein Gewebe sui generis betrachten läßt, oder ob er nur eine Mischung von organischen Substanzen, von Wasser und von Salz ist, ohne irgendwelches Eigenleben, ist auch schwer zu lösen.

Schlußfolgerungen.

Aus dem vorher Dargelegten und, soweit möglich, mit Photographien Belegten glaube ich zu den folgenden Schlüssen kommen zu können:

1. Die körnige und fibrilläre Bildung, welche sich im Innern der primitiven Augenblase und vorübergehend im Innern der sekundären Augenblase vor der völligen Loslösung der Linse vom Ektoderm findet, *ist nicht nur nicht spezifisch für die Augenhöhle, sondern ist nicht einmal als Gewebe zu bewerten. Sie wird wahrscheinlich verursacht durch die von den Fixativen bewirkte Koagulation von Eiweißsubstanzen, welche sich in allen primitiven Höhlen des Embryo ansammeln durch teilweise Verflüssigung der Protoplasmagrundsubstanzen.*

2. Von dem Augenblick des Eindringens des Mesoderms in die Augenblase an ist letzterem die Bildung des Glaskörpers während des ganzen embryonalen Lebens zuzuschreiben. Die Beteiligung der Abblätterungszellen der Netzhaut und der Linse kann als gering betrachtet werden. Die teilweise und zeitweilige Abstammung des Glaskörpers von der Ciliarregion der Netzhaut ist, wenn sie auch nicht absolut ausgeschlossen werden kann, weder nötig, noch wahrscheinlich.

3. Während in den primitiven embryonalen Perioden die Gefäße und der Glaskörper sich gleichzeitig aus gemeinsamem Mesodermmaterial bilden, so liefern bei den ausgebildeten Hyaloidealgefäßen die perivasalen Zellen in beständiger Vermehrung immer neues Material zur Bildung des Glaskörpers.

4. Der präpapilläre Pfropf ist eine Mesodermbildung, die erst später Beziehungen zu den Gliaelementen des Sehnerven aufnimmt.

5. In allen Perioden des embryonalen Lebens haben das hinter und das vor der Linse befindliche Gewebe dieselbe Bedeutung.

6. Da eine Membrana hyaloidea sich nicht klar aus den Präparaten am frischen Embryo ergibt, ist anzunehmen, daß sie nicht wirklich, sondern künstlich ist.

7. Dagegen ist die von *Retzius* beschriebene Membrana limitans interna der Netzhaut sehr oft beim Embryo wie beim Erwachsenen aufweisbar. Vom Ende der zweiten Hälfte des 3. Monats an ist jedoch zu bezweifeln, daß die Membrana limitans im Bereich der ciliaren Netzhaut existiert, während man sie sonst überall nachweisen kann.

8. Viele Tatsachen scheinen gegen die Theorie der fibrillären Struktur des Glaskörpers zu sprechen, ohne daß ich mich jedoch ohne weiteres für berechtigt halte, zu behaupten, daß ihm das Gerüst fehlt.

9. Der Hyaloidealkanal ist wahrscheinlich während des embryonalen Lebens eine tatsächliche Bildung. Es fehlen mir die Unterlagen, um mich über sein Bestehenbleiben oder Verschwinden beim Erwachsenen auszusprechen.

10. Trotz der zahlreichen, von verschiedenen Autoren vorgenommenen Untersuchungen besteht die größte Ungleichheit in den Ansichten über den Ursprung und über die endgültige Struktur der Zonula Zinnii.

Es ist mir sehr willkommen, hier denjenigen den lebhaftesten Dank auszusprechen, die mir freundlicherweise bei der schwierigen Beschaffung des zu dieser Arbeit benötigten Materials geholfen haben; hauptsächlich den Herren Prof. *E. Ferroni*, Direktor der Kgl. Klinik für Geburtshilfe und Gynäkologie und seinem Assistenten, Dr. *Paroli*, dessen persönlichem Interesse ich die meisten menschlichen Embryonen verdanke; Dr. *Piovanelli*; Prof. *Nencioni*, Direktor des städt. Schlachthauses für die Embryonen der großen Säugetiere; Prof. *Santo E.*, Direktor der Schule für Geburtshilfe in Arezzo und seinem Assistenten, Dr. *S. Flamma*.

Zuletzt drücke ich meinem Lehrer, Herrn Prof. *de Lieto Vollaro*, meinen lebhaftesten Dank für seine wertvollen Ratschläge aus und für seine Erlaubnis zu allen nötigen Untersuchungen ohne Materialersparnis in so schwieriger Zeit.

Literaturverzeichnis.

Wolfrum, M., Zur Entwicklung und normalen Struktur des Glaskörpers. v. Graefes Arch. f. Ophthalmol. **45**, 220—226. 1907. — *Keitel, P.* und *Mohl Franklin*, Handbuch der Entwicklungsgeschichte des Menschen. Bd. **11**. S. 214—257.

Leipzig 1911. — *Franz, V.*, Lehrbuch der vergleichenden mikrosk. Anatomie der Wirbeltiere. 7. Teil. Sehorgan. Leipzig 1913. (Bibliographie auch der Zonula.) — *Mawas* und *Magitot*, Étude sur le développement du corps vitré et de la zonule chez l'homme (Bibliographie auch der Zonula). Bull. de la Fond. Ophtalmol. Rothschild 1912, S. 123—226. — *Contino, A.*, Il corpo vitreo dell' uomo e degli animali superiori. Bd. 1; Ricerche cliniche, biologiche e istologiche. Palermo 1919. — Für die Zonula: *Salzmann, M.*, Die Zonula ciliaris und ihr Verhältnis zur Umgebung. Eine anatomische Studie. Leipzig und Wien, Franz Deuticke 1900. — *Carlini, V.*, Sulla struttura a lo sviluppo della zonula di Zinn. Livorno 1911. (Siehe auch v. Graefes Arch. f. Ophthalmol. 85, 78—149. 1912.) — Über das Thema der Mikroskopie des lebenden Auges: *Vogt, A.*, Atlas der Mikroskopie des lebenden Auges mittels der Spaltlampe (publiziert in 4 Sprachen), der eine Bibliographie des Arguments enthält, die vollständig genannt werden kann. Julius Springer 1921.