(Aus dem physiologischen Institute der deutschen Universität in Prag.)

Über den physiologischen Pupillarabschluß.

Von

Prof. Dr. R. H. Kahn.

Mit 3 Textabbildungen.

Als den physiologischen Pupillarabschluß bezeichnet man die theoretisch völlig einleuchtende und ziemlich allgemein anerkannte Annahme, daß der innere freie Irisrand der Vorderfläche der Linse fest anliegt und damit innerhalb gewisser Grenzen die vordere von der hinteren Augenkammer abschließt (Ulrich, Hamburger)¹⁾. Denn die anatomischen Verhältnisse bringen es mit sich, daß der Sphinktertonus mit einer gewissen Komponente in der Richtung gegen die Vorderfläche der Linse wirken und dadurch die freien Randpartien der Iris nach hinten drücken muß. Über die Größe dieser Druckwirkung und damit über die Festigkeit des Verschlusses ist man allerdings sehr verschiedener Meinung. Die einen halten von seiner Wirksamkeit nicht viel, die anderen schreiben ihm eine besondere physiologische Bedeutung zu. Die Frage des Bestehens eines wirksamen physiologischen Pupillarabschlusses ist nämlich ein recht wichtiges Glied in dem Für und Wider der Meinungen über das Vorhandensein einer Flüssigkeitsströmung zwischen den Augenkammern geworden und greift damit wesentlich in die Anschauungen über die Herkunft und den Abfluß des Kammerwassers ein. Ein experimenteller allgemein anerkannter Beweis für einen praktisch wirksamen Abschluß der hinteren Augenkammer von der vorderen ist bisher nicht erbracht worden. Die Beweiskraft des Grundversuches von Hamburger (in die hintere Kammer eingeführtes Fluorescein erscheint erst 10 bis 20 Minuten später in der vorderen) hat man vielfach angezweifelt. Als ein wichtiges Argument für

¹⁾ Wir verzichten in diesem Aufsätze der Platzersparnis halber meistens auf genaue Zitate. Diese sind ohne weiteres in den zusammenfassenden Aufsätzen jüngerer Zeit zu finden: Ch. Leber, Die Zirkulations- und Ernährungsverhältnisse des Auges. v. Graefe-Sämisch, Handbuch der ges. Augenheilkunde. 2. Aufl. Bd. II, 2. Abt., S. 223ff. 1903. — O. Weiß, Die Ernährung und die Zirkulation des Auges. Nagels Handbuch der Physiol. 3, 438. 1905. — K. Wessely, Der Flüssigkeits- und Stoffwechsel des Auges usw. Ergebnisse der Physiol., Asher-Spiro, Bd. IV, S. 565. 1905.

das Bestehen eines wirksamen Abschlusses kann vielleicht der von Ulbrich¹⁾ beschriebene Fall gelten. In einem menschlichen Auge zeigte eine feine Membran, welche eine Irislücke verschloß, Erscheinungen, welche sich zwanglos aus einem wirksamen Pupillarabschlusse erklären ließen, allerdings unter der von Manchem bezweifelte Voraussetzung einer andauernden regen Flüssigkeitssekretion aus dem Ziliarkörper. Indessen kommt man wohl hier nicht um die Tatsache herum, daß es sich um ein auch sonst noch pathologisches Auge handelte, wenn auch

Abb. 1.

nicht ein Folgezustand entzündlicher Prozesse, sondern das Resultat einer Entwicklungsstörung vorgelegen haben dürfte. Auch erscheint es wohl nicht ausgeschlossen, daß die Membran, welche an der Vorderfläche des Irisgewebes entsprang, doch aus inneren Gründen eine Gleichgewichtsfigur einzuhalten bestrebt war, und ihre Bewegungen dadurch nicht ausschließlich als passiv erzeugte anzusehen sind. Jedenfalls bedarf die Frage des physiologischen Pupillarabschlusses der weiteren experimentellen Bearbeitung.

Im folgenden wird eine Reihe von Versuchsergebnissen veröffentlicht, über welche ich schon seit längerer Zeit verfüge, und deren Mitteilung sich aus äußeren Gründen verzögerte. Es handelte sich um die künstliche Durchspülung der Pupille an den Augen von Kaninchen und Katzen. Abb. 1 zeigt das Schema der Versuchsanordnung. Am kurarisierten, also aktiv bewegungslosen, künstlich geatmeten Tiere wird nach Anlegung einer Lidsperre eine kurze, spitze und feine Stahlkanüle mit endständiger Öffnung durch die Sclera hinter der Iriswurzel in die hintere Augenkammer eingeführt. Die richtige Lage der kurzen Kanülen-

¹⁾ H. Ulbrich, Klinische Betrachtungen über die Druckverhältnisse in der vorderen und hinteren Augenkammer. Archiv f. Augenheilk. 60, 283. 1908. — S. auch: Vers.-Ber. der ophthalmol. Gesellsch. Heidelberg 1907, S. 105.

spitze ist der springende Punkt der ganzen Versuchsanordnung. Die Spitze muß hinter der Iriswurzel ganz frei liegen, darf weder in die Linse oder den Glaskörper hineinragen und die Iris nicht verletzen. Hiervon hat man sich durch leichtes Hin- und Herbewegen der Kanüle sorgfältig zu überzeugen. Die Kanüle steht durch einen dünnen zugeklebten Schlauch mit einer kleinen mit warmer Ringerscher Flüssigkeit gefüllten Mariotteschen Flasche in Verbindung, welche der Höhe nach fein verstellbar ist. Das untere Ende ihres Luftrohres befindet sich in jener Höhe über dem Auge, welche dem Mittelwerte des für das Versuchstier zu erwartenden intraocularen Druckes entspricht (34—38 cm Wasser). In einem Winkel von 90° zu der Stichrichtung dieser Kanüle wird nun die Hornhaut von einer Leberschen Kanüle mit seitlicher Öffnung durchstoßen, welche nebst dem zugehörigen, abgeklemmten Gummischlauche mit Ringerscher Lösung gefüllt ist. Der Schlauch setzt sich an seinem Ende in ein rechtwinklig gebogenes Glasröhrchen mit feiner Spitze fort, welches ebenfalls entsprechend hoch über dem Auge derart in ein Stativ gefaßt wird, daß seine Öffnung mit dem unteren Röhrende der Mariotteschen Flasche in gleicher Höhe steht. Unter der Spitze dieses Röhrchens ist ein Tropfenzähler angebracht, welcher ausfließende Flüssigkeitstropfen elektromagnetisch auf einer berußten Kymographiontrommel registriert. Auf solche Weise läßt sich also die Pupille durchspülen und aus der in der Zeit fallenden Tropfenzahl eine Anschauung über die Durchgängigkeit derselben gewinnen.

Derartige Versuche sind sehr heikel. Neben dem wichtigsten bereits oben erwähnten Punkte, der entsprechenden Lagerung der Kanüle in der hinteren Kammer, ist es weiters selbstverständlich von der größten Wichtigkeit, daß bei den Einstichen kein Tropfen des Kammerinhaltes austritt. Jede Änderung des intraocularen Druckes ist bei den Manipulationen sorgfältig zu vermeiden. Von der großen Zahl derartig hergerichteter Versuchstiere wurden die meisten nach strenger Prüfung als nicht ganz tadellos bezüglich der erwähnten Punkte verworfen, so daß nur sechs ganz einwandfreie Fälle erübrigten, deren Resultate mitgeteilt werden sollen. Einer davon betrifft das Kaninchen, die fünf anderen die Katze. Dieses Verhältnis erklärt sich aus den weitaus günstigeren Versuchsbedingungen, welche das Katzenauge bietet. Denn seine größeren Dimensionen, die Tiefe seiner vorderen Kammer, die Dicke seiner Hornhaut fördern die tadellose Anlegung der Kanülen ungemein. Schließlich ist zu erwähnen, daß in allen Versuchen, um von vornherein die Pupille zu verengern und nachher rasch erweitern zu können, der N. sympathicus der gleichen Halsseite durchschnitten wurde.

Alle sechs Versuche lieferten zunächst das Resultat, daß nach Fertigstellung der Versuchsanordnung und Lösung der Schlauchklemmen

keine Flüssigkeitsverschiebung in der Leitung auftrat. Auch bei Steigerung des Druckes in der hinteren Kammer durch Erhöhung der Mariottaschen Flasche fielen keine Tropfen aus der Röhrenspitze auf den Tropfenzähler. Der Tropfenfall begann beim Kaninchen erst bei einem Überdrucke von 30 mm Ringersche Lösung, bei den Katzen erst bei 50 mm. Knapp unter diesen Druckwerten fiel kein Tropfen. Neuerliche Erniedrigung des Druckes in der hinteren Kammer unter die angegebenen Werte sistierte den Tropfenfall. Langsame kontinuierliche Erhöhung über dieselben verursachte anfangs eine rasche, dann aber langsame Vermehrung der Tropfenzahl.

Dieses Ergebnis der Versuche läßt sich offenbar gar nicht anders deuten, als durch einen normal vorhandenen Verschuß der Pupille, welcher verhindert, daß unterhalb eines gewissen Druckgefälles zwischen hinterer und vorderer Augenkammer Flüssigkeit die Irisöffnung passiert. Erst bei einem bestimmten Überdrucke, welcher beim Kaninchen 30 mm Wasser (2,2 mm Hg), bei der Katze 50 mm Wasser (3,7 mm Hg) beträgt, wird dieser Verschuß überwunden. Die Ursache dieses Verschlusses in unseren Versuchen kann nur in dem Umstande gesucht werden, daß der Irisrand der Vorderfläche der Linse fest anliegt. Dieses Angedrücktwerden durch eine Komponente der Sphinkterwirkung muß natürlich mit der Enge der Pupille zunehmen und dürfte aus anatomischen Gründen (stärkere Hervorwölbung der Iris durch die Linse) bei der Katze ausgeprägter sein, als beim Kaninchen. Es stellen also die in unseren Versuchen erhobenen Werte von 30 und 50 mm Wasser (2,2 — 3,7 mm Hg) wegen der durch Wegfall des Sympathicustonus engen Pupille obere Grenzen dar. Die höheren Werte bei der Katze entsprechen der eben angedeuteten Erwartung. Damit erscheint der physiologische Pupillarabschluß bei Kaninchen und Katze offenbar experimentell erwiesen.

Im Anschlusse hieran möge nun noch die Mitteilung von dem Effekte der Reizung des Kopfendes des durchschnittenen Halssympathicus auf die Strömungsverhältnisse durch die Pupille bei unserer Versuchsanordnung Platz finden. Von vorneherein war zu erwarten, daß das Resultat solcher Reizung wenn auch ein typisches, so doch ein nicht leicht erklärbares sein würde. Denn es ist ja die Reizung des Sympathicus am Halse von mehrfacher Wirkung gefolgt. Sie verursacht neben der Erweiterung der Pupille eine Änderung der Gefäßweite in der Netzhaut und vermutlich, wenn auch nie exakt beobachtet, eine solche in den Gefäßen des Aderhauttraktes und der Sclera. Alle diese Erscheinungen mit der teilweise durch sie hervorgerufenen Änderung des intraokularen Druckes zusammen müssen in nicht leicht zu übersehender Weise die Wegsamkeit der Pupille verändern. Daß die Mydriasis allein geeignet sein dürfte, die Innigkeit des physiologischen Pupillarabschlusses

zu verringern und damit die Tropfenfolge in unserer Versuchsanordnung bei einem knapp über der Wegsamkeitsschwelle liegenden Drucke in der Hinterkammer zu vermehren, liegt auf der Hand. Änderungen des intraokularen Druckes durch Veränderungen der Gefäßweite und der Abflußmöglichkeiten des Blutes aus den Augengefäßen müßten die Wegsamkeit der Pupille in dem Sinne verändern, daß sie zunächst mit wachsendem Drucke abnimmt und umgekehrt. Denn Druckänderungen aus solcher Ursache dürften wohl vor Erreichung eines neuen definitiven Zustandes mit einem Druckgefälle einhergehen, welches einmal gegen die vordere Augenkammer gerichtet und die Linse fester an die Iris anzupassen geeignet sein könnte. Hierbei besteht aber offenbar die Möglichkeit einer anfänglichen Auspressung von Flüssigkeit aus der vorderen Kammer durch deren Kanüle. Ein anderes Mal wird das Umgekehrte der Fall sein. Man sieht, daß die Resultate solcher Reizversuche nicht leicht zu beurteilen sein müssen, zumal sich in einzelnen erwähnten

Abb. 2.

Punkten die verschiedenen Versuchstiere (Kaninchen, Katze) verschieden verhalten.

Die tatsächlichen Befunde sind folgende: Beim Kaninchen verursacht die Reizung des Halssympathicus bei Durchströmung der Pupille bei einem knapp über der Wegsamkeitsgrenze gelegenen Überdrucke in der Hinterkammer einen ganz kurz dauernden Stillstand und dann eine starke Beschleunigung der Tropfenfolge, welche allmählich wieder zurückgeht.

Abb. 2 zeigt das Resultat eines solchen, am selben Tiere oft wiederholten Versuches. Die untere Kurvenlinie verzeichnet die Zeit in Sekunden, die obere die Reizdauer des Nerven, in der mittleren sind die fallenden Tropfen registriert. Vor der Reizung fielen die Tropfen in Intervallen von etwa 17 Sekunden. Die Reizung selbst verursachte zunächst eine Verzögerung des Tropfenfalles, welche aber sogleich in eine andauernde Beschleunigung desselben überging. Nun fielen einige Zeit die Tropfen in Intervallen von etwa 8 Sekunden, um schließlich wieder zu dem früheren Verhalten zurückzukehren.

Bei der Katze ergab sich regelmäßig ein anders Resultat (Abb. 3).

Im Anfange der Reizung des Halssympathicus erfolgte zunächst eine erhebliche Beschleunigung der Tropfenfolge. Auf diese folgte

eine längere Pause, nach deren Ablauf der Tropfenfall neuerlich aber mit weit geringerer Frequenz einsetzte. Auch dieser Zustand blieb einige Zeit erhalten. Die Pause konnte jederzeit durch leichte Erhöhung des Druckes in der Hinterkammer (etwa um 10 mm Wasser) beendet werden, worauf sich eine erhöhte Tropffrequenz einstellte.

Wie soll man nun diese Erscheinungen und wie den Unterschied bei Kaninchen und Katze erklären? In beiden Fällen kam es zu starker Pupillenerweiterung. Diese würde an sich eine Beschleunigung der Tropfenfolge erwarten lassen, denn es erscheint doch die Annahme berechtigt, daß der Pupillarabschluß um so leichter zu überwinden sein müßte, je mehr der Irisrand peripheren Teilen der Linsenvorderfläche anliegt. Das ist tatsächlich beim Kaninchen der Fall, bei der Katze aber nicht. Denn bei Letzterer wird im Gefolge der Sympathicusreizung die Wegsamkeit der Pupille geringer. Es mischen sich also offenbar Umstände in den Ablauf der Reizungsfolgen ein, welche, wie oben angedeutet, in den sonstigen Ereignissen im Augapfel nach der

Abb. 3.

Reizung begründet sein müssen. Und zwar muß das beim Kaninchen ebenso wie bei der Katze der Fall sein, nur machen sich dieselben in beiden Fällen nach verschiedener Richtung hin geltend.

Im Auge des Kaninchens hat man bei Reizung des peripheren Sympathicusendes am Halse neben der Pupillenerweiterung eine Verengerung der Netzhautgefäße und ein Sinken des intraocularen Druckes festgestellt¹⁾. Bezüglich der Gefäße der übrigen Augenhäute ist nichts Sicheres bekannt, doch darf wohl angenommen werden, daß sich dieselben den Netzhautgefäßen entsprechend verhalten. Sicher ist das aber nicht. Die Senkung des Augendruckes schließt sich der Sympathicusreizung ebenso unmittelbar an, wie die Pupillenerweiterung. Man wird erwarten dürfen, daß es dabei zunächst zu einem Druckgefälle im Auge in der Richtung vom vorderen zum hinteren Augapfel kommen wird. Dieses könnte zu einer anfänglichen, wenn auch geringen Vertiefung

¹⁾ Nähere Angaben hierüber und Literatur findet man bei: R. H. Kahn, Über Beeinflussung der Gefäßweite in der Netzhaut, *Zentralbl. f. Physiol.* **18**, Nr. 6, S. 153. 1904. — R. H. Kahn, Über die Beeinflussung des Augendruckes usw. *Zentralbl. f. Physiol.* **20**, Nr. 2, S. 33. 1907. — K. Wessely, Experimentelle Untersuchungen über den Augendruck. Wiesbaden 1908.

der Vorderkammer durch Zurückweichen ihrer Hinterwand führen, und damit zu der in unseren Versuchen tatsächlich zu beobachtenden Verzögerung des Abflusses aus derselben kurz nach Beginn der Nervenreizung. Geringe Zeit später macht sich dann die Druckherabsetzung gemeinsam mit der eingetretenen Pupillenerweiterung als Lockerung des Pupillarabschlusses, also vorübergehende Vermehrung der Tropfenzahl geltend.

Bei der Katze liegen die Verhältnisse anders. Hier verursacht nämlich die Reizung des Halssympathicus keine Verengerung, sondern eine Erweiterung der Netzhautgefäße und kein Sinken, sondern eine mindestens im ersten Teile der Reizung anhaltende bedeutende Steigerung des Augendruckes, welche individuell oder sonstwie verschieden rascher oder langsamer zurückgeht, um in manchen Fällen einer wenn auch sehr geringen später einsetzenden Verminderung Platz zu machen. Eine solche Drucksteigerung mit ihrem von hinten nach vorne gerichteten Druckgefälle wird den Pupillarverschluß dichter machen. Allerdings nicht in vollem Ausmaße, denn die Pupillenerweiterung arbeitet dagegen. Aber im Anfang kann es dabei wohl zu einer Verkleinerung des Volumens der Vorderkammer und damit zum Auspressen einer gewissen Flüssigkeitsmenge kommen. Dementsprechend findet man tatsächlich bei der Katze im Anfange der Sympathicusreizung eine kurzdauernde Vermehrung der Tropfenfolge. Sodann aber wirkt der dichtere Pupillarverschluß, indem eine stärkere von hinten nach vorne gerichtete Komponente desselben die durch Pupillenerweiterung verminderte umgekehrt gerichtete übertrifft. Es kommt tatsächlich zu einer Pause und sodann zu einer langsam vorübergehenden Verminderung der Tropfenfolge.

Dies scheint mir die einfachste Erklärung der besonderen und bei Kaninchen und Katze verschiedenen Effekte der Sympathicusreizung auf die Wegsamkeit der Pupille zu sein. Jedenfalls liegen die Verhältnisse kompliziert, vielleicht noch verwickelter als es eben angenommen wurde. Sie zeigen aber, daß dem physiologischen Pupillarabschlusse bezüglich einer Flüssigkeitsströmung zwischen den Augenkammern — falls eine solche besteht — unstreitig eine wohl nicht geringe Bedeutung zukommen muß. Derartige Versuche am menschlichen Auge anzustellen, dürfte wohl niemals Gelegenheit sein. Indessen darf man annehmen, daß Durchspülungen der Pupille des Affen Auges Resultate erbringen werden, welche man mit Berechtigung auf das Verhalten des menschlichen Auges wird beziehen dürfen.

Zusammenfassung.

Durchspülungsversuche an der Pupille des Kaninchens und der Katze erweisen das Bestehen eines physiologischen Pupillarabschlusses.

Die Pupille zeigt sich nach Durchschneidung des Sympathicus am Halse beim Kaninchen für die Durchströmung aus der hinteren Augenkammer bis zu einem Drucke von 30 mm Ringerscher Lösung, bei der Katze bis zu 50 mm derselben dicht.

Reizung des Sympathicus am Halse bewirkt eine Veränderung der Festigkeit des Verschlusses in dem Sinne, daß derselbe beim Kaninchen lockerer, bei der Katze fester wird. — Diese Veränderungen stellen eine kombinierte Wirkung der Pupillenerweiterung und der bei den beiden Tierarten entgegengesetzten Änderung des intraocularen Druckes dar.