

Zeitschrift: Bulletin der Schweizerischen Akademie der Medizinischen Wissenschaften = Bulletin de l'Académie suisse des sciences médicales = Bollettino dell' Accademia svizzera delle scienze mediche

Herausgeber: Schweizerische Akademie der Medizinischen Wissenschaften

Band: 6 (1950)

Heft: 5-6

Artikel: Neue Gesichtspunkte in der Behandlung des Glaukomproblems

Autor: Goldmann, H.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-309063>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 30.01.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Neue Gesichtspunkte in der Behandlung des Glaukomproblems

Von H. Goldmann

Ich weiß nicht, wie weit Ihnen die Problematik des Glaukoms bekannt ist. Bevor ich auf mein eigentliches Thema zu sprechen komme, muß ich Ihnen davon etwas erzählen. Unter Glaukom verstehen wir eine Mannigfaltigkeit von Augenerkrankungen, die, sich selbst überlassen, in kürzerer oder längerer Zeit zur Erblindung führen. Dabei verfällt das Gesichtsfeld in sehr charakteristischer Weise, und es tritt eine besondere Sehnervenatrophie, die glaukomatische Exkavation der Papille, auf. In der überwiegenden Mehrzahl der Fälle ist dieser Krankheitsverlauf mit einer Augendrucksteigerung verknüpft. Aber es gibt Fälle mit dem charakteristischen Papillenbefund und dem typischen Gesichtsfeldverfall ohne erhöhten Augendruck. Oft verfällt auch bei mäßiger Drucksteigerung das Gesichtsfeld rapid, während es in einem anderen Fall bei erheblich erhöhtem Druck lange normal bleibt. So steht schon zu Beginn unseres Problems die Frage: Ist die Augendrucksteigerung die Ursache oder nur eine überaus häufige Begleiterscheinung des Glaukoms? Für heute aber wollen wir annehmen, was die meisten Autoren tun, daß die Drucksteigerung die Ursache aller glaukomatösen Augenschädigungen sei. Dann stellt sich von neuem die Frage nach dem Mechanismus dieser Drucksteigerung, noch früher aber die Grundfrage, wie der normale Augendruck zustande kommt. Alle sind sich darüber einig, daß der Augendruck der Druck ist, unter dem das Kammerwasser steht und der mit Entstehung und Verschwinden des Kammerwassers verbunden ist. Aber hier scheiden sich bereits die Geister: Die einen sagten, das Kammerwasser ist Gewebssaft, die Vorderkammer eine große Gewebsspalte; das Kammerwasser steht in einem einfachen Diffusionsgleichgewicht mit dem Blute; osmotische und hämodynamische Kräfte regeln den Augendruck. Die anderen postulierten eine Bildung des Kammerwassers im Ciliarkörperepithel, eine Strömung des Kammerwassers durch die Pupille in die Vorderkammer und einen Abfluß des Kammerwassers im Winkel der vorderen Augenkammer durch das Filzwerk des Trabeculum corneosclerale in den Schlemmschen Kanal. Die ersten erklärten das Glaukom als eine vegetative Gefäßstörung, die zweiten als

eine Abflußbehinderung im Kammerwinkel. Die Schwierigkeiten werden durch die Tatsache erhöht, daß anatomisch die Säugetieraugen und chemisch das Säugetierkammerwasser Abweichungen von den menschlichen Verhältnissen zeigen.

Diese kurzen Ausführungen geben Ihnen den Hintergrund, vor dem ich Ihnen kurz von eigenen Untersuchungen und ihren vorläufigen Ergebnissen berichten möchte. Während des Krieges fand zuerst *Ascher* in Amerika, dann von ihm unabhängig ich selbst bei Menschen die Kammerwasservenen (Abb. 1). Man sieht in der Episclera besonders häufig nasal venöse Gefäße, die am Rande Blut und axial eine farblose Flüssigkeit enthalten. Verfolgt man diese Gefäße entgegen der Stromrichtung, so sieht man oft, daß die farblose Flüssigkeit einem Gefäß entstammt, das überhaupt nur solche Flüssigkeit führt und wenige Millimeter vom Hornhautrand in die Scleratiefe geht. Druck auf das Auge läßt den glasklaren Faden breiter werden, Hyperämie läßt ihn verschwinden. Man kann jahrelang das gleiche Gefäß mit der glasklaren Flüssigkeit beim gleichen Menschen beobachten. Wenn man bei jemandem, in dessen Episclera sich ein Stück völlig blutfreien Gefäßes findet, Fluorescein intravenös injiziert, so fluorescieren alle bluthaltigen Gefäße, das blutfreie Gefäßstück aber nicht. Füllt man eine Vorderkammer mit Tuschelösung, so erscheint diese in den Gefäßen, die vorher die glasklaren Lamellen zeigten. Es handelt sich also bei der farblosen Flüssigkeit nicht um Blutplasma, sondern um Kammerwasser. Die Lage der Gefäße und die Tatsache, daß der Schlemmsche Kanal beim normalen Menschen blutfrei ist, spricht dafür, daß es sich um Abflußgefäße des Schlemmschen Kanals handelt. Es fließt also beim Menschen beständig Kammerwasser in die episcleralen Venen ab und gesellt sich in ihnen dem Blute in laminärer Strömung zu. Damit ist zunächst die Frage; Durchfluß durch die Kammer oder rein diffusibler Austausch? für den Menschen entschieden. Zugleich ist aber gesagt, daß der Abfluß aus der vorderen Augenkammer nach den Gesetzen laminärer Strömung erfolgt. Damit haben wir aber sehr viel für die Behandlung des Augendruckproblems beim Menschen gewonnen.

In einem Gebilde, in dem laminäre Strömung herrscht, gilt das Poiseuillesche Gesetz: $\frac{Q}{T} = \left[\frac{r^4 \pi}{8 \eta L} \right] \cdot P$. Darin ist $\frac{Q}{T}$ das Volumen, das pro Zeiteinheit durch ein Rohr vom Radius r fließt; L die Rohrlänge und η der Viskositätskoeffizient oder der spezifische innere Flüssigkeitswiderstand, und schließlich P das Druckgefälle im betrachteten Rohrstück. Diese Formel sagt, so wie sie ist, zunächst nicht viel. Sie wird lebendig, wenn wir sie mit dem Ohmschen Gesetz für einen Draht ver-

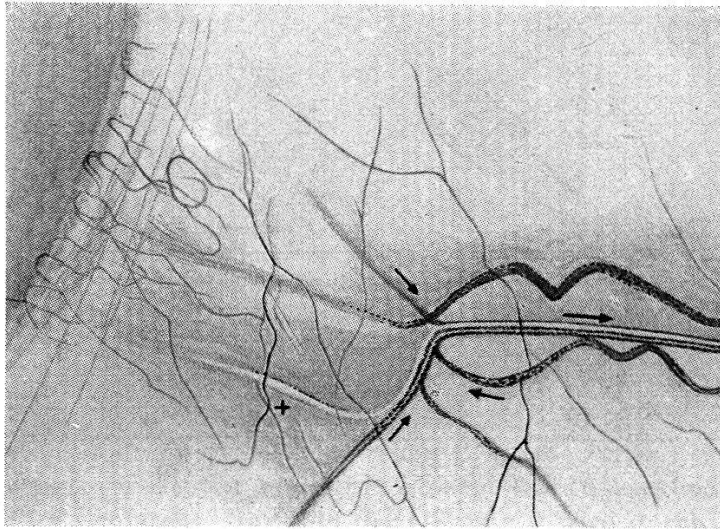


Abb. 1. Kammerwasservenen.

gleichem: $A = \frac{r^2 \pi}{\omega \cdot L} \cdot V$. Darin ist A die Amperezahl, d. h. Elektrizitätsmenge pro Sekunde, r der Drahtquerschnitt, L die Drahtlänge, ω der spezifische Widerstand und V das Potentialgefälle. Sie sehen die große formale Ähnlichkeit der beiden Formeln. Da wir in der Elektrizitätslehre den reziproken Wert des eingeklammerten Ausdrucks, der für ein gegebenes Leitersystem konstant ist, als Widerstand R bezeichnen, so wollen wir dasselbe für den entsprechenden Ausdruck des Poiseuilleschen Gesetzes tun und erhalten das Minutenvolumen $M = \frac{Q}{T} = \frac{P}{W}$ entsprechend der allgemeinen Form des Ohmschen Gesetze: $A = \frac{V}{R}$.

Die Formel sagt aus, daß wir durch Bestimmung von zwei Größen das Verhalten eines Strömungssystems charakterisieren können, in dem das Poiseuillesche Gesetz gilt. Dabei sind mit genügender Genauigkeit die gleichen Summationsgesetze gültig wie für das Ohmsche Gesetz, wenn verschiedene Querschnitte der Strombahn aufeinander folgen.

Kehren wir nach diesem Exkurs zum Auge zurück. Wir wissen, es existiert eine Strömung durch die Vorderkammer in die episcleralen Venen. Diese ist charakterisiert durch Druckgefälle, Minutenvolumen und Widerstand. Das Glaukomproblem, soweit es die Augendrucksteigerung betrifft, kann nun sehr einfach formuliert werden: Tritt bei einem gegebenen Glaukomfall die Augendrucksteigerung auf, weil das Minutenvolumen zugenommen hat oder weil der Widerstand größer geworden ist? Das Minutenvolumen kann nur zunehmen, wenn aus vaskulären oder sekretorischen Gründen mehr Flüssigkeit ins Auge hineingepumpt wird. Der Widerstand kann nur an einer Stelle ansteigen, nämlich beim Übergang von Vorderkammer zu den episcleralen Gefäßen, sei es im Trabeculum corneosclerale *vor* oder in den Venen *nach*

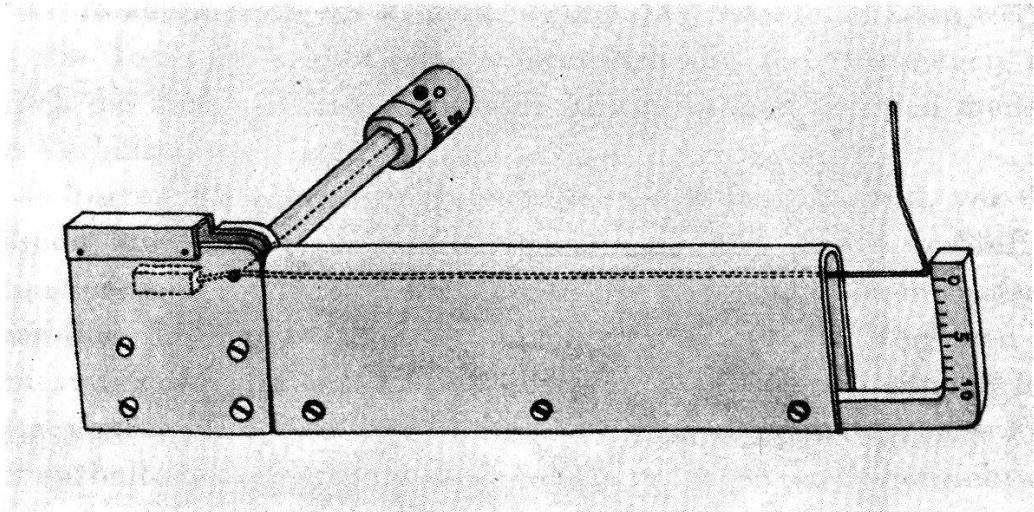


Abb. 2.

dem Schlemmschen Kanal. Unsere Aufgabe ist also die Bestimmung des Druckgefälles und des Minutenvolumens. Diese Aufgabe haben wir zu lösen versucht. Man kann zunächst zeigen, daß das Druckgefälle mit genügender Annäherung gleich der Differenz zwischen Augendruck und Druck in den episcleralen lamellären Venen zu setzen ist. Wir nennen dieses Druckgefälle *Abflußdruck* der Vorderkammer. Der Augendruck wird gemessen mittels der gebräuchlichen Tonometer, der Druck in den lamellären Gefäßen mit Hilfe einer kleinen Federwaage (Abb. 2) nach Vereinigung der Kammerwasservene mit einem episcleralen Blutgefäß. Der Venendruck beträgt ca. 10–11 Hg, der normale Augendruck etwa 16–18 Hg, so daß der Abflußdruck normalerweise ca. 5–8 Hg beträgt.

Die Bestimmung des Minutenvolumens wurde nach folgender Überlegung vorgenommen: Injiziert man ins Blut eine fluoreszierende Substanz, die aus der Vorderkammer viel langsamer durch Diffusion als durch Abfluß entfernt wird, so zeigt die mathematische Analyse dieses Vorgangs, daß er das prozentuelle Minutenvolumen des Vorderkammerdurchflusses zu ermitteln gestattet, wenn man die Konzentrationsänderung der Substanz im Blut und im Kammerwasser verfolgen kann. Als eine solche Substanz hat sich Fluorescein-Natrium bewährt. Sie hat nur die unangenehme Eigenschaft, vom Bluteiweiß z. T. adsorbiert zu werden. Man muß also den diffusiblen Anteil des Stoffes im Blut bestimmen, was wir durch eine besonders rasche Mikroultrafiltration erreichten. In der menschlichen Vorderkammer bestimmen wir die Änderung des Fluorescingehaltes durch ein besonderes Spaltlampenfluorometer (Abb. 3), das wir konstruiert haben und dessen Prinzip ich Ihnen hier zeige.

Schließlich besitzen wir ein Instrument, das uns erlaubt, einen photographischen Querschnitt durch die menschliche Vorderkammer herzustellen (Abb. 4). Eine graphische Integration ergibt uns daraus das Vor-

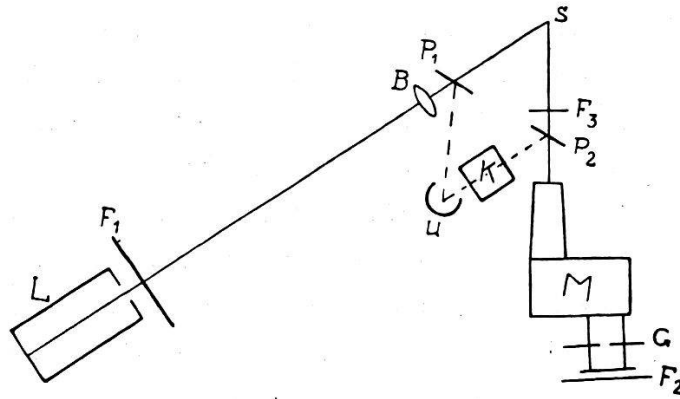


Abb. 3. L Lampe mit Quarzkondensator und Spalt. F_1 Violettfilter. B Quarzbeleuchtungslinse, welche bei s durch das Glasplättchen P_1 gespiegelt in der Ulbricht-Kugel u ein Spaltbild erzeugt. u ist mit einer Fluoresceinfarbe ausgekleidet, so daß grün fluoreszierendes Licht entsteht. Das Bild der Öffnung u wird durch ein Plättchen P_2 in das aufrechte Mikroskop M gespiegelt, so daß es über dem Bild von s zu liegen scheint. F_2 ist ein Gelbfilter, das nur den Eintritt von Fluoreszenzlicht ins Auge gestattet. Bei K befindet sich ein Graukeil zur meßbaren Abstufung des u-Kugellichtes. Bei F_3 kann das Licht, das von s kommt, durch Filter abgeschwächt werden. Das Lichtbündel bei s wird in die Vorderkammer gelegt. Es entsteht dort eine optisch definierte Küvette. Die Fluoreszenz in dieser Küvette wird mit der Fluoreszenz in u verglichen.

derkammervolumen. Aus prozentualem Minutenvolumen und Vorderkammervolumen erhalten wir das Minutenvolumen der Vorderkammer in Kubikmillimetern.

Nun die Ergebnisse: Das prozentuale Minutenvolumen der menschlichen Vorderkammer beträgt im Mittel 1,1% des Vorderkammer-

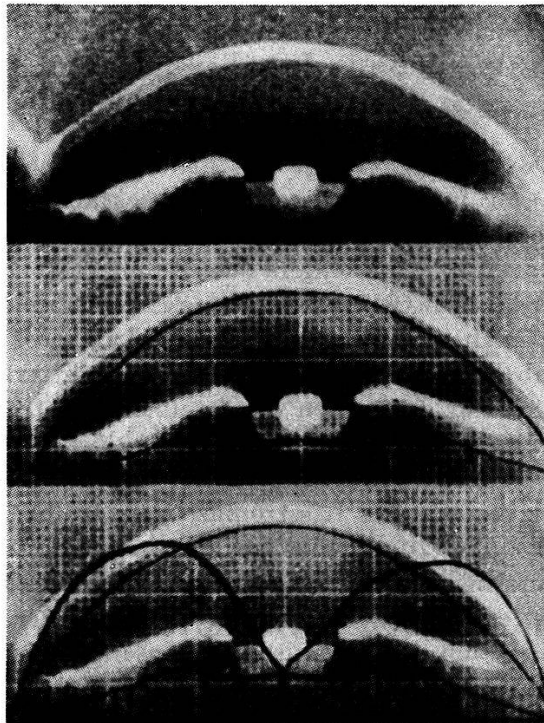


Abb. 4. Optischer Schnitt durch die vordere Augenkammer des Menschen: a gewöhnlich; b mit eingezeichnetem Millimeternetz bei 5facher Vergrößerung und Korrektur der optischen Verzeichnung; c zur Integration des Volumens aus b abgeleitete Kurven, welche planimetrisch die Volumenbestimmung der Vorderkammer gestattet.

inhaltes. Das Minutenvolumen im Mittel $1,9 \text{ mm}^3$ (9 normale Personen). Beim einfachen Glaukom ist das Minutenvolumen während der Drucksteigerung normal (bei 10 Personen $1,3\%$, $1,6 \text{ mm}^3/\text{min}$), dagegen ist der Abflußdruck auf das Mehrfache erhöht. Daraus folgt, daß in diesen Fällen der Widerstand im Kammerwinkel erhöht sein muß. Messen wir durch Kompression einer Kammerwasservene, dort, wo sie aus der Sclera auftaucht, den Druck, so erhalten wir den Druck im Schlemmschen Kanal, den wir bei den bisher untersuchten Fällen nicht erhöht gefunden haben. (Druckdifferenz zwischen Schlemmschem Kanal und Kammerwasservene $\leq 1 \text{ mm Hg.}$) Also muß der erhöhte Widerstand zwischen Vorderkammer und Schlemmschem Kanal liegen. Bei zwei Fällen von chronisch kongestivem Glaukom fanden wir eine deutliche Erhöhung des Minutenvolumens neben einer Erhöhung des Widerstandes.

Neben diesen Ergebnissen hat sich etwas sehr Interessantes gezeigt: Wenn die Fluorescein-Konzentration in der Vorderkammer ihr Maximum erreicht hat, ist sie nur ca. $1/10$ der gleichzeitigen Blutkonzentration an diffusilem Fluorescein. Der Flüssigkeitsübertritt aus dem Blute in das Kammerwasser kann also nicht eine einfache Filtration oder Ultrafiltration sein.

Ich habe Ihnen in kurzen Umrissen gezeigt, wie es nun möglich geworden ist, in jedem einzelnen Fall von Glaukom die formale Genese der Drucksteigerung zu analysieren und damit wenigstens diese Seite des Glaukomproblems aus dem Bereiche des Hypothetischen in das Gebiet der realen Untersuchung hinüberzuführen.

Diskussion:

1. *Lindner* (Wien): Die wichtige Frage des Kammerwasserabflusses ist durch die Untersuchungen von *Ascher* und *Goldmann* endlich geklärt worden. Allerdings haben wir Kliniker nie an einem solchen konstanten Abfluß gezweifelt. Neben vielen klinischen Beobachtungen waren zwei besonders beweisend: rostende Eisensplitter richten ein Auge mit Sicherheit zugrunde, wenn sie im Glaskörperraum oder in der Linse liegen. Befindet sich jedoch ein solcher Splitter in der Vorderkammer, so bleibt die Funktion der Netzhaut erhalten, obwohl man die Verrostung des Splitters in der Vorderkammer sehen kann. Dies läßt sich nur durch den unmittelbaren Abtransport der schädlichen Eisensalzlösungen durch den Schlemmschen Kanal erklären.

Eine sehr beweisende Einzelbeobachtung stammte von *Ulbrich**. Sie bezog sich auf einen Fall mit teilweiser Aplasie des Irisstromas. Hier wölbte sich das Pigmentblatt der Iris nach und nach vor, plötzlich fiel es zurück, um sich dann wieder vorzuwölben. Dieses Spiel bestand dauernd und konnte nur im Sinne eines fortwährenden Flüssigkeitsstromes erklärt werden. Wenn nämlich der Druck in der Hinterkammer infolge Kammerwasserneubildung den physiologischen Linsenpupillenabschluß überwindet, fällt das Irisblatt zurück, um sich dann allmählich wieder vorzuwölben. Ferner hat *Lauber* schon vor dem ersten Weltkrieg nachgewiesen, daß das Blut der vorderen Bulbusvenen ärmer an Blutkörperchen ist als das übrige Körperblut, was nur durch Verdünnung des Blutes mit abfließendem Kammerwasser erklärt werden konnte. Allerdings waren unsere Vorstellungen über die Art des Kammerwasserabflusses nicht richtig. *Friedenwald* hat nämlich seinerzeit mitgeteilt, daß sich Arteriolen nachweisen

lassen, die in den Schlemmschen Kanal münden, aber kein Blut führen. Viele hatten daher die Vorstellung, daß das im Schlemmschen Kanalsystem fließende Blutserum durch die kolloidosmotische Druckdifferenz absaugend auf das Kammerwasser wirke. Dieser besondere Befund blieb jedoch bis heute unbestätigt.

2. *Walther Schwarzacher* (Wien): Könnte gegebenenfalls in den beobachteten kleinen Blutgefäßen auch eine turbulente Strömung entstehen?

Goldmann (Schlußwort): Ich möchte Herrn Prof. *Lindner* für sein interessantes Votum danken. Er war übrigens der erste, der eine brauchbare Meßmethode des Fluoresceingehaltes der Vorderkammer des Menschen entwickelte. Soviel ich weiß hat noch vor *Lauber Uribe Troncoso* auf die größere Verdünnung des Blutes episkleraler Gefäße hingewiesen. Wir haben die Friedenwaldsche Hypothese statistisch untersucht und bisher keine Anhaltspunkte für die Wirksamkeit osmotisch absaugender Kräfte im Schlemmschen Kanal finden können.

Herrn Prof. *Schwarzacher* möchte ich antworten, daß man durch zarte Berührung der laminären Venen oder durch plötzliches Aufheben eines auf die Cornea ausgeübten Druckes kurzdauernde Turbulenz in den laminären Venen erzeugen kann. Man kann sie im ersten Falle zur Messung der Strömungsgeschwindigkeit benützen.

Zusammenfassung

Die Entdeckung der Kammerwasservenen hat bewiesen, daß ein ständiger Durchfluß von Kammerwasser durch die vordere Augenkammer erfolgt und ein Abfluß durch den Schlemmschen Kanal. Für diesen Durchfluß muß das Poiseuillesche Gesetz laminärer Strömungen gelten. Eine Umformung dieses Gesetzes gibt ihm die Form des Ohmschen Gesetzes: $\text{Minutenvolumen} = \text{Abflußdruck} : \text{Widerstand}$. Ermittelt man den Abflußdruck und das Minutenvolumen, so sind alle Größen gegeben, die in dieser Gleichung vorkommen. Wir haben Methoden entwickelt, diese beiden Größen beim Menschen zu messen. Es zeigt sich, daß das normale Minutenvolumen der menschlichen Vorderkammer rund $2 \text{ mm}^3/\text{min}$ ist. Der Abflußdruck ist in erster Annäherung gleich der Differenz zwischen Augendruck und Druck in der Vene der Bulbusoberfläche, in welcher sich eine Kammerwasservene ergießt. Er beträgt beim Normalen einige Millimeter Quecksilber. Beim Glaukom ist der Abflußdruck erhöht, beim einfachen Glaukom haben die bisherigen Messungen ergeben, daß das Minutenvolumen normal ist, also liegt beim einfachen Glaukom eine Erhöhung des Widerstandes in den Abflüßwegen der vorderen Augenkammer, und zwar im trabeculum corneosclerale vor. Bei den bisher untersuchten Fällen von kongestivem chronischem Glaukom ergibt sich sowohl eine Erhöhung des Widerstandes als auch des Minutenvolumens, so daß in diesen Fällen ein komplexer Mechanismus der Drucksteigerung angenommen werden muß.

Résumé

La découverte des veines aqueuses a prouvé qu'il existe un courant constant de l'humeur à travers la chambre antérieure et un écoulement

par le canal de Schlemm. Pour des courants pareils, la loi de Poiseuille concernant les courants laminaires est valable. Une transformation de cette loi lui donne la forme de la loi d'Ohm. L'écoulement du liquide par minute est égale à la pression d'écoulement divisé par la résistance. Si l'on connaît la pression d'écoulement et l'écoulement par minute, toutes les quantités de l'équation sont données. Nous avons développé des méthodes pour mesurer ces deux quantités chez l'homme. Il ressort que le volume du liquide qui s'écoule par minute de la chambre antérieure de l'homme normal s'élève à 2 cm³ par minute à peu près. La pression d'écoulement est en première approximation égale à la différence entre la tension de l'œil et la pression dans la veine de la surface du bulbe dans laquelle s'écoule une veine aqueuse. Il monte chez le normal à quelques millimètres de mercure. Dans le glaucome, la tension de l'écoulement est élevée, dans des cas de glaucome simple, les mesures faites jusqu'à présent ont démontrée que l'écoulement par minute est normal. La pression d'écoulement étant élevée, c'est la résistance dans les voies d'écoulement qui doit être élevée chez les cas du glaucome simple. Une analyse plus détaillée montre que la résistance élevée est située dans le trabeculum corneosclerale. Quelques cas de glaucome congestif chronique ont été examinés jusqu'à présent. La résistance et le volume par minute étaient élevés. Alors, dans ces cas, le mécanisme de l'élévation de la tension est complexe.

Riassunto

La scoperta delle vene acquose ha dimostrato l'esistenza di una corrente continua di acqueo, attraverso la camera anteriore con deflusso nel canale di Schlemm. Per questa corrente è valevole la legge di Poiseuille sulle correnti laminarie. Modificando questa legge, le si conferisce la forma di quella di Ohm: il volume-minuto è uguale alla pressione di deflusso diviso per la resistenza. Determinando la pressione di deflusso e il minuto-volume, si conosceranno così tutti i valori di questa equazione. Noi abbiamo sviluppati dei metodi atti a determinare questi due valori nell'uomo. Il valore normale del volume-minuto nella camera anteriore è di 2 mm³/min. La pressione di deflusso è approssimativamente uguale alla differenza tra la pressione endoculare e la pressione nella vena della superficie del globo, nella quale sbocca una vena dell'umor acqueo. La pressione di deflusso è normalmente di qualche millimetro di mercurio.

Nel glaucoma la pressione di deflusso è aumentata, nel glaucoma semplice, la determinazione avendo dato valori normali per il volume-minuto, si deve ammettere che esiste un'aumento della resistenza nei

canali di deflusso della camera anteriore. Una analisi più specializzata dimostra che la resistenza elevata si trova nel trabecolo corneo-sclerale. Nei casi di glaucoma congestivo cronico esaminati finora, si è constatato non solo un'aumento della resistenza, ma anche del volume-minuto, cosicchè in questi casi si deve postulare un meccanismo complesso di aumento della pressione endoculare.

Summary

The discovery of the aqueous veins has proved that there is a continuous flow of aqueous through the anterior chamber of the eye and a bulk-out-flow through the canal of Schlemm. This flow must be determined by Poiseuille's law for a laminar current. A transformation of this law has the form of Ohm's law: out-flow volume per minute equals the out-flow pressure divided through the out-flow resistance. If one succeeds to measure the out-flow pressure and the volume per minute, all values of this equation are known. We have developed methodes to measure these two values in normal and glaucomatous human eyes. The normal volume per minute of the human anterior chamber is approximately $2 \text{ cm}^3/\text{min}$ the out-flow pressure is in the first approximation the difference between the tension of the eye and the pressure in the vein of the eye surface into which the aqueous vein discharges. It is some millimetre mercury in normal human beings. In glaucomatous eyes there is an increased out-flow pressure. In cases of simple glaucoma the volume per minute has been found normal according to the measurements hitherto made. Therefore, in these cases of simple glaucoma there existed only an increase of resistance of the out-flow ways of the anterior chamber. A more thorough analysis shows that it is the resistance of the trabeculum corneosclerale which is elevated. The cases of chronic congestive glaucoma hitherto examined showed an increase of the resistance and of the volume per minute. Therefore the mechanism of the elevation of tension in these cases is complex.