

**2. Workshop
Automatisierungstechnische
Verfahren für die Medizin vom
25. bis 26. Feb. 1999 in
Darmstadt**



**„Der Einsatz automatischer Meßverfahren zur Bestimmung
des intraokularen Druckes“**

B. Hechler
Fachgebiet Strömungslehre und Aerodynamik, TU Darmstadt, Darmstadt, Deutschland
E-Mail:b.hechler@aero.tu-darmstadt.de

J. Draeger
Universitätsaugenklinik Hamburg, Hamburg, Deutschland

ISBN: 318318317x
Pages: 5-6

Der Einsatz automatischer Meßverfahren zur Bestimmung des intraokularen Druckes

B. Hechler, J. Draeger

Fachgebiet Strömungslehre und Aerodynamik/ Technische Universität Darmstadt/ Flughafenstraße 19/ 64347 Griesheim
email: b.hechler@aero.tu-darmstadt.de

Universitätsaugenklinik Hamburg/ Martinstraße 52/ 20246 Hamburg

Einleitung

Das Auge wird durch den intraokularen Druck (IOP) in der für die optischen Abbildungen auf der Netzhaut geeigneten Form gehalten. Die Bulbushüllen besitzen allein nicht die dafür erforderliche Formstabilität. Die für die Formkonstanz erforderlichen Drücke betragen etwa 8-10 mmHg (Koster 1900 a). Liegen die Druckwerte darunter, verkürzt sich der Bulbus, auch kann sich die Hornhaut deformieren. Der Druck im Auge hängt von der Flüssigkeitsfüllung des Auges, insbesondere von der variablen Kammerwassermenge ab. Das Kammerwasser wird ständig durch Sekretion und Filtration aus dem Epithel des Ziliarkörper erneuert und fließt über das Trabekelwerk und den Schlemm'schen-Kanal in die episkleralen Venen wieder ab. Der Fluß beträgt etwa 2 μ l/min. Für die konstante Füllung des Auges müssen Zu- und Abfluß gleich sein. Dies kann wegen der Anbindung des Auges an den systemischen Kreislauf nicht immer gewährleistet werden, so daß Füllungsänderungen durchaus auftreten könnten. Diese dürfen aber nicht die optischen Eigenschaften des Auges verändern. Die Bulbushüllen müssen deswegen, wenn sie einmal in Form gebracht worden sind, sehr steif sein, so daß die Form des Auges auch bei variierenden Zu- und Abflußbedingungen konstant bleibt. Das bedeutet aber auch, daß schon kleine Volumenänderungen des Kammerwassers zu großen Druckänderungen im Auge führen.

Das Glaukom

Das Glaukom, auch grüner Star genannt, ist die Augenkrankheit, welche auch heute noch die häufigste Erblindungsursache ist. Etwa 2% der Bevölkerung, ab Mitte 40, sind davon befallen. Bei dieser Krankheit liegt eine pathologische Erhöhung des intraokularen Druckes (IOP) vor. Ist dieser Druck im Verhältnis zum Blutdruck innerhalb des kapillaren Gefäßnetzes im Auge zu hoch, kommt es zu einer schleichenden oder akuten Durchblutungsstörung der Netzhaut und damit zum Absterben der für die Sehfunktion so entscheidenden Nervenstruktur. Daher erscheint es als sehr wichtig, daß der regelmäßigen Bestimmung bzw. der Messung des Augeninnendruckes große Bedeutung zu kommt. Das Ziel ist eine frühzeitige Erkennung und Kontrolle des in-

traokularen Druckes, um eine irreversible Sehverschlechterung bzw. eine Erblindung zu vermeiden.

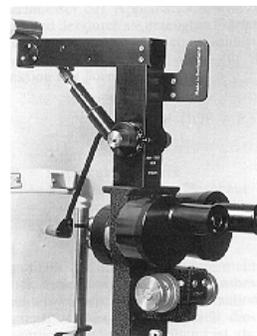
Tonometrie

Die Messung des Augeninnendruckes, die Tonometrie, ist eine anspruchsvolle meßtechnische Aufgabe, welche gerade in jüngster Zeit durch die Mikromechanik- und Elektronik neue Impulse erfahren hat. Dies trifft insbesondere auf das Gebiet der Selbsttonometrie zu.

Im Rahmen dieser Untersuchung kann nicht auf die vielfältigen Forschungen der Tonometrie eingegangen werden. Allerdings soll auf die beiden klassischen Verfahren, nämlich die Applanations-Tonometrie nach Goldmann, auf der fast alle heutigen, Verfahren basieren und auf das sogenannte NON-Contact-Verfahren eingegangen werden, weil dies, wie es scheint, auch für die Selbsttonometrie angewendet werden kann.

Applanationsverfahren nach Goldmann

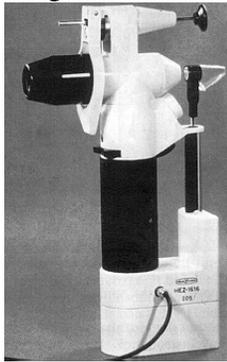
Im Jahre 1955 vereinte Goldmann das Webersche Prinzip (1877) der Applanationstonometrie mit konstanter Fläche mit der Bildteilung nach Roemer. Dabei ist es nun nicht mehr erforderlich, jeweils dem individuellen Augeninnendruck entsprechend unterschiedliche Flächen auszumessen, sondern es genügt der Versatz der Bildhälften um 3,06 mm. Wenn nun unter der Zunahme der Applanationskraft die beiden Innenseiten des Begrenzungsringes sich gerade berühren, kann der Druck aus der dafür erforderlichen Kraft berechnet werden. Das an der Spaltlampe montierte Goldmannsche Applanations-Tonometer eignet sich hervorragend für den Routinebetrieb in



Applanations-Tonometer nach Goldmann

der Praxis. Sein Nachteil der lageunabhängigkeit wird vom Handapplanations-tonometer nach Draeger (1965,1966) kompensiert, es arbeitet vollkommen lageunabhängig. Beide Geräte gelten heute als Standard für die klinische Prüfung neu entwickelter Tonometer.

Auf der Basis, dieser von Goldmann durchgeführten Forschungen, wurden in den letzten Jahren an der TUD umfangreiche Untersuchungen gestartet, welche zum Ziel hatten, Geräte für die Selbsttonometrie zu erstellen. Sie arbeiten alle nach dem Goldmann'schen Applanationsverfahren und wurden bei der MIR-, der deutschen D1.- und D2.- Mission erfolgreich eingesetzt, um das sogenannte Fluid-Shift während der Mikrogravitation zu untersuchen.



Handapplanations-tonometer nach Draeger

Anforderungen an automatische IOP-Messungen

Während der Standard-Augeninnendruckmessung an der Spaltlampe, applaniert der Arzt das anästhesierte Auge soweit, bis der nach Goldmann erreichte Applanationsdurchmesser von $d=3,06$ mm erreicht ist. Bei diesem Wert kann auf einer Skala der zugehörige IOP-Wert abgelesen werden.

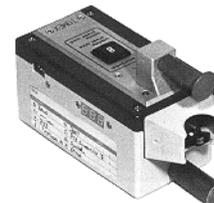
Beim automatischen Selbsttonometer, allerdings müssen diese, sehr einfach klingenden Abläufe voll automatisch von statten gehen. Im einzelnen sind folgende Ablauffunktionen zu bewerkstelligen:

- exakte Positionierung des Gerätes vor dem Auge**
- Verwendung von Stirn-und Wangenstütze um Meßfehler zu minimieren**
- Ausführung des Gerätes als Selbsttonometer um teure Besatzungszeit insbesondere bei der Weltraummission zu sparen**
- Erzeugung und Messung der Applanationskraft**
- Messung der applanierten Fläche**
- Berechnung des IOP mit Hilfe der gemessenen Parameter**
- Anzeige und Speicherung dieser Daten**

Die Positionierung des Gerätes vor dem Auge wird mit Hilfe eines optischen Positioniersystems durchgeführt. Die erforderliche Applanationskraft wird dem Meßprisma durch einen kleinen Gleichstrom-

motor zugeführt, wobei die erzeugte Kraft mit Hilfe einer Meßfeder durch ein rückwirkungsfreies, elektronisch-optisches Verfahren ermittelt wird. Für die Flächenmessung der Applanationsfläche kommt ebenfalls ein optisches Verfahren zur Anwendung, bei welchem das Verfahren der optischen Totalreflexion bei Kontakt der Cornea mit einem Meßprisma ausgenutzt wird.

Eine im Gerät integrierte Mikroprozessorschaltung sorgt für die Ablaufsteuerung, Anzeige und Auswertung der gemessenen Daten. Eine weitere zentrale Bedeutung kommt dem Mikrorechner darüber hinaus noch bei der Umsetzung des Imbert-Fickschen Gesetzes hinzu, da im Gegensatz zum Goldmann-Tonometer hier nicht der Arzt den Einfluß unterschiedlichen Tränenflüssigkeitsvolumina bestimmen kann, sondern auch hierfür müssen bestimmte mathematische Algorithmen ermittelt werden.



Selbst-Tonometer (DATRON)

Es ist also naheliegend, daß die meßtechnischen Anforderungen an ein Selbsttonometer von hoher Brisanz sind und kritisch beurteilt werden müssen. Beim Selbsttonometer wird aus Gründen der Fehlerminimierung und um sogenannte Ausreißer zu vermeiden das Goldmann'sche Verfahren insofern teilweise verlassen, daß nämlich hierbei eine Korrelation zwischen Applanationsfläche- und Applanationskraft im Bereich des von Goldmann exakt angegebenen Durchmesserbereiches von etwa $d=3,06$ mm bis $d=4$ mm berücksichtigt wird, sozusagen mit einem Kraftanstiegs-Gradienten in diesem Bereich gearbeitet wird.

Um den durch die Flächenbestimmung bedingten Fehler bei der IOP-Bestimmung zu verringern werden zur Zeit Untersuchungen darüber angestellt, wie zum Beispiel eine Applanations-tonometrie **ohne** exakte Flächenmessung realisiert werden kann. Einen wichtigen, erfolgversprechenden Ansatz haben Linnér und Mitarbeiter im Jahre 1987 dazu geliefert.

Literatur

Proceedings of the Norderney Symposium on SCIENTIFIC RESULTS OF THE GERMAN SPACELAB MISSION D-2

TONOMETRIE

Jörg Draeger, Kai Jessen, Ekkehart Rumberger
1993 Georg Thieme Verlag D-70469 Stuttgart
ISBN 3-13-110101-6 123456