

■ Vorsorge gegen den Grünen Star

Der Augeninnendruck dient als wichtiger Indikator, um krankhafte Veränderungen am Auge frühzeitig zu erkennen. Gemessen wird er meist auf überraschend primitive Weise.

Etwa eine Million Menschen leiden in Deutschland an einem Glaukom. Die Tendenz steigt aufgrund der zunehmenden Lebenserwartung. Durch diese Erkrankung des Sehnervs, oft auch als Grüner Star bezeichnet, schränkt sich das Gesichtsfeld des Betroffenen ein, im Extremfall erblindet er. Heilen lässt sich diese Erkrankung nicht, aber der Augenarzt kann ihr Fortschreiten drastisch verlangsamen oder gar aufhalten. Je früher er ein Glaukom erkennt, desto leichter lässt sich die weitere Entwicklung positiv beeinflussen. Als wichtigster Risikofaktor gilt ein erhöhter Augeninnendruck, den der Arzt mit einem Tonometer messen kann.

Der Innendruck geht auf das Kammerwasser zurück, eine klare Körperflüssigkeit, die das Auge hinter der Iris bildet und vorne, wo Hornhaut und Iris zusammentreffen, wieder abgibt. Aus dem Verhältnis von Produktions- und Abflussrate resultiert der Augeninnendruck, der bei gesunden Menschen bei 10 bis 21 mmHg^{*)} liegt. Der Wert schwankt sowohl im Tagesverlauf (um bis zu 5 mmHg) als auch von Mensch zu Mensch deutlich. Ab 25 mmHg gilt der Augeninnendruck als krankhaft erhöht, Glaukompatienten können sogar Werte von 35 bis 40 mmHg erreichen.

Bestimmen lässt sich der Augeninnendruck über die Verformung der Hornhaut. Das Verfahren geht auf den Augenarzt Hans Goldmann (1899–1991) zurück und heißt Applanations- oder Goldmann-Tonometrie. Faktisch handelt es sich bei diesem Gerät um eine Federwaage, deren Messkopf einen definierten Durchmesser von 3,06 Millimeter hat. Der Arzt drückt den Messkopf so stark gegen die Hornhaut des Patienten, dass sie in diesem Bereich plan wird. Den Durchmesser des Messkopfes hatte Goldmann empirisch ermittelt und so festgelegt, dass die Andruckkraft, die eine Masse mit einem Gramm Gewicht erzeugt, gerade einem Augenin-



Der Augeninnendruck lässt sich mithilfe eines Tonometers messen. Ein erhöhter Wert weist auf ein Glaukom („Grüner Star“) hin.

nendruck von einem Millimeter-Quecksilbersäule entspricht. Die Messgenauigkeit marktüblicher Geräte liegt bei 0,5 Millinewton.

Für die Messung tropft der Augenarzt dem Patienten ein lokales Betäubungsmittel mit einem Fluoreszenzfarbstoff ins Auge. Mithilfe des Farbstoffs kann der Arzt die Größe der Auflagefläche – und damit die Applanationskraft – leicht sicherstellen: In die Spitze des Tonometermesskopfes ist ein Prisma integriert, durch das der Arzt ein charakteristisches Bild der Iris sieht, wenn die Applanationsfläche die geforderten 3,06 Millimeter Durchmesser erreicht hat.

Routine erforderlich

Allerdings ist die Andruckkraft des Goldmann-Tonometers nur näherungsweise proportional zum Augeninnendruck, denn Elastizität, Dicke und Steifigkeit der Hornhaut variieren von Mensch zu Mensch. So ist die Hornhaut im Schnitt zwischen 520 und 540 Mikrometer dick, kann im Einzelfall aber zwischen 400 und 600 Mikrometern liegen. Auch Laseroperationen des Auges zur Korrektur einer Kurz- oder Weitsichtigkeit, wie sie sich zunehmender Beliebtheit erfreuen, wirken sich auf Applanationsmes-

sungen aus: Der Chirurg trägt dabei ja Teile der Hornhaut ab, um die Fehlsichtigkeit zu korrigieren. Anschließend Untersuchungen an Patienten haben gezeigt, dass der mit dem Goldmann-Tonometer gemessene Augeninnendruck dadurch scheinbar um 40 Prozent sinken kann. Denn die zum Applanieren der Hornhaut erforderliche Kraft setzt sich ja aus der Gegenkraft zum Augeninnendruck und der eigentlichen Kraft zum Deformieren der Hornhaut zusammen. Wenn letztere Kraft aber wegen der Laseroperation geringer ausfällt, die Hornhaut also eine inhärent geringere Steifigkeit hat, sinkt die Gesamtkraft, die erforderlich ist, um die Hornhaut plan zu drücken.

Ein Augenarzt muss die Krankengeschichte seines Patienten also genau kennen und auch einige handwerkliche Routine haben, um mit dem Goldmann-Tonometer zu aussagekräftigen Ergebnissen zu kommen. Dieses Problem umgeht eine Weiterentwicklung der Applanations-tonometrie, die sogenannte Dynamic-Contour-Tonometrie. Der Augenarzt setzt dabei einen konkaven Messkopf, der dem Krümmungsradius der Hornhaut nachempfunden ist, mit einer Andruckkraft, die einem Gramm Ge-

^{*)} Die Druckeinheit mmHg, Millimeter-Quecksilbersäule, ist in der Medizin weiterhin zulässig. 1 mmHg \approx 133,3 Pa.

wicht entspricht, auf die Hornhaut auf – verformt diese also nicht wie beim Goldmann-Tonometer (Abb. 1). Mit anderen Worten: Das Dynamic-Contour-Tonometer misst nur die Gegenkraft zum Augeninnendruck und nicht zusätzlich die Kraft zur Deformation der Hornhaut.

Zwischen Hornhaut und Messkopf bildet sich ein dünner Film aus Tränenflüssigkeit, der leichte Krümmungsunterschiede zwischen ihm und der Hornhaut ausgleichen kann. Integriert in den konkaven Messkopf ist ein piezoelektrischer Drucksensor. Über eine Feedback-Schleife kontrolliert der Augenarzt die konstante Andruckstärke des Tonometers. Eine örtliche Betäubung ist dadurch nicht zwingend erforderlich – Kontaktlinsen erzeugen ein ähnliches Gefühl.

Diagnose aus dem Auge?

Mit einem solchen Tonometer lassen sich sogar die Schwankungen des Augeninnendrucks in Folge des Herzschlags erfassen. In der Medizintechnik gibt es Bestrebungen, solche Dynamic-Contour-Tonometer auch für weitere Diagnosen einzusetzen. Zum Beispiel macht sich ein drohender Hirnschlag dadurch bemerkbar, dass eine der beiden Halsarterien verstopft ist. Eine solche Blockade lässt sich prinzipiell über die Messung des Augeninnendrucks mit einem Dynamic-Contour-Tonometer erkennen, der Nachweis der diagnos-

tischen Eignung steht allerdings noch aus.

Völlig berührungslos arbeitet das dritte Tonometrieverfahren, das deshalb neben Luftstrahl- auch Non-Contact-Tonometrie heißt. An die Stelle des zylindrischen Messkopfes tritt dabei ein gerichteter Luftstrahl, der für Sekundenbruchteile das Auge trifft. Die menschlichen Nerven sind zu träge, um diesen kurzen Impuls als Reiz ans Gehirn zu melden, sodass der Patient von der Messung nichts spürt. Bei der berührungslosen Tonometrie wechselt die Hornhaut über der Pupille ihre Form nicht nur von konvex zu plan wie bei der Goldmann-Tonometrie, sondern sogar zu konkav. Die Druckkraft des Luftstrahls nimmt dabei linear zu, bis das Tonometer die konkave Form optisch detektieren kann. Das Gerät stellt den Luftstrahl ab und die Hornhaut springt wieder in ihre ursprüngliche Form zurück. Die optische Kontrolle erfolgt im Infraroten mit einer speziell angeordneten Fotodiode und einer Fotozelle: Ist die Reflexion der Infrarotstrahlung maximal, ist die Hornhaut plan.

Die Stärke dieses tonometrischen Verfahrens ist die berührungslose Messung: Während Applanations- oder Dynamic-Contour-Tonometrie eine augenärztliche Tätigkeit darstellen, dürfen beispielsweise auch Augenoptiker kontaktlose Tonometer bedienen. In den USA gibt es sogar bereits Geräte für die Selbstuntersuchung auf dem Markt. Allerdings ist die Aussagekraft der kontaktlosen Messungen begrenzt. Denn sie sind oft ungenau, was an der Erfahrung des Bedieners und der Schwierigkeit liegt, den feinen Luftstrahl, der nur wenige Millimeter dick ist, exakt auf der Hornhaut auszurichten. Zumal man verschiedene kontaktlose Tonometer während der Messung frei in der Hand halten kann.

Michael Vogel

Anton Wirthlin von der Ziemer Group AG, Port (Schweiz), danke ich für wertvolle Hinweise.

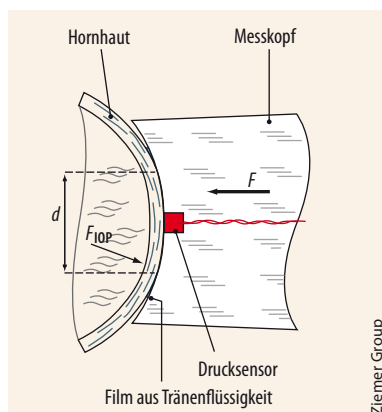


Abb. 1 Beim Dynamic-Contour-Tonometer haben Messkopf und Hornhaut eine ähnliche Krümmung, Tränenflüssigkeit gleicht die Unterschiede aus. Für die Messung des Augeninnendrucks (Gegenkraft F_{IOP} auf Fläche mit Durchmesser d) dient ein integrierter Piezosensor (rot).

Michael Vogel, vogel_m@gmx.de