

# SPECIAL

## Glaukom

### Neuer Teil des Glaukom-Managements

Biomechanik beim Glaukom – Ein Update

**DRESDEN** Biomechanische Veränderungen treten beim Glaukom am Trabekelmaschenwerk, am Sehnervenkopf und auch an der Hornhaut auf.

**Trabekelmaschenwerk:** Ein erhöhter intraokularer Druck (IOD) stellt einen wesentlichen Risikofaktor beim Glaukom dar, der als Folge von pathologischen Veränderungen im Trabekelmaschenwerk und einem erhöhten Abflusswiderstand des Kammerwassers zustande kommt. Der Abflusswiderstand des Kammerwassers wird durch die morphologisch-biomechanischen Wechselwirkungen der Endothelzellen des Schlemm-Kanals und der Trabekelmaschenwerkzellen geregelt. Je nach Höhe des intraokularen Druckes (mechanische Spannung) können diese Zellen, ähnlich wie Mikroventile, durch Umbau ihres Zytoskeletts ihre Form verändern, entweder schrumpfen oder expandieren. **Beim Glaukom weist das Zytoskelett dieser Zellen eine erhöhte Steifigkeit auf.** Neueste Untersuchungen konnten anhand biomechanischer Messungen an diesen Zellen einen 20-fach höheren Elastizitätsmodul nachweisen. Damit lässt sich der Abflusswiderstand nicht so stark beziehungsweise nicht so schnell regeln. Ein Ansatz, die mechanische Flexibilität dieser Zellen wieder herzustellen, besteht in der Gabe von Rho-Kinase-Protein-Inhibitoren. Dies könnte ein Kandidat für die Glaukomtherapie der Zukunft sein.

**Biomechanik am Sehnervenkopf:** Am Sehnervenkopf und besonders auf der Ebene der Lamina cribrosa (LC) sind die Axone der Ganglienzellen besonders gefährdet, weil hier zwei Drucksysteme (der intraokulare Druck und der Liquordruck) zusammentreffen und die resultierende translaminaire Druckdifferenz Kräfte und Deformationen verursacht, wodurch eine Kaskade von Ereignissen ausgelöst wird, die zur Schädigung der Ganglienzellen führen (Abb. 1).

Nicht der intraokulare Druck alleine verursacht die Schädigung. Die Wirkung des intraokularen Druckes im Gewebe wird über die mechanische Spannung umgesetzt, die sich natürlich aus dem IOD und der Dicke und dem Krümmungsradius entsprechend dem Zusammenhang (mechanische Spannung =  $\text{IOD} \times \text{Krümmungsradius} / 2 \times \text{Dicke}$ ) berechnet. Die entsprechende Dehnung resultiert aus der Spannung geteilt durch den gewebespezifischen Elastizitätsmodul, das heißt, bei einem geringen Elastizitätsmodul erhält man bei gleicher Spannung eine größere Dehnung. Die LC bildet biomechanisch die schwächste Stelle in der korneosklera-

len Hülle und ist dadurch besonders verletzlich. Um dies zu verhindern, ist die LC mit einer zirkulären Faserstruktur in der Sklera am Sehnerv umgeben, die eine Übertragung von mechanischen Kräften von der Sklera auf die LC verhindert. Damit wird die LC vor einer zu starken Dehnung geschützt. **Mit dem Alter nimmt die Dehnbarkeit der LC ab und die Grenze der mechanischen Belastung ist schneller erreicht.** Eine starke Dehnung der LC kann zur Zerstörung der Kollagenstruktur in der LC führen, zur teilweisen oder kompletten Ablösung an den Ansatzstellen in der Peripherie, zur Hohlräumbildung (Löcher) und zu Irregularitäten. Analoge Veränderungen, besonders die Spannungskonzentration an den Ansatzstellen, sind aus der Biomechanik der Bänder in den Gelenken bekannt. Seit kurzem steht die swept-source Optische Kohärenztomographie (ss-OCT) mit einer Wellenlänge von 1050 nm zur Verfügung. Die größere Eindringtiefe dieser langwelligen Infrarotstrahlung gestattet die Darstellung tiefer liegender, biomechanisch interessanter Strukturen des Sehnervenkopfes. Damit können fünf markante bio-

mechanische Veränderungen am Sehnervenkopf erfasst werden (Abb. 2). Diese lokalen biomechanischen Veränderungen an der LC stehen gehäuft mit klinischen Zeichen wie Papillenrandblutungen oder Nervenfaserbündeldefekten in Verbindung. Diese biomechanischen Defekte treten meist superior und inferior in der LC auf, weil dort die Poren in der LC für den Durchgang der Ganglienzellen besonders groß sind, das heißt, das restliche kollagene Bindegewebe ist geringer und so entstehen größere mechanische Spannungen (Kraft/Fläche) und ein höheres Risiko für mechanische Schädigung. Hier wird die neue OCT-Technik in Zukunft wertvolle Informationen über diese biomechanisch interessanten Strukturen liefern.

**Zusammenhang Hornhaut und Glaukom:** Aus zahlreichen Studien (z.B. Ocular Hypertensive Treatment Study) ist bekannt, dass eine dünne Hornhaut ein Risikofaktor für die Entstehung und Progression des Glaukoms darstellt. Nicht nur, dass der mit dem Goldmann Applanationstonometer gemessene IOD zu gering gemessen wird, **vielmehr stellt die Dicke beziehungsweise die Biomechanik der Horn-**

**haut einen eigenständigen Risikofaktor für das Glaukom dar.** Gegenwärtig stehen zwei kommerziell verfügbare Geräte für die in vivo Charakterisierung der Biomechanik der Hornhaut zur Verfügung, der Ocular Response Analyzer (Ametek Inc., USA) und der dynamische Scheimpflug Analyzer Corvis (Oculus, Wetzlar). Ein Parameter ist die corneale Hysterese (CH). **CH charakterisiert die viskösen Eigenschaften, die vor allem durch die Zwischensubstanz – Proteoglycane und Glycosaminoglycane – bestimmt werden.** **Beim Glaukom werden geringere CH-Werte gemessen. Natürlich nimmt CH auch mit dem Alter ab.** Damit könnte man auch die geringere CH beim Glaukom mit einem beschleunigten Altern der Hornhaut in Verbindung bringen. **Einige Studien konnten zum Beispiel einen Zusammenhang zwischen einer geringen CH und einer stärkeren strukturellen und funktionellen Progression nachweisen oder fanden eine größere CD-Ratio oder gehäuft bei Papillengrube.**

**IOD-Korrektur beim Glaukom:** Beim Glaukom ist die Hornhaut meist nicht nur dünner, sondern auch die biomechanischen Eigenschaften der Hornhaut sind verändert. **Die an gesunden Augen abgeleiteten Korrekturformeln auf der Basis der Hornhautdicke lassen sich nicht auf Augen mit veränderter kornealer Struktur übertragen, wie nach LASIK oder bei Keratokonus gezeigt werden konnte.** Gleiches trifft auch auf die biomechanisch veränderte Hornhaut beim Glaukom zu und es können sich sogar falsche Werte ergeben. **Eine Korrektur mithilfe von biomechanischen Parametern, zum Beispiel der cornealen Hysterese, wäre demzufolge günstiger.**

Zusammenfassend kann man die Biomechanik beim Glaukom als einen notwendigen Bestandteil sowohl in der Pathophysiologie des Glaukoms als auch im praktischen Glaukom-Management betrachten. Mit der neuen OCT-Technik werden die biomechanischen Strukturen des Sehnervenkopfes direkt am Patienten, wie heute schon die Netzhautstrukturen, gemessen und werden in Zukunft in die Diagnostik, Risikobewertung und Therapie mit einfließen.

#### ➤ Autor:

Prof. Dr. rer. nat. Eberhard Spoerl  
Augenklinik

Universitätsklinikum Carl Gustav Carus an der  
TU Dresden, A.ö.R. des Freistaates Sachsen  
Fetscherstr. 74, 01307 Dresden  
Tel.: 0351-458-3763, Fax: 0351-458-4335  
E-Mail:

Eberhard.spoerl@uniklinikum-dresden.de

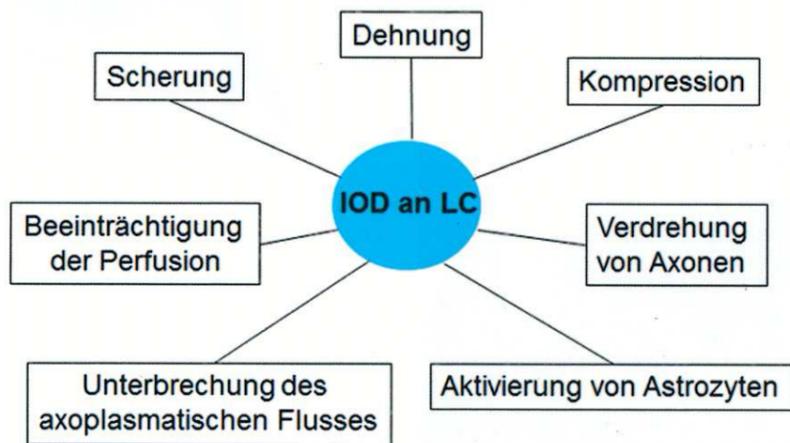


Abb. 1: Ereigniskaskade der Biomechanik am Sehnervenkopf.

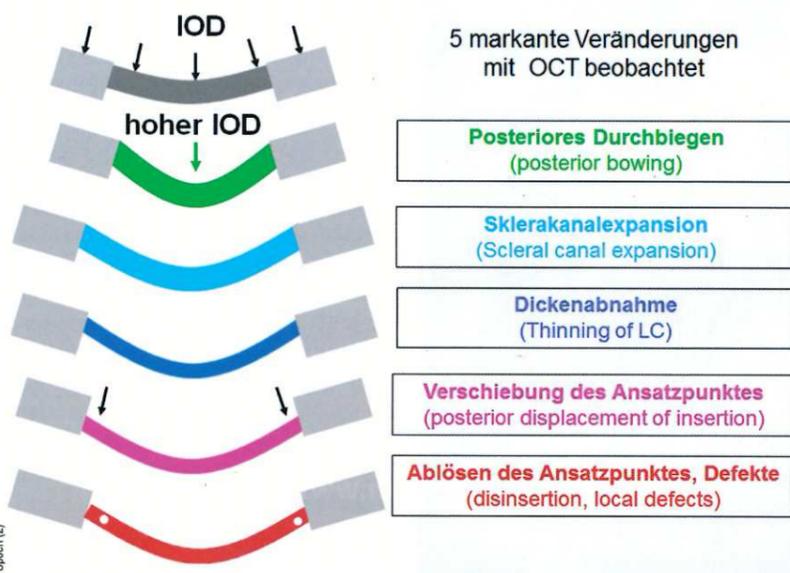
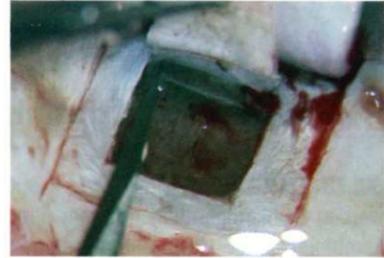


Abb. 2: Mit dem ss-OCT beobachtete Veränderungen.



#### Special Inhalt

##### Ein-Jahres-Ergebnisse

Kanaloplastik mit suprachoroidaler Drainage versus Phakokanaloplastik mit suprachoroidaler Drainage

➤ Seite 10

##### Generika

Was ist bei der Glaukomtherapie zu beachten?

➤ Seite 11

##### Druck und Wirkstoffzahl gesenkt

Erste eigene Erfahrungen mit einem trabekulären Stent-System an der nordBlick Augenklinik Bellevue

➤ Seite 12

##### Stellenwert definiert

Die Selektive Lasertrabekuloplastik als Bindeglied zwischen Lokaltherapie und Chirurgie

➤ Seite 13

##### Exitstrategie

Die 360°-Fadentrabekulotomie als Ausweg bei unzureichender Drucksenkung nach Kanaloplastik

➤ Seite 14

##### Kostensparend und effektiv

Evaluierung der 360°-Schlemm'schen Kanal-Sondierung mittels Prolenefaden

➤ Seite 15

##### Erste eigene Erfahrungen

Gel-Implantat zur IOD-Senkung bei Offenwinkelglaukom

➤ Seite 16

#### Medizin und Forschung

##### Intraokulare Entzündungen

Dritte Berliner Summerschool der Biermann Akademie mit Kursleiter Prof. Uwe Pleyer von der Augenklinik der Charité – Universitätsmedizin

➤ Seite 17

##### MyFUN

Internationales Doktoranden-Netzwerk im Bereich der Kurzsichtigkeitsforschung.

➤ Seite 17

##### Innovationspreis

Dendritenstabilisations-Nasenspray gegen Neurodegeneration

➤ Seite 17

##### Ergänzung zur ärztlichen Therapie

Autogenes Training, Hypnose oder Musiktherapie als begleitende Entspannungsübungen für Glaukopatienten

➤ Seite 18

##### Augenbeteiligung bei MS

Das Antihistaminikum Clemastin fumarat konnte in einer Studie Schäden am visuellen System von MS-Patienten teilweise rückgängig machen.

➤ Seite 18