

# UPDATE SEHEN

Samstag, 17. Juni 2017

<b>Begriffe des Binokularsehens – Ein Schnellkurs</b>	2
Dr. Tobias Ruhnke, Dipl. Kfm., Dipl. VW, Staatl. gepr. AO, Dozent der Fielmann Akademie Schloss Plön	
<b>Fixationsdisparität – Von der Messung des Unmessbaren</b>	4
Volkhard Schroth, B.Sc., Staatl. gepr. AO, Optometrist, Dozent am Institut für Optometrie der Fachhochschule Nordwestschweiz, Olten	
<b>Intelligente Vorlesesysteme – Hören trifft Sehen</b>	6
Stefan Schäfer, Produktmanager OrCam, Help Tech GmbH Stuttgart	
<b>Glaukom – Was wissen wir heute?</b>	9
Prof. Dr. Christian Mardin, Leitender Oberarzt an der Augenklinik des Universitäts-Klinikums Erlangen	
<b>Verstehen wie wir sehen – Zur Evolution von Augen</b>	12
Prof. Dr. Hannes F. Paulus, Department für integrative Zoologie, Universität Wien	

## BEGRIFFE DES BINOKULARSEHENS – EIN SCHNELLKURS

*Dr. Tobias Ruhnke, Dipl. Kfm., Dipl. VW, Staatl. gepr. AO,  
Dozent der Fielmann Akademie Schloss Plön*

Wenn es um Fragen zum Binokularsehen geht, werden oft unterschiedliche Begriffe mit ähnlicher Bedeutung verwendet, was zu Verwirrung führen kann. Dies gilt auch für die Unterscheidung zwischen Fixationsdisparation und –disparität, die beide zur Begriffsfamilie der Heterophorie gehören. Der Einführungsvortrag zum Kolloquium soll hier Klarheit schaffen.

Im freien Sehen müssen wir uns auf angeblickte Objektpunkte sowohl akkommodativ als auch vergenzmäßig einstellen, damit diese scharf und einfach gesehen werden. Die „richtige“ Position der Fixierlinien, bei der sie sich im angeblickten Objektpunkt schneiden, wird Orthostellung genannt. Abweichungen von der Orthostellung führen dazu, dass das angeblickte Objekt auf beiden Augen disparat abgebildet wird, das heißt auf Netzhautstellen, die unterschiedliche Richtungswerte haben. In Bezug auf den Außenraum wird das Objekt also vom linken Auge woanders gesehen als vom rechten. Da die Bilder aber gleich aussehen und damit eigentlich zusammengehören, führt eine solche Abweichung von Richtungswerten zu Fehlermeldungen im visuellen System. Ähnliche, fusionierbare Bilder sollen auch auf Netzhautstellen abgebildet werden, die im Binokularsehen gleiche Richtungswerte haben, also miteinander korrespondieren. Um die Fehlermeldung zu beseitigen, die disparat liegende, aber fusionierbare Bilder erzeugen, wird daher eine Vergenzbewegung in Richtung der Orthostellung ausgelöst.

Der Begriff Heterophorie bezieht sich auf einen Zustand, bei dem das Augenpaar die Orthostellung einnimmt, aber nur ungerne – quasi unter Zwang. Heterophoriker

würden gerne aus der Orthostellung in eine ihnen angenehmere Ruhestellung gehen, hätten dann aber mit Doppelbildern bzw. der besagten Fehlermeldung zu tun. Es bleibt ihnen daher nur, die erhöhte Anstrengung in Kauf zu nehmen. Um Heterophorien zu messen und zu korrigieren, müssen Bilder dargeboten werden, die nicht fusionierbar sind. Auf diese Weise wird es dem Augenpaar ermöglicht, die Orthostellung zu verlassen, ohne dass eine Fehlermeldung entsteht. Man sieht die ungleichen Bilder gegeneinander verschoben, aber nicht doppelt. Die Abweichung kann nun vom Probanden angesagt und mit Prismen nach und nach abgebaut werden; die Prismen verschieben die Netzhautbilder, bis sie auf korrespondierenden Netzhautstellen liegen und damit am selben Ort gesehen werden.

Will man jedoch Fixationsdisparitäten, das heißt Abweichungen der Fixation, die sensorisch durch Umschaltung von Richtungswerten kompensiert werden, ermitteln, so sind Tests mit Fusionsreizen nötig. An solchen Testen bewirken Prismen aber nicht nur eine Verschiebung von Bildlagen auf der Netzhaut, sondern ziehen auch eine Vergenzantwort des Probanden nach sich, da nun wiederum fusionierbare Bilder disparat liegen. Die zu messende Fixationsdisparität ändert sich damit allein durch das Einsetzen von Prismen; der gefundene Prismenwert, der für eine Nullstellungswahrnehmung an dem betreffenden Test sorgt, entspricht nicht der Abweichung der Fixierlinien ohne Prismen. Dies macht es notwendig, zwei Begriffe zu unterscheiden: Erstens die Fixationsdisparation als den Prismenbetrag, der eine Nullstellungswahrnehmung an geeigneten Testen erzeugt, und zweitens die Fixationsdisparität als Abweichung der

Fixierlinien, die sich ohne Prismen objektiv zeigt oder bei Verschiebung von Objekten in der Testebene vom Probanden wahrgenommen wird. Diese Definitionen sind jedoch keineswegs einheitlich und werden wahrscheinlich in Zukunft noch intensiv diskutiert werden.

# FIXATIONSDISPARITÄT – VON DER MESSUNG DES UNMESSBAREN

Volkhard Schroth, B.Sc., Staatl. gepr. AO, Optometrist,

Dozent am Institut für Optometrie der Fachhochschule Nordwestschweiz, Olten

## Definition

Fixationsdisparität (FD) ist ein sensomotorischer Fehler im Binokularesehen, der auftritt, wenn Fusion aktiv ist: Der motorische Fehler kann vom Vergenzsystem nicht vollständig kompensiert werden.

## Relevanz der FD

Die praktische und klinische Bedeutung der Fixationsdisparität sollte nicht unterschätzt werden:

1. FD ist ein deutlich besserer Indikator für Asthenopie als eine dissoziierte Heterophorie.

T. C. Jenkins, L. D. Pickwell, and A. A. Yekta, „Criteria for decompensation in binocular vision,” *Ophthalmic Physiol Opt*, vol. 9, no. 2, pp. 121-5, (1989)

2. FD tritt immer nur als kleiner Fehler auf und kann dennoch visuelle Leistungen verschlechtern.

O’Leary, C.I. and Evans, B.J.W.: Double masked randomised placebo controlled trial of the effect of prismatic corrections on rate of reading and the relationship with symptoms. *Ophthal. Physiol. Opt.* 26:555-565 (2006)  
Miriam L. Conway, Jennifer Thomas, Ahalya Subramanian: Is the Aligning Prism Measured with the Mallett Unit Correlated with Fusional Vergence Reserves? *PLOS*, August 8, (2012)

3. FD bewirkt reduzierte Qualität im 3D Sehen.

Zaroff, Charles M. “Variation in Stereoacuity: Normative Description, Fixation Disparity, and the Roles of Aging and Gender”. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 44:891–900, (2003)

Asthenopische Beschwerden sind sehr häufig anzutreffen:

1. Sehbedingte Probleme aufgrund von binokularen Störungen (z. B. Kopfschmerzen oder müde Augen) wurden bei 56 Prozent aller Patienten im Alter zwischen 18 und 38 Jahren, n= 1679 in fünf Sehzentren (Valencia) gefunden.

R. Montés-Micó, „Prevalence of general dysfunctions in binocular vision,” *Annals of Ophthalmology*, vol. 33, no. 3, pp. 205-208, (2001)

2. Die Häufigkeit von asthenopischen Problemen liegt bei 46% bei Computer Anwendern, n= 419 (Indien), andere Studien zeigen Häufigkeiten zwischen 40-80%

Dinesh J Bhandari, MD, Sushilkumar Choudhary, MD, and Vikas G Doshi, MScA: Community-based study of asthenopia in computer operators. *Indian J Ophthalmol.* Jan-Feb; 56(1): 51–55, (2008)

3. Mit einer Häufigkeit von 43% aller Kunden von Augenoptiker-Geschäften wurden FD-bedingte Probleme gefunden. Meist waren kleine Prismenwerte ausreichend, n= 18.573 (Schweiz)

Günther, Kurt: Heterophorien im Spiegel der Statistik, *Der Augenoptiker*; 12, (1980)

Die Korrektur der FD mit Ausgleichsprismen bei asthenopischen Personen scheint erfolgsversprechend zu sein:

1. Grundlagenforschung zeigt, dass kleine Ausgleichsprismen zur Korrektur der FD nicht voll adaptiert werden, (kein “eating prisms”) wenn sie für mehrere Wochen getragen worden sind.

Schroth, V. Joos, R. and Jaschinski, W. „Effects of Prism Eyeglasses on Objective and Subjective Fixation Disparity,” *PLoS One*, vol. 10, no. 10, p. e0138871, (2015)

2. Die Leseleistung verbesserte sich bei Probanden mit Mallett Basis innen Prismen, selbst wenn keine Beschwerden vorhanden waren n= 80 (England)

O’Leary, C.I. and Evans, B.J.W.: Double masked randomised placebo controlled trial of the effect of prismatic corrections on rate of reading and the relationship with symptoms. Ophthal. Physiol. Opt. 26:555-565 (2006)

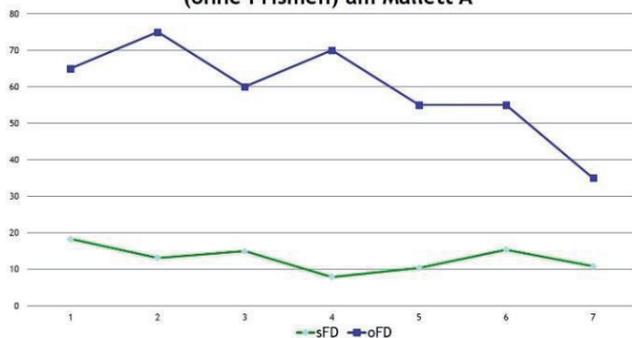
3. Drastischer Erfolg: Deutliche Verbesserung der Asthenopie bei allen n=72 Probanden mit MKH Prismen / refraktiver Korrektur (Niederlande)

Simonsz H.J. et al. Preliminary report: Prescription of prism-glasses by Measurement and Correction Method of H.-J. Haase or by conventions orthoptic examination: a multicenter, randomized, double-blind, cross-over study. Strabismus, Vol. 9, No. 1, 17-27, (2001)

### Von der Messung des Unmessbaren

Es gibt zwei Arten von FD, die sich in der Art und Weise der Messung unterscheiden und die gleichzeitig unterschiedliche physiologische Bedeutung haben. In den wenigen Studien mit gleichzeitiger Messung von subjektiver und objektiver FD wurde übereinstimmend festgestellt, dass die objektiven Werte um den Faktor 5-10mal größer sind als die subjektiven. Außerdem schwankt die objektiv gemessene FD um ein Vielfaches stärker als die subjektive.

Zeitverlauf von sFD und oFD bei RY (ohne Prismen) am Mallett A



Die Abbildung zeigt solch ein Beispiel von simultaner Messung beider FD-Arten im Zeitraum von genau einer Minute. Auf der x-Achse sind die Messpunkte durchnummeriert, auf der y-Achse ist die FD in Winkelminuten abgetragen (hellgrün für sFD und blau für oFD).

### Was ist unter der objektiven FD zu verstehen?

Die oFD ist messbar mit hochauflösenden Eyetracking Systemen als Differenz einer monokularen Eichung zur binokularen Fusion. Sie entspricht der tatsächlichen okulomotorischen Vergenz-Fehlstellung und gibt daher direkten Aufschluss über den Bildlagefehler. Messungen der oFD zeigen meist enorme Schwankungen von Bildlagefehlern und somit eine große Ungenauigkeit der binokularen Vergenzstellung.

### Was ist unter der subjektiven FD zu verstehen?

Die sFD entspricht der wahrgenommenen Verschiebung an binokular getrennt dargestellten Noniustests. Sie zeigt nicht die tatsächliche Fehlstellung, sondern eher die hohe Leistungsfähigkeit unseres Gehirns, eine stabile Sehsituation zu generieren. Die sFD entsteht durch komplexe Gehirnleistungen in der Verrechnung und Verarbeitung von Bildlagefehlern und dynamischen Ungenauigkeiten.

Ist also FD unmessbar? Nein, denn beide FD-Arten sind messbar. Sie hängen sogar miteinander zusammen, sind aber eher schwach korreliert. Der Versuch, die Fixationsdisparität als ein Ganzes zu verstehen, wird derzeit dennoch schwerlich gelingen. Man sollte die beiden FD-Arten als zwei unterschiedliche Phänomene betrachten.

In der optometrischen Anwendung ist die oFD nicht alltagstauglich, weil viele Messwiederholungen mit extrem empfindlichen Geräten und komplexe Auswertungen erforderlich sind. Die subjektive FD ist einfacher und zuverlässig messbar. Eine FD ist ein Winkel (Einheit: Winkelminuten) und darf nicht mit dem Ausgleichsprima (Einheit: pdpt) verwechselt werden.

## INTELLIGENTE VORLESESYSTEME – HÖREN TRIFFT SEHEN

*Stefan Schäfer, Produktmanager OrCam, Help Tech GmbH Stuttgart*



*Leicht und unauffällig. Die OrCam an einer Brille.*

Seit August 2016 vertreibt die Firma Help Tech GmbH, ein führender Hersteller und Lieferant von Hilfsmitteln für Blinde und Sehbeeinträchtigte, selbst und über ihr Händlernetz die OrCam Produkte. Das sind derzeit weltweit einzigartige Sehhilfen nicht nur für Blinde und Sehbeeinträchtigte, die von der israelischen Firma OrCam Technologies Ltd. mit Hauptsitz in Jerusalem entwickelt wurden.

Auf Fingerzeig liest die OrCam dem Nutzer gedruckte Texte vor.

### **Das Unternehmen**

OrCam Technologies wurde 2010 in Israel gegründet und beschäftigt einige der führenden Experten auf den Gebieten Computer Vision und Machine Learning. Das Unternehmen ging aus der Firma Mobileye hervor, die Sensoren und Systeme für Fahrassistenz entwickelt und ein Vorreiter

des autonomen Fahrens ist. In Deutschland kooperiert Mobileye in diesem Bereich unter anderem mit dem Automobilhersteller BMW – und will bis 2021 das selbstfahrende Auto realisiert haben.

Das Unternehmen OrCam und dessen Mitarbeiter – Sehende und Sehbeeinträchtigte – haben sich der Herausforderung angenommen und eine alltagstaugliche Assistenz-Technologie mit intuitiver Bedienung entwickelt, die auf „Computer Vision Technologie“ basiert. Die OrCam existiert in zwei Produktvarianten: OrCam MyEye und OrCam MyReader.

### **Das Produkt**

Die OrCam ist eine neuartige Sehhilfe, die Blinden und Sehbeeinträchtigten den Alltag deutlich erleichtert. Das Gerät besteht aus einem Minicomputer, an dem eine kleine

Kamera mit Lautsprechermodul angeschlossen ist. Die 31 g leichte, fast unauffällige Kopfeinheit lässt sich an nahezu jeder handelsüblichen Brillenfassung anbringen. Über die Minikamera mit Autofokus erfasst die OrCam Texte in ihrem Blickfeld und liest diese auf Fingerzeig oder Knopfdruck sofort vor. Zusätzlich kann die OrCam MyEye gespeicherte Gesichter, Produkte und Geldscheine erkennen und in Sprache übersetzen. Eine Internetverbindung ist dafür nicht notwendig.

Die OrCam eignet sich insbesondere für alle Menschen, die von Blindheit, Sehbeeinträchtigung, Gesichtsblindheit, Legasthenie und der Sprachstörung Aphasie betroffen sind oder aus anderen Gründen nicht lesen können.

Offizielle Zahlen der Weltgesundheitsorganisation (WHO) legen nahe, dass allein in Deutschland ca. 1,2 Millionen sehbehinderte und blinde Menschen leben, davon werden ca. 357.000 als schwerbehindert eingestuft.

### Die Funktionen

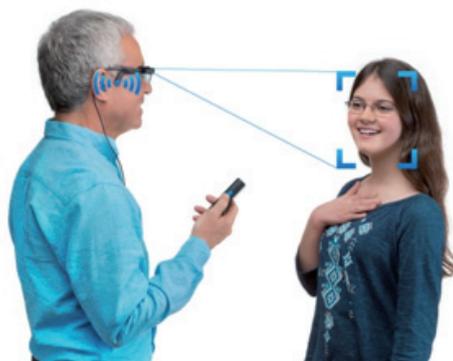


**OrCam liest Texte** Die Fähigkeit, gedruckten Text zu lesen, ist einer der größten Verluste, wenn Brillen nicht mehr ausreichen oder die kognitiven Fähigkeiten verlorengegangen sind. Tägliche Post, Zeitungen, Straßenschilder, Speisekarten, Displayinhalte, etc. – OrCam liest jeden in Druckschrift dargestellten Text vor. Egal ob für den privaten, schulischen oder beruflichen Alltag.

Ausgelöst wird diese Funktion durch Fingerzeig auf das entsprechende Lesegut oder Tastendruck. Somit ist die OrCam auch bestens für Blinde geeignet.



**OrCam erkennt Produkte** Produkte zu identifizieren ist eine große Herausforderung für Menschen mit Seh- oder Leseschwierigkeiten. Ob beim Einkaufen oder Zuhause, die OrCam ist hierbei eine ideale Hilfe, die richtige Wahl zu treffen. Mit der Vorlesefunktion können aufgedruckte Texte auf Produktverpackungen, wie z. B. Inhaltsstoffe, Zubereitungshinweise oder sonstige Herstellerangaben vorgelesen werden. Zudem kann die OrCam MyEye die Lieblingsprodukte anhand von Verpackungsmerkmalen speichern. In Kürze wird auch eine Erkennung per Barcode möglich sein. Geldscheine des Landes, in dem der Nutzer lebt, sind werkseitig als Produkte hinterlegt.



**OrCam MyEye erkennt Personen** Da Sehschärfeverlust in der Regel mit einer Minderung des Kontrastsehens einhergehen, ist es für Menschen mit beeinträchtigtem Sehvermögen besonders schwer, Gesichter zu erkennen. Die OrCam MyEye

hat eine Gesichtserkennung integriert. Zu- vor gespeicherte Personen werden durch die Gesichtserkennung aus bis zu drei Metern Entfernung erkannt und der hinterlegte Name dem Nutzer diskret ins Ohr geflüstert. Die OrCam MyEye ermöglicht so dem blinden oder sehbeeinträchtigten Nutzer, selbst die Initiative zu übernehmen. Er ist nicht mehr darauf angewiesen angesprochen zu werden.

**OrCam verbessert die Lebensqualität** In vielen Lebensbereichen schafft OrCam für Menschen mit Sehbeeinträchtigungen ein großes Stück Unabhängigkeit. Sie ist klein und unauffällig und begleitet den Nutzer in seinem Alltag. Wo er sich auch befindet, ob bei der Arbeit, im Restaurant oder Café, an der Haltestelle oder im Zug, auf der Terrasse oder im Lieblingssessel – die OrCam liest überall den gewünschten Text vor.

OrCam ist gelebte Inklusion und ein Element der persönlichen Unabhängigkeitserklärung.

Zukünftig soll die OrCam um einige wesentliche Funktionen erweitert werden. Unter anderem wird es schon bald die Möglichkeit der Farberkennung sowie eine Blatterkennung zum automatischen Vorlesen geben. Zudem wird die OrCam mit zusätzlichen Vorlesesprachen ausgestattet, die dann über das Audiomenü auswählbar sind.

#### **Kontakt und weitere Informationen**

Ausführliche Informationen über die OrCam Produkte, die Vertriebswege und Finanzierungsmöglichkeiten sind über den Produktmanager Herrn Stefan Schäfer unter +49 7451 5546-25 oder stefan.schaefer@helptech.de zu erhalten.

Werbe-Video von OrCam: <https://www.youtube.com/watch?v=1wL9V7E9ok4&t=3sv>

# GLAUKOM – WAS WISSEN WIR HEUTE?

Prof. Dr. Christian Mardin,

Leitender Oberarzt an der Augenklinik des Universitäts-Klinikums Erlangen

## Was ist das Glaukom?

In den letzten Jahren führte eine große Zahl an Ideen und Techniken dazu, Glaukome bezüglich Risikofaktoren, Diagnostik und Therapie besser zu begreifen. Im klinischen Alltag der Behandlung von Glaukompatienten spielen vor allem die modernen diagnostischen Aspekte eine bedeutende Rolle.

## Definition

Glaukome sind eine Gruppe von Erkrankungen verschiedener Ursache, die in der gemeinsamen Endstrecke zu einer spezifischen Atrophie der Papille, einem Verlust von Axonen und Gliazellen und retinalen Ganglienzellen führen. Die Folge ist eine Gesichtsfeldeinschränkung, die zur Erblindung führen kann. Als Hauptrisikofaktor und Ziel der antiglaukomatösen Therapie gilt der intraokulare Druck. Wie vor 150 Jahren ist nach wie vor das Hauptziel, den intraokularen Druck zu senken um die Erkrankungsprogression zu verlangsamen oder aufzuhalten. Der Beginn eines Glaukoms ist schwer zu definieren, weshalb es nach wie vor keine exakte Definition der frühen Erkrankung gibt. Einigkeit scheint darüber zu herrschen, das Aussehen der Papille als frühes Zeichen zu werten.<sup>[1]</sup>

## Epidemiologie

Glaukome sind die zweithäufigste Erblindungsursache auf der Welt. Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) schätzt die Zahl der weltweit erkrankten auf 105 Millionen Menschen mit ca. fünf Millionen Blinden in Folge. Ist das primäre Offenwinkelglaukom die häufigste Glaukomform bei Kaukasiern, so findet sich in Asien häufiger das primäre Winkelblockglaukom.<sup>[2]</sup> Beide Glaukome zeigen überall auf der Welt eine steigende Prävalenz mit dem Alter, was bei

einer zunehmenden Lebenserwartung in Zukunft eine bedeutendere Rolle spielen wird. Farbige zeigen in den USA ein bis zu fünf-fach erhöhtes Risiko für eine Glaukomentwicklung als Kaukasier. Die Glaukomhäufigkeit ist in der chinesischen Bevölkerung genauso groß wie in Europa, in Südindien jedoch höher.<sup>[3]</sup> Die Tendenz ist bis zum Jahr 2020 steigend. Die Dunkelziffer ist immer noch hoch. Die Gesundheitskosten steigen mit fortschreitendem Schaden und verzögerter Detektion durch den Arzt.<sup>[4]</sup>

## Therapie

Die medikamentöse Drucksenkung als Lokalthherapie ist immer noch die häufigste Therapieform der Glaukome. Es steht eine breite Palette an Substanzen zur Verfügung, die auch in Kombination den Augeninnendruck effektiv senken. Unkonservierte Aufbereitungen stehen für immer mehr Substanzen im Handel zur Verfügung. Sie dienen sowohl zur Verbesserung der Patientenadhärenz als auch zur Verringerung der Entzündung des Tenon-Gewebes und der Bindehaut vor filtrierenden OP-Verfahren. Ein niedriger Augeninnendruck stellt keinen vollkommenen Schutz vor Progression dar, vermindert jedoch deutlich das Risiko.

Laser- und chirurgische Therapie sind die Verfahren der Wahl, wenn ein ausreichender Zieldruck medikamentös nicht erreicht wird oder die Medikation nicht toleriert wird. Weniger invasive Verfahren ohne die Komplikationen der Trabekelchirurgie und Versagen durch Vernarbung sind das Ziel gegenwärtiger Entwicklungen.

### **Ophthalmoskopie durch den Augenarzt, was sieht er?**

Die Schädigung des Sehnervenkopfes ist im Aussehen typisch. Der Verlust des neuroretinalen Randsaums (NRR) geht mit einer Vergrößerung der Exkavation einher bis zum vollständigen Verlust jeglichen Randsaumgewebes. Direkte und vor allem indirekte Ophthalmoskopie bei erweiterter Pupille sind die Techniken mit denen der Augenarzt sich den Sehnerv räumlich betrachtet. Nach typischen, klinischen Zeichen wie dem Aussehen des Randsaums und anderer Kriterien kann der Schweregrad der Papillenatrophie in verschiedene Stadien eingeteilt werden. Die gebräuchlichste in Deutschland ist die Einteilung nach Jonas, im angelsächsischen Sprachraum wird das Verhältnis Exkavation-zur-Papille (cup-to-disc ratio) verwendet (z. B. 0,3; 0,7).

### **Warum Gerätediagnostik mit HRT und OCT?**

Die Ophthalmoskopie in der Hand des Erfahrenen der Goldstandard, ist eine subjektive Einschätzung und in der Qualität und Güte der Glaukomdiagnostik sehr variabel.

Messverfahren der Papille mit dem HRT, der Nervenfaserschicht (RNF), Papille und Maculaganglienzellen mit dem OCT sind hoch reproduzierbar und können durch den statistischen Vergleich mit einer Normdatenbank dem Arzt einen Hinweis geben, ob es sich um einen normalen oder krankhaften Befund handelt.

### **HRT (Heidelberg Retina Tomograph, Heidelberg Engineering)**

Dieses Messverfahren des Sehnervenkopfes ist seit über 20 Jahren in Praxen und Kliniken im Gebrauch. Es basiert auf dem Prinzip des konfokalen Laser-Scanning (Lasersabtastung) mit einer Wellenlänge von 670 nm.

Das 2,5 dimensionale Falschfarbenbild (Orte der maximalen Reflektion) der Oberfläche wird zu einer Referenzebene in Beziehung gesetzt und liefert Messwerte für Flächen und Volumina. Diese können wiederum zu einer Normdatenbank in Beziehung gesetzt werden und so Auskunft darüber geben, ob die Messwerte noch normal oder schon glaukomatös sind.

Der überwiegende Nutzen liegt heutzutage in einer zuverlässigen Verlaufsbeobachtung durch Messwerte der Papille zur Beantwortung der wichtigen Frage ob der Befund stabil oder fortschreitend ist.

### **Hochauflösendes OCT (Optische Kohärenztomographie), was kann es noch?**

Die Technik des hochauflösenden OCT ist in der Glaukomdiagnostik einer der großen Meilensteine geworden. Die Technik des Spectral-Domain und Sweptsource OCT ermöglichen hochauflösende und schnelle Bildaufnahmen mit bis zu 70.000 Schnitten pro Sekunde. Damit sind empfindliche Strukturen wie die Ganglienzellschicht der Makula, die retinale Nervenfaserschicht (RNF) und der Sehnervenkopf bis zur Lamina cribrosa mit einer axialen Auflösung von bis zu 4 µm ähnlich einem in vivo histologischen Schnitt darstellbar. Die Variabilität der Messungen beträgt nur 1,4 µm. Die hohe Präzision der Messungen mit immer höherer Auflösung erlaubt es, den natürlichen Altersverlust von NRR und RNF zu messen. Diesen von frühen glaukomatösen Veränderungen zu trennen ist eine Herausforderung für jede Messmethode. Da jeder Patient eine individuelle Progressionsrate zeigt, sind wiederholte, präzise Messungen essentiell.

Die hochauflösende OCT-Technik hat schnell Verbreitung in der alltäglichen Versorgung gefunden. Die Glaukomfrüherkennung konnte mit der Messung der retinalen Nervenfaserschicht und der Ganglienzellschicht weiter vorangebracht werden.

Die Bedeutung der Technik der OCT-Angiographie für die Glaukome ist Gegenstand der Forschung.

### **Allgemeine Schlussbemerkung**

In den letzten Jahren ist vor allem das Verständnis um frühe anatomische Veränderungen der Glaukome deutlich verbessert worden. Es obliegt jedoch immer noch dem Augenarzt deren Vermessung zu interpretieren und eine Therapie folgen zu lassen. Neue therapeutische, drucksenkende Verfahren könnten im Alltag die Stabilisierung des Glaukombefundes erleichtern.

### **Literatur**

- [1] Foster P, Buhrmann R, Quigley HA, Johnson GJ. The definition and classification of glaucoma in prevalence studies. Br J Ophthalmol 2002; 86: 238-242
- [2] Quigley HA, Bromann AT. The number of people with glaucoma worldwide in 2010 and 2020. Br J Ophthalmol 2006; 90: 262-267
- [3] Friedman et al. Prevalence of open-angle glaucoma among adults in the US..Arch Ophthalmol 2004; 122: 532-538
- [4] Varma et al. An assessment of the health and economic burdens of glaucoma. Am J Ophthalmol. 2011;152(4):515-22

### **Korrespondenzadresse des Autors:**

Prof. Dr. Christian Mardin  
Universitätsaugenklinik Erlangen  
Schwabachanlage 6  
91054 Erlangen  
christian.mardin@uk-erlangen.de

## VERSTEHEN WIE WIR SEHEN – ZUR EVOLUTION VON AUGEN

*Prof. Dr. Hannes F. Paulus, Department für integrative Zoologie, Universität Wien*

Augen, Lichtsinnesorgane, Photorezeptoren üben schon immer auf uns Menschen eine besondere Faszination aus. Das liegt ganz sicher daran, dass für den Menschen seine Augen die wichtigsten Sinnesorgane darstellen, wir in erster Linie in einer optischen Welt leben. Bei einer Reihe von Tieren ist das bekannter Maßen ganz anders: Fledermäuse leben in einer akustischen Welt – sie „sehen“ sozusagen mit den Ohren, Hunde zweifellos vor allem in einer Duftwelt, Spinnen dagegen in einer Mechanorezeptor-Welt, ihre Augen spielen nur eine unbedeutende Rolle. Sehorgane sind im Tierreich allerdings weit verbreitet. Je nach der ökologischen Umwelt sind diese Augen jedoch sehr verschieden gestaltet und nur in dem Maß optimiert, wie sie dies in ihrem speziellen Leben benötigen.

Ursprünglichen Tieren, wie Hohltieren im Meer oder Plattwürmern in Bächen, genügen Photosensoren, die lediglich darüber orientieren helfen, wo es ins Helle oder Dunkle geht. Dazu genügen eine oder wenige Lichtsinneszellen in der Haut. Wenn man mehr Information benötigt, etwa zusätzlich auch die Richtung eines heranahenden Schattens oder Lichtes wissen will, dann muss das Lichtsinnepithel aus mehreren Zellen eingesenkt und mit Licht absorbierenden Pigmentzellen abgeschirmt sein. Man spricht dann von Pigmentbecherzellen. Wenn gar ein Bild erzeugt werden soll, dann ist der erste und einfachste Schritt eine starke Einsenkung des Lichtsinnepithels und lediglich eine kleine Öffnung für

den Lichtstrahl. Man spricht dann von einem Lochkameraauge. Wenn man dort dann eine Sammellinse platziert, ist ein einfaches Linsenauge entstanden, das in der Lage ist, außer Hell-Dunkel- oder Richtungswahrnehmung auch ein Bild entstehen zu lassen. Aus der Verteilung solcher Augentypen im Stammbaum der Tiere lässt sich leicht ableiten, dass solche Sehorgane in sehr unterschiedlicher Komplexität offenkundig immer wieder unabhängig, also konvergent, in der Stammesgeschichte entstanden sind.

Dennoch musste die Selektion nicht jedes Mal bei Null beginnen. Basale Prozesse der Lichtrezeption und eine basale genetische Ausstattung dazu wurden bereits früh erfunden. Selbst Einzeller, allen voran bestimmte Geißeltierchen (Flagellata) besitzen die Grundausrüstung: Rhodopsin und Opsin als Lichtabsorptionsstoffe. Interessant ist, dass das Flagellum (Cilium) des Geißeltierchens in diesen Perzeptionsvorgang bereits eingebaut worden ist. Tatsächlich haben sehr viele Tiere bis hin zum Menschen Lichtsinneszellen, bei denen der photosensible Abschnitt ein modifiziertes Cilium darstellt. Ein wichtiges Grundprinzip hierbei ist, die Cilienmembran entweder durch Mikrovilli oder durch Membranstapel extrem zu vergrößern, da in diesen Membranen die Sehfärbstoffe eingelagert sind: je mehr Membranfläche, umso mehr Rhodopsine. Diesen Lichtsinneszelltyp bezeichnet man als ciliär. Vor allem die Gliederfüßler (Arthropoda), allen voran das Heer der Insekten und Krebstiere, haben diesen Zelltyp offenbar aufgegeben und besitzen sogenannte rhabdomere Lichtsinneszellen. Die haben auf einer Seite der Retinulazelle lediglich einen ausgedehnten und dicht gepackten Mikrovillisaum.

Ein weiterer Evolutionsschritt in der Verbesserung der Wahrnehmung bestand in der Erfindung unterschiedlicher Sehfärbstoffe (vor allem Opsine), die unterschiedliche Absorptionsmaxima bezüglich verschiedener Wellenlängen des Lichtes haben. Da alle frühen Organismen im Meer entstanden sind, die Mehrzahl der elektromagnetischen Wellen aber sehr schnell im Wasser absorbiert werden, spezialisierten die sich die Photorezeptoren auf den Ausschnitt des Wellenlängenspektrums, der noch in Oberflächenwasser bis etwa 100 m sichtbar ist. Dies ist ein Bereich von etwa 700 nm bis 300 nm, je nach Wassertiefe. Während ursprüngliche Vertreter mit ihren Augen ein einziges oder zwei Maxima absorbieren können – sie bezeichnet man als Uni- oder Dichromaten -, haben höhere Tiere drei oder gar mehr solcher Absorptionsmaxima. Sie bezeichnet man als tri-, tetra- oder pentachromatisch. Nur diese besitzen ein Farbsehen. Vögel und viele Reptilien sind dagegen tetrachromatisch, sehen ihre Welt offenbar wesentlich bunter als wir. Säugetiere dagegen sind mit Ausnahme der Altweltaffen (Meerkatzen, Paviane und Menschenaffen) Dichromaten, sind also nahezu farbenblind. Stammesgeschichtlich lässt sich dies damit erklären, dass die frühe Evolution zu den Säugern in der Nacht stattfand (am Tage dominierten nämlich die diversen Dinosaurier), so dass eine Reduktion bestimmter Opsine als Sehfärbstoff stattgefunden hat. Erst bei den tagaktiven Altweltaffen wurde das trichromatische Farbsehen neu erfunden.

Im Vortrag wurden Evolutionsschritte der verschiedenen Augentypen und ihre Verbreitung im Tierreich kurz vorgeführt. Linsenaugen und Facettenaugen sind zwei unterschiedliche Lösungen für hochentwickelte Sehorgane. Es wurden unterschiedliche Lösungen für die Optimierung von Lichtmengenperzeption aufgezeigt: Rhabdome als Lichtleiter, Linsensysteme mit Spiegeloptik oder Licht reflektierende Augenhintergründe (Tapetum lucidum).

Als markantes Beispiel dafür, dass Evolution nie perfektioniert, sondern stets nur optimiert, indem alles lediglich auf dem aufbaut, was in der Vorgeschichte bereits entstanden war, soll das berühmte Beispiel für Konvergenz hochentwickelter Linsenaugen, nämlich das Tintenfischauge und das des Menschen dienen. Es handelt sich jedoch nur bei sehr oberflächlicher Betrachtung um eine Konvergenz. Beide Augentypen entstehen in der Embryonalentwicklung auf sehr unterschiedlichen Wegen. Die Tintenfischretina ist evers (Mikrovilli der Retinulazelle dem Licht zugewandt), die der Säuger dagegen invers (Membranstapel der Retinazellen vom Licht abgewendet). Inverse Lagen der Lichtsinneszellen erscheinen wenig optimal, da das einfallende Licht erst durch alle Nervenzellschichten hindurch muss, bevor es die Membranstapel erreicht. Diese paradoxe Lage ist jedoch eine Konsequenz der frühen Evolution von Lichtsinneszellen aus Gehirnzellen bei den frühen Wirbeltieren. Das Gehirn entsteht bei ihnen in der frühen Embryonalentwicklung durch Invagination des Ektoderms zu einem Neuralrohr, bei dem alle Cilien tragenden Zellen in das Innere des Rohres ragen. Da die spätere Retina des Auges aus dem Gehirnbälchen mit der so verbliebenen Cilienlage nach Innen entsteht, resultiert daraus diese inverse Lage der Sehzellen. Evolution baut immer auf dem auf, was schon ist und macht daraus das Beste.