Wissenschaftliche Leitung
F. Grehn, Würzburg

Unter ständiger Mitarbeit von:
H. Helbig, Regensburg
W.A. Lagrèze, Freiburg
U. Pleyer, Berlin
B. Seitz, Homburg/Saar

Online teilnehmen

3 Punkte sammeln auf **CME.SpringerMedizin.de**

Teilnahmemöglichkeiten

Die Teilnahme an diesem zertifizierten Kurs ist für 12 Monate auf CME.SpringerMedizin.de möglich. Den genauen Teilnahmeschluss erfahren Sie dort.

Teilnehmen können Sie:

- als Abonnent dieser Fachzeitschrift,
- als e.Med-Abonnent.

Zertifizierung

Diese Fortbildungseinheit ist zertifiziert von der Ärztekammer Nordrhein gemäß Kategorie D und damit auch für andere Ärztekammern anerkennungsfähig. Es werden 3 Punkte vergeben.

Anerkennung in Österreich und der Schweiz

Gemäß Diplom-Fortbildungs-Programm (DFP) werden die auf CME.SpringerMedizin.de erworbenen Fortbildungspunkte von der Österreichischen Ärztekammer 1:1 als fachspezifische Fortbildung angerechnet (§26(3) DFP Richtlinie).

Die Schweizerische Gesellschaft für Ophthalmologie vergibt 1 Credit für die Zertifizierte Fortbildung in *Der Ophthalmologe*.

Kontakt

Springer Medizin Kundenservice
Tel. 0800 77 80 777
E-Mail: kundenservice@springermedizin.de

CME Zertifizierte Fortbildung

N. Woltsche¹ · P. Werkl¹ · L. Posch-Pertl¹ · N. Ardjomand² · A. Frings^{3,4,5}

¹ Univ.-Augenklinik Graz, Medizinische Universität Graz, Graz, Österreich

² Sehzentrum für Augenlaser & Augenchirurgie, Graz, Österreich

³ Univ.-Augenklinik Düsseldorf, Heinrich-Heine-Universität, Düsseldorf, Deutschland

⁴ UCL Institute of Ophthalmology, London, Großbritannien

⁵ Moorfields Eye Hospital NHS Foundation Trust, London, Großbritannien

Astigmatismus

Zusammenfassung

Der Astigmatismus ist der weltweit häufigste Refraktionsfehler vor Hypermetropie und Myopie. Man unterscheidet den äußeren vom inneren Astigmatismus. Der äußere Astigmatismus kann weiter in „mit der Regel“, „gegen die Regel“ und „schräg“ unterteilt werden. Die Summierung des äußeren und inneren Astigmatismus ergibt den refraktiven Zylinder. Astigmatismus wurde lange als zweidimensionales Phänomen gesehen, doch erst die dreidimensionale Betrachtung hat den Blick auf bestehende Analyseverfahren (Topo- und Tomographie) erweitert. Die Vektoranalyse nach Alpins ist hierbei eine bekannte Methode zur Therapieplanung. Zur Therapie des Astigmatismus stehen konservative Optionen wie Brille oder torische Kontaktlinse sowie unterschiedlichste chirurgische Verfahren wie photorefraktive Keratektomie, Femtosekundenlaser-assistierte Keratotomie, Laser-in-situ-Keratomileusis, „small-incision lenticule extraction“ und die Implantation torischer Intraokularlinsen zur Verfügung.

Schlüsselwörter

Topographie · Tomographie · Okulärer residualer Astigmatismus · Torische Intraokularlinse · Refraktionsfehler

Etwa 40 % aller Erwachsenen weisen einen refraktiven Zylinder >0,5 dpt auf

Lernziele

Nach der Lektüre dieses Beitrags wissen Sie, ...

- dass in den meisten Fällen ein refraktiver Zylinder bis zu einem Betrag von 0,5 dpt unabhängig von seiner Richtung die unkorrigierte Sehschärfe unter alltäglichen Bedingungen nicht vermindert,
- dass der Astigmatismus als dreidimensionaler Vektor mit Betrag und Richtung analysiert werden sollte,
- dass eine rein topographische Darstellung nicht alle Informationen, die für die erfolgreiche chirurgische Astigmatismuskorrektur benötigt werden, liefert, sondern tomographische Messungen der Hornhaut hierzu unersetzlich sind,
- dass ca. 50 % aller Patienten, die zur Kataraktoperation vorstellig werden, bereits präoperativ einen topographischen Astigmatismus von ≥ 1 dpt aufweisen, wobei in diesen Fällen torische Intraokularlinsen eine Therapieoption mit gut vorhersagbarem Resultat, besonders bei Personen mit regulärem Astigmatismus, darstellen.

Einleitung

Bereits seit dem 18. Jahrhundert ist der Astigmatismus als Refraktionsanomalie bekannt und heute vor Hypermetropie und Myopie der weltweit häufigste Refraktionsfehler. Geschätzt 40 % aller Erwachsenen weisen einen refraktiven Zylinder >0,5 dpt auf. Mit altersabhängigen und sogar im Tagesverlauf schwankenden Veränderungen ist der Astigmatismus ein dynamisches Phänomen. In den letzten Jahren haben sich Diagnose- und Therapiemöglichkeiten sowie unser Verständnis des Astigmatismus laufend erweitert.

Geschichte

Bereits im 18. Jahrhundert erkannten die Ärzte Thomas Young und William Cary, dass bestimmte fehlsichtige Patienten mit schräg vorgehaltenen konkaven Linsen Objekte deutlich besser wahrnehmen konnten. Doch erst der selbst am linken Auge astigmatische Mathematiker Sir George Biddell Airy (1801–1892) präsentierte eine Definition sowie eine Korrekturmethode des Astigmatismus 1825 an der Cambridge Philosophical Society. Nachdem das Abkleben seines gesunden rechten Auges keine Verbesserung brachte, erkannte er eine Verbesserung der Sehschärfe seines linken Auges durch Drehung des Brillenglases und Blick durch den Brillenglasrand, wobei er den „Astigmatismus schiefer Bündel“ sphärischer Brillengläser nutzte. Im weiteren Verlauf ent-

Astigmatismus

Abstract

Astigmatism is the most frequent refractive error worldwide followed by hyperopia and myopia. Internal astigmatism has to be differentiated from external astigmatism. Furthermore, external astigmatism can be divided into “with the rule”, “against the rule” and “oblique”. The summation of internal and external astigmatism results in the refractive cylinder. Astigmatism has for a long time been regarded as a two-dimensional phenomenon; however, only a three-dimensional consideration expanded the view on existing analytical methods (topography and tomography). Alpins' vector analysis is a commonly used method for treatment planning. Multiple options exist for treatment of astigmatism with conservative approaches, such as eyeglasses or toric contact lenses as well as various surgical procedures, such as photorefractive keratectomy, femtosecond laser-assisted keratotomy, laser in-situ keratomileusis, small incision lenticule extraction and toric intraocular lens implantation.

Keywords

Topography · Tomography · Ocular residual astigmatism · Toric intraocular lens · Refraction error

wickelte und verbesserte Airy die Zylinderlinsen zur Astigmatismuskorrektur, wie sie noch heute verwendet werden [1].

Prävalenz, Definition und Formen

Die weltweite geschätzte Prävalenz eines refraktiven Zylinders $>0,5$ dpt bei Kindern bzw. Erwachsenen beträgt 14,9% bzw. 40,4%. Damit ist der Astigmatismus der häufigste Refraktionsfehler vor Hypermetropie und Myopie [2].

Man unterscheidet den äußeren (= keratometrischen, topographischen) Astigmatismus durch eine ungleiche Krümmung an den 2 Hauptmeridianen der anterioren Hornhaut, vom inneren Astigmatismus. Letzterer wird v. a. durch Krümmungsfehler der posterioren Hornhaut und Linsenoberfläche bedingt. Daraus resultieren lokale Unterschiede in der Refraktion, die nicht durch Veränderung von Objektweite oder Akkommodation korrigiert werden können [3, 4].

Der **äußere Astigmatismus** wird unterteilt in reguläre Formen, bei denen die maximal und minimal brechenden Hauptschnitte senkrecht aufeinander stehen. Demgegenüber bezeichnet man den Astigmatismus als irregulär, wenn die beiden Ebenen einen Winkel einschließen, der von 90° abweicht. Steht beim regulären Astigmatismus der steilste gemessene Meridian annähernd vertikal bei 90° ($90^\circ \pm x^\circ$), spricht man von einem Astigmatismus rectus („mit der Regel“, „with the rule“ [WTR]). Bei einem Astigmatismus inversus („gegen die Regel“, „against the rule“ [ATR]) liegt der steilste Meridian annähernd horizontal bei 0° ($0^\circ \pm x^\circ$). Steht der steilste Meridian beim regulären Astigmatismus weder horizontal noch vertikal, wird er als Astigmatismus obliquus („schräg“, „oblique“ [OBL]) bezeichnet [3].

Die optische Summierung des äußeren und inneren Astigmatismus wird als refraktiver Astigmatismus bzw. terminologisch besser als refraktiver Zylinder bezeichnet. Hierbei ist bemerkenswert, dass der posteriore Hornhautastigmatismus (zum inneren Astigmatismus zählend) tendenziell eher ein ATR-Astigmatismus ist, wodurch ein anteriorer WTR-Hornhautastigmatismus antagonisiert wird, ein anteriorer ATR-Hornhautastigmatismus hingegen verstärkt wird. Des Weiteren zeigen anteriorer und posteriorer Hornhautastigmatismus keine lineare Abhängigkeit voneinander. Dies verdeutlicht die Notwendigkeit der Messung der anterioren sowie posterioren Hornhautradialen mit entsprechend zuverlässigen Messinstrumenten (**Hornhauttomographie**) [5].

Die Achslage des refraktiven Zylinders verändert sich im Lauf des Lebens, bedingt durch Alterationen der kornealen Krümmung, von WTR in Richtung ATR. Außerdem können Abbildungsfehler höherer Ordnung als Ausdruck einer lentogenen Visusverschlechterung im höheren Alter zunehmen [6].

Astigmatismus und Visus – inklusive astigmatische Abbildung

Beim astigmatischen Auge werden die von einem Objekt ausgehenden Lichtstrahlen nicht in einem Punkt auf der Netzhautenebene abgebildet, sondern in 2 Brennpunkten. Ein Lichtstrahl, der parallel zur optischen Achse des Auges einfällt, wird in Abhängigkeit von seiner Einfallsebene unterschiedlich stark gebrochen, wobei ein geringerer Hornhautradius (stärkere Krümmung der Hornhautoberfläche) eine stärkere Brechkraft bedingt. Eine Radiendifferenz von 0,1 mm entspricht einer Brechkraftdifferenz von ca. 0,5 dpt [7].

Je nach Lage der 2 **Brennpunkte** in Bezug auf die Netzhautenebene unterscheidet man einen Astigmatismus compositus hyperopicus (beide Brennpunkte hinter der Netzhautenebene), einen Astigmatismus simplex hyperopicus (1 Brennpunkt auf Netzhautenebene, 1 dahinter), einen Astigmatismus mixtus (1 Brennpunkt vor Netzhautenebene, 1 dahinter), einen Astigmatismus simplex myopicus (1 Brennpunkt auf Netzhautenebene, 1 davor) sowie einen Astigmatismus compositus myopicus (beide Brennpunkte vor der Netzhautenebene). In der Mitte zwischen diesen 2 Brennpunkten liegt der sog. „**Kreis kleinster Verwirrung**“, an dem ein Punkt als unscharfer Kreis abgebildet wird. Je nach Stärke des Astigmatismus variiert der Abstand zwischen den 2 Brennpunkten ([7]; **Abb. 1**).

Solange die Gesetze der **Gauß-Optik** Gültigkeit besitzen, weicht der Einfallswinkel eines Lichtstrahls nur maximal 5° von der Flächennormalen des Glases, auf das er auftrifft ab. In der Realität gelten die Gesetze der Gauß-Optik nur mehr eingeschränkt, und so haben Brillenträger mit sphärischen Gläsern bei größeren Abweichungen des Einfallswinkels eines Lichtstrahls vom

Der Astigmatismus ist der häufigste Refraktionsfehler vor Hypermetropie und Myopie

Die optische Summierung des äußeren und inneren Astigmatismus wird als refraktiver Zylinder bezeichnet

Die Achslage des refraktiven Zylinders verändert sich im Lauf des Lebens

Eine Radiendifferenz von 0,1 mm entspricht einer Brechkraftdifferenz von ca. 0,5 dpt

Bei einfachen Bikonvex- oder Bikonkavlinsen ist der Astigmatismus schiefer Bündel besonders hoch

In Familien mit hochgradigem Astigmatismus wurde eine Vererbbarkeit nach den Mendel-Regeln nachgewiesen

Abb. 1 ◀ Astigmatische Abbildung (ATR [„against the rule“]) – grün dargestellt der „Kreis kleinster Verwirrung“

Normalvektor des Brillenglases mit einem Astigmatismus schiefer Bündel zu kämpfen. Zusätzlich zu dieser astigmatischen Abweichung kommt es auch zu einer sphärischen Abweichung, und der Kreis kleinster Verwirrung weicht deutlich von der idealen sphärischen Bildwölbung ab. Bei einfachen Bikonvex- oder Bikonkavlinsen ist der Astigmatismus schiefer Bündel besonders hoch. Die Lösung sind die heute ausschließlich verwendeten Menisken (= durchgebogene Brillengläser), wobei gilt: je stärker die Durchbiegung des Brillenglases, umso geringer der Astigmatismus schiefer Bündel. Brillengläser, die den Astigmatismus schiefer Bündel korrigieren, werden **punktuell abbildende Brillengläser** genannt [7].

Ätiologie

Astigmatismus ist ein **dynamisches Phänomen**. Abhängig vom Druck der Augenlider auf den Bulbus, der Pupillendynamik, der Zyklotorsion, der mono- bzw. binokularen Testung und des Tränenfilms zeigen sich Variationen des Astigmatismus auch bei Emmetropen im Tagesverlauf sowie altersabhängig [8].

Ein Astigmatismus tritt durch Veränderungen der gesunden Hornhaut, der Linse (z.B. Lentikonos), der Netzhaut bei hoher Myopie sowie durch Hornhautpathologien wie Keratokonus, aber auch ophthalmochirurgisch induziert oder genetisch bedingt auf.

Genetik

Einerseits ist bekannt, dass epidemiologische Unterschiede hinsichtlich der Prävalenz des Astigmatismus zwischen unterschiedlichen Bevölkerungsgruppen existieren, andererseits wurden in Zwillingsstudien der topographische Astigmatismus sowie der refraktive Zylinder als moderat bis hochgradig vererblich klassifiziert, und in Familien mit hochgradigem Astigmatismus wurde eine Vererbbarkeit nach den Mendel-Regeln nachgewiesen [9, 10, 11, 12, 13]. In einer Metaanalyse von „genome-wide association studies“ (GWAS) betreffend genetische Mutationen bei Europäern und Asiaten mit einem topographischen Astigmatismus >0,75 dpt konnten **Kandidatengene** identifiziert werden: top SNP: rs7673984 nahe des *PDG*(„platelet derived growth factor“)- α -Gens, *CLDN-7* (Claudin), *ACP2* („acid phosphatase 2“) und *TNFAIP8L3* („TNF[tumor necrosis factor]- α -induced protein 8 like 3“) [14]. Außerdem wurde in derselben Stichprobe eine Assoziation zwischen einem refraktivem Zylinder >1,0 dpt und dem *NRXN1*-Gen dargestellt [15].

Myopie

Personen mit einer Myopie >5 dpt zeigen ebenfalls eine Prävalenz von einem Astigmatismus >1 dpt mit etwa 36 %, wobei es sich in 55 % der Fälle um einen WTR-Astigmatismus handelt [16].

Augenmuskulatur

Eine ungleichmäßige Kräfteverteilung an der Oberfläche der Hornhaut durch ungleichmäßigen extraokulären Muskelzug wird als weitere Ursache diskutiert [3]. Diese Assoziation wurde bereits im Jahr 1874 von Henry Noyes bei einem Patienten nach **Schielopoperation** vermutet [17]. Hong et al., die Kinder nach Schieloperationen bei intermittierender Exotropie untersuchten, zeigten

eine signifikante, refraktive Veränderung der Hornhautoberfläche mit Entwicklung eines WTR-Astigmatismus in den ersten 3 postoperativen Monaten [18].

Nystagmus

Beim idiopathischen kongenitalen Nystagmus kommt es, beginnend in den ersten 6 Lebensmonaten, zu **unwillkürlichen Oszillationen** der Augen, wobei 65 % der Betroffenen einen WTR-Astigmatismus $\geq 1,25$ dpt aufweisen [19, 20]. Es liegen keine Studien zur Ätiologie (kongenital vs. Nystagmus-bedingt) des WTR-Astigmatismus bei diesen Patienten vor [19].

Keratokonus

Der Keratokonus ist eine progressive, bilaterale Erkrankung mit Hinweisen auf eine inflammatorische Komponente. Die Hornhaut nimmt infolge einer Stromaverdünnung und Protrusion eine konische Form an. Mit einer Inzidenz von 1/2000/Jahr wird die Erkrankung autosomal-rezessiv oder -dominant vererbt und in ihrer Expressivität durch bestimmte Umwelteinflüsse moduliert. Aus diesem Grund zeigten sich bei zweieiigen Zwillingen unterschiedliche Krankheitsverläufe [21]. Eine **keratometrische Asymmetrie** vermindert den Erfolg eines exakten refraktiven Ausgleichs mittels sphärozyklindrischer Gläser, obschon harte Kontaktlinsen in der Frühphase der Erkrankung gute refraktive Ergebnisse erzielen. Es bestehen unter anderem **systemische Assoziationen** z. B. zum Down-Syndrom. Im Rahmen der Spaltlampenuntersuchung können sich Vogt-Linien, ein Fleischer-Ring und das Munson-Zeichen, skioskopisch ein Öltropfen- oder Scherenreflex zeigen. Die empfindlichste Methode zur Früherkennung und Verlaufskontrolle ist die Hornhauttomographie, um v. a. Veränderungen der Hornhaurückfläche zu diagnostizieren [21].

Ophthalmochirurgisch induziert

Chirurgisch induzierter Astigmatismus („surgically induced astigmatism“ [SIA]) kann im Rahmen von operativen Eingriffen entstehen. Insbesondere nach Kataraktoperationen ist der SIA ein nach wie vor wichtiges Thema und wird von Faktoren wie dem Inzisionstyp, der Lokalisation sowie Länge der Inzision und ggf. einer notwendigen Naht beeinflusst. Studien, die die Lokalisation der Inzisionen (nasal vs. temporal) untersuchten, konnten keinen signifikanten Unterschied hinsichtlich der Lokalisation/Größe der Inzisionen feststellen [22, 23]. Es zeigte sich einerseits, dass kleinere Inzisionen nicht mit weniger SIA assoziiert waren und dass eine 3,0-mm-Inzision – unabhängig davon, ob sie nasal oder temporal gesetzt wurde – denselben topographischen Astigmatismus bedingte. Es konnte außerdem gezeigt werden, dass ca. 50 % aller Patienten, die zur Kataraktoperation vorstellig werden, präoperativ einen topographischen Astigmatismus von ≥ 1 dpt aufwiesen (44 % WTR, 39 % ATR, 17 % OBL) [24]. Nach einer **perforierenden Keratoplastik** weisen 15–20 % der Patienten einen Astigmatismus ≥ 5 dpt und bis zu 20 % der Patienten einen Astigmatismus auf, der weder mit Brillengläsern noch mit Kontaktlinsen ausreichend korrigiert werden kann. Therapeutische Möglichkeiten beim Astigmatismus nach Keratoplastik sind gezielte Nahtentfernung, Nahtadjustierung, Korrektur mit Kontaktlinsen bzw. Brillengläsern (sofern möglich), photorefraktive Eingriffe, Keilresektion, torische Add-on-Intraokularlinsen, intrakorneale Ringsegmente, relaxierende Inzisionen mit bzw. ohne Kompressionsnähte oder die wiederholte Keratoplastik [25, 26].

Diagnostik

Hornhauttopographie und -tomographie

Die Hornhauttopographie ist eine nichtinvasive Bildgebung zur Analyse der Hornhautoberfläche. Dreidimensionale Darstellungen der gesamten Hornhaut inklusive Hornhaurückfläche sowie Pachymetrie sind mit Topographiesystemen nicht möglich. Die meisten Topographiesysteme arbeiten mit der Placido-Disk-basierten Keratoskopie, wobei die Muster der von der Hornhautoberfläche und vom Tränenfilm reflektierten Lichtstrahlen in konzentrisch angeordneten,

Mit einer Inzidenz von 1/2000/Jahr wird die Erkrankung autosomal-rezessiv oder -dominant vererbt

Die empfindlichste Methode zur Früherkennung und Verlaufskontrolle ist die Hornhauttomographie

Insbesondere nach Kataraktoperationen ist der SIA ein nach wie vor wichtiges Thema

Die meisten Topographiesysteme arbeiten mit der Placido-Disk-basierten Keratoskopie

Die meisten Tomographiesysteme arbeiten mit einer rotierenden Scheimpflug-Kamera

Die Erfolgsquote wird vom Verhältnis des DV zum TIA bestimmt

Der ORA basiert größtenteils auf der Hornhaurückfläche, der Linse und weiteren Strukturen wie der Retina

alternierend schwarzen und weißen Ringen evaluiert werden. Das System der „**slit-scanning elevation topography**“ misst die Triangulation zwischen dem Referenzlichtstrahl und den von der Kamera aufgenommenen, von der Hornhautoberfläche reflektierten Lichtstrahlen. Eine dreidimensionale Analyse inklusive Kurvaturen und Elevation wird so ermöglicht [27]. Eine rein topographische Darstellung liefert jedoch nicht alle Informationen, um die chirurgische Astigmatismuskorrektur erfolgreich durchzuführen. Tomographische Messungen der Hornhaut sind hierzu unersetzlich.

Die Hornhauttomographie liefert Analysen der Hornhautoberfläche sowie -rückfläche und kann dreidimensionale Darstellungen der gesamten Hornhaut inklusive flächiger Pachymetrie generieren. Die meisten Tomographiesysteme arbeiten mit einer rotierenden Scheimpflug-Kamera, die den Benefit der exakten Analyse der Hornhautperipherie im Gegensatz zu einer zentral lokalisierten Kamera bietet. Wenn Bild- und Objektebene nicht parallel zueinander liegen, wird die sog. „Scheimpflug-Intersection“ vom System generiert, um das nichtparallele Objekt scharf in seiner Gesamtheit darzustellen.

Abb. 2 ▲ Beziehungsdiagramm zwischen den 3 Vektoren der Vektoranalyse nach Alpins. SIA „surgically induced astigmatic vector“, DV „difference vector“, TIA „target induced astigmatic vector“

Darstellung, Analyse und Therapieplanung: Astigmatismus als Vektor

Astigmatismus wurde lange als zweidimensionales Phänomen, bestehend aus einem Betrag (Dioptrien) und einer Richtung (Achse), gesehen. Erst die Betrachtung als **dreidimensionaler Vektor** hat den Blick auf die bestehenden Analysemethoden verändert [28].

Eine bekannte Methode zur Berechnung der astigmatischen Veränderungen nach chirurgischen Eingriffen (in der Regel korneal refraktive Eingriffe) ist die **Vektoranalyse nach Alpins**. Hier wird Astigmatismus analysiert, indem 3 fundamentale Vektoren verwendet werden: „target induced astigmatic vector“ (TIA), „surgically induced astigmatic vector“ (SIA) und „difference vector“ (DV) (■ **Tab. 1**).

Die Beziehungen zwischen diesen Vektoren werden verwendet, um die chirurgischen Auswirkungen zu verdeutlichen (■ **Abb. 2**). TIA ist die theoretisch beabsichtigte Änderung des Betrags und der Achse des Astigmatismus, während SIA der reale Betrag des Astigmatismus ist, den der chirurgische Eingriff induziert hat. DV ist die astigmatische Änderung, die notwendig wäre, um das ursprüngliche Ziel (= TIA) zu erreichen, und ist daher vorzugsweise „0“. Die Erfolgsquote („index of success“ [IOS]) wird vom Verhältnis des DV zum TIA bestimmt und ist auch idealerweise „0“. Mithilfe dieser 3 Vektoren (TIA, SIA, DV) können noch weitere Indizes erstellt werden, die zum genaueren Verständnis der durch die Behandlung induzierten Veränderungen beitragen (■ **Tab. 2**). Die Analyse wird einerseits für jeden Patienten individuell durchgeführt, andererseits auch „synoptisch“ zur Analyse größerer Datensätze verwendet [29].

Okulärer residueller Astigmatismus

Zum refraktiven Zylinder tragen die anteriore Hornhaut und der okuläre residuale Astigmatismus (ORA) bei. Der ORA basiert größtenteils auf der Hornhaurückfläche, der Linse und weiteren Strukturen wie der Retina, Letztere können aber nicht näher quantifiziert werden. Die mathematische Definition des ORA ist die vektorielle Differenz zwischen dem Astigmatismus in der Hornhauttopographie und dem refraktiven Zylinder der Hornhautebene [30]. Frings et al. untersuchten 2991 Augen von 2991 myopen Patienten präoperativ vor LASIK (Laser-in-situ-Keratomektomie), um den Einfluss von Alter, Geschlecht, okulärer Dominanz, refraktivem Zylinder und topographischem Astigmatismus, subjektiver Sphäre und mesopischer Pupillengröße auf den vorbestehenden ORA zu analysieren [31]. Der ORA wurde mittels der Methode nach Alpins ermittelt [32]. Die Patienten wurden in 2 Subgruppen aufgeteilt, je nach Relation des ORA zum präoperativen refraktiven Zylinder (R) ($ORA/R \geq 1$ bzw. ≤ 1). Aus dieser Analyse ging

Tab. 1 Vektoren der Vektoranalyse nach Alpíns [28]

TIA = „target induced astigmatism“	Die im Rahmen des Eingriffs geplante astigmatische Veränderung in Betrag und Richtung
SIA = „surgically induced astigmatism“	Die im Rahmen des Eingriffs tatsächlich induzierte astigmatische Veränderung in Betrag und Richtung
DV = „difference vector“ = TIA – SIA	Die astigmatische Veränderung in Betrag und Richtung, die zusätzlich zur tatsächlich induzierten astigmatischen Veränderung nötig wäre, um die ursprünglich geplante astigmatische Veränderung zu erreichen

Tab. 2 Indizes der Vektoranalyse nach Alpíns [28]

IOS = „index of success“	DV/TIA (idealerweise = 0)
CI = „correction index“	SIA/TIA (idealerweise = 0)
COA = „coefficient of adjustment“	1/CI (idealerweise = 0, wird zur Ermittlung des Ausmaßes zukünftiger Astigmatismuskorrekturen herangezogen)

DV „difference vector“, TIA „target induced astigmatic vector“, SIA „surgically induced astigmatism“

hervor, dass die präoperative Diagnostik von Patienten vor refraktiver Chirurgie die Interaktion zwischen refraktivem Zylinder, topographischem und okulärem residualem Astigmatismus berücksichtigen sollte. Je höher die „Kongruenz“ zwischen Betrag und Richtung des topographischen Astigmatismus und des refraktiven Zylinders ist, desto genauer kann der refraktive Zylinder bei kornealer Excimerlaserkorrektur von **Ametropien** behandelt werden [31]. In einer rezenten Studie konnte außerdem gezeigt werden, dass in einem beliebigen Auge die Aberrationen von Hornhaut und optisch brechenden Medien im Inneren des Auges größer waren als die Aberrationen des gesamten Auges [33]. Das heißt, die (anteriore) Hornhaut und die inneren, optisch wirksamen Grenzflächen kompensieren sich in ihrer astigmatischen Wirkung teilweise gegenseitig. Folglich gleichen sich topographischer Astigmatismus und refraktiver Zylinder nicht unbedingt in Betrag und Richtung.

Nach Alpíns kann Vektorplanung unter Mitberücksichtigung topographischer Daten effektiver einen postoperativen subjektiven Zylinder vermeiden. Topographische Parameter und **Wellenfrontaberrometrieanalysen** mit einzubeziehen resultiert in besserer Reduktion des topographischen Astigmatismus und besseren refraktiven Ergebnissen [34]. Die initiale Studie von Alpíns inkludierte 100 Patienten und ermittelte einen durchschnittlichen ORA-Wert von 0,81 dpt, wobei 34 % der Patienten einen Betrag >1,0 dpt aufwiesen [35].

Vor allem in Fällen mit einer Differenz von >1,0 dpt zwischen topographischem Astigmatismus und refraktivem Zylinder sollte auf Aberrationen höherer Ordnung geachtet werden, die unter Umständen nach erfolgter Korrektur des reinen refraktiven Zylinders klinisch erst in Erscheinung treten können (Grad des visuellen Einflusses: sphärische Abberation > Koma > Trefoil). Wellenfrontgeführte Ablationsprofile bieten hier einen therapeutischen Vorteil (eigene, noch nicht publizierte Daten von A. Frings).

Therapie

In den meisten Fällen vermindert ein refraktiver Zylinder bis zu einem Betrag von 0,5 dpt unabhängig von seiner Richtung die unkorrigierte Sehschärfe nicht [36].

Eine konservative Korrektur des Zylinders mittels Brille oder torischer Kontaktlinse hat ihren eigenen Stellenwert neben unterschiedlichsten chirurgischen Verfahren, die heute zur Astigmatismuskorrektur zur Verfügung stehen, von (t)PRK (photorefraktive Keratektomie), über FSAK (Femtosekundenlaser-assistierte Keratotomie), LASIK (Laser-in-situ-Keratomeileusis) bis hin zur SMILE („small-incision lenticule extraction“). Hier soll nun näher auf die Therapie mit Intraokularlinsen eingegangen werden.

Astigmatismuskorrektur mit Intraokularlinsen bei Patienten mit Katarakt

Da 20–30 % aller Patienten, die zur Kataraktoperation vorstellig werden, einen topographischen Astigmatismus von $\geq 1,25$ dpt und 10 % von ≥ 2 dpt aufweisen, stellt die Korrektur des topographi-

Vektorplanung kann unter Mitberücksichtigung topographischer Daten einen postoperativen subjektiven Zylinder vermeiden

Wellenfrontgeführte Ablationsprofile bieten einen therapeutischen Vorteil

tIOL sind eine Therapieoption mit gut vorhersagbarem Outcome

Die Clear-Cornea-Inzision an der steilen Achse führt zu einer signifikanten Reduktion der notwendigen zylindrischen Stärke der tIOL

schen Astigmatismus mit torischen Intraokularlinsen (tIOL) im Rahmen der Kataraktoperation eine sinnvolle Option dar [37, 38, 39]. Mittlerweile sind auch **multifokale tIOL** am Markt, die theoretisch zu einer weitestgehend postoperativen Brillenfreiheit führen sollten [40]. Ein während der Kataraktoperation nicht korrigierter Astigmatismus myopius simplex <1 dpt kann postoperativ zur positiven Auswirkung der **Pseudoakkommodation** führen (d.h. Gegenstände in Nähe und Ferne können gut abgebildet werden) [41].

tIOL stellen eine Therapieoption mit gut vorhersagbarem Outcome – besonders bei Personen mit regulärem Astigmatismus – dar [42]. Hierbei müssen präoperativ sowohl der anteriore als auch der posteriore Hornhautastigmatismus sowie der chirurgisch induzierte Astigmatismus berücksichtigt werden. In der Sehachse stellt dabei die posteriore Hornhaut funktionell eine Minuslinse dar, deren vertikaler Meridian tendenziell steiler ist als der Horizontale, was sich mit steigendem Alter verstärkt. An der anterioren Hornhaut ist im jungen Alter ebenso der vertikale Meridian steiler, jedoch verändert sich diese Einstellung im Alter mit einer Tendenz zu einem steileren horizontalen Meridian. Intraoperativ ist die korrekte Platzierung der Linse essenziell, postoperativ sind daher die Kontrolle der Achsenlage und subjektive Visusbestimmung erforderlich [42].

In der präoperativen Analyse zeigte sich die **Haigis-Formel** genauer als die SRK/T-Formel hinsichtlich Vorhersagbarkeit des refraktiven Outcomes und der effektiven Korrektur des topographischen Astigmatismus [43]. Es konnte gezeigt werden, dass die Clear-Cornea-Inzision an der steilen Achse zu einer signifikanten Reduktion der notwendigen zylindrischen Stärke der tIOL sowie zu einem geringeren Risiko eines postoperativen irregulären Astigmatismus führt [44]. Im Vergleich mit peripheren relaxierenden Inzisionen während der Kataraktoperation zeigte die Implantation einer tIOL bei Patienten mit einem Astigmatismus von 0,75–2,5 dpt keine signifikanten Unterschiede im postoperativen Visus [45]. In einer Metaanalyse von prospektiven Vergleichsstudien zwischen Excimerlaser und primärer IOL-Implantation für Myopie von –6 bis –20 dpt mit einem Astigmatismus bis zu 4 dpt war die primäre IOL-Implantation sicherer und genauer [46]. Eine weitere Vergleichsstudie untersuchte die Unterschiede im Nachtfahrsimulator nach Korrektur eines moderaten bis hohen myopen Astigmatismus mit tIOL und PRK, wobei die Patienten mit tIOL signifikant besser abschnitten [47]. Des Weiteren schnitt zur Korrektur eines moderaten bis hohen myopen Astigmatismus die tIOL auch in puncto Sicherheit, Genauigkeit, Vorhersagbarkeit und Stabilität signifikant besser ab als die PRK [48].

Fazit für die Praxis

- In den meisten Fällen vermindert ein refraktiver Zylinder bis zu einem Betrag von 0,5 dpt unabhängig von seiner Richtung die unkorrigierte Sehschärfe unter alltäglichen Bedingungen nicht.
- Der Astigmatismus sollte als dreidimensionaler Vektor mit Betrag und Richtung analysiert werden.
- Zum refraktiven Zylinder tragen hauptsächlich die anteriore Hornhaut und der okuläre residuale Astigmatismus (ORA) bei.
- Der ORA basiert zum größten Teil auf der Hornhautrückfläche und der Linse. Die mathematische Definition des ORA ist die vektorielle Differenz zwischen dem topographischen Astigmatismus und dem refraktiven Zylinder.
- Etwa 50 % aller Patienten, die zur Kataraktoperation vorstellig werden, weisen bereits präoperativ einen topographischen Astigmatismus von ≥ 1 dpt auf (meistens WTR). Hierbei stellen tIOL eine Therapieoption mit gut vorhersagbarem Outcome – besonders bei Personen mit regulärem Astigmatismus – dar.

Korrespondenzadresse

Dr. N. Woltsche

Univ.-Augenklinik Graz, Medizinische Universität Graz
Auenbruggerplatz 4, 8036 Graz, Österreich
n.woltsche@medunigraz.at

Förderung. Andreas Frings wurde von der Ernst- und Berta-Grimmke-Stiftung gefördert.

Funding. Open access funding provided by Medical University of Graz.

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. Gemäß den Richtlinien des Springer Medizin Verlags werden Autoren und Wissenschaftliche Leitung im Rahmen der Manuskripterstellung und Manuskriptfreigabe aufgefordert, eine vollständige Erklärung zu ihren finanziellen und nichtfinanziellen Interessen abzugeben.

Autoren: N. Woltsche: Finanzielle Interessen: Forschungspreis der Fa. AbbVie, vergeben von der Österreichischen Ophthalmologischen Gesellschaft auf der Jahrestagung der Österreichischen Ophthalmologischen Gesellschaft 05/2017 für den dort gehaltenen Vortrag; Dr. Adele-Rabensteiner-Stiftung der Österreichischen Ophthalmologischen Gesellschaft – Reisestipendium zu EMBO-Workshop Schweiz 04/2017; Vortragenden-Honorar für den Vortrag am Allergietag Graz 03/2018. Nichtfinanzielle Interessen: Assistenzärztin in Ausbildung zur Fachärztin für Augenheilkunde & Optometrie; Mitglied der Österreichischen Ophthalmologischen Gesellschaft; Mitglied der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft. P. Werkl: Der Autor gibt an, dass kein finanzieller Interessenkonflikt besteht. Nichtfinanzielle Interessen: Medizinstudent. L. Posch-Pertl: Finanzielle Interessen: Adele Rabensteiner Forschungspreis (Österreichische Ophthalmologische Gesellschaft); 8. März Stipendium (Medizinische Universität Graz); Reisekosten EURETINA 2018 (Bayer). Nichtfinanzielle Interessen: angestellter Arzt in Ausbildung; Mitglied bei Österreichischer Ophthalmologischer Gesellschaft. N. Ardjomand: Der Autor gibt an, dass kein finanzieller Interessenkonflikt besteht. Nichtfinanzielle Interessen: niedergelassener Augenarzt; Angestellter der Universitäts-Augenklinik Graz, Österreich; Mitglied, Gesellschaft/Verband: ESCRS, DOG, ARVO, EuCornea. A. Frings: Finanzielle Interessen: Ernst- und Berta-Grimmke Stiftung: Personalmittel. Nichtfinanzielle Interessen: angestellter Arzt an Univ.-Klinik Düsseldorf, Leiter Sektion Refraktive Chirurgie; Hon. Sen. Research Ass.: UCL Institute of Ophthalmology, 11–43 Bath St, London EC1V 9EL; Hon. Clin. Research Fellow: Moorfields Eye Hospital NHS Foundation Trust, 162 City Rd, London EC1V 2PD; Mitglied, Gesellschaft/Verband: ESCRS, BVA, DOG, DGIL, RWA.

Wissenschaftliche Leitung: Die vollständige Erklärung zum Interessenkonflikt der Wissenschaftlichen Leitung finden Sie am Kurs der zertifizierten Fortbildung auf www.springermedizin.de/cme.

Der Verlag erklärt, dass für die Publikation dieser CME-Fortbildung keine Sponsorengelder an den Verlag fließen.

Dieser Beitrag beinhaltet keine von den Autoren durchgeführten Studien an Menschen oder Tieren.

Open Access. Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Literatur

- Levene J (1966) Sir George Biddell Airy, F.R.S. (1801–1892) and the discovery and correction of astigmatism. Notes Rec R Soc Lond 21:180–199
- Hashemi H, Fotouhi A, Yekta A, Pakzad R, Ostadimoghaddam H, Khabazkhoob M (2018) Global and regional estimates of prevalence of refractive errors: systematic review and meta-analysis. J Curr Ophthalmol 30:3–22
- Read SA, Collins MJ, Carney LG (2007) A review of astigmatism and its possible genesis. Clin Exp Optom 90:5–19
- Kee C (2013) Astigmatism and its role in emmetropization. Exp Eye Res 114:89–95
- Sano M, Hiraoka T, Ueno Y, Itagaki H, Ogami T, Oshika T (2016) Influence of posterior corneal astigmatism on postoperative refractive astigmatism in pseudophakic eyes after cataract surgery. BMC Ophthalmol 16:212
- Namba H, Kawasaki R, Sugano A, Murakami T, Nishitsuka K, Kato T et al (2017) Age-related changes in ocular aberrations and the Yamagata study (Funagata). Cornea 36(Suppl 1):S34–S40
- Lachenmayr B, Friedburg D, Buser A (2016) Auge – Brille – Refraktion, 5. Aufl. Thieme, Stuttgart
- Mohammadi S, Tahvildari M, Z-Mehrjardi H (2012) Astigmatism – optics, physiology and management. InTech, Rijeka
- Harvey EM, Dobson V, Miller JM, Schwiegerling J, Clifford-Donaldson CE, Green TK et al (2011) Prevalence of corneal astigmatism in Tohono O’odham Native American children 6 months to 8 years of age. Invest Ophthalmol Vis Sci 52:4350
- Huynh SC, Kifley A, Rose KA, Morgan IG, Mitchell P (2007) Astigmatism in 12-year-old Australian children: comparisons with a 6-year-old population. Invest Ophthalmol Vis Sci 48:73
- Sanfilippo PG, Hewitt AW, Hammond CJ, Mackey DA (2010) The

- heritability of ocular traits. *Surv Ophthalmol* 55:561–583
12. Pärssinen O, Kauppinen M, Kaprio J, Koskenvuo M, Rantanen T (2013) Heritability of refractive astigmatism: a population-based twin study among 63- to 75-year-old female twins. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 54:6063
 13. Clementi M, Angi M, Forabosco P, Di Gianantonio E, Tenconi R (1998) Inheritance of astigmatism: evidence for a major autosomal dominant locus. *Am J Hum Genet* 63:825–830
 14. Shah RL, Li Q, Zhao W, Tedja MS, Tideman JW, Khawaja AP et al (2018) A genome-wide association study of corneal astigmatism: the CREAM Consortium. *Mol Vis* 24:127–142
 15. Li Q, Wojciechowski R, Simpson CL, Hysi PG, Verhoeven VJM, Ikram MK et al (2015) Genome-wide association study for refractive astigmatism reveals genetic co-determination with spherical equivalent refractive error: the CREAM consortium. *Hum Genet* 134:131–146
 16. Heidary G, Ying G-S, Maguire MG, Young TL (2005) The association of astigmatism and spherical refractive error in a high myopia cohort. *Optom Vis Sci* 82:244–247
 17. Noyes HD (1874) Astigmatism produced by tenotomy of recti muscles. *Trans Am Ophthalmol Soc* 2:128–131
 18. Hong SW, Kang NY (2012) Astigmatic changes after horizontal rectus muscle surgery in intermittent exotropia. *Korean J Ophthalmol* 26:438–445
 19. Wang J, Wyatt LM, Feliuss J, Stager DR, Stager DR, Birch EE et al (2010) Onset and progression of with-the-rule astigmatism in children with infantile nystagmus syndrome. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 51:594–601
 20. Fresina M, Benedetti C, Marinelli F, Versura P, Campos EC (2013) Astigmatism in patients with idiopathic congenital nystagmus. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 251:1635–1639
 21. Asimellis G, Kaufman EJ (2018) Keratoconus. *StatPearls, Treasure Island*
 22. Jin C, Chen X, Law A, Kang Y, Wang X, Xu W et al (2017) Different-sized incisions for phacoemulsification in age-related cataract. *Cochrane Database Syst Rev*. <https://doi.org/10.1002/14651858.cd010510.pub2>
 23. Nam D, Yoon J, Kim K-H, Lee J (2013) Surgically induced astigmatism after 3.0 mm temporal and nasal clear corneal incisions in bilateral cataract surgery. *Indian J Ophthalmol* 61:645
 24. De Bernardo M, Zeppa L, Cennamo M, Iaccarino S, Zeppa L, Rosa N (2014) Prevalence of corneal astigmatism before cataract surgery in Caucasian patients. *Eur J Ophthalmol* 24:494–500
 25. Hassenstein A, Niemeck F, Giannakakis K, Klemm M (2017) Toric add-on intraocular lenses for correction of high astigmatism after pseudophakic keratoplasty. *Ophthalmologie* 114:549–555
 26. Ho Wang Yin G, Hoffart L (2017) Post-keratoplasty astigmatism management by relaxing incisions: a systematic review. *Eye Vis (Lond)* 4:29
 27. Fan R, Chan TC, Prakash G, Jhanji V (2018) Applications of corneal topography and tomography: a review. *Clin Exp Ophthalmol* 46:133–146
 28. Wu HK (2002) Astigmatism and LASIK. *Curr Opin Ophthalmol* 13:250–255
 29. Alpíns N (2001) Astigmatism analysis by the Alpíns method. *J Cataract Refract Surg* 27:31–49
 30. Frings A, Richard G, Steinberg J, Skevas C, Druchkiv V, Katz T et al (2015) LASIK for spherical refractive myopia: effect of topographic astigmatism (ocular residual astigmatism, ORA) on refractive outcome. *PLoS ONE* 10:e124313
 31. Frings A, Katz T, Steinberg J, Druchkiv V, Richard G, Linke SJ (2014) Ocular residual astigmatism: effects of demographic and ocular parameters in myopic laser in situ keratomileusis. *J Cataract Refract Surg* 40:232–238
 32. Alpíns NA (1998) Treatment of irregular astigmatism. *J Cataract Refract Surg* 24:634–646
 33. Artal P, Guirao A, Berrio E, Williams DR (2001) Compensation of corneal aberrations by the internal optics in the human eye. *J Vis* 1:1–8
 34. Alpíns N, Stamatiatos G (2008) Clinical outcomes of laser in situ keratomileusis using combined topography and refractive wavefront treatments for myopic astigmatism. *J Cataract Refract Surg* 34:1250–1259
 35. Alpíns NA (1997) New method of targeting vectors to treat astigmatism. *J Cataract Refract Surg* 23:65–75
 36. Villegas EA, Alcón E, Artal P (2014) Minimum amount of astigmatism that should be corrected. *J Cataract Refract Surg* 40:13–19
 37. Hoffer KJ (1980) Biometry of 7,500 cataractous eyes. *Am J Ophthalmol* 90:360–368
 38. Hoffmann PC, Hütz WW (2010) Analysis of biometry and prevalence data for corneal astigmatism in 23,239 eyes. *J Cataract Refract Surg* 36:1479–1485
 39. Ferrer-Blasco T, Montés-Micó R, Peixoto-de-Matos SC, González-Méijome JM, Cerviño A (2009) Prevalence of corneal astigmatism before cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 35:70–75
 40. Hayashi K, Manabe S, Yoshida M, Hayashi H (2010) Effect of astigmatism on visual acuity in eyes with a diffractive multifocal intraocular lens. *J Cataract Refract Surg* 36:1323–1329
 41. Abraham M (2018) Katarakt-OP und Astigmatismus-Korrektur: Welcher Restastigmatismus ist akzeptabel oder gar wünschenswert? 31. Internationaler Kongress der Deutschen Ophthalmochirurgen, Nürnberg, 14.–16.06.2018 GMS, Düsseldorf (DocH3.1)
 42. Ventura BV, Wang L, Weikert MP, Robinson SB, Koch DD (2014) Surgical management of astigmatism with toric intraocular lenses. *Arq Bras Oftalmol* 77:125–131
 43. Eom Y, Song JS, Kim YY, Kim HM (2015) Comparison of SRK/T and Haigis formulas for predicting corneal astigmatism correction with toric intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg* 41:1650–1657
 44. He W, Zhu X, Du Y, Yang J, Lu Y (2017) Clinical efficacy of implantation of toric intraocular lenses with different incision positions: a comparative study of steep-axis incision and non-steep-axis incision. *BMC Ophthalmol* 17:132
 45. Nanavaty MA, Bedi KK, Ali S, Holmes M, Rajak S (2017) Toric intraocular lenses versus peripheral corneal relaxing incisions for astigmatism between 0.75 and 2.5 diopters during cataract surgery. *Am J Ophthalmol* 180:165–177
 46. Chen H, Liu Y, Niu G, Ma J (2018) Excimer laser versus phakic intraocular lenses for myopia and astigmatism: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Eye Contact Lens* 44:137–143
 47. Schallhorn S, Tanzer D, Sanders DR, Sanders M, Brown M, Kaupp SE (2010) Night driving simulation in a randomized prospective comparison of Visian toric implantable collamer lens and conventional PRK for moderate to high myopic astigmatism. *J Refract Surg* 26:321–326
 48. Schallhorn S, Tanzer D, Sanders DR, Sanders ML (2007) Randomized prospective comparison of visian toric implantable collamer lens and conventional photorefractive keratectomy for moderate to high myopic astigmatism. *J Refract Surg* 23:853–867

CME-Fragebogen

Teilnahme am zertifizierten Kurs auf CME.SpringerMedizin.de

- Der Teilnahmezeitraum beträgt 12 Monate, den Teilnahmeschluss finden Sie online beim CME-Kurs.
- Fragen und Antworten werden in zufälliger Reihenfolge zusammengestellt.
- Pro Frage ist jeweils nur eine Antwort zutreffend.
- Für eine erfolgreiche Teilnahme müssen 70 % der Fragen richtig beantwortet werden.

? Wie viel Prozent aller Erwachsenen weltweit weisen einen refraktiven Zylinder >0,5 dpt auf?

- ☐ Zirka 10 %
- ☐ Zirka 20 %
- ☐ Zirka 30 %
- ☐ Zirka 40 %
- ☐ Zirka 50 %

? Wie viel Prozent aller Patienten, die zur Kataraktoperation vorstellig werden, weisen präoperativ einen topographischen Astigmatismus ≥ 2 dpt auf?

- ☐ Zirka 50 %
- ☐ Zirka 25 %
- ☐ Zirka 10 %
- ☐ Zirka 40 %
- ☐ Zirka 75 %

? Welches diagnostische Device kann Analysen der Hornhautvorderfläche und Hornhautreückfläche sowie eine dreidimensionale Darstellung der Hornhaut und eine pachymetrische Analyse generieren?

- ☐ Topographie
- ☐ Tomographie
- ☐ Konfokale Mikroskopie
- ☐ Optische Kohärenztomographie (OCT)
- ☐ Konventionelle Spaltlampe

? Wovon spricht man, wenn bei einem regulären äußeren Astigmatismus der steilste gemessene Meridian annähernd bei 90° vertikal liegt?

- ☐ Astigmatismus „gegen die Regel“
- ☐ „Schräger“ Astigmatismus
- ☐ Refraktiver Zylinder
- ☐ Okulärer residualer Astigmatismus
- ☐ Astigmatismus „mit der Regel“

? Wie ist der okuläre residuale Astigmatismus (ORA) definiert?

- ☐ Die vektorielle Differenz zwischen dem Astigmatismus in der Hornhauttopographie und dem refraktiven Zylinder der Hornhautebene
- ☐ Die im Rahmen eines refraktiv-chirurgischen Eingriffs geplante astigmatische Veränderung in Betrag und Richtung
- ☐ Die im Rahmen eines refraktiv-chirurgischen Eingriffs tatsächlich induzierte astigmatische Veränderung in Betrag und Richtung
- ☐ Die astigmatische Veränderung in Betrag und Richtung, die zusätzlich zur tatsächlich induzierten astigmatischen Veränderung nötig wäre, um die ursprünglich geplante astigmatische Veränderung durch einen refraktiv-chirurgischen Eingriff zu erreichen
- ☐ Astigmatismus durch eine ungleiche Krümmung an den 2 Hauptmeridianen der anterioren Hornhaut

? Welche Formel bewies sich bis dato hinsichtlich Vorhersagbarkeit des refraktiven Outcomes und der effektiven Korrektur des topographischen Astigmatismus als sehr zuverlässig in der präoperativen Evaluation vor Implantation einer torischen Intraokularlinse?

- ☐ Holladay
- ☐ SRK/T
- ☐ Haigis
- ☐ Hoffer Q
- ☐ SRK II

? Wovon spricht man, wenn sich in der astigmatischen Abbildung eine Brennpunktlinie vor der Netzhautenebene und eine Brennpunktlinie dahinter befindet?

- ☐ Astigmatismus mixtus
- ☐ Astigmatismus compositus hyperopicus
- ☐ Astigmatismus simplex hyperopicus
- ☐ Astigmatismus compositus myopicus
- ☐ Astigmatismus simplex myopicus

? Wie bezeichnet man die optische Summierung des inneren und äußeren Astigmatismus?

- ☐ Astigmatismus schiefer Bündel
- ☐ Okulärer residualer Astigmatismus
- ☐ „Difference vector“ (DV)
- ☐ Topographischer Zylinder
- ☐ Refraktiver Zylinder

? Welche Reihenfolge ist korrekt, wenn man Aberrationen höherer Ordnung nach dem Grad ihres visuellen Einflusses bewertet (Reihenfolge: stark zu schwach)?

- ☐ Sphärische Aberration > Trefoil > Koma
- ☐ Sphärische Aberration > Koma > Trefoil
- ☐ Koma > sphärische Aberration > Trefoil
- ☐ Koma > Trefoil > sphärische Aberration
- ☐ Trefoil > Koma > sphärische Aberration

? Es stellt sich eine 75-jährige Patientin mit einer deutlichen Katarakt und einem Visus von 0,4 (+1,5, -2,5/130°) am betroffenen rechten Auge vor. Das linke Auge ist schon pseudophak (0,5, -0,5/111°). Welche Untersuchung veranlassen Sie, um herauszufinden, ob die Implantation einer torischen Intraokularlinse sinnvoll ist?

- ☐ Eine Vorderabschnitts-OCT
- ☐ Eine Slit-scanning Topographie
- ☐ Eine Scheimpflug-Tomographie
- ☐ Eine Pachymetrie
- ☐ Eine Hornhautendothelzellzahlbestimmung

Hier steht eine Anzeige.