



Selektive wellenfrontgeführte Ablation der Hornhaut zur Korrektur refraktiver Fehler nach Implantation einer trifokalen Intraokularlinse

Theo G. Seiler · Aharon Wegner · Gerald Schmidinger · Theo Seiler

Eingegangen: 5. Juli 2019 / Angenommen: 29. Juli 2019
© Springer-Verlag GmbH Austria, ein Teil von Springer Nature 2019

Zusammenfassung

Hintergrund Ein deutlich verbesserter Wellenfrontsensor (Peramis, Schwind Eye-Tech Solutions, Kleinostheim, Deutschland) ermöglicht die selektive wellenfrontgeführte Korrektur von optischen Fehlern. Diese Studie untersucht die selektive wellenfrontgeführte Ablation zur Verbesserung der Zufriedenheit nach Implantation einer trifokalen Intraokularlinse (IOL).

Methodik Von 110 Patienten mit 216 Augen, welche eine Kataraktoperation mit multifokaler IOL-Implantation (FineVision, Physiol, Liège, Belgien) erhielten, lag bei 56 Augen (26 %) von 42 Patienten ein subjektiv unbefriedigendes postoperatives Ergebnis vor. Bei diesen 56 Augen wurde eine selektive wellenfrontgeführte Laser in-situ Keraomileusis (LASIK, Amaris 1050, Schwind Eye-Tech Solutions, Kleinostheim, Deutschland) durchgeführt. Korrigiert wurden alle Aberrationen außer sphärischen Aberrationen 1. und 2. Ordnung, um nicht die Apodisierung der trifokalen IOL zu kompensieren und somit den multifokalen Effekt abzuschwächen. Prä- und postoperativ wurden ein refraktiver Status sowie die Patientenzufriedenheit erhoben und statistisch verglichen.

Ergebnisse Nach trifokaler IOL-Implantation lag bei 26 % der Augen ein subjektiv unbefriedigendes post-

operatives Ergebnis vor. Gründe waren in 63 % der Augen ein residueller Astigmatismus von mehr als 0,5 dpt, gefolgt von der Myopie (45 %), der Hyperopie (20 %) sowie Fehlern höherer Ordnung in 13 %. Innerhalb dieser Gruppe konnte mithilfe der selektiven wellenfrontgeführten LASIK die Zielfraktion von $\pm 0,5$ dpt in 98 % erreicht werden und der Astigmatismus in 93 % der Augen auf 0,5 dpt oder weniger reduziert werden. Die Gesamtzufriedenheit dieser Patienten stieg von $2,1 \pm 0,8$ präoperativ auf $3,6 \pm 0,8$ (von 4) postoperativ. Von den vormals unzufriedenen Patienten würden 90 % die Operation (trifokale IOL & LASIK) erneut durchführen lassen.

Schlussfolgerung Die selektive wellenfrontgeführte LASIK reduziert refraktive Fehler und führt zu einer signifikant höheren Akzeptanz und Zufriedenheit mit multifokalen IOLs.

Schlüsselwörter Multifokale IOL · LASIK · Zufriedenheit · Verbesserung · Fehler höherer Ordnung

Selective wavefront-guided corneal ablation for correction of aberrations after implantation of a trifocal intraocular lens

Summary

Background A substantially improved wavefront sensor (Peramis, Schwind Eye-Tech Solutions, Kleinostheim, Germany) enables selective wavefront-guided correction of aberrations. This study investigates the potential of selective wavefront-guided ablation to increase the satisfaction level after trifocal intraocular lens (IOL) implantation.

Methods Out of 216 eyes from 110 patients who underwent cataract surgery with implantation of multifocal IOLs (FineVision, Physiol, Liège, Belgium), 42 patients were dissatisfied with the postoperative re-

Dr. med. T. G. Seiler · PD Dr. med. A. Wegner ·
Prof. Dr. med. G. Schmidinger ·
Prof. Dr. med. Dr. rer. nat. T. Seiler (✉)
Institut für Refraktive und Ophthalgo-Chirurgie (IROC AG),
Stockerstr. 37, 8002 Zürich, Schweiz
info@iroc.ch

Dr. med. T. G. Seiler
Universitätsklinik für Augenheilkunde, Inselspital,
Universität Bern, 3010 Bern, Schweiz

Prof. Dr. med. G. Schmidinger
Universitätsklinik für Augenheilkunde und Optometrie,
Medizinische Universität Wien, Wien, Österreich

sults in 56 eyes (26%). In these 56 eyes a selective wavefront-guided laser in situ keratomileusis (LASIK, Amaris 1050, Schwind Eye-Tech Solutions) was performed. All aberrations apart from 1st and 2nd order spherical aberrations were corrected to compensate ametropia but preserve the apodization of the trifocal IOL and, therefore, preserve the full the multifocal effect. The refractive status and patient satisfaction were documented pre- and postoperatively and statistically compared.

Results After implantation of a trifocal IOL 26% were dissatisfied with the postoperative result. The reasons were residual astigmatism of more than 0.5 dpt in 63% of the eyes, followed by myopia in 45%, hyperopia in 20% and higher order aberrations in 13%. After selective wavefront-guided LASIK the target refraction of ± 0.5 dpt could be achieved in 98% of the eyes and astigmatism could be reduced to 0.5 dpt or less in 93% of the eyes. The level of satisfaction increased from 2.1 ± 0.8 preoperatively to 3.6 ± 0.8 (out of 4) postoperatively. Of the previously dissatisfied patients, 90% would undergo the operation (trifocal IOL and LASIK) again.

Conclusion Selective wavefront-guided LASIK reduces refractive errors and increases significantly the acceptance and satisfaction of multifocal IOLs.

Keywords Multifocal IOL · LASIK · Satisfaction · Improvement · Higher order aberrations

Obwohl multifokale Linsen schon seit mehr als 30 Jahren während der Kataraktoperation implantiert werden, sind sie weit davon entfernt, generell akzeptiert zu sein, und dies obwohl eine multifokale Linse erhebliche Vorteile im täglichen Leben haben kann [1, 2]. Klagen nach Implantation von Multifokallinsen bezogen sich häufig auf ein unscharfes Bild in Nähe und Ferne wie auch auf die Notwendigkeit von Brillen im Intermediärbereich [3]. Während der Zwischenbereich durch die Verwendung von trifokalen Intraokularlinsen inzwischen erschlossen ist, kann die Frage eines reduzierten Visus in Nähe und/oder Ferne nur im Einzelfall geklärt werden, wobei ein Nachstar, Ametropien, trockene Augen und ein Restastigmatismus verantwortlich sein können [4, 5]. Nach Implantation von multifokalen Intraokularlinsen führt jegliche Verschlechterung der Abbildungsqualität zu einer zunehmenden Unzufriedenheit, da bereits durch das multifokale (diffraktive) Design moderner Intraokularlinsen eine gewisse Reduktion des Kontrasts akzeptiert werden muss. Da der Multifokaleffekt auf der retinalen/kortikalen Unterdrückung von Bildern mit unscharfen Rändern beruht und damit jeweils nur ein scharfes Bild gesehen wird, führt jegliche Verschlechterung der beiden Bilder zum Versagen der Unterdrückung und damit zum Verlust der Multifokalität. Solche generellen Verschlechterungen können durch einen Restastigmatismus von mehr als 0,5 dpt verursacht werden

[6], einer Koma [7], die auf der Dezentrierung der IOL von mehr als 0,4 mm beruht, einem Nachstar [5] oder können eben auch von einem trockenen Auge [4] herführen.

Sowohl der Astigmatismus als auch eine Koma können relativ zuverlässig mit dem Laser wellenfrontgeführt behandelt werden und auch eine Anisometropie der beiden Augen ist, wenn sie stört, leicht korrigierbar. Problematisch bei solchen wellenfrontgeführten Behandlungen ist allerdings eine Apodisierung der Intraokularlinse, wie sie bei modernen IOLs in den meisten Fällen verwendet wird [8, 9]. Bei dieser Apodisierung ist im Zentrum der IOL der Nahteil verstärkt, während in der Peripherie der Fernteil überwiegt [10–12]. Aufgrund der Pupillenkonstriktion bei der Nahtrias wird das Auge beim Lesen kurzsichtiger, während beim Öffnen der Pupille die Fernsicht überwiegt. In der Wellenfrontsprache entspricht dies einer sphärischen Aberration, die, ähnlich wie bei der prolaten Hornhaut, physiologisch ist. Wenn also mithilfe einer wellenfrontgeführten Ablation (LASIK oder PRK) die optischen Fehler niedriger und höherer Ordnung korrigiert werden, um den Multifokaleffekt der IOL zu verbessern [13], dann sollte genau die sphärische Aberration, die mit der Apodisierung zusammenhängt, nicht „weggelasert“ werden, sondern bestehen bleiben.

In der vorliegenden Arbeit soll eine solche selektive Wellenfrontkorrektur nach Implantation von trifokalen IOLs retrospektiv untersucht und insbesondere die Zunahme des Zufriedenheitsgrades bestimmt werden, die durch diese nachfolgende Laseroperation erfolgte.

Patienten und Methoden

Es wurden 130 konsekutive Patienten, die im Zeitraum zwischen Januar 2015 und Juli 2017 eine Phakoemulsifikation und Implantation einer trifokalen IOL am Institut für Refraktive und Ophthalmo-Chirurgie (IROC) erhielten, in die Studie aufgenommen. Ausschlusskriterien waren vorangegangene Operationen oder Erkrankungen des Auges (z. B. Glaukom), Komplikationen während der Kataraktoperationen, Endothelzellichten von weniger als 1800 Zellen/mm² und Hornhautveränderungen mit konsekutivem asymmetrischem oder irregulärem Astigmatismus. Der präoperative reguläre Hornhautastigmatismus, gemessen mit rotierender Scheimpflug-Photographie (True Net Power, Pentacam HR, Oculus, Wetzlar, Deutschland), musste weniger als 2,5 dpt betragen. Patienten, die an trockenen Augen litten, wurden von der Studie ausgeschlossen, falls der Visus (prä- oder postoperativ) trotz einer optimalen Behandlung des trockenen Auges sich nicht auf 0,8 oder besser anheben ließ. Bei Patienten mit einer frühpostoperativen Trübung der hinteren Kapsel, die mit dem bestkorrigierten Sehvermögen interferierte, wurde eine Nd:YAG-Kapsulotomie mit einer optischen Zone von mindestens 5 mm Durchmesser durchgeführt. Aufgrund der Ausschluss-

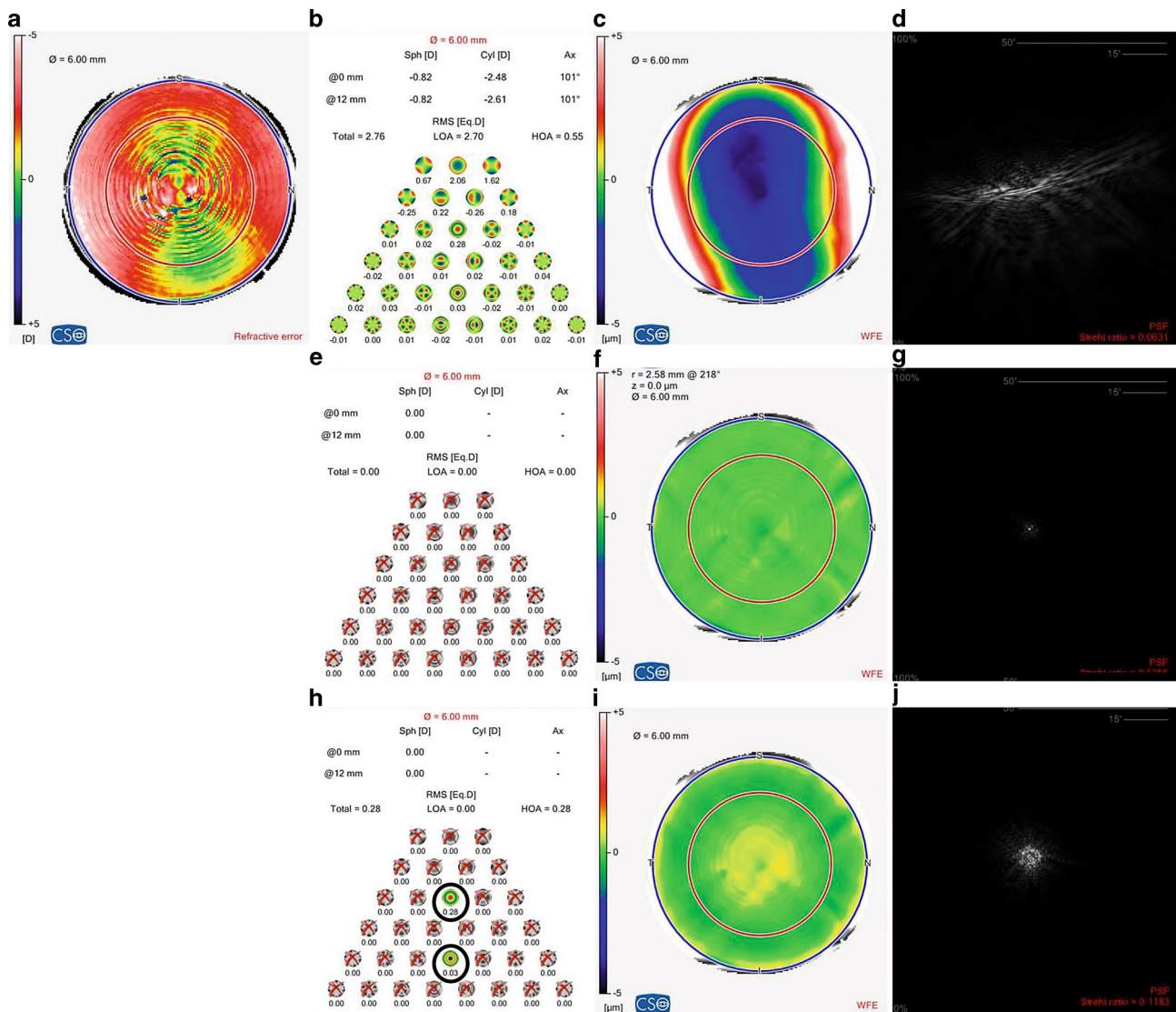


Abb. 1 Okuläre Wellenfrontanalyse 2 Monate nach Implantation einer trifokalen IOL (a–d) mit verschiedenen selektiven Korrektursimulationen (e–j). a–d In der refraktiven Karte (a) sieht man die konzentrischen Ringe mit den korrespondierenden refraktiven Eigenschaften. Die Zernike-Pyramide (b) zeigt alle Aberrationen bis zur 8. Ordnung. Im präsentierten Fall stellen v. a. Ametropie und Astigmatismus (1. Reihe) und geringgradig Koma und Trefoil (2. Reihe) sowie sphärische Aberration

(3. Reihe) relevante Fehler dar. e–g Die Korrektur aller Aberrationen resultiert in einer beinahe perfekten „point-spread function“ (g) und einer homogenen Wellenfront (f). h–j Das Aussparen der sphärischen Aberrationen 1. und 2. Ordnung (h, schwarze Kreise) führt zu einer flächigeren „point-spread function“ (j), fördert aber die Apodisierung und somit den Nahanteil der IOL. WFE wavefront error, PSF point-spread function

kriterien reduzierte sich die Studiengruppe auf 110 konsekutive Patienten, bei denen in 216 Augen eine Multifokallinse implantiert wurde. Das mittlere Alter der Patienten zum Zeitpunkt der Kataraktoperation betrug $62,7 \pm 7,5$ Jahre (Spannbreite 39 bis 83 Jahre) und die Geschlechterverteilung war 56:54 (w:m).

Präoperativ wurden im Rahmen einer ausführlichen Konsultation den Patienten alle Informationen über eine Femtosekundenlaser-assistierte Kataraktoperation (FLACS) gegeben und auch eine potenzielle Femto-LASIK mit Nutzen/Risiko-Bilanz vorgestellt. Insbesondere bei Patienten mit präoperativem Astigmatismus von mehr als 0,5 dpt wurde auf die

Notwendigkeit einer Femto-LASIK-Nachbehandlung hingewiesen. Eine unterschriebene Einverständniserklärung zur wissenschaftlichen Auswertung der Patientendaten, die in Übereinstimmung mit der Deklaration von Helsinki verfasst wurde, war eine Voraussetzung für die Aufnahme in die Studie. Das IRB der IROC genehmigte die retrospektive Auswertung der Daten.

Kataraktoperation

Die FLACS wurde von einem erfahrenen Operateur (T.S.) unter retrobulbärer oder topischer Anästhesie

Tab. 1 Verteilung der optischen Fehler bei unzufriedenen Patienten nach trifokaler IOL-Implantation

Astigmatismus >0,5 dpt	35/56 (63%)
Myopie, SE <-0,25	25/56 (45%)
Hyperopie SE >+0,25	11/56 (20%)
HOA >0,5 µm	7/56 (13%)
SE sphärisches Äquivalent, HOA Fehler höherer Ordnung (approximierter Durchmesser der Eintrittspupille 6,0 mm)	

durchgeführt. Alle Patienten erhielten eine Kapsulotomie und Linsenfragmentierung mithilfe des Z8 LDV-Femtosekundenlasers (Ziemer, Port, Schweiz), und die Phakoemulsifikation wurde standardmäßig mit dem Megatron S4 HPS (Geuder, Heidelberg, Deutschland) durchgeführt. Die kornealen Inzisionen erfolgten manuell, und der Phakotunnel wurde im steilsten oberen Hemimeridian angelegt. Die beiden Partneraugen wurden konsekutiv (Intervall mindestens 1 Woche) operiert, wobei zuerst das Nicht-Führungsaug operiert wurde. Zur Bestimmung der Brechkraft der intraokularen Linse wurde die Haigis-Formel verwendet, und die Biometrie wurde mithilfe des IOL-Masters 500 (Carl Zeiss Meditec, Jena, Deutschland) erstellt. Die Zielrefraktion war in allen Fällen Emmetropie. In allen Fällen wurde eine nicht-torische Trifokallinse der Marke FineVision (PhysIOL, Liège, Belgien) in den Kapselsack implantiert. Die nicht-torische FineVision-IOL ist eine hydrophile, bikonvexe asphärische trifokale diffraktive Linse mit einer sphärischen Aberration von $-0,11\ \mu\text{m}$. Bei Patienten, die mit dem postoperativen Ergebnis der Kataraktoperation nicht zufrieden waren, wurde frühestens 4 Wochen postoperativ eine refraktive Voruntersuchung durchgeführt, die dann als Grundlage für eine selektive wellenfrontgeführte Femto-LASIK diente.

Selektive wellenfrontgeführte LASIK

Eine kostenfreie Femto-LASIK wurde den Patienten angeboten, die mit dem postoperativen visuellen Ergebnis nicht zufrieden waren. Die okuläre Wellenfront wurde gemessen mithilfe eines kommerziellen Pyramiden-Wellenfrontsensors (Peramis, Schwind, Kleinostheim, Deutschland). Dieser Aberrometertyp erstellt 45.000 Messpunkte, was einer lateralen Auflösung der Wellenfront von ungefähr $10\ \mu\text{m}$ entspricht. Abb. 1 zeigt eine typische Wellenfront nach Implantation der Multifokallinse, wobei die konzentrischen Ringe der refraktiven Zonen schön dargestellt werden (Abb. 1a). Diese komplexe Wellenfront wurde dann mithilfe von Zernike-Polynomen bis zur 8. Ordnung approximiert (Abb. 1b). Danach kann die Behandlung simuliert werden, indem die einzelnen Zernike-Komponenten selektiv korrigiert werden (Abb. 1e–j). Um die Apodisierung zu erhalten, wurden bei der hier vorgestellten selektiven Wellenfrontkorrektur die sphärischen Aberrationen 1. und 2. Ordnung erhalten, während alle anderen Aberrationen behandelt

wurden (Abb. 1h–j). Die so festgestellten Wellenfrontkorrekturen wurden auf den Excimer-Laser exportiert (Amaris 1050, Schwind, Kleinostheim, Deutschland) und dann ein Ablationsprofil mit einer optischen Zone von $6,5\ \text{mm}$ berechnet. Die $110\ \mu\text{m}$ dicke LASIK-Lamelle wurde mit einem Femtosekundenlaser erstellt (Z2, Ziemer, Port, Schweiz). Die Zielrefraktion war Emmetropie außer in 3 Nicht-Führungsaugen, wo die Patienten eine Refraktion von $-0,5\ \text{dpt}$ bevorzugten.

Untersuchungen

Präoperativ, nach 1, 3 und 12 Monaten nach LASIK wurden alle Patienten standardmäßig untersucht, wobei der refraktive Status erhoben wurde, einschließlich des unkorrigierten Sehvermögens für Ferne (UDVA) und Nähe (UNVA). Die Testung des Sehvermögens geschah unter photopischen Bedingungen bei ungefähr $80\text{--}100\ \text{cd}/\text{m}^2$. Zur Untersuchung gehörten auch eine Scheimpflug-Photographie (Sirius, Schwind, Kleinostheim, Deutschland), Untersuchung der vorderen und hinteren Augenabschnitte und eine Bestimmung der Endothelzellzahldichte (sp-02, CSO, Scandicci, Florenz, Italien).

Fragebogen

Vor der selektiven wellenfrontgeführten LASIK und 1 Jahr danach wurden die Patienten gebeten, einen kurzen Fragebogen zur Qualität ihres Sehens auszufüllen. Dabei wurde abgefragt: (1) die Unabhängigkeit von Brillen, (2) die Zufriedenheit mit dem gegenwärtigen Sehvermögen und (3) die Frage „Würden Sie sich diesen Operationen wieder unterziehen?“.

Statistische Analyse

Der statistische Vergleich von prä- und postoperativer Zufriedenheit und prä- und postoperative Unabhängigkeit von Sehhilfen geschah mithilfe des Wilcoxon-Rangtestes. Um die prä- und postoperative Verteilung des refraktiven Zylinders zu vergleichen, wurde der U-Test (Mann-Whitney) durchgeführt. Alle Berechnungen geschahen mithilfe von Winstat (R. Fitch Software, 2015). Eine statistische Signifikanz wurde angenommen, wenn $p < 0,05$ war.

Ergebnisse

Aus der Gesamtgruppe von 216 Augen wurde in 56 Augen (26%) von 42 Patienten nach der Kataraktoperation und der Implantation einer trifokalen IOL eine selektive Wellenfrontkorrektur durchgeführt. Das Zeitintervall zwischen der letzten Kataraktoperation und der LASIK reichte von 4 Wochen bis 24 Monate mit einem Mittelwert von 6 Monaten. Bei 14 Patienten wurde eine bilaterale LASIK (28 Augen, 13%) durchgeführt, bei 18 Patienten wurde nur das Führungsaug (8%) und

Abb. 2 Unterschied in Dezimallinien von CDVA nach IOL-Implantation und CDVA nach LASIK. Kein Auge hat mehr als 1 Linie verloren

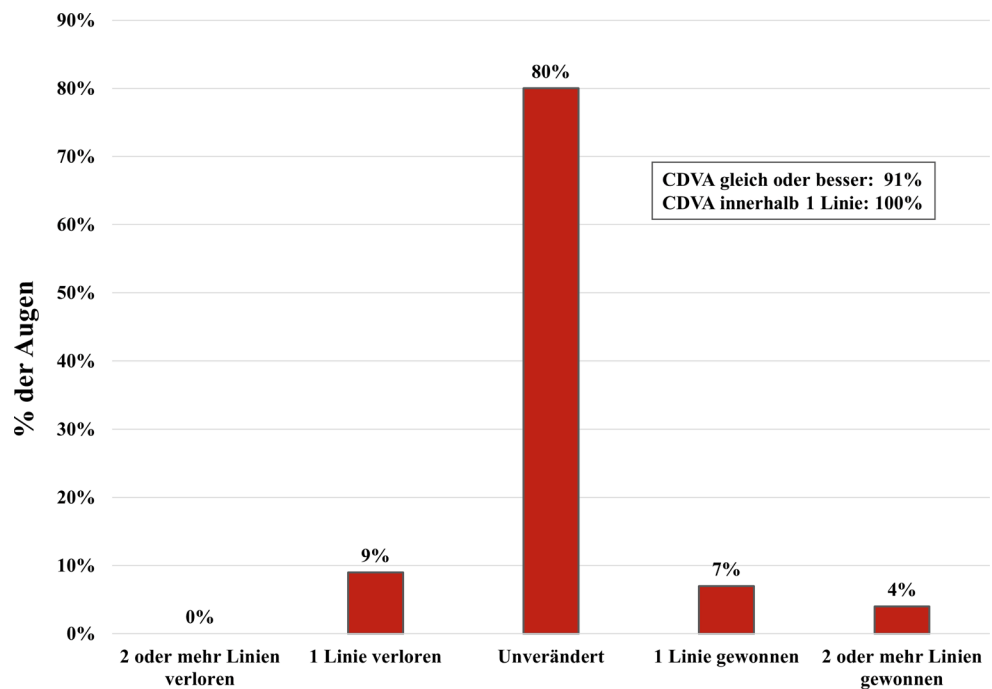
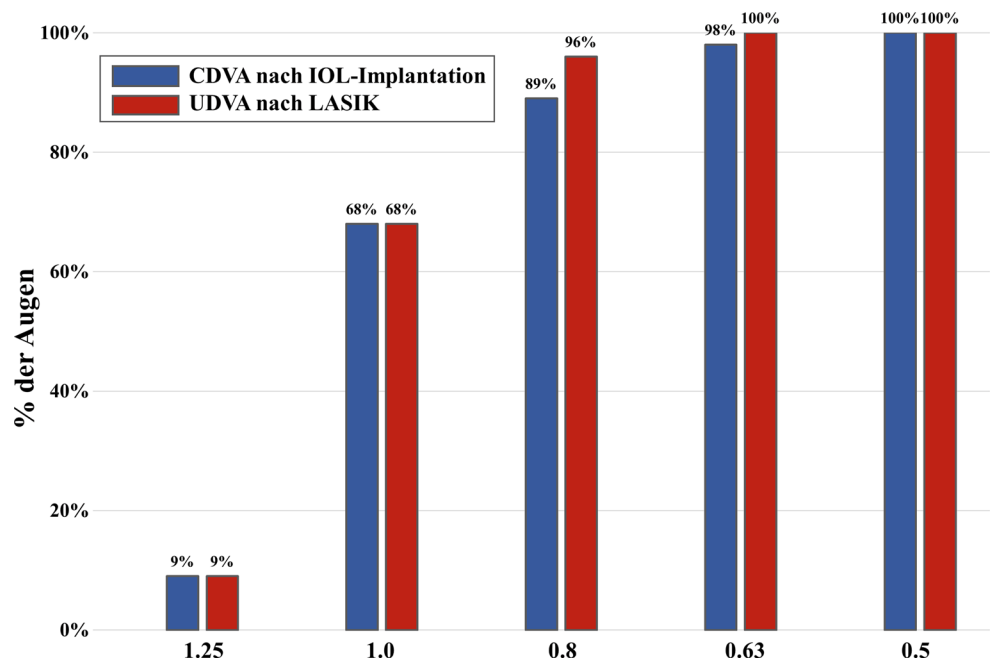


Abb. 3 Der unkorrigierte Dezimalvisus zeigt die Effektivität der selektiven wellenfrontgeführten LASIK an



bei 10 Patienten nur das Nicht-Führungsaug behandelt (5 %).

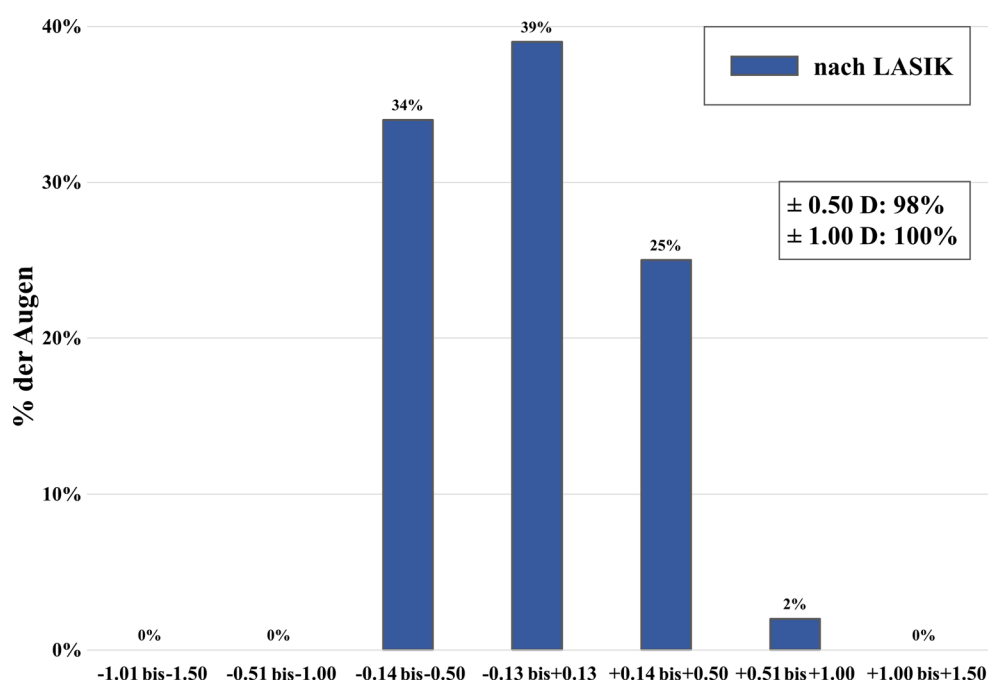
Die refraktiven Fehler, die möglicherweise zur Unzufriedenheit der Patienten geführt haben, sind in Tab. 1 aufgeführt, Doppelnennungen sind enthalten. Die wichtigste Ursache bestand in einem residualen Astigmatismus von mehr als 0,5 dpt in 63 % der Augen. In 7 Augen (13%) war der Visus ohne erkenntlichen refraktiven Fehler bezüglich Sphäre und Zylinder reduziert, aber alle 7 Augen hatten optische Fehler höherer Ordnung von mehr als 0,5 µm.

Selektive wellenfrontgeführte LASIK-Ergebnisse

Alle LASIK-Operationen und auch die frühpostoperativen Kontrollen verliefen normal. Ein Auge zeigte bei der 1-Monats-Kontrolle Epitheleinwachstum, welches eine Epithelauskratzung benötigte.

Keines der gelaserten Augen verlor mehr als eine Dezimallinie (Sicherheit der Behandlung, Abb. 2). In Abb. 3 (Effektivität der Behandlung) wird der präoperative Brillenvisus (CDVA) mit dem postoperativen unkorrigierten Visus (UDVA) verglichen, und es zeigt

Abb. 4 Treffgenauigkeit des postoperativen sphärischen Äquivalents von der Zielrefraktion. Die Zielrefraktion $\pm 0,5$ dpt wurde in 98 % der behandelten Augen erreicht



sich dabei kein statistisch signifikanter Unterschied. Ein unkorrigierter binokularer Nahvisus von 0,63 oder besser wurde von allen Patienten erzielt. Die postoperative Verteilung der Refraktion wird in Abb. 4 dargestellt. Der Anteil der Augen mit einem refraktiven Astigmatismus von 0,5dpt und weniger stieg von 38 % vor der selektiven Wellenfrontkorrektur auf 93 % danach an, was statistisch hochsignifikant war ($p < 0,001$, Abb. 5). Ein Patient entwickelte nach der LASIK ein sehr trockenes Auge, das eine zusätzliche Behandlung mittels Punctum-Plug und befeuchtender Therapie verlangte.

Fragebogen

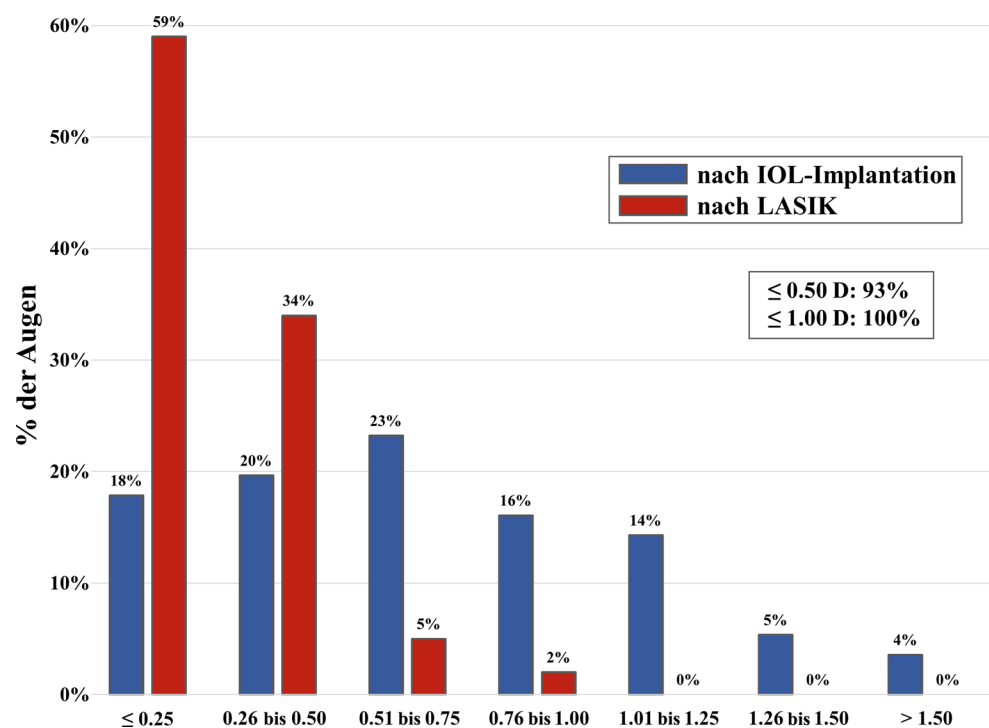
Fragen bezüglich der Validität ihres Sehens wurden von 39 der 42 Patienten mit selektiver Wellenfrontkorrektur beantwortet. Auf der Skala von 1 (immer) bis 4 (nie) bewerteten die Patienten die Verwendung von Brillen (Nähe oder Ferne) mit einem mittleren Wert von $3,4 \pm 1,0$ vor der LASIK, 1 Jahr nach der Wellenfrontkorrektur wurde ein mittlerer Wert von $3,9 \pm 0,3$ angegeben, diese Differenz war statistisch signifikant ($p = 0,002$). Vier Patienten (10 %) benutzten eine Lesebrille nur unter schlechten Lichtbedingungen. Die Gesamtzufriedenheit mit der jetzigen Situation (1 Jahr nach selektiver Wellenfrontkorrektur) wurde mit einem Wert von $3,6 \pm 0,8$ angegeben (1 = absolut nicht zufrieden, 4 = vollständig zufrieden), wobei ein Patient überhaupt nicht zufrieden und 2 Personen eher nicht zufrieden waren. Vor der LASIK war der mittlere Zufriedenheitsgrad nur $2,1 \pm 0,8$ und auch diese Verbesserung war statistisch hoch signifikant ($p < 0,001$). Die Patientin, die absolut nicht zufrieden war, litt auch noch 1 Jahr nach der Operation an einem sehr tro-

ckenen Auge. Die Frage „Würden sich dieser Gesamtprozedur noch einmal unterziehen?“ wurde von 4 Patienten negativ beschieden (10 %).

Diskussion

Die Zufriedenheit nach Kataraktoperation mit Implantation multifokaler Intraokularlinsen wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Während Alio et al. [14] einen Zufriedenheitsgrad von mehr als 88 % nach Implantation von Trifokallinsen berichteten, zeigt eine prospektive Studie der Moorfields-Gruppe [15] nur einen Zufriedenheitsgrad von 74–80 %. In der hier vorgelegten Studiengruppe finden wir ein ähnliches Ergebnis wie in der Moorfields-Studie: Etwa ein Viertel der Patienten war so unzufrieden mit dem Ergebnis, dass sie sich bis zu 2 Jahre nach der Kataraktoperation (FLACS) noch einmal einer zusätzlichen Operation unterzogen. Bei diesen Patienten lag der mittlere Zufriedenheitsgrad bei nur 2,1 (entspricht „eher nicht zufrieden“). Eine Erklärung für dieses schlechte Ergebnis mag darin liegen, dass auch Patienten mit einem präoperativen Hornhautastigmatismus bis zu 2,25 dpt in die Studiengruppe eingeschlossen wurden. Die Alternative wäre eine torische Multifokallinse gewesen, jedoch liegen Studien vor, die auch bei Verwendung von torischen multifokalen Linsen noch in bis zu 50 % einen Restastigmatismus von über 0,5 dpt berichten [16, 17]. Eine andere Alternative wären intraoperative astigmatische Keratotomien in den fernen Hornhautperipherien, jedoch sind die Ergebnisse dieses Ansatzes wenig vorhersagbar [18], und da bei beiden Alternativetechniken in einem hohen Prozentsatz noch Nachkorrekturen notwendig geworden wären, haben wir die strategische Entscheidung

Abb. 5 Refraktiver Zylinder vor und nach selektiver wellenfrontgeführter LASIK. Ein Zylinder von 0,5 dpt und weniger wurde in 93 % der behandelten Augen erreicht



getroffen, Patienten mit einem Gesamthornhautastigmatismus (Vorder- und Rückfläche) bis zu 2,25 dpt in die Studiengruppe aufzunehmen.

Verschwommen-Sehen und optische Nebeneffekte wie Blendung und Halos werden von Woodward [4] und De Fries [5] als Hauptgründe für die Unzufriedenheit beschrieben. De Fries [5] berichtet, dass ein refraktiver Fehler niedriger Ordnung in 65 % der Fälle für das schlechte Sehen verantwortlich ist und in 16 % eine Trübung der hinteren Kapsel. Neben einer dauerhaft weiten Pupille (14 %), wohl eine Form des Urrets-Zavalia-Syndroms, nennt er noch Wellenfrontanomalien in 12 % der Fälle als Begründung für die subjektiven Symptome. In der hier vorgelegten Studie werden Trübungen der Linsenkapsel nicht genannt, da in Einzelfällen bereits vor der Aberrometrie eine Nd:YAG-Kapsulotomie notwendig war, um eine zuverlässige Messung zu erlauben. Die große Mehrzahl der von uns untersuchten Patienten (63 %) litt an einer Ametropie mit einem Astigmatismus von mehr als 0,5 dpt, gefolgt von Myopie und Hyperopie. Der Grenzwert von 0,5 dpt wurde gewählt, weil McNelly zeigte, dass erst ein Astigmatismus von mehr als 0,5 dpt einen wesentlichen Einfluss auf den Fernvisus hat, während der astigmatische Einfluss auf den Nahvisus sehr viel geringer ist [19]. Andererseits zeigten Hayashi und Mitarbeiter, dass bei Patienten mit multifokaler Intraokularlinse ein unkorrigierter Nah- und Fernvisus von 0,5 durchaus mit einem Astigmatismus von 1 dpt oder weniger erzielt werden kann [6].

Auch die Frage, ob eine wellenfrontgeführte Ablation oder eine wellenfrontoptimierte Ablation geeignet ist, um optische Fehler nach der Implantati-

on von Multifokallinsen zu korrigieren, wird widersprüchlich diskutiert. Jendritza et al. unterschieden in einer früheren Studie zwischen refraktiven und diffraktiven Multifokallinsen und empfahlen, keine wellenfrontgeführte Ablation bei refraktiven Multifokallinsen zu verwenden [20]. Das gleiche Excimer-Laser-System (VisX Star S4) wurde von Muftuoglu et al. verwendet, welche keinen deutlichen Vorteil bei wellenfrontgeführter Behandlung fanden [21]. Allerdings beziehen sich beide Publikationen auf eine Wellenfrontmessung mit dem Hartmann-Shack-Sensor mit einer lateralen Auflösung, die mindestens eine Größenordnung schlechter ist als die des Pyramidensensors, der in unserer Studie verwendet wurde. Die Multifokalität der Optik kann von Hartmann-Shack-Sensoren der bisherigen Auflösung nicht erfasst werden und führt vielmehr sogar zu Fehlmessungen, wie Frau Jendritza berichtet [20]. Bei dem hier verwendeten Pyramidensensor kann die Multifokalität gemessen werden (Abb. 1a–d), was man an den konzentrischen Ringen in der refraktiven Fehlerkarte erkennen kann. Fast gleich wie in der Studie von De Fries [5] fanden wir in 13 % der Fälle optische Fehler höherer Ordnung, die wir für den Visusverlust verantwortlich machten. Solche optischen Fehler höherer Ordnung, wie Komata und Astigmatismus 2. Ordnung können mit der wellenfrontoptimierten Ablation nicht korrigiert werden und führen auch nach der wellenfrontoptimierten LASIK nicht zur Besserung der Symptome.

In dieser Studie wurden bei der Planung des Laserabtrags die sphärischen Aberrationen nicht korrigiert. Dies führt zwar zu einem etwas breiteren Fokus (Abb. 1h–j), erhöht aber die postoperative Toleranz

hinsichtlich geringer Restfehler niederer Ordnung. Da dieser Effekt von vielen Patienten als nutzbringend empfunden wird, sollte die Apodisierung bei einer Wellenfrontkorrektur nicht angegangen werden, weswegen wir in dieser Studie die sphärische Aberration 1. und 2. Ordnung von der Korrektur ausgeschlossen haben und so zur „selektiven Wellenfrontkorrektur“ übergegangen sind. Andere Wellenfrontfehler höherer Ordnung wie Koma (Resultat einer Dezentrierung oder Verkippung der IOL) oder Astigmatismus höherer Ordnung, der durch asymmetrische Konstriktion des Kapselsackes entstehen kann, müssen natürlich korrigiert werden, um eine gute Optik herzustellen.

Alio et al. werteten mehr als 100 Artikel über Multifokallinsenimplantation in einem Übersichtsartikel aus und fanden, dass eine globale Brillenfreiheit in nur 48,7% der Patienten vorliegt [9]. In unserer Studie zeigten über 96% eine vollständige Brillenfreiheit nach der selektiven Wellenfrontkorrektur, aber immer noch 4 Patienten verwendeten gelegentlich Lesebrillen. Dies resultierte in einem Lesefreiheitsgrad von $3,9 \pm 0,3$ (von 4) und einer Zunahme des Zufriedenheitsgrads, der von $2,1 \pm 0,9$ vor auf $3,6 \pm 0,8$ 1 Jahr nach der selektiven wellenfrontgeführten LASIK anstieg.

Zusammenfassend kann ein wesentlich verbesserter Wellenfrontsensor, wie z. B. das Pyramidensystem, Wellenfrontfehler des Auges nach der Implantation von Trifokallinsen genügend gut erfassen, um eine selektive Wellenfrontkorrektur des postoperativen Auges durchzuführen. Diese Technik führt zu einer erheblichen Verbesserung des Zufriedenheitsgrades nach trifokaler IOL-Implantation ebenso wie einer hoch signifikanten Verbesserung der totalen Brillenfreiheit nach der Operation.

Interessenkonflikt T. Seiler ist wissenschaftlicher Berater für Schwind, Kleinostheim, Deutschland. T.G. Seiler, A. Wegner und G. Schmidinger geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Literatur

- Gimbel HV, Sanders DR, Raanan MG. Visual and refractive results of multifocal intraocular lenses. *Ophthalmology*. 1991;98:881–7.
- Steinert RF, Post CT Jr, Brint SF, et al. A prospective, randomized, double-masked comparison of a zonal-progressive multifocal intraocular lens and a monofocal intraocular lens. *Ophthalmology*. 1992;99:853–60.
- Auffarth GU, Hunold W, Wesendahl TA, Mehdorn E. Depth of focus and functional results in patients with multifocal intraocular lenses: a long-term follow-up. *J Cataract Refract Surg*. 1993;19:685–9.
- Woodward MA, Randleman JB, Stulting RD. Dissatisfaction after multifocal intraocular lens implantation. *J Cataract Refract Surg*. 2009;35:992–7.
- de Vries NE, Webers CA, Touwslager WR, et al. Dissatisfaction after implantation of multifocal intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg*. 2011;37:859–65.
- Hayashi K, Manabe S, Yoshida M, Hayashi H. Effect of astigmatism on visual acuity in eyes with a diffractive multifocal intraocular lens. *J Cataract Refract Surg*. 2010;36:1323–9.
- Ortiz C, Esteve-Taboada JJ, Belda-Salmerón L, Monsálvez-Romín D, Domínguez-Vicent A. Effect of Decentration on the optical quality of two Intraocular lenses. *Optom Vis Sci*. 2016;93:1552–9.
- Gatinel D, Pagnouille C, Houbrechts Y, Gobin L. Design and qualification of a diffractive trifocal optical profile for intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg*. 2011;37:2060–7.
- Alio JL, Plaza-Puche AB, Fernández-Buenaga R, Píkkel J, Maldonado M. Multifocal intraocular lenses: an overview. *Surv Ophthalmol*. 2017;62:611–34.
- Pepose JS, Wang D, Altmann GE. Comparison of through-focus image quality across five presbyopia-correcting intraocular lenses. *Trans Am Ophthalmol Soc*. 2011;109:221–31.
- Xu R, Bradley A, Thibos LN. Impact of primary spherical aberration, spatial frequency and Stiles Crawford apodization on wavefront determined refractive error: a computational study. *Ophthalmic Physiol Opt*. 2013;33:444–55.
- Zheleznyak L, Jung H, Yoon G. Impact of pupil transmission apodization on presbyopic through-focus visual performance with spherical aberration. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2014;55:70–7.
- Schallhorn SC, Venter JA, Teenan D, et al. Outcomes of excimer laser enhancements in pseudophakic patients with multifocal intraocular lens. *Clin Ophthalmol*. 2016;10:765–76.
- Alió JL, Kaymak H, Breyer D, Cochener B, Plaza-Puche AB. Quality of life related variables measured for three multifocal diffractive intraocular lenses: a prospective randomised clinical trial. *Clin Exp Ophthalmol*. 2018;46:380–8.
- Maurino V, Allan BD, Rubin GS, et al. Quality of vision after bilateral multifocal intraocular lens implantation: a randomized trial—AT LISA 809M versus AcrySof ReSTOR SN6AD1. *Ophthalmology*. 2015;122:700–10.
- Holland E, Lane S, Horn JD, Ernest P, Arleo R, Miller KM. The AcrySof Toric intraocular lens in subjects with cataracts and corneal astigmatism: a randomized, subject-masked, parallel-group, 1-year study. *Ophthalmology*. 2010;117:2104–11.
- Ruhswurm I, Scholz U, Zehetmayer M, Hanselmayer G, Vass C, Skorpik C. Astigmatism correction with a foldable toric intraocular lens in cataract patients. *J Cataract Refract Surg*. 2000;26:1022–7.
- Muftuoglu O, Dao L, Cavanagh HD, McCulley JP, Bowman RW. Limbal relaxing incisions at the time of apodized diffractive multifocal intraocular lens implantation to reduce astigmatism with or without subsequent laser in situ keratomileusis. *J Cataract Refract Surg*. 2010;36:456–64.
- McNeely RN, Pazo E, Millar Z, et al. Threshold limit of postoperative astigmatism for patient satisfaction after refractive lens exchange and multifocal intraocular lens implantation. *J Cataract Refract Surg*. 2016;42:1126–34.
- Jendritza BB, Knorz MC, Morton S. Wavefront-guided excimer laser vision correction after multifocal IOL implantation. *J Refract Surg*. 2008;24:274–9.
- Muftuoglu O, Prasher P, Chu C, et al. Laser in situ keratomileusis for residual refractive errors after apodized diffractive multifocal intraocular lens implantation. *J Cataract Refract Surg*. 2009;35:1063–71.

Hinweis des Verlags Der Verlag bleibt in Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutsadressen neutral.