

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/235925723>

Änderungen der Refraktionswerte, okulären Aberrationen und Hornhautstruktur bei Keratokonus-Patienten, die ihre formstabilen Kontaktlinsen eine Woche lang nicht mehr trugen

Article · February 2013

CITATIONS

0

READS

196

1 author:



Amit Jinabhai

The University of Manchester

17 PUBLICATIONS 251 CITATIONS

SEE PROFILE

Änderungen der Refraktionswerte, okulären Aberrationen und Hornhautstruktur bei Keratokonus-Patienten, die ihre formstabilen Kontaktlinsen eine Woche lang nicht mehr trugen*

Amit Jinabhai**

Einleitung

Keratokonius wird gewöhnlich als eine ek-tatische Erkrankung der Hornhaut¹ definiert, die durch eine zunehmende Verdünnung des Hornhautstromas an der Stelle gekennzeichnet ist, wo die Vorwölbung der Hornhaut am stärksten ausgeprägt ist.² In erster Linie sind die unteren zwei Drittel der parazentralen Hornhaut betroffen, die sich im Laufe der Erkrankung zunehmend versteilt und eine konische Form erhält.³ Bei fortschreitendem Keratokonus verschlechtert sich der bestkorrigierte Brillen-Visus infolge von irregulärem myopischem Astigmatismus und induzierten Aberrationen höherer Ordnung. Deshalb wird Keratokonus hauptsächlich mit formstabilen Kontaktlinsen korrigiert.^{4,5} Gelegentlich können Patienten mit Keratokonus u. U. keine formstabilen Kontaktlinsen tragen, wenn sie beispielsweise an einer Hornhautabrasion, einer Infektion oder einer persistierenden Austrocknung des Epithels leiden bzw. wenn ihre formstabilen Kontaktlinsen beschädigt sind oder verloren wurden. Es kann auch sein, dass Patienten vor einer subjektiven Refraktionsbestimmung keine Kontaktlinsen tragen dürfen. Bevor Keratokonus-Patienten mit anderen Kontaktlinsentypen oder -geometrien versorgt werden (z. B. mit einer weichen Speziallinse), müssen Patienten eventuell über einen kurzen Zeitraum auf das Tragen von formstabilen Kontaktlinsen verzichten, weil formstabile Kontaktlinsen bei normalen gesunden Probanden⁶ und bei Patienten mit Keratokonus⁷ nachweisbar Veränderungen der Hornhauttopografie hervorrufen. Werden für eine Weile keine formstabilen Kontaktlinsen mehr getragen, nimmt die Hornhaut theoretisch wieder ihre ursprüngliche und

vielleicht unregelmäßigste Form an, sodass der Kontaktlinsenspezialist die neuen Linsen exakt anpassen kann; möglicherweise erzielt man dadurch einen optimalen Tragekomfort und bestmögliche Sehschärfe.

Da aus der Fachliteratur nicht hervorgeht, wie sich die optischen Eigenschaften der kegelförmig vorgewölbten Hornhaut verändern, wenn Patienten ihre formstabilen Kontaktlinsen nicht mehr tragen, wurde die hier präsentierte Studie durchgeführt, um eben diese Frage zu klären. Zadnik and Mutti⁸ haben darüber berichtet, dass durch eine Flächenpassung von formstabilen Kontaktlinsen die keratokonische Hornhaut "geformt" werden kann, indem Druck auf den Konusapex erzeugt wird; dadurch wird die Vorderfläche des Auges gezwungen, sich an die Form der Kontaktlinsenrückfläche annähernd anzupassen. Folglich ist es wahrscheinlich, dass sich die Form der keratokonischen Hornhaut wieder ändert, wenn Patienten ihre formstabilen Kontaktlinsen nicht mehr tragen. Darüberhinaus können Änderungen der Hornhautkrümmung oder -dicke Änderungen der subjektiven Refraktionswerte und Aberrationen höherer Ordnung zur Folge haben, die sich möglicherweise auf die Sehschärfe auswirken.

Im Gegensatz zu Menschen mit gesunden Augen weisen Patienten mit Keratokonus häufig einen hochgradigen irregulären Astigmatismus^{3,5} und sowohl korneale^{9,10} als auch okuläre Aberrationen höherer Ordnung auf.¹¹⁻¹³ Bei Aberrationen dritter Ordnung sind vertikale Koma-Fehler gewöhnlich negativ und häufig signifikant größer als bei gesunden Augen. Die Höhe der Aberrationen spiegelt die Art und Lage der Hornhautverdünnung und der damit einhergehenden konischen Vorwölbung der Hornhaut wider.^{14,15} Aus früheren Studien geht hervor, dass Aberrationen höherer Ordnung die Sehschärfe von Patienten mit Keratokonus beeinträchtigen. Negishi et al.¹⁶ und Okamoto et al.¹⁷ haben Patienten mit Keratokonus und Kontrollproban-

den gleichen Alters verglichen und dabei Folgendes festgestellt: Bei Keratokonus-Patienten bestand eine signifikante Korrelation zwischen dem Ausmaß der RMS-Fehler (root mean square = mittlere quadratische Abweichung) für Aberrationen dritter Ordnung und der Kontrastempfindlichkeit beim Sehtest mit Buchstaben. Negishi et al.¹⁶ überprüften die Kontrastempfindlichkeit bei Patienten mit Keratokonus, die während der Messungen ihre formstabilen Kontaktlinsen trugen. Okamoto et al.¹⁷ hingegen führten eine Refraktion über die Messlinse bei Keratokonus-Patienten durch, die ihre formstabilen Kontaktlinsen vor der Untersuchung mindestens zwei Wochen lang nicht mehr getragen hatten.

Bei Probanden mit normaler Sehleistung werden Veränderungen der Hornhautkrümmung, die nach dem Abnehmen der Kontaktlinsen auftreten, von folgenden Faktoren beeinflusst: Kontaktlinsentyp^{6,18}, Tragemodalität¹⁹ und Anzahl der Jahre, in denen Kontaktlinsen getragen wurden^{19,20}. Offensichtlich geht man allgemein davon aus, dass sich die Hornhautform nach dem Tragen von formstabilen Kontaktlinsen langsamer stabilisiert als nach dem Tragen von Weichlinsen.^{6,18-20} Bei der Frage, wie lange es dauert, bis sich die Hornhautform nach dem Tragen von formstabilen Kontaktlinsen wieder stabilisiert, gehen die Meinungen der Experten jedoch erstaunlich weit auseinander. Budak et al.¹⁸ berichteten, dass es bei 18 Probanden mit formstabilen Kontaktlinsen bis zu fünf Wochen dauerte, bevor stabile hornhauttopografische Messwerte erzielt werden konnten. Wilson et al.⁶ hingegen kamen zu dem Ergebnis, dass es bei 3 Augen nach dem Tragen von formstabilen Kontaktlinsen bis zu 21 Wochen dauerte, bis sich die Hornhautwerte stabilisierten. Andere Autoren wiederum führten einen Zeitraum von bis zu neun Wochen an.^{19,20} Darüber hinaus kann man bei Wang et al.¹⁹ und Tsai et al.²⁰ über Träger von formstabilen Kontaktlinsen Folgendes nachlesen: Bei einer

*Mit dem Peter-Abel-Preis-2012 der VDGO ausgezeichnet. Aus dem Englischen übersetzt von S. Huber

**B.Sc. (Hons), Ph.D., MCOptom, FBCLA

längeren durchschnittlichen Tragedauer in Jahren erfolgte die Stabilisierung der Hornhaut später. Die Ergebnisse dieser Studien wurden u. U. durch die Empfindlichkeit der Messgeräte beeinflusst, die bei den jeweiligen Untersuchungen verwendet wurden.

Bei früheren Studien mit Probanden, die Orthokeratologie-Linsen über Nacht getragen hatten, wurde untersucht, wie sich die optischen Eigenschaften und die Hornhautstruktur veränderten, wenn diese Speziallinsen nicht mehr getragen wurden. Hiraoka et al.²¹ sind z. B. zu folgendem Ergebnis gekommen: Nachdem formstabile Kontaktlinsen mit einer reversen Geometrie nicht mehr getragen wurden, kehrten Parameter wie subjektiver Refraktionswert, unkorrigierter Visus und Aberrationen höherer Ordnung nach einer Woche wieder zu ihren Ausgangswerten

zurück. Soni et al.²² berichteten Ähnliches: Eine Woche, nachdem formstabile Kontaktlinsen mit reverser Geometrie nicht mehr getragen worden waren, entsprach der zentrale Hornhautradius (in beiden Meridianen) wieder dem Ausgangswert. Aus diesen Ergebnissen lässt sich Folgendes ableiten: Werden formstabile Kontaktlinsen nicht mehr getragen, reicht ein Zeitraum von einer Woche, um deutliche Veränderungen der refraktiven und topografischen Eigenschaften der Hornhaut bei gesunden kurzsichtigen Augen feststellen zu können.

Ziel der hier präsentierten Studie war es, mögliche Veränderungen der optischen Eigenschaften und Hornhautstruktur bei 15 Augen von 15 Patienten mit Keratokonus zu untersuchen, nachdem diese ihre Kontaktlinsen eine Woche lang nicht mehr getragen hatten. Dabei wurden Änderun-

gen der subjektiven Refraktionswerte, Aberrationen höherer Ordnung und der Sehschärfe sowohl im hohen als auch im niedrigen Kontrastbereich gemessen. Zudem wurden auch die zentralen Hornhautradien, die Dicke der Hornhautmitte und die Asphärität der Hornhaut überprüft.

Methoden und Materialien

An der Studie nahmen 15 Patienten teil, die eine Keratokonus-Diagnose gestellt bekommen hatten und alle aus dem Manchester Royal Eye Hospital rekrutiert wurden. Alle Messdaten wurden nur von jeweils einem Auge der 15 Probanden aufgezeichnet, die regelmäßig formstabile Kontaktlinsen trugen. Das Durchschnittsalter betrug 33 ± 6 Jahre [± 1 Standardabweichung] (Altersbereich: 26 bis 43 Jahre). Die Probandengruppe umfasste zehn Männer und fünf Frauen. Die Studie er-

clear
new
perspectives

bilosa

bilosa.com



Biloactive

Die atmungsaktive Monatslinse im neuesten Silicon-Hydrogel Material mit einem unglaublichen Dk/t Wert von 187.

Bilocare Pro

Das einzigartige Pflegemittel mit Hyaluron garantiert perfekte Reinheit und exzellenten Tragekomfort.

füllte die ethischen Grundsätzen der Helsinki-Deklaration. Alle Studienteilnehmer erklärten sich schriftlich mit der Untersuchung einverstanden, nachdem sie über den Zweck der Studie aufgeklärt worden waren. Das Studienprotokoll wurde von der lokalen Ethikkommission (National Research Ethics Service, North West 11 Research Ethics Committee) genehmigt.

Es wurde eine Spaltlampenuntersuchung durchgeführt (SL40, Keeler Ltd., Windsor, GB), bei der mithilfe von Natriumfluoreszein der Sitz der formstabilen Kontaktlinsen überprüft wurde, die von den Probanden regelmäßig getragen wurden. Der Linsensitz wurde nach den von Fink et al.²³ beschriebenen Kriterien folgendermaßen eingestuft: „deutliche Überbrückung des Konus“, „Überbrückung des Konus“, „Aufgabe auf dem Konus“ oder „deutliche Aufgabe auf dem Konus“. Die Probanden mussten anschließend ihre formstabilen Kontaktlinsen herausnehmen, damit eine Beurteilung der Hornhaut mit der Biospaltlampe durchgeführt werden konnte, bei der u. a. auf das Vorhandensein oder Fehlen von Fleischer-Ringen, Vogt-Linien, vermehrt sichtbaren Hornhautnerven und Vernarbung am Apex geachtet wurde.

Bei allen Probanden wurde eine monokulare subjektive Refraktionsbestimmung bei einer Prüfentfernung von 6 m durchgeführt, um den Ausgangswert für eine optimale Sehschärfe zu ermitteln. Der Messgenauigkeit lag innerhalb von sph 0,25 dpt und cyl 0,25 dpt. Durch Nebeln eines Auges (blur test) mit +1,00 dpt wurde das endgültige Ergebnis der Refraktionsbestimmung überprüft. Sobald der Endpunkt bestimmt worden war, wurde der Hornhaut-Scheitelabstand in mm gemessen. Anschließend wurden die logMAR-Ausgangswerte für den Visus im hohen (95%) und niedrigen Kontrastbereich (15%) mithilfe von 2 Bailey-Lovie-Tafeln bestimmt (National Vision Research Institute, Melbourne, Australia). Bei beiden Sehtafeln betrug die Prüfentfernung zum Probanden 3 m; zwei externe Leuchtstoffröhren mit einer Beleuchtungsstärke von bis zu 750 Lux waren so angeordnet, dass sie die Tafel gleichmäßig ausleuchteten, ohne die Probanden zu blenden. Die Ergebnisse, die im hohen und niedrigen Kontrastbereich auf eine Prüfentfernung von 3 m erzielt worden waren, wurden in logMAR-Einheiten umgerechnet und auf eine Prüfentfernung von 6 m korrigiert. Die hornhauttopografische Untersuchung sowie Messung der zentralen Hornhautdi-

cke und der zentralen Hornhautradialen (Messwerte der zentralen 3-mm-Zone) wurden mit der Oculus Pentacam HR (Oculus Inc., Wetzlar, Deutschland) durchgeführt. Diese Kombination aus Spaltbeleuchtung und Scheimpflugkamera dreht sich automatisch um das Auge. Als Lichtquelle fungieren blaue LEDs (475 nm); während eines Messverfahrens (Dauer 1 Sekunde) werden z. B. 25 Segmentaufnahmen erzeugt, die 500 echte Höhenwerte liefern. Bei jedem Auge wurden vier monokulare Messungen durchgeführt und die Durchschnittswerte berechnet. Der Schweregrad des Keratokonus wurde bei der ersten Untersuchung sofort nach dem Herausnehmen der Kontaktlinsen anhand der Pentacam-Daten bestimmt. Zur Einstufung wurden die Klassifizierungskriterien herangezogen, die bei der amerikanischen CLEK-Studie über Keratokonus (Collaborative Longitudinal Evaluation of Keratoconus) zur Anwendung gelangten: „mäßig ausgeprägter Keratokonus“ bei steilen K-Werten zwischen 45–52 dpt und „stark ausgeprägter Keratokonus“ bei K-Werten von mehr als 52 dpt.²⁴ Zudem wurde mit der Pentacam-Software (Version 1.17r46, Oculus Inc.) die Asphärizität der Hornhautvorderfläche in einer ringförmigen peripheren Zone mit einem Durchmesser von 8 mm gemessen; in diesem Bericht wird für die Asphärizität die Bezeichnung CPV-Wert (corneal p-value) verwendet. Dieser CPV-Wert beschreibt die periphere Abflachung der Hornhaut sowie das Ausmaß, in dem eine asphärische Oberfläche von der äquivalenten sphärischen Form abweicht, und zeigt auf, wie schnell sich die Hornhautoberfläche vom Apex bis zur Peripherie hin abflacht.²⁵ Der CPV-Wert ist derzeit in den USA die vom American National Standards Institute (ANSI) festgelegte statistische Messzahl zur Darstellung der Hornhautform innerhalb eines konischen Abschnittes.²⁶

Die okulären Aberrationen höherer Ordnung wurden mit dem IRX-3 Hartmann-Shack Aberrometer (Imagine Eyes, Paris, France) gemessen. Dieses Gerät besteht aus einem Linsensystem mit einem 32x32 Arrey; der Wellenlängenbereich beträgt bis zu 780 nm. Die monokularen Messungen der Aberrationen des Auges wurden in einem abgedunkelten Raum durchgeführt. Die Akkommodation wurde durch die dynamische Nebel-Methode ausgeschaltet, während die Probanden auf einer Snellen-Tafel einen schwarzen, 6/12 (0,5) großen Buchstaben „E“ in einem elliptischen wei-

ßen Hintergrund fixierten. Die Leuchtdichte betrug ca. 85 cd/m². Für alle Probanden wurde aus vier monokularen Messungen der Durchschnittswert berechnet. Mithilfe der Aberrometer-Software (Version 1.2, Imagine Eyes) wurden die Wellenfrontaberrationen für einen Pupillendurchmesser von 4 mm mit Zernike-Polynomen bis zur sechsten Ordnung berechnet.

Am Ende des ersten Untersuchungstages wurden die Probanden angewiesen, ihre formstabilen Kontaktlinsen sieben Tage lang nicht zu tragen. Alle Probanden besaßen eine Brille, die ihnen innerhalb von 18 Monaten vor Beginn der Studie verordnet worden war und nun bis zur nächsten Untersuchung (genau eine Woche später) getragen werden sollte. Beim zweiten Termin führte derselbe Untersucher wieder die dieselben Messungen durch: subjektive Refraktionsbestimmung, Visus im hohen und niedrigen Kontrastbereich, zentrale Hornhautradialen, zentrale Hornhautdicke, CPV-Wert der Hornhautvorderfläche und okuläre Aberrationen. Die Ergebnisse der zwei Untersuchungstage wurden für jeden Probanden verglichen.

Datenanalyse

Alle Ergebnisse der subjektiven Refraktionsbestimmung wurden in Power-Vektoren mit den Komponenten M, J0 und J45 umgerechnet, wie dies bei Thibos et al.²⁷ beschrieben wird, um die statistische Datenanalyse zu vereinfachen. Für alle erhobenen Daten wurden Tests auf Normalverteilung mithilfe des Shapiro-Wilk-Tests durchgeführt, wobei der kritische Wert bei 0,05 lag (SPSS Version 16.0; SPSS Inc., Chicago, IL, US). Alle Daten mit Normalverteilung wurden mit einer einfachen ANOVA für wiederholte Messungen analysiert; Daten, die nicht normalverteilt waren, wurden hingegen mit einem Wilcoxon-Vorzeichen-Test überprüft. Alle normalverteilten Daten wurden mithilfe von Pearson-Korrelationskoeffizienten (zweiseitig), alle nicht normalverteilten Daten mit Spearman-Korrelationskoeffizienten (zweiseitig) gegen einen kritischen Wert von 0,05 getestet.

Ergebnisse

Tabelle 1 enthält eine Zusammenfassung der Daten, die bei der Erstuntersuchung der 15 Probanden ermittelt wurden: zentrale Vorderflächenradialen, zentrale Hornhautdicke, Schweregrad des Keratokonus nach den Kriterien der CLEK-Studie, Spaltlampenbefunde und Beurteilung des

Patient	Flat K (D)	Steep K (D)	Flat meridian axis (degrees)	Central corneal thickness (microns)	CLEK severity grade	Vogt's striae	Apical scarring	RGP lens fitting grade
1	49,78	56,03	16	455	Severe	Present	Absent	DAT
2	45,55	49,95	116	451	Moderate	Absent	Absent	AT
3	42,83	45,10	70	440	Moderate	Absent	Absent	AT
4	45,60	48,43	31	434	Moderate	Absent	Absent	AC
5	58,15	61,75	124	324	Severe	Present	Present	AT
6	45,60	47,28	136	505	Moderate	Absent	Absent	AT
7	47,80	52,00	112	419	Moderate	Present	Present	DAT
8	52,20	55,88	20	503	Severe	Present	Present	DAT
9	44,20	47,95	125	453	Moderate	Present	Absent	DAT
10	44,10	49,20	91	461	Moderate	Absent	Absent	DAT
11	43,85	49,38	138	386	Moderate	Present	Present	DAT
12	48,63	51,85	142	415	Moderate	Present	Present	DAT
13	43,38	47,33	13	484	Moderate	Present	Absent	AT
14	51,38	56,43	27	416	Severe	Present	Present	DAT
15	49,08	52,90	25	435	Severe	Present	Present	DAT

Table 1: Zusammenfassung der Daten, die bei der Erstuntersuchung der 15 Probanden ermittelt wurden; durchschnittliche zentrale Vorderflächenradien, zentrale Hornhausdicke, Schweregrad des Keratokonus nach den Kriterien der CLEK-Studie, Spaltlampenbefunde und Beurteilung des Kontaktlinsensitzes.

(DAT = „deutliche Überbrückung des Konus“, AT = „Auflage auf dem Konus“; AC = „Überbrückung des Konus“, CLEK = Collaborative Longitudinal Evaluation of Keratoconus, CLEK-Studie)

Kontaktlinsensitzes. Bei fünf Probanden war der Keratokonus stark, bei 10 Probanden mäßig ausgeprägt. Bei sieben Probanden wurde eine Vernarbung am Apex festgestellt. Fleischer-Ringe und stark ausgeprägte Hornhautnerven wurden bei allen 15 Probanden beobachtet. Bei 14 Probanden waren die formstabilen Kontaktlinsen flach angepasst; eine Überbrückung des Apex wurde nur bei einem Probanden festgestellt. Die Probanden hatten im Durchschnitt 8 ± 5 Jahre vor Studienbeginn eine Keratokonus-Diagnose gestellt bekommen und durchschnittlich 7 ± 4 Jahre lang Kontaktlinsen getragen. Die Tragezeiten lagen bei 9 ± 3 Stunden täglich und 6 ± 1 Tage pro Woche.

Änderungen der subjektiven Refraktionswerte

Table 2 gibt Aufschluss über die Power-Vektoren mit den Komponenten M, J0 und J45, die aus den Messwerten der zwei subjektiven Refraktionsbestimmungen berechnet wurden. Ein Vergleich der bei den zwei Untersuchungen erzielten Messwerte ergab keine signifikanten Änderungen der Kom-

Power vector term (D)	Visit 1	Visit 2	p	F	df
M	$-2,45 \pm 1,86$	$-2,44 \pm 1,92$	0,93	0,007	(1,14)
J45	$-0,27 \pm 1,30$	$-0,14 \pm 1,42$	0,44	0,64	(1,14)
J0	$-1,47 \pm 1,08$	$-1,68 \pm 1,18$	0,10	3,19	(1,14)

Table 2: Zusammenfassung der Power-Vektoren, die aus den Messwerten der zwei subjektiven Refraktionsbestimmungen berechnet wurden. Für die statistische Analyse wurde eine einfache ANOVA für wiederholte Messungen verwendet.

ponenten M, J0 und J45. ($p > 0,10$; einfache ANOVA für wiederholte Messungen).

Änderungen der Aberrationen höherer Ordnung

Bild 1 zeigt ein Kastendiagramm mit Boxplots für die verschiedenen Aberrationen höherer Ordnung, die bei den zwei Untersuchungen festgestellt wurden. Aus diesen Boxplots lassen sich die Veränderungen zwischen der ersten und zweiten Untersuchung ablesen. Demnach nahmen bei Koma dritter Ordnung die RMS-Fehler zu (von $0,88 \pm 0,38 \mu\text{m}$ auf $1,13 \pm 0,44 \mu\text{m}$; $p = 0,013$, $F_{1,14} = 8,20$; einfache ANOVA für

wiederholte Messungen). Es wurde auch eine Zunahme der RMS-Fehler bei den Aberrationen dritter Ordnung insgesamt ermittelt (von $0,96 \pm 0,37 \mu\text{m}$ auf $1,20 \pm 0,42 \mu\text{m}$; $p = 0,008$, $F_{1,14} = 9,60$; einfache ANOVA für wiederholte Messungen); mit steigender Ordnung nahmen die RMS-Fehler zu (von $1,06 \pm 0,39 \mu\text{m}$ auf $1,28 \pm 0,44 \mu\text{m}$; $p = 0,004$, $Z = -2,90$; Wilcoxon-Vorzeichen-Test). Im Gegensatz dazu traten keine signifikanten Änderungen der RMS-Fehler bei Dreiblatt dritter Ordnung (von $0,34 \pm 0,16 \mu\text{m}$ auf $0,34 \pm 0,17 \mu\text{m}$; $p = 0,95$, $F_{1,14} = 0,004$; einfache ANOVA für wiederholte Messungen) und bei Aberra-

tionen vierter Ordnung auf (von $0,34 \pm 0,16 \mu\text{m}$ auf $0,34 \pm 0,17 \mu\text{m}$; $p = 0,95$, $F_{1,14} = 0,004$; einfache ANOVA für wiederholte Messungen). Die Auswertung der Zernike-Koeffizienten ergab, dass vertikale Koma-Aberrationen zunahm, und zwar von $-0,85 \pm 0,37 \mu\text{m}$ auf $-1,0 \pm 0,43 \mu\text{m}$ ($p = 0,012$, $F_{1,14} = 8,37$; einfache ANOVA für wiederholte Messungen). Bei sphärischen Aberrationen vierter Ordnung erfolgte jedoch eine Verschiebung hin zu negativen Werten: von $0,030 \pm 0,23 \mu\text{m}$ zu $-0,0075 \pm 0,24 \mu\text{m}$ ($p = 0,42$, $F_{1,14} = 0,69$; einfache ANOVA für wiederholte Messungen).

Änderung der Sehleistung

Tabelle 3 enthält eine Zusammenfassung der Visuswerte im hohen und niedrigen Kontrastbereich, die bei den zwei Untersuchungen gemessen wurden. Nachdem die formstabilen Kontaktlinsen von den Probanden nicht mehr getragen worden waren, konnte in beiden Kontrastbereichen eine verminderte Sehschärfe festgestellt werden.

Änderung der Hornhautstruktur

Tabelle 4 gibt eine Übersicht über die Hornhautparameter, die bei den zwei Un-

tersuchungen gemessen wurden. Sowohl die steilen als auch die flachen K-Werte nahmen nach der Erstuntersuchung zu. Im Gegensatz dazu nahmen der CPV-Wert und die zentrale Hornhautdicke ab. Bei den Achsen der flachen Meridiane hingegen traten keine signifikanten Änderungen auf.

Wurden die Änderungen der Visuswerte sowohl im hohen als auch niedrigen Kontrastbereich gegen die Änderungen der steilen zentralen K-Werte aufgetragen, dann ergaben die Spearman-Korrelationsanalysen keine signifikante Korrelation zwischen den Variablen ($p \geq 0,28$). Eine Vergleichsanalyse der Ergebnisse, die bei den zwei Untersuchungen erzielt wurden, ergab ebenfalls keine signifikanten Korrelationen zwischen den Änderungen der flachen zentralen K-Werte und den Änderungen der Visuswerte sowohl im hohen als auch niedrigen Kontrastbereich ($p \geq 0,52$).

Korrelationen zwischen Visuswerten im hohen und niedrigen Kontrastbereich und okulären Aberrationen

Bild 2 zeigt die Korrelationen zwischen den RMS-Werten der Aberrationen dritter Ordnung insgesamt ($Z 3 \pm 3$ and $Z 3 \pm 1$)

und den Visuswerten im hohen und niedrigen Kontrastbereich, die bei den zwei Untersuchungen gemessen wurden. Bei den Ergebnissen der Erstuntersuchung (Ausgangsmessungen) wurden signifikante Korrelationen zwischen dem Ausmaß der RMS-Werte für Aberrationen dritter Ordnung insgesamt und den Visuswerten sowohl im hohen als auch niedrigen Kontrastbereich festgestellt. Bei der zweiten Untersuchung wurde eine leichte Zunahme der Korrelation zwischen den Visuswerten im hohen Kontrastbereich und den RMS-Werten für Aberrationen dritter Ordnung insgesamt beobachtet. Zwischen den Visuswerten im niedrigen Kontrastbereich und den RMS-Werten für Aberrationen dritter Ordnung insgesamt zeigte sich bei der zweiten Untersuchung eine stärkere Korrelation als bei der Erstuntersuchung.

Bild 3 zeigt die Korrelationen zwischen den RMS-Werten für Koma-Aberrationen dritter Ordnung ($Z 3 \pm 1$) und den Visuswerten im hohen und niedrigen Kontrastbereich, die bei der ersten und zweiten Untersuchung gemessen worden waren. Bei den Ergebnissen der Erstuntersuchung traten keine signifikanten Korrelationen zwischen dem Ausmaß der RMS-Werte für Koma-Aberrationen dritter Ordnung und den Visuswerten sowohl im hohen als auch niedrigen Kontrastbereich auf. Bei der zweiten Untersuchung wurde eine leichte Zunahme der Korrelation zwischen den Visuswerten im hohen Kontrastbereich und den RMS-Werten für Koma-Aberrationen dritter Ordnung festgestellt. Im Vergleich zu den Ausgangsergebnissen war die Korrelation zwischen den Visuswerten

Visual acuity (log units)	Visit 1	Visit 2	p	F	df
High-contrast	+0,31 ± 0,14	+0,39 ± 0,16	0,0010 *	15,56	(1,14)
Low-contrast	+0,68 ± 0,19	+0,77 ± 0,19	0,0020 *	14,82	(1,14)

Tabelle 3: Zusammenfassung der logMAR-Visuswerte im hohen und niedrigen Kontrastbereich, die bei den zwei Untersuchungen gemessen wurden. Für die statistische Analyse wurde eine einfache ANOVA für wiederholte Messungen verwendet.

(* = signifikante Änderung zwischen den zwei Untersuchungen)

Corneal topography						
Keratometric data	Visit 1	Visit 2	p	Test	Statistic	n or df
Flat central K (D)	47,47 ± 4,18	48,14 ± 4,33	0,020 *	WSRT	Z = -2,32	n = 15
Steep central K (D)	51,42 ± 4,48	52,16 ± 4,88	0,003 *	RM-ANOVA	F = 13,09	df = (1,14)
Flat meridian axis (degrees)	78,99 ± 51,69	77,54 ± 53,45	0,28	WSRT	Z = -1,08	n = 15
Corneal structure						
Parameter	Visit 1	Visit 2	p	Test	Statistic	n or df
Central corneal thickness (µm)	438,57 ± 45,50	429,80 ± 49,07	0,00016 *	RM-ANOVA	F = 26,25	df = (1,14)
CPV	-0,19 ± 0,47	-0,30 ± 0,50	0,0010 *	RM-ANOVA	F = 15,88	df = (1,14)

Tabelle 4: Übersicht über die Hornhautparameter, die bei den zwei Untersuchungen gemessen wurden. Für die statistische Analyse wurden sowohl parametrische Tests (einfache ANOVA für wiederholte Messungen, RM-ANOVA) als auch nicht parametrische Tests (Wilcoxon-Vorzeichen-Rangtest, WSRT) verwendet.

(* = signifikante Änderung zwischen den zwei Untersuchungen)

im niedrigen Kontrastbereich und den RMS- Werten für Koma-Aberrationen dritter Ordnung bei der zweiten Untersuchung höher. Im Gegensatz dazu wurden bei keiner der zwei Untersuchungen signifikante Korrelationen zwischen den Visuswerten sowohl im hohen als auch niedrigen Kontrastbereich und dem Ausmaß der RMS-Werte für Dreiblatt-Aberrationen festgestellt ($p \geq 0,21$).

Diskussion

Im Rahmen dieser Studie wurden bei 15 Patienten mit mäßig bis stark ausgeprägtem Keratokonus folgende Parameter auf mögliche Veränderungen überprüft: Visuswerte im hohen und niedrigen Kontrastbereich, subjektive Refraktionswerte, okuläre Aberrationen und Hornhautstruktur. Diese Parameter wurden bei einer Erstuntersuchung und einer Untersuchung eine Woche später gemessen, wobei die Probanden zwischen den beiden Untersuchungen ihre formstabilen Kontaktlinsen nicht mehr getragen hatten.

Die Ergebnisse dieser Studie ergaben, dass sich die Visuswerte sowohl im hohen als auch niedrigen Kontrastbereich zwischen den zwei Untersuchungen verschlechterten. Es wurden jedoch keine signifikanten Änderungen der Power-Vektoren, die aus den Messwerten der zwei subjektiven Refraktionsbestimmungen berechnet wurden, in dem Zeitraum zwischen der ersten und zweiten Untersuchung festgestellt. Es zeigte sich, dass das Ausmaß der RMS-Werte für Aberrationen höherer Ordnung zunahm, nachdem die Probanden eine Woche lang keine formstabilen Kontaktlinsen getragen hatten. Diese Zunahme war hauptsächlich auf Änderungen der RMS-Werte für Koma-Aberrationen dritter Ordnung zurückzuführen, die zwischen den zwei Untersuchungen deutlich anstiegen.

Miranda et al.²⁸ führten bei gesunden Probanden, die keine Kontaktlinsen trugen, Messungen mit dem IRX-3 Aberrometer durch und kamen dabei zu folgenden Ergebnissen: Zwischen den RMS-Werten für Koma-Aberrationen dritter Ordnung, die bei der Erstuntersuchung und eine Woche später bei der zweiten Untersuchung ermittelt worden waren, bestand ein durchschnittlicher Unterschied von 0,005 μm (das 95% Konfidenzintervall lag bei $-0,049 \mu\text{m}$ und $+0,059 \mu\text{m}$). Die RMS-Werte für Koma-Aberrationen, die bei der hier präsentierten Studie mit dem Aberrometer gemessen wurden, veränderten sich viel

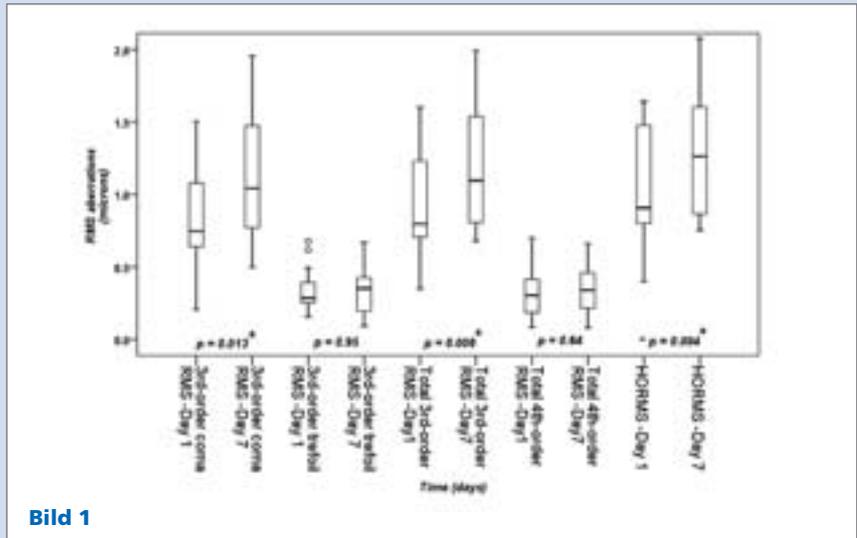


Bild 1

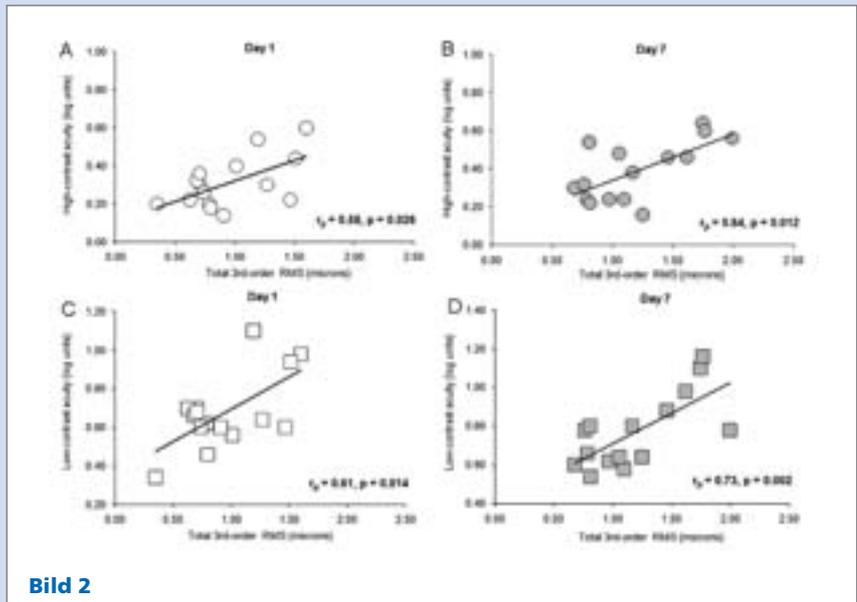


Bild 2

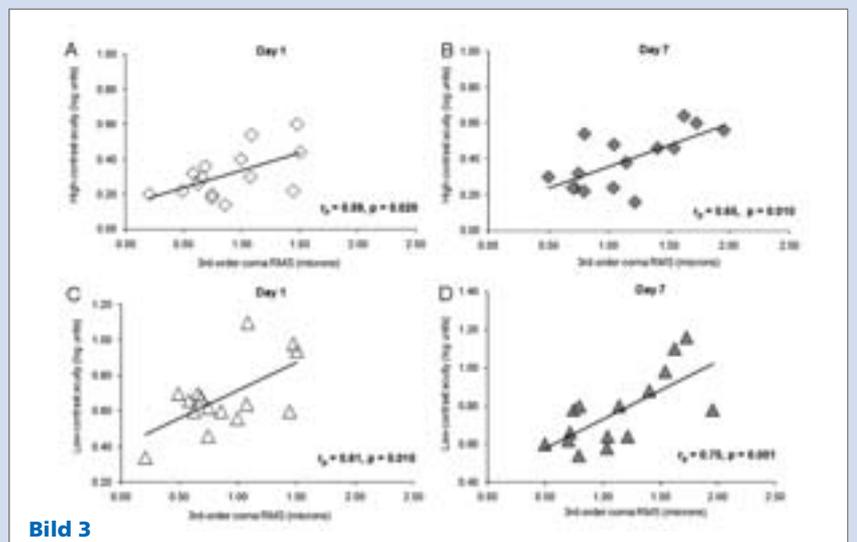


Bild 3

deutlicher zwischen den zwei Untersuchungen. Im Gegensatz zu den RMS-Werten für Koma-Aberrationen dritter Ordnung wurde bei den RMS-Fehlern für Dreiblatt-Aberrationen keine signifikante Änderung zwischen der ersten und zweiten Untersuchung festgestellt.

Die statistische Analyse ergab, dass die RMS-Werte für Aberrationen dritter Ordnung insgesamt und für Koma-Aberrationen dritter Ordnung signifikant mit den Visuswerten im hohen und auch niedrigen Kontrastbereich korrelierten. Es wurde jedoch keine signifikante Korrelation zwischen den RMS-Werten für Dreiblatt-Aberrationen dritter Ordnung und den Visuswerten im hohen und niedrigen Kontrastbereich festgestellt. Bis heute haben offensichtlich nur Okamoto et al.¹⁷ Aberrationen höherer Ordnung und die Kontrastempfindlichkeit bei Probanden mit Keratokonus untersucht, nachdem diese ihre formstabilen Kontaktlinsen nicht mehr getragen hatten. Allerdings wurden bei der Studie von Okamoto et al. keine Ausgangsmessungen der Sehleistungen oder Aberrationen unmittelbar nach dem Herausnehmen der formstabilen Kontaktlinsen durchgeführt. Okamoto et al. berichteten von signifikanten Korrelationen zwischen der Kontrastempfindlichkeit und den RMS-Werten für Aberrationen dritter Ordnung. Bei dieser Studie wurde die Kontrastempfindlichkeit mithilfe von CSV-1000LV Sehtafeln (Vector Vision, Columbus, OH, US) überprüft, wobei die Buchstaben auf 8 verschiedenen Kontraststufen vom Standardkontrast bis zu 1,1% Kontrast bei 2,4 Zyklen/Grad dargeboten wurden. Die Korrelationsdaten umfassten die Anzahl der Buchstaben (von insgesamt 24), die richtig gelesen wurden, und nicht die tatsächliche Kontrastschwelle oder Kontrastempfindlichkeit. Diese Daten wurden gegen die okulären Aberrationen aufgetragen. Die Ergebnisse, zu denen Okamoto et al.¹⁷ in ihrer Studie gelangten, werden von den Resultaten der vorliegenden Studie untermauert: Auch hier wurden signifikante Korrelationen zwischen dem Ausmaß der RMS-Werte für Aberrationen dritter Ordnung und den Visuswerten im niedrigen Kontrastbereich festgestellt, und zwar sowohl bei der Erstuntersuchung als auch bei der zweiten Untersuchung. Okamoto et al.¹⁷ fanden jedoch keine signifikanten Korrelationen zwischen den RMS-Fehlern für Aberrationen dritter Ordnung und den Visuswerten im hohen Kontrastbereich (gemessen mit

einer Bailey-Lovie-logMAR-Tafel). Dieses Ergebnis steht im Widerspruch zu den Resultaten der hier präsentierten Studie, bei der sowohl bei der ersten als auch zweiten Untersuchung eine signifikante Korrelation zwischen den RMS-Werten für Aberrationen der dritten Ordnung und den Visuswerten im hohen Kontrastbereich auftrat. Diese Unterschiede zwischen der Studie von Okamoto et al.¹⁷ und der vorliegenden Studie können mehrere Gründe haben, beispielsweise einen verschiedenen Schweregrad der Keratokonus-Erkrankung. Okamoto et al.¹⁷ gingen in ihrem Bericht auf den Schweregrad nicht ein, berichteten aber darüber, dass Augen mit Hornhautvernarbung nicht zur Studie zugelassen wurden; dies lässt vielleicht darauf schließen, dass die Probanden eher einen Keratokonus im Frühstadium hatten. Alio and Shabayek⁹ haben schon früher aufgezeigt, dass das Ausmaß von Aberrationen höherer Ordnung vom Schweregrad des Keratokonus abhängt, und zwar insofern, als Patienten mit mäßig bis stark ausgeprägtem Keratokonus mehr Aberrationen haben als Patienten mit einem leichten Keratokonus. Deshalb überrascht es vielleicht nicht, dass bei der Studie von Okamoto et al.¹⁷ und der hier präsentierten Studie verschiedene Korrelationen zwischen den Visuswerten im hohen und niedrigen Bereich und den okulären Aberrationen festgestellt wurden. Okamoto et al.¹⁷ bestimmten die Wellenfront-Aberrationen für einen Pupillendurchmesser von 6 mm, wobei die Messungen bei dilatierter Pupille (1% Tropicamid) erfolgten. Bei der vorliegenden Studie wurden die Aberrationen (bei allen 15 Probanden) für einen Pupillendurchmesser von 4 mm bestimmt und keine Mydriatika verwendet. Wenn man Äquivalenzberechnungen²⁹ durchführt, um die verschiedenen Pupillengrößen in den zwei Studien vergleichen zu können, dann ergibt sich für die Studie von Okamoto et al.¹⁷ als durchschnittlicher RMS-Fehler für Aberrationen dritter Ordnung insgesamt ein Wert von 1,22 dpt; bei der vorliegenden Studie beträgt dieser Wert 1,66 dpt (am 1. Tag) und 2,07 dpt (am 7. Tag). Da bei den Patienten in der hier präsentierten Studie ein größeres Ausmaß an Aberrationen dritter Ordnung festgestellt wurde, sind signifikante Korrelationen mit den Visuswerten ganz und gar nicht verwunderlich.^{16,30,31} Bei sieben der fünfzehn Patienten ergab die Spaltlampenuntersuchung eine sichtbare Narbenbildung am Apex. Durch Nar-

ben wird die Vorwärts- und Rückwärtsstreuung des Lichts beeinträchtigt^{32,33}, was sich nicht nur auf die Aberrationen höherer Ordnung, sondern auch auf die Kontrastsehschärfe ausgewirkt haben könnte.³⁴ Ein weiterer Faktor, der die Unterschiede zwischen den zwei Studien erklären könnte, ist die Zeitspanne, in der keine formstabilen Kontaktlinsen getragen wurden. Okamoto et al.¹⁷ berichteten, dass die Patienten in ihrer Studie mindestens zwei Wochen vor der Untersuchung ihre Kontaktlinsen nicht mehr tragen durften. In der vorliegenden Studie hatten die Probanden ihre Kontaktlinsen zwischen den zwei Untersuchungen eine Woche lang nicht getragen. Möglicherweise wären noch weitere Änderungen der optischen Eigenschaften der Hornhaut aufgetreten, wenn die Probanden ihre formstabilen Kontaktlinsen länger als eine Woche nicht mehr getragen hätten. Außerdem werden okuläre Aberrationen auch durch Akkommodationsschwankungen und den präkornealen Tränenfilm³⁵ sowie das Geräusch des Messgeräts^{36,37} beeinflusst. Doch Hiraoka et al.²¹ haben in einer früheren Studie über Orthokeratologie darüber berichtet, dass subjektive Refraktionswerte, unkorrigierte Visuswerte und Aberrationen höherer Ordnung wieder zu den Ausgangswerten zurückkehrten, nachdem die formstabilen Ortho-K-Nachtlinsen mit reverser Geometrie eine Woche lang nicht mehr getragen worden waren. Die Ergebnisse dieser Studie legen den Schluss nahe, dass myopische Augen mit einer gesunden Hornhaut nach einer Woche ohne formstabile Kontaktlinsen wieder ihren ursprünglichen Brechungszustand aufweisen. Ähnlich wie bei der Studie von Okamoto et al.¹⁷ wurden auch in der vorliegenden Studie signifikante Korrelationen zwischen den RMS-Werten für Aberrationen dritter Ordnung und den Visuswerten im niedrigen Kontrastbereich festgestellt, nachdem die Probanden ihre formstabilen Kontaktlinsen nur eine Woche lang nicht getragen hatten. Dies lässt möglicherweise darauf schließen, dass man wichtige Informationen über Aberrationen und Sehleistung auch dann erhält, wenn formstabile Kontaktlinsen nur eine Woche lang nicht getragen werden. Man muss jedoch bedenken, dass es für Keratokonus-Patienten schwierig sein dürfte, wenn sie eine Woche lang ihre formstabilen Kontaktlinsen nicht tragen dürfen, damit Änderungen der Hornhaut gemessen werden können. Schließlich sind Kerato-

konus-Patienten überwiegend auf ihre Kontaktlinsen angewiesen, weil sie mit einer Brille keine vergleichbare Sehschärfe erzielen können.

Bei den RMS-Werten für Dreiblatt-Aberrationen dritter Ordnung wurden bei beiden Untersuchungen weniger Korrelationen mit den Visuswerten im hohen und niedrigen Kontrastbereich festgestellt. Mit diesem Ergebnis hat man gerechnet, weil sich Aberrationskoeffizienten, die in der Mitte der Zernike-Pyramide konzentriert sind – wie Koma-Aberrationen dritter Ordnung – auf die Sehleistung gravierender auswirken als Koeffizienten am Rand der Pyramide – wie Dreiblatt-Aberrationen dritter Ordnung.^{31,38,39} Deshalb wurde davon ausgegangen, dass sich u. U. durch jede Zunahme von RMS-Fehlern bei Koma-Aberrationen dritter Ordnung zwischen den zwei Untersuchungen die Sehleistung noch weiter verschlechtern würde. Für diese Annahme spricht das Ergebnis, dass das Ausmaß der Korrelation zwischen den RMS-Werten für Koma-Aberrationen dritter Ordnung und den Visuswerten im niedrigen Kontrastbereich bei der zweiten Untersuchung ($r = 0,75$; $p = 0,001$) gegenüber den berechneten Ausgangswerten deutlich zugenommen hatte ($r = 0,61$; $p = 0,015$). Das Ausmaß der Korrelation zwischen den RMS-Werten der Koma-Aberrationen dritter Ordnung und den Visuswerten im hohen Kontrastbereich war jedoch zwischen den zwei Untersuchungen vergleichsweise geringfügig angestiegen, nämlich von $r = 0,59$, $p = 0,020$ am ersten Tag auf $r = 0,65$, $p = 0,010$ am 7. Tag. Diese Ergebnisse könnten darauf hindeuten, dass sich eine Zunahme der RMS-Werte für Koma-Aberrationen dritter Ordnung bei Patienten mit mäßig bis stark ausgeprägtem Keratokonus auf die Visuswerte im niedrigen Kontrastbereich gravierender auswirkt als auf die Visuswerte im hohen Kontrastbereich. Dies würde die Ergebnisse bestätigen, die Fernandez-Sanchez et al.⁴⁰ in ihrer Studie erzielten, als sie bei elf Patienten mit gesunden Augen Messungen der okulären Aberrationen sowohl mit aberrations-induzierenden Weichlinsen als auch ohne Kontaktlinsen durchführten. Die Weichlinsen, die den Probanden angepasst worden waren, induzierten $1,03 \mu\text{m}$ der RMS-Werte für Koma-Aberrationen dritter Ordnung, was zu einer durchschnittlichen Änderung der Visuswerte von $0,19 \pm 0,10$ logMAR im hohen Kontrastbereich und $0,39 \pm 0,14$ logMAR im niedrigen Kon-

trastbereich führte. Dieses Ergebnis legt den Schluss nahe, dass sich beim gesunden Auge eine Zunahme der Koma-Aberrationen auch auf die Visuswerte im niedrigen Kontrastbereich gravierender auswirkt als auf die Visuswerte im höheren Kontrastbereich.

Neben den Auswirkungen auf die Sehleistung und okulären Aberrationen wurden bei Keratokonus-Patienten auch Veränderungen der Hornhautstruktur festgestellt, nachdem sie ihre formstabilen Kontaktlinsen nicht mehr getragen hatten. So beobachtete man u. a. eine Versteilung der Krümmungsradien der zentralen Hornhautvorderfläche, eine Abnahme der zentralen Hornhautdicke und eine negative Zunahme des CPV-Werts (gemessen in einer ringförmigen peripheren Zone mit einem Durchmesser von 8 mm). Bei diesen Veränderungen der Hornhautstruktur dürfte die Versteilung der Krümmungsradien der zentralen Hornhautvorderfläche auf den Sitz der formstabilen Kontaktlinsen zurückzuführen sein. Bei 14 der 15 Probanden waren die Kontaktlinsen mit Apexauflage angepasst worden, was im Einklang mit früheren Studien steht.^{41,42} Bei einer derartigen Linsenanpassung könnte das Gewicht der Kontaktlinse hauptsächlich auf der Konusspitze ruhen und sich die Vorderfläche des Konus in der Folge an die Rückflächenform der Kontaktlinse anpassen. Nach dem Herausnehmen der Kontaktlinsen könnte sich der Druck auf die Konusspitze verringern und aufgrund dieser Druckverringung der Konus weiter ungehindert vorwölben. An der Hornhautperipherie ergaben Messungen des CPV-Werts einen negativen Durchschnittswert, was auf eine hyperboloide Hornhautform schließen lässt. Zwischen den zwei Untersuchungen wurde eine geringfügige negative Zunahme des CPV-Werts gemessen; dies deutet darauf hin, dass es bei der zweiten Untersuchung zu einer leichten Abflachung der Hornhaut gekommen war. Diese periphere Abflachung ist wahrscheinlich auch auf eine Versteilung des Keratokonus zurückzuführen, nachdem die Kontaktlinsen mit Apexauflage nicht mehr getragen worden waren. Nachdem die Kontaktlinsen nicht mehr getragen worden waren, stellte man auch eine Abnahme der zentralen Hornhautdicke fest, die vielleicht im Zusammenhang mit der Rückbildung leichter Hornhautödeme stand.⁴³ Alle Patienten, die an der vorliegenden Studie teilnahmen, hatten ihre formstabilen Kontaktlin-

sen gewöhnlich fast den ganzen Tag und fast die ganze Woche getragen.

Man könnte annehmen, dass die deutlichen Unterschiede zwischen den Aberrationen dritter Ordnung, die zwischen den zwei Untersuchungen festgestellt wurden, u. U. mit den Veränderungen der Hornhautstruktur in den sieben Tagen zwischen erster und zweiter Untersuchung zusammenhängen. Die Ergebnisse legen nahe, dass es bei der Hornhaut von Keratokonus-Patienten, die ihre formstabilen Kontaktlinsen nicht mehr tragen, zu einer Versteilung der zentralen Hornhaut und Abnahme der zentralen Hornhautdicke kommt. Dieses steilere und konischere Hornhautprofil kann u. U. der Grund für das vermehrte Auftreten von Koma-Aberrationen dritter Ordnung sein; bei der vorliegenden Studie ergab die Auswertung der Zernike-Koeffizienten, dass vor allem vertikale Koma-Aberrationen zunahm, was in der Folge zu einer messbaren Verschlechterung der Visuswerte sowohl im hohen als auch niedrigen Kontrastbereich führte.

Das Phänomen der Verformung der Hornhaut mithilfe von formstabilen Kontaktlinsen wird bei der Orthokeratologie⁴⁴ gezielt eingesetzt: Es werden formstabile Speziallinsen mit reverser Geometrie angepasst, um Kurzsichtigkeit zu korrigieren, indem man eine Änderung der Hornhautkrümmung und Dicke des Epithels herbeiführt.⁴⁵⁻⁴⁷ Einige Untersuchungen haben ergeben, dass durch Orthokeratologie korneale^{48,49} und okuläre⁵⁰⁻⁵³ Aberrationen höherer Ordnung zunehmen. Bei den meisten Untersuchungen ist es zu einer Zunahme von Koma-Aberrationen dritter Ordnung, sphärischen Aberrationen vierter Ordnung und RMS-Fehlern für Aberrationen höherer Ordnungen insgesamt gekommen.^{48,49,52,53} Soni et al.²² berichteten in ihrer Studie über Orthokeratologie, dass die zentrale Hornhautkrümmung (in beiden Meridianen) wieder dem Ausgangswert entsprach, nachdem die OrthoK-Linsen mit reverser Geometrie sieben Tage lang nicht mehr getragen worden waren. Möglicherweise sind ähnliche Veränderungen der Hornhautkrümmung, Hornhautdicke und okulären Aberrationen auch bei den Keratokonus-Patienten in der vorliegenden Studie erfolgt, nachdem die formstabilen Kontaktlinsen nicht mehr getragen worden waren.

Die statistische Aussagekraft dieser Studie wird möglicherweise dadurch eingeschränkt, dass die Kontaktlinsen, die von

den Probanden getragen worden waren, verschiedene Ausführungen und Materialien aufwiesen. Da alle Probanden aus einem Krankenhaus rekrutiert wurden und ihre Kontaktlinsen zu verschiedenen Zeitpunkten von verschiedenen Anpassern erhalten hatten, war dies unvermeidlich. Auch handelte es sich bei den Keratokonus-Patienten um eine heterogene Gruppe, was die Dauer der Krankheit und die Erfahrungen mit Kontaktlinsen anlangte. Zusammenfassend kann man Folgendes sagen: Die Ergebnisse dieser Studie zeigen auf, dass bei Keratokonus-Patienten Änderungen der Visuswerte im hohen und niedrigen Kontrastbereich sowie eine Zunahme der okulären Aberrationen höherer Ordnung auftraten, nachdem diese ihre formstabilen Kontaktlinsen eine Woche lang nicht mehr getragen hatten. Es kam jedoch zu keinen signifikanten Änderungen der Power-Vektoren der subjektiven Refraktionswerte im Laufe dieser Woche. Die Zunahme der RMS-Werte für Komaberrationen dritter Ordnung weist auf signifikante Korrelationen mit der Verschlechterung der Visuswerte hin, die sowohl im hohen als auch niedrigen Kontrastbereich bei diesen Patienten mit mäßig bis stark ausgeprägtem Keratokonus gemessen wurde.

Die Ergebnisse dieser Studie dürften für Anpasser von Nutzen sein, die Keratokonus-Patienten von formstabilen Kontaktlinsen auf andere Linsentypen umrüsten wollen. Auch für Kliniker, die Patienten mit Keratokonus behandeln, könnte es generell von Vorteil sein, wenn sie wissen, wie sich die Refraktionswerte und Sehleistung verändern, wenn formstabile Kontaktlinsen nicht mehr getragen werden. Und nicht zuletzt dürften die Ergebnisse dieser Studie für Forscher nützlich sein, die sich mit der Entwicklung und Anpassung von aberrationskorrigierenden Weichlinsen für Patienten mit Keratokonus befassen. Da individuell gefertigte Keratokonus-Linsen jetzt realisierbar werden, ist es bei der Kontaktlinsenanpassung wichtig, zu wissen, wie sich okuläre Aberrationen ändern, wenn formstabile Kontaktlinsen nicht mehr getragen werden. Es ist vor allem insofern wichtig, als aus der Fachliteratur hervorgeht, dass sich Messungen von Hornhautaberrationen bei Augen mit Keratokonus durch einen geringen Grad an Wiederholbarkeit auszeichnen⁵⁴ und dass die Messungen von Hornhautaberrationen bei diesen Patienten fehleranfällig sind.⁵⁵

Literatur

- [1] Krachmer JH, Feder RS, Belin MW. Keratoconus and related non inflammatory corneal thinning disorders. *Surv Ophthalmol*. 1984;28:293–322.
- [2] Rabinowitz YS. Keratoconus. *Surv Ophthalmol*. 1998;42:297–319.
- [3] Li X, Yang H, Rabinowitz YS. Longitudinal study of keratoconus progression. *Exp Eye Res*. 2007;85:502–7.
- [4] Lawless M, Coster DJ, Phillips AJ, Loane M. Keratoconus: diagnosis and management. *Aus NZ J Ophthalmol*. 1989;17:33–60.
- [5] Zadnik K, Barr JT, Edrington TB, Everett DF, Jameson M, McMahon TT, et al. Baseline findings in the Collaborative Longitudinal Evaluation of Keratoconus (CLEK) Study. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1998;39:2537–46.
- [6] Wilson SE, Lin DTC, Klyce SD, Reidy JJ, Insler MS. Topographic changes in contact lens-induced corneal warpage. *Ophthalmol*. 1990;97:734–4vierter
- [7] Szczotka LB, Rabinowitz YS, Yang H. Influence of contact lens wear on the corneal topography of keratoconus. *Cont Lens Assoc Ophthalmol J*. 1996;22:270–dritter
- [8] Zadnik K, Mutti DO. Contact lens fitting relation and visual acuity in keratoconus. *Am J Optom Physiol Opt*. 1987;64:698–702.
- [9] Alio J, Shabayek M. Corneal Higher Order Aberrations: A Method to Grade Keratoconus. *J Refract Surg*. 2006;22:539–45.
- [10] Gobbe M, Guillon M. Corneal wavefront aberration measurements to detect keratoconus patients. *Cont Lens Ant Eye*. 2005;28:57–66.
- [11] Lim L, Wei R, Tan D, Chan W. Evaluation of Higher Order Ocular Aberrations in Patients With Keratoconus. *J Refract Surg*. 2007;23:825–8.
- [12] Maeda N, Fujikado T, Kuroda T, Mihashi T, Hirohara Y, Nishida K, et al. Wavefront aberrations measured with Hartmann-Shack sensor in patients with keratoconus. *Ophthalmol*. 2002;109:1996–200dritter
- [13] Kosaki R, Maeda N, Bessho K, Hori Y, Suzaki A, Hirohara Y, et al. Magnitude and Orientation of Zernike Terms in Patients with Keratoconus. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2007;48:3062–68.
- [14] Tan B, Baker K, Chen YL, Lewis JW, Shi L, Swartz T, et al. How keratoconus influences optical performance of the eye. *J Vis*. 2008;8:1–10.
- [15] Jinabhai A, Radhakrishnan H, O'Donnell C. Higher-Order Aberrations in Keratoconus: A Review. *Optom Pract*. 2009;10:141–60.
- [16] Negishi K, Kumanomido T, Utsumi Y, Tsubota K. Effect of Higher-Order Aberrations on Visual Function in Keratoconic Eyes with a Rigid Gas Permeable Contact Lens. *Am J Ophthalmol*. 2007;144:924–9.
- [17] Okamoto C, Okamoto F, Oshika T, Miyata K, Samejima T. Higher-order wavefront aberration and letter-contrast sensitivity in keratoconus. *Eye*. 2008;22:1488–92.
- [18] Budak K, Hamed AM, Friedman NJ, Koch DD. Preoperative screening of contact lens wearers before refractive surgery. *J Cat Refract Surg*. 1999;25:1080–6.
- [19] Wang X, McCulley J, Bowman R, Cavanagh H. Time to Resolution of Contact Lens-Induced Corneal Warpage Prior to Refractive Surgery. *Eye Cont Lens*. 2002;28:169–71.
- [20] Tsai PS, Amgad D, Ayman N, McLeod SD. Predicting time to refractive stability after discontinuation of rigid contact lens wear before refractive surgery. *J Cat Refract Surg*. 2004;30:2290–9vierter
- [21] Hiraoka T, Okamoto C, Ishii Y, Okamoto F, Oshika T. Recovery of corneal irregular astigmatism, ocular higher-order aberrations, and contrast sensitivity after discontinuation of overnight orthokeratology. *Br J Ophthalmol*. 2009;93:203–8.
- [22] Soni PS, Nguyen T, Bonanno J. Overnight Orthokeratology: Refractive and Corneal Recovery After Discontinuation of Reverse-Geometry Lenses. *Eye Cont Lens*. 2004;30:254–62.
- [23] Fink B, Barr JT, Edrington TB, Pierce GE, Schechtman K, Rah MJ, et al. A Comparison of Two Methods of Evaluating Cornea-to-Contact Lens Base Curve Fluorescein Patterns in Keratoconus. *Optom Vis Sci*. 2001;78:589–98.
- [24] Zadnik K, Barr JT, Gordon MO, Edrington TB. Biomicroscopic Signs and Disease Severity in Keratoconus. *Cornea*. 1996;15:139–46.
- [25] Lam A, Douthwaite W. Derivation of corneal flattening factor, p-value. *Ophthalmic Physiol Opt*. 1994;14:423–7.
- [26] American-National-Standard-for-Ophthalmic-Instruments. ANSI-Z80–23–1999, Corneal Topography Systems – Standard Terminology. Requirements. New York, U.S.: Optical Laboratories Association; 1999.
- [27] Thibos LN, Wheeler W, Horner D. Power Vectors: An Application of Fourier Analysis to the Description and Statistical Analysis of Refractive Error. *Optom Vis Sci*. 1997;74:367–75.
- [28] Miranda M, O'Donnell C, Radhakrishnan H. Repeatability of corneal and ocular aberration measurements and changes in aberrations over one week. *Clin Exp Optom*. 2009;92:253–66.
- [29] Thibos LN, Hong X, Bradley A, Cheng X. Statistical variation of aberration structure and image quality in a normal population of healthy eyes. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis*. 2002;19:2329–48.
- [30] Jinabhai A, O'Donnell C, Radhakrishnan H. A comparison between subjective refraction and aberrometry-derived refraction in keratoconus patients and control subjects. *Curr Eye Res*. 2010;35:703–1vierter
- [31] Applegate RA, Sarver E, Khemsara V. Are All Aberrations Equal? *J Refract Surg*. 2002;18:S556–S62.
- [32] Patel SV, McLaren JW, Hodge DO, Bourne WM. The effect of corneal light scatter on vision after penetrating keratoplasty. *Am J Ophthalmol*. 2008;146:913–9.
- [33] Pesudovs K, Schoneveld P, Seto RJ. Contrast and glare testing in keratoconus and after penetrating keratoplasty. *Br J Ophthalmol*. 2004;88:653–57.
- [34] Zadnik K, Barr JT, Edrington TB, Nichols JJ, Wilson BS, Siegmund K, et al. Corneal Scar-

- ring and Vision in Keratoconus: A Baseline Report from the Collaborative Longitudinal Evaluation of Keratoconus (CLEK) Study. *Cornea*. 2000;19:804–12.
- [35] Radhakrishnan H, Jinabhai A, O'Donnell C. Dynamics of ocular aberrations in keratoconus. *Clin Exp Optom*. 2010;93:164–7vierter
- [36] Moreno-Barriuso E, Navarro R. Laser Ray Tracing versus Hartmann–Shack sensor for measuring optical aberrations in the human eye. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis*. 2000;17:974–85.
- [37] Thibos LN, Hong X. Clinical Applications of the Shack-Hartmann Aberrometer. *Optom Vis Sci*. 1999;76:817–25.
- [38] Applegate RA, Ballentine C, Gross H, Sarver E, Sarver C. Visual Acuity as a Function of Zernike Mode and Level of Root Mean Square Error. *Optom Vis Sci*. 2003;80:97–105.
- [39] Applegate RA, Marsack JD, Ramos R, Sarver E. Interaction between aberrations to improve or reduce visual performance. *J Cat Refract Surg*. 2003;29:1487–95.
- [40] Fernández-Sánchez V, Ponce ME, Lara F, Montés-Micó R, Castejon-Mochon JF, López-Gil N. Effect of 3rd-order aberrations on human vision. *J Cat Refract Surg*. 2008;34:1339–4vierter
- [41] Zadnik K, Barr JT, Sterger-May K, Edrington TB, McMahon T, Gordon M, et al. Comparison of Flat and Steep Rigid Contact Lens Fitting Methods in Keratoconus. *Optom Vis Sci*. 2005;82:1014–21.
- [42] Edrington TB, Szczołka LB, Barr JT, Achtenburg J, Burger D, Janoff A, et al. Rigid Contact Lens Fitting Relationships in Keratoconus. *Optom Vis Sci*. 1999;76:692–99.
- [43] Swarbrick HA, Mayhew S, Chalker S. The critical Dk/L to avoid oedema for daily wear RGP contact lenses. *Clin Exp Optom*. 1998; 81:72–6.
- [44] Swarbrick HA. Orthokeratology review and update. *Clin Exp Optom*. 2006;89:124–4dritter
- [45] Soni PS, Nguyen TT, Bonanno JA. Overnight Orthokeratology: Visual and Corneal Changes. *Eye Cont Lens*. 2003;29:137–45.
- [46] Rah MJ, Jackson JM, Jones LA, Marsden HJ, Bailey MD, Barr aJT. Overnight Orthokeratology: Preliminary Results of the Lenses and Overnight Orthokeratology (LOOK) Study. *Optom Vis Sci*. 2002;79:598–605.
- [47] Nichols JJ, Marsich MM, Nguyen M, Barr JT, Bullimore MA. Overnight Orthokeratology. *Optom Vis Sci*. 2000;77:252–9.
- [48] Hiraoka T, Matsumoto Y, Okamoto F, Yamaguchi T, Hirohara Y, Mihashi T, et al. Corneal higher-order aberrations induced by overnight orthokeratology. *Am J Ophthalmol*. 2005;139:429–36.
- [49] Hiraoka T, Okamoto F, Kaji Y, Oshika T. Optical quality of the cornea after overnight orthokeratology. *Cornea*. 2006;25:S59–6dritter
- [50] Joslin CE, Wu SM, McMahon TT, Shahidi M. Higher-Order Wavefront Aberrations in Corneal Refractive Therapy. *Optom Vis Sci*. 2003;80:805–11.
- [51] Berntsen DA, Barr JT, Mitchell GL. The Effect of Overnight Contact Lens Corneal Reshaping on Higher-Order Aberrations and Best-Corrected Visual Acuity. *Optom Vis Sci*. 2005;82:490–7.
- [52] Hiraoka T, Okamoto C, Ishii Y, Kakita T, Oshika T. Contrast Sensitivity Function and Ocular Higher-Order Aberrations following Overnight Orthokeratology. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2007;48:550–6.
- [53] Stillitano IG, Chalita MR, Schor P, Maidana E, Lui MM, Lipener C, et al. Corneal changes and wavefront analysis after orthokeratology fitting test. *Am J Ophthalmol*. 2007;144:378–86.
- [54] Shankar H, Taranath D, Santhirathelagan CT, Pesudovs K. Repeatability of corneal first-surface wavefront aberrations measured with Pentacam corneal topography. *J Cat Refract Surg*. 2008;34:727–3vierter
- [55] Thibos LN, Applegate RA. Assessment of Optical Quality. In: Krueger RR, Applegate RA, MacRae S, editors. *Customized Corneal Ablation – The Quest for SuperVision*, Chapter 6; p67–80. Thorofare, New Jersey: Slack Inc; 2001.

Dr. Amit Jinabhai



graduierter mit einem 1st class BSc (Hons) Grad in Optometrie an der UMIST (Manchester, UK) im Jahr 2004. Anschließend arbeitete er als Optometrist in unterschiedlichen

klinischen Verantwortungen, u.a. im Bereich der Refraktionschirurgie. Im Jahr 2011 promovierte er an der University of Manchester (UK) über Untersuchungen bezüglich der Qualität der optischen Wahrnehmung von Patienten mit einem Keratokonus. 2012 beendete er ein Post-Doctoral Fellowship an der Aston University (Birmingham, UK) und erhielt in diesem Jahr auch seine „Fellowship by viva Examination“ der British Contact Lens Association. Dr. Jinabhai arbeitet zur Zeit als Lecturer an der University of Manchester (UK).

Der Autor:

Dr Amit Jinabhai
Aston University
School of Life & Health Sciences
Ophthalmic Research Group
<http://www1.aston.ac.uk/lhs/staff/az-index/dr-amit-jinabhai/>

Maximale Flexibilität fürs Netzwerk

Ungebremster Datenfluss mit der neuen OCULUS Netzwerklizenz: Der neue OCULUS Floating License Key

Der neue OCULUS Floating License Key verwaltet alle OCULUS Lizenzen zentral von einem Server. Die Untersuchungsdaten von Keratograph, Pentacam® und den OCULUS Perimetern können mit der Basissoftware auf allen Arbeitsstationen im lokalen Netzwerk ausgewertet werden. Dazu muss nur das Patienten Daten Management (PDM) und die Gerätesoftware auf der jeweiligen Arbeitsstation installiert und mit dem Server verbunden sein. Der OCULUS Floating License Key kann mit Auswertelizenzen von mehreren OCULUS Geräten ausgestattet werden.

Diese können dann von jedem Arbeitsplatz im lokalen Netzwerk genutzt werden. Zeit wird heutzutage immer kostbarer, so dass Arbeitsabläufe effizienter gestaltet werden müssen. Gleichzeitig erwarten aufgeklärte Kunden, dass Ihnen Untersuchungsergebnisse genau erklärt werden. Das OCULUS PDM ermöglicht die Vernetzung und Sicherung der Untersuchungsdaten aller OCULUS Geräte in einem lokalen Netzwerk. Das optimiert den Arbeitsablauf im Augenoptikerfachgeschäft und spart mit dem neuen Floating License Key zudem Zeit und Kosten.



Für weitere Informationen kontaktieren Sie bitte Ihren Fachberater oder besuchen die Website www.oculus.de.