

Intrakorneale Ringsegmente bei Keratektasien – Zwischenergebnisse und potenzielle Komplikationen

Intracorneal Ring Segments to Treat Keratectasia – Interim Results and Potential Complications

Autoren

M. El-Husseiny¹, L. Daas¹, A. Langenbacher², B. Seitz¹

Institute

¹ Klinik für Augenheilkunde, Universitätsklinikum des Saarlandes, Homburg

² Experimentelle Ophthalmologie, Universitätsklinikum des Saarlandes, Homburg

Schlüsselwörter

- Keratokonus
- ICRS
- INTACS-SK
- KeraRing
- Femtosekundenlaser-assistierte ICRS-Implantation

Key words

- keratoconus
- ICRS
- INTACS-SK
- KeraRing
- femtosecond laser assisted ICRS implantation

eingereicht 15. 3. 2016

akzeptiert 12. 5. 2016

Bibliografie

DOI <http://dx.doi.org/10.1055/s-0042-108653>
 Klin Monatsbl Augenheilkd 2016; 233: 722–726 © Georg Thieme Verlag KG Stuttgart · New York · ISSN 0023-2165

Korrespondenzadresse

Dr. Moatasem El-Husseiny
 Klinik für Augenheilkunde
 Universitätsklinikum des Saarlandes
 Kirrberger Str. 1
 66421 Homburg
 Tel.: + 49/1 76/73 92 12 92
 Fax: + 49/(0)68 41/1 62 24 00
 moatasem.el-husseiny@uks.eu

Zusammenfassung



Hintergrund und Ziele: Durch die minimalinvasive Operationstechnik mittels Femtosekundenlaser und die potenzielle Reversibilität stellen intrakorneale Ringsegmente (ICRS) eine zusätzliche reliable Methode zur Erweiterung des Spektrums der stadiengerechten Therapie des Keratokonus bei Kontaktlinsenintoleranz sowie bei der Behandlung von Post-LASIK-Keratektasie und pelluzider marginaler Degeneration (PMD) dar.

Methoden: Von August 2011 bis September 2015 wurden im Homburger Zentrum für refraktive Chirurgie konsekutiv 84 Augen von 69 Patienten mit ICRS versorgt. Bei 74 Augen implantierten wir INTACS-SK (Intacs, Addition Technology, Inc.) und bei 10 Augen KeraRinge SI6 (Mediphacos Ltda.). Die Indikation darf nur nach einer hochspezifischen Diagnostik bei Hornhäuten mit einer narbenfreien optischen Achse erfolgen. Die Tunnelkreation sollte heute ausschließlich mit dem Femtosekundenlaser erfolgen, um intra- und postoperative Komplikationen zu vermeiden.

Ergebnisse: Drei Monate postoperativ zeigten sich in der INTACS-SK-Gruppe ein Anstieg des mittleren unkorrigierten Visus (logMAR) von $0,99 \pm 0,35$ auf $0,29 \pm 0,17$. Bei der KeraRing SI6-Gruppe zeigte sich in der 3-Monats-Kontrolle ein Anstieg des mittleren unkorrigierten Visus (logMAR) von $0,93 \pm 0,4$ auf $0,41 \pm 0,34$. Die K-Werte wurden in beiden Gruppen flacher.

Schlussfolgerung: Durch Implantation der ICRS können die unkorrigierte und korrigierte Sehschärfe verbessert werden. Die Progression der Ektasie scheint gehemmt zu sein. Dabei sind engmaschige Nachkontrollen zur frühzeitigen Erkennung von Komplikationen notwendig. Allerdings sind größere Fallserien und eine längere postoperative Beobachtungszeit erforderlich. Die Komplikationen nach ICRS sind bei strenger Patientenauswahl und moderner Operationstechnik heute selten.

Abstract



Background and Purpose: Implantation of intracorneal ring segments (ICRS) using a femtosecond laser is a minimally invasive procedure which represents a reliable option to widen the spectrum of the stage-related therapy of keratoconus in patients with contact lens intolerance, or with post-LASIK-keratectasia or pellucid marginal degeneration (PMD).

Methods: From August 2011 to September 2015, 84 eyes of 69 patients were implanted with ICRS. 74 eyes were implanted with INTACS-SK (Intacs, Addition Technology, Inc.), and 10 eyes were implanted with KeraRing SI6 (Mediphacos Ltda.). The indication is taken in the presence of a clear central cornea and the patients had to fulfill the corneal diagnostic tests required for implantation. Tunnel creation should nowadays only be carried out by femtosecond laser, in order to avoid intra- and postoperative complications.

Results: Three months after surgery, the INTACS-SK group showed an increase in uncorrected distance visual acuity (logMAR) from $0,99 \pm 0,35$ to $0,29 \pm 0,17$. The KeraRing SI6 group showed an increase in uncorrected distance visual acuity (logMAR) from $0,93 \pm 0,4$ to $0,41 \pm 0,34$. The keratometric values were reduced in both groups.

Conclusion: Uncorrected and corrected distance visual acuity can be improved by implantation of the ICRS. Progression of ectasia seems to be retarded. Consistent follow-up visits at close intervals are necessary to identify complications at an early stage. However, larger case series and a longer postoperative observation period are required. Complications after ICRS implantation are rare, due to strict patient selection and modern surgical techniques.

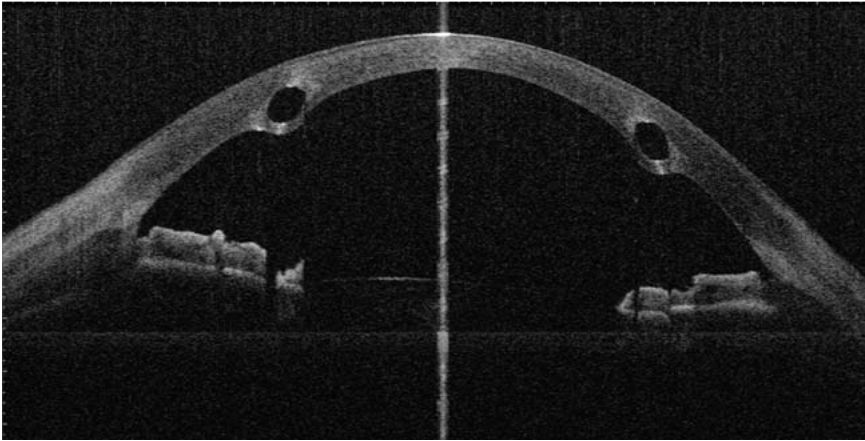


Abb. 1 OCT-Aufnahme des Vorderabschnitts zeigt eine adäquate intrastromale elliptische INTACS-SK-Tiefe.

Einleitung

▼
Keratokonus ist eine nicht entzündliche, fortschreitende Hornhautveränderung, die typischerweise in der Pubertät beginnt. Bei Keratokonus kommt es zu einer progressiven Verdünnung und kegelförmigen Vorwölbung der Hornhaut [1]. Die Ursache für den Keratokonus ist bis heute noch nicht vollständig bekannt. Eine multifaktorielle Genese unter dem Einfluss unterschiedlicher genetischer, immunologischer und anderer Faktoren wird vermutet. Dabei spielt wahrscheinlich eine mechanische Komponente im Sinne von Augenreiben eine Rolle für die Progression. Etwa 0,5% der Bevölkerung ist betroffen [2], wobei dies aber nach Geschlecht und Region variieren kann. Die Qualität des Sehens kann durch die irreguläre Hornhautkrümmung (Astigmatismus), die progressive Kurzsichtigkeit (Myopie), die zentrale Narbenbildung der Hornhaut und die schwierige Kontaktlinsenanpassung im fortgeschrittenen Stadium stark beeinträchtigt sein. Die intrakornealen Ringsegmente (ICRS) sind kleine, synthetische Spannen, die aus Polymethylmethacrylat (PMMA) bestehen. Die ICRS fungieren zwischen den Kollagenlamellen der Hornhaut als Platzhalter. Es kommt zu einem Verkürzungseffekt der zentralen Bogenlänge „arc shortening effect“, welcher proportional zur Dicke der Ringelemente ist. Dadurch wird die periphere Hornhaut angrenzend zur Ringimplantationsstelle nach vorne verschoben, und der zentrale Teil der Hornhautvorderfläche wird abgeflacht [3].

Die geläufige stadiengerechte Therapie des Keratokonus besteht aus Brillenanpassung/spezieller Kontaktlinsenanpassung, Cross-linking und Keratoplastik. Die ICRS stellte eine Therapiemöglichkeit des Keratokonus bei ausreichender Hornhautdicke vor Durchführung einer Keratoplastik dar, besonders bei Kontaktlinsenintoleranz. Dieses Prinzip wurde zum ersten Mal im Jahr 1978 von Reynolds zur Myopiekorrektur beschrieben [4]. Zusätzlich kommen die ICRS zum Einsatz bei der Behandlung der iatrogenen Keratektasie nach LASIK und der pelluziden marginalen Degeneration (PMD). Unser Ziel ist es, einen Zwischenbericht über die Ergebnisse der Femtosekundenlaser-assistierten ICRS-Implantation in Homburg/Saar zu geben.

Patienten und Methode

▼
Von August 2011 bis September 2015 wurden im Homburger Zentrum für refraktive Chirurgie konsekutiv 84 Augen von 69 Patienten mit ICRS versorgt. Wir implantierten die INTACS-SK (In-

tacs, Addition Technology, Inc.) bei 65 Keratokonusaugen mit zentral klarer Hornhaut und Kontaktlinsenintoleranz, 6 Augen mit Post-LASIK-Keratektasie, 2 Augen mit PMD und 1 Auge nach Ferrara-Ring-Explantation. Des Weiteren implantierten wir die KeraRinge SI6 (Mediphacos Ltda.) bei 10 Keratokonuspationen. Die Operationen wurden vom gleichen Operateur (MEH) durchgeführt. Bei allen Patienten wurde der Tunnel mit dem Femtosekundenlaser kreiert, um die ICRS an der optischen 6–7-mm-Zone zu implantieren. Die Ringsegmente wurden immer tief im kornealen Stroma (80% von der dünnsten Stelle der Hornhaut in der 6–7-mm-Zone) implantiert. Die Femtosekundenlaser-Einstellungen waren: Tiefe des Tunnels 80% von der dünnsten Stelle der Hornhaut in der 6–7-mm-Zone, Innendurchmesser 6,0 mm, Außendurchmesser 7,0 mm, Laserenergie 1,5 mJ. Die Platzierung der Implantationsstelle (1,2 mm Breite in der Hornhaut-tomografie (Pentacam), die dünnste Stelle in der 6-mm-Zone (Implantationsstelle) von mindestens 450 µm in der OCT-Aufnahme (CASIA SS-1000, Tomey, Nagoya, Japan), die beste korrigierte subjektive Refraktion und gemäß dem von INTACS-SK-Hersteller Addition Technology und KeraRing-Hersteller Mediphacos bereitgestellten Nomogramm vorgenommen. Die exakte Zentrierung erfolgt durch eine präoperative Markierung an der Spaltlampe. Bei Patienten mit einer Post-LASIK-Keratektasie wurden die Ringsegmente mit ausreichender Distanz zum Flap positioniert [5].

Die INTACS-SK (Intacs, Addition Technology, Inc.) sind kleine synthetische Ringsegmente mit einer „elliptischen Form“ (● **Abb. 1**, mit CASIA SS-1000, Tomey, Nagoya, Japan). Sie werden in die 6-mm-Zone implantiert, die Segmentdicken variieren je nach Ausgangssituation zwischen 0,21, 0,3, 0,35, 0,4, 0,45 und 0,5 mm. Die KeraRinge SI6 (Mediphacos Ltda.) sind kleine synthetische Ringsegmente mit einer triangulären Form. Sie werden in die optische 6-mm-Zone implantiert (● **Abb. 2**, mit CASIA SS-1000, Tomey, Nagoya, Japan).

Bei allen Augen wurde eine Verbandskontaktlinse (AIR OPTIX® Night&Day Aqua, Ciba Vision GmbH, Großwallstadt, Deutschland) postoperativ aufgesetzt und über 1 Woche belassen. Der Tropfenplan bestand aus Prednisolon (Inflanefran forte® 10 mg/ml, Allergan Pharmaceuticals Ltd., Irland) und Moxifloxacin hydrochloride 0,5% (Vigamox, Alcon Pharma GmbH, Freiburg/Breisgau, Deutschland). Sie wurden pro Tag 6-mal im Wechsel appliziert und die kortisonhaltigen Augentropfen postoperativ stufenweise wöchentlich um 1 Tropfen reduziert. Konservierungsmittelfreie Befeuchtungstropfen (Optive UD Augentropfen; Allergan

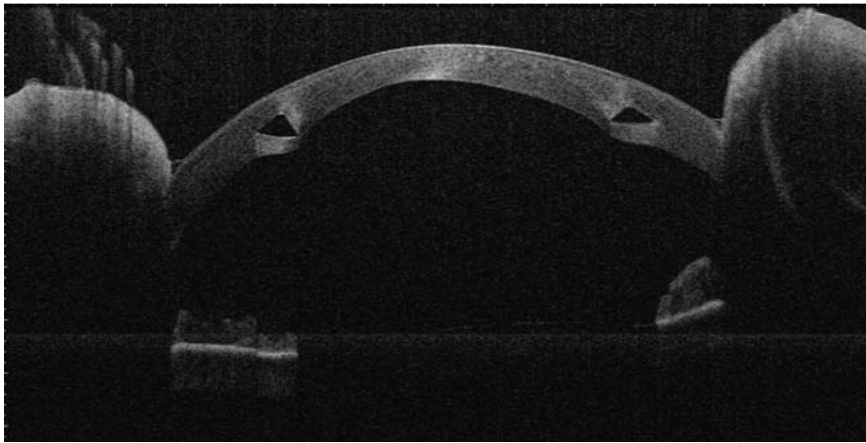


Abb. 2 OCT-Aufnahme des Vorderabschnitts zeigt eine adäquate intrastromale trianguläre KeraRing SI6-Tiefe.

Tab. 1 INTACS-SK präoperativ und 3 Monate postoperativ.

Kontrolle	Vsc logMAR	Vcc logMAR	Kf	Ks
präoperativ (n = 74)				
▶ Mittelwert	0,99	0,38	46,8	50,5
▶ Standardabweichung	± 0,35	± 0,11	± 4,2	± 4,6
▶ Minimum – Maximum	1,3–0,3	0,69–0,22	40,0–55,9	41,7–60,1
postoperativ (3 Monate Follow-up, n = 67)				
▶ Mittelwert	0,29	0,15	43,8	47,7
▶ Standardabweichung	± 0,17	± 0,14	± 4,1	± 4,1
▶ Minimum – Maximum	0,8–0,0	0,7–0,1	34,9–53,4	37,1–53,9

Vsc = unkorrigierter Fernvisus, Vcc = bestkorrigierter Fernvisus, Kf = Brechkraft in der flachen Achse, Ks = Brechkraft in der steilen Achse

Pharmaceuticals) wurden zusätzlich bei allen Patienten initial stündlich angesetzt.

Der unkorrigierte Fernvisus, der bestkorrigierte Fernvisus und die Brechkraft in der flachen und steilen Achse (Kf, Ks, untersucht mit der Pentacam) wurden sowohl präoperativ als auch 3 Monate postoperativ gemessen. Die steilen und flachen K-Werte wurden berücksichtigt, um den Abflachungseffekt über die subjektive Refraktion hinaus zu objektivieren. Eine Fernbrille wurde nach 3–6 Monaten postoperativ angepasst.

Ergebnisse

Bei der INTACS-SK-Gruppe zeigte sich in der 3-Monats-Kontrolle ein Anstieg des mittleren unkorrigierten Visus (logMAR) von $0,99 \pm 0,35$ auf $0,29 \pm 0,17$ und ein Anstieg des mittleren bestkorrigierten (Brillenkorrektur) Visus (logMAR) von $0,38 \pm 0,11$ auf $0,15 \pm 0,14$. Die K-Werte wurden flacher mit einer Änderung von Kf (flache Achse) von $46,8 \pm 4,2$ dpt auf $43,8 \pm 4,1$ dpt und Ks (steile Achse) von $50,5 \pm 4,6$ dpt auf $47,7 \pm 4,1$ dpt (● **Tab. 1**).

Bei der KeraRing SI6-Gruppe zeigte sich in der 3-Monats-Kontrolle ein Anstieg des mittleren unkorrigierten Visus (logMAR) von $0,93 \pm 0,40$ auf $0,41 \pm 0,34$ und ein Anstieg des mittleren bestkorrigierten (Brillenkorrektur) Visus (logMAR) von $0,36 \pm 0,10$ auf $0,23 \pm 0,15$. Die K-Werte wurden flacher mit einer Änderung von Kf (flache Achse) von $47,4 \pm 3,0$ dpt auf $44,9 \pm 3,5$ dpt und Ks (steile Achse) von $50,1 \pm 3,5$ dpt auf $49,5 \pm 2,6$ dpt (● **Tab. 2**).

Bei einem unserer Patienten bildeten sich 12 Monate postoperativ korneale Neovaskularisationen am Ende eines Ringsegments ohne negativen Effekt auf die Hornhautabflachung (● **Abb. 3**), die sich nach einer intensivierten lokalen Prednisolon-Therapie

(Inflanefran forte® 10 mg/ml, Allergan Pharmaceuticals Ltd., Westport, Irland) zurückbildeten.

Diskussion

Die intrakornealen Ringsegmente (ICRS) erweitern das Spektrum der Therapie der Keratektasien (Keratokonus und pelluzide marginale Degeneration) [6], insbesondere der stadiengerechten Therapie des Keratokonus bei Kontaktlinsenintoleranz sowie der Therapie der iatrogenen Keratektasie, die als eine seltene, aber schwere Komplikation nach LASIK auftreten kann [7]. Zu den Voraussetzungen der ICRS-Implantationen zählen eine narbenfreie optische Achse und eine ausreichende Hornhautdicke in der Implantationszone. Die Dicke der Ringsegmente wird entsprechend einem Nomogramm des Herstellers auf die individuelle Hornhaut abgestimmt.

Bei den Komplikationen unterscheidet man zwischen intraoperativen und postoperativen Komplikationen [8]. Zu den intraoperativen Komplikationen gehören die Dezentrierung, inadäquate (unzureichende) Tunneltiefe und -breite, oberflächliche Tunneldissektion mit Perforation der Bowman-Lamelle oder die Perforation in die Vorderkammer (beim Verschieben des Ringes oder bei der Tunnelkreation) [9]. Zu den postoperativen Komplikationen gehören ICRS-Extrusion, korneale Neovaskularisationen, Ablagerungen um die ICRS, Verschiebung des Ringsegments, Epithelpfropf an der Einschnittstelle, Halos (besonders nachts), infektiöse Keratitis und Einschmelzung der Hornhaut. Wir haben nur bei einem Patienten postoperativ korneale Neovaskularisationen beobachten können. Die intra- und postoperativen Komplikationen wurden besonders nach mechanischer Tunnelkreati-

Tab. 2 KeraRing SI6 präoperativ und 3 Monate postoperativ.

Kontrolle	Vsc logMAR	Vcc logMAR	Kf	Ks
präoperativ (n = 10)				
▶ Mittelwert	0,93	0,36	47,4	50,1
▶ Standardabweichung	± 0,40	± 0,10	± 3,0	± 3,5
▶ Minimum – Maximum	1,3–0,39	0,6–0,30	41,4–51,4	42,4–52,6
postoperativ (3 Monate Follow-up, n = 10)				
▶ Mittelwert	0,41	0,23	44,9	49,5
▶ Standardabweichung	± 0,34	± 0,15	± 3,5	± 2,6
▶ Minimum – Maximum	1,3–0,22	0,6–0,09	37,8–48,4	45,2–52,8

Vsc = unkorrigierter Fernvisus, Vcc = bestkorrigierter Fernvisus, Kf = Brechkraft in der flachen Achse, Ks = Brechkraft in der steilen Achse

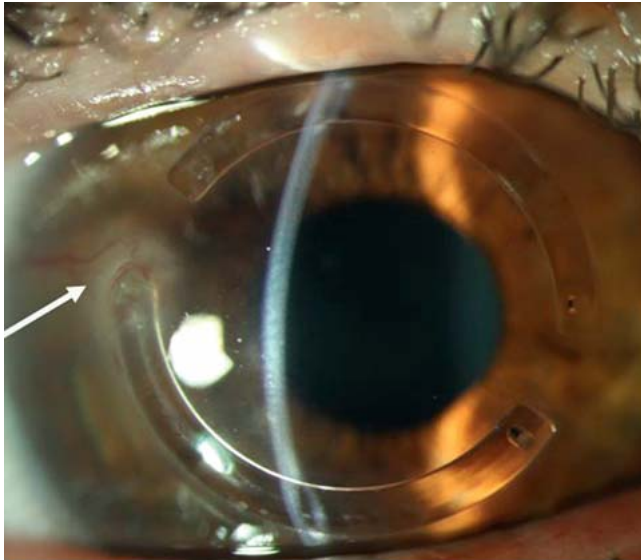


Abb. 3 Spaltlampenmikroskopische Aufnahme einer Kornea nach Implantation von ICRS mit kornealer Neovaskularisation am Ende des Ringsegments (Pfeil).

on beschrieben [9–11]. In einer multizentrischen Studie, bei der die Tunnelkreation mechanisch erfolgte, wurden folgende Komplikationen beobachtet: oberflächliche Tunneldissektion mit Perforation der Bowman-Lamelle in 1,8% (3/163 Augen) und eine Perforation in die Vorderkammer in 0,6% (1/163 Augen) [11]. Deswegen sollte die Tunnelkreation heute ausschließlich mit dem Femtosekundenlaser erfolgen. Durch die Femtosekundenlaser-assistierte ICRS-Implantation erreichen wir einen präzisen Tunnelschnitt mit einer exakten Platzierung der ICRS. Bei postoperativen Komplikationen wie z.B. einer Ringextrusion ist die Operation reversibel. In einer Arbeit von Daxer im Jahr 2009 wurde beschrieben, dass die Krümmungsveränderungen der Hornhaut nach Explantation reversibel sei [12]. Eine andere Arbeit von Chhadva et al. im Jahr 2015 zeigte, dass die visuelle und strukturelle Hornhautbeschaffenheit nach Explantation, derjenigen vor ICRS-Implantation in Keratokonusaugen entspricht [13]. Die engmaschigen postoperativen Kontrollen sind sehr wichtig, um eine Progression rechtzeitig zu erkennen. Die Progression definieren wir anhand der topografischen Brechkraft in der flachen und steilen Achse (Kf, Ks). Bei mindestens 2 nacheinander folgenden Untersuchungen innerhalb 6 Monaten sollte kein Anstieg eines K-Wertes um 1 dpt festgestellt werden. Der Visus und die kli-

nischen spaltlampenmikroskopischen Befunde sollten keine Veränderungen aufweisen [1].

In einer Arbeit von Alió et al. wurde berichtet, dass bei Patienten mit präoperativ progressivem Keratokonus nach einer deutlichen initialen Reduktion der mittlere K-Wert nach ICRS-Implantation eine statistisch signifikante Regression von in Mittel 3,36 dpt im Zeitraum von 6 Monaten bis 5 Jahren postoperativ erfährt. Im Vergleich dazu hatten Patienten mit präoperativ stabilem Keratokonus eine niedrigere Regression von 1,0 dpt über die gleiche postoperative Phase, wobei sich in beiden Gruppen keine Progression zum Ausgangswert gezeigt hat [14]. Bei der zitierten Arbeit [14] erfolgte die Tunnelkreation sowohl mechanisch als auch mit dem Femtosekundenlaser ohne Angaben von Zahlen, es wurden verschiedene Ringtypen implantiert, die Tiefe des Tunnels lag bei 70% der mittleren Hornhautdicke (bei uns 80% von der dünnsten Stelle), die Implantationszone wurde nicht angegeben, und es wurden 18 Augen mit progressivem Keratokonus gegen 51 Augen mit stabilem Keratokonus verglichen.

Postoperativ kann versucht werden, je nach Grad der Kontaktlinsentoleranz, den Visus mittels maßgeschneiderter Hydrogel-Silikonkontaktlinse (KL) zu verbessern. Die Patienten können eine bessere Sehschärfe erreichen als mit einer Brille und das bei einer akzeptablen Tragezeit und einer geringen Inzidenz von Komplikationen [15]. Wir haben keine eigenen Erfahrungen über Kontaktlinsenanpassung nach ICRS-Implantation, da die Patienten postoperativ mit einer Brillenkorrektur zufrieden sind.

Alle Patienten in unserer Gruppe waren vor ICRS-Implantation kontaktlinsenintolerant. Neben der Verbesserung des unkorrigierten Visus und der Kontaktlinsenfreiheit führte in unserer Gruppe die postoperative Brillenanpassung bei allen Patienten zur besseren Korrektur des Sehfehlers als vorher. Alle Patienten waren postoperativ mit Brille zufrieden.

Unserer Meinung nach sollte die Tunnelkreation heute ausschließlich mit dem Femtosekundenlaser erfolgen, um intra- und postoperative Komplikationen zu vermeiden. Um die langfristige Regularisierung der Topografie und die Visusstabilität zu beurteilen, brauchen wir ein größeres Patientenkollektiv mit längerer Beobachtungsdauer.

Interessenkonflikt



Nein.

Literatur

- 1 El-Husseiny M, Tsintarakis T, Eppig T et al. Intrakorneale Ringsegmente beim Keratokonus. *Ophthalmologie* 2013; 110: 823–826

- 2 Rabinowitz YS. INTACS for keratoconus. *Int Ophthalmol Clin* 2006; 46: 91–103
- 3 Piñero DP, Alió JL. Intracorneal ring segments in ectatic corneal disease – a review. *Clin Experiment Ophthalmol* 2010; 38: 154–167
- 4 Burris TE, Baker PC, Ayer CT *et al.* Flattening of central corneal curvature with intrastromal corneal rings of increasing thickness: an eye bank eye study. *J Cataract Refract Surg* 1993; 19: 182–187
- 5 Ertan A, Colin J. Intracorneal rings for keratoconus and keratectasia. *J Cataract Refract Surg* 2007; 33: 1303–1314
- 6 Oezertuerk Y, Sari ES, Kubaloglu A *et al.* Comparison of deep anterior lamellar keratoplasty and intrastromal corneal ring segment implantation in advanced keratoconus. *J Cataract Refract Surg* 2012; 38: 324–332
- 7 Tunc Z, Helvacioğlu F, Sencan S. Evaluation of intrastromal corneal ring segments for treatment of post-LASIK ectasia patients with a mechanical implantation technique. *Indian J Ophthalmol* 2011; 59: 437–443
- 8 Alió JL, Artola A, Ruiz-Moreno JM *et al.* Changes in keratoconic corneas after intracorneal ring segment explantation and reimplantation. *Ophthalmology* 2004; 111: 747–751
- 9 Miranda D, Sartori M, Francesconi C *et al.* Intrastromal corneal ring segments for severe keratoconus. *J Refract Surg* 2003; 19: 645–653
- 10 Grabner G, Ruckhofer J, Tratter C *et al.* Der Intrastromale Corneale Ring (KeraVision® Ring, ICR®, ICRS®). Eine moderne Methode zur Korrektur der geringen Myopie. *Wien Med Wochenschr* 1997; 147: 309–321
- 11 Ruckhofer J, Stoiber J, Alzner E *et al.* One year results of European Multi-center Study of intrastromal corneal ring segments. Part 2: complications, visual symptoms, and patient satisfaction. *J Cataract Refract Surg* 2001; 27: 287–296
- 12 Daxer A. CISIS: Reversible chirurgische Behandlung hoher Kurzsichtigkeiten und des Keratokonus. *Spektrum Augenheilkd* 2009; 23: 39–41
- 13 Chhadva P, Yesilirmak N, Cabot F *et al.* Intrastromal corneal ring segment explantation in patients with keratoconus: causes, technique, and outcomes. *J Refract Surg* 2015; 31: 392–397
- 14 Alió JL, Vega-Estrada A, Esperanza S *et al.* Intrastromal corneal ring segments: how successful is the surgical treatment of keratoconus? *Middle East Afr J Ophthalmol* 2014; 21: 3–9
- 15 Fernández-Velázquez FJ, Fernández-Fidalgo MJ. Feasibility of custom-made hydrogel contact lenses in keratoconus with previous implantation of intracorneal ring segments. *Cont Lens Anterior Eye* 2015; 38: 351–356