

Ophthalmologie 2025 · 122:819–825
<https://doi.org/10.1007/s00347-025-02309-4>

Eingegangen: 23. April 2025
Überarbeitet: 30. Juni 2025
Angenommen: 24. Juli 2025
Online publiziert: 27. August 2025
© The Author(s) 2025



Die Excimerlaser-assistierte Keratoplastik ist erfolgreich im Management komplizierter Fälle von intrakornealen Ringsegmenten beim Keratokonus

P. Teping · L. Hamon · B. Seitz · L. Daas

Klinik für Augenheilkunde, Universitätsklinikum des Saarlandes (UKS) Homburg/Saar, Homburg, Deutschland

Zusammenfassung

Ziel: Analyse des Visus, der Keratometrie und der Aberrometrie (Koma) nach ICRS-Implantation bei Keratokonus (KK) bzw. der Visusentwicklung nach sequenziell notwendiger Excimerlaser-assistierter perforierender Keratoplastik (PKP).

Patienten und Methoden: Retrospektive Analyse einer Fallserie von 7 Patienten aus dem Homburger Keratokonus Center (HKC), die $3,2 \pm 3,0$ Jahre nach ICRS-Implantation bei nicht zufriedenstellendem Visus eine Excimerlaser-PKP erhielten. Neben dem unkorrigierten (UCVA) und bestkorrigierten (BCVA) Fernvisus in logMAR wurden die flache (K1), steile (K2), mittlere Keratometrie (Kmean), die Higher Order Aberrations (HOA, Koma) sowie die Regularität des Astigmatismus mittels Tomographie analysiert. Die Daten der PKP-Gruppe (PG) wurden mit einer Kontrollgruppe (KG) von 7 altersadaptierten, zufriedenen ICRS-Patienten ohne PKP-Notwendigkeit verglichen. Die Datenerhebung erfolgte vor und $7,4 \pm 4,5$ Monate nach PKP.

Ergebnisse: Vor PKP zeigte sich eine signifikant schlechtere UCVA von $0,94 \pm 0,54$ und BCVA von $0,49 \pm 0,07$ in der PG im Vergleich zur KG (UCVA $0,40 \pm 0,35$; BCVA $0,06 \pm 0,05$, $p < 0,01$). K1 war in der PG vor PKP signifikant höher ($47,1 \pm 3,1$ vs. $43,0 \pm 2,7$ D) als in der KG ($p = 0,02$), K2 ($p = 0,86$) und Kmean ($p = 0,12$) nicht. Die Regularität des peripheren ($p = 0,54$) und zentralen Astigmatismus ($p = 0,69$) sowie die Koma ($p = 0,39$) unterschieden sich präoperativ zwischen den Gruppen nicht. Die Excimerlaser-PKP war bei allen 7 Augen wie gewohnt möglich. Sieben Monate nach komplikationsloser PKP trotz liegender ICRS zeigte sich schon bei liegenden Fäden ein signifikanter Visusanstieg (BCVA) von $0,49 \pm 0,07$ auf $0,33 \pm 0,1$ ($p < 0,001$). Auch K1 verringerte sich nach PKP signifikant ($p = 0,002$).

Schlussfolgerungen: Patienten nach erfolgloser ICRS-Implantation zeigten neben schlechtem Visus eine höhere K1 bei ähnlichen Werten für K2, Kmean und Koma. Diese Patienten profitieren von einer Excimerlaser-PKP, die trotz liegender ICRS problemlos möglich ist.

Schlüsselwörter

Intrakorneale Ringsegmente · Perforierende Keratoplastik · PKP · Excimerlaser-assistierte PKP · Keratokonus



QR-Code scannen & Beitrag online lesen

Historische Indikation der intrastromalen kornealen Ringsegmente (ICRS) war die Behandlung der milden Myopie [13]. Heutzutage sind die Hauptindikationen der Keratokonus (KK), die pelluzide marginale Degeneration und die Post-LASIK-Keratek-

tasie [6, 8]. Wichtige Voraussetzungen für eine ICRS-Implantation sind eine zentral narbenfreie Hornhaut, eine ausreichende periphere Hornhautdicke von $> 400 \mu\text{m}$ an der Implantationsstelle sowie eine Kontaktlinsenunverträglichkeit [7]. Kontraindi-

Tab. 1 Übersicht über Visus, Keratometrie, zentrale Pachymetrie, Aberrometrie und Endothelzell-dichte von 7 Augen vor Excimerlaser-assistierter perforierender Keratoplastik bei unzureichender Visusbesserung nach Implantation intrastromaler kornealer Ringsegmente (ICRS) und einer Kontrollgruppe von 7 zufriedenen Patienten nach ICRS-Implantation mit bestkorrigiertem Fernvisus $\leq 0,1$

	Patienten der PG präoperativ						
	Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 4	Nr. 5	Nr. 6	Nr. 7
UCVA [logMAR]	0,8	1,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,8
BCVA [logMAR]	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4
K1 [D]	50,2	44,4	46,1	43,6	50,5	43,5	41,9
K2 [D]	56,7	50	48,9	50,8	49,6	44,5	45,6
Kmean [D]	53,3	47	47,5	46,9	50	44	43,7
ACA [D]	6,5	5,7	2,8	7,2	0,9	1	3,6
ZHD [μ m]	401	520	472	449	361	491	507
Koma	-0,442	0,291	-1,518	-0,947	-5,493	-1,711	-1,417
RZA	0,37	0,47	0,25	0,56	0,11	0,08	0,36
RPA	0,1	0,17	0,31	0,19	1,22	0,11	0,26
ECD [c/mm^2]	2446	2566	2460	2833	1527	2545	2798
<i>Patienten der KG</i>							
UCVA [logMAR]	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	1	0,4
BCVA [logMAR]	0,1	0,1	0	0,1	0,1	0	0
K1 [D]	44,6	44,3	41,2	48,2	41,7	40,2	40,4
K2 [D]	51,6	48,2	43	49,3	45,6	46,7	45,2
Kmean [D]	47,8	46,2	42,1	48,7	43,5	43,2	42,7
ACA [D]	7	3,9	1,8	1,1	3,9	6,5	4,7
ZHD [μ m]	437	401	447	484	486	489	492
Koma	0,278	-1,081	-0,433	1,789	-0,275	-0,377	0,249
RZA	0,48	0,38	0,16	0,17	0,35	0,69	0,38
RPA	0,13	0,27	0,19	0,21	0,05	0,05	0,26
EZD [c/mm^2]	3251	2551	2449	2367	2635	2396	2443

ACA anteriorer kornealer Astigmatismus, BCVA bestkorrigierter Fernvisus, EZD Endothelzell-dichte, K1 flache Kurvatur der Hornhautvorderfläche, K2 steile Kurvatur der Hornhautvorderfläche, Kmean mittlere Kurvatur der Hornhautvorderfläche, KG Kontrollgruppe, PG Excimerlaser-PKP-Gruppe, RZA Regularität des zentralen Astigmatismus (Fourier-Analyse), RPA Regularität des peripheren Astigmatismus (Fourier-Analyse), UCVA unkorrigierter Fernvisus, ZHD zentrale Hornhautdicke

kationen bestehen bei zentraler Hornhautnarbe, fortgeschrittenem Keratektasiestadium mit einer maximalen Brechkraft von > 62 D oder Begleiterkrankungen wie dermalen Atopie, herpetischer Keratitis oder Autoimmunerkrankungen [28].

Die Ringsegmente werden nach mechanischer oder Femtosekundenlaser-assistierter Präparation eines kornealen Tunnels in 80% Stomatiefe mittels Pinzette implantiert [27]. Die ICRS können sowohl die unkorrigierte als auch die bestkorrigierte Sehschärfe verbessern. Weiterhin können sie eine mechanische Stabilisation der Hornhaut bewirken und so die Progression der Erkrankung zumindest beim Erwachsenen eindämmen. Sie sind in unterschiedlicher Segmentlänge, -form, -dicke und -durchmesser verfügbar. In fortge-

schrittenem Stadium mit starker stromaler Verdünnung und/oder zentraler kornealer Narbe ist die tiefe anteriore oder perforierende Keratoplastik die Therapie der ersten Wahl.

Typische Komplikationen nach ICRS-Implantation umfassen die Keratitis, Segmentextrusion, asymmetrische Tunneltiefe (v. a. nach mechanischer Dissektion [27]), stromale Ablagerungen um das Ringsegment herum sowie die perisegmentale Fibrose [12, 19]. Bei fokaler kornealer Extrusion mit Einschmelzung ist eine notfallmäßige Explantation der ICRS erforderlich. Eine weitere mögliche „Komplikation“ nach ICRS-Implantation ist der sog. „refractive failure“ oder „non responder“ [9]. Dieser bezeichnet eine unzureichende Verbesserung der Sehschärfe

trotz komplikationsloser Implantation und reizfreien postoperativen Befundes [9, 19]. Bisweilen wird er in der Literatur als zweithäufigster Grund für eine Explantation der ICRS angegeben [9]. Die Explantationsrate von ICRS nach Femtosekundenlaser-gestützter Tunnelkreation liegt zwischen 6 und 13% [3, 19, 20].

Wir berichten über 7 Patienten mit KK und unzureichender Visusbesserung nach ICRS-Implantation, die im Verlauf komplikationslos einer Excimerlaser-assistierten PKP bei noch liegenden ICRS unterzogen wurden.

Patienten und Methoden

Es wurden 7 Augen von 7 Patienten (4 männlich, 3 weiblich), die bei unzureichender Visusbesserung nach ICRS-Implantation bei KK in der Universitäts-Augenklinik des Saarlandes eine Excimerlaser-assistierte PKP erhielten, eingeschlossen. Bei den ICRS handelte es sich um INTACS ($n=4$, Addition Technology Inc, Lombard, Illinois, Vereinigte Staaten), Ferrara-Ringe ($n=2$, AJL Ophthalmics, Minano, Spanien) oder MyoRing ($n=1$, Mediphacos, Belo Horizonte, Brasilien). Die INTACS-Implantationen hatten in unserer Klinik, die Ferrara- bzw. MyoRing-Implantationen extern stattgefunden. Alle Patienten berichteten über eine ausbleibende Visusverbesserung nach erfolgter ICRS-Implantation am betroffenen Auge. Die präoperative und postoperative Diagnostik umfasste Spaltlampenbiomikroskopie, Bestimmung des unkorrigierten (UCVA) und bestkorrigierten Fernvisus (BCVA) in logMAR, Keratometrie (in Dioptrien [D]) des flachen (K1) und steilen (K2) Meridians sowie der mittleren Keratometrie (Kmean), des kornealen Zylinders, der Regularität des peripheren und zentralen Astigmatismus (mittels Fourier-Analyse), der zentralen Hornhautdicke (CCT), der Endothelzell-dichte (ECD) und der Aberrometrie (Koma). Die Fernvisusbestimmung erfolgte dezimal nach Snellen und wurde äquivalent in logMAR („logarithm of the minimal angle of resolution“) umgerechnet. Die Messung der kornealen Tomographie, der Aberrometrie, der Pachymetrie sowie die Fourier-Analyse erfolgte mittels Scheimpflug-Kamera (Pentacam HR, Oculus Optikgeräte GmbH,

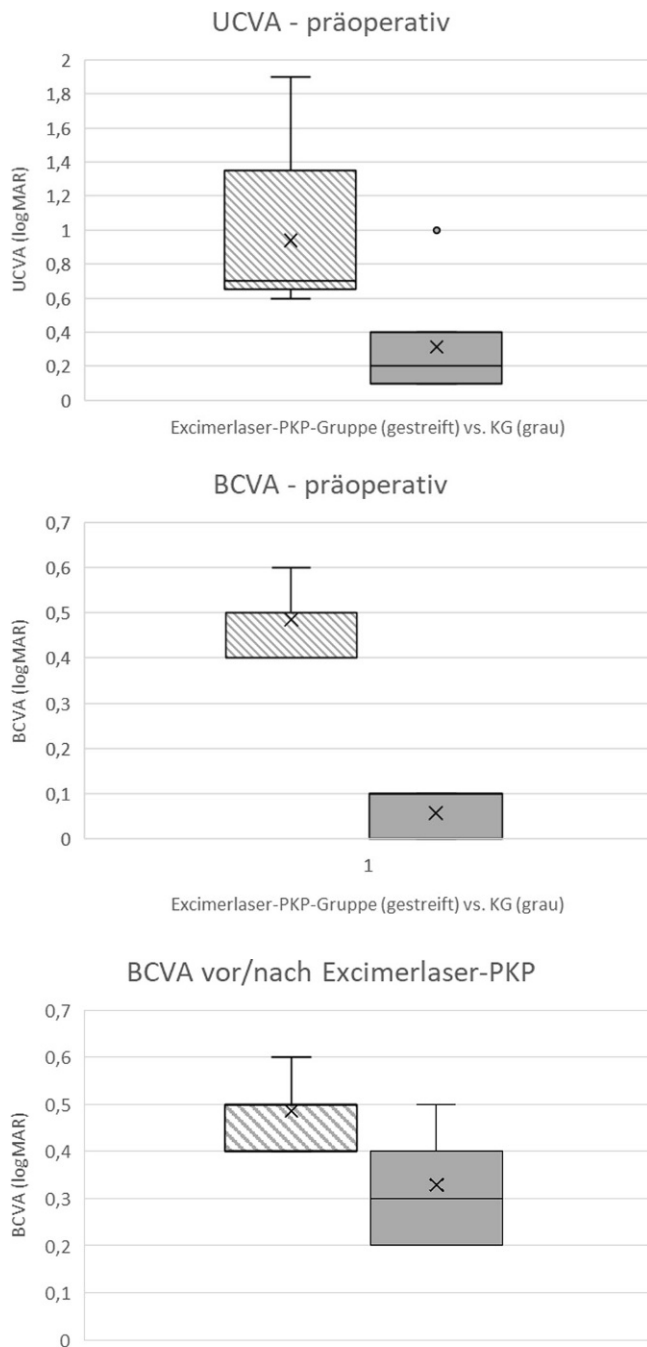


Abb. 1 ◀ Präoperativer Visusvergleich von 7 Augen, die bei unzureichender Visusbesserung nach Implantation intrakornealer Ringsegmente (ICRS) im Verlauf eine Excimerlaser-assistierte perforierende Keratoplastik erhielten (gestreift) und einer Kontrollgruppe (KG) von 7 zufriedenen Patienten nach ICRS-Implantation mit bestkorrigiertem Fernvisus $\leq 0,1$ (grau). UCVA unkorrigierter Fernvisus, BCVA bestkorrigierter Fernvisus, PKP perforierende Keratoplastik, KG Kontrollgruppe, logMAR „logarithm of minimum angle of resolution“

Abb. 2 ▲ Entwicklung des bestkorrigierten Fernvisus (BCVA) von 7 Augen vor (gestreift) und durchschnittlich 7 Monate nach Excimerlaser-assistierter perforierender Keratoplastik (grau) bei liegenden intrakornealen Ringsegmenten bei Keratokonus. BCVA bestkorrigierter Fernvisus, PKP perforierende Keratoplastik, logMAR „logarithm of minimum angle of resolution“

Wetzlar, Deutschland), die Messung der Endothelzelldicke (in Zellen/mm²) mittels Spektralmikroskopie (EM-4000, Tomey Corp, Nagoya, Japan). Präoperativ wurden die Daten der PKP-Gruppe (PG) mit einer altersadaptierten Kontrollgruppe (KG) von 7 zufriedenen Patienten nach

ICRS-Implantation mit bestkorrigiertem Fernvisus $\leq 0,1$ logMAR verglichen.

Ergebnisse

Die Excimerlaser-PKP wurde im Durchschnitt $3,2 \pm 3,0$ Jahre nach ICRS-Implantation durchgeführt. Das mittlere Alter der

Patienten lag zum Zeitpunkt der Operation bei $40,1 \pm 11,2$ Jahren. Der durchschnittliche Follow-up-Zeitraum nach PKP betrug $7,4 \pm 4,5$ Monate. Die mittlere UCVA in der PG lag präoperativ bei $0,94 \pm 0,54$ und bei $0,40 \pm 0,35$ in der KG ($p < 0,01$, **Tab. 1**, **Abb. 1**). Die mittlere BCVA der PG lag präoperativ bei $0,49 \pm 0,07$ und bei $0,06 \pm 0,05$ in der KG (**Abb. 1**, $p < 0,01$). Keratometrisch war in der PG K1 präoperativ signifikant größer als in der KG ($47,1 \pm 3,1$ vs. $43,0 \pm 2,7$, $p = 0,02$). K2 ($48,1 \pm 5,0$ vs. $47,0 \pm 2,7$, $p = 0,86$) und Kmean ($47,5 \pm 3,3$ vs. $44,9 \pm 2,7$, $p = 0,12$) waren präoperativ vergleichbar zwischen beiden Gruppen. Der mittlere anteriore korneale Zylinder ($3,96 \pm 2,57$ vs. $4,13 \pm 2,19$, $p = 0,67$), die mittlere CCT ($457,3 \pm 58,1$ vs. $462,3 \pm 34,8$, $p = 0,62$) sowie die mittlere Koma ($-0,3 \pm 1,05$ vs. $0,02 \pm 0,90$, $p = 0,08$) zeigten präoperativ keine signifikanten Unterschiede zwischen PG und KG. Die Regularität des peripheren ($0,34 \pm 0,37$ vs. $0,17 \pm 0,01$, $p = 0,30$) und zentralen ($0,31 \pm 0,16$ vs. $0,37 \pm 0,18$, $p = 0,23$) Astigmatismus waren präoperativ zwischen beiden Gruppen vergleichbar. Die mittlere Endothelzelldicke war in der PG präoperativ nicht signifikant niedriger als in der KG (2453 ± 534 vs. 2584 ± 308 , $p = 0,58$).

Sechs Monate nach PKP zeigte sich ein signifikanter Visusanstieg (BCVA) auf $0,33 \pm 0,1$ (**Abb. 2**, $p < 0,01$) bereits vor der ersten Hornhautfadenentfernung (**Tab. 2**). K1 verringerte sich postoperativ in der PG signifikant auf $39,9 \pm 5,5$ D ($p = 0,002$). Nicht signifikant veränderten sich 7 Monate nach PKP K2 ($44,5 \pm 4,5$ D, $p = 0,76$), Kmean ($42,0 \pm 5,0$, $p = 0,08$), der anteriore korneale Zylinder ($4,66 \pm 2,3$ D, $p = 0,31$), die CCT (490 ± 41 , $p = 0,94$) sowie die Koma ($-0,8 \pm 2,49$, $p = 0,59$). Die Regularität des zentralen und peripheren Astigmatismus in der Fourier-Analyse war nach PKP nicht signifikant kleiner als präoperativ ($0,26 \pm 0,17$ mm, $p = 0,53$ bzw. $0,22 \pm 0,11$ mm, $p = 0,41$).

Die intraoperative Zentrierung des Excimerlasers mittels Trepanationsmaske war in allen Fällen mit einem Transplantatdurchmesser von $8,0/8,1$ mm bzw. $8,5/8,6$ mm (Empfänger/Spender) auch bei liegenden ICRS problemlos möglich (**Abb. 3**). Ein passgenaues Einfügen des Transplantats in das Wirtsgewebe war

Tab. 2 Übersicht über Visus, Keratometrie, zentrale Pachymetrie, Aberrometrie und Endothelzelldichte von 7 Augen im Mittel 7,4 Monate nach Excimerlaser-assistierter perforierender Keratoplastik bei unzureichender Visusbesserung nach Implantation intrastromaler kornealer Ringsegmente

	Patienten der PG postoperativ						
	Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 4	Nr. 5	Nr. 6	Nr. 7
UCVA [logMAR]	1	1,3	0,5	0,6	1,3	1	0,8
BCVA [logMAR]	0,4	0,5	0,2	0,4	0,3	0,3	0,2
K1 [D]	34,8	37,5	40,8	43,6	32,4	48,9	41
K2 [D]	43,8	40,4	45,7	48,2	37,3	50,5	45,6
Kmean [D]	38,8	38,9	43,1	45,8	34,6	49,7	43,2
ACA [D]	9	2,9	5	4,6	4,9	1,6	4,6
ZHD [µm]	529	440	465	525	447	542	482
Koma	-5,082	3,069	-2,159	0,652	-0,952	-0,505	-0,782
RZA	0,2	0,2	0,15	0,54	0,09	0,45	0,22
RPA	0,27	0,36	0,35	0,15	0,13	0,24	0,06
ECD [c/mm ²]	1449	625	1435	1341	1619	2139	1520

ACA anteriorer kornealer Astigmatismus, BCVA bestkorrigierter Fernvisus, EZD Endothelzelldichte, K1 flache Krümmung der Hornhautvorderfläche, K2 steile Krümmung der Hornhautvorderfläche, Kmean mittlere Krümmung der Hornhautvorderfläche, KG Kontrollgruppe, PG Excimerlaser-PKP-Gruppe, RZA Regularität des zentralen Astigmatismus (Fourier-Analyse), RPA Regularität des peripheren Astigmatismus (Fourier-Analyse), UCVA unkorrigierter Fernvisus, ZHD zentrale Hornhautdicke

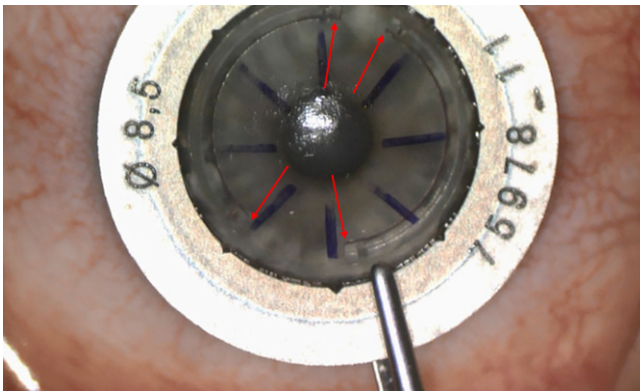


Abb. 3 ◀ Intraoperative Positionierung der Trepanationsmaske (8,5 mm Durchmesser). Die Enden der intrastromalen kornealen Ringsegmente sind markiert (rote Pfeile)

in allen 7 Fällen erfolgreich (▣ Abb. 4). Postoperative Komplikationen wie Abstoßungsreaktion, Fadenlockerung oder Wundheilungsstörung zeigten sich bei keinem Patienten im untersuchten Follow-up-Zeitraum.

Exemplarischer Fallbericht

Ein 29-jähriger Ingenieur mit Keratokonusdiagnose im Jahr 2010 stellte sich im Jahr 2022 in unserer Hornhautsprechstunde vor. Er hatte im Jahr 2020 in Brasilien am rechten Auge eine ICRS-Implantation (Ferrara-Ring als Monosegment über 320°) erhalten. Subjektiv berichtete der Patient über keinerlei Visusverbesserung sowie stark gesteigerte Photophobie nach dem Eingriff. Die UCVA lag bei logMAR 1,0,

die BCVA bei 0,6. Spaltlampenbiomikroskopisch und in der optischen Kohärenztomographie des vorderen Augenabschnittes (VAA-OCT) zeigte sich die Hornhaut ohne perisegmentale Fibrose und mit ausreichender stromaler Tunneltiefe des ICRS (▣ Abb. 5). Es wurde in unserer Klinik 2 Jahre nach ICRS-Implantation eine Excimerlaser-assistierte PKP mit Transplantatdurchmesser 8,5/8,6 mm bei liegendem ICRS durchgeführt. Sechs Monate postoperativ zeigten sich ein reizfreier Befund mit klarem Transplantat (▣ Abb. 5) und eine Visusverbesserung auf 0,5 (UCVA) bzw. 0,3 (BCVA).

Diskussion

Die ICRS-Implantation ist im Gegensatz zur klassischen refraktiven Chirurgie ein Verfahren mit schwer vorhersagbarem refraktivem Ergebnis. Dabei werden bei kornealer Ektasie 1 oder 2 semizirkuläre Ringsegmente stromal implantiert, um eine zentrale Abflachung der kornealen Krümmung und eine Regularisierung der Krümmung zu bewirken [7, 8, 28]. Neben typischen Komplikationen wie der Ringsegmentextrusion, Neovaskularisation oder asymmetrischer Tunneltiefe nach mechanischer Tunnelkreation kann eine Verbesserung der Sehschärfe auch bei reizfreiem Spaltlampenbefund und korrekter Positionierung der ICRS ausbleiben, es kommt zum „refractive failure“ oder „non responder“ [9, 14, 19]. In diesen Fällen sind oftmals eine Explantation der ICRS und ein zweiter sekundärer chirurgischer Eingriff zur Visusverbesserung notwendig. Die diffuse perisegmentale Fibrose oder lamelläre Tunnelablagerungen nach ICRS-Implantation scheinen demgegenüber keine negativen refraktiven oder topografischen Effekte mit sich zu bringen [12].

Bei mildem bis moderatem KK kann alternativ zur isolierten ICRS-Implantation ein „Crosslinking (CXL) Plus“ zur Stabilisierung der Erkrankungsprogression, Reduktion der kornealen Irregularität und Visusoptimierung erfolgen [15]. Dabei wird in diversen möglichen Varianten das korneale CXL mit einem (simultanen oder sequenziellen) refraktiven Eingriff wie der photorefraktiven Keratektomie (PRK), der Laser-in-situ-Keratomileusis (LASIK), oder der „small incision lenticule extraction“ (SMILE) kombiniert [11, 14, 15, 17, 18, 22]. Die Kombination des CXL mit einer ICRS-Implantation ist ebenfalls möglich und scheint mit gleichwertigen oder gar besseren Ergebnissen (vgl. größere BCVA, kleineres sphärisches Äquivalent, kleinere mittlere Keratometrie) vergesellschaftet zu sein [2, 26]. Auch ein isoliertes CXL scheint beim KK eine langfristige korneale Abflachung bzw. Reduktion der Aberrometrie bewirken zu können [16, 29].

Im Falle einer „non response“ nach ICRS-Implantation ohne eintretende Visusverbesserung ist die PKP eine effektive einzeitige Therapieoption. Die Excimerlaser-gestützte Trepanation ermöglicht

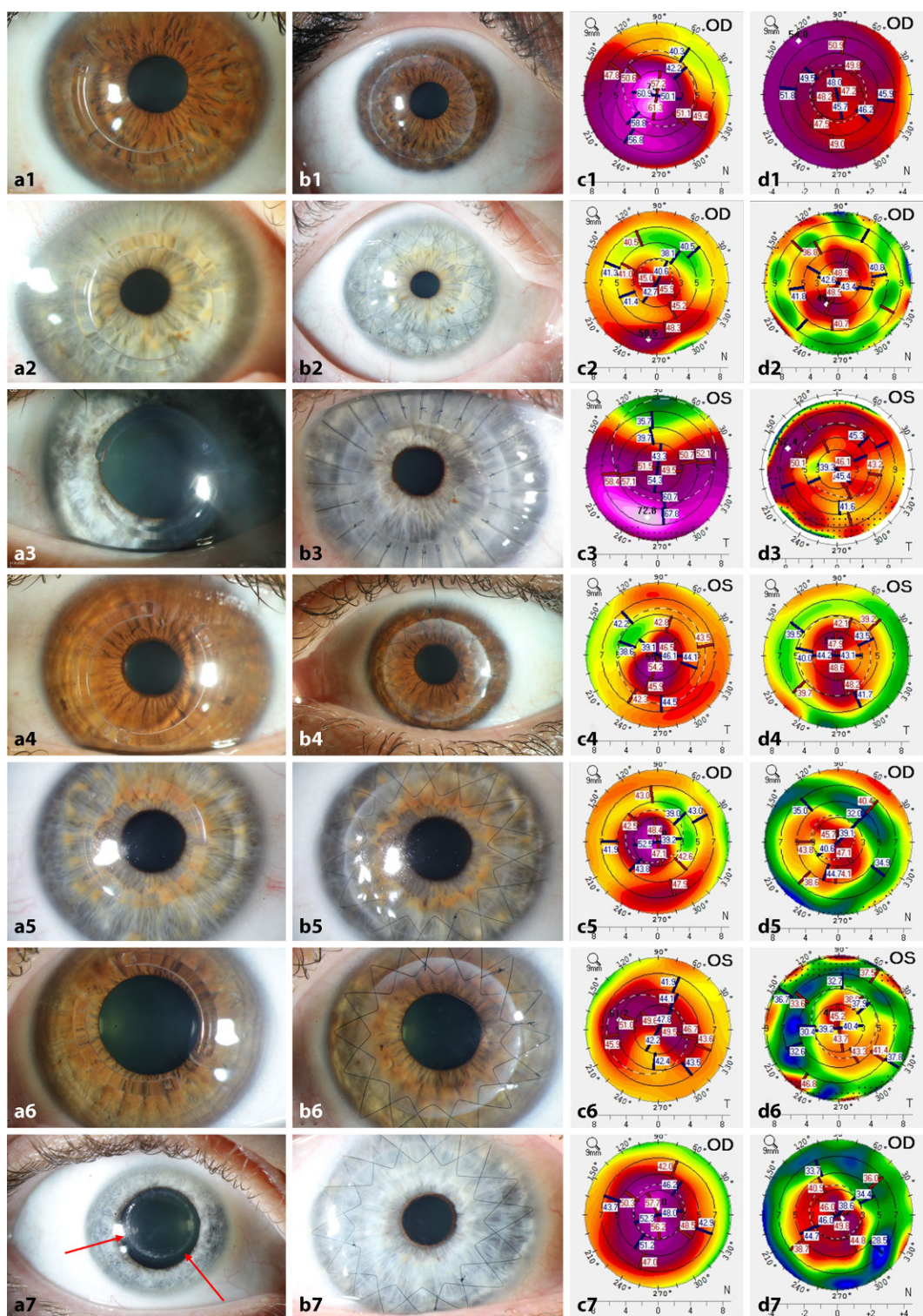


Abb. 4 ◀ Spaltlampen-fotografie (a1–a7) und axiale/sagittale Krümmung der Vorderfläche (Scheimpflug-Tomographie; c1–c7) aller Patienten der Excimer-PKP-Gruppe präoperativ sowie zum letzten Follow-up-Zeitpunkt (b1–b7; d1–d7). In einem Fall hat man sich bei ausgeprägter Verdünnung der peripheren Wirtshornhaut für Einzelknüpfnähte entschieden (s. b3). Bei einem Patienten (a7–d7) wurde der MyoRing (Mediphacos, Belo Horizonte, Brasilien) wenige Wochen vor der Excimerlaser-PKP extern explantiert. Die Ablagerungen im Bereich des Segmenttunnels sind noch deutlich erkennbar (s. a7, rote Pfeile)

dabei im Vergleich zur mechanischen Trepanation eine bessere Spender-Empfänger-Kongruenz des Hornhautgewebes und erleichtert dem Mikrochirurgen die Positionierung des Transplantats durch Orientierungszähnen zur Verringerung der horizontalen Torsion [23, 25]. Auch in

Bezug auf Höhe und Regularität des postoperativen Astigmatismus nach Fadenentfernung zeigte sich die Excimerlaser-gestützte der konventionell mechanischen Trepanation überlegen [24]. Die intraoperative Zentrierung der Trepanation mittels Maske ist dabei mit einem Trans-

plantatdurchmesser von 8,0/8,1 mm bzw. 8,5/8,6 mm auch außerhalb der liegenden ICRS komplikationslos möglich [1]. Ob sich histologische korneale Veränderungen nach ICRS-Implantation auf das Transplantatüberleben und die Komplikationsrate bei anschließender PKP

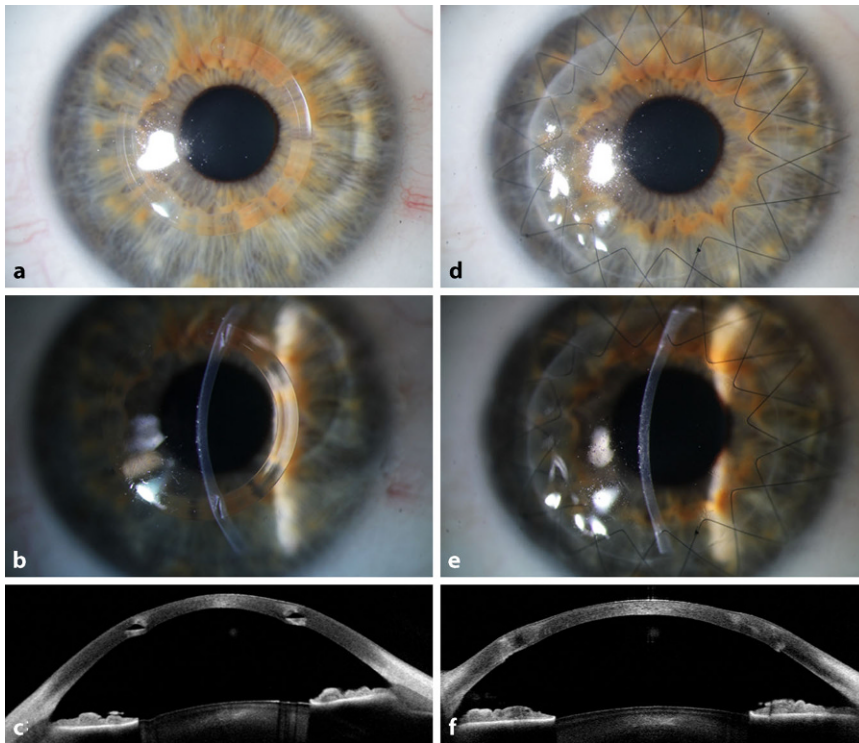


Abb. 5 ▲ Spaltlampenphotografie (a, b) und optische Kohärenztomographie des vorderen Augenabschnittes (VAA-OCT; c) des rechten Auges eines 29-jährigen Ingenieurs aus Brasilien mit liegendem intrakornealem Ringsegment (Ferrara-Ring über 320°). Der Patient zeigte trotz ausreichender stromaler Tunneltiefe in der VAA-OCT keine Visusbesserung und berichtete subjektiv über unerträgliche Photophobie seit der Ringsegmentimplantation. Spaltlampenphotografie (d, e) und VAA-OCT (f) desselben Auges 7 Monate nach Excimerlaser-assistierter perforierender Keratoplastik. Es zeigt sich ein klares, kompensiertes Transplantat (Durchmesser 8,5/8,6 mm) mit 2 festen fortlaufenden Hornhautfäden nach Hoffmann

auswirken, ist unklar [21]. Unsere eigenen mittelfristigen Beobachtungen sprechen derzeit dagegen.

Auch die tiefe anteriore lamelläre Keratoplastik (DALK) ist bei liegenden ICRS bei KK als Alternative zur PKP möglich [4, 5, 10]. Das Risiko einer endothelial getriggerten Abstoßungsreaktion bleibt somit aus. Ob und inwieweit sich das klinische Outcome nach DALK bei liegenden ICRS von dem bei primärer PKP/DALK unterscheidet, ist bei sehr wenigen in der Literatur beschriebenen Fällen noch unklar [10].

Schlussfolgerungen

Unsere Ergebnisse deuten an, dass die ICRS-Implantation bei KK eine sequenzielle, erfolgreiche Excimerlaser-assistierte PKP bei Patienten mit unzureichender Visusbesserung nach ICRS-Implantation nicht erschwert oder gar ausschließt. Eine gesteigerte technische Herausforderung für den Operateur entsteht durch die

liegenden Ringsegmente nicht. Größere Patientenzahlen und ein längerer Nachbeobachtungszeitraum mit funktionellen Ergebnissen nach kompletter Fadenentfernung sind notwendig, um die Ergebnisse dieser kleinen Fallserie zu verifizieren.

Fazit für die Praxis

- Die Implantation intrakornealer Ringsegmente schließt eine erfolgreiche sequenzielle Excimerlaser-assistierte perforierende Keratoplastik beim Keratokonus nicht aus.
- Die Excimerlaser-gestützte Trepanation ist trotz liegender intrakornealer Ringsegmente mit einem Transplantatdurchmesser (Empfänger/Spender) von 8,0/8,1 mm oder 8,5/8,6 mm problemlos möglich.

Korrespondenzadresse



P. Teping

Klinik für Augenheilkunde, Universitätsklinikum des Saarlandes (UKS) Homburg/Saar
Kirrberger Str. 100, Gebäude 22, 66424 Homburg, Deutschland
paul.teping@uks.eu

Funding. Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

Datenverfügbarkeit. Die erhobenen Datensätze können auf begründete Anfrage in anonymisierter Form beim korrespondierenden Autor angefordert werden. Die Daten befinden sich auf einem Datenspeicher an der Klinik für Augenheilkunde, Universitätsklinikum des Saarlandes (UKS).

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. P. Teping, L. Hamon, B. Seitz und L. Daas geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Für diesen Beitrag wurden von den Autor/-innen keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

Open Access. Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden. Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen. Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

Literatur

1. Alfaro Rangel R, Szentmary N, Lepper S et al (2020) 8.5/8.6-mm Excimer Laser-Assisted Penetrating

Keratoplasties in a Tertiary Corneal Subspecialty Referral Center: Indications and Outcomes in 107 Eyes. *Cornea* 39:806–811

2. Coskunseven E, Jankov MR 2nd, Hafezi F et al (2009) Effect of treatment sequence in combined intrastromal corneal rings and corneal collagen crosslinking for keratoconus. *J Cataract Refract Surg* 35:2084–2091
3. Coskunseven E, Kymionis GD, Tsiklis NS et al (2011) Complications of intrastromal corneal ring segment implantation using a femtosecond laser for channel creation: a survey of 850 eyes with keratoconus. *Acta Ophthalmol* 89:54–57
4. Daas L, Aljundi W, Abidin AD et al (2025) Excimer Laser-Assisted Deep Anterior Lamellar Keratoplasty Versus Penetrating Keratoplasty for Patients With Keratoconus: A Retrospective Analysis From the Homburg Keratoconus Center. *Cornea* 44:291–299
5. Daas L, Hamon L, Ardjomand N et al (2021) Excimerlaser-gestützte DALK: Ein Fallbericht aus dem Homburger Keratokonus Center (HKC). *Ophthalmologie* 118:1245–1248
6. El-Husseiny M, Daas L, Langenbucher A et al (2016) Intrakorneale Ringsegmente bei Keratektasien – Zwischenergebnisse und potenzielle Komplikationen. *Klin Monbl Augenheilkd* 233:722–726
7. El-Husseiny M, Tsintarakis T, Eppig T et al (2013) Intrakorneale Ringsegmente beim Keratokonus. *Ophthalmologie* 110:823–826 (828–829)
8. Ertan A, Colin J (2007) Intracorneal rings for keratoconus and keratectasia. *J Cataract Refract Surg* 33:1303–1314
9. Ferrer C, Alio JL, Montanes AU et al (2010) Causes of intrastromal corneal ring segment explantation: clinicopathologic correlation analysis. *J Cataract Refract Surg* 36:970–977
10. Fontana L, Parente G, Sincich A et al (2009) Deep anterior lamellar keratoplasty after Intacs implantation in patients with keratoconus. *Cornea* 28:32–35
11. Graue-Hernandez EO, Pagano GL, Garcia-De La Rosa G et al (2015) Combined small-incision lenticule extraction and intrastromal corneal collagen crosslinking to treat mild keratoconus: Long-term follow-up. *J Cataract Refract Surg* 41:2524–2532
12. Hamon L, Schlötzer-Schrehardt U, Flockerzi FA et al (2022) Morphological characterization and clinical effects of stromal alterations after intracorneal ring segment implantation in keratoconus. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 260:2299–2308
13. Hamon L, Seitz B, Daas L (2022) Intrastromal fibrosis and lipid deposits twenty years after intracorneal ring segments implantation for treatment of mild myopia. *J Fr Ophtalmol* 45:147–150
14. Kanellopoulos AJ, Pe LH, Perry HD et al (2006) Modified intracorneal ring segment implantations (INTACS) for the management of moderate to advanced keratoconus: efficacy and complications. *Cornea* 25:29–33
15. Kankariya VP, Dube AB, Grentzelos MA et al (2020) Corneal cross-linking (CXL) combined with refractive surgery for the comprehensive management of keratoconus: CXL plus. *Indian J Ophthalmol* 68:2757–2772
16. Koller T, Pajic B, Vinciguerra P et al (2011) Flattening of the cornea after collagen crosslinking for keratoconus. *J Cataract Refract Surg* 37:1488–1492
17. Kontadakis GA, Kankariya VP, Tsoularas K et al (2016) Long-Term Comparison of Simultaneous Topography-Guided Photorefractive Keratectomy Followed by Corneal Cross-linking versus Corneal Cross-linking Alone. *Ophthalmology* 123:974–983

Excimer laser-assisted keratoplasty is successful in the management of complex cases of intracorneal ring segments in keratoconus

Introduction: Analysis of visual acuity, keratometry and aberrometry (coma) after intrastromal corneal ring segment (ICRS) implantation in keratoconus (KC) and the evolution of visual acuity after subsequent excimer laser-assisted penetrating keratoplasty (PKP).

Patients and methods: Retrospective analysis of a case series of 7 patients from the Homburg Keratoconus Center (HKC), who received excimer laser PKP for unsatisfactory visual acuity 3.2 ± 3.0 years after ICRS implantation. Uncorrected visual acuity (UCVA), best-corrected visual acuity (BCVA) in logMAR, flat (K1), steep (K2) and mean keratometry, (Kmean), higher order aberrations (HOA, coma) and regularity of astigmatism were analyzed via tomography. Data of the PKP group (PG) were compared to a control group (CG) of 7 age-adapted satisfied patients after ICRS implantation without the need of PKP. Data analysis was performed before and 7.4 ± 4.5 months after PKP.

Results: Prior to PKP, data analysis showed a significantly lower UCVA of 0.94 ± 0.54 and BCVA of 0.49 ± 0.07 in the PG compared to the CG (UCVA 0.40 ± 0.35 ; CDVA 0.06 ± 0.05 , $p < 0.01$). The K1 was significantly higher in the PG prior to PKP compared to the CG (47.1 ± 3.1 vs. 43.0 ± 2.7 D, $p = 0.02$) but K2 ($p = 0.86$) and Kmean ($p = 0.12$) were not. Regularity of peripheral ($p = 0.54$) and central ($p = 0.69$) astigmatism as well as coma ($p = 0.39$) did not show significant differences between the PG and KG prior to PKP. Excimer laser-assisted PKP was possible without any obstacles in all 7 eyes. In addition, BCVA increased significantly from 0.49 ± 0.07 to 0.33 ± 0.1 ($p < 0.001$) 6 months after PKP. The K1 decreased significantly after PKP ($p = 0.002$).

Conclusion: After unsuccessful ICRS implantation, patients seem to present with lower visual acuity and higher K1 despite similar values for K2, Kmean and coma. These patients may profit from an excimer laser assisted PKP, which can be performed without any obstacles despite the ICRS in place.

Keywords

Intracorneal ring segments · Penetrating keratoplasty · PKP · Excimer laser-assisted PKP · Keratoconus

18. Kymionis GD, Kontadakis GA, Kounis GA et al (2009) Simultaneous topography-guided PRK followed by corneal collagen cross-linking for keratoconus. *J Refract Surg* 25:807–811
19. Nguyen N, Gelles JD, Greenstein SA et al (2019) Incidence and associations of intracorneal ring segment explantation. *J Cataract Refract Surg* 45:153–158
20. Pinero DP, Alio JL, El Kady B et al (2009) Refractive and aberrometric outcomes of intracorneal ring segments for keratoconus: mechanical versus femtosecond-assisted procedures. *Ophthalmology* 116:1675–1687
21. Samimi S, Leger F, Touboul D et al (2007) Histopathological findings after intracorneal ring segment implantation in keratoconic human corneas. *J Cataract Refract Surg* 33:247–253
22. Seiler TG, Fischinger I, Koller T et al (2015) Superficial corneal crosslinking during laser in situ keratomileusis. *J Cataract Refract Surg* 41:2165–2170
23. Seitz B, Daas L, Milioti G et al (2019) Excimer-laser-assistierte perforierende Keratoplastik: Am 01.07.2019 feierte die perforierende Excimerlaser-keratoplastik ihren 30. Geburtstag. Videobeitrag. *Ophthalmologie* 116:1221–1230
24. Seitz B, Hager T, Langenbucher A et al (2018) Reconsidering Sequential Double Running Suture Removal After Penetrating Keratoplasty: A Pro-

- spective Randomized Study Comparing Excimer Laser and Motor Trephination. *Cornea* 37:301–306
25. Seitz B, Langenbucher A, Kus MM et al (1999) Nonmechanical corneal trephination with the excimer laser improves outcome after penetrating keratoplasty. *Ophthalmology* 106:1156–1164
26. Sharma LP, Bakshi R, Chaudhry M (2021) Corneal collagen cross-linking with and without simultaneous intrastromal corneal ring segment implantation: One-year pilot study. *Eur J Ophthalmol* 31:61–68
27. Struckmeier AK, Hamon L, Flockerzi E et al (2022) Femtosecond Laser and Mechanical Dissection for ICRS and MyoRing Implantation: A Meta-Analysis. *Cornea* 41:518–537
28. Vega-Estrada A, Alio JL (2016) The use of intracorneal ring segments in keratoconus. *Eye Vis (Lond)* 3:8
29. Vinciguerra P, Albe E, Trazza S et al (2009) Refractive, topographic, tomographic, and aberrometric analysis of keratoconic eyes undergoing corneal cross-linking. *Ophthalmology* 116:369–378

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