

Ophthalmologie 2025 · 122:460–469
<https://doi.org/10.1007/s00347-025-02225-7>

Eingegangen: 16. Oktober 2024

Überarbeitet: 17. Februar 2025

Angenommen: 11. März 2025

Online publiziert: 9. April 2025

© The Author(s) 2025



Einfluss der Vorderkammergeometrie auf den intraokularen Druckanstieg nach perforierender Keratoplastik – Vergleich zwischen elektiven und Eingriffen à chaud

Roberta Schirò · Tim Berger · Cristian Munteanu · Loay Daas · Ursula Löw · Berthold Seitz

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

Zusammenfassung

Hintergrund: Schwerwiegende Komplikationen nach perforierender Keratoplastik (PKP) sind sekundäre okuläre Hypertension und Glaukom, die das Risiko für Transplantatversagen und irreversiblen Visusverlust erhöhen.

Studienziel: Analyse von intraokularen Druck(IOD)-Erhöhungen in Bezug auf Veränderungen der Vorderkammergeometrie im Vergleich von elektiven PKPs mit PKPs à chaud.

Methodik: Diese retrospektive Studie an der Klinik für Augenheilkunde am Universitätsklinikum des Saarlandes UKS in Homburg/Saar umfasst 148 Augen nach PKP (123 elektiv und 25 PKPs à chaud). Von 2014 bis 2021 wurden Behandlungsdaten präoperativ sowie postoperativ nach 6 bis 8 Wochen, nach erster (18 ± 3 Monate) und vollständiger Fadenentfernung (31 ± 6 Monate) erhoben. Analysiert wurden Visus, IOD und Pentacam® HR-Messungen (OCULUS GmbH, Wetzlar, Deutschland) mit zentraler und peripherer Pachymetrie (CCT, PCT), Kammerwinkel (KW), Vorderkammertiefe (VKT) und -volumen (VKV).

Ergebnisse: Die Vorderkammergeometrie aller Augen änderte sich nach PKP signifikant: frühpostoperativ (6 bis 8 Wochen) stieg die Pachymetrie an ($p < 0,001$), KW, VKT und VKV ($p < 0,001$) verringerten sich. Mit steigendem IOD ($p < 0,001$) korrelierten CCT positiv und VKT negativ. In PKPs à chaud waren im Gegensatz zu elektiven PKPs eine Verringerung der VKT und VKV ($p < 0,001$) mit Zunahme der PCT (nasal $p < 0,033$, temporal $p = 0,042$) signifikant. Bezüglich IOD, CCT und KW ergab sich dagegen kein signifikanter Unterschied. IOD-Erhöhungen ≥ 25 mm Hg ($n = 21$) traten hauptsächlich in Keratokonusaugen ($n = 14$) auf, wobei ein hoher Anteil dieser Fälle eine Steroidresponse zeigte ($n = 10$).

Schlussfolgerung: Nach PKP verändert sich postoperativ die Vorderkammergeometrie. Vorderkammerveränderungen korrelieren aber nicht unbedingt mit einem IOD-Anstieg. Möglicherweise hat eine Steroidresponse einen größeren Einfluss auf postoperative Augeninnendruckanstiege, weil bei Keratokonusaugen postoperativ keine signifikante Vorderkammerabflachung auftrat. In zukünftigen prospektiven Studien ist zu erwarten, dass im komplexen System der Regulation des postoperativen IOD weitere Faktoren mit potenziellem Einfluss identifiziert werden.

Schlüsselwörter

Hornhauttransplantation · Intraokularer Druck · Pentacam · Steroidresponse · Kammerwinkel

Zusatzmaterial online

Zusätzliche Informationen sind in der Online-Version dieses Artikels (<https://doi.org/10.1007/s00347-025-02225-7>) enthalten.



QR-Code scannen & Beitrag online lesen

Hier steht eine Anzeige.



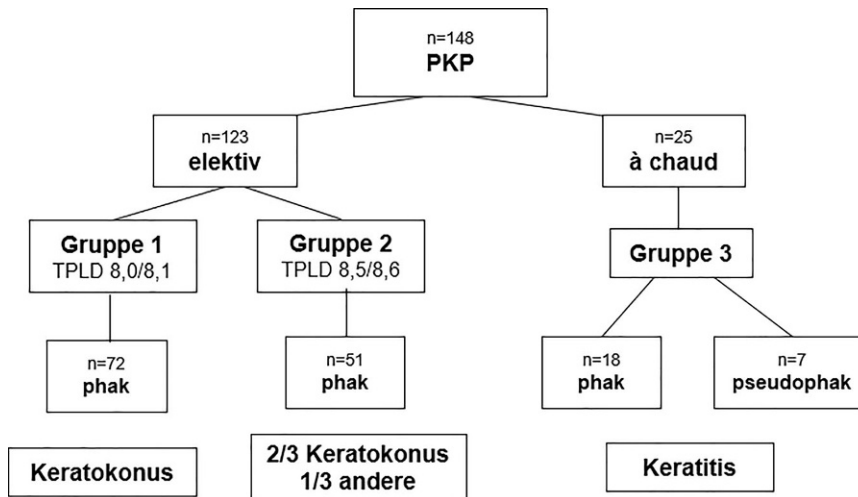


Abb. 1 ▲ Patientenkollektiv mit elektiven perforierenden Keratoplastiken (PKPs) und PKPs à chaud, Gruppen, Transplantatdurchmesser (TPLD), Linsenstatus, Diagnosen

Sekundäre okuläre Hypertension und Glaukom zählen zu den schwerwiegendsten Komplikationen nach perforierender Keratoplastik (PKP), da sie das Risiko für Transplantatversagen und irreversiblen Visusverlust erhöhen. Potenzielle Pathomechanismen sind multifaktoriell, mit anatomischer, struktureller, entzündlicher oder medikamentöser Kausalität, im Einzelfall jedoch oft ungeklärt. In dieser Gegenüberstellung von PKPs à chaud mit elektiven PKPs wurden Risikofaktoren für einen Augeninnendruckanstieg unter Einbeziehung moderner ophthalmologischer Bildgebung untersucht.

Die perforierende Keratoplastik (PKP) ist ein etabliertes Verfahren, das bei verschiedenen kornealen Erkrankungen angewendet wird. Die erste erfolgreiche PKP führte Eduard Zirm 1905 durch. Seitdem wurde die Operationstechnik mit präziser Transplantatfixierung weiterentwickelt und durch eine gerätegestützte Nachsorge ergänzt [15]. Diese Fortschritte führten zu einer signifikanten Verbesserung des postoperativen Outcomes. Dies betrifft auch komplexe Ausgangssituationen wie bei der PKP à chaud. Hierbei wird notfallmäßig eine Hornhauttransplantation durchgeführt, bei meist entzündlicher und/oder infektiöser Keratitis oder sogar bei perforiertem Auge [1, 13]. Das primäre Ziel der Notfalloperation ist die Wiederherstellung der Bulbusintegrität, während

die visuelle Rehabilitation zunächst eine untergeordnete Rolle spielt [8, 15].

Zu den häufigsten Komplikationen nach PKP zählen Abstoßungsreaktionen und Transplantatversagen. Eine wesentliche Rolle spielt dabei das Risiko einer sekundären okulären Hypertension oder eines Glaukoms, das in 9–31 % der Fälle im frühen postoperativen Verlauf auftritt [5]. Es wird angenommen, dass postoperative Augeninnendruck (IOD)-Anstiege durch ein multifaktorielles Zusammenspiel verschiedener Risikofaktoren bedingt sind. Dazu zählen ein präoperativ erhöhter IOD, aphaker Linsenstatus, Operationsindikation und -technik, Steroidresponse, inflammatorische und immunologische Prozesse sowie Traumata und geometrische Veränderungen der Vorderkammer [5, 9, 10, 14]. Als potenzielle Pathomechanismen werden Störungen der Kammerwasserzirkulation und des Abflusses, mechanische Obstruktion sowie ein Kollaps des Kammerwinkels und des Trabekelmaschenwerks diskutiert, insbesondere bei großen Transplantaten und hoher Fadenspannung durch Einzelknüpfnähte (EKN) [9, 10]. In einer Studie von Gatziofufas et al. korrelierten frühpostoperative Tensionanstiege mit der Abnahme der Vorderkammergröße mittels Scheimpflug-Technologie [5].

Die große Anzahl jährlich durchgeführter PKPs an der Universitäts-Augenklinik des Saarlandes bietet eine gute Grundlage für weiterführende Untersuchungen.

Diese retrospektive Studie vergleicht elektive PKPs und PKPs à chaud hinsichtlich postoperativer IOD-Anstiege und deren Zusammenhang mit Veränderungen der Vorderkammergeometrie (Hornhautdicke, Vorderkammerwinkel, -tiefe und -volumen).

Patienten und Methoden

Studienaufbau

In diese retrospektive, nicht randomisierte Studie wurden 148 Augen (nach Sichtung von 1097 PKPs) inkludiert, die von Januar 2014 bis August 2020 eine PKP an der Klinik für Augenheilkunde am Universitätsklinikum des Saarlandes UKS in Homburg/Saar erhalten haben und einen ausreichenden Nachbeobachtungszeitraum von 18 Monaten aufwiesen (Ethikantrag BU 13/21, Ha 245/20, Ethikkommission der Ärztekammer des Saarlandes).

Die Patienten wurden in 3 Gruppen unterteilt (■ **Abb. 1**):

- Gruppe 1 ($n = 72$): elektive PKPs mit einem Transplantatdurchmesser (TPLD) von 8,0/8,1 mm, ausschließlich bei Keratokonus (KK),
- Gruppe 2 ($n = 51$): elektive PKPs mit einem TPLD von 8,5/8,6 mm,
- Gruppe 3 ($n = 25$): notfallmäßige PKPs à chaud.

Ausgeschlossen wurden Augen mit präoperativem Glaukom und vorangegangenen Operationen wie Crosslinking, Amnionmembrantransplantation sowie PKPs mit simultaner Linsen- und/oder Netzhautchirurgie.

Die Daten wurden bis zu 2,5 Jahre nach PKP aus Patientenakten und Scheimpflugmessungen der Pentacam® HR (OCULUS GmbH, Wetzlar, Deutschland) zu definierten Zeitpunkten erfasst: präoperativ sowie postoperativ nach 6 bis 8 Wochen (50 ± 12 Tage), zwischen erster und zweiter Fadenentfernung (542 ± 100 Tage) und mindestens ein Jahr nach vollständiger Fadenentfernung (952 ± 167 Tage).

Es wurden Korrelationen zwischen IOD-Anstiegen, individuellen Pentacam-Parametern der Vorderkammergeometrie und Steroidgaben mittels Korrelations- und Regressionsanalysen untersucht. Außerdem wurden demografische (■ **Tab. 1**) und de-

Tab. 1 Demografische Patientendaten (Geschlecht, Alter mit Mittelwert $\pm$ Standardabweichung [MW $\pm$ SD], Augen gesamt, links [OS], rechts [OD] von Gesamtkollektiv, Gruppe 1 [Transplantatdurchmesser 8,0/8,1], Gruppe 2 [Transplantatdurchmesser 8,5/8,6] und Gruppe 3 [PKP à chaud])				
Anzahl	Gesamt	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3
Weiblich/männlich	62/86	29/43	14/37	19/6
Alter [Jahre] MW $\pm$ SD	46,0 $\pm$ 16,2	39,2 $\pm$ 13,6	49,8 $\pm$ 12,4	58,2 $\pm$ 20,4
Augen gesamt (OS/OD)	148 (81/67)	72 (35/37)	51 (30/21)	25 (16/9)

skriptive Daten zu Patient, Auge, Eingriff und Kontrolluntersuchungen erhoben. Die Daten wurden in einer Access-Datenbank erfasst und anschließend statistisch ausgewertet und grafisch dargestellt.

Zielgrößen

Zielgrößen waren Operations- und Behandlungsdaten, Steroidgabe, Abstoßungsreaktion, bestkorrigierter Fernvisus (in LogMAR) und IOD (mmHg) mittels Goldmann-Applanationstonometrie (Haag-Streit AG, Koeniz, Schweiz); außerdem gerätegestützte Messungen der Pentacam (Abb. 2): pupillenzentrierte Korneadicke (CCT), periphere, horizontale Korneadicke in einem 5-mm-Radius um das Pupillenzentrum (PCT, nasal und temporal), Vorderkammertiefe (VKT), Vorderkammervolumen (VKV) und Kammerwinkel (KW, nasal und temporal).

Operationstechnik und postoperatives Management

Die Klinik für Augenheilkunde des UKS führt eine standardmäßig angewandte Operationstechnik und Nachsorge durch [5, 15]. Bei Notfalleingriffen werden Operationstechniken und ggf. Folgeeingriffe angepasst [1, 8, 12]. Der TPLD wurde individuell festgelegt (KK klassischerweise 8,0/8,1 mm). Die Trepanation wurde standardmäßig mittels Excimerlaser (elektive PKP), wenn notwendig mechanisch (PKP à chaud) durchgeführt. Die Transplantatfixierung erfolgte mit einer doppelt fortlaufenden Kreuzstichnaht nach Hoffmann oder in komplizierten Situationen, z. B. bei erhöhtem Risiko von postoperativer Fadenlockerung, mit EKN. Prophylaktisch wurde in der Regel eine Iridotomie zur Vermeidung eines Urrets-Zavalía-Syndroms durchgeführt [15]. Zusätzliche Eingriffe wie vordere/hintere Synechiolyse, Medikamenteneingabe, vordere Segmentre-

konstruktion oder korneale Kryokoagulation wurden bei Bedarf durchgeführt, insbesondere bei PKP à chaud.

Zur Prävention intra- (sog. Vis-à-tergo) und postoperativer IOD-Erhöhungen wurde eine systemische drucksenkende Therapie intraoperativ (z. B. Osmotika wie Mannitol) und/oder postoperativ (z. B. Karboanhydrasehemmer wie Acetazolamid) verabreicht. Die Steroidgabe zur Abstoßungsprophylaxe erfolgte während des Eingriffs (z. B. Prednisolonsuccinat 150–250 mg i.v.), unmittelbar postoperativ sowie nach Fadenentfernung oral ausschleichend (Methylprednisolon 100–150 mg oral, jeden 2. Tag um 20 mg reduziert) und parallel ab Epithelschluss topisch ausschleichend (Prednisolonacetat AT 1 % initial 5-mal/Tag, für ca. 6 bis 9 Monate). Intraoperativ und bis zum Epithelschluss nach PKP wurden Breitbandantibiotika, bei Bedarf im Verlauf Antiinfektiva und Antiseptika eingesetzt. Bei auftretender Steroidresponse wurde die Steroidgabe reduziert, vollständig abgesetzt oder auf ein anderes, risikoärmeres Kortikosteroid gewechselt (z. B. Loteprednol) und ggf. eine antiglaukomatöse Therapie begonnen.

Die Teilfadenentfernung erfolgte in der Regel nach ca. 1 Jahr, und die Komplettfadenentfernung nach 1,5 Jahren.

Statistische Analyse

Mittels SPSS-Software (IBM Corp.) Version 28.0 wurden Mittelwert, Standardabweichung und Analysen im Zeitverlauf mit dem allgemeinen linearen Modell („general linear model“) analysiert und grafisch dargestellt. Die Signifikanztestung erfolgte bei einem Signifikanzniveau $p < 0,05$ unter Bonferroni-Korrektur. Angewendet wurden der Chi-Quadrat-Test, Varianzanalyse für unverbundene Stichproben (ANOVA) und multiple ANOVA bei Mittelwertvergleichen der 3 Grup-

pen. Zusammenhänge der Messvariablen v. a. mit der Tensioentwicklung wurden in allen Augen anhand des Pearson-Korrelationskoeffizienten und mit linearer Regressionsanalyse untersucht.

Ergebnisse

Die zugrunde liegenden Augenerkrankungen (Abb. 1) des Gesamtkollektivs (Tab. 1) waren in Gruppe 1: KK ($n = 72$), in Gruppe 2: KK ($n = 34$), pelluzide marginale Degeneration/Keratotorus ($n = 17$), und in Gruppe 3: Keratitis ($n = 25$, 3 Perforationen, 18 phak bzw. 7 pseudophak). Aufgrund des retrospektiven Charakters waren die Gruppengrößen stark unterschiedlich, weshalb Korrelationen nur im Gesamtkollektiv durchgeführt wurden.

Die Trepanation der Spender- und Empfängerhornhaut erfolgte in Gruppe 1 (99 %) und Gruppe 2 (96 %) primär mittels Excimerlaser, während in Gruppe 3 der Excimerlaser (64 %), der Hessburg-Barron-Trepan (28 %) und der Handtrepan (8 %) verwendet wurden. TPLD war 8,0/8,1 mm (Gruppe 1), 8,5/8,6 mm (Gruppe 2) und bei PKP à chaud (Gruppe 3) $< 8,0/8,1$ mm ($n = 5$); 8,0/8,1 mm bis 8,5/8,6 mm ($n = 12$); $\geq 8,5/8,6$ mm ($n = 8$). Die Überdimensionierung des Transplantats betrug überwiegend 0,1 mm (91 %). Die Transplantatfixierung erfolgte mit einer doppelt fortlaufenden Kreuzstichnaht nach Hoffmann (bei Bedarf zusätzlich EKN) bzw. EKNs (n in Gruppe 1: 72 bzw. 0, Gruppe 2: 43 bzw. 8, Gruppe 3: 10 bzw. 15).

Die Datenerhebung erfolgte prä- und postoperativ zu den Zeitpunkten 7 Wochen, 18 Monaten und 31 Monaten. Die Zahl der verfügbaren Untersuchungen nahm über den Studienzeitraum ab, bedingt durch Faktoren wie eine Anbindung an wohnortnahe Zentren, mangelnde Patientencompliance, Verschlechterung des Allgemeinzustands oder erneute okuläre Eingriffe.

Die paarweisen Vergleichsanalysen mit Signifikanztestung ermöglichten eine differenzierte Gegenüberstellung aller Erhebungszeitpunkte und Gruppen. Detaillierte Ergebnisse sind in den ergänzenden Tab. 1 und 2 dargestellt.

Der bestkorrigierte Visus LogMAR nach PKP war in allen Gruppen besser als der präoperative Visus ($p < 0,001$) (Tab. 2).

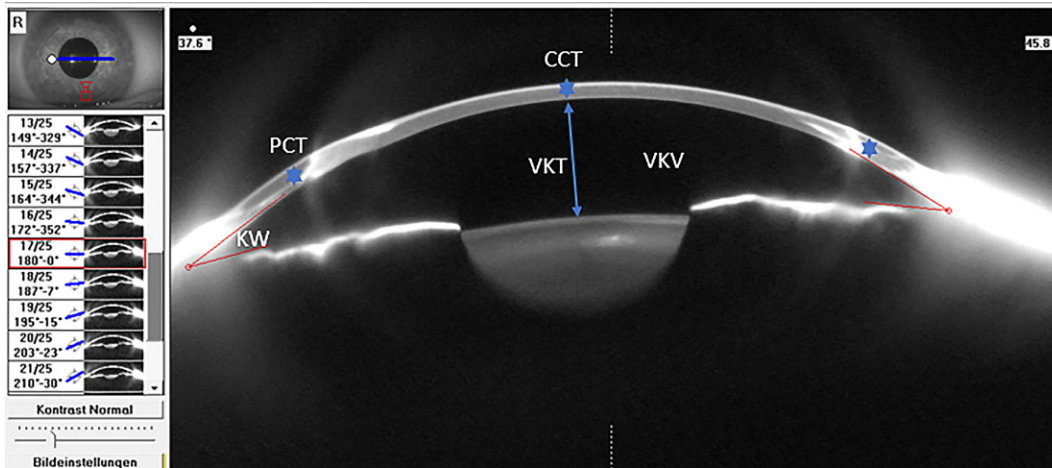


Abb. 2 ◀ Messvariablen der Pentacam® HR (OCULUS GmbH, Wetzlar, Deutschland): Pachymetrie pupillenzentriert zentral (CCT) und peripher, horizontal mit Radius 5 mm (PCT), Vorderkammerwinkel, -tiefe und -volumen (KW, VKT, VKV)

Intraokularer Druck (IOD)

Analysiert wurde der IOD (■ Tab. 2; ■ Abb. 5a) der jeweiligen Untersuchung, auch unter Berücksichtigung extern gemessener und dokumentierter Druckentgleisungen ≥ 25 mm Hg (± 5 Tage zuvor oder danach). Der mittlere Augeninnendruck des Gesamtkollektivs erhöhte sich 7 Wochen nach PKP signifikant um 2,7 mm Hg ($p < 0,001$). Im Verlauf zeigte sich eine Reduktion des mittleren IOD. Zwischen den Gruppen bestanden keine signifikanten Unterschiede in den durchschnittlichen intraokularen Druckverläufen.

Vorderkammergeometrie

Die Ausprägung der Messvariablen aller Augen (■ Tab. 2; ■ Abb. 5b–f) wurde longitudinal über die Erhebungszeitpunkte zwischen den Gruppen verglichen. Im Gesamtkollektiv stieg 7 Wochen nach PKP die Pachymetrie (CCT/PCT) signifikant ($p < 0,001$) an, und die Vorderkammergröße (KW, VKT, VKV) verringerte sich signifikant ($p < 0,001$). Postoperativ zeigte sich ein signifikanter Rückgang dieser Veränderungen (mit Ausnahme der CCT).

Zwischen den 3 sehr unterschiedlichen Gruppen (einschließlich Notfalleingriffen) zeigte einzig der Kammerwinkel keine signifikante Veränderung zu den jeweiligen Messzeitpunkten. Signifikante Veränderungen zeigten Pachymetrie, VKT und VKV. Gruppe 3 hatte dabei die höchste CCT ($p < 0,001$) und PCT (nasal $p < 0,033$, temporal $p = 0,042$) mit niedrigster VKT ($p < 0,001$) und VKV ($p < 0,014$) (■ Abb. 5).

Pseudophake Augen zeigten im Gegensatz zu phaken Augen einen signifikant größeren nasalen KW ($p = 0,011$) ohne signifikante Unterschiede in IOD, VKT, VKV und temporalen KW.

IOD – Vorderkammerparameter

Bezogen auf das Gesamtkollektiv zeigte der IOD eine sehr schwache, aber signifikant positive Korrelation mit CCT ($r = 0,098$; $p = 0,026$) und eine negative Korrelation mit VKT ($r = -0,092$; $p = 0,034$).

Gruppenspezifische Korrelations- und Regressionsanalysen waren aufgrund der geringen Gruppengröße in Gruppe 3 nicht aussagekräftig. Im Gesamtkollektiv konnte unter Einbeziehung aller analysierten Messparameter (IOD, Visus LogMAR, CCT, PCT, KW, VKT, VKV) allerdings keine eindeutige lineare Regressionsgerade für den IOD gefunden werden.

IOD-Spitzen, Steroidresponse

Mit 18 % in den Gruppen 1 und 2 ($n = 13/9$) und 12 % ($n = 3$) in Gruppe 3 unterschied sich der Anteil von Steroidrespondern zwischen den Gruppen nicht signifikant.

Die ■ Abb. 3 zeigt die Tensiomessungen < 21 mm Hg, 21–24 mm Hg, ≥ 25 mm Hg ($n = 463$) zu den einzelnen Erhebungszeitpunkten (präoperativ, 7 W, 18 M, 31 M) für alle 3 Gruppen. Im Gesamtzeitraum waren diese Unterschiede nur in Gruppe 1 signifikant ($p = 0,008$).

In Folge wurde über den Gesamtzeitraum der Anteil der Augen im Gesamtkollektiv ($n = 148$) und in den Subgruppen untersucht, der von Tensioanstiegen be-

troffen war (■ Abb. 4). Ein IOD ≥ 21 mm Hg zeigte sich in $n = 33$ (18/9/6) Augen, d. h. in 22,3 % (25,0/17,6/24,0 %) des Gesamtkollektivs. Ein höherer IOD ≥ 25 mm Hg trat in $n = 21$ (14/3/4) Augen und damit in 14,2 % (19,4/5,9/16,0 %) des Gesamtkollektivs auf. Steroidresponder zeigten signifikant häufiger einen IOD von ≥ 25 mm Hg mit $n = 14$ (10/2/2) Augen und in 9,5 % (13,9/3,9/8,0 %) des Gesamtkollektivs. Gruppe 1 hatte dabei ein hochsignifikantes Verhältnis von $n = 10/14$ ($p < 0,001$) Steroidrespondern unter den Augen mit IOD ≥ 25 mm Hg.

Diskussion

Diese retrospektive Studie analysierte die Risikofaktoren für den postoperativen IOD-Anstieg nach PKP unter Berücksichtigung geometrischer Vorderkammeränderungen über einen Zeitraum von bis zu 2,5 Jahren. Die Gegenüberstellung elektiver PKP mit unterschiedlichen TPLD und PKP à chaud ist gegenwärtig so bisher in der Literatur noch nicht beschrieben worden.

Nach PKP mit unterschiedlicher Operationstechnik wurden frühpostoperative Tensioanstiege sowie gerätetechnisch darstellbare, charakteristische Vorderkammeränderungen analysiert (■ Abb. 5). Die stark unterschiedliche Anzahl von Augen in Gruppen 1/2/3 wurde bei der Analyse der Vorderkammerparameter insofern berücksichtigt, indem Korrelationen nur für das Gesamtkollektiv ausgewertet wurden.

In dieser Studie stieg der Gesamt- IOD um 2,7 mm Hg und liegt damit in der von anderen Studien beschriebenen

Tab. 2 Messergebnisse der Erhebungszeitpunkte (Mittelwert ± Standardabweichung) von Visus cc LogMAR, Tensio (IOD), Pachymetrie zentral und peripher exemplarisch temporal (CCT und PCT), Kammerwinkel temporal (KW), Vorderkammertiefe (VKT), Vorderkammervolumen (VKV) in Gruppe 1 (Transplantatdurchmesser TPLD 8,0/8,1 mm), Gruppe 2 (TPLD 8,5/8,6 mm), Gruppe 3 (Keratoplastik à chaud)								
Variable	Prä		7 Wochen		18 Monate		31 Monate	
	Gesamt	Gruppe 1/2/3	Gesamt	Gruppe 1/2/3	Gesamt	Gruppe 1/2/3	Gesamt	Gruppe 1/2/3
Visus cc LogMAR	0,9 ± 0,4	0,9 ± 0,4	0,5 ± 0,3	0,5 ± 0,2	0,4 ± 0,3	0,4 ± 0,3	0,4 ± 0,4	0,3 ± 0,3
		0,8 ± 0,4		0,4 ± 0,3		0,4 ± 0,3		0,4 ± 0,3
		1,2 ± 0,4		0,8 ± 0,5		0,6 ± 0,4		0,7 ± 1,0
IOD [mm Hg]	13,0 ± 3,3	12,1 ± 2,7	15,7 ± 5,5	16,3 ± 6,6	15,6 ± 6,2	15,5 ± 6,0	14,1 ± 4,2	14,0 ± 4,9
		14,1 ± 2,8		15,2 ± 3,9		14,7 ± 3,8		14,9 ± 3,0
		13,3 ± 4,9		14,4 ± 4,1		18,0 ± 10,1		11,8 ± 2,6
CCT [µm]	521,9 ± 207,8	407,6 ± 77,4	538,4 ± 70,0	533,7 ± 48,9	533,9 ± 40,2	538,4 ± 37,7	552,5 ± 34,8	550,3 ± 33,1
		549,5 ± 170,6		526,7 ± 72,2		531,1 ± 43,7		558,3 ± 38,9
		819,9 ± 247,3		576,7 ± 103,9		524,2 ± 39,2		544,3 ± 34,7
PCT [µm]	698,0 ± 143,6	665,7 ± 95,2	920,6 ± 232,9	881,8 ± 198,5	785,5 ± 131,2	764,9 ± 107,0	777,0 ± 95,1	782,6 ± 101,2
		683,9 ± 139,9		959,1 ± 192,9		822,3 ± 134,5		762,7 ± 98,2
		836,5 ± 205,7		972,8 ± 368,3		774,1 ± 196,9		798,0 ± 40,4
KW [°]	42,6 ± 12,0	40,6 ± 10,5	34,8 ± 10,4	36,3 ± 10,8	37,0 ± 8,7	37,5 ± 7,9	42,9 ± 9,9	41,8 ± 8,9
		46,2 ± 13,2		33,2 ± 9,5		36,9 ± 8,7		43,8 ± 10,5
		43,4 ± 14,3		33,5 ± 10,6		35,1 ± 12,0		46,4 ± 16,9
VKT [mm]	3,5 ± 0,8	3,7 ± 0,5	2,8 ± 0,6	3,0 ± 0,4	3,1 ± 0,5	3,2 ± 0,4	3,3 ± 0,4	3,3 ± 0,4
		3,8 ± 0,7		2,7 ± 0,6		3,0 ± 0,5		3,4 ± 0,4
		2,3 ± 0,7		2,4 ± 0,7		2,9 ± 0,8		3,0 ± 0,4
VKV [mm ³]	190,7 ± 45,3	191,4 ± 36,0	136,6 ± 42,4	151,5 ± 36,3	169,9 ± 38,5	177,0 ± 32,8	187,5 ± 35,8	189,4 ± 38,0
		200,8 ± 47,3		125,5 ± 39,3		167,1 ± 42,4		189,1 ± 35,0
		165,5 ± 58,7		113,5 ± 49,7		151,5 ± 42,5		169,8 ± 26,7

Größenordnung [2, 5]. Wie bei Gatzoufas et al. [5] trat eine frühpostoperative Vorderkammerabflachung mit zunehmender CCT, PCT und abnehmenden KW, VKT, VKV auf. Der in dieser Studie gemessene IOD korrelierte signifikant mit der gemessenen Pachymetriezunahme und Vorderkammertiefenabnahme (CCT, VKT), bei Gatzoufas et al. dagegen mit PCT, KW, VKT, VKV in Keratokonusaugen. Die Änderungen des IOD und der geometrischen Messparameter der Vorderkammer waren postoperativ mit fortschreitendem Heilungsprozess und ausschleichender Steroidgabe in der vorliegenden Studie weitestgehend rückläufig.

Laut Literatur ist das Risiko für okuläre Hypertension nach elektiven PKPs bei ektatischen Hornhauterkrankungen vergleichsweise gering [3, 14]. Es wird angenommen, dass der TPLD die Entwicklung einer okulären Hypertension beeinflussen könnte. Die Transplantatgrößen sollten so groß wie möglich aus optischer Indikation, jedoch so klein wie nötig aus immunologischer Indikation gewählt werden [15]. Größere TPLD werden

insbesondere zur vollständigen Exzision der Korneapathologie, z.B. bei PKP à chaud benötigt [12, 16]. Sie bergen jedoch ein erhöhtes Abstoßungsrisiko [15] und eine erhöhte Kammerwinkelaffektion durch periphere Transplantatfixierung [16]. Das Risiko für okuläre Hypertension nach PKPs à chaud ist möglicherweise durch traumatische und inflammatorische und immunologische Faktoren erhöht [5, 9, 14]. Die komplexe Operationstechnik mit vermehrt mechanischer Trepanation, unterschiedlicher TPLD, EKN und ggf. höherer Fadenspannung begünstigt eine Vorderkammerabflachung und periphere Kompression.

Entsprechend diesem Risikoanstieg für Vorderkammerabflachung und IOD-Erhöhung nahmen in vorliegender Studie von Gruppe 1 bis Gruppe 3 VKV und VKT (VKT aller Augen im Gesamtzeitraum mit IOD korrelierend) signifikant ab, ohne signifikante Gruppenunterschiede des peripheren KW. Diese 3 Parameter (VKV, VKT und KW) gelten im Pentacam-Leitfaden studienbasiert als wichtige Screeningparameter für Glaukom [6]. Der IOD in elektiven vs. Notfall-

keratoplastiken war nicht signifikant unterschiedlich. Vergleichbar dazu beobachteten auch Infantes Molina et al. keine signifikanten Tensiounterschiede in Hochrisiko- vs. Niedrigisiko-PKP [7]. In Gruppe 3 bestand nur nasal ein signifikant kammerwinkelweiternder Einfluss ohne signifikant drucksenkenden Effekt von pseudophaken ($n=7$) verglichen zu phaken ($n=18$) Augen. Die beobachteten morphologischen Veränderungen der Vorderkammer nach PKP erklären die postoperativen Tensioanstiege nicht hinreichend. Die periphere Vorderkammerkonfiguration zeigte zwischen den Gruppen keine signifikanten Unterschiede. Dies deutet darauf hin, dass der IOD-Anstieg nach PKP nicht primär durch geometrische Veränderungen der Vorderkammer, sondern durch andere Faktoren beeinflusst wird [9].

In den untersuchten Subgruppen lag der IOD ≥ 21 mm Hg (■ Abb. 4) im Vergleich von ektatisch (Gruppen 1 bzw. 2) 25 % bzw. 18 % vs. inflammatorisch (Gruppe 3) 24 % im unteren Bereich anderer Studien zu elektiven PKP mit 16–41 % [5, 9]. Chanbour et al. berichten hier von einem

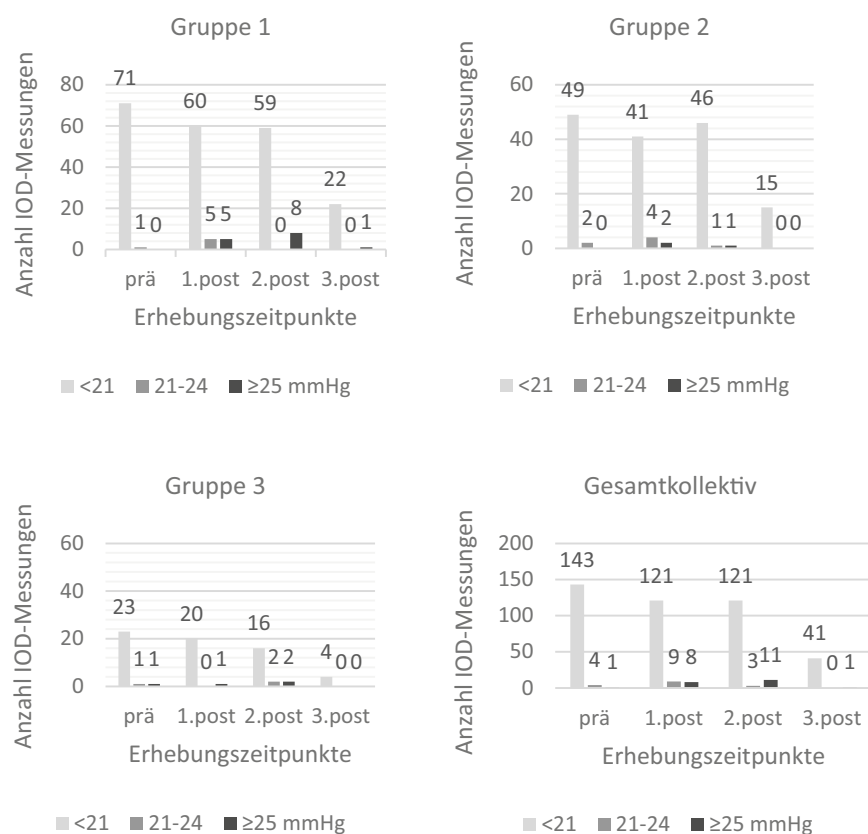


Abb. 3 ▲ Tensiommessungen (n) in Druckkategorien ≤ 20 (hellgrau), 21–24 (grau) und ≥ 25 mm Hg (dunkelgrau) der Erhebungszeitpunkte präoperativ, 1.post (7 Wochen), 2.post (18 Monate), 3.post (31 Monate)

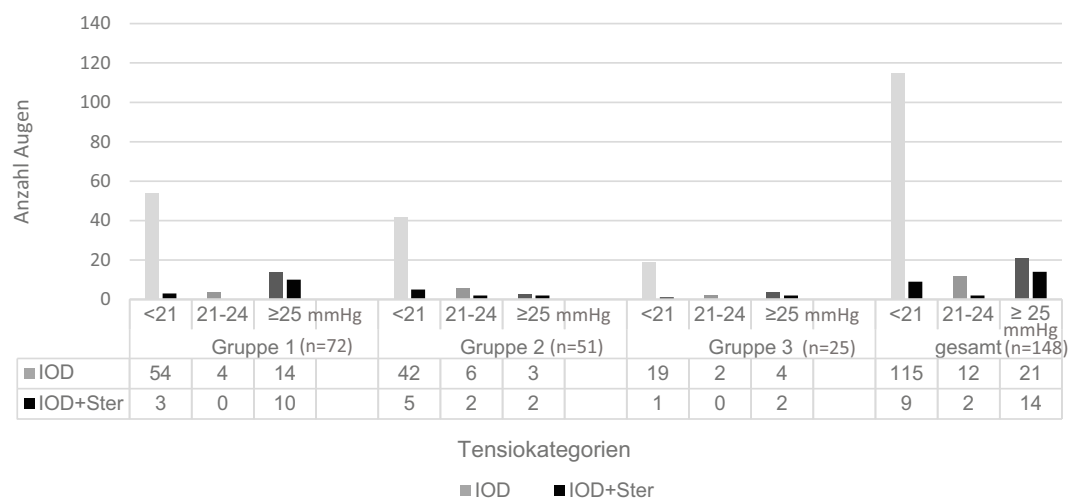


Abb. 4 ◀ Augen mit Maximal-Tensiommessung (n) in Druckkategorien (IOD) ≤ 20 (hellgrau), 21–24 (grau), ≥ 25 mm Hg (dunkelgrau), davon Patienten mit dokumentiertem Steroidresponderstatus (Ster., Steroidresponse in dieser perforierenden Keratoplastik oder in der Vergangenheit aufgetreten) (schwarz), in Gruppe 1 (Transplantatdurchmesser 8,0/8,1 mm), Gruppe 2 (Transplantatdurchmesser 8,5/8,6 mm), Gruppe 3 (PKP à chaud)

Anteil von 24% vs. 43% [3]. Tensioanstiege zeigten in dessen Arbeit eine deutlich höhere Inzidenz in Augen mit akuter Keratitis sowie eine signifikante Assoziation mit EKN. In der vorliegenden Studie fand sich auch in Gruppe 3 kein signifikanter Zusammenhang zwischen verringerten KW, IOD und multiplen EKN (bis 32). In allen Augen gab es im Gesamtzeitraum einen IOD

≥ 25 mm Hg zu 14,2% (Gruppen 1/2/3 = 19,4/5,9/16,0%) verglichen zu 8% im australischen Keratoplastikregister 1991 [17]. Gruppe 2 blieb mit 6% vergleichbar zu 8% bei großen TPLD von 8,75–10,0 mm in der Arbeit von Skeens et al. [16]. In der vorliegenden Arbeit hatte Gruppe 1 (19,4%, n = 14) den unerwartet höchsten Anteil an

IOD-Anstiegen ≥ 25 mm Hg, davon waren 10/14 Steroidresponder ($p < 0,001$).

Der gruppenspezifische Steroidresponderanteil unterschied sich nicht signifikant mit 18% in Gruppe 1/Gruppe 2 und 12% in Gruppe 3 ($p = 0,772$) von den 18–36% in der Normalbevölkerung [14]. Die von Gruppe 1 bis Gruppe 3 ansteigenden Steroidgaben ($p < 0,001$) begünstigten zusätz-

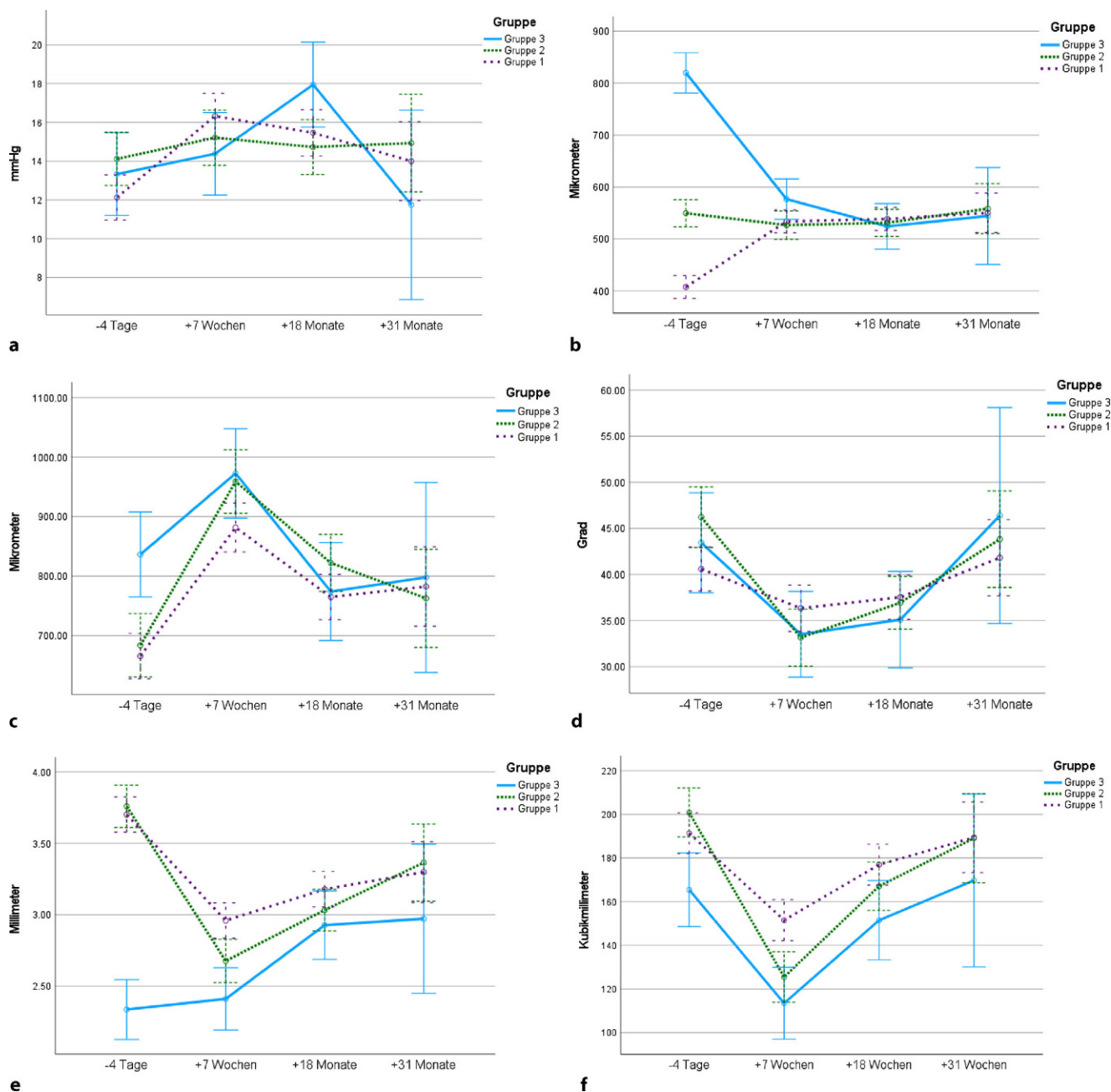


Abb. 5 ▲ a–f: Tensio (a) und Pentacam-Messungen (Pentacam® HR, OCULUS GmbH, Wetzlar, Deutschland) Pachymetrie zentral (b), Pachymetrie exemplarisch temporal (c), Kammerwinkel temporal (d), Vorderkammertiefe (e), Vorderkammervolumen (f) (Mittelwert ± Standardabweichung): Gruppe 1 (Transplantatdurchmesser 8,0/8,1 mm), Gruppe 2 (Transplantatdurchmesser 8,5/8,6 mm), Gruppe 3 (Keratoplastik à chaud) in den Erhebungszeitpunkten präoperativ und postoperativ 7 Wochen, 18 Monate, 31 Monate nach perforierender Keratoplastik

lich zur standardisierten medikamentösen Nachsorge eine Steroidresponse. Dennoch zeigte Gruppe 1 bei geringster Abstoßung und Steroidgabe, jungem Alter und häufig berichteten risikoärmeren ektatischen Operationsindikationen Tensioentgleisungen besonders unter Steroidrespondern. Es wird davon ausgegangen, dass die Signifikanz der Tensioentgleisungen unter

Keratokonusaugen in Gruppe 1 nicht auf geometrische Vorderkammeränderungen zurückzuführen ist, sondern auf eine stattgehabte Steroidresponse.

Dies bestätigt die Literatur: In Keratokonusaugen wird über unerwartete Tensioentgleisungen im Sinne einer Steroidresponse berichtet [4, 11]. Zur Klärung einer potenziellen Steroidresponse-Neigung in

Keratokonusaugen bedarf es weiterer Forschung. Bisherige Theorien diskutieren genetische oder strukturelle Ursachen [4, 11].

Trotz der kritischen Ausgangssituation entzündlich schwerstbetroffener, perforationsgefährdeter Augen mit komplexer Notoperation als PKP à chaud (Gruppe 3) war das Ergebnis bezüglich IOD und peripherer Vorderkammerkonfigura-

tion nicht signifikant schlechter als bei elektiven Indikationen. Dies könnte auf Operationstechnik und Erfahrung zurückzuführen sein. Im Langzeitverlauf zeigte sich eine gleichgerichtete, ähnlich ansteigende Rehabilitationstendenz wie in elektiven PKPs mit in dieser Hinsicht nicht signifikant unterlegener Therapieoption. In allen Gruppen ist mit einer signifikanten Visusverbesserung zu rechnen.

Standardisierte Nachbehandlung und engmaschige Kontrollen sind bei PKP wichtig, aber Basis ist eine sehr gute, ständig weiterentwickelte und evaluierte Operationstechnik. Studien mit erweitertem Patientenkollektiv sind erforderlich, um die Gewichtung von Operation und Nachsorge genauer zu definieren.

Fazit für die Praxis

- Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass geometrische Vorderkammerveränderungen möglicherweise keine Hauptursache für IOD-Spitzen sind.
- Möglicherweise hat die Steroidresponse einen größeren Einfluss auf postoperative IOD-Anstiege nach PKP als zunächst angenommen. Die aktuelle Studie legt deshalb nahe, dass zusätzliche prospektive Studien mit vergleichbaren Gruppengrößen durchgeführt werden müssen, um genauere Erkenntnisse zum Zusammenhang zwischen Vorderkammergeometrie und dem IOD zu identifizieren.
- Zudem legen die Ergebnisse nahe, dass eine standardisierte Operationstechnik in spezialisierten Zentren das Risiko für postoperative IOD-Anstiege bei Notfallkeratoplastiken trotz großer TPLD und zahlreicher peripherer EKN nicht signifikant erhöht.

Korrespondenzadresse



Roberta Schirò

Universität des Saarlandes (UdS), Klinik für Augenheilkunde, Universitätsklinikum des Saarlandes (UKS)
Kirrbergerstr. 100, 66421 Homburg/Saar, Deutschland
robe.schir@gmx.de

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 am Universitätsklinikum des Saarlandes UKS in Homburg/Saar.

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. R. Schirò, T. Berger, C. Munteanu, L. Daas, U. Löw und B. Seitz 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

- Berger T, Seitz B, Flockerzi E, Suffo S, Daas L (2023) Indications and Results of Emergency Penetrating Keratoplasty With Simultaneous Cataract Surgery ("Triple-PKP à Chaud"). *Cornea* 42:272–279
- Borderie VM, Loriaut P, Bouheraoua N, Nordmann J-P (2016) Incidence of Intraocular Pressure Elevation and Glaucoma after Lamellar versus Full-Thickness Penetrating Keratoplasty. *Ophthalmology* 123:1428–1434
- Chanbour W, Ayoub MH, Towair E, Darwish M, Fakhoury H, Warhekar P, Jarade E (2020) Incidence, Risk Factors and Treatment Outcomes of Intraocular Hypertension and/or Glaucoma Post-Penetrating Keratoplasty: A 5-Year Lebanese Retrospective Descriptive Study. *Clin Ophthalmol* 14:2497–2505
- Fan JC, Chow K, Patel DV, McGhee CNJ (2009) Corticosteroid-induced intraocular pressure elevation in keratoconus is common following uncomplicated penetrating keratoplasty. *Eye (Lond)* 23:2056–2062
- Gatziaouf Z, Labiris G, Mauer B, Zemova E, Eppig T, Langenbucher A, Seitz B (2012) Elevated intraocular pressure in the early postoperative period following excimer laser penetrating keratoplasty for keratoconus. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging* 43:467–471
- Grewal DS, Brar GS, Jain R, Grewal S (2011) Comparison of Scheimpflug imaging and spectral domain anterior segment optical coherence tomography for detection of narrow anterior chamber angles. *Eye* 25:603–611
- Infantes Molina EJ, Celis Sánchez J, Tenias Burillo JM, Diaz VD, Benítez-Del-Castillo JM, Mesa Varona D, Avendaño-Cantos E (2019) Deep anterior lamellar keratoplasty versus penetrating keratoplasty in corneas showing a high or low graft rejection risk. *Eur J Ophthalmol* 29:295–303
- Laurik KL, Szentmáry N, Daas L, Langenbucher A, Seitz B (2019) Early Penetrating Keratoplasty à Chaud May Improve Outcome in Therapy-Resistant Acanthamoeba Keratitis. *Adv Ther* 36:2528–2540
- Maier A-KB, Gundlach E, Gonnermann J, Klamann MKJ, Eulufi C, Jousen AM, Bertelmann E, Rieck P, Torun N (2015) Anterior segment analysis and intraocular pressure elevation after penetrating keratoplasty and posterior lamellar endothelial keratoplasty. *Ophthalmic Res* 53:36–47
- Olson RJ, Kaufman HE (1977) A mathematical description of causative factors and prevention of elevated intraocular pressure after keratoplasty. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 16:1085–1092
- Raj A, Salvador-Culla B, Anwar H, Sykakis E, Figueiredo MS, Figueiredo FC (2020) Long-Term Outcomes on de novo Ocular Hypertensive Response to Topical Corticosteroids After Corneal Transplantation. *Cornea* 39:45–51
- Rangel AR, Szentmáry N, Lepper S, Milioti G, Daas L, Langenbucher A, Seitz B (2022) Large-Diameter Penetrating Keratoplasties are Mostly Due to Very Severe Infectious Keratitis and Cannot Always Prevent Secondary Enucleation. *Klin Monbl Augenheilkd* 239:1361–1368
- Rangel RA, Szentmáry N, Lepper S, Daas L, Langenbucher A, Seitz B (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
- Seitz B, Langenbucher A, Nguyen NX, Kuchle M, Naumann GOH (2002) Long-term follow-up of intraocular pressure after penetrating keratoplasty

for keratoconus and Fuchs' dystrophy: comparison of mechanical and Excimer laser trephination. *Cornea* 21:368–373

15. Seitz B, Szentmáry N, El-Husseiny M, Viestenz A, Langenbucher A, Naumann GOH (2016) The Penetrating Keratoplasty (PKP)—A Century of Success. In: Hjortdal J (Hrsg) *Corneal Transplantation*. Springer, S 67–92
16. Skeens HM, Holland EJ (2010) Large-diameter penetrating keratoplasty: indications and outcomes. *Cornea* 29:296–301
17. Williams KA, Roder D, Esterman A, Muehlberg SM, Coster DJ (1992) Factors predictive of corneal graft survival. Report from the Australian Corneal Graft Registry. *Ophthalmology* 99:403–414

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

Impact of anterior chamber geometry on intraocular pressure rise after penetrating keratoplasty – Comparison between elective and emergency procedures

Background: Secondary ocular hypertension and glaucoma are severe complications after penetrating keratoplasty (PKP), which increase the risk of graft failure and irreversible loss of vision.

Purpose: Analysis of intraocular pressure (IOP) elevation in relation to the changes of anterior chamber geometry comparing elective and PKPs à chaud.

Methods: This retrospective study at the Department of Ophthalmology, Saarland University Medical Center in Homburg/Saar included 148 eyes after PKP (123 elective and 25 PKPs à chaud). Between 2014 and 2021 treatment data were documented preoperatively and postoperatively after 6–8 weeks, after partial (18 ± 3 months) and after complete (31 ± 6 months) suture removal. The study analyzed visual acuity, IOP, Pentacam® HR (OCULUS GmbH, Wetzlar, Germany) measurements with central and peripheral corneal pachymetry (CCT, PCT), anterior chamber angle (ACA), anterior chamber depth (ACD) and anterior chamber volume (ACV).

Results: The anterior chamber geometry of all eyes changed significantly after PKP: early postoperatively (6–8 weeks) the pachymetry increased ($p < 0.001$), while ACA, ACD and ACV ($p < 0.001$) decreased. The average increase of IOP ($p < 0.001$) showed a positive correlation with CCT and a negative correlation with ACD. In contrast to elective keratoplasty, PKP à chaud revealed significantly lower ACDs and ACVs ($p < 0.001$) and higher PCTs (nasal $p < 0.033$, temporal $p = 0.042$). In contrast, significant differences were not observed for IOP, CCT and ACA. Increases in IOP ≥ 25 mm Hg ($n = 21$) were more frequent in eyes with keratoconus ($n = 14$) with a high proportion of these cases showing a steroid response ($n = 10$).

Conclusion: After PKP the anterior chamber geometry changes postoperatively; however, anterior chamber changes do not necessarily correlate with an increase in IOP. It is possible that a steroid response has a greater influence on postoperative increases in IOP because no significant anterior chamber flattening occurred postoperatively in eyes with keratoconus. In future prospective studies it is expected that further factors with a potential influence will be identified in the complex system of regulation of postoperative IOP.

Keywords

Corneal transplantation · Intraocular pressure · Pentacam · Steroid response · Chamber angle