

Contactlinsenanpassung nach perforierender Keratoplastik



Theorie und Praxis, Tipps und Tricks

INHALT

Silke Lohrengel, MSc (Optometry), Dipl. Ing (FH) Augenoptik

Kontaktlinsen-Anpassung nach perforierender Keratoplastik (PKP)

Die Kontaktlinsen (KL)-Anpassung nach perforierender Keratoplastik ist auf mehrfache Art und Weise eine große Herausforderung in der Kontaktlinsen-Anpassung. Zum einen handelt es sich um Patienten, welche allein durch die Keratoplastik (KP) nicht ihre erwünschte visuelle Rehabilitation erreicht haben und dadurch eine gewisse „Negativauswahl“ darstellen. Zum anderen erfordern Hornhauttopographien mit großen Unregelmäßigkeiten, physiologische Einschränkungen durch die Operation und psychische Belastungen des Patienten ein umfangreiches Wissen über die Krankheit, Anpasstechniken sowie Kontaktlinsengeometrien und letztendlich auch das psychologische Einfühlungsvermögen des Kontaktlinsen-Anpassers. Um eine langfristig erfolgreiche Kontaktlinsenanpassung mit diesen Patienten zu erzielen, sind folgende Fragen zu beantworten:

- Welche Informationen benötigt der Patient vor der Kontaktlinsen-Anpassung?
- Welchen Einfluss haben die unterschiedlichen Operationstechniken auf die Hornhaut-Topographie und welche gibt es?
- Ist die Kontaktlinsen-Anpassung sicher, so dass eine Immunreaktion nicht durch Kontaktlinsen gefördert wird?
- In welchem Zeitraum verändert sich die Hornhaut-Topographie einer Keratoplastik, wie häufig wird also eine Veränderung der Rückflächengeometrie notwendig?
- Wann ist die Sehleistung stabil?
- Gibt es vielleicht durch zeitgemäße Messinstrumente wie den Oculus-Keratographen Hilfestellungen in der Kontaktlinsen-Anpassung auch bei diesen unregelmäßigen Hornhauttopographien?
- Können neue signifikante Daten gefunden werden, die den Erstvorschlag in einem intelligenten Anpassprogramm auch für Keratoplastiken unterstützen?

Und das Wichtigste bei aller vielleicht beherrschbaren Technik:

- Tragen die betroffenen Patienten tatsächlich ihre Kontaktlinse?
- Bringt die Kontaktlinse diesen Patienten die Verbesserung der Lebensqualität, die sowohl sie als auch der Kontaktlinsenspezialist sich davon erhoffen?

Aus diesen Fragestellungen ist die folgende Arbeit entstanden, um das für die Kontaktlinsen-Anpassung nach Keratoplastik notwendige Wissen zu bündeln, verfügbar zu machen und ein besseres Verständnis für diese besonderen Patienten zu schaffen, so dass diese in Zukunft vielleicht noch besser versorgt werden können.

1. Die Keratoplastik (KP)

| | |
|--|----|
| 1.1 Definition | 4 |
| 1.2 Immunologisches „Privileg“ des vorderen Augenabschnittes | 4 |
| 1.3 Indikationen für eine Keratoplastik | 5 |
| 1.4 Patienteninformation und Vorbereitung | 6 |
| 1.5 Operationstechniken | 6 |
| 1.6 Fadenmanagement bei der PKP | 9 |
| 1.7 Lebensdauer eines Transplantates | 11 |
| 1.8 Organspezifische Nachbehandlung | 14 |
| 1.9 Hornhaut-Sensibilität | 15 |

2. Die visuelle Rehabilitation nach PKP

| | |
|---|----|
| 2.1 Der postoperative sphärische Wert | 16 |
| 2.2 Der postoperative Astigmatismus | 16 |
| 2.3 Der operative Astigmatismus nach PKP | 16 |
| 2.4 Sehfunktionen nach PKP | 16 |
| 2.5 Visuelle Rehabilitation nach PKP durch Kontaktlinsen (KL) | 17 |

3. Die Hornhauttopographie nach PKP

| | |
|--|----|
| 3.1 Topographie-Klassierungen | 20 |
| 3.2 Topographische Analyse im Oculus Keratograph | 20 |

4. Kontaktlinsen-Anpasstechniken nach PKP

| | |
|--|----|
| 4.1 Grundlegende Überlegungen zu den wirkenden Kräften, welche die KL-Position und Stabilität beeinflussen | 26 |
| 4.2 Anpassung ohne Berücksichtigung des zentralen Radius der PKP | 27 |
| 4.3 Zentrale HH-Radienmessung: 1 - 5 dpt steiler als flacher HH-Meridian | 27 |
| 4.4 Relative Flächenanpassung | 27 |
| 4.5 Große Gesamtdurchmesser | 27 |
| 4.6 Große Gesamtdurchmesser + parallel zum flachen HH-Meridian mit Messlinsensatz | 28 |
| 4.7 Kleiner Gesamtdurchmesser + parallel zum gemittelten HH-Meridian mit Messlinsensatz | 28 |
| 4.8 Messlinsen und Topographie für reverse KL-Geometrie | 28 |
| 4.9 Reverse Hydrogellinsen | 28 |
| 4.10 Anpassung anhand zentraler Radien und Exzentrizität | 28 |
| 4.11 Anpassung mit Fäden, großem Durchmesser und Nutzung eines Videotopographen | 28 |

| | |
|--|----|
| 4.12 Anpassung von Sklerallinsen | 29 |
| 4.13 Differenzierte Anpassung anhand Topographie-Klassierung | 29 |
| 4.14 Kontaktlinsenanpassung mit zeitgemäßen Messinstrumenten und Anpass-Software | 29 |

5. Angepasste Kontaktlinsen

| | |
|--|----|
| 5.1 Angepasste KL-Rückflächen: sphärisch, torisch, quadrantendifferent und Miniskleral | 30 |
| 5.2 Parameterauswahl | 32 |

6. Patientenzufriedenheit

| | |
|--|----|
| 6.1 Zufriedenheit von Kontaktlinsenträgern mit Keratokonus | 33 |
| 6.2 Patientenzufriedenheit nach PKP | 33 |
| 6.3 Zufriedenheit von Kontaktlinsen-Patienten nach PKP | 34 |
| 6.4 Fazit | 38 |

7. Für die Praxis

| | |
|---|----|
| 7.1 Patienten/Kunden | 39 |
| 7.2 Sind Kontaktlinsen sicher oder können sie das Transplantat gefährden? | 39 |
| 7.3 Welche Sehleistung ist zu erwarten? | 41 |
| 7.4 Kann ich meine alten Kontaktlinsen wieder verwenden? | 41 |
| 7.5 Müssen die Kontaktlinsen täglich auf- und abgesetzt werden? | 41 |
| 7.6 Ab wann kann angepasst werden? | 41 |
| 7.7 Welche tägliche Tragezeit ist möglich? | 41 |
| 7.8 Sind spezielle Kontaktlinsen-Geometrien notwendig? | 41 |
| 7.9 Gibt es weitere Besonderheiten bei der Anpassung? | 42 |
| 7.10 Intelligente Anpass-Programme und Topographiesysteme – wie gut funktionieren sie bei KL-Versorgungen nach PKP? | 42 |
| 7.11 Werden Kontaktlinsen nach PKP von der Krankenkasse bezahlt? | 43 |
| 7.12 Können Patienten tatsächlich zufriedenstellend versorgt werden? | 43 |
| 7.13 Ausblick | 43 |

Erschienen in **die Kontaktlinse**

1. Die Keratoplastik (KP)

Die Idee der Hornhauttransplantation (Keratoplastik) ist über 200 Jahre alt. Zuerst an Tieren durchgeführt, wurde die erste perforierende Keratoplastik am Menschen 1843 von R. Kissam unter Einsatz heterologer Schweinehornhaut durchgeführt. Die erste homologe perforierende Keratoplastik wurde 1905 von K. Zirm bei einem durch Salzsäure erblindeten Patienten durchgeführt. Heute gehört die KP in Deutschland zu der erfolgreichsten Transplantation mit einer 5-Jahre-Überlebensrate (zentrale Transparenz) von bis zu 95% bei Normalrisiko-Keratoplastiken und zu den am häufigsten durchgeführten Gewebe-Transplantationen mit weltweit 60.000 Eingriffen. Die Häufigkeit in Deutschland wird von circa 4.000 – 5.000 [116] bis zu 8.000 [117] Eingriffen pro Jahr angegeben. Die Häufigkeit und Erfolg der Durchführung sind durch technische Fortschritte in der ophthalmologischen Mikrochirurgie sowie durch neue Erkenntnisse auf dem Gebiet der Transplantationsimmunologie und dem Einsatz moderner Hornhautbanken begründet.

Die Nachbehandlung der KP ist meist recht unproblematisch, da die Hornhaut ein immunologisches Privileg besitzt, was als Folge hat, dass in der Regel keine lebenslange Immunsuppression notwendig ist wie nach Organtransplantationen. Probleme im Bereich der Hornhaut-Transplantation hängen meist mit den Grunderkrankungen der Patienten zusammen. Es kann zu Rezidiven der Grunderkrankung kommen (Bild 1) und viele Indikationen, welche zu einer KP führen, gehen mit postoperativen Schwierigkeiten wie oberflächenspezifischen Einschränkungen, trockene Augen, Glaukom, viralen und mikrobiellen Rezidiven und anderen Problemen einher.

Für den Patienten von höchstem Interesse ist die visuelle Rehabilitation nach der Operation. Diese fällt individuell und abhängig von der eingesetzten Operationstechnik unterschiedlich aus. Richtig stabil wird das Sehen eventuell erst nach dem Entfernen beider Fäden; erst dann entscheidet sich, ob langfristig eine zusätzliche Sehhilfe notwendig ist. Ein relativ hoher postoperativer oder irregulärer Astigmatismus sowie Anisotropien lassen bei etwa 10 – 30% (bei KP nach Keratokonus in 25 – 50%) der Operationen eine Kontaktlinse sinnvoll erscheinen [31].



Bild 1: Perforierende Keratoplastik nach Fadentfernung mit Re-Keratokonius in seitlicher Ansicht.
Foto: D. Muckenhiirn

Weiterhin besteht keine Altersbegrenzung für den Spender und eine intakte Kreislauffunktion ist ebenfalls nicht notwendig. Das Transplantat kann bis 72 Stunden nach Eintreten des Todes entnommen werden, wenn innerhalb 24 Stunden die Blutprobe durchgeführt werden konnte. Trotzdem gibt es keine genügende Anzahl an Spendern, so dass gut geführte Hornhautbanken immer wichtiger werden. Um die kontaktlinsenrelevanten Grundlagen der KP zu verstehen, werden erst die Definitionen sowie unterschiedliche Indikationen der KP beleuchtet sowie die Operationstechniken mit ihren Vor- und Nachteilen. Für eine Beratung der betroffenen Patienten ist dieses Wissen notwendig, auch um postoperative Befunde wie die Topographie oder die visuelle Rehabilitation richtig bewerten zu können.

1.1 Definitionen

Als Keratoplastik (KP) oder Hornhauttransplantation wird der operative Ersatz trüber oder irregulär gewölbter Hornhautstrukturen durch geeignetes Spendermaterial bezeichnet.

Folgende Arten der Hornhauttransplantation werden unterschieden:

- Die perforierende KP, bei der alle Schichten der erkrankten Hornhaut in einem bulbuseröffnenden Eingriff mittels Trepanation entfernt werden und ein entsprechendes Hornhauttransplantat eines geeigneten Empfängers eingefügt wird.
- Die lamelläre KP, bei der nur bestimmte Schichten der Hornhaut entfernt und verpflanzt werden. Dies kann unter Umständen ohne Bulbusöffnung erfolgen.
- Die autorotatorische KP, bei der die eigene Hornhaut (autolog) zunächst prä-

pariert und anschließend verdreht wieder eingenäht wird. Eine typische Anwendung sind zentrale Hornhautnarben, die so nach außen gedreht werden können.

- Die tektonische KP mit dem Ziel die Hornhautanatomie nach traumatischen Hornhautdefekten oder perforierendem Ulcus wieder herzustellen. Dazu wird Spendermaterial in die Patientenhornhaut eingenäht, um Defekte zu decken. Es handelt sich oft um eine Übergangslösung ohne visuelle Rehabilitation.
- Die folgenden Definitionen orientieren sich an der Herkunft des Transplantats:
 - Autogene (autologe) Transplantation: Spender und Empfänger sind identisch.
 - Syngene (isogene, isologe) Transplantation: Spender und Empfänger besitzen genetisch identisches Erbgut (eineiige Zwillinge).
 - Allogene (homogene, homologe) Transplantation: Spender und Empfänger gehören derselben Gattung an, haben aber unterschiedliches Erbgut.
 - Xenogene (heterogene, heterologe) Transplantation: Spender und Empfänger gehören unterschiedlichen Gattungen an (Mensch und Tier).

1.2 Immunologisches „Privileg“ des vorderen Augenabschnittes

Die immunologische Sonderstellung der Hornhaut resultiert aus mehreren Faktoren. Sie ist normalerweise avaskulär, hat eine recht geringe Zellzahl und keine Lymphgefäße. Das Auge hat eine Blut-Retina-Schranke und eine Blut-Kammerwasserschranke, welche die passierenden Blutbestandteile selektieren. So haben es immunkompetente Zellen schwer, an das

Transplantat zu gelangen und es als fremdes Gewebe zu identifizieren. Außerdem sind im transplantierten Gewebe nur wenige antigenpräsentierende Langerhanszellen vorhanden, die eine direkte Immunantwort geben könnten.

Ein weiterer wichtiger Aspekt des Immunitätsprivilegs ist das ACAID, welches für Anterior Chamber Immune Deviation steht. Die normalen Immunreaktionen der Augenvorderkammer unterscheiden sich von anderen Organen/Körperregionen, indem ein aktiver Prozess antigenspezifischer, immunsuppressiver Effekt nach dem Einbringen eines Fremdantigens in die Augenvorderkammer stattfindet [47][51]. Trotz dieses Privilegs gibt es immer wieder immunologische Reaktionen, welche weiterhin minimiert werden sollen. Dazu gehört das Matchen von Transplantaten, was bedeutet, dass HLA-Antigene untersucht und bestmöglich zwischen Spender und Empfänger abgestimmt werden. Diese Resultate in der Hornhauttransplantation werden aktuell unterschiedlich bewertet, deuten aber in monozentrischen Studien auf einen Erfolg hin [46][50].

1.3 Indikationen für eine Keratoplastik

Zur optischen Rehabilitation bei Hornhauterkrankungen wird die KP bei folgenden Indikationen eingesetzt [124]:

- Hornhauterkrankungen mit Ausgang vom Endothel
- Primäre Erkrankungen: Fuchssche Endotheldystrophie
- Sekundäre Erkrankungen: Bullosa nach intraokularen Eingriffen oder nach protraumiertem Glaukomanfall
- Hornhauterkrankungen mit Beteiligung des Stromas
- Keratokonus
- Hornhauterkrankungen mit Beteiligung des Epithels
- Bröckelige, gittrige Dystrophie
- Hornhautnarben
- Nach Herpes-simplex Virus-Keratitis oder anderen Hornhautinfektionen
- Nach scrophulöser Keratokonjunktivitis (Phlyktaenulosa)
- Nach Trauma/Verätzungen/Verbrennungen

Interessant sind die unterschiedlichen Indikationen für KP weltweit. So unterscheiden sich die jeweiligen Statistiken der USA, Australien und der beiden aus Deutschland deutlich (Tabelle 1). Dieses hängt wahrscheinlich mit den unterschiedlichen Schwerpunkten der jeweiligen Kliniken zusammen, genau wie mit dem in den je-

weiligen Ländern vorhandenen Gesundheitssystem. Besonders auffällig ist der Zuwachs an KP nach bullöser Keratopathie. Die beiden in Deutschland häufigsten Indikationen für eine Hornhauttransplantation und nachfolgend Kontaktlinsenanpassung werden vorgestellt.

1.3.1 Keratokonus (KK)

Der Keratokonus gehört mit zu den häufigsten Keratoplastik-Indikationen mit den besten Erfolgsaussichten. Das Durchschnittsalter der Keratokonus-Patienten liegt nach Pramanik et al bei 33,7 Jahren [143], nach Böhringer und Reinhard bei Erstkeratoplastiken bei 39,9 Jahren, bei Rekeratoplastiken bei 49,9 Jahren. Laut CLEK-Studie [144] wurde nach 8 Jahren Beobachtungszeit bei 12% von 1.065 beobachteten Patienten einseitig und bei 2,5% beidseitig eine PKP notwendig. Als Hauptfaktoren für die PKP wurden folgende Faktoren herausgearbeitet:

- 33% bei Visus kleiner 0,5 mit KL, damit geringere Lebensqualität.
 - 28% bei zentralen Radien größer als 52dpt (steiler als 6,5mm).
 - 24% bei Augen mit Narbenbildung, speziell bei zu flach angepassten KL.
 - 15% bei Patienten unter 40 Jahren.
- Mit einem Visus von 0,5 und besser bei

73,2% nach mindestens 20 Jahren sowie einem klaren Transplantat-Überleben von 85,4% nach 25 Jahren wird von Pramanik et al die für diese junge Patientengruppe so wichtige langfristig positive Prognose der PKP und gute visuelle Rehabilitation bestätigt [143].

Keine KL mehr tragen zu müssen gehört nach Smiddy et al zusätzlich zur Teilmotivation für eine PKP [36]. Da laut Böhringer et al durchschnittlich 27% der KK-Patienten auch nach der PKP wieder mit einer KL versorgt werden müssen und die Patientenzufriedenheit nach der PKP mit der Notwendigkeit einer präoperativen KL-Versorgung signifikant sinkt, ist es wichtig die KK-Patienten mit guter Sehschärfe zu identifizieren und sie noch pro KL zu beraten [123]. Mit viel Erklärungsaufwand und Einfühlungsvermögen kann in diesen Fällen meist erfolgreich eine Kontaktlinse angepasst werden.

Häufig in der Literatur beschriebene Kontaktlinsenunverträglichkeiten könnten ihre Ursache in mangelnder Anpassetechnik haben. So war eine KP-Indikation in den USA schon bei zentralen Hornhautradien unter 7mm gegeben. Das bedeutet, dass nach der in Deutschland genutzten 4-stufigen Keratokonuseinteilung schon ab Keratokonusstadium 2 transplantiert wurde (Bild 2).

| Indikation | Australien | USA | Deutschland (nach Cursiefen) | Deutschland (nach Reinhard) |
|-----------------------------|------------|---|------------------------------|---|
| Keratokonius | 31 % | 15,1 % | 21 % | 26 % |
| Bullöse Keratopathie | 27 % | 19,8 % | 17 % | 22,5 % sekundäre Endothelerkrankungen (allgemein) |
| Rekeratoplastik | 19 % | 11, 2 % | 16 % | 10,3 % |
| Dystrophie | 6 % | 13,9 % (primäre wie Fuchssche Endotheldystrophie) | 17 % | 30 % (Fuchssche Endotheldystrophie) |
| Herpes | 5 % | <2,5 % | k.A. | 12,3 % |
| Narben | 3 % | <2,5 % | 20 % | k.A. |
| Ulcus | 2 % | <2,5 % | 5 % | k.A. |
| Sonstiges | 5 % | 10 % | 4 % | k.A. |

Tabelle 1: Indikationen aller in Deutschland, Australien und USA durchgeführten Keratoplastiken, modifiziert nach Angaben von [1][2][3].

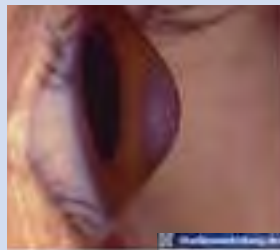


Bild 2: Keratokonus im Profil. Foto: Hecht Contactlinsen

Unten: Keratokonus-Stadieneinteilung inklusive Videokeratometrie aus dem Oculus-Keratographen.

| Stadium | Min. Kerat. | Max. Kerat. | Strom. | Strom. | Strom. | Strom. | Strom. | Strom. | Strom. | Strom. | Strom. | Strom. | Strom. | Strom. | Strom. | Strom. | Strom. | Strom. | Strom. | Strom. |
|---------|-------------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 | 40.00 | 50.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | 50.00 | 60.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 3 | 60.00 | 70.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 4 | 70.00 | 80.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |



Bild 3: Fuchssche Endotheldystrophie mit Zeiss Visante.



Bild 4: Schematisch dargestellte mögliche Unzulänglichkeiten der Trepanation.



Bild 5: Zustand nach PKP mit doppelt fortlaufender 10mm Nylon Kreuzstich-Naht mit jeweils 8 Einstichen nach Hoffmann [138].

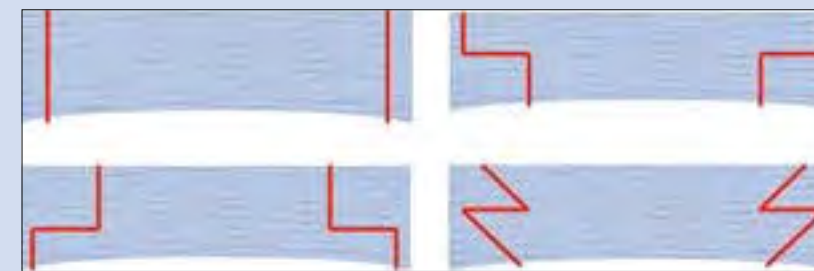


Bild 6: Dreidimensionale Schnittmuster bei PKP mit dem Femtosekundenlaser. Links oben: Herkömmliches Schnittmuster. Links unten: Top hat, Rechts oben: Mushroom; Rechts unten: ZickZack. Foto: Reinhard T., unpublizierter Vortrag Freiburger Augenärzteabend 6-2009

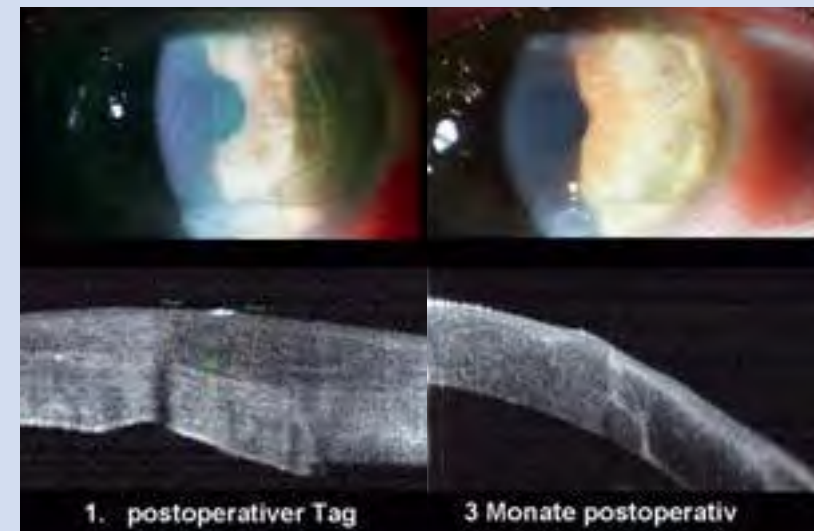


Bild 7: Femtosekundenlaser-assistierte PKP: Top hat in der Spaltlampen-Übersicht und im Querschnitt der Pentacam am 1. postoperativem Tag und nach 3 Monaten postoperativ. Foto: Reinhard T., unpublizierter Vortrag Freiburger Augenärzteabend 6-2009

Liu et al und Buzard konnten außerdem keine Unterschiede im Operationsergebnis finden – egal ob früh oder spät in der KK-Erkrankung operiert wurde [37][56]. So ist beim Keratokonus im fortgeschrittenem Stadium kein höheres Risiko für eine präoperative Irregularität gegeben. Interessant ist laut Böhringer und Reinhard bei zentral liegendem Keratokonus ein spezielles Immunprivileg. Die Abstoßgefahr nach Re-Keratoplastik erhöht sich nicht analog zu der bei Fuchsscher Endotheldystrophie oder Bullösen Endotheldegenerationen. Die Inzidenz von Abstoßungen ist auch ohne systemische Immunsuppression nicht höher als bei Primäreingriffen. Dies könnte an einer jüngst nachgewiesenen Erhöhung von immunsuppressiven Zytokinen wie TGF- β 2 liegen. Dieses bewirkt eine Art antiinflammatori-

sches Milieu im Kammerwasser. Dessen Konzentration im Kammerwasser ist im Vergleich zur Fuchsschen Endotheldystrophie verdoppelt [2].

1.3.2 Fuchssche Endotheldystrophie (F)
Patienten mit der autosomal-dominant vererbten Fuchsschen Endotheldystrophie stellen nach Reinhard den größten Anteil der KP und sind durchschnittlich 71.9 Jahre alt [2]. In der 3. bis 4. Lebensdekade verändern sich die Endothelzellen krankhaft. Sie sind nicht mehr in der Lage, die für die Klarheit der Cornea notwendige Wasserpumpe aufrecht zu erhalten. Eine Quellung der Hornhaut mit späterer Eintrübung ist die Folge. Zu Beginn der Erkrankung können noch wasserentziehende Medikamente gegeben werden. Reichen diese nicht mehr aus, ist

die KP die einzige visuelle Rehabilitationsmöglichkeit (Bild 3).

1.4 Patienteninformation und Vorbereitung

Für den Operationserfolg und das Erreichen des Patientenanspruchs ist die gute Aufklärung unerlässlich. So ist es sinnvoll den Operations- und Heilungsablauf gut zu kennen. Auf der Homepage der meisten Kliniken, welche transplantieren, wird eine Patienteninformation bereit gehalten wie in dem folgenden beispielhaften Link: http://www.uniklinik-freiburg.de/augen_klinik/live/homede/hbe.html.

1.5 Operationstechniken

Die unterschiedlichen Indikationen, welche zur KP führen sowie die unterschiedlich betroffenen Hornhaut-Schichten sind

im Wesentlichen die Ursache für unterschiedliche Operationstechniken gepaart mit technischen Neuentwicklungen. Der Operateur ist immer in dem Spannungsfeld, für seine Patienten die beste Technik herauszufinden, um eine gute sowie möglichst schnelle Heilung und visuelle Rehabilitation bei gleichzeitig effektiver Operationstechnik zu erzielen. Grundsätzlich stellt sich somit auch die Frage, ob lamellieren oder perforieren bei der KP die bessere Lösung ist. Lamelläre Techniken können genutzt werden, um nur bestimmte Schichten der Hornhaut zu ersetzen. Mit der Deep Anterior Lamellar KP (DALK) und der automated Descemet Membran Endothelial KP (aDMEK) sind neue Techniken in der Anwendung, welche intensiv diskutiert werden im Hinblick auf eventuelle immu-

nologische Vorteile sowie in Schnelligkeit und Qualität der visuellen Rehabilitation im Vergleich zum Goldstandard, der perforierenden KP.

1.5.1 Perforierende KP (PKP)

„State of the art“ der Operationstechniken ist die PKP, welche seit 100 Jahren etabliert und weiter entwickelt wurde. Die Techniken reichen vom Handtrepan über das geführte Trepanationssystem (GTS, Polytex), dem Excimerlaser oder aktuell dem Femtosekundenlaser. Fast alle bestehenden Studien, die die Kontaktlinsen-Anpassung nach KP behandeln, beinhalten die PKP als Operationstechnik. Vorteile sind die lange Erfahrung sowie Sicherheit mit der PKP. Im Verhältnis zu lamellären Techniken ist die Operation schnell durchführbar und die visuellen Er-

gebnisse sind in der Regel sehr gut, da durch die Transparenz des Transplantats im Bereich der optischen Achse postoperativ durch Wundheilungsprozesse keine Einschränkungen bestehen.

Nachteilig sind die teilweise hohen Astigmatismen und die refraktive wie topographische Veränderung, welche bei jedem Fadenziehen statt findet. Weiterhin ist ein chronischer Endothelzellverlust nach der PKP, der diese zu einer zeitlich begrenzten Lösung über meist maximal 20 bis 30 Jahre werden lässt.

Ursachen für einen hohen postoperativen Astigmatismus sind in der Regel Unzulänglichkeiten der Trepanation (Dezentrierung, vertikale Verkippung), das Einnähen des Transplantats (horizontale Torsion durch Asymmetrie der 2. Situationsnaht, ungleiche Spannung der fortlaufenden Nähte), der Astigmatismus des Spenders und das Heilungsverhalten der Wirtshornhaut (Bild 4).

Laut Seitz et al haben unterschiedliche Transplantatdurchmesser folgende Auswirkungen: Kleinere Transplantate (ca. \varnothing 7mm) scheinen flachere Radien zu produzieren als durchschnittlich 8.0mm große Transplantate. Ebenfalls haben sie höhere Irregularitäten, welche sich nach dem Fadenziehen eher wieder zu regulieren scheinen. Größere Transplantate ergeben laut Reinhard und Jähne et al [133] geringere Astigmatismen, haben dafür aber höhere immunologische Risiken.

1.5.1.1 Mit dem Handtrepan – mechanisch

Der Handtrepan war früher das Standard-„Instrument“, wird heute aber laut Maier und Reinhard nur noch bei ausgewählten Indikationen wie sehr großen oder sehr kleinen Trepanationsdurchmessern, KP à chaud (Not-OP am offenen Auge), Autorotations-KP oder Limbo-KP genutzt [136]. Die Trepanation erfolgt an der Spenderhornhaut vom Endothel her, beim Empfänger vom Epithel. Durch die unterschiedliche Trepanationsrichtung sind „Ungenauigkeiten“ vorprogrammiert. Eine Disparität von 0.2mm zugunsten der Spenderhornhaut wird für sinnvoll erachtet, um diese „Ungenauigkeiten“ klein zu halten. Die Vorteile des Handtrepan liegen in der schnellen und unabhängigen Nutzbarkeit.

1.5.1.2 Mit einem geführten Trepanationssystem – mechanisch

Geführte Trepanationssysteme wie nach

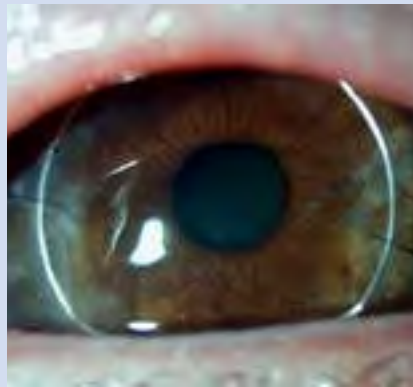


Bild 8: Intrastromaler Hornhautring
Foto: Universitäts-Augenklinik Freiburg



Bild 9: DSAEK nach der OP in der Übersicht
Foto: Universitäts-Augenklinik Freiburg
Unten: DSEK im Zeiss Visante



Krumeich (GTS) versprechen geringere postoperative Astigmatismen im Vergleich zum Handtrepan. Spender- und Wirtshornhaut werden von der gleichen Seite – epithelial – bearbeitet. Schnittwinkel und -flächen können so besser aufeinander abgestimmt werden [5]. In der Regel wird die doppelt fortlaufende 10mm Nylon Kreuzstich-Naht nach Hoffmann genutzt [138] (Bild 5). Ein Zentrum, in dem diese Operationstechnik derzeit angewendet wird, ist die Universitäts-Augenklinik Freiburg.

1.5.1.3 Mit dem Excimerlaser (193nm) – nicht mechanisch

Der Excimerlaser wird seit 1989 genutzt. Es sollen die postoperativen Astigmatismen reduziert werden, was laut Maier und Reinhard bei Keratokonus-Patienten zu gelingen scheint [136]. Ob eine weitere Reduzierung im Vergleich zum geführten Trepanationssystem möglich ist, wie es von Seitz et al postuliert wird [4], ist strittig. Für die nicht-mechanische Trepanation mit Excimerlaser sind die Universitäts-Augenklinik Erlangen/Nürnberg, die Universitäts-Augenklinik Homburg/Saar sowie die Universitäts-Augenklinik Freiburg

weltweit die einzigen Zentren. Es können beim Spender wie beim Wirt 8 Kerben bzw. Zähnchen gelasert werden, damit die erste Naht symmetrisch positioniert werden kann. Vorteile sollen eine geringere horizontale Torsion und damit etwas weniger irreguläre Astigmatismen sein.

1.5.1.4 PKP mit dem Femtosekundenlaser

Der Einsatz des Femtosekundenlasers erlaubt nach Maier und Reinhard bei der PKP nicht nur gerade, sondern auch profilierte Trepanationsschnittkanten wie den „Top hat“ oder „Mushroom“ (Bild 6), welche zu einer stabileren Wundheilung und damit zu einer früheren Fadenentfernung führen können [136]. Ziel ist auch ein geringerer postoperativer Astigmatismus. Der Top hat hat hervorragende intraoperative Verhältnisse mit bester Wundheilung, es wird mehr Endothel transplantiert, er scheint aber im Verhältnis zum Mushroom durch den kleineren oberen Transplantatdurchmesser höhere irreguläre Astigmatismen zu erzeugen. Die Mushroom-Technik dagegen kann Stufen zwischen den Fadenarkaden erzeugen, bakterielle Infiltrate und Salbendepots im

Interface und eventuell ein Ödem oberhalb des Interface (Bild 7).

Bisher sind nur kleine Studiengruppen mit geringer Patientenzahl und begrenzter Nachbeobachtungszeit durchgeführt worden. In der Zukunft wird noch zu klären sein, welche Nahttechnik optimal ist, welche Disparität zwischen äußerem und innerem Durchmesser bei der Präparierung die beste ist und welches die optimalen Indikationen für die jeweiligen Schnitt-Techniken sind.

1.5.1.6 PKP mit intrastromalem Hornhautring

Durch den intrastromalen Hornhautring, der aus Kobalt-Chrom-Molybdän-Titan-Legierung besteht, soll die Wunde zwischen Transplantat und Wirtshornhaut stabilisiert werden, um eventuell ungleiche Zugkräfte der Nähte besser aufzufangen und damit einen geringeren Astigmatismus zu liefern. Der Ring hat einen Durchmesser von 8mm und eine Dicke von 0.15mm (Bild 8).

Das Endresultat scheint nicht vielversprechend. Der Astigmatismus ist ähnlich hoch wie in der Gruppe ohne Ring, doch es treten spontane Fadenrupturen als Komplikationen auf [5].

1.5.1.7 Fazit PKP

Mechanische wie nicht-mechanische Systeme machen immunologisch gesehen keinen Unterschied. Es wurden auch in vergleichenden Studien keine Unterschiede in Bezug auf Lebensqualität oder Kosteneffizienz gefunden [24]. Wichtig erscheint die Vertrautheit des Operateurs mit der jeweiligen Technik, so dass best mögliche Resultate für den Patienten erzielt werden.

Das Einbringen des intrastromalen Ringes scheint eher mehr Probleme mit den Fäden nach sich zu ziehen, aber keine immunologischen Vorteile und keinen geringeren Astigmatismus. Für die Zukunft könnte die Trepanation mit dem Femtolaser noch Verbesserungen zeigen speziell für eine stabilere Wundheilung durch profilierte Trepanationsschnittkanten, was auch zu einer früheren Fadenentfernung und damit zu einer schnelleren visuellen Rehabilitation führen könnte.

1.5.2 Lamelläre Keratoplastik (LKP)

Grundgedanke der LKP ist es, möglichst nur an der Schicht zu arbeiten, in der die tatsächlich geschädigten Zellen zu finden sind. In früheren Zeiten waren die optischen Ergebnisse dieser Techniken limi-

tiert, da immer dann optische Barrieren auftauchen, wenn die Stromalamellen von Spender und Empfänger aufeinandertreffen, was durch die Möglichkeiten der damaligen Operations- und Präparations-technik nicht zu vermeiden war.

Neuere Operationstechniken haben die letzten 10 Jahre nun die lamellären Techniken wieder zu einer interessanten Alternative zum „Goldstandard“ der PKP gemacht.

Grob einzuteilen sind die LKP in die anterior lamellären (früher ALKP, heute DALK) und die posterior lamellären KP (PLKP). Die modernen lamellären Techniken nun im Einzelnen:

1.5.2.1 Deep anterior lamellar Keratoplasty (DALK)

Die DALK hat als Ziel, das Endothel sowie die Descemetmembran zu erhalten und alle anderen Schichten zu ersetzen. Dies macht Sinn bei tiefreichenden Stromarben, Dystrophien und Ektasien wie dem Keratokonus, bei denen das Endothel noch komplett in Ordnung ist. So könnte ein deutlich längeres Transplantatüberleben gewährleistet werden. Könnte nun das eigene Endothel stehen bleiben, erhofft man eine geringere immunologische Reaktion und eine längere Überlebensdauer des Transplantates, da der kontinuierliche Endothelzellverlust geringer sein könnte. Bahar et al wiesen eine höhere Endothelzell-dichte im Vergleich zur PKP nach bei allerdings signifikant erhöhtem allgemeinem Operationsrisiko [25].

Eindeutiger Nachteil dieser Technik ist der hohe Aufwand der Präparierung über der Descemetmembran. Wird nicht „sauber“ präpariert, bleiben Zellreste und damit kann sich das Interface negativ auf den späteren Visus auswirken. Bei „zu guter“ Präparierung kann es zu Einrissen der Descemetmembran und damit als Folge in bis zu 60% eine perforierende KP notwendig werden [1]. Unterschiede im postoperativen Astigmatismus im Vergleich zur PKP haben sich nicht bestätigt.

1.5.2.2 Descemet Stripping Automated Endothelial KP (DSAEK)

Bei dieser posterioren lamelläre KP handelt es sich um die automatisierte Weiterentwicklung der DSEK (nicht automatisiert) oder das „Vorgängermodell“ die DLEK (deep lamellar endothelial KP). Die KP-Technik selbst ist aufwändiger als bei der PKP. Beim Patienten wird zuerst die Descemetmembran inklusive krankem

Endothel entfernt. Anschließend wird ein Spenderscheibchen, das aus einer 100–150µm dünnen Stromallamelle mit Descemet und Endothel besteht, in die Vorderkammer implantiert, ausgebreitet und durch eine Luftfüllung der Vorderkammer am Wirtsstroma fixiert.

Die DSAEK kommt in Frage für Patienten mit bullöser Keratopathie bei Pseudophakie oder Aphakie wie für Patienten mit Fuchsscher Endotheldystrophie [6].

Vorteil dieser Operationstechnik ist nach Reinhard, dass es nur ein minimalinvasiver Eingriff in Tropf- oder Retrobulbäranästhesie mit geringer Astigmatismusinduktion ist. Es resultiert eine schnelle Rehabilitation des Patienten bei gleichzeitig nur geringfügig schlechterem Visus als bei PKP. Nachteil ist der massive Endothelzellverlust [140].

Offen ist, ob die visuelle Rehabilitation langfristig positiv verläuft. Weiterhin ist die Ursache des hohen Endothelzellverlustes zu klären.

1.5.2.3 Descemet Membrane Endothelial KP (DMEK)

Ham et al führten 2008 die DMEK als neueste posteriore lamelläre KP-Technik ein [141]. Die Präparierung des Transplantates besteht rein aus Descemetmembran und Endothel ohne Stroma. Ein noch besserer Visus sowie eine noch schnellere Rekonvaleszenz als bei der DSAEK sind das Resultat.

1.5.3 Fazit perforierende zu lamelläre KP

Welche Keratoplastik-Technik für den jeweiligen Patienten am sinnvollsten ist, hängt eindeutig mit der KP-Indikation zusammen. Sicher ist sich die Fachwelt darin, dass für endotheliale Erkrankungen wie der Fuchsschen Endotheldystrophie oder Endotheldekompensationen bei Pseudophakie oder Aphakie die aDMEK durch ihren präoperativ deutlich geringeren Astigmatismus und ihre extrem schnelle Rehabilitation zukunftsweisend sind, auch wenn der Endothelzellverlust derzeit viel größer ist als bei der PKP.

Vergleicht man die anteriore lamelläre KP und davon die modernste Technik (DALK) mit der PKP, so ist die Entscheidung nicht eindeutig. Die Visusqualität für den Patienten ist besser bei der PKP als bei der DALK [7], zumindest wenn stromale Anteile auf der Descemetmembran verbleiben. Die Operation dauert länger und hat in vielen Fällen durch eine Ruptur eine PKP zur Folge.

Bei Erstkeratoplastiken speziell bei Keratokonus ist das Immunrisiko sehr gering, so dass eine PKP keinen Nachteil im Vergleich zur DALK aufweist.

1.6 Fadenmanagement bei der PKP

1.6.1 Fadenlegung

Je nach Klinik und Operateur werden unterschiedliche Techniken, Fadenstärken und Fadenmaterialien genutzt.

An der Universitäts-Augenklinik Freiburg sowie anderen auf die PKP spezialisierten Kliniken wird das Transplantat anfangs mit vier Einzelknüpfnähten bei 3, 6, 9 und 12 Uhr fixiert. Danach wird eine doppelt fortlaufende gekreuzte diagonale Naht nach F. Hoffmann mit 2 mal 8 Stichen gelegt [138]. Vorteil dieser Technik ist, dass klaffende innere und äußere Wundränder sowie postoperative Fadenkomplifikationen weitgehend vermieden werden

1.6.2 Zeitpunkt und Management der Fadenentfernung

Der Fahrplan an der Universitäts-Augenklinik Freiburg nach PKP mit dem geführten Trepan sieht nach Stand 2007 wie folgt aus: Alle intraoperativen Fäden werden während der Operation entfernt. Einzelknüpfnähte werden eventuell schon bei der 1. Kontrolle nach 6 Wochen entfernt, bei Lockerung sofort und ansonsten nach Astigmatismus-Ausmaß. Liegt die Einzelknüpfnaht im steilen Meridian, so wird der Astigmatismus nach der Entfernung geringer.

Der erste fortlaufende Faden wird frühestens nach 4 Monaten, der 2. fortlaufende Faden in der Regel frühestens nach 18 Monaten entfernt. Bei geringem Astigmatismus und gutem Visus oder guter Kontaktlinsenverträglichkeit werden die Fäden so lange wie möglich belassen.

Sollte das Epithel offen sein, werden lokale antibiotische Medikamente wie Floxal Augensalbe (AS) 5x für 1–2 Tage verschrieben. Nach der Entfernung von Fäden wird über 6 Wochen nach Epithelschluss DEXA-EDO Augentropfen (AT) ausschleichend verabreicht. Das refraktive Endergebnis nach dem Fadenentfernen scheint nicht vom Zeitpunkt der Fadenentfernung abzuhängen [24][26][53].

1.6.3 Entfernung der Fäden und topographische Veränderungen

Seitz et al fanden bei Keratokonus (KK) signifikant kleinere (steilere) Radien als bei Fuchsscher Endotheldystrophie mit liegenden Fäden. Nach dem Fadenziehen



Bild 10: Links: Zustand nach PKP mit doppelt fortlaufender 10mm Nylon Kreuzstich-Naht mit jeweils 8 Einstichen (nach Hoffmann) [138], Mitte: Transplantat (TP) nach Entfernen des 1. fortlaufenden Fadens, Rechts: Zustand nach Entfernen beider Fäden.
Fotos: D. Muckenhirn, S. Lohrengel

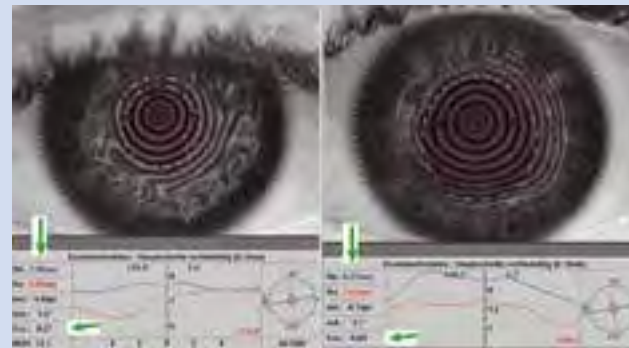


Bild 11: Topographieaufnahmen (Übersichtsdarstellung) im Oculus-Keratograph. Rechts: mit 2 liegenden Fäden, links: TP ohne Fäden.

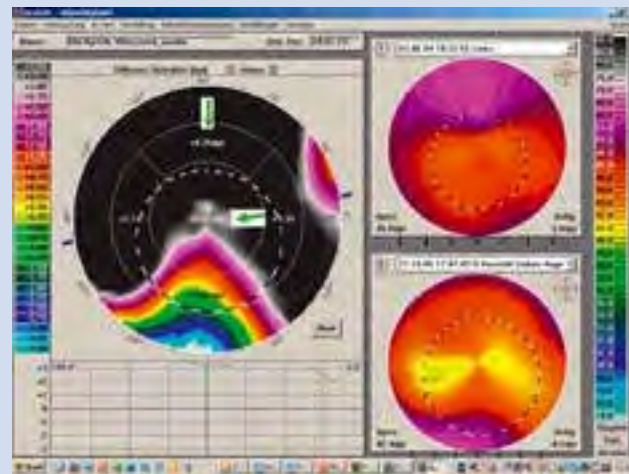


Bild 12: Refraktiver Vergleich mit 2 liegenden Fäden und nach Entfernen der Fäden im Oculus Keratograph.

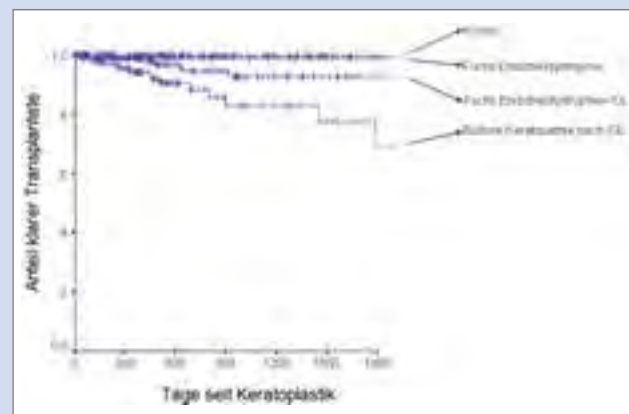


Bild 13: Prognose für ein klares Transplantatüberleben bei PKP (nach Reinhard et al [137]).

egalisierte sich dieser Unterschied (Abflachung bei KK und Versteilung der Radien bei Fuchsscher Endotheldystrophie).

Kohnen et al fanden eine Zunahme, Langenbacher et al dagegen eine Regularisierung der topographischen Irregularität nach der Fadenentfernung [146][147].

Ein Beispiel aus der Praxis (Bild 11) zeigt, wie wichtig die Kontrolle des Transplantates nach jedem Fadenentfernen ist. Veränderungen von 8dpt sind keine Seltenheit.

Die großen Veränderungen zentral und peripher lassen sich besonders gut in der refraktiven Vergleichsdarstellung zeigen (Bild 12).

1.6.4 Veränderung des sphärischen Wertes durch Fadenentfernung

Lin et al fanden sphärische Veränderungen von -3dpt bis +2dpt, ohne auf die PKP-Indikation einzugehen. Differenziert nach der PKP-Indikation wurden vor der Fadenentfernung bei PKP nach Fuchsscher Endotheldystrophie höhere hyperope Dioptrie-Werte gefunden als bei Keratokonus [53].

1.6.5 Veränderung des postoperativen Astigmatismus nach der Fadenentfernung

Böhringer et al sowie Seitz et al konnten im Hinblick auf den refraktiven Astigmatismus keine Veränderungs-Tendenzen vor und nach dem Fadenziehen feststellen [123] [53], genau so wenig wie Lin et al. 58% der Astigmatismen verringerten sich, 42% erhöhten sich, wobei die negativen Ausreißer größer waren als die erwünschten Astigmatismusveränderungen [27]. Davis et al bemerkte eine Zunahme des Astigmatismus nach dem Fadenziehen [26].

Judge et al fanden hohe Differenzen zwischen dem refraktiven (2.95dpt) und dem Hornhaut-Astigmatismus (5.43dpt). Diese signifikante Differenz verschwindet nach dem Fadenziehen [39]. Weiterhin werden zur Verringerung des Astigmatismus im steilen Meridian selektiv Fäden entfernt. Die Ergebnisse zeigen sich nicht einheitlich [38].

1.6.6 Einfluss der Fadenentfernung bei PKP auf den Visus

Schwankungen und Veränderungen im Visus ergeben sich immer durch das Entfernen eines oder beider Fäden.

Seitz et al ermitteln im Median einen Visus nach PKP bei Keratokonus von 0.86 nach

und einen Visus von 0.68 (Median) vor dem Fadenziehen [53].

1.7. Lebensdauer eines Transplantates

Neben der visuellen Rehabilitation ist die Frage nach der Zeit des klaren Transplantatüberlebens für den Patienten wichtig.

Obwohl die Hornhaut aufgrund ihrer Avaskularität, ihrer geringen Anzahl an antigenpräsentierenden Zellen und aufgrund der vorderkammerassoziierten Immundeprivation (ACAID) ein durchaus für die Transplantation privilegiertes Gewebe ist, bestehen folgende Risiken für das klare Transplantatüberleben:

- Immunreaktionen.
- Chronisches Endothelzellversagen.
- Epithelheilstörungen speziell bei Limbusinsuffizienz, Atopien und Dystrophien.
- Rezidivierende Grunderkrankungen wie Herpes.
- Intraokularer Druckanstieg.

25 Jahre nach der Operation prognostizieren Pramanik et al für PKP bei Keratokonus ein klares Transplantatüberleben von 85.4% [143].

1.7.1 Präoperative Risikoeinschätzung

Die präoperative Risikoeinschätzung stellt die Zusammenfassung bisheriger Erfahrungen mit unterschiedlichen KP-Indikationen sowie Voraussetzungen des Patienten dar (Tabelle 2).

Die Normalrisiko-KP zeichnet sich nach Reinhard et al durch eine mittelfristig hervorragende Prognose des klaren Transplantatüberlebens mit >90% nach 5 Jahren aus (Bild 13).

Diese Prognose reduziert sich bei Hochrisiko-KP, deren Kriterien noch nicht standardisiert sind.

1.7.2 Die Prognose der Re-Keratoplastik

10.3% Erst-Rekeratoplastiken wurden bei Böhringer und Reinhard im Zeitraum 1986–2006 analysiert. Basis waren 2073 Ersteingriffe an der Universitäts-Augenklinik Düsseldorf. Das Risiko hinsichtlich einer Abstoßreaktion erhöht sich um durchschnittlich 50%, allerdings stark abhängig von der Indikation zur PKP [2].

Aus dem australischen Keratoplastikregister beträgt die abgeleitete Re-PKP Überlebensdauer nur 60% nach 5 Jahren, in anderen Veröffentlichungen sogar noch weniger mit 40–50%. Bei diesen schlechten Prognosen scheinen allerdings die Hochrisiko-PKP überrepräsentiert. Allein bei Keratokonus scheint es keine erhöhte Ab-

stoßgefahr der Re-PKP im Verhältnis zur Erstkeratoplastik zu geben, während bei der Fuchsschen Endotheldystrophie und herpetischen Hornhautnarben eine Zunahme nach 5 Jahren von 11% und bei bullöser Endotheldegeneration (ursprünglich sekundärer Endotheldegeneration) sogar 24% beobachtet wurden. Hier scheint eine immer größer werdende Einschränkung des okulären Immunprivilegs zu entstehen.

1.7.3 Hauptrisikofaktoren für das klare Transplantatüberleben

Komplikationen bei der Keratoplastik wie Immunreaktionen, Epithelisierungsstörungen, Infektionen des Transplantates oder Rezidive der Grunderkrankung können intra- oder postoperativ jederzeit auftreten. Werden sie rechtzeitig erkannt, können sie meist ohne Beeinträchtigung der Prognose beseitigt werden.

1.7.3.1 Immunreaktion

Immunreaktionen sind die Hauptursache für ein Transplantatversagen mit einer Häufigkeit laut Seitz et al von 7.3% oder

nach DeNaeyer von 9 – 12%. Laut Reinhard et al sind 80% der Normalrisikopatienten 4 Jahre nach Operation ohne Immunreaktion [148]. Ein erhöhtes Risiko für Immunreaktionen liegen nach Reinhard und Reis bei Re-Keratoplastik, Keratoplastik à chaud, tiefen Wirtshornhautvaskularisationen, limbusnahen Transplantatpositionen und der Unmöglichkeit der Applikation topischer Steroide vor.

Die Abstoßreaktion kann einzelne oder mehrere Schichten der Hornhaut betreffen. Eine primäre Abstoßreaktion ist ab etwa 14 Tage nach der PKP bis über ein Jahr danach zu beobachten und vom Transplantatversagen zu differenzieren, welches durch den kontinuierlichen Endothelzellverlust entsteht. Durch die Operation des 2. Auges wird die Gefahr einer Immunreaktion nicht erhöht.

Irreversible Transplantatversagen werden in der neueren Literatur von 1.7% bis 13% angegeben.

Nachfolgend wird die morphologische Einteilung der Immunreaktionen, welche auch klinisch bewährt ist, vorgestellt:

| Gruppe | Präoperative Risikoeinschätzung | Beispiele | Klares Transplantatüberleben nach 5 Jahren | Anteil ohne Abstoßreaktion nach 5 Jahren |
|--------|--|---|--|--|
| 0 | Normalrisiko | Unkomplizierter Keratokonus, Fuchssche Endotheldystrophie | >90% | 77% |
| 1 | Erhöhtes Immunrisiko als einziger Risikofaktor | Unkomplizierte Re-KP; großes, limbusnahes TP; Kontraindikation gegen lokale Steroidapplikation; Limbo-KP bei Hornhautdystrophien, tiefe Vasularisationen in > 2 Quadranten, akute Entzündungen (KP à chaud) | 65% | 65% |
| 2 | Immunreaktion und Epithelheilstörungen | Endogenes Ekzem, Limbusstammzellinsuffizienz, rheumatische Keratitis | 30% | 44% |
| 3 | Immunreaktionen und infektiöse Rezidive | Herpes simplex Virus Keratitis und Amöbenkeratitis | 80% | 40% |
| 4 | Immunreaktionen und besondere Probleme | Bei Säuglingen und Kleinkindern | ?? | ?? |
| 5 | Bekanntes Glaucomproblem vor dem Eingriff | Glaucoma chronicum simplex; Sekundärglaucom | 45% | 70% |

Tabelle 2: Klares Transplantatüberleben 5 Jahre nach PKP in Abhängigkeit von der präoperativen Risikoeinschätzung [2] inklusive Hochrisiko-KP. Einteilung der Universitäts-Augenklinik Freiburg.

- **Epitheliale Abstoßung (1–10%)**
Erkennbar an fluoresceinpositiver Linie [52]. Vom Patienten selbst wird die Apoptosezone, welche sich innerhalb mehrerer Tage über das Transplantat bewegt, meist nicht bemerkt. Das Spenderepithel wird durch das Wirtsepithel ersetzt (Bild 14 links).
- **Subepitheliale Infiltrate (2–15%)**
Nummuliartige Veränderungen vorrangig im anterioren Stroma (Bild 14 rechts). Treten sie allein auf, sind sie nicht transplantatgefährdend
- **Stromale Immunreaktion (<2%)**
Akut einsetzend, kann sie alle Schichten der Hornhaut betreffen. Das Infiltrat beginnt am Transplantatrand und schreitet rasch nach zentral fort.
- **Endotheliale Abstoßung (bis >90%)**
Eine Präzipitatlinie aus Lymphozyten und zerstörten Spenderendothelien,

die scharf begrenzt ist, kann innerhalb weniger Tage über die Innenseite des Transplantates wandern. Sie wird als Khodadoustlinie bezeichnet. Resultat ist die Dekompensation des Endothels mit Stromaödem und Trübung (Bild 15 links).

- **Chronischer Endothelzellverlust**
Dieser wird von manchen Wissenschaftlern als eine Form der Immunreaktion betrachtet (s. 1.7.3.3).

63 bis 98,8% [46] der Abstoßreaktionen können erfolgreich behandelt werden, so dass kein Transplantatversagen resultiert [45]. Allerdings blieben nur 38.7% der Transplantate 3 Jahre postoperativ nach dem Auftreten einer oder mehrerer akuter endothelialer Immunreaktionen klar. Das Spenderalter, die Post-Mortem-Zeit, die Konservierungsdauer der Spenderhornhaut sowie die Operationstechnik scheinen keinen Einfluss auf das Entstehen von Immunreaktionen zu haben [46]. Subjektiv ist eine Abstoßungsreaktion für den Patienten in der Regel gut an Rötungen, Irritationen, Schmerzen und Photophobien sowie signifikanter Sehleistungsreduktion zu erkennen.

1.7.3.2 Vaskularisationen

Vaskularisationen (Bild 16) und Fadenlockerungen sind an möglichen Stimuli von Abstoßungsreaktionen überdurchschnittlich beteiligt [51].

1.7.3.3 Chronisches Endothelzellversagen

Bei allen PKP ist das chronische Endothelzellversagen eine der Hauptursachen für das spätere Transplantatversagen (Bild 15 rechts). Der Abfall der Endothelzellichte erfolgt exponentiell. Die Zeit, bis das Versagen stattfindet, ist abhängig von der anfänglichen Zelldichte, jedoch nicht prognostizierbar, da noch nicht genau die Zelldichte bekannt ist, in der das Endothel tatsächlich dekompensiert. 500 Zellen/mm² scheinen eine mögliche Grenze darzustellen [120].

Bei Keratokonus sind häufig lange klare Transplantatüberlebenszeiten bekannt, so dass hier – auch wegen der vielen jungen Patienten – besonders untersucht wird. Zelldichten von 695 ± 113.6 Zellen/mm² wurden von Zadok et al [10] gefunden, welche auch vermuten, dass zwischen 500 und 1000 Zellen/mm² ein Risiko für eine Dekompensation besteht und zwischen 300 und 500 Zellen/mm² das Risiko sehr hoch ist.

Reinhard et al untersuchten an großen Kohorten das chronische Endothelzellversagen differenziert nach unterschiedlichen ophthalmologischen Grunderkrankungen (Bild 17).

Der größte Verlust mit jährlich 29% ist bei der bullösen Endotheldegeneration zu finden. Ein Transplantatversagen ist hier somit am ehesten möglich. Bei einer Rekeratoplastik dieser Indikation beschleunigt sich der Zellverlust jährlich um 27.4% [2].

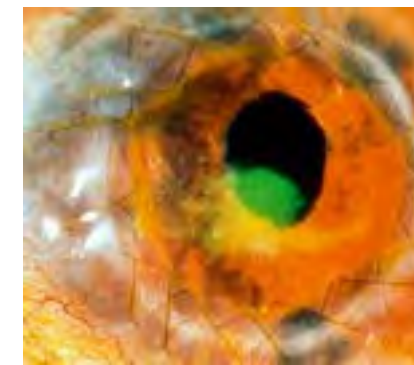


Bild 18: Einfache Epithelheilungsstörung. Foto: Universitäts-Augenklinik Freiburg



Bild 19: Herpesrezidiv nach PKP. Foto: Universitäts-Augenklinik Freiburg

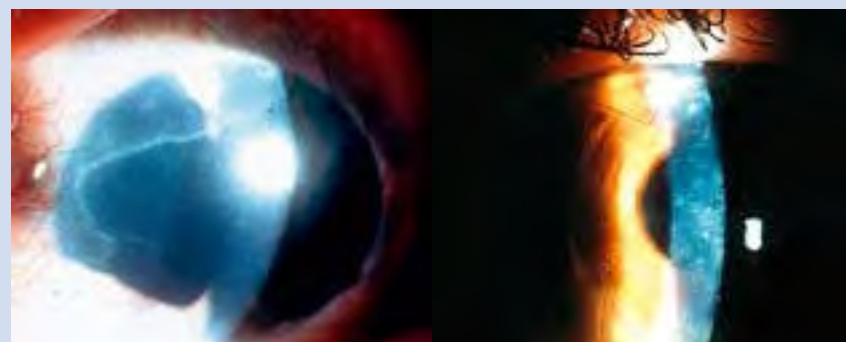


Bild 14: Seltene Arten der Immunreaktion Links: Khodadoustlinie epithelial; Rechts: Nummuliartige stromale Immunreaktion. Fotos: Universitäts-Augenklinik Freiburg

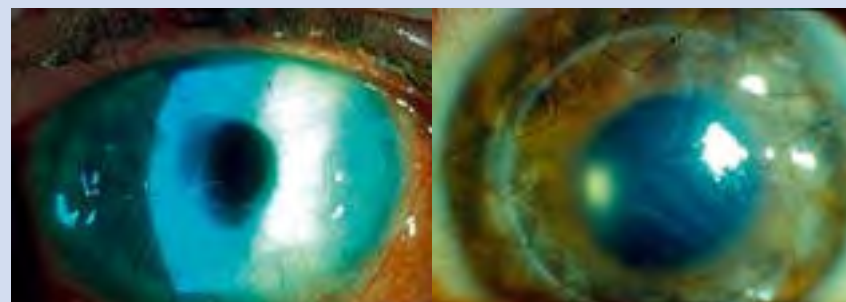


Bild 15: Links: Khodadoustlinie endothelial mit Ödem der unteren TP-Hälfte („akute“ Immunreaktion); Rechts: Transplantatversagen. Fotos: Universitäts-Augenklinik Freiburg



Bild 16: Vaskularisationen bei PKP. Foto: D. Muckenhirn

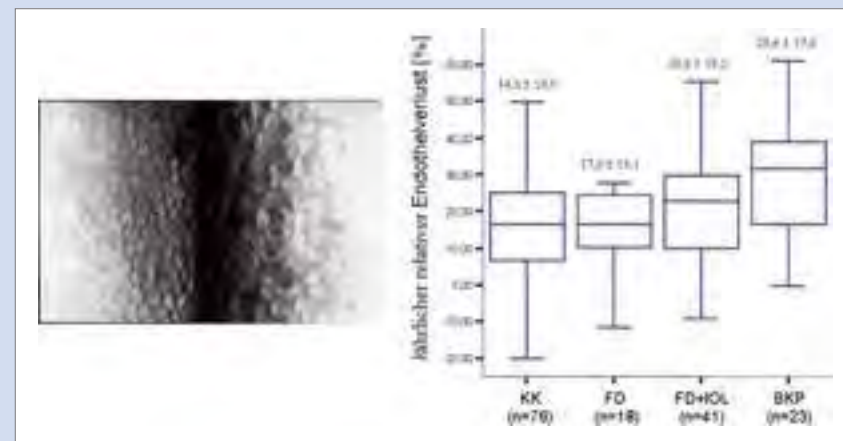


Bild 17: Links: Chronischer Endothelzellverlust. Auf der linken Seite 1552 Zellen 12 Monate postoperativ, auf der rechten Seite 784 Zellen 24 Monate nach PKP. Rechts: Jährlicher relativer Endothelzellverlust in % [11]. Foto: T. Reinhard

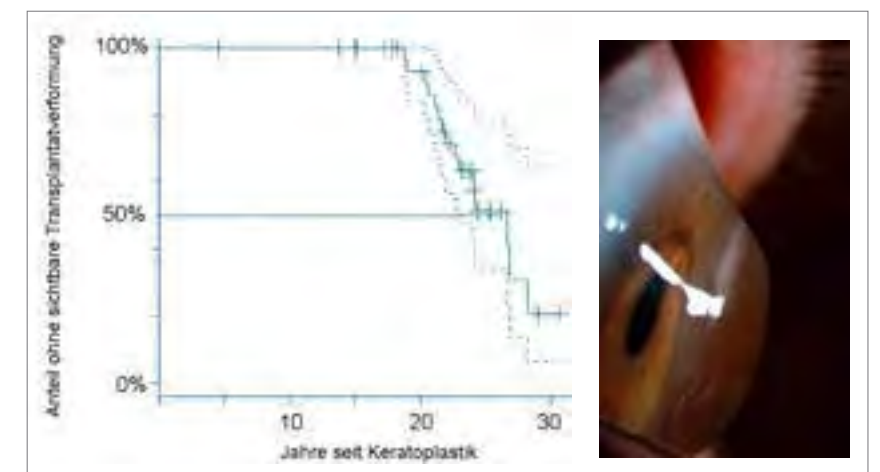


Bild 20: Links: Langzeitprognose nach PKP bei Keratokonus (Böhlinger D., Reinhard T.). Rechts: Keratokonus-Rezidiv im Profil. Foto: S. Lohrengel

Der Keratokonus und die Fuchssche Endotheldystrophie unterscheiden sich nur wenig mit 14% zu 17% relativem Endothelzellverlust.

In der Regel ist der Zellverlust bei jedem gesunden Menschen vom Alter abhängig. So ist der erste große Verlust von der Geburt bis zum Erwachsenenalter. Die Verlustrate beträgt 2.9% pro Jahr bis zum 14. Lebensjahr, danach fällt sie auf 0.3% pro Jahr ab. Von etwa 20 Jahren bis 50 Jahren bleibt die Zellzahl mit diesem 0.3%igen Zellverlust ungefähr stabil. Vom 60. Lebensjahr an nimmt der Zellverlust wieder zu. Patienten mit gesunden Augen, welche Kontaktlinsen tragen, haben einen jährlichen Zellverlust von 0.6% [21]. So werden prinzipiell bei einer KP für Erwachsene keine Altersbegrenzungen für den Spender gemacht. Erst bei Spendern, die älter als 65 Jahre sind, wurden kleine Unterschiede im Zellverlust nach 5 Jahren festgestellt. Insgesamt 69% (entspricht jährlich 13.8%) Zell-

verlust wurden für die Gruppe der bis 65-jährigen Spender und 75% (entspricht jährlich 15%) wurden für die 66–75-jährige Spendergruppe ermittelt [23].

1.7.3.4 Epithelheilungsstörungen

Schwerwiegende Epithelheilungsstörungen tauchen vor allen Dingen bei Limbusstammzellerkrankungen, Atopie und Dystrophien auf.

Einfache Epithelheilungsstörungen wie in Bild 18 lassen sich durch Absetzen der Steroide oder einer antibiotischen Prophylaxe in Kombination mit der Gabe von konservierungsmittelfreien Tränenersatzmitteln verbessern. Auch eine Verödung des Tränenpunktes bei trockenen Augen oder das Nutzen von therapeutischen Kontaktlinsen kann zur Heilung beitragen.

1.7.3.5 Rezidive der Grunderkrankung

Speziell bei Herpeserkrankungen kommt es zu Problematiken mit Immunreaktio-

nen, Rezidiven (Bild 19), Glaucom und Sicca und somit zu einer reduzierten Quote langfristig klaren Transplantatüberlebens.

Deutlich besser sieht es dagegen nach Keratoplastiken bei Keratokonus aus. Die Lebensdauer der Keratoplastik ist deutlich länger wie die Untersuchungen von Böhringer und Reinhard belegen. 36 Fälle mit Keratokonus-Rezidiv (Bild 20) wurden untersucht. Die Hornhautveränderungen traten vereinzelt nach 17 Jahren auf, 50% der Fälle hatten auch nach 24 Jahren noch keine sichtbaren Transplantatveränderungen.

1.7.3.6 Intraokularer Druckanstieg

20–30% der Bevölkerung sind Steroidresponder (<http://www.glaucomaworld.net>). Daher ist eine Beobachtung des Augeninnendruckes bei Patienten nach PKP sehr wichtig. Von vornherein glaucomatöse Augen sind separat zu betrachten, da die üblichen lokalen Immunsuppressiva nicht genutzt werden können. Diese würden das Glaucom oft weiter verschlechtern. Das Glaucom stellt eines der Haupt-Indikationen für ein Transplantatversagen dar. Die Grunderkrankung ist für das Risiko ausschlaggebend.

So haben laut Mistelberger Patienten mit Keratokonus ein geringes Risiko, während Patienten mit Dysgenesen des vorderen Augenabschnittes ein deutlich höheres Risiko für ein druckbedingtes Transplantatversagen haben [44].

1.8 Organspezifische Nachbehandlung

Unter organspezifischer Nachbehandlung sind die Medikament-Therapie sowie die Nachkontrollrhythmen zu verstehen. Diese richtet sich nach dem Patientenbefund und vor allem danach, ob es sich um eine Normalrisiko-PKP oder um eine Hochrisiko-PKP handelt.

1.8.1 Heilprozesse

Die Heilprozesse in der Hornhaut unterscheiden sich je nach betroffener Schicht und natürlicher Zellerneuerung. So sind oft bereits 3 Monate nach einer perforierenden KP alle Epithelzellen des Transplantates durch Epithelzellen des Wirtsauges ersetzt worden, während körperfremde Keratozyten und Endothelzellen oft noch Jahre später festzustellen sind. Allerdings ist die Lebensdauer von Keratozyten im Stroma mit 3 Jahren auch deutlich länger als die ca. einwöchige Lebensdauer der Epithelzellen.

Die Wundheilung unterscheidet sich ebenso. Während das Epithel innerhalb weniger Tage abheilt, benötigt das Stroma mindestens 1 Jahr [121].

1.8.2 Medikamentierung

Die Immunreaktion ist der Hauptgrund für ein Transplantatversagen. Akute Abstoßreaktionen werden hauptsächlich durch T-Zellen ausgelöst und können so mit Steroiden, IL-2 Hemmern (Cyclosporin, Tacrolimus), Mycophenolate Mofetil und TOR-Hemmer (Everolimus, Rapamycin) unterdrückt werden.

Wegen des immunologischen Privilegs des Auges und vergleichsweise kritischen Nebenwirkungen systemischer Kortikosteroide wird versucht, möglichst mit äußerlich lokal anwendbaren Steroiden zu arbeiten. So werden systemische Steroide bei Normalrisiko-PKP nur für eine kurze Zeit gegeben. Bei Risiko- und Hochrisiko-PKP scheinen Cyclosporin A oder Tacrolimus eine gute Alternative zur eigentlich erforderlichen langfristigen Gabe von systemischen Steroiden darzustellen bei gleichzeitiger Minimierung der medikamentenabhängigen Nebenwirkungen [49].

Der „Fahrplan“ für eine Normalrisiko-PKP sieht an der Universitäts-Augenklinik Freiburg Stand 2007 wie folgt aus:

1. Es wird lokal eine konservierungsmittelfreie Therapie angestrebt.
2. Antibiotische Salben werden die ersten 5 Tage postoperativ maximal bis zum Epithelschluss gegeben (z.B. Floxal AS oder Gentamycin 0.5% AS 5-mal täglich).
3. Kortikosteroid-Salben oder Tropfen werden über 5 Monate ausschleichend verabreicht. Stationär wird 3x Ultracortenol-AS verabreicht, danach wird abhängig von der Oberflächensituation differenziert zwischen Dexamethason-Einzeldosen AT oder Predni-POS AT, wobei letzteres besser penetriert. Ausschleichend verabreicht bedeutet, dass die Medikamente im 1. Monat 5x/Tag verabreicht werden, den 2. Monat 4x/Tag, 3. Monat 3x, 4. Monat 2x, 5. Monat 1x. Danach kann je nach Zustand abgesetzt werden.
4. Systemische Kortikosteroide sind im Gegensatz zu allen anderen Transplantationen nur über 3 Wochen postoperativ ausschleichend notwendig. Am OP-Tag beginnend wird pro Tag 0.8 mg/kg Körpergewicht Methylprednisolon verabreicht.

5. Gegen das Glaucomrisiko wird zur prophylaktischen Augeninnendrucksenkung Acetazolamid 2x250 mg am OP-Tag, danach 2x125 mg über 5 Tage verabreicht.

Bei Hochrisikopatienten wird je nach dem Risiko differenziert:

- So muss bei der Hochrisikogruppe 1 – 4 (Tab. 2) gegen das erhöhte Risiko für Immunreaktionen eine über 6 Monate hinausgehende niedrigdosierte Kortikosteroid-Applikation erwogen werden. Abhängig ist dies immer von der Transplantat-Oberfläche. Genutzt wird in diesen Fällen ebenfalls Dexamethason in Einzeldosen AT 1 – 3x täglich.
- Bei Acanthamoebenerkrankungen der Gruppe 3 (Tab. 2) ist eventuell eine langdauernde lokale Therapie notwendig mit lokalem Polyhexamethylenbiguanid, lokalen Diamidin-Derivaten sowie Aminoglykosiden.
- Kompletten entgegengesetzt in der Behandlung sind Glaucompatienten der Gruppe 5 (Tab. 2), da bei diesen Kortikosteroide oft vermieden werden müssen, um den Augeninnendruck nicht zusätzlich zu erhöhen.
- Die systemische Immunsuppression wird über mindestens 6 Monate in den Hochrisikogruppen 1 und 2 appliziert, in Gruppe 5 nur bei bekannter Kortikosteroidresponse, in Gruppe 3 bei Re-KP oder über großen Transplantaten, wobei auf das Risiko des mikrobiellen Rezidivs geachtet werden muss. Als Medikament wird Cyclosporin A genutzt. Alternativ wird besonders bei älteren Patienten oder Patienten mit Compliance-Problemen Mycophenolatmofetil verabreicht.
- Bei PKP nach Herpes simplex wird zusätzlich Aciclovir prophylaktisch oral (3x400 mg oder sogar 5x400 mg bei à chaud KP) verabreicht. Die Gabe richtet sich nach dem Rezidivdruck des Patienten und kann über 1–2 Jahre verabreicht werden. Wichtig ist hier, dass die Patienten viel trinken, um die Nieren nicht zu schädigen.

1.8.3 Ambulante Nachkontrollen

Eine Sensibilisierung des Patienten für regelmäßige Nachkontrollen ist unerlässlich! Nur so können eventuelle immunologische Reaktionen erkannt werden. Da Immunreaktionen oft erst nach 1 Jahr vorkommen, ist somit auch der Kontaktlinsen-Spezialist in der Pflicht, auf Anzeichen einer Reaktion zu achten.

Ebenfalls nach dem Freiburger „Fahrplan“ (Stand 2007):

1. Entlassung zwischen dem 3. und 10. postoperativen Tag.

2. Beim Operateur sollten die Kontrollen nach 6 Wochen, 4 Monaten, 12 Monaten, 18 Monaten und danach 1x jährlich erfolgen. Von besonderer Wichtigkeit ist immer die Kontrolle der Endothelzell-dichte.
3. Beim niedergelassenen Augenarzt sollte in den ersten 4 Wochen 1x wöchentlich, danach monatlich kontrolliert werden.
4. Kontrollen sollten immer stattfinden, wenn der Patient irgendwelche Verschlechterungen wie Schmerzen, Rötungen oder eine Visusminderung wahrnimmt.

1.9 Hornhaut-Sensibilität

1.9.1 Hornhaut-Sensibilität nach PKP

Nach einer PKP verändert sich die Sensibilität der Hornhaut grundlegend. Bei einer normalen Hornhaut (Abb. 21) ist die Sensibilität zentral am größten, während in der Peripherie quadrantendifferente Unterschiede vorhanden sind [17].

Bei postoperativem Verlust der zentralen Sensibilität in dem Transplantat konnte erst nach einem Jahr eine Rückkehr der zentralen Sensibilität beobachtet werden. Bei 40% der Patienten ist nach 7 Jahre nach der PKP keine zentrale Sensibilität messbar (Abb. 22). Nur bei 18% der untersuchten Patienten wird im postoperativen Beobachtungszeitraum von 7 Jahren eine normale Sensibilität der Hornhaut notiert [17].

Wie sich die Hornhaut-Sensibilität bei den lamellären Techniken, speziell den tiefen lamellären Techniken wie der DSAEK oder DMEK entwickelt, wird sicher ein Thema der Zukunft sein.

1.9.2 Hornhaut-Sensibilität nach PKP und Kontaktlinsentragen

Nach Ruben und Colebrook wird die Hornhautsensibilität schon durch das Kontaktlinsentragen bei normalen Hornhäuten reduziert [16], wobei dies laut Millodot und Larson durch Sauerstoffmangel in den Zeiten des PMMA-Tragens verursacht wurde und nicht durch traumatische Druckverhältnisse durch das KL-Tragen selbst [18].

In Kombination mit der PKP ist nun von Interesse, wie die Hornhaut sich bei modernen Materialien und Geometrien formstabiler Kontaktlinsen verhält.

Verglichen werden Transplantate ohne KL und welche, die mit KL versorgt sind. Der Anteil der Patienten ohne zentrale Hornhaut-Sensibilität ist bei Kontaktlinsenträgern geringer, was die These unterstützt,



Bild 21: Hornhaut-Sensibilität bei normalen gesunden Augen nach Millodot and Larson [17].

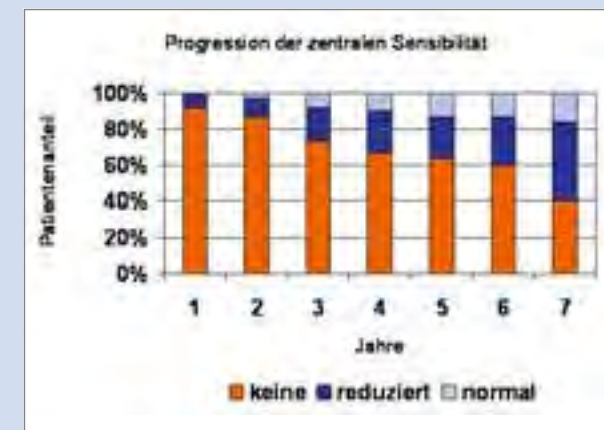


Bild 22: Progression der zentralen Sensibilität nach 7 postoperativen Jahren nach PKP [15].

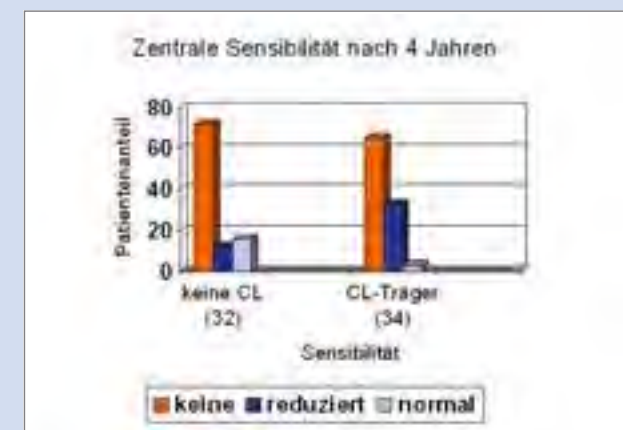


Bild 23: Zentrale Sensibilität nach 4 Jahren bei PKP mit und ohne Kontaktlinsen [15].

dass die persönlichen Merkmale des Menschen und die Vorerkrankung einen starken Einfluss auf die Hornhaut-Sensibilität haben. Die normale Sensibilität ist mit nur 3% bei KL-Trägern deutlich geringer als bei Patienten ohne Kontaktlinsen. Dort haben nach 4 Jahren immerhin 16% wie-

der ein normales Empfinden im Hornhaut-Zentrum (Abb. 23). Für eine normale Sensibilität scheint nach Macalister et al der epitheliale Stoffwechsel eine Schlüssel-funktion einzunehmen [15], welcher somit auch durch moderne formstabile Kontaktlinsen bei PKP gestört werden würde.

2. Die visuelle Rehabilitation nach PKP

Neben einem klaren Transplantatüberleben ist die visuelle Rehabilitation das oberste Ziel des Operateurs sowie des Patienten. Vorher berechenbar ist diese jedoch nicht. Die Hornhaut liefert circa zwei Drittel der Brechkraft des Auges, so dass durch einen chirurgischen Eingriff wie die Keratoplastik eine erhebliche Beeinflussung des refraktiven Status geschehen kann. Die Anzahl der Patienten, welche nach PKP mit KL versorgt werden, variiert je nach Autor von 10 bis 50% [13][35][124].

2.1 Der postoperative sphärische Wert

Die Studienergebnisse sind nicht zu vereinheitlichen. Sie differieren unter anderem durch die Indikation für die PKP. So analysierten Javadi et al Operationsresultate von -0.61 ± 2.6 dpt [34], Brierly et al -4.09 ± 2.04 dpt [35]. Von Lohreggel wurde beim sphärischen Wert der Refraktion nach PKP ein signifikanter Unterschied zwischen Patienten mit Keratokonus (Median -1.12 dpt) und nach Fuchsscher Endotheldystrophie gefunden (Median $+2$ dpt). Die Spanne ist riesig mit einem Minimum von -20 dpt und einem Maximum von $+15.5$ dpt [149].

2.2 Der postoperative Astigmatismus

Ein postoperativer Astigmatismus von mehr als 5dpt kommt bei etwa jedem 5. Patienten vor (20%), in 18% der Fälle sind die Astigmatismen zusätzlich irregulär [12]. Einzelne Studienergebnisse differieren zum Teil erheblich. Unterschiede des postoperativen Astigmatismus betreffen unterschiedliche PKP-Indikationen scheinen nicht zu existieren [34][35][53][149]. Patienten, welche mit Kontaktlinsen versorgt werden möchten, haben nach Lohreggel im Median einen Astigmatismus von -4.75 dpt [149].

Abhängigkeiten des Astigmatismus sind in der Refraktion des Transplantates, der refraktiven Stabilität des Transplantates, dem Verhältnis der Trepanndurchmesser, der Trepanationstechnik sowie der Nahttechnik zu finden. So scheint der postoperative Astigmatismus nach PKP mit dem Excimerlaser mit 2.8 dpt \pm 2.5 dpt geringer zu sein als nach PKP mit geführtem Trepan mit 4.0 dpt \pm 2.1 dpt [5]. Unterschiede zwischen dem refraktiven und topographischen Astigmatismus fanden Preclik et al 8 Jahre nach der Fadenentfernung; der refraktive Astigmatismus betrug 3dpt, der topographische Astigmatismus 4.2dpt [137].

2.3 Operative Astigmatismus-Korrekturen nach PKP

Mit operativen Methoden wird häufig versucht einen eventuell entstandenen Astigmatismus zu reduzieren. Die Vorgehensweise der Operateure differiert sehr stark. In einigen Kliniken ist die operative Astigmatismus-Korrektur die dritte Variante nach einer Brille oder einer möglichen Kontaktlinsenkorrektur [12][55], während in anderen die operative Astigmatismuskorrektur bevorzugt durchgeführt wird [13].

Nachteil der operativen Variante ist, dass die Wundheilung des Transplantates negativ beeinflusst wird, was besonders bei Risikopatienten bedacht werden sollte. Bekannte Operationstechniken zur Astigmatismusrückbildung in der Übersicht:

- Entspannungsschnitte im steilen Meridian.
- Kompressionsnähte im flachen Meridian.
- Entspannungsschnitte im steilen Meridian mit entgegen gesetzten Kompressionsnähten.
- Keilentfernung und Kompressionsnähte im flachen Meridian.
- Excimerlaser/photorefraktive Keratektomie.

Alle operativen Techniken sollten erst im stabilen Zustand nach dem Fadenziehen durchgeführt werden. Das durchschnittliche Ergebnis der Astigmatismuskorrektur unabhängig von der Operationstechnik bringt laut Lim et al und Chang et al eine Reduktion um etwa 50% [13][14].

2.4 Sehfunktionen nach PKP

Die Kontrastsehstärke, das Binokularsehen und die Blendempfindlichkeit gehören neben der zentralen Sehschärfe zu den wichtigen Sehfunktionen. Brahma et al testeten diese Funktionen bei Patienten mit PKP nach Keratokonus [30]. 3 Monate nach der Operation war eine statistisch signifikante Steigerung in der Seheleistung, der Kontrastsehstärke und dem Binokularsehen zu erkennen. Weiterhin hatte die Blendempfindlichkeit keinen statistisch signifikanten negativen Einfluss mehr auf diese Faktoren, was sicher mit dem Heilungsprozess des Auges zusammenhängt.

2.4.1 Visus

Die Steigerung des Visus wird im allgemeinen mit der visuellen Rehabilitation

gleichgesetzt. Doch gerade dieser Wert ist durch unterschiedlichste Krankengeschichten, Trübungen oder Beeinträchtigungen der am Sehprozess beteiligten Medien schwer beurteilbar.

2.4.2 Allgemeine Visusveränderung postoperativ nach PKP

Wie unterschiedlich die Ausgangsbasis für den Visus und die jeweilige Entwicklung präoperativ in unterschiedlichen Prognosegruppen ist, zeigen die Studienergebnisse des unkorrigierten Visus von Brandt [51].

Bei 1142 Patienten unterschiedlicher PKP-Indikationen und Risikofaktoren wurde an der Universitätsklinik Düsseldorf in 83.6% eine Visusverbesserung und bei 16.4% eine Verschlechterung postoperativ ermittelt [124]. Bei Patienten, welche den Wunsch nach KL hatten, wurde von Lohreggel ein unkorrigierter Visus mit einem Median von 0.1 vermerkt, mit Brille ein Median von 0.4 mit einem Minimum von 0.02 und einem Maximum von 1.0 [149].

2.4.3 Visus bei PKP nach Keratokonus (KK)

Der freie Visus des operierten Auges verbessert sich bei Brahma et al im Median besonders innerhalb der ersten 3 Monate nach der Operation von 0.76 logMar statistisch signifikant auf 0.24 logMar (Visus 0.16 bis 0.2 auf Visus 0.5 bis 0.63), aber auch in dem gesamten untersuchten Zeitraum von 18 Monaten wird er weiterhin besser bis zu 0.07 logMar, was einem Visus von 0,8 entspricht [30].

Reinhard et al kommen in Freiburg auf einen Visus von im Median 0.8 (unpublizierte Daten), Silbiger et al auf 0.85 [20]. In anderen Studien wurden Daten ermittelt wie: 86% bzw 87% erreichten einen Visus von 0.5 oder besser [13][35], wobei der bestkorrigierte Visus gemeint ist. Alle anderen Indikationen und Operationstechniken erzielen schlechtere durchschnittliche Visuswerte.

2.5 Visuelle Rehabilitation nach PKP durch Kontaktlinsen (KL)

Wird eine Kontaktlinse zur visuellen Rehabilitation nach PKP notwendig, handelt es sich in der Regel um eine „Negativauswahl“ an Patienten. Der Visusanspruch konnte weder durch die Operation noch durch eine Brille erfüllt werden. Jüngere Keratokonuspatienten sind eher bereit KL



Bild 24: Links: Entspannungsschnitte mit Fluoreszein Foto: S. Lohreggel
Rechts: Keilzision mit Kompressionsnähten im flachen Meridian der PKP-Narbe.
Foto: Universitäts-Augenklinik Freiburg

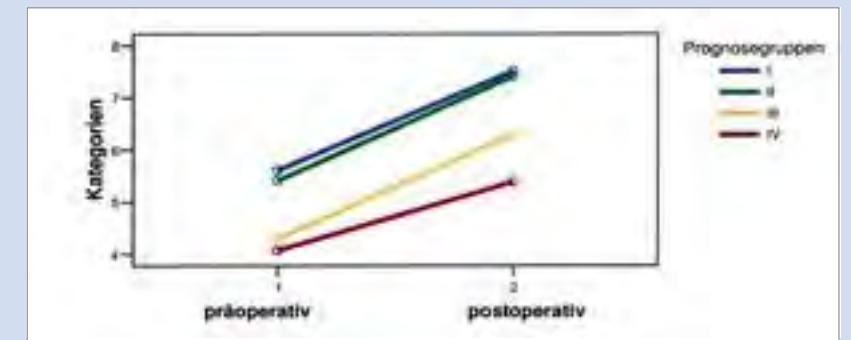


Bild 25: Unkorrigierte Visusentwicklung in den einzelnen Prognosegruppen. Gruppe I: HH-Dystrophien, Narben, KK; Gruppe II: bullöse Keratopathie; Gruppe III: Herpes, Ulcera, bakterielle Keratitis, bullöse Keratopathie bei Pseudophakos; Gruppe IV: Re-KP, Trauma, Verätzung. Visus-Kategorien: 4 = Handbewegung; 5 = Handbewegung/Fingerzählen; 6 = Visus 0.02 – 0.05; 7 = Visus <0.05 – 0.2; 8 = Visus <0.2 – 0.4 [51].

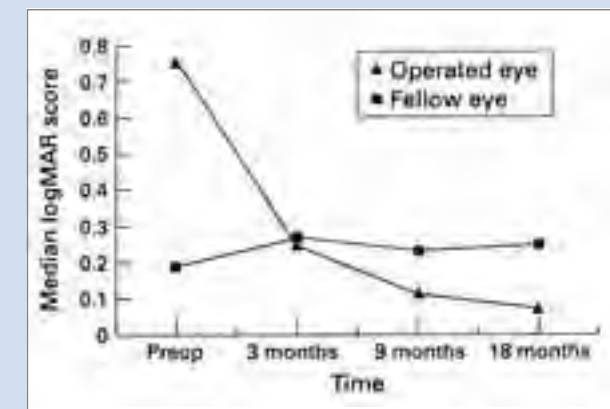


Bild 26: Seheleistungsänderung des operierten und nicht operierten Auges in logMAR nach Brahma et al [30].

| PKP-Indikation | Gesamt | Keine Hilfsmittel | Brille | Kontaktlinsen | Brille + KL |
|------------------------------|--------------|-------------------|--------------|---------------|-------------|
| Fuchssche Endotheldystrophie | 293 100% | 26 8.9% | 238 81.2% | 11 3.8% | 181 6.1% |
| Keratokonius | 252 100% | 25 9.9% | 160 63.5% | 33 13.1% | 34 13.5% |
| Bullöse Keratopathie | 164 100% | 18 11% | 144 87.8% | 0 0% | 2 1.2% |
| Hornhautnarben | 84 100% | 13 15.5% | 66 78.6% | 2 2.4% | 3 3.6% |
| Herpetische Narben | 128 100% | 18 14.2% | 107 84.3% | 2 1.6% | 0 0% |
| Limbusstammzell-Insuffizienz | 42 100% | 14 33.3% | 27 64.3% | 0 0% | 1 2.4% |
| Weitere Indikationen | 144 100% | 21 14.6% | 110 76.4% | 7 4.9% | 6 4.2% |
| Gesamt | 1106 100% | 135 12.2% | 852 77% | 55 5% | 64 5.8% |

Tabelle 3: Fragebogen-Ergebnisse: Verwendung von Hilfsmitteln nach PKP bei unterschiedlichen Indikationen nach Schindler [124].

zu tragen, als viele ältere Patienten nach Fuchsscher Endotheldystrophie oder bullöser Keratopathie. Von diesen Patienten entscheiden sich viele mit einem Brillen-Visus um 0.5 eher für eine Brille, auch wenn die Kontaktlinse den Visus steigern würde.

Die Motivation, Kontaktlinsen zu tragen, ist abhängig vom Sehanspruch, der Grunderkrankung sowie dem maximalen Brillen-Visus des Patienten. 10,6% bis 47% – je nach Studie – der transplantierten Patienten tragen formstabile Kontaktlinsen für ihre volle visuelle Rehabilitation.

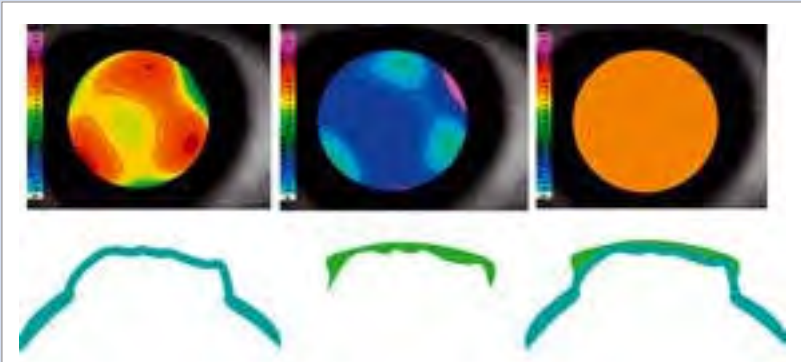


Bild 27: Funktionsweise einer formstabilen KL auf einer irregulären Hornhaut. Links: Irreguläre HH, Mitte: Topographische Darstellung der Tränenlinse. Rechts: Die homogene Oberfläche, welche unter der formstabilen KL durch die Tränenlinse resultiert.

Fotos: S. Herrero

Bild 28: Häufigkeitsverteilung der Visusstufenverbesserungen von Visus mit Brille zu Visus mit Kontaktlinsen bei PKP-Patienten. Minuswerte geben eine Verbesserung, positive Werte eine Verschlechterung an [149].

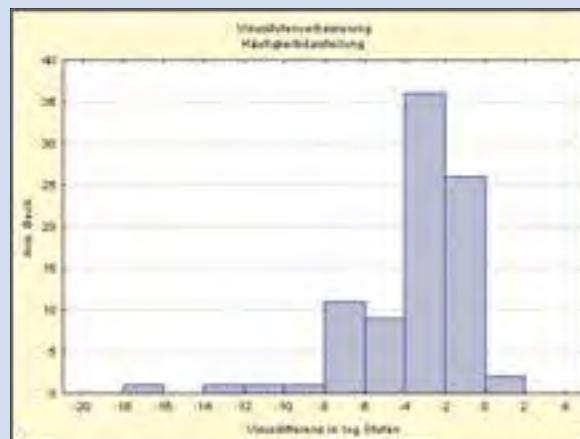
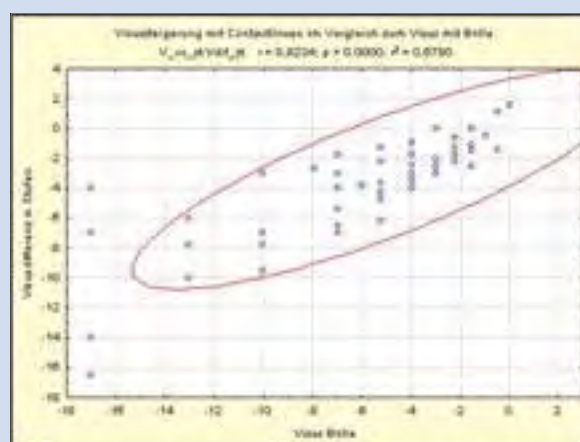


Bild 29: Visussteigerung mit KL im Verhältnis zum Visus mit Brille. Visus mit Brille in logarithmischer Angabe: Visus 0 = 1.0, Visus -10 = 0.1, Visus -5 = 0.32 [149].



2.5.1 Optische Indikationen

Zu den optischen Indikationen zählen [12][20][29][30][58]:

- Irreguläre Astigmatismen (62.9%).
- Hohe reguläre Astigmatismen, die zu einer Brillenunverträglichkeit führen.
- Sphärische (57.1%) sowie torische (54.3%) Anisometropien.
- Alles, was einen Bildgrößenunterschied von mindestens 5% mit Brille ausmachen würde, ist sinnvoll mit einer KL zu korrigieren.

Ob weiche oder formstabile KL sinnvoll sind, richtet sich nach der Irregularität der Hornhaut. Nur regelmäßige Astigmatismen oder einfache Anisometropien lassen sich mit einer weichen KL versorgen. Nach Szcotka und Gruffiths et al erreichen weiche KL eine nur minimal bessere Sehleistung als die Brille, während formstabile KL die Ungleichmäßigkeiten der Hornhaut (Bild 27) und damit deren Abbildungsfehler durch die Tränenflüssigkeit ausgleichen [12][59].

2.5.2 Visussteigerung mit Kontaktlinse

Die Beschreibung der Visussteigerung bei PKP durch Kontaktlinsen (KL) ist schwierig. Zusätzlich zu den allgemeinen Problematiken wie der Klarheit der reizverarbeitenden Medien des Auges kommt erschwerend hinzu, dass in allen Studien nur schwer oder gar kein Zusammenhang zu der PKP-Indikation und/oder den genutzten KL-Geometrien gemacht wurde. Es werden überall statistische Mittelwerte gebildet, ohne auf die KL-Anpassung im einzelnen einzugehen. Zusätzlich sind manche Kohorten mit KL sehr klein und die Aussage ist somit eingeschränkt. Zu finden sind Resultate wie:

- BCVA 20/25; range 20/16 – 20/200 (Visus 0.8; 1.25 – 0.1) nach Geerards et al [32].
- 1 bis 9 Linien besser; großer Anteil 20/20 (Visus 1.0) nach Gruenauer-Kloevekor et al [70].
- 80% mit Visus 1.0 oder besser nach Manbe et al [73].
- Durchschnittlicher Visus mit KL 20/30 (Visus 0.66) nach Beekhuis et al [67].
- Steigerung von $+0.36 \pm 0.18$ mit Brille auf 0.11 ± 0.11 mit Kontaktlinse in log-mar (Visussteigerung von Visus 0.4 bis 0.5 mit Brille auf 0.8 mit KL) nach Egink et al [71].

Sind die Irregularitäten auf der Hornhaut die einzigen Einschränkungen für ein optimales Sehen, so ist die Kontaktlinse für die Korrektur optimal geeignet.

| KK | | Mittelwert | Median | Modus | Fuchs | Mittelwert | Median | Modus | |
|----|-------------------------|---------------------|--------|-------|-------|-------------------------|---------------------|-------|-----|
| | | Visus SC (27 Augen) | 0.16 | 0.1 | | 0.02 – 0.1 | Visus SC (13 Augen) | 0.16 | 0.1 |
| | Visus Brille (58 Augen) | 0.28 | 0.4 | 0.3 | | Visus Brille (20 Augen) | 0.44 | 0.45 | 0.5 |
| | Visus KL (70 Augen) | 0.74 | 0.8 | 1 | | Visus KL (21 Augen) | 0.78 | 0.8 | 0.9 |

Tabelle 4: Gegenüberstellung der Visuswerte ohne und mit Korrektur (Brille, KL) bei den beiden Hauptindikationen: PKP bei Keratokonus (KK) und bei Fuchsscher Endotheldystrophie (Fuchs) [149].

| | Brillen-Visus bis 0.2 n=25 | Brillen-Visus 0.25 – 0.5 n=34 | Brillen-Visus 0.6 – 0.7 n=22 | Brillen-Visus 0.8 – 1.0 n=4 |
|-------------------------|----------------------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| Visus-Steigerung Median | -6 | -3 | -1.5 | -0.5 |
| Visus-Steigerung Min | -1.8 | 0 | 0 | +1.5 |
| Visus-Steigerung Max | -16.5 | -6.2 | -2.5 | -1.4 |

Tabelle 5: Visus-Steigerung in Stufen mit KL in Abhängigkeit vom Visus mit Brille [149].

Sehr interessant und fragwürdig zugleich sind einige ältere Studien, die über die Anpassung von harten sphärischen PMMA Linsen ab 6 – 12 Wochen nach der OP eine langfristige Verringerung des Astigmatismus zu erzielen versuchten, sozusagen eine frühe Orthokeratologie bei PKP-Hornhäuten. Diesen Molding-Effekt erzielten sie durch sphärische Rückflächengeometrien auf Hornhäuten mit durchschnittlich 4 dpt Astigmatismus. [74][73][72]. Über die Quellung der Hornhaut wurden keine Angaben gemacht.

Eigene Studienergebnisse (Masterthesis) Visus mit Kontaktlinse

115 gültige Daten – 87.8% der Studiengruppe – wurden erfasst. Der Visus mit KL ist im Median 0.8. Differenziert nach der PKP-Indikation ergeben sich die Daten aus Tabelle 4.

Ein signifikanter Unterschied zwischen PKP bei Keratokonus und Fuchsscher Endotheldystrophie besteht nicht ($p=0.61$).

Visussteigerung mit Kontaktlinsen im Verhältnis zum Visus mit Brille

Durch seine psychometrische Funktion,

welche die Abhängigkeit der Wahrnehmung von der Reizstärke spezifiziert, benötigt der Visus zur korrekten Vergleichbarkeit von Visusstufen eine logarithmische Skalierung. So werden in den folgenden Analysen die Visuswerte nach DIN bzw. En ISO logarithmiert und somit vergleichbar.

Insgesamt wird mit Kontaktlinsen im Verhältnis zum Visus mit Brille eine Steigerung um im Median 2.55 Stufen erreicht (maximal 16.5 Stufen, minimal eine Verschlechterung um 1.5 Stufen).

Die Visussteigerung mit KL steht in direktem signifikantem Einfluss ($p=0.0$) zum Visus mit Brille (Bild 29).

Je schlechter der Brillen-Visus desto größer sind die Erfolgsaussichten mit KL, auch wenn die Streuung sehr groß ist (Tab. 5).

Bei einem Visus kleiner 0.2 wird immer eine Verbesserung der Sehleistung erreicht mit im Median 6 Stufen. Diese Verbesserung wird mit steigendem Visus kontinuierlich geringer. So sind die Erfolge mit KL bei den Visus-Stufen 0.8 bis 1.0, wie sie auch Normalsichtige erreichen, deutlich geringer. Hier erfolgte bei 2 Personen sogar eine Verschlechterung des Visus.

2.5.3 Stärkenverteilung der angepassten Kontaktlinsen

Durch die vielen unterschiedlichen Indikationen und Krankengeschichten der PKP-Patienten ist die Stärkenverteilung schwer zu vereinheitlichen. So reichen die Versorgungen von über -14.5dpt (PKP nach KK) bis zu +17.25dpt bei gleichzeitig aphaken Versorgungen, also einer Spanne von 31.75dpt. Von 119 erfassten Versorgungen ergibt das einen Median von 1.25dpt.

Die KL-Stärke bei Keratokonus und Fuchsscher Endotheldystrophie ist eindeutig unterschiedlich. So ist die Spanne bei Keratokonus mit 30.5 dpt zu 19.5 dpt bei Fuchsscher Endotheldystrophie deutlich größer. Auch liegen die durchschnittlichen Dioptriwerte bei PKP nach KK mit einem Median von -2.12dpt deutlich mehr im Minusbereich im Vergleich zu +2.5dpt (Median) nach PKP bei Fuchsscher Endotheldystrophie.

3. Die Hornhauttopographie nach PKP

Nach der PKP verändern sich meist die kompletten refraktiven aber auch die topographischen Daten der Hornhaut. Schon Ruben und Colbrook [16] analysierten 1979, dass auch nach PKP mit einem Visus von 1.0 nur die zentralen 2 – 3 mm des Transplantates (TP) sphärisch sind, der Rest ist durch den Übergang von Wirts- zu Spenderhornhaut irregulär. Um strukturiert eine Kontaktlinse nach PKP anpassen zu können, ist das Wissen um die Hornhaut-Topographie unerlässlich, speziell für die Differenzierung, ob torische, sphärische oder quadrantendifferente Kontaktlinsen indiziert sind. Daher werden im Folgenden Topographie-Klassierungen vorgestellt sowie Analysen durchgeführt, die untersuchen, ob topographische Unterschiede innerhalb der PKP-Indikationen bestehen und welche Unterschiede zwischen regulären Hornhäuten und denen nach PKP existieren.

3.1 Topographie-Klassierungen

3.1.1 Diverse Topographie-Klassierungen

Woodward et al differenzieren zwischen Transplantaten, die in der Peripherie flacher werden, der Torizität, einer eventuellen Verkipfung des Transplantates sowie exzentrischen Transplantaten [76]. Eine sehr einfache, aber auch sinnvolle Einteilung kommt von Edrington und Barr, die zwischen steilerer und flacherer Peripherie differenzieren sowie verkippten Transplantaten, bei denen die Irregularität deutlich zunimmt [65].

Von der Autorin wurde bisher zwischen Transplantaten mit 1 oder 2 Fäden sowie der Übergruppe nach Fadenentfernung differenziert, welche wiederum in folgende 3 Klassen eingeteilt wurden [77]:

- Typ 1: Prolate Form mit flacherer Peripherie.
- Typ 2: Oblonge Form mit steilerer Peripherie.
- Typ 3: Mischform, in der sich jeder Meridian anders darstellen kann ohne jegliche Symmetrie oder mit Teilsymmetrie.

Die ausführlichste Klassierung wurde bis jetzt von Karabatsas et al vorgenommen.

3.1.2 Topographische Klassierung nach Karabatsas et al [78]

Ziel war es, eine klinisch nutzbare Klassierung basierend auf einem Videotopographen (TMS-1) zu erhalten. Karabatsas et al

erarbeiteten ein Klassierungsschema, welches auf dem Hornhautprofil und dem Astigmatismustyp basiert.

Das Hornhautprofil wird wie unter 3.1.1 in Prolat, Oblat und Gemischt eingeteilt. Bei der Klassierung anhand des Astigmatismus wird auf die Regularität und die Durchgängigkeit des Astigmatismus bis in die Peripherie Wert gelegt. Das Resultat sind 14 Untergruppen wie in Bild 30 ersichtlich.

Astigmatismus-Typen:

- Oval: Das Verhältnis des kürzesten zum längsten Durchmesser der farbigen Astigmatismuszone ist weniger als zwei Drittel.
- Regulärer Astigmatismus: Die beiden Meridiane stehen ungefähr 90 Grad zueinander. Topographisch wird er normalerweise als „bow tie-Figur (Fliege)“ dargestellt, welche symmetrisch oder asymmetrisch sein kann.
- Irreguläre Astigmatismen: Alle Astigmatismen mit mehr als 20 Grad Abweichung von der regulären 90 Grad Regel; also mit einer Winkeldifferenz von mehr als 110 Grad zwischen dem flachen und steilen Meridian.

Die irregulären Astigmatismen werden in 8 Untergruppen eingeteilt:

- Steil/flach (SF): Hornhäute, die an einer Seite steiler sind und progressiv zur anderen Seite flacher werden.
- Örtlich steile Bereiche (LS): ein dezentrierter steiler Bereich, der bis zu einem Viertel des Hornhautdurchmessers groß sein darf, umgeben von flacheren Bereichen.
- Dreiergruppe: 3 Bereiche relativer Steilheit.
- Horseshoe: Wie der Begriff (Hufeisen) schon zeigt – ein c-kurviger Bereich steilerer Radien.
- Gemischt prolat und oblat. Zusätzlich kommen 2 Unterteilungen hinzu:
- Die nicht-astigmatischen Hornhäute und
- die nicht definierbaren Hornhäute.

Karabatsas et al fanden doppelt so viel irreguläre (60%) wie reguläre Astigmatismen (30%). Oblate und prolate Hornhautformen waren ausgewogen (ca. 50 : 50).

Zusätzlich wurden Veränderungen über die Zeit registriert, die eine Zunahme an irregulären Astigmatismen brachten, welche

mit unterschiedlicher Hydratation der Hornhaut, Kraftveränderungen durch Fadenentfernung oder durch die Heilungsprozesse zwischen Spender und Wirtshornhaut erklärt wurden.

Bestehen reguläre Astigmatismen, so haben sie deutlich größere zentrale Radiendifferenzen als die irregulären. Eine Differenzierung zwischen tangentialen und sagittalen Radien und deren Darstellungsform fand nicht statt. Es wurden auch keine Ableitungen auf die Kontaktlinsen-Rückfläche gemacht.

3.1.3 Fazit

Die Hornhautform wird übereinstimmend in prolat, oblat und gemischte Topographien eingeteilt.

Keine einheitlichen Aussagen sind dagegen bei der Beurteilung des Astigmatismus zu erkennen und der damit notwendig werdenden torischen Kontaktlinsenversorgungen. Reguläre und irreguläre Astigmatismusanteile werden nicht ausreichend differenziert oder die Analyse-Methoden variieren durch unterschiedlichen Messinstrumenten-Einsatz.

3.2 Topographische Analyse im Oculus Keratograph [149]

Um einen Zusammenhang der Hornhaut-Topographie zur Kontaktlinsen-Anpassung herzustellen, wurden von der Autorin im Rahmen einer Masterthesis 131 Augen nach PKP im Oculus Keratograph analysiert.

3.2.1 Patienten für topographische Analyse

Grundlage für diese Studie sind Patientendaten der Kontaktlinsen-Sprechstunde der Universitäts-Augenklinik Freiburg der Jahre 2004 bis 2008, welche retrospektiv topographisch analysiert wurden. Zusätzlich zu dieser Patientengruppe nach PKP wurden die Topographiedaten einer sphärischen (RS) und torischen (T) Kontrollgruppe (KoG) ausgewertet, um mögliche Grenzen und Unterschiede aufzuzeigen. Die Erfassung der Daten erfolgte auf der Basis von Microsoft Excel, die Auswertung der topographischen Daten mit Statistica Version 9 auf dem Betriebssystem Windows XP.

3.2.1.1 Kontrollgruppe Rotations-symmetrische Kontaktlinsen (KoG_RS)

75 Patientenaugen mit Hornhautradien bis maximal 0.4mm Radiendifferenz wur-

den als Kontrollgruppe mit rotationssymmetrischen Kontaktlinsen genutzt.

Die Grenze von 2dpt Hornhautastigmatismus (0.4mm Radiendifferenz) wurde anhand gängiger Anpassphilosophien gewählt. Bei gleich bleibendem peripherem Astigmatismus würde bis zu dieser Grenze eine rotationssymmetrische KL angepasst werden. Im Median sind diese Patienten 31 Jahre alt (Min. 18; Max. 61 Jahre).

3.2.1.2 Kontrollgruppe Torische Kontaktlinsen (KoG_T)

Da bei PKP ein großer Anteil hoher regulärer und irregulärer Astigmatismen vorkommt, werden 36 Patientenaugen mit Hornhautradien über 0.4mm Radiendifferenz als Kontrollgruppe mit torischen KL genutzt. Im Median sind sie 42 Jahre alt (Min. 24; Max. 63 Jahre).

3.2.1.3 Kontaktlinsen-Patienten nach PKP

131 Augen von 107 Patienten nach perforierender Keratoplastik und mit dem Wunsch oder der Notwendigkeit einer Kontaktlinsenanpassung wurden vermessen. Bei 24 der 131 Augen nach PKP konnte die Messung mit dem Oculus Keratograph nur manuell ausgelöst werden, in 4 Fällen bestanden Fehlauswertungen in der Zernike-Analyse, so dass letztendlich 103 Augen nach PKP bewertet wurden.

Die Patienten waren durchschnittlich 48.5 Jahre alt, mit einer Spanne von 8 bis 84 Jahren. 54.3% sind männlich, 45.7% weiblich. Den Hauptanteil der Indikation für eine PKP stellen mit 59.5% Keratokonuspatienten, an zweiter Stelle folgen Patienten nach Fuchsscher Endotheldystrophie (16.8%), Patienten nach Trauma (6.9%) und weitere Gruppierungen mit jeweils 2.3 – 1.5% (Tabelle 6). Interessant ist, dass gemessen an den Operationszahlen ca. 29.4% Keratokonuspatienten zur Kontaktlinsenanpassung vorstellig wurden und nur ca. 8% der Patienten mit Fuchsscher Endotheldystrophie.

Für die Analyse wurde die Einteilung nach folgenden PKP-Indikationen gemacht: Keratokonus (KK); Fuchssche Endotheldystrophie (F) und Diverse (D).

3.2.1.4 Erst- oder Rekeratoplastik

7.6% der in der KL-Sprechstunde zu versorgenden Patienten hatten eine Mehrfachkeratoplastik. Alle anderen wurden erstmalig transplantiert.

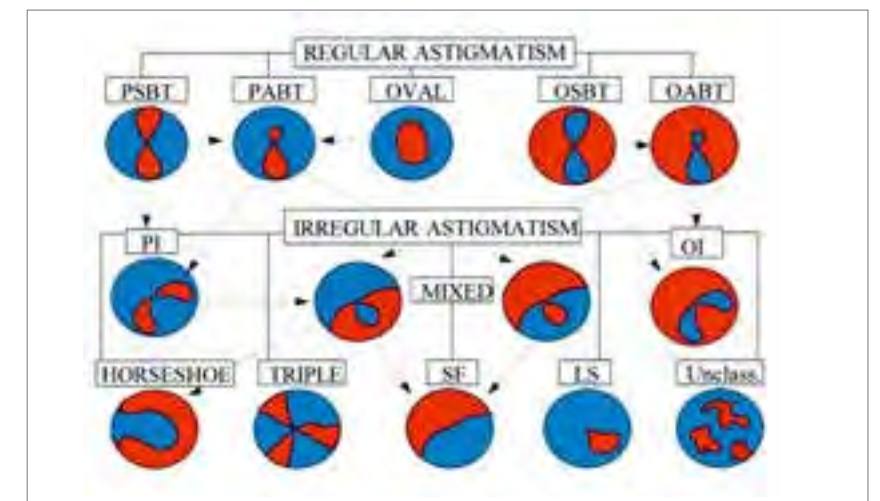


Bild 30: Klassierungs-Schema von Karabatsas et al basierend auf Videotopographie-Bildern [78].

| Indikation für die PKP | Anzahl Augen Augen in % | Alter (mean) | Alter (von-bis) | Geschlecht Alter (mean) | |
|----------------------------------|----------------------------|-----------------|--------------------|----------------------------|------------|
| | | | | M | W |
| Keratokonius (KK) | 78 Augen 63.1 | 43.8 | 20-78 | 44 42.1 | 34 44.1 |
| Fuchssche Endotheldystrophie (F) | 22 Augen 18% | 66.7 | 54-79 | 9 64.5 | 13 68.2 |
| Trauma | 9 Augen 7.4% | 31.1 | 8-63 | 6 31.6 | 3 30 |
| Bullöse Keratopathie | 3 Augen 2.5% | 78.3 | 72-81 | 2 81.5 | 1 72 |
| Fleckförmige Dystrophie | 2 Augen 1.6% | 34 | 34 | - | 2 34 |
| Ulcus | 2 Augen 1.6% | 54.5 | 46-63 76.4% | - | 2 54.5 |
| Herpes | 1 Auge 0.8% | 30 | 30 | 1 30 | - |
| Narben | 3 Augen 2.5% | 60.7 | 57-68 | 2 57 | 1 68 |
| Ohne Angaben/ Sonstiges | 9 Augen | 55.2 | | 6 | 3 |

Tabelle 6: PKP-Indikation, Alter und durchschnittliches Alter je Geschlecht.

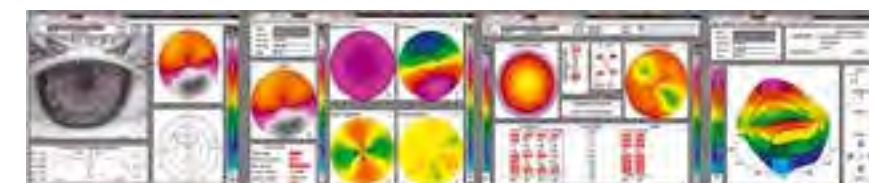


Bild 31: Analysetechniken im Oculus-Keratograph. Links: Übersichtsdarstellung, Mitte Links: Fourieranalyse, Mitte Rechts: Indizes, Rechts: Zernike Analyse.

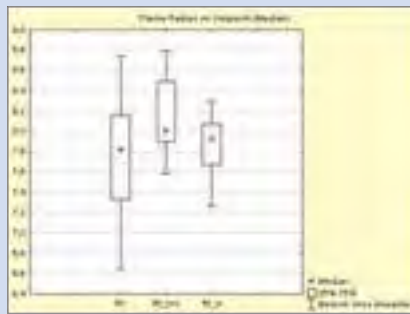


Bild 32: Flache Radien im Vergleich. Rf = flache Radien der PKP-Gruppe, Rf_tori die der KoG-T, Rf_rs = flache Radien der KoG-RS.

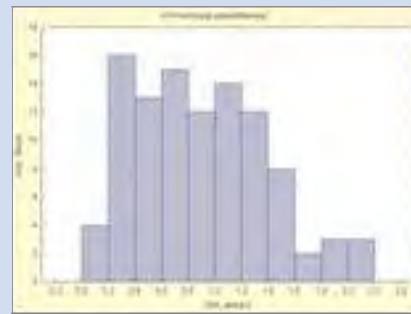


Bild 33: Häufigkeit der Hornhaut-Radiendifferenzen nach PKP mit KL-Notwendigkeit.

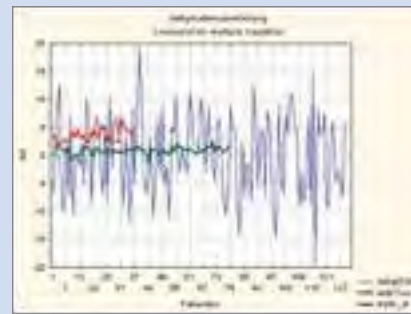


Bild 35: Hornhautastigmatismus: Verteilung in dpt für Patienten mit normalen (grün), astigmatischen Augen (rot) und Augen nach PKP (blau).

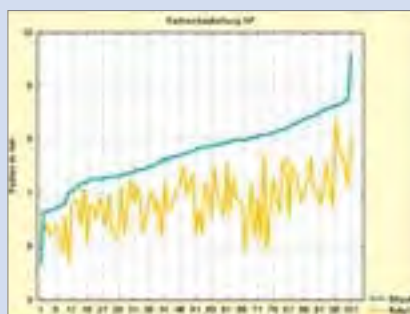


Bild 34: Links: Radiendifferenz nach PKP sortiert nach dem flachen Radius, Rechts: Radiendifferenz bei KoG-T sortiert nach flachem Radius. Zu beachten ist der unterschiedliche Maßstab beider Abbildungen!

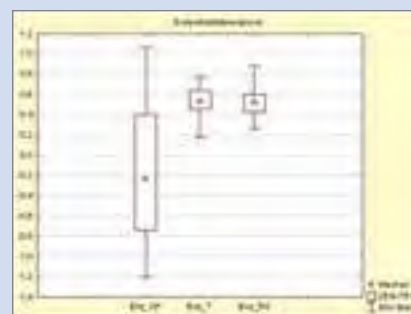
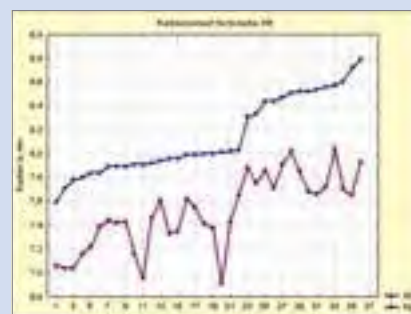


Bild 37: Exzentrizitätsvergleich zwischen den gemittelten Exzentrizitäten nach PKP, torischen und rotationssymmetrischen Hornhäuten.

3.2.1.5 Alter des Transplantates (TP)

Das Alter des TP konnte bei 121 Augen festgestellt werden und lag im Durchschnitt bei 6.5 Jahren mit einer Standardabweichung von 8.7 Jahren. Im Median waren die TP 2 Jahre alt bei der KL-Anpassung. Das älteste Transplantat war 44 Jahre alt, das jüngste 6 Wochen.

Bei den PKP nach KK kommen eindeutig die ältesten mit Kontaktlinsen zu versorgenden TP vor. Sie sind durchschnittlich 8.6 Jahre alt, im Median 3 Jahre. Im Gegensatz dazu sind die TP bei Fuchsscher Endotheldystrophie durchschnittlich 1.2 Jahre alt, im Median 1 Jahr. Die Standardabweichung ist bei F mit 1.1 Jahren gering im Verhältnis zu 9.8 Jahren bei KK.

3.2.1.6 Fadenanzahl während der Kontaktlinsen-Anpassung

Von den 131 durchgeführten Kontaktlinsenanpassungen wurden 79.2% ohne Faden angepasst, 10.7% (14 Anpassungen) mit 1 Faden, 9.9% (13 Anpassungen) mit zwei Fäden, 1 Anpassung mit einem Fadenrest.

3.2.1.7 Endothelzelldichte

Bei 47 Patienten war die Endothelzelldichte mit Werten von 468 bis 2700 Zellen/mm² vorhanden. Der Mittelwert lag bei 1349 Zellen/mm², der Median bei 1212 Zellen/mm².

3.2.2 Topographische Analyse

Zur Hornhautanalyse stehen vielfältigste Instrumente zur Verfügung. Im 19. Jahrhundert begann die quantitative Hornhauttopographie durch Helmholtz, Gullstrand, Placido und Javal.

Javal entwickelte das erste Ophthalmometer, um zentrale Hornhautradien zu messen, während Placido die Placidoscheibe für das Erkennen von Irregularitäten entdeckte. Die Placidoscheibe wird für die meisten Videotopographen als Messbasis genutzt. Kombiniert mit einem Ophthalmometer, welches entfernungsunabhängig und automatisch die Messung auslöst, ist ein hervorragendes Messinstrument zur Analyse der Hornhautvorderfläche in Form des Oculus-Keratograph entstanden.

Um das Profil der Hornhaut besser analysieren zu können, werden Daten der Übersichtsdarstellung, der Fourier-Analyse, Daten der Indizes und Daten der Zernike Analyse ausgewertet (Bild 31).

3.2.3 Übersichtsdarstellung

Aus der Übersichtsdarstellung ergeben sich die zentralen Hornhautradien mit Astigmatismus und Achslage.

3.2.3.1 Flacher zentraler Hornhautradius

Die zentralen Hornhaut-Radien gehören zu den charakteristischen Daten der Hornhaut und könnten ausschlaggebend für die Radienwahl der KL-Rückfläche oder aber auch ein Differenzierungsmerkmal unterschiedlicher PKP-Formen sein. Im Oculus-Keratograph werden die zentralen Radien als rh = horizontaler zentraler Radius und rv = vertikaler zentraler Radius bezeichnet. Ohne Achsangaben der Ausrichtung können sie auch als Rflach und Rsteil bezeichnet werden.

Signifikante Unterschiede (p=0.001) be-

stehen zwischen der torischen Kontrollgruppe und den PKP-Augen in Bezug auf den flachen HH-Radius (Bild 32).

Zwischen den Indikationen für PKP sind die Radien nach PKP bei F mit im Median 8.24mm (Min: 6.67mm; Max: 9.62mm) signifikant flacher als nach PKP bei KK (Median: 7.71mm, Min: 6.67mm, Max: 8.72mm).

3.2.3.2 Zentrale Radiendifferenz in mm

Die Häufigkeit der Radiendifferenzen nach PKP mit KL-Notwendigkeit stellt sich wie in Bild 33 dar.

Im Median ergibt sich eine Radiendifferenz von 0.88mm. Die riesigen Spannweiten werden in Bild 34 links ersichtlich, in der die zentralen Radiendifferenzen nach dem flachen Radius sortiert und mit denen der torischen Kontrollgruppe (Bild 34 rechts) verglichen werden.

Differenziert nach der PKP-Indikation ergeben sich signifikante Unterschiede. Nach PKP bei KK beträgt der Median bei der absoluten Radiendifferenz 0.72mm, im Vergleich zu den beiden anderen Kategorien nach PKP bei Fuchsscher Endotheldystrophie (Median 1.23mm) und Divergen (Median 1.1mm) (p = 0.01 und 0.02).

3.2.3.3 Hornhautastigmatismus

Bei den Dioptrie-Angaben in Bild 35 bedeutet das Minuszeichen im Oculus-Keratograph einen Astigmatismus inversus, das positive Vorzeichen einen Astigmatismus rectus (Achslagengrenze liegt bei 45 und 135 Grad, einen Astigmatismus obliquus gibt es vorzeichendefiniert nicht). Bei 6.6% der KoG-RS lag ein Astigmatismus inversus vor, während bei der KoG-T keiner vorkam im Vergleich zu 47.6% bei PKP.

Bild 35 macht deutlich, dass die zentralen Hornhautastigmatismen nach PKP deutlich größer als die der Kontrollgruppen sind. Der Median liegt bei 6.1dpt mit Spannweiten von 0.7 bis 19.3dpt Astigmatismus. Einen signifikanten Unterschied innerhalb der Indikationsgruppen für die PKP gibt es nicht.

Verteilung des Astigmatismus nach dem Kriterium „rectus, inversus, obliquus“

Die Astigmatismen werden durch folgende Achslagen definiert:

- Astigmatismus rectus: 0 oder 180 Grad ± 20 Grad.
- Astigmatismus inversus: 90 Grad ± 20 Grad.

- Astigmatismus obliquus: alle dazwischen liegenden Achslagen.

Der Median der Astigmatismusausrichtung nach PKP liegt bei 95°, was einem Astigmatismus inversus entspricht (Bild 36).

3.2.3.4 Exzentrizität

Bei der Exzentrizität konnten alle PKP-Daten verwendet werden, da bei nicht automatischer Auslösung nur die zentralen Radien nicht stimmen, wohl aber verhältnismäßig die Peripherie. Die Exzentrizitäten zwischen den Kontrollgruppen und nach PKP unterscheiden sich wie in Bild 37 deutlich. Hornhäute nach PKP haben im Median eine Exzentrizität von -0.22 (-1.21 bis 1.07), die KoG-T 0.53 (0.18 bis 0.77) und die KoG-RS 0.51 (0.26 – 0.88). In den einzelnen Meridianen (nasal, temporal, inferior und superior) zeigt sich ein ähnliches Bild wie bei den gemittelten Daten aus Bild 37 mit inferior tendenziell den steilsten, temporal den flachsten Exzentrizitäten.

Bezogen auf die PKP-Indikationen ergibt sich ein signifikanter Unterschied zwischen der gemittelten Exzentrizität bei PKP nach Fuchsscher Endotheldystrophie mit einem Median von -0.6 und der PKP nach KK mit einem Median von -0.18 sowie zu PKP bei Divergen mit einem Median von 0.03.

3.2.4 Daten der Fourier Analyse

Aus der Fourieranalyse wurden der minimale Krümmungsradius der sphärischen Komponente Sphär.RMin, der zentrale Astigmatismus AstZ, der periphere Astigmatismus AstP, Unregelmäßigkeiten und die mittlere vertikale prismatische Abweichung MVP analysiert.

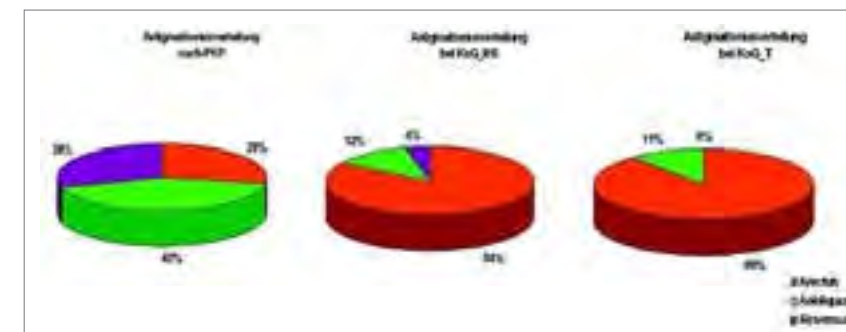


Bild 36: Astigmatismusverteilung.

Links: nach PKP: Grün = Astigmatismus obliquus 42%, rot = Astigmatismus rectus 28%, Lila = Astigmatismus inversus 30%; Mitte: KoG_RS: 12% Astigmatismus obliquus, 84% Astigmatismus rectus, 4% Astigmatismus inversus; Rechts: KoG-T: 11% Astigmatismus obliquus, 89% Astigmatismus rectus, 0% Astigmatismus inversus.

3.2.4.1 Minimaler Krümmungsradius der sphärischen Komponente (Sphär. RMin)

Signifikante Unterschiede des minimalen Krümmungsradius der sphärischen Komponente Sphär. RMin mit p=0 ergeben sich nach PKP und den Kontrollgruppen RS und T. Der Median ist mit 6.93mm signifikant steiler als bei der KoG-RS (7.75mm) oder der KoG-T (7.65mm).

Innerhalb der PKP-Indikationen liegen keine signifikanten Unterschiede vor.

3.2.4.2 Zentraler Astigmatismus aus der Fourier-Analyse

Beim Krümmungsunterschied des regulären zentralen Astigmatismus sind mit p=0 signifikante Unterschiede nach PKP (Median 0.4) und der KoG-RS (0.07) sowie mit p=0.004 der KoG-T (0.27) festzustellen. Die beiden Ko-G unterscheiden sich untereinander ebenfalls signifikant (p=0). Innerhalb der PKP-Indikationen liegen keine signifikanten Unterschiede vor.

3.2.4.3 Peripherer Astigmatismus

Beim Krümmungsunterschied des regulären peripheren Astigmatismus bestehen erwartungsgemäß signifikante Unterschiede (p=0) zwischen der Kontrollgruppe RS (0.08) und den anderen Gruppierungen (PKP mit Median 0.3, KoG-T 0.3). Innerhalb der PKP-Indikationen liegen keine signifikanten Unterschiede vor.

3.2.4.4 Unregelmäßigkeiten

Beim Mittelwert aller Abweichungen, der ebenfalls in den Indizes genutzt wird, sind die Hornhäute nach PKP mit einem Median von 0.094 signifikant (p=0.0) unregelmäßiger als die Kontrollgruppen (RS: 0.015 und T: 0.023).

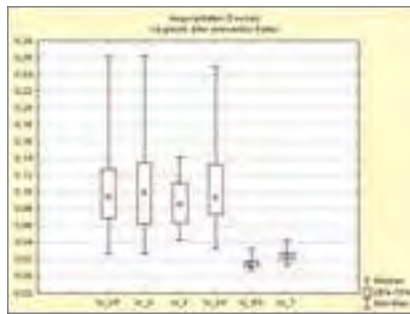


Bild 38: Irregularitäten – Box Whisker Plots für die unterschiedlichen Gruppierungen. KP=PKP allgemein, D=PKP bei Diverser Indikation, F=PKP bei Fuchsscher Endotheldystrophie, KK=PKP bei Keratokonus, RS=rotationssymmetrische Kontrollgruppe, T=torische Kontrollgruppe.

Innerhalb der PKP-Indikationen liegen keine signifikanten Unterschiede vor. Patienten nach PKP bei Fuchsscher Endotheldystrophie haben tendenziell weniger Irregularitäten als nach PKP bei KK oder D.

3.2.4.5 Mittlere vertikale prismatische Abweichung (MVP)

Die mittlere vertikale prismatische Abweichung unterscheidet sich signifikant ($p=0.0$) zwischen den Hornhäuten nach PKP mit einem Median von 0.61 zu den Kontrollgruppen (RS: 0.12, T: 0.18). Doch auch schon die Kontrollgruppen untereinander sind signifikant ($p=0.0001$) unterschiedlich, während innerhalb der PKP-Gruppierung auf Basis der Indikation keine signifikanten Unterschiede vorliegen.

3.2.5 Daten aus den Indizes

Für eine sinnvolle Klassierung ähnlich der bei Keratokonus werden die Daten aus den Indizes genutzt. Dazu gehören der Index of Surface Variance ISV, der Index of Vertical Asymmetry IVA, der kleinste sagittale Krümmungsradius RMin, der Index of Height Asymmetry IHA, der Keratokonus Index KI, der Center Keratokonus Index CKI sowie die Analysed Area AA.

Ziel war es, die Unterschiede oder auch Gemeinsamkeiten zwischen den einzelnen Gruppen zu analysieren, um eine eventuelle neue Klassierung für PKP herauszuarbeiten, was leider nicht gelang. Nur bei 3 Variablen, den Irregularitäten, dem ISV und dem IVA gelang eine einheitliche Annäherung über die Gamma-Verteilung, um eine statistische Auswertung vornehmen zu können.

Die Irregularitäten wurden in der Fourier-

analyse schon behandelt, die beiden auswertbaren Faktoren ISV und IVA werden nun vorgestellt.

3.2.5.1 Index of Surface Variance (ISV)

Mit dem ISV ist das Streuungsmaß der einzelnen Sagittalradien des vermessenen Auges vom Mittelwert gemeint. Er ist in der Regel erhöht bei Astigmatismus und unregelmäßigen Hornhauttopographien. So ist er auch hier bei PKP mit dem Median von 76 signifikant ($p=0.0$) erhöht im Vergleich zu den Daten der Kontrollgruppen (RS: 20, T: 35).

Die Kontrollgruppen untereinander sind ebenfalls signifikant unterschiedlich ($p=0.0$). Innerhalb der PKP-Gruppierung nach der Grunderkrankung liegen signifikante ($p=0.03$) Unterschiede zwischen PKP nach Fuchsscher Endotheldystrophie (69,5) und diversen Grunderkrankungen (81) vor.

3.2.5.2 Index of Vertical Asymmetry (IVA)

Der IVA ist das Maß für die Symmetrie der Radienwerte bezüglich oberer/unterer Hälfte. Es wird die Differenz jedes Sagittalradius in der oberen Hälfte zu dem der unteren Hälfte gebildet und diese dann gemittelt. Der IVA ist somit erhöht bei schrägen Achslagen und irregulären Hornhautformen.

Das bestätigt sich durch hohe Signifikanz ($p=0.0$) mit einem Median von 0.61 bei PKP zu den Kontrollgruppen (RS: 0.11, T: 0.16), die auch untereinander wieder signifikante Unterschiede ($p=0.0$) aufweisen. Innerhalb der PKP-Indikationen liegen signifikante Unterschiede zwischen PKP bei diversen Grunderkrankungen (0.74) und den beiden anderen Gruppen (Fuchsscher Endotheldystrophie mit $p=0.014$, Median=0.56) und KK ($p=0.009$, Median=0.6) vor. Die Transplantate bei Fuchsscher Endotheldystrophie sehen auch hier deutlich homogener aus.

3.2.5.3 Kleinster sagittaler Krümmungsradius (RMin)

Der kleinste sagittale Krümmungsradius im Messfeld unterscheidet sich signifikant ($p=0.0$) bei Hornhäuten nach PKP (6.18mm) von denen der Kontrollgruppen (RS: 7.61mm, T: 7.42mm).

Innerhalb der PKP-Indikationen liegen signifikante Unterschiede ($p=0.022$, Varianz $p=0.76$) zwischen PKP nach KK (6.01mm) und Fuchsscher Endotheldystrophie (6.41mm) vor.

3.2.5.4 Index of Height Asymmetry (IHA)

Bei dem Maß für die Symmetrie der Höhenwerte bezüglich des horizontalen Meridians als Spiegelungsachse liegen signifikante Unterschiede ($p=0.006$) zwischen den PKP-Daten und den Kontrollgruppen vor.

3.2.5.5 Keratokonus Index (KI)

Der KI ist das Verhältnis der Sagittalradienmittelwerte im oberen und im unteren Segment.

Bei starken Unregelmäßigkeiten scheinen sich Rechenfehler in das Oculus-Programm einzuschleichen, so dass Fragezeichen bei einigen Fällen auftauchen. 17.2% bei Diversen, 22.7% bei Fuchsscher Endotheldystrophie und 19.2% der Fälle nach KK konnten so nicht berücksichtigt werden. Es besteht kein signifikanter Unterschied des Medians zwischen der PKP-Gruppe und den Kontrollgruppen, auch wenn die Minimal- und Maximalwerte anderes vermuten lassen. Hier gibt es nur Tendenzen zwischen PKP bei Fuchsscher Endotheldystrophie und bei KK. Wiederum sind die Min/Max-Werte nach PKP bei Fuchsscher Endotheldystrophie deutlich weniger ausgeprägt als nach PKP bei KK.

3.2.5.6 Center Keratokonus Index (CKI)

Der CKI ist ähnlich dem KI eine Differenz der Sagittalradienmittelwerte. Allerdings vergleicht er die Mittelwerte eines zentralen Ringes mit denen eines peripheren Ringes. Er ist erhöht bei zentral liegendem Keratokonus.

Es existieren signifikante Unterschiede zwischen der PKP-Gruppe und den Kontrollgruppen ($p=0.0$), ebenso wie zwischen der PKP-Gruppe bei KK und den PKP bei Fuchsscher Endotheldystrophie ($p=0.006$) sowie diversen Grunderkrankungen ($p=0.02$). Die Daten nach PKP bei KK sind eindeutig am weitesten vom Normalwert der KoG-RS entfernt.

3.2.5.7 Analysed Area (AA)

Die tatsächlich vermessene Fläche ist bei unregelmäßigen Hornhautformen wie nach PKP deutlich kleiner als bei regelmäßigen Hornhauttopographien (Tab.7).

3.2.5.8 Keratokonus-Stadium (KKS)

Das KKS wurde anfangs für die Früherkennung des Keratokonus entwickelt, wird aktuell aber auch als Medium für die Ausgabe von Bezeichnungen wie abnorme Hornhaut, nach Hornhautchirurgie und

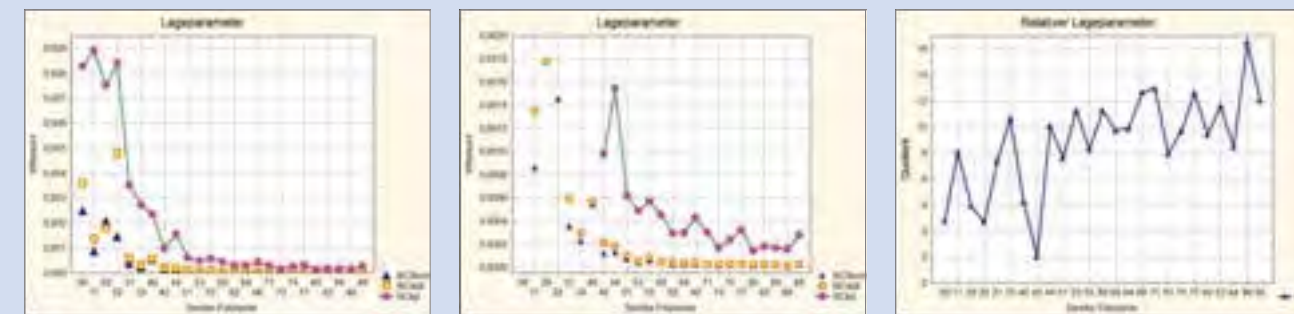


Bild 39: Abbildungsfehler laut Zernike-Analyse des Oculus KG. Links: Lageparameter für Mittelwerte der Zernike-Polynome bei Augen nach PKP, Astigmatismus und sphärische Versorgungen bis 0.4 mm Radiendifferenz. Rechts: Lageparameter für Mittelwerte der Zernike-Polynome mit Parametereinschränkung, so dass die Polynome höherer Ordnung besser zur Geltung kommen.

Bild 40: Relative Lageparameter der Zernike-Polynome in der Gamma-Verteilung im Verhältnis zu Normal- und Astigmatismusaugen. Z8/6 der Augen nach PKP ist im Vergleich 16fach höher!

natürlich den Keratokonus genutzt. Die topographischen Daten fließen in eine modifizierte Amslertabelle und werden dort bewertet. Folgende Typisierung ergab sich bei den Augen nach PKP: 60% abnorm, 22% wie ein KK, 9% nach Corneachirurgie, 3% deformiert und 5% normal.

3.2.6 Zernike-Analyse

3.2.6.1 Die höchste Stelle der Hornhaut

Die höchste Stelle der Hornhaut (Max) sollte ein Maßstab für die Scheiteltiefe der KL und damit eventuell auch für die Geometrie der KL sein. Zuerst werden die Grunddaten mit den Kontrollgruppen verglichen, dann die PKP-Daten differenziert und nach der PKP-Indikation analysiert. Die höchste Stelle ist in der PKP-Gruppe mit im Median 64μ signifikant höher als in den Kontrollgruppen (RS: $p=0.0$, 55μ und T: $p=0.02$, 41μ). Hinsichtlich der PKP-Indikation besteht kein signifikanter Unterschied.

Die horizontale Lage der höchsten Stelle der HH hat keinerlei Signifikanz, da die Spanne in allen Gruppen groß ist. Bei der vertikalen Lage der höchsten Stelle geben Negativvorzeichen an, dass die Lage unterhalb der Fixierlinie liegt, positive Werte die Lage oberhalb. Signifikante Unterschiede ergeben sich zwischen den PKP-Fällen (Median $y = 1.54\text{mm}$) und den Kontrollgruppen (RS: $p=0.001$, 0.32mm , T: $p=0.003$, 0.14mm).

3.2.6.2 Zernike-Polynome

Die Zernike-Polynome eignen sich neben der Beschreibung von Bildfehlern auch zur Beschreibung der Hornhautoberfläche

[130]. Durch die große Topographie-Vielfalt nach PKP liegt keine Normalverteilung vor. Die Gamma-Verteilung bietet sich zur Berechnung an, da sie eine kontinuierliche Wahrscheinlichkeitsberechnung über die Menge der positiven reellen Zahlen darstellt, was für die Betragswerte der Zernike-Analyse sinnvoll ist. Die Vergleiche über die Lageparameter der Gamma-Verteilung mit den Kontrollgruppen folgt nun im einzelnen.

3.2.6.2.1 Mittelwertvergleich

Den Großteil der Abbildungsfehler machen die Fehler 1. Ordnung aus, welche in der Regel durch eine Brille korrigierbar sind. Abbildungsfehler höherer Ordnung lassen sich speziell durch formstabile Kontaktlinsen korrigieren, nicht durch eine Brille oder aktuell weiche Kontaktlinsen. Das Polynom IZI22 beschreibt den regelmäßigen Astigmatismus des Auges. Er ist bei PKP-Patienten deutlich erhöht im Vergleich zu den Kontrollgruppen. Ab Polynom IZI42 werden die Daten auch bei Augen nach PKP deutlich kleiner und scheinen sich einem „Rauschen“ anzugleichen, was sich bei genauerer Betrachtung der Polynome höherer Ordnung durch Skalenveränderung anders darstellt (Bild 39). Während sich bei den KoG-RS und KoG-T

ab dem Parameter IZI55 keine nennenswerte Bewegung mehr ausmachen lässt, sind speziell die Polynome IZI66, IZI77 und IZI88 nach PKP erhöht. Insgesamt liegen die Abbildungsfehler der PKP-Augen signifikant ($p=0.0$) über denen der Normalaugen.

3.2.6.2.2 Bildung von Q, dem Mittelwert der Differenzen

Es wird der Mittelwert der PKP-Daten im Verhältnis zum gemittelten Mittelwert der KoG-RS und KoG-T dargestellt (Bild 40). Je größer die Ordnung der Zernike-Polynome wird, desto größer wird die Abweichung zu den Normal- und Astigmatismusaugen. Die Irregularitäten befinden sich somit in den höheren Ordnungen, welche mit Brille nicht korrigierbar sind. So hat der Abbildungsfehler IZI86 einen um Faktor 16 höheren Mittelwert im Verhältnis zu den Normal- und Astigmatismusaugen. Interessant ist, dass die Astigmatismuspolynome IZI22, IZI42 sich eher den Normalaugen angleichen.

3.2.7 Fazit

Bei den beiden häufigsten zur Kontaktlinsen-Anpassung führenden PKP-Indikationen zeigt sich, dass die Radien nach PKP bei Fuchsscher Endotheldystrophie (F)

| AA in % der vermessenen Fläche | | | | | |
|--------------------------------|-----------|------------|--------|-----|-----|
| | Gültige N | Mittelwert | Median | Min | Max |
| Normal | 75 | 63.7 | 64 | 48 | 84 |
| Tori | 35 | 61.5 | 61 | 46 | 75 |
| PKP | 104 | 46.6 | 47 | 26 | 69 |

Tab. 7: Ausgewertete Messfläche in %.

deutlich flacher sind als nach PKP bei Keratokonus. Die Exzentrizität ist nach PKP bei F steiler als nach PKP bei KK. Im Gegensatz dazu ist der Index of horizontal Asymmetry (IHA) und der CKI nach PKP nach F geringer, was die Transplantate bei F regelmäßiger erscheinen lassen als nach PKP bei KK. Die für die Kontaktlinsen-Anpassung relevanten topographischen Daten unterscheiden sich nach PKP signifikant von denen der Kontrollgruppe. So sind alle messbaren Radien im Median signifikant steiler, der Hornhautastigmatismus mit durchschnittlich 6.1dpt fast doppelt so groß wie der der torischen Kontrollgruppe und die Ausrichtung des Astigmatismus ist mit 42% Astigmatismus obliquus zu 11.5% bei den Kontrollgruppen sowie 30% Astigmatismus inversus im Verhältnis zu 4% (KoG_RS) bzw. 0% (KoG_T) signifikant unterschiedlich. Weiterhin ist die Exzentrizität mit im Median -0.22 signifikant steiler als die der Kontrollgruppen mit 0.55. Innerhalb der 4 Meridiane analysiert sind 26% durchgängig steiler, 40% mit gemischten Meridianen (flacher und steiler werdende Exzentrizitäten gemischt), 16% mit nur horizontal/vertikal unterschiedlichen Abflachungen und 18% durchgängig flacher werdend. Der zentrale Astigmatismus der Fourier-Analyse sowie die Unregelmäßigkeiten sind nach PKP signifikant größer als bei den regelmäßigen Kontrollgruppen, wobei der periphere Astigmatismus nach PKP durchschnittlich kleiner als der zentrale ist. Dieses wird eine Auswirkung auf die Radiendifferenz bei torischen KL haben. Aus den Indizes sind im Vergleich zu den Kontrollgruppen die maximale vertikale Verschiebung (MVP), der Index of Surface Variance (ISV), der Index of Vertical Asymmetry (IVA), der Index of Horizontal Asymmetry (IHA) sowie der Central Keratoconus Index (CKI) signifikant erhöht, was deutlich irreguläre Verhältnisse bestätigt. Aus der Zernike Analyse wird ersichtlich, dass der höchste Punkt der Hornhaut höher ist als bei normalen Hornhäuten, was eine höhere Scheiteltiefe der Kontaktlinse erfordert. Weiterhin wird durch die höhere vertikale Dezentration ersichtlich, dass höhere Anforderungen an die Dynamik der Kontaktlinse gestellt werden. Durch die signifikant erhöhten Zernikepolynome (Abbildungsfehler) speziell höherer Ordnung wird klar, dass eine formstabile Kontaktlinse in diesen Fällen für die Visussteigerung extrem hilfreich ist.

4. Kontaktlinsen-Anpasstechniken nach PKP

Grundsätzlich sind alle Kontaktlinsen, formstabile und weiche, dem Auge so anzupassen, dass ein komfortables und beschwerdefreies Linsentragen gewährleistet wird. Eine gut angepasste Kontaktlinse soll folgende Hauptanforderungen erfüllen:

- Sie soll den Hornhautmetabolismus möglichst nicht beeinflussen. Dauerhafte Schäden oder Veränderungen auf der Hornhaut oder Sklera sind nicht akzeptabel.
- Sie soll so zur Hornhaut bzw. zum Auge passen, dass sie kein oder nur minimales Fremdkörpergefühl verursacht.
- Sie soll möglichst jede Verformung der Hornhaut vermeiden.
- Sie soll diese Kriterien über Jahre hinweg erfüllen.

Diese Forderungen lassen sich nur erfüllen, wenn Hornhauttopographie, Linsendesign und die gewählte Anpasstechnik eng aufeinander abgestimmt sind. Eine gleichmäßige Druckverteilung der KL über die gesamte Hornhaut oder auf den skleralen Bereich (Bild 41) wäre ideal. Durch Unregelmäßigkeiten wie Stufen, Kanten, Fadenwülste und Erhebungen in Kombination mit großen Radienunterschieden ist diese jedoch meist nicht ideal realisierbar (Bild 42). Gleichzeitig muss

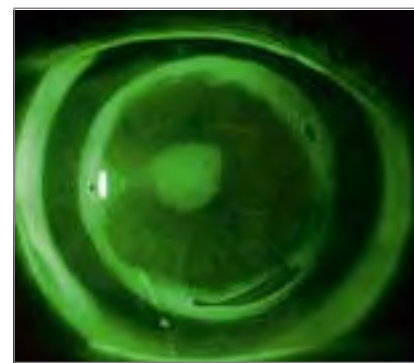


Bild 41: In der Mittelperipherie etwas zu steile reverse Miniskleral-KL auf extrem erhabenem Transplantat. Foto: S. Lohrengel



Bild 42: Verdeutlichung der irregulären HH-Topographie nach PKP. Quadranten-differente KL in unterschiedlichen Sitzpositionen. Fotos: Hecht Contactlinsen GmbH

die Beweglichkeit der Kontaktlinse ohne Verlustgefahr gewährleistet sein. Folgende Lösungsansätze bieten sich aus der Literatur vor diesem Hintergrund an.

4.1 Grundlegende Überlegungen zu den wirkenden Kräften, welche die KL-Position und Stabilität beeinflussen

Collins et al [113] widmen sich ausführlich und praxisnah dem obigen Thema. Speziell bei Keratoplastiken sind extrem unterschiedliche Hornhautkonturen möglich, so dass immer die Frage nach der funktionierenden KL-Geometrie, dem notwendigen KL-Durchmesser und dem zentralen auszuwählenden Radius zu klären ist. Entscheidend für die Auswahl sind die Konturübereinstimmung, der Lid-druck und die Oberflächenspannung. Schon bei regulären Hornhautformen sucht sich die Linse immer den Radius zur Zentrierung aus, dem sie am meisten entspricht, also in der Regel dem zentralen Radius (Bild 43). Deshalb wird bei einer Hornhautform wie der Keratoplastik, wenn sie oblong sein sollte, nur eine KL zentrieren, die eben diese Form nachempfunden (Bild 44). Im gleichen Zusammenhang werden torische Rückflächen empfohlen, da diese bei den üblichen hohen Astigmatismen die Hornhautkontur ebenfalls besser nachzeichnen und große Durchmesser, die über den Transplantat-Rand hinausgehen, um auf der Wirtshornhaut eine Anpasszone zu finden. Die Oberflächenspannung ist die Kraft, welche die KL auf dem Auge hält. Werden KL zu steil angepasst, verursachen sie Irritationen und/oder können sich festsaugen. Bild 45 links zeigt eine zu steile KL, welche durch die enge Peripherie unangenehm sein wird. Wird die Rückfläche zu flach ausgewählt, sind die Adhäsionskräfte zu gering und die Verlustgefahr somit überproportional groß (Bild 45 rechts).

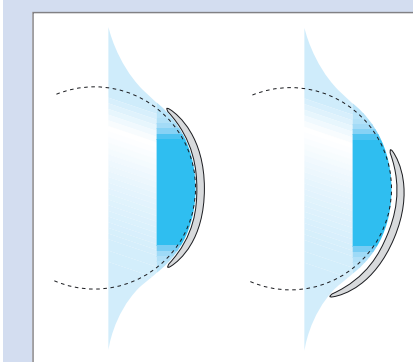


Bild 43: Eine formstabile KL zentriert sich in der Regel dort, wo sie am ehesten mit den Hornhautradien übereinstimmt. In diesem Fall im Zentrum [113].

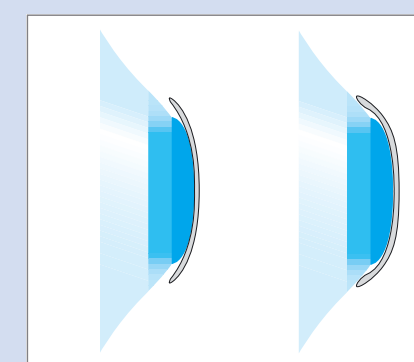


Bild 44: Oblonge Hornhautform, auf der eine normale in der Peripherie flacher werdende KL am Rand zu weit absteht und nicht zentrieren würde (links). Eine reverse KL-Geometrie (rechts) gibt die Voraussetzung einer Konturübereinstimmung und damit einer möglichen Zentrierung [113].

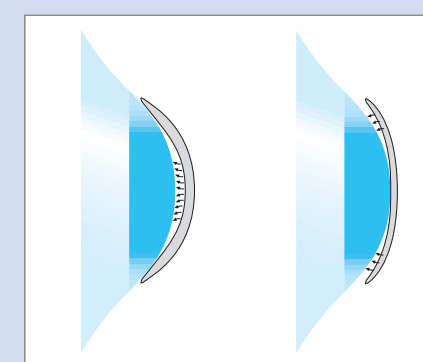


Bild 45: Links zu steile, rechts die zu flache KL [113].

Je besser die Konturübereinstimmung, umso ausgeprägter sind die Adhäsionskräfte zwischen KL und Hornhaut. Die Verlustgefahr wird geringer, die Druckverteilung besser und damit auch der Tragekomfort sowie die Langzeitverträglichkeit. Der Lid-druck kann entweder für oder gegen den Erfolg der Anpassung arbeiten. Je stärker der Lid-druck, desto stärker ist seine Auswirkung auf die Zentrierung und Beweglichkeit der KL in Kombination mit der Hornhautform und Kontaktlinnenstärke. Ein eventueller Hochsitz kann mit kleineren Kontaktlinsen oder aber mit einem Gewichtsballast verbessert werden. Viele der nachfolgend vorgestellten Anpasstechniken berücksichtigen nicht oder nur teilweise die beschriebenen Überlegungen. Außerdem sind häufig die Ergebnisse wegen zu kleiner Kohorten nicht zu verallgemeinern.

4.2 Anpassung ohne Berücksichtigung des zentralen Radius der PKP

Beekhuis et al [67] passten 1991 in 47 Fällen formstabile Kontaktlinsen nach PKP an, indem sie mit dem Zeiss Ophthalmometer zentrale Radien und periphere Radien in 30° gemessen haben, zusätzlich den Transplantat- und den Gesamthornhautdurchmesser. Für die Basiskurve der ersten Messlinse ignorierten sie die zentralen Radien komplett, nutzten dafür den steileren der beiden horizontalen peripheren Radien für den zentralen Kontaktlinsenradius.

Genutzt wurde eine standardisierte 3-kurvige KL mit einem Gesamtdurchmesser \varnothing_T von 9.6 mm. Nur 14 der 47 Anpassungen waren nach der 1. Anpassung erfolgreich, 19 weitere im 2. und 8 im 3. Anpassversuch. Dort wurde entweder die Basiskurve oder der Durchmesser der KL verändert. Es wurden keine torischen Kontaktlinsenrückflächen verwendet, so dass hohe Astigmatismen und Stufen nicht berücksichtigt wurden. Beekhuis et al gehen davon aus, dass die Anpassung nach PKP durch die irreguläre HH-Form immer eine „trial and error“-Anpassmethode sein wird [67].

4.3 Zentrale HH-Radienmessung: 1 - 5 dpt steiler als flacher HH-Meridian (1986)

Mannis et al [75] passten 41% formstabile KL bei PKP-Patienten mit Fäden und 59% ohne Fäden an. Sie differenzierten zwischen sphärischen und torischen (>2 dpt Zylinder) Hornhäuten. 76% waren torisch (6 Augen 2–4 dpt, 5 Augen 4–6 dpt, 11 Augen >6 dpt). In 24% wurden 2-kurvige, in 69% 3-kurvige und in 7% bitorische Linsen genutzt. Als Anpasskriterium wurden die zentralen HH-Radien genutzt, wobei keinerlei Information über die weitere Hornhautform bestand. Da rein koaxiale KL zum Einsatz kamen, wurde die Passform rein über den zentralen KL-Radius variiert. Resultat war, dass 69% eine KL trugen, die 1 – 5 dpt steiler als der flache HH-Meridian angepasst war. Auf

dem Auge war das Resultat parallel bei 38% und bei 41% leicht steil. Der Durchmesser der KL wurde nicht explizit erwähnt, außer, dass der Durchmesser größer als der des Transplantates sein sollte, um den Übergang mit der KL zu bedecken. 48% der Patienten konnten mit der 1. KL versorgt werden, 24% benötigten eine zweite KL. Der Rest benötigte mehrere Anpassversuche. Insgesamt waren 90% der Patienten mit der Anpassung sehr zufrieden und zufrieden.

4.4 Relative Flächenanpassung

Gomes et al wählten den zentralen KL-Radius mit dem EyeSys aus, indem sie den Cursor 1.5 mm oberhalb der optischen Achse setzten und diesen Punkt als zentralen Kontaktlinsenradius nutzten. Ziel war eine leichte Flächenanpassung mit leichtem Hochsitz, doch gut beweglich. Mit dieser Methode wurden topographische Veränderungen bei doch insgesamt akzeptabler Stabilität erzielt [69]. Wilson et al [71,72] nutzten die Flächenanpassung, um die Hornhaut bewusst zu verformen und möglichst die Irregularitäten nachhaltig messbar zu verbessern. Dazu passten sie die KL 0.2mm flacher an als der flachste HH-Meridian. Wenn die KL zentrierte, wurden gute Ergebnisse erzielt.

4.5 Große Gesamtdurchmesser

Um eine bessere KL-Zentrierung sowie einen besseren Komfort bei hoch irregulären

Versorgungen nach PKP zu erreichen, nutzt Edrington et al vorrangig große Gesamtdurchmesser Φ_T von 11.2 bis 15mm ohne weitere Anpasshilfen [114].

4.6 Große Gesamtdurchmesser + parallel zum flachen HH-Meridian mit Messlinsensatz

Geerard et al [32] passten bei 63 Augen mit Fäden und 28 ohne Fäden große 3-kurvige Kontaktlinsen mit einem Φ_T von 12mm an. Eine Orientierung am Hornhautgesamtdurchmesser wurde nicht gemacht. Hauptursache für den großen Durchmesser war die bessere Zentrierung der KL. Gearbeitet wurde mit einem Anpass-Satz aus 3-kurvigen KL mit folgenden Daten:

$$\begin{aligned} \text{Radien: } r_1 &= r_0 + 0.4\text{mm}, \\ r_2 &= r_0 + 1.6\text{mm}, \\ \text{Durchmesser: } \Phi_2 &= 8.6\text{mm}, \\ \Phi_0 &= 10.4\text{mm}, \Phi_1 = 12\text{mm}. \end{aligned}$$

Nach der Überrefraktion wurde eine individuelle 4-kurvige Kontaktlinse nach dem Fluoreszeinbild für den Patienten bestellt. Die durchschnittliche Tragezeit der großen KL mit einem 100 DK-Material betrug durchschnittlich 9.2 Stunden pro Tag. Je Patient wurden durchschnittlich 1.9 KL benötigt.

4.7 Kleiner Gesamtdurchmesser + parallel zum gemittelten HH-Meridian mit Messlinsensatz

Ziel der Studie von Wietharn et al war es, einen Gleichlauf mit möglichst wenig Auflagen zu erreichen. Es wurde mit einem Standard-Anpasssatz gearbeitet mit einem Gesamtdurchmesser von 8.5mm. Der zentrale Radius wurde durch Mitteln der beiden manuell mit dem Ophthalmometer gemessenen Radien erzeugt.

Es wurde durchschnittlich nach 18.2 Monaten angepasst, 40% mit Fäden, der Rest ohne. Es gab keine Probleme, weshalb die Anpassung von KL mit kleinen Durchmessern als sicher angesehen wurde [29].

4.8 Messlinsen und Topographie für reverse KL-Geometrie [62]

Die notwendigen Daten für den zentralen Radius, den Durchmesser der rückoptischen Zone sowie der reversen Kurve wurden aus den topographischen Daten entnommen. Es wurden scheinbar nur PKP versorgt, die eine oblonge Form haben. Der zentrale Radius für die 1. Messlinse (Menicon Plateau lens) wurde aus den Radien der Übergangzone zwischen dem flachen Zentrum und der steilen Wirtshornhaut ausgewählt. Der Durchmesser

der rückoptischen Zone beinhaltet die zentrale flache Zone und geht bis zum Wendepunkt der Übergangzone, dem sogenannten „Knie“. Dort findet ein schneller Kurvenwechsel zwischen der zentralen und peripheren Zone statt.

Die KL hatten einen Φ_T von 9.4 und 10mm mit einer reversen Kurve, welche zwischen 2 bis 4dpt differierte. Endgültig wurden KL mit einem Unterschied von 2 bis 10dpt angepasst. Insgesamt wurden nur 4 Patienten nach PKP mit diesen KL versorgt.

4.9 Reverse Hydrogellinsen

Bei einem Patienten, der ohne Interesse an formstabilen KL war, wurde eine individuelle reverse Hydrogellinse angepasst, welche eine steilere 2. Kurve als die zentrale hatte und eine 3. Kurve, welche flacher als die 2., aber immer noch steiler als die Basiskurve war. Es handelte sich um ein hervorstehendes TP. Der Patient erreichte einen Visus von 0.8 rechts und 0.4 auf dem linken Auge. Enge Kontrollen wurden angesetzt, um Hypoxie vorzubeugen [115].

4.10 Anpassung anhand zentraler Radien und Exzentrizität

Gruenauer-Kloevekorner et al [70] nutzten die Videotopographie des Oculus KG, um die Exzentrizität und die zentralen HH-Radien für die Auswahl von 4 KL-Designs zu erhalten.

- 3-kurvige KL wurden bei Exzentrizitäten von 0 bis 0.4 genutzt.
- 4-kurvigere Keratokonus-Design für $e > 0.7$.
- 4-kurvigere reverses Design für negative Exzentrizitäten und hohe zentrale Astigmatismen.
- Oblonges Design für Exzentrizitäten von -0.4 bis -0.9 .

Torische Rückflächen wurden bei regulären Astigmatismen genutzt, welche vom Zentrum bis in die Peripherie gingen. Dort soll dann die Exzentrizität keine Rolle spielen.

4.11 Anpassung mit Fäden, großem Durchmesser und Nutzung eines Videotopographen

Eggink et al nutzen ein spezielles Verfahren für die Anpassung von formstabilen Kontaktlinsen in der frühen Phase nach PKP mit beiden Fäden [71]. Statt wie sonst die entstandene Wulst zwischen Transplantat und Wirtshornhaut zu überbrücken, nutzen sie diesen Bereich als Auflage für die KL (Bild 47). Die optische Zone wurde größer als der Nahtbereich gewählt, die Pe-



Bild 46: Minisklerallinse bei extrem vorstehendem TP (Re-KK). Foto: S. Lohregel

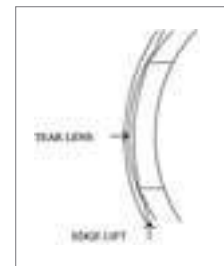


Bild 47: Anpassung mit Fäden, wobei die Wulst, welche durch die Fäden entsteht, als Anpasszone genutzt wird [71].

riperie verhältnismäßig flach, damit genügend Tränen austausch vorhanden ist. Es wurde ein großer Durchmesser von durchschnittlich 11mm gewählt. Der durchschnittliche Anpasszeitpunkt war nach 7 Monaten.

Die Auswahl des zentralen Radius fand mit einem Videotopographen (Alcon) statt. Es wurde der innere Bereich des Transplantates mit Ringsegmenten analysiert, der mindestens über „2 Stunden“ im Kreissegment gleichmäßig ist. Gibt es mehrere solcher regelmäßigen Segmente, wird der genommen, der am dichtesten an 7.7mm ist, dem Radius des Gullstrand-Normalauges. Beispiel: Region 1 hat 9.2mm, Region 2 misst 8.6mm. Die 1. Messlinse wird dann mit einem Radius von 8.6mm gewählt. Außerhalb des Transplantates bzw. des Wundbereiches ist in der Regel keine Abbildung mehr auswertbar. Genutzt wurde die tangentielle, nicht die sagittale Darstellung.

Das genutzte KL-Design ist 4-kurvig mit folgenden Parametern:

$$\begin{aligned} \text{Durchmesser: } \Phi_0 &= 8.5, \\ \Phi_1 &= 10.5, \Phi_T = 12\text{mm}. \\ \text{Radien: } r_1 &= r_0 + 0.5\text{mm}, \\ r_2 &= r_0 + 1.5\text{mm}, \\ &\text{Bevelradius } 12.5\text{mm}. \end{aligned}$$

(Anmerkung des Autors: Ergibt eine 3-kurvige KL mit Bevel, keine 4-kurvige KL)

Die endgültige KL wurde nach Fluoreszeinbeurteilung individuell bestellt. Es wurden zentrale Radien von 6.6 bis 8.6mm und dem Gesamtdurchmesser von 10.2 bis 12.3mm genutzt.

Die Studie verlief sehr erfolgreich mit Tragezeiten von durchschnittlich 13 Stunden/Tag ohne Eintrübungen oder Vaskularisationen und ohne Patientenausstieg.

4.12 Anpassung von Sklerallinsen

Durch die hoch sauerstoffdurchlässigen Materialien wie das Boston XO2 werden aktuell immer mehr Miniskleral-Semiskleral- oder Sklerallinsen angepasst, um den irregulären Hornhautbereich komplett zu überbrücken und den Druck nur auf die Sklera zu verteilen (Bild 46).

Ganu veröffentlichte die erfolgreiche Versorgung von 17 Augen nach PKP mit Sklerallinsen auf dem Global Specialty Contact Lens Symposium 2011.

4.13 Differenzierte Anpassung anhand Topographie-Klassierung

Szczotka et al [12] sprechen von einem Design einer KL, indem sie folgende Faktoren zuerst analysieren: Durchmesser des Transplantats, topographisches Verhältnis von Spender- zu Wirtshornhaut, Torizität und Position des Transplantats. Sie nutzen die Klassierung von Schanzlin et al [132]. So wird differenziert zwischen folgenden Klassen und KL-Typen:

- Prolate HH-Formen: Einfach anzupassen mit standardisierten KL-Geometrien.
- „Proud“ grafts = Erhabene Transplantate: Reverse Geometrien oder Minisklerallinsen.
- Oblate HH-Formen: Reverse Geometrien, bei denen die zentrale Rückoptikzone größer als der Durchmesser des Transplantates sein soll. Für den zentralen Radius empfehlen sie einen mehr peripheren Bereich der Topographie außerhalb der relativ flachen zentralen Zone. Gewünscht ist ein leichtes Überbrücken des zentralen Transplantatbereiches mit einer Auflage in der Mittelperipherie und einem guten Absteigen des äußeren Randes.
- Torische Rückflächen: Sie werden empfohlen, wenn der Astigmatismus sich nicht nur auf einen kleinen Bereich beschränkt. Er sollte auch $> 5\text{dpt}$ sein. Immer wenn die ursprüngliche Wirtshornhaut sphärisch ist, wird auch bei zentralem Astigmatismus keine torische Kontaktlinse empfohlen.

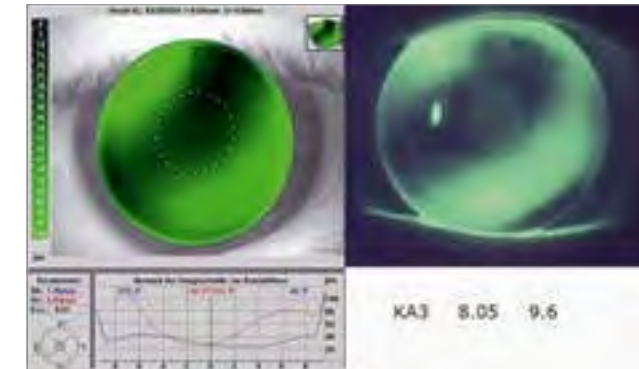


Bild 48: Simuliertes und Originalfluobild bei KL-Anpassung nach PKP.

- Steil zu flach-PKP-Form (gekippete PKP): Die größte Gefahr der formstabilen KL ist hier in Richtung des steilen Meridians zu dezentrieren. Normale KL-Designs mit speziellen Optionen kommen zum Einsatz. So erhalten nach unten dezentrierte KL flachere zentrale Radien, einen Minustragrand oder größeren Gesamtdurchmesser. Bei horizontalen Dezentrationen werden größere Gesamtdurchmesser oder asphärische Rückflächen für eine bessere Zentrierung, bei Hochsitz ein Prismenballast empfohlen.

- Dezentrierte Transplantate: Es werden KL mit dezentrierten rückoptischen Zonen oder ein Piggyback-System (mit Silikonhydrogel als Trägerlinse) genutzt. Ein sehr strukturiertes und sinnvolles Vorgehen mit Nutzung der Topographie und eingeschränkt auch eines automatischen Anpassprogrammes. Ein ähnliches Vorgehen wird auch von Edrington et al beschrieben [65].

4.14 Kontaktlinsenanpassung mit zeitgemäßen Messinstrumenten und Anpass-Software

Unter einer zeitgemäßen Kontaktlinsen-Anpassung ist die Kombination moderner Messinstrumente wie dem Videotopographen und das Nutzen einer dort integrierten intelligenten Anpass-Software in Kombination mit modernen individuellen Kontaktlinsen zu verstehen. Die intelligente Anpass-Software nutzt topographische Merkmale der Hornhaut wie zentrale Hornhauradien, den Astigmatismus und die Exzentrizität für einen Kontaktlinsen-Erstvorschlag. Dieser Erstvorschlag kann realitätsnah als Fluoreszeinbild simuliert und individuell je nach Anpassetechnik des Kontaktlinsen-Spezialisten modifiziert werden. Jede Kontaktlinsen-Geometrie ist simulierbar – von einer einfachen rotati-

onssymmetrischen Rückfläche bis hin zu quadrantendifferenten Kontaktlinsen-Geometrien.

Nosch et al [99] testeten das Hecht Contactlinsen Anpassmodul im Oculus KG für irreguläre Hornhauttopographien. Die Anpassung fand somit ohne Messlinsen dafür über die Simulation des Fluoreszeinbildes im KL-Anpassprogramm statt (Bild 48 links). Die Analyse der jeweiligen Daten wurde mit den Analysetechniken des Keratographen durchgeführt, eine erste Anpass-Kontaktlinse bestellt und dann wenn notwendig im 2. Schritt verändert.

Durch die Möglichkeit, Fluoreszeinbilder im Vorfeld simulieren zu können, wurden signifikant weniger Messlinsen benötigt (1.99 statt 2.25). Es konnte effizienter gearbeitet werden. Die subjektive Sehleistung verbesserte sich ebenso wie die tägliche Tragezeit. Weiterhin bevorzugten 77.9% der Patienten diese Anpassmethodik im Vergleich zur traditionellen.

Fünf der insgesamt 68 versorgten Augen waren Fälle nach PKP. Die Erfahrungen speziell nach PKP wurden in der Masterthesis¹ weiter vertieft.

¹Masterthesis 2010, Hochschule Aalen in Kooperation mit der Universitätsaugenklinik Freiburg

5 Angepasste Kontaktlinsen

131 Augen nach PKP wurden mit dem Oculus Keratograph vermessen, 125 Augen dann mit KL versorgt, welche mit der Hecht Anpass Software ausgewählt wurden.

Um eine optimierte Druckverteilung bei der Anpassung nach PKP zu erreichen, wurden unterschiedliche Kontaktlinsen genutzt, welche sich in der Rückflächengestaltung unterscheiden. Es wird differenziert zwischen den unterschiedlichen Geometrieformen (Typ) und der grundlegenden Rückflächengestaltung (Rückfläche).

5.1 Angepasste KL-Rückflächen: sphärisch (sph), torisch (T); quadrantendifferent (Q) und Miniskleral (MSK)

Bei der Rückflächengestaltung wurde zwischen sphärischen, torischen, quadrantendifferenten Rückflächen und Minisklerallinsen unterschieden. Sphärisch bedeutet, dass die Rückfläche rotationssymmetrisch ist, BTC und BT bedeutet, dass wegen des Hornhautastigmatismus bei der Anpassung eine torische KL-Rückfläche notwendig wurde und Q (Quadro) steht für quadrantendifferent, was in jedem Meridian eine individuelle Abflachung ermöglicht. Im zentralen Bereich können quadrantendifferente Rückflächen zusätzlich sphärisch oder torisch angepasst werden. Minisklerallinsen wurden immer dann angepasst, wenn durch corneale KL kein ausreichendes Sitzverhalten erreicht werden konnte.

In 40% der PKP-Anpassfälle wurden torische Rückflächen angepasst, gefolgt von 31% quadrantendifferenten und 23% sphärischen Rückflächen. Die restlichen 6% erhielten MSK (Bild 49).

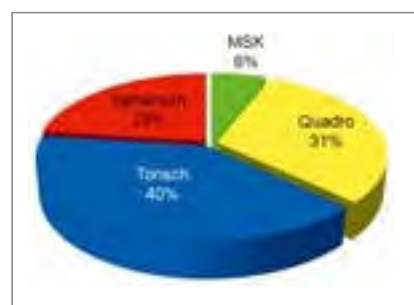


Bild 49: Kreisdiagramm für die Kontaktlinsen-Rückflächenverteilung. T = Torische Rückfläche, Quadro = Quadrantendifferent, MSK = Miniskleral, Sph = sphärische Rückfläche.

5.1.1 Angepasste Kontaktlinsen-Rückflächen differenziert nach der PKP-Indikation

Nach PKP bei Keratokonus wurden 37% quadrantendifferente KL angepasst, während es nur 14% bei Fuchsscher Endotheldystrophie waren.

Eindeutig die meisten Minisklerallinsen wurden mit 14% der Anpassungen bei Fuchsscher Endotheldystrophie angepasst, was eventuell an den frühen Anpassungen in dieser Kategorie mit 1 oder 2 Fäden zusammenhängt.

5.1.2 Angepasster Kontaktlinsen-Typ

Folgende KL-Typen kamen bei der Anpassung nach PKP zum Einsatz: Ascon, BIAS, KA1, KA3, KA4 revers, KAKC, Quadro und Minisklerallinsen. Bis auf die Minisklerallinsen konnten alle KL-Typen rotationssymmetrisch (sph) oder torisch (T) angepasst und gefertigt werden.

Wird so die Rückfläche rein nach dem Kriterium rotationssymmetrisch oder torisch differenziert, wurden 30,3% der KL nach PKP rotationssymmetrisch und 69,7% der KL torisch angepasst.

42% der torischen Rückflächen waren quadrantendifferente KL, 33% 3-kurvige Flächen.

Im Gegensatz zu den torischen sind bei rotationssymmetrischen Rückflächen die reversen 4-kurvigen KL mit 23% gleich häufig angepasst worden wie die 3-kurvigen sphärischen Kontaktlinsen. Minisklerallinsen und Quadro haben ebenfalls den gleichen Anteil mit 15%.

5.1.3 Differenzierung innerhalb der torischen Kontaktlinsen

Es wurden bitorische (BT) und bitorisch kompensierte KL (BTC) genutzt. Der Unterschied BTC und BT liegt lediglich in der optischen Wirkung der KL. BTC heißt Bitorisch kompensiert und bedeutet, dass der induzierte Astigmatismus der torischen Rückfläche auf der Vorderfläche wieder kompensiert wird. Die KL hat somit die gleiche Wirkung wie eine sphärische KL auf dem Auge mit dem Vorteil des besseren Sitzverhaltens.

Von der Gesamtheit aller torischen KL-Rückflächen, wurden nur 14,1% als BT gefertigt, was neben der torischen Rückfläche auch eine torische Wirkung der KL beinhaltet. Bezogen auf die Gesamtmenge aller angepassten KL bedeutet das, dass nur

9,5% der angepassten KL eine torische Wirkung haben, während für die Passform 69,7% torische Rückflächen notwendig waren.

5.1.4 Auswahl der torischen KL-Rückfläche in Abhängigkeit zu diversen Astigmatismusparametern des Oculus-Keratographen

Im Oculus-KG stehen mehrere Astigmatismusbetrachtungen zur Verfügung:

- Der zentrale Hornhautastigmatismus resultierend aus der Radiendifferenz (Übersichtsdarstellung).
- Der zentrale Astigmatismus (Fourieranalyse).
- Der periphere Astigmatismus (Fourieranalyse).
- Astigmatismuspolynome der Zernikeanalyse (IZI22 und Astigmatismen höherer Ordnung IZI42, IZI62, IZI82).

Bei der Betrachtung in Relation zur KL-Rückfläche wird diese in 2 Gruppen eingeteilt: die sphärischen (sph) und die torischen (BTC) Rückflächen inklusive der BT. Mit dem T-Test wurde analysiert, welche Werte signifikant mit der Auswahl der Rückfläche zusammenhängen.

Die Auswahl der KL-Rückfläche ist am signifikantesten abhängig von der zentralen Radiendifferenz ($p=0.0$, Varianz $p=0.23$) (Bild 52), dem peripheren Astigmatismus der Fourieranalyse ($p=0.0$, Varianz $p=0.002$) sowie dem IZI22 Polynom für den regelmäßigen Astigmatismus der Zernikeanalyse ($p=0.0$, Varianz $p=0.003$). Irrelevant ist die Differenz zwischen dem zentralen und peripheren Astigmatismus der Fourieranalyse.

5.1.5 Rückflächenauswahl anhand der Exzentrizität

Bei der KL-Anpassung regulärer Hornhauttopographien wird die KL-Geometrie anhand der Exzentrizität und der Anpassphilosophie des KL-Spezialisten ausgewählt. Um diese Relevanz für die Anpassung bei PKP untersuchen zu können, werden zuerst die unterschiedlichen Meridiane betrachtet und eingeteilt.

Wie in Abbildung 53 ersichtlich sind vertikal die Exzentrizitäten zu 46% negativ, also steiler werdend, während sie horizontal mit 45% überwiegend gemischt (1 Meridian flacher, der andere steiler werdend) sind. Die Voraussetzung für eine einfache Anpassregel in der Peripherie ist somit denkbar schlecht und das Nutzen der gemittelten

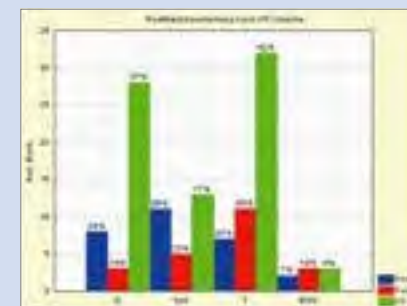


Bild 50: Rückflächenverteilung nach der PKP-Indikation.

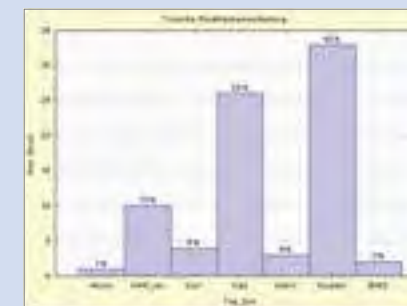


Bild 51: KL-Typverteilung links für torische, rechts für rotationssymmetrische (sph) Rückflächen.

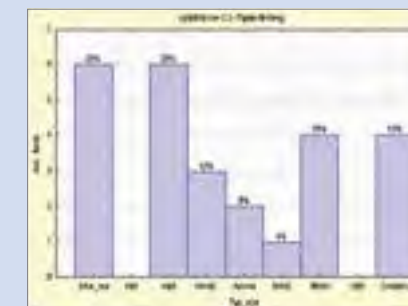


Bild 54: Höhe der steilsten Stelle in Abhängigkeit zur KL-Rückfläche.

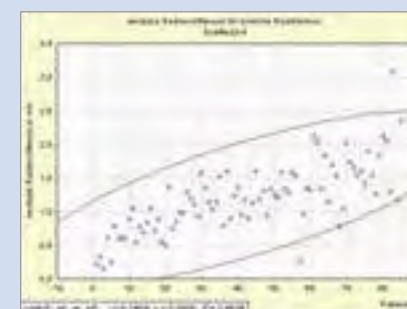


Bild 52: Relevanz der zentralen Radiendifferenz für die Auswahl einer torischen Rückfläche bei PKP.

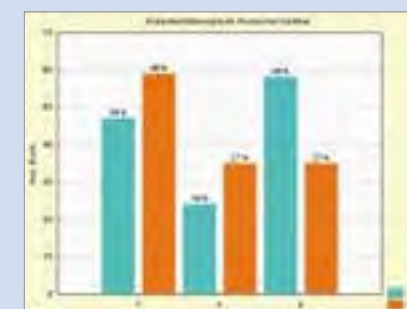


Bild 53: Exzentrizitätsvergleich der horizontalen und vertikalen Meridiane. Abkürzungen: n=negative Exzentrizität, p=positive Exzentrizität, g=gemischte Exzentrizitäten.

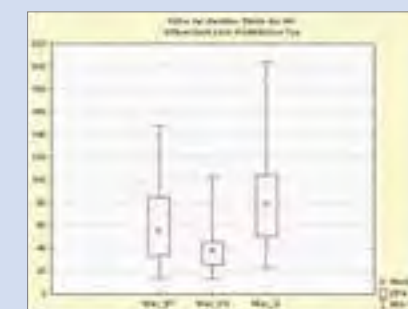


Bild 54: Höhe der steilsten Stelle in Abhängigkeit zur KL-Rückfläche.

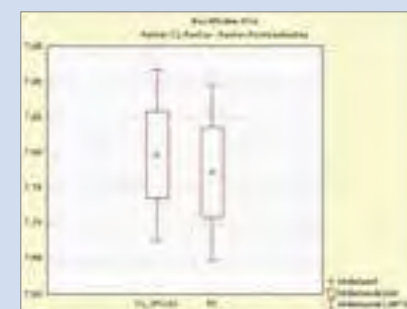


Bild 55: Links: Flacher KL-Radius und flache HH-Radius. Rechts: Prognose für den flachen KL-Radius in Abhängigkeit vom flachen HH-Radius für alle Anpassungen gemittelt.

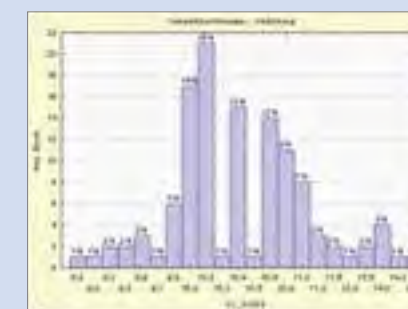
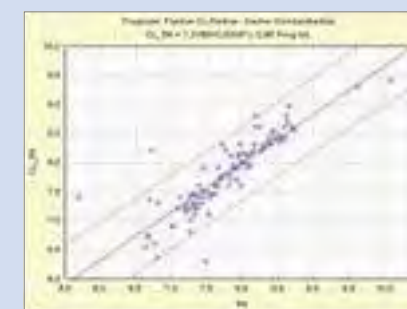


Bild 56: Verteilung der Gesamtdurchmesser.

Exzentrizität wenig sinnvoll. Werden alle Profile, in denen gemischte Meridiane vorkommen zusammengelegt, was für eine KL-Geometrieauswahl durchaus Sinn macht, sind 40% der HH mit gemischten Meridianverläufen vorhanden: 26% mit durchgängig negativer und 18% mit durchgängig positiver Exzentrizität sowie 16% mit nur horizontal und vertikal unterschiedlichen Abflachungen. Übertragen auf die angepassten KL-Geometrien können nur schwerpunktmäßige,

keine signifikanten Zusammenhänge festgestellt werden:

- Bei durchgängig negativer Exzentrizität werden vorrangig KA4 revers und Quadro angepasst.
- Bei horizontal / vertikal unterschiedlichen Abflachungen kommen vorrangig 3-kurvige (KA3) mit 25% und Quadro mit 35% zum Einsatz.
- Bei gemischten Verhältnissen wird die Quadro mit 34% am häufigsten vor der KA3 mit 30% angepasst.

- Bei durchgängig flacher werdenden HH wird die KA3 mit 43% am häufigsten angepasst, signifikant weniger als in allen anderen Profilen die Quadro.

5.1.6 Rückflächenauswahl anhand der Höhe und Lage der höchsten Stelle der Hornhaut (Zernike Analyse)

Die höchste Stelle der HH ist immer in Gefahr punktuell belastet zu werden, speziell bei irregulären HH wie nach PKP. Es wird

untersucht, ob diese Auswirkungen auf die Auswahl der Rückflächengeometrie (rotationssymmetrisch (RS), torisch (BT) und quadrantendifferent (Q)) hat. Die Unterschiede sind signifikant zwischen quadrantendifferenten Rückflächen mit einem Median von 79µ zu rotationssymmetrischen Rückflächen (38 µ) und torischen Rückflächen (55 µ). Auch zwischen torischen und rotationssymmetrischen Rückflächen ist ein signifikanter Unterschied festzustellen. Bezogen auf die Lage der höchsten Stelle ergeben sich nur Tendenzen, aber keine Signifikanzen.

5.2 Parameterauswahl

5.2.1 Flacher Kontaktlinsenradius

Von den 125 angegebenen Radien beträgt der Median 7.9mm mit einem Minimum von 6.3mm und einem Maximum von 9.4mm. Differenziert nach der PKP-Indikation ergeben sich nach Versorgungen bei Fuchsscher Endotheldystrophie mit 8.37mm im Median 0.47mm flachere KL-Anpassungen als nach PKP bei Keratokonus mit 7.9mm.

5.2.2 Zusammenhang flacher Kontaktlinsenradius zu flachem HH-Radius

Die Kontaktlinsen werden durchschnittlich 0.02mm flacher angepasst als der flache HH-Radius. Es lässt sich eine allgemeine Prognose wie in Bild 55 rechts ersichtlich aufstellen. Bis auf wenige Ausnahmen liegen alle flachen Kontaktlinsenradien im Prognosefenster mit dem Zusammenhang:

$$R_{\text{KLflach PKP}} = 1.32 + 0.83 \cdot R_{\text{HHflach}}$$

5.2.3 Radiendifferenz der torischen Rückflächen

Insgesamt wurden 82 KL mit torischen Rückflächen angepasst. Die Radiendifferenz beträgt im Minimum 0.35 mm bis zu 2 mm Radiendifferenz. Der Mittelwert beträgt 0.96mm, der Median 0.97mm. Es ist kein relevanter Unterschied zwischen Versorgungen nach PKP bei KK oder Fuchsscher Endotheldystrophie festzustellen.

5.2.4 Genutzte Sonderausführungen

In 41% der angepassten Fälle wurden Sonderausführungen genutzt. Darunter sind Extras in der KL-Geometrie zu verstehen, welche das Sitzverhalten der KL positiv beeinflussen sollen.

- Minustragrand: In 5.3% der Fälle wurde ein Minustragrand genutzt, welcher speziell tief sitzende KL für das Oberlid greifbarer und damit beweglich machen soll.
- Eingeschränkte Vorderoptikzone (VOZ): Sie wurde in 2.3% der Fälle genutzt. Aus ihr resultiert ein schlankeres KL-Design und damit eine leichtere Linse.
- Ovalisierungen: Sie wurden bei 13% der Patienten genutzt. In 11 Fällen (8.4%) wurde oben, in 5 Fällen (3.8%) unten und bei einem Patienten horizontal ovalisiert. Mit einer Ovalisierung wird ein zu starkes Absteigen oder Anliegen der Linse in einem bestimmten Bereich zu verhindern versucht.
- Prisma: 16.8% (22 Fälle) wurden mit einem Prisma versehen, welches als Gewichtsballast dient. Die KL soll damit mobil gehalten werden, ein Festsitzen im oberen Bereich verhindert werden.
- Bevel: Eine Sonderausführung des Bevels ist in 13% in Bezug auf die Bevelbreite und in 12.2% in Bezug auf den Bevelradius gemacht worden. Der Bevel ist die äußerste Zone der Kontaktlinse und für eine gute Unterspülung zuständig.

5.2.5 Angepasste Kontaktlinsen-Gesamtdurchmesser

Je nach Anpassphilosophie kann der Gesamtdurchmesser einer formstabilen Kontaktlinse sehr unterschiedlich sein. Es besteht eine Abhängigkeit zur Lidspaltengröße und Form des Auges sowie dem sichtbaren Irisdurchmesser. Bei normalen Hornhauttopographien sind somit KL-Gesamtdurchmesser von ca. 9.2 bis 10.2mm die Regel. Durch die sehr speziellen Verhältnisse bei Versorgungen nach Keratoplastik und durch den Versuch mit der modifizierten Konturanpassung das Transplantat zu überbrücken, sind in der Regel größere Durchmesser vorprogrammiert. Der von 118 Versorgungen ermittelte Median beträgt 10.4mm mit einem Minimum von 8.5mm und einem Maximum von 15.5mm, der Modus mit einer Häufigkeit von 21 ist 10.2mm.

5.2.6 Sichtbarer Irisdurchmesser in Zusammenhang mit Kontaktlinsen-Durchmesser

Eine Betrachtung des Kontaktlinsendurchmessers ohne den sichtbaren Irisdurchmesser liefert keine klar bewertbaren Aussagen. Deshalb wird hier dieser Zusammenhang hergestellt.

Bei den häufiger genutzten KL-Typen wurden im Mittel die Durchmesser im Vergleich zum Hornhautdurchmesser wie folgt ausgewählt:

| | |
|-------------------|----------------|
| KA3 | 1.80mm kleiner |
| Quadro AS | 1.54mm kleiner |
| Quadro KA | 1.64mm kleiner |
| Reverse Ka4 | 1.80mm kleiner |
| Minisklerallinsen | 1.76mm größer |

Mit liegenden Fäden wurde deutlich größer angepasst als ohne, was sicher an dem steigenden Anteil an Minisklerallinsen lag. Aus heutigem Gesichtspunkt werden die MSK circa 5–6mm größer angepasst als der sichtbare Irisdurchmesser. Die Ursache dafür ist eine bessere und gleichmäßigere Druckverteilung der KL auf der Sklera.

5.2.7 Genutzte Kontaktlinsen-Materialien

Bei der KL-Versorgung nach PKP zählen die Sauerstoffdurchlässigkeit, Benetzungseigenschaften und die Stabilität/Formbeständigkeit zu den wichtigsten Materialeigenschaften der KL. Je nach Dioptriestärke kommen dann noch die Gewichtseigenschaften hinzu. Bei hohen Plusversorgungen oder tiefsitzenden KL werden leichte, bei oben sitzenden oder Minuswerten eher schwere Materialien benötigt. Gewünscht wäre zusätzlich immer ein dünnes Material.

In der Studie war das EQ mit 48.1% und seinen Allround-Eigenschaften das am meisten genutzte Material, gefolgt von HDS (14.5%), Optimum extra (6.9%), Onsi 56 (ehemals Comfort) (4.6%) und sonstigen Materialien. Aktuell wird fast durchgängig das Bo-XO2 angepasst, da dieses Material eine hohe Sauerstoffdurchlässigkeit bei gleichzeitig guten Festigkeits- und Stabilitätseigenschaften hat. Es stand während der Studie noch nicht zur Verfügung.

5.2.8 Stärkenverteilung der angepassten Kontaktlinsen

Durch die vielen unterschiedlichen Voraussetzungen und Krankengeschichten ist die Stärkenverteilung schwer zu vereinheitlichen.

So reichen die Versorgungen von über -14.5dpt (PKP bei KK) bis zu +17.25dpt bei gleichzeitig aphaken Versorgungen, also einer Spanne von 31.75dpt. Von 119 erfassten Dpt-Werten ergibt das einen Median von 1.25dpt.

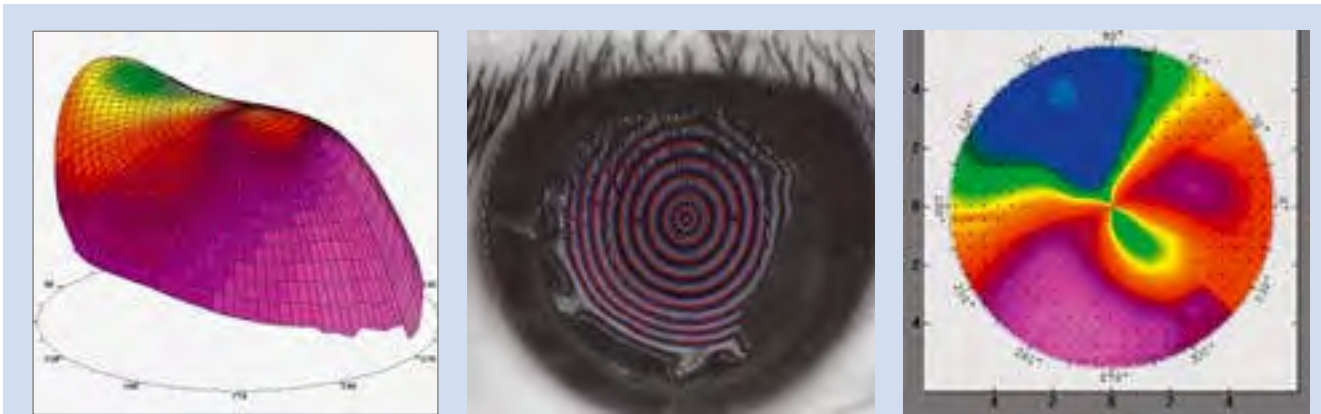


Bild 57: Ansichten aus dem Oculus Keratograph. Links: 3-D-Ansicht nach PKP, Mitte: Kamerabild bei PKP mit 2 Fäden, rechts: Übersichtsdarstellung einer PKP.

6. Patientenzufriedenheit

Wenn Patienten nach einem operativen Eingriff wie der PKP wiederum eine Seehilfe für ihre visuelle Rehabilitation benötigen, stellen sie in der Regel von vornherein eine gewisse „Negativauslese“ dar. Ihr Ziel der kompletten visuellen Rehabilitation ohne Kontaktlinsen oder Brille wurde nicht erreicht.

Wie zufrieden sind diese Patienten nun mit der zusätzlich notwendig gewordenen Kontaktlinse? Welche Zufriedenheit kann der Anpasser mit seiner Versorgung subjektiv vom Patienten erwarten? Zur Klärung dieser Fragen werden zuerst die Ergebnisse einer Kontaktlinsenzufriedenheitsbefragung an Keratokonus-Patienten vorgestellt, der anteilig größten Gruppe, welche auch nach der PKP wieder Kontaktlinsen trägt. Im zweiten Schritt wird die Zufriedenheit der Patienten mit der Operation an sich analysiert, um dann im Anschluss die Ergebnisse der mit Kontaktlinsen versorgten Patienten nach PKP vorzustellen.

6.1 Zufriedenheit von Kontaktlinsenträgern mit Keratokonus

Wahrendorf untersuchte in ihrer Diplomarbeit die Zufriedenheit bei Kontaktlinsenträgern nach Keratokonus [125]. Neu war der Aspekt der Sehbehinderung und dessen Auswirkung auf den Alltag der Betroffenen. Faktoren, die in der Kontaktlinsenanpassung und im klinischen Alltag nur allzu leicht vergessen werden. So können Seheinbußen zu gravierenden Einschränkungen führen und unterschiedlichste Aspekte des Lebens erschwe-

ren. Um wieder einen möglichst normalen Zustand herbeizuführen, müssen diese Einschränkungen wieder kompensiert werden, was einen erhöhten Aufwand und somit Belastung im Alltag bedeutet. Auf die Zufriedenheit der Patienten wirkte sich speziell die Art und Weise der Diagnosevermittlung aus. Wurde diese emotional und fachlich positiv vermittelt, entstanden deutlich weniger negative Gefühle wie Sorgen, Ängste oder gar Verzweiflung als bei negativer Darstellung. Dieses deckt sich mit den Ergebnissen von Uiters et al [129], welcher für die Prognostizierbarkeit der resultierenden Zufriedenheit nach PKP das präoperative Beratungsgespräch und den Grad der empfundenen Lebensqualität angibt.

6.2 Patientenzufriedenheit nach PKP

Bisher liegen nur wenige Studien vor, welche sich mit der Zufriedenheit der Patienten nach einer PKP auseinandersetzen. So konnten weltweit nur 5 Studien ausfindig gemacht werden, die sich mit diesem Thema beschäftigen. Zwei amerikanische Studien [126][127], eine australische [128] und 2 europäische [123][129]. Allen Ergebnissen gleich ist die Aussage, dass die Zufriedenheit der Patienten mit der PKP von der Steigerung der Sehleistung durch den Eingriff abhängt und zwar unabhängig vom objektiv erreichten Visus. So kann auch mit einem trüben Transplantat die Sehleistung nach der Operation deutlich besser empfunden werden als vorher. Darüber hinaus kommen die oben genannten Studien zu folgenden Aussagen:

- Ältere Patienten sind unzufriedener als jüngere.
- Probleme beim Tragen von Brille oder KL wirken sich negativ auf die Zufriedenheit aus.
- Hinsichtlich der PKP-Indikation weisen Patienten mit Keratokonus den höchsten Zufriedenheitsgrad auf, Patienten mit bullöser Keratopathie einen geringen Grad.
- Präoperative Schwierigkeiten werden beim Autofahren bei Nacht, dem Lesen und der Verrichtung feinerer Handarbeiten angegeben.

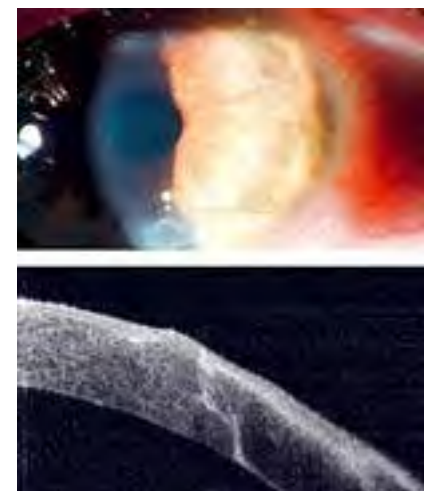


Bild 58: Top hat Femtolaser assistierte PKP 3 Monate postoperativ. Oben: Übersicht, unten: Top hat im OCT. Fotos: Universitäts-Augenklinik Freiburg

- Postoperative Kontaktlinsträger sind unzufrieden.
 - Patienten nach Transplantatversagen sind unzufrieden.
- Diese Ergebnisse wurden in der Düsseldorf-Studie [123][124] bestätigt. Die Frage nach einer eventuellen erneuten

Transplantationsentscheidung wurde von 1006 Patienten beantwortet. 887 (88,2%) würden sich wieder dafür entscheiden, eine Ablehnung war bei 119 (11,8%) Patienten zu verzeichnen (Tabelle 8). Signifikante Einflussfaktoren für eine Ablehnung der PKP und damit Unzufrieden-

heit der Patienten waren vor allem das Patientenalter, chronische Missempfindungen, Verschwommensehen und Blendempfindlichkeit. Aber auch mehrfaches Transplantatversagen in der Vorgeschichte und ebenfalls die Abhängigkeit von Kontaktlinsen sind hier zu benennen.

| Indikationen | Erneute OP-Einwilligung | | | |
|------------------------------|-------------------------|----------------------|--------------|--------------|
| | Auf keinen Fall | Wahrscheinlich nicht | Ja | Gesamt |
| Fuchssche Endotheldystrophie | 9 3.4% | 23 8.6% | 236 88.1% | 268 100% |
| Keratokonus | 4 1.8% | 6 2.6% | 217 95.6% | 257 100% |
| Bullöse Keratopathie | 19 13.5% | 19 13.5% | 103 73% | 141 100% |
| Hornhautnarben | 4 4.9% | 4 4.9% | 73 90.1% | 81 100% |
| Herpetische Narben | 6 5.1% | 5 4.2% | 107 90.7% | 118 100% |
| Limbusstammzellinsuffizienz | 4 9.5% | 3 7.1% | 35 83.3% | 42 100% |
| Weitere Diagnosen | 8 6.2% | 5 3.9% | 116 89.9% | 129 100% |
| Gesamt | 54 5.4% | 65 6.5% | 887 88.2% | 1006 100% |

Tabelle 8: Erneute OP-Einwilligung eingeteilt nach den unterschiedlichen PKP-Indikationen [124].

| Indikationen | Subjektive Sehänderung | | | | | |
|------------------------------|------------------------|-------------|--------------|--------------|-----------------|--------------|
| | Deutlich schlechter | Schlechter | Unverändert | Besser | Deutlich besser | Gesamt |
| Fuchssche Endotheldystrophie | 18 6.1% | 26 8.8% | 37 12.5% | 104 35.3% | 110 37.3% | 295 100% |
| Keratokonus | 5 2.0% | 17 6.7% | 34 13.4% | 72 28.3% | 126 49.6% | 254 100% |
| Bullöse Keratopathie | 23 13.7% | 27 16.1% | 39 23.2% | 48 28.6% | 31 18.5% | 168 100% |
| Hornhautnarben | 5 5.8% | 6 7.0% | 15 17.4% | 30 34.9% | 30 34.9% | 86 100% |
| Herpetische Narben | 7 5.6% | 11 8.7% | 20 15.9% | 53 42.1% | 35 27.8% | 126 100% |
| Limbusstammzellinsuffizienz | 8 19% | 3 7.1% | 11 26.2% | 15 35.7% | 2 13.3% | 42 100% |
| Weitere Diagnosen | 14 9.5% | 15 10.2% | 35 23.8% | 39 26.5% | 44 29.9% | 147 100% |
| Gesamt | 804 7.2% | 105 9.4% | 191 17.1% | 361 32.3% | 381 34.1% | 1118 100% |

Tabelle 9: Subjektive Sehänderung bei unterschiedlichen Indikationen für PKP [124].

6.2.1 Subjektive Sehänderung

Von 92% klaren Transplantaten und 84% objektiv gemessenen Visusverbesserungen gaben nur 66.4% der Patienten eine subjektive positive Sehänderung an, 16.5% eine Verschlechterung und 17.1% keine Änderung. Die einzelnen Indikationen und Bewertungen werden in Tabelle 9 ersichtlich.

Sie zeigt, wie unterschiedlich die gemessenen Ergebnisse einer objektiven Visusprüfung ohne Kontrastsehen vom Patienten empfunden werden. Subjektiv sind noch andere Faktoren wie die subjektiven Missempfindungen wichtig, welche sich signifikant auf die subjektive Visussteigerung auswirken.

6.2.2 Subjektives Missempfinden nach PKP

Insgesamt 26.7% der Befragten gaben Missempfindungen nach der PKP an. Zu diesen Missempfindungen zählen das Augentränen (Epiphora), ein Fremdkörpergefühl, Photophobie, Doppel- und Verschwommensehen sowie Schmerzen. Photophobie war in 72% der Fälle die häufigste negative Nebenerscheinung nach PKP gefolgt vom Verschwommensehen mit 57.4%. Im Einzelnen sind die Missempfindungen in Tabelle 10 nachzuvollziehen.

Da gerade die Patienten mit Verschwommensehen und Diplopie die sein werden, welche eine Zusatzbrille oder aber Kontaktlinsen benötigen, ist die Voraussetzung für zufriedene Kontaktlinsträger denkbar schlecht. Es handelt sich tatsächlich um eine „Negativauswahl“.

Wie geht es nun der Patientengruppe, welche bei der Nachkontrolle des Transplantates eine Kontaktlinse zur visuellen Rehabilitation empfohlen bekommt, diese aber vielleicht gar nicht möchte? Tragen diese Patienten tatsächlich die angepasste Kontaktlinse? Sind sie zufrieden?

6.3 Zufriedenheit von Kontaktlinsen-Patienten nach PKP

Allgemeine Zufriedenheitsbefragungen von Kontaktlinsträgern nach PKP sind bisher keine bekannt, so dass diese inner-

| Indikationen | Missempfindungen | Epiphora | Fremdkörpergefühl | Photophobie | Verschwommensehen | Diplopie | Schmerzen |
|------------------------------|------------------|--------------|-------------------|--------------|-------------------|--------------|--------------|
| Fuchssche Endotheldystrophie | 57 26.4% | 68 28.7% | 104 41.9% | 208 75.4% | 145 56.9% | 81 32.5% | 45 18.1% |
| Keratokonus | 54 23.9% | 52 23.1% | 72 12.5% | 171 35.3% | 101 37.3% | 65 100% | 38 16.5% |
| Bullöse Keratopathie | 35 29.7% | 53 40.5% | 54 41.2% | 102 67.1% | 86 61% | 25 19.7% | 27 20.6% |
| Hornhautnarben | 19 31.7% | 23 34.8% | 33 45.2% | 60 75.9% | 43 61.4% | 17 25.4% | 21 30.4% |
| Herpetische Narben | 25 22.5% | 32 28.6% | 28 25.2% | 78 65% | 78 67.2% | 25 22.5% | 18 16.1% |
| Limbusstammzellinsuffizienz | 16 48.5% | 14 40% | 21 55.3% | 38 92.7% | 25 69.4% | 13 34.2% | 12 31.6% |
| Weitere Diagnosen | 28 25% | 25 21.7% | 38 30.2% | 97 72.9% | 87 66.4% | 31 27% | 30 24.4% |
| Gesamt | 234 26.7% | 267 29% | 350 36.5% | 754 72.4% | 565 57.4% | 257 27.3% | 191 20.1% |
| Fehlende Angaben | 266 23.3% | 221 19.4% | 184 16.1% | 101 8.8% | 158 13.8% | 201 17.6% | 190 16.6% |

Tabelle 10: Subjektives Missempfinden nach PKP bei unterschiedlichen Indikationen [124].

halb der Masterthesis im Mai 2009 durchgeführt wurde.

Etwas 11% der operierten Patienten wurden in der Kontaktlinsensprechstunde vorgestellt, um eine noch bessere visuelle Rehabilitation zu erhalten. Das bedeutet eine Auslese an vorerst unzufriedenen Patienten, bei denen Keratokonus-Patienten mit etwa 29.5% deutlich überrepräsentiert sind im Vergleich zu 8% nach Fuchsscher Endotheldystrophie. Umso interessanter sind die Zufriedenheitsergebnisse dieser „Negativauswahl an Patienten“ nach der Kontaktlinsenanpassung.

6.3.1 Patienten und Methoden

Die Befragung war anonym, 107 Patienten wurden angeschrieben, von denen 9 verzogen waren, der Fragebogen also nicht zustellbar war.

Von den zugestellten 98 Fragebögen kamen 48 zurück, was einem Rücklauf von 49% entspricht. Unter den Rückläufern sind 28 Patienten (58%) an beiden Augen, die restlichen 20 je an einem Auge transplantiert, davon 3 (6%) am rechten und 17 (36%) am linken Auge. Da von der Gesamtmenge der Patienten insgesamt nur 28 Patienten beidseitig mit Kontaktlinsen versorgt wurden, hat diese Gruppe den

Fragebogen zu 100% ausgefüllt und zurückgesandt. Dies ist ein eindeutiger Beleg für die Bedeutung der Kontaktlinsen und der damit verbundenen visuellen Wahrnehmung dieser Patienten.

62.5% gaben als Grunderkrankung den Keratokonus (KK) an, 18.8% die Fuchssche Endotheldystrophie, was der Verteilung der versorgten Augen entspricht. Es gab somit keine Gruppierung, die wie bei Böhringer et al [123] weniger reagiert hat und somit als grundlegend unzufriedener oder uninteressierter gelten könnte. 8 Patienten (16.7%) hatten eine Mehrfachkeratoplastik, 83.3% ihre erste PKP.

Weitere demographische Fragen wurden nicht gestellt.

6.3.2 Fragebogen für die Patienten-Zufriedenheitsbefragung

Mit der VF-14 Einteilung oder den SF-36 Fragebogen sowie der CLEK-VFQ für Keratokonus existieren standardisierte Fragebögen und Bewertungs-Scores, um die visuellen Funktionen und die damit eventuell zusammenhängenden Einschränkungen einheitlich erfassen zu können. Da keiner dieser Fragebögen genau die Zielvorgabe dieser Studie abdeckte, und da sich die Notwendigkeit von Kontaktlinsen

als Ergänzung zur Operation sehr negativ auf die Zufriedenheit von PKP-Patienten auswirkt, wurde der Studien-Fragebogen eng an den bewährten Fragebogen von Wahrensdorf angelehnt [125].

Die Befragung war anonym und wurde mit kostenfreier Rücksendung erleichtert. Der Fragebogen war umfangreich mit 11 Seiten, allerdings einfach ausfüllbar in tabellarischer Form. Für die Antworten wurde eine Vierer-Einteilung gewählt, so dass es keine mittlere Variante für die Unentschiedenen gab. Die Schriftgröße wurde auch in den Tabellen groß gehalten, um den sehbehinderten Patienten die Beantwortung zu erleichtern. Der Fragebogen ist bei der Autorin einsehbar.

Als Analysekriterium für die Zufriedenheit wurden folgende Untergruppen gebildet: Einfach- oder Mehrfach-PKP, einseitige oder beidseitige Transplantation, die Zufriedenheit vor der OP sowie die Grunderkrankung vor der PKP.

6.3.3 Statistische Auswertung

Die Erfassung der Daten der Fragebögen erfolgte auf der Basis von Microsoft Excel, die Auswertung mit dem Statistikprogramm SPSS unter dem Betriebssystem Windows XP.

6.3.4 Sehhilfenversorgung und Zufriedenheit vor der OP

Von den Befragten nutzten 89.5% schon vor der PKP eine Sehhilfe (Brille oder Kontaktlinsen), 6.3% nicht. Von 4.2% gab es keine Angabe. Spezifiziert nach der Art der Sehhilfe und den auswertbaren Angaben nutzten 40.9% regelmäßig eine Brille, 47.7% Kontaktlinsen. Vergrößernde Sehhilfen wurden gelegentlich von 6.8% der Befragten genutzt.

Die Zufriedenheit mit der jeweils genutzten Sehhilfe war bei den Brillen- und Kontaktlinsenträgern ungefähr gleich. Circa die Hälfte war zufrieden und sehr zufrieden, die andere Hälfte entsprechend unzufrieden mit Ihrer Korrektur. Es gab auch keinen signifikanten Unterschied zwischen Patienten mit einer oder beidseitiger Keratoplastik.

Bei 23.9% wurde eine zusätzliche Astigmatismuskorrektur nach der PKP gemacht, was wiederum bei der Hälfte der Betroffenen zur Zufriedenheit mit dem erzielten Ergebnis führte.

6.3.5 Situation zum Zeitpunkt der Befragung (nach der Operation)

Nur einer von 48 Patienten trägt zum Zeitpunkt des Fragebogens keine Sehhilfe. Ansonsten zeigt sich ein sehr ähnliches Bild wie vor der Operation. 40.4% tragen regelmäßig eine Brille, 48.9% regelmäßig Kontaktlinsen und nur 10.6% geben eine Kombination von Brille und Kontaktlinse an, unabhängig davon, ob ein oder beide Augen eine PKP erhalten haben.

Interessant ist die Differenzierung nach

der Grunderkrankung und ihr Einfluss auf das Tragen der Sehhilfe. So tragen Patienten nach PKP und der Indikation Keratokonus doppelt so häufig regelmäßig KL wie Brille, während die Patienten nach PKP bei Fuchsscher Endotheldystrophie doppelt so häufig Brille tragen. Vergrößernde Sehhilfen werden nur von Patienten bei PKP nach Fuchsscher Endotheldystrophie mit zu vernachlässigendem Anteil genutzt.

6.3.6 Bringt die Kontaktlinse nach PKP eine Erhöhung der Lebensqualität?

Ein Zugewinn an Lebensqualität durch das Transplantat in Kombination mit der aktuellen Sehhilfe kann durch die Gegenüberstellung der aktuellen zu den vorherigen Einschränkungen gezeigt werden (Bild 59). In allen Bereichen sind hoch signifikante Verbesserungen vorhanden ($p=0.0$). Interessant ist, dass speziell die Patienten nach PKP bei Keratokonus sich in der Freizeit deutlich eingeschränkter fühlen als Patienten nach PKP bei Fuchsscher Endotheldystrophie. Wahrscheinlich spielt hier das Alter eine Rolle. Patienten nach PKP bei Keratokonus sind deutlich jünger und damit aktiver in der Freizeit und im Berufsleben.

Verglichen mit der Situation ohne Sehhilfe nach der PKP, trägt die aktuelle Sehhilfe hoch signifikant ($p=0.0$) zur Verbesserung des Sehvermögens im Verhältnis zum Sehen ohne Sehhilfe bei. Das heißt, dass allein mit dem Transplantat bei den Patienten der Kontaktlinsensprechstunde keine zufrieden stellende Sehleistung erreicht

werden kann, sondern diese erst mit der aktuellen Sehhilfe erreicht wird (Bild 59). So z.B. im Beruf: ohne Sehhilfe fühlen sich 71.4% sehr stark eingeschränkt, mit Sehhilfe nur noch 5.9%.

Speziell die Patienten mit beidseitigen PKP fühlen sich ohne Sehhilfe stärker eingeschränkt als einseitig transplantierte Patienten. Eine Steigerung der Lebensqualität mit Sehhilfe nach PKP kann somit statistisch signifikant dargestellt werden. Doch sind diese Patienten auch zufrieden mit Ihrer optischen Versorgung?

6.3.7 Allgemeine Zufriedenheit mit der aktuellen Sehhilfe

Es wurde die Zufriedenheit mit der aktuellen Korrektur des Patienten abgefragt, was bedeutet, dass Brille und Kontaktlinsen gleichermaßen bewertet wurden (Bild 60). Kontaktlinsen polarisieren stärker in der Zufriedenheit als Brillen. 71% sind mit ihren KL sehr zufrieden und zufrieden, aber auch 19.4% sehr unzufrieden. Die Brille wird gleichmäßiger bewertet, mit deutlich weniger sehr zufriedenen Patienten (nur 9.1%).

Ein signifikanter Zusammenhang besteht bei der Differenzierung zwischen ein- und beidseitiger PKP: Patienten mit beidseitigen Transplantaten sind aktuell mit ihren Kontaktlinsen unzufriedener ($p=0.037$) als die einseitig transplantierten, während kein signifikanter Einfluss auf die Zufriedenheit besteht, ob es sich um eine Einfach- oder Mehrfach-PKP handelt.

Bezogen auf die Zufriedenheit mit der jeweiligen Sehhilfe vor der Operation besteht ein signifikanter Zusammenhang mit der Zufriedenheit der Brillennutzung vor dem Eingriff und aktuell (Spearman's rho-test 2-tailed: 0.038). Dieser Zusammenhang wird für die Kontaktlinsenträger nur knapp (Spearman's rho-test 2-tailed: 0.055) nicht signifikant erreicht, aber mit gleicher Tendenz. Das heißt, dass Patienten, die vorher schon unzufrieden mit ihren KL waren, nach der Operation ebenfalls tendenziell wieder unzufriedener sind.

Um die Zufriedenheit noch besser bewerten zu können, wurden zusätzlich Spezifikationsmerkmale wie die Zufriedenheit mit der Sehleistung, dem Tragekomfort, der Handhabung, Tragezeit und Blendungserscheinungen abgefragt (Bild 61). Blendungserscheinungen zählen wie schon in der Studie von Böhringer D et al zu den größten Problematiken. Rekeratoplastiken scheinen in diesem Zusammenhang blendempfindlicher zu sein als ein-

fach transplantierte. In Bezug auf die Sehschärfe, welche auch ohne Sehhilfe abgefragt wurde, war keiner der Patienten ohne Sehhilfe sehr zufrieden und zufrieden, mit Sehhilfe dagegen 62.2%.

6.3.8 Tragezeit der aktuellen Sehhilfe

Kontaktlinsen werden mit durchschnittlich 13.7h/Tag am längsten genutzt (nicht signifikant) vor der Brille mit durchschnittlich 11.9h/Tag. Beide Sehhilfen werden 12 Monate im Jahr und 7 Tage die Woche getragen. Signifikant ist der Zusammenhang der Tragezeit mit dem Zufriedenheitsgrad – zufriedene Kontaktlinsenträger tragen ihre Linsen länger ($p=0.021$). Rein auf Kontaktlinsen bezogen, kamen folgende Resultate heraus.

6.3.9 Zufriedenheit mit Kontaktlinsen

Als besonders positiv wurden Kontaktlinsen für die Freizeit, das Autofahren, bei Regen und Sport bewertet. Für einige Patienten war es wichtig, andere Menschen richtig sehen zu können sowie das scharfe Sehen im Allgemeinen.

Hinderlich waren die Kontaktlinsen vor allem bei allen Tätigkeiten, die die Gefahr von Staub und stärker trockenen Augen beinhalten. So wurde Rauch, schlechte Luft, Wind und Staub als Hauptstörfaktoren angegeben.

Differenziert zwischen dem Tragekomfort der Kontaktlinse am Morgen, über den Tag und am Abend sind 62.5% der Patienten am Morgen, 68.6% über den Tag sehr zufrieden und zufrieden, aber nur noch 46.9% am Abend (Bild 62).

Dieser nachlassende Tragekomfort wird weder durch ein- oder beidäugige PKP, die Indikation oder durch Rekeratoplastiken beeinflusst. Ebenfalls ist es ohne Einfluss, ob schon vor der PKP Kontaktlinsen getragen wurden oder nicht.

Der einzige Zusammenhang, der hergestellt werden kann, ist die Zufriedenheit von Kontaktlinsenträgern vor der PKP. Diese Patienten sind auch hinterher wieder deutlich zufriedener.

6.3.10 Handhabung der Kontaktlinse

94.3% können ihre Kontaktlinse(n) ganz einfach oder gut aufsetzen, 97.1% ganz einfach oder gut pflegen und 94.3% ganz einfach oder gut absetzen. Nur eine Person dieser Befragung ist auf fremde Hilfe angewiesen, ein weiterer Patient beherrscht das Auf- und Absetzen nur mit Anstrengung. So wird für das Aufsetzen im Schnitt 2.4 min (0.5 bis 20min Spanne), für die Pflege

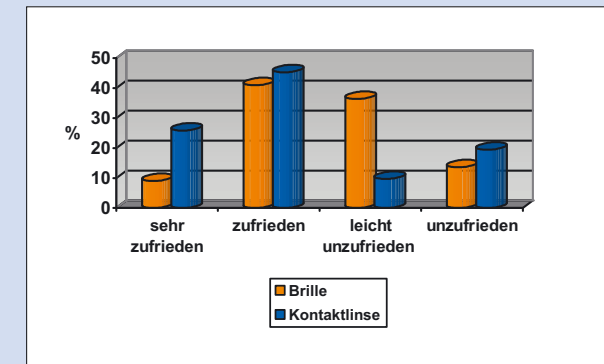


Bild 60: Patientenzufriedenheit mit aktueller Sehhilfe.

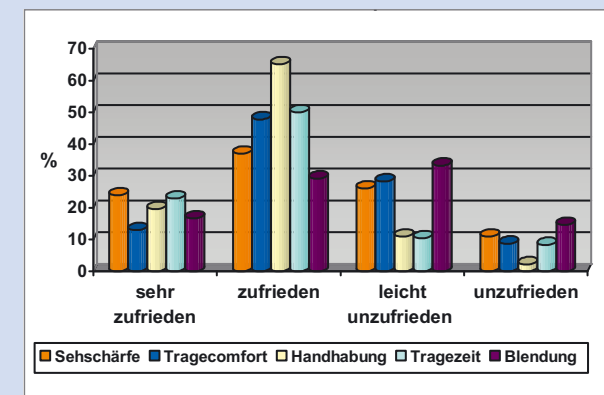


Bild 61: Patientenzufriedenheit mit speziellen Faktoren.

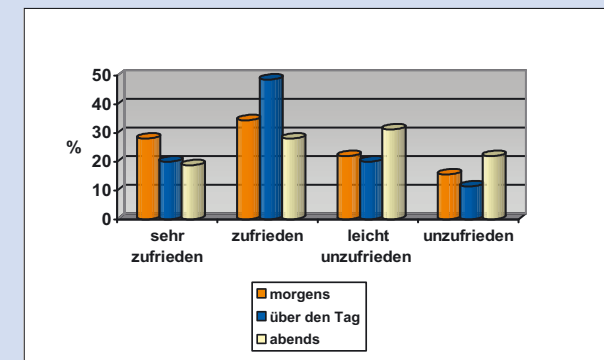


Bild 62: Patientenzufriedenheit mit Kontaktlinsen hinsichtlich des Tragekomforts zu unterschiedlichen Tageszeiten.

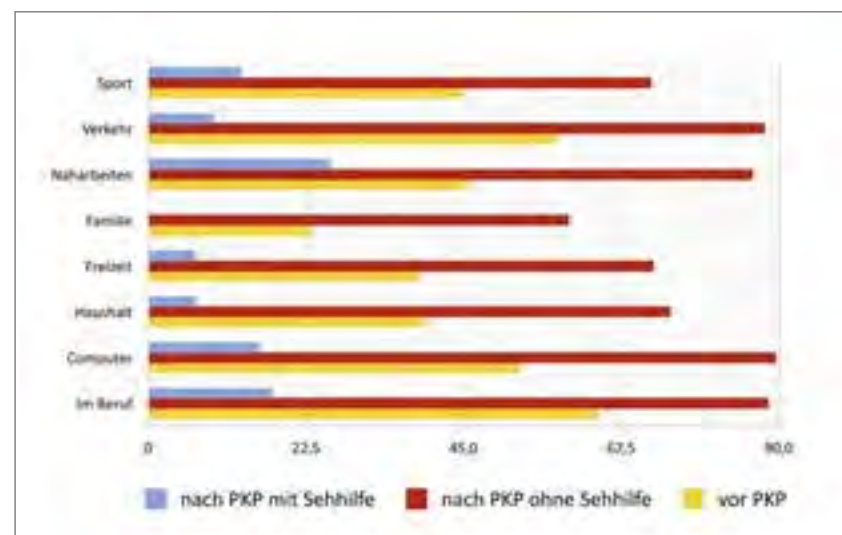


Bild 59: Sehr starke und starke Einschränkungen vor PKP und nach der PKP mit und ohne Sehhilfe.

1.8min (0.5 – 10min Spanne) und für das Absetzen 3.41min (1 – 10min) benötigt. Für die Praxis ist das ein guter Hinweis. Die Handhabung und Pflege ist nicht der limitierende Faktor für die erfolgreiche Anwendung der Kontaktlinse.

6.3.11 Ersatz – Sehhilfe (Reserve)

Obwohl die Befragten ihre Sehhilfe zur Verbesserung ihrer Seheinschränkungen im Alltag als notwendig erachten, haben nur 49% eine Reserve für Ihre Sehhilfe, 51% dagegen nicht. Speziell für diese Patienten sollte also verstärkt auf eine Reserve-Sehhilfe hingewiesen werden!

6.3.12 Kontrolle der Kontaktlinse

Die Kontaktlinsen werden durchschnittlich 1.64 mal/Jahr kontrolliert mit einer Spanne von 0.6 Kontrollen bis zu 6 Kontrollen/Jahr. Diese Untersuchungen werden zu 31% vom Augenarzt, 56.5% von der KL-Sprechstunde der Universitäts-Augenklinik Freiburg und 12.5% vom heimischen Kontaktlinsenspezialisten durchgeführt.

6.3.13 Stellenwert der Augen im Alltag

Um die Bedürfnisse dieser speziellen Patientengruppe besser verstehen zu können, ist es gut, den Stellenwert ihrer Augen zu kennen.



Bild 63: Handhabung und Pflege von formstabilen cornealen Kontaktlinsen.

Wie häufig beschäftigt sich ein Patient nach PKP, der dann zusätzlich für eine komplette visuelle Rehabilitation Kontaktlinsen benötigt, mit seinen Augen? Nur 15.2% der Patienten denken nicht an ihre Augen, 37% manchmal, 29.2% häufig und 16.7% dauernd. Der Stellenwert im Alltag ist mit ca. 50% häufig und dauernd an die Augen denkender Patienten also sehr hoch.

Von den beidäugig transplantierten Patienten antworteten 100%, was auf eine hohe Wichtigkeit des Themas schließen

lässt, während nur 29% der einäugig transplantierten antworteten. Bis hierher ist eine hohe Zufriedenheit und eine große praktische Relevanz der Kontaktlinsen für Patienten nach PKP nachgewiesen worden, doch tragen diese Patienten tatsächlich ihre Kontaktlinsen?

6.3.14 Tragen die betroffenen Patienten tatsächlich ihre Kontaktlinse?

Aus dieser Befragung wurde ersichtlich, dass 49% der Patienten regelmäßig Kontaktlinsen tragen, 40% regelmäßige Brille

und 11% Kontaktlinse + Brille. Das entspricht einem Kontaktlinsesträgeranteil von 60% und deckt sich mit den Angaben aus der Hornhautsprechstunde. Aus den Akteneinträgen war ersichtlich, dass 58% ihre angepassten Kontaktlinsen tragen, 30% nicht und 12% sind ohne Angabe. Je komplizierter die Kontaktlinsengeometrie, umso weniger wurden die Kontaktlinsen getragen oder es war keine Angabe hinterlegt (Quadro, MSK). Patienten nach PKP bei Fuchsscher Endotheldystrophie, welche durchschnittlich älter als die Keratokonus-Patienten sind und in der Regel bis zur PKP noch keine Linsen getragen haben, trugen tendenziell weniger Kontaktlinsen (41%).

6.4 Fazit

Jede Kontaktlinsenanpassung schränkt die Zufriedenheit des transplantierten Patienten ein, da die Hoffnung auf ein Sehen ohne Hilfsmittel vor der Operation vorhanden war. Um neben einem klaren Transplantat das Hauptziel der visuellen Rehabilitation zu erreichen, müssen in der Regel formstabile Kontaktlinsen angepasst werden, welche gerade zu Beginn deutlich spürbar sind und eine Eingewöhnungszeit benötigen. Außerdem muss eine Kontaktlinse egal ob formstabil oder weich auf- und abgesetzt sowie gepflegt werden. Die eingeschränkte Sensibilität der transplantierten Hornhaut kommt der Eingewöhnungszeit und den vielen unterschiedlichen Anpasstechniken zwar entgegen, so dass der Patient Veränderungen oder Belastungen auf seiner Hornhaut weniger oder nicht spürt. Die zusätzliche Beschäftigung und Belastung durch die Handhabung der Kontaktlinse sowie eine gewisse Enttäuschung durch das für ihn nicht optimale Operationsergebnis aber bleibt.

So ist der Stellenwert der Augen speziell für Patienten mit beidäugigen Transplan-

taten enorm hoch. Ohne Kontaktlinsen ist für sie der Alltag teilweise nicht bewältigbar. Umso kritischer sind sie in Bezug auf die Notwendigkeit und Funktion der Kontaktlinse.

In dieser Studie konnte eine signifikante Steigerung der Sehqualität und eine durchschnittliche Tragezeit von 13.7h/Tag ermittelt werden, was deutlich über den angegebenen Tragezeiten von Gruenauer-Kloevekor mit 6h [70] und den 9.2h von Geerard et al [32] liegt. Einzig Eggink et al kam mit 13.6h [71] auf ein ähnliches Ergebnis.

Physiologisch sind die angepassten Kontaktlinsen somit gut verträglich, doch die subjektive Empfindung scheint unterschiedlich zu sein. Nur 58% der gesamten angepassten Kontaktlinsen werden getragen, 30% nicht und von 12% war keine Angabe in der Akte ausfindig zu machen. Teilweise wurde direkt nach dem Beratungsgespräch oder dem 1. Anpassversuch die Anpassung abgebrochen. Diese Quote ist retrospektiv nicht mehr eindeutig festzulegen.

Auch wenn retrospektiv alle Daten nach perforierender Keratoplastik und somit einige pseudomotivierte Patienten der Kontaktlinsen-Sprechstunde eingebunden wurden, ist die Quote von nur 58% (oder maximal 70% inklusive der Patienten ohne Angabe) Kontaktlinsen-Trägern wenig ermutigend. Umso wichtiger sind die Faktoren, welche schon im Beratungsgespräch auf einen zufriedenen oder eher unzufriedenen Kontaktlinsen-Träger hindeuten (Tabelle 11). Klarend für die Motivationseinschätzung wirkt häufig auch die Kostensituation. Aktuell sind die Krankenkassen verpflichtet, sich an den Kosten für Kontaktlinsenanpassungen nach PKP zu beteiligen, doch jede Übernahme entscheidet sich erst nach einem Kostenvoranschlag. Häufig bleiben Restbeträge für den Patienten. Ist dieser nicht bereit, sich an den eventuell entstehenden Kosten zu beteiligen, sollte zurückhaltend agiert werden.

Es handelt sich in der Regel um anspruchsvolle Anpassungen und Patienten, bei denen die Zufriedenheit und Freude über gut angepasste Kontaktlinsen durch das nicht optimale visuelle Resultat der OP selten uneingeschränkt ist. Doch die Arbeit lohnt sich bei motivierten Patienten immer: Erfolgreich versorgt, ist er Ihnen als Stammkunde sicher.

7. Für die Praxis

Nachdem in Kapitel 1 bis 6 unterschiedlichste Studienergebnisse rund um die Kontaktlinsen (KL)-Versorgung vorgestellt wurden, werden nun die wichtigsten Daten zusammengefasst, die den Anpasser bei seiner praktischen Arbeit von der Beratung über die Kontaktlinsen-Anpassung bis zur Nachbetreuung unterstützen sollen.

7.1 Patienten/Kunden

Bei bis zu 20% der durchgeführten perforierenden Keratoplastiken (PKP) hat die Hornhauttransplantation nicht das gewünschte visuelle Ergebnis gebracht. Für diese Patienten wird zur visuellen Rehabilitation eine Kontaktlinse notwendig. Eine gewisse Unzufriedenheit, ein „Haderen mit den bestehenden Umständen“ ist zumindest unterschwellig vorhanden. Mit 29.4% ist der Anteil an Keratokonuspatienten dabei deutlich überrepräsentiert.

So machen von den mit KL versorgten Patienten die nach PKP bei Keratokonus 63% und die nach PKP bei Fuchsscher Endotheldystrophie 18% aus. Weitere Indikationen wie nach traumatischen Ereignissen, Herpes, etc. sind mit geringeren Anteilen vertreten (Universitäts-Augenklinik Freiburg).

Die Ursache weshalb die Patienten nach PKP Kontaktlinsen benötigen sind in der Regel hohe Irregularitäten, Anisometropien und regelmäßige sowie unregelmäßige Astigmatismen, welche mit einer Brille nicht beziehungsweise nicht ausreichend korrigierbar sind.

Welche Fragestellungen ergeben sich für diese Patienten/Kunden?

Patienten, die eventuell zum ersten Mal Kontaktlinsen tragen werden, sorgen sich um die Sicherheit dieser Sehhilfen. Schon bei normalen Tränen- und Hornhautoberflächen kann eine Kontaktlinse bei ungünstiger Druckverteilung und Materialwahl zu metabolischen und traumatischen Reaktionen führen, genau wie zu toxisch allergischen Reaktionen.

So ist auch häufig der Anpasser selbst in der Situation, dass er nicht genau weiß:

7.2 Sind KL sicher oder können sie das Transplantat gefährden?

Mit einer Gefährdung des Transplantates ist das Hervorrufen einer Immunreaktion/Abstoßreaktion gemeint, welche medikamentös behandelt werden muss

(1.8.2/S.14). Sollte sie auftreten, müssen die KL sofort abgesetzt und die medikamentöse Behandlung beim Ophthalmologen durchgeführt werden. Danach ist häufig eine Neuanpassung notwendig.

In vielen Fällen einer Immunreaktion sind gleichzeitig Vaskularisationen oder Fadenlockerungen zu beobachten. Werden diese nicht durch die KL hervorgerufen, gehen alle bekannten Studien davon aus, dass die Anpassung von formstabilen Kontaktlinsen nach PKP sicher ist. Das Hauptaugenmerk liegt somit auf der Vermeidung von Entzündungen, Vaskularisationen oder Fadenlockerungen durch die KL-Anpassung.

Da die KL in der Regel die letzte Variante nach operativen Versuchen ist, den Astigmatismus zu begleichen, bleibt keine andere Möglichkeit als die Anpassung, um den Patienten so gut wie möglich visuell zu rehabilitieren. Dabei ist besondere Aufmerksamkeit den Fällen zu schenken, welche mit Fäden angepasst werden oder aber in die Gruppierung der Hochrisiko-KP (Tabelle 2/S.11) fallen. Für die Sicherheit der Versorgung sind somit folgende Punkte besonders zu beachten:

7.2.1 Vermeidung mechanischer Dauerreize

Eine möglichst gute Druckverteilung der KL-Rückfläche ist die Voraussetzung, um traumatische Veränderungen zu verhindern. Die häufig extrem irregulären Hornhautformen mit Hornhautstufen oder erhabenen Stellen sind für den Anpasser damit eine große Herausforderung, so dass das Attribut „möglichst“ eine besondere Gewichtung bekommt.

Der limbale Bereich sollte ebenfalls nicht dauerhaft kontaktiert werden, da diese mechanischen Reize zu Vaskularisationen und zur Beeinträchtigung der Stammzellenfunktion führen können.

7.2.2 Vermeidung von Sauerstoffmangel nach PKP

Der Stoffwechsel der Hornhaut nach PKP ist durch den chronischen Endothelzellverlust tendenziell eingeschränkt. Die Materialauswahl und gut bewegliche KL sind die Garantie dafür, dass dieser nicht weiter eingeschränkt wird.

Zadok et al vermuten, dass Kontaktlinsen tragen auch bei Zelldichten über 1000 Zellen/mm² kritisch sein und zu einem erhöhten Dekompensationsrisiko führen könnte [10].

| Kriterium | Prognose (positiv 😊, negativ 😞, je nach Motivation 😊) |
|---|--|
| Erfolgreicher Kontaktlinsen-Träger schon vor der PKP | 😊 |
| Unzufriedener Kontaktlinsen-Träger schon vor der PKP | 😞 |
| Patient nach PKP bei Keratokonus | 😊 + 😊 |
| Patient mit PKP bei Fuchsscher Endotheldystrophie | 😞 + 😞 |
| Visus mit Brille 0.5 | 😊 + 😞 |
| Beidseitig transplantierte Patienten | 😊 + 😞 |
| | Grundlegend unzufriedener als einseitig Transplantierte, aber tragen ihre KL |
| Hoch komplizierte Hornhauttopographie und somit aufwändige KL-Geometrie | 😞 |
| Hohe Sehanforderungen (Berufstätige, freizeittaktiv, Autofahren) | 😊 |
| Bereitschaft, Kosten mit zu übernehmen | 😊 |
| Gute Beratung vor der OP hinsichtlich eventueller KL-Notwendigkeit durch den Arzt | 😊 |
| Hohe Eigenmotivation zum KL-Tragen | 😊 |

Tabelle 11: Erfolgsprognose für Patienten nach PKP.

| DK-Wert | Bewertung |
|----------|-----------|
| Bis 12 | Niedrig |
| 12 – 28 | Mittel |
| 29 – 50 | Hoch |
| 51 – 80 | Super |
| 81 – 140 | Hyper |

Tabelle 12: Materialbewertung nach ihrem DK/L-Wert.

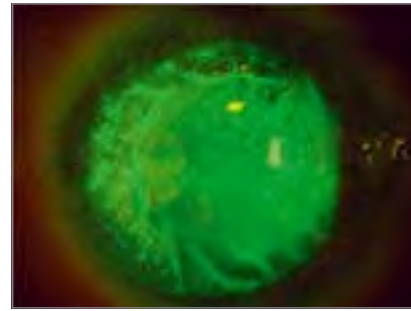


Bild 64: Wulstige Hornhaut nach Rotationskeratoplastik (nach Trauma), Anfärbungsausmaß 4, Anfärbungsart 3, Anfärbungstiefe 2 (CCLRU Standard).

Speziell bei groß angepassten KL gewinnt die Materialauswahl an Bedeutung. Nach Holden und Mertz liegt die Ödemgrenze eines gesunden Auges bei einem relativen Sauerstoffanteil von 9,9%, was einem DK/L-Wert von 24,1 entspricht [19]. Für die moderne Kontaktlinsenanpassung bedeutet dies, dass für ein Transplantat mit den bekannten Einschränkungen nur Materialien genutzt werden sollten, die auch dem Standard für verlängertes Tragen standhalten. Dies entspricht einem Sauerstoffpartialdruck von 17,9% oder einem DK/L von 81, was Hyper-DK Mate-

rialien notwendig werden lässt (Tabelle 12). Die meisten von der Industrie angegebenen DK-Werte werden allerdings nur bei -3,0dpt im Zentrum der Kontaktlinse gemessen. Bei den in der Regel größeren Kontaktlinsendurchmessern bei Anpassungen nach PKP ist es wichtig sich den DK/L-Wert über die komplette Kontaktlinse bei gemittelter Dicke und unterschiedlichen Stärken anzuschauen. Tabelle 13 wurde genau mit diesem Hintergrund erstellt und gibt an, welche Materialien diesem Sauerstoff-Bedürfnis des TP entsprechen. Rot bedeutet, dass das Mate-

| KL-Stärke | -12dpt | -6dpt | -3dpt | Plan | +3dpt | +6dpt | +12dpt |
|-------------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Dicke: Mittelwert auf Flächenanteil | 0.258 | 0.213 | 0.207 | 0.227 | 0.221 | 0.239 | 0.295 |
| Material | rDK | DK/T | DK/T | DK/T | DK/T | DK/T | DK/T |
| Alberta CL | 15 | 5.8 | 7.0 | 7.2 | 6.6 | 7.1 | 6.3 |
| Boston ES | 28 | 10.8 | 13.3 | 13.5 | 12.3 | 13.3 | 17.2 |
| Boston EQ | 47 | 18.2 | 22.0 | 22.7 | 20.7 | 22.3 | 19.6 |
| Boston ES2 | 50 | 19.4 | 23.5 | 24.2 | 22.0 | 23.7 | 20.9 |
| Boston XO2 | 145 | 56.2 | 68.0 | 70.0 | 63.9 | 68.7 | 60.7 |
| Paragon HDS | 50 | 19.4 | 23.5 | 24.2 | 22.0 | 23.7 | 20.9 |
| Optimum Extra | 100 | 38.8 | 46.9 | 48.3 | 44.0 | 47.4 | 41.82 |
| Largado Onsi | 56 | 21.7 | 26.3 | 27.0 | 24.7 | 26.5 | 23.4 |

Tabelle 13: Sauerstoff-Transmissibilität unterschiedlicher gebräuchlicher Kontaktlinsenmaterialien bei gemittelter Dicke und unterschiedlichen Stärken. Rot bedeutet, dass die Sauerstofftransmissibilität nicht ausreicht für eine PKP (Tabelle nach Muckenhirn D 2008).

rial für die jeweilige Stärke nicht ausreicht, während schwarz bedeutet, dass das Material sicher ist.

Für alle Stärken und somit alle Bereiche der Kontaktlinse und des Transplantates sind nur Hyper-DK-Materialien wie das Boston XO2 oder Optimum extra geeignet. Alle anderen Materialien bieten über den gesamten Dioptriebereich keine ausreichende Sauerstoffversorgung oder sind für einzelne Stärkenbereiche nicht geeignet.

Sollten weiche Kontaktlinsen bei der Versorgung eines TP zum Einsatz kommen, sind individuelle Geometrien mit modernen Materialien, die die Sauerstoffversorgung sicher stellen, in der Regel notwendig.

7.2.3 Entzündungen/toxische Reaktionen
Konservierungsstoffe und nicht gut gereinigte KL sind die Hauptursache für toxische Reaktionen beim KL-Tragen. Bei der Versorgung eines Transplantates sollte noch intensiver dafür Sorge getragen werden, dass der Patient für die Hygiene seiner KL und Tragecompliance sensibilisiert wird. Dazu gehört auch die Pflege mit konservierungsmittelfreien Pflegemitteln, wenn sie mit dem Auge in Berührung kommen.

7.2.4 Epithelheilstörungen
Epithelheilstörungen können eine Problematik bei Patienten nach PKP sein, speziell bei Atopikern und anderen Hochrisikopatienten. Hier ist noch ausgeprägter auf eine konservierungsmittelfreie Pflege der Kontaktlinsen zu achten, um keine toxischen Reaktionen hervorzurufen. Es sollte in diesen Fällen (wie auch Bild 64) nur in enger Absprache mit dem behandelnden Ophthalmologen eine KL-Anpassung erfolgen. Eine überbrückende Anpasstechnik, welche die kritischen Bereiche der Hornhaut nicht berührt, ist empfehlenswert. Eine sorgfältige Dokumentation im Vorfeld der KL-Anpassung ist unerlässlich, um differenzieren zu können, was eventuell durch die KL-Anpassung an Veränderungen der Hornhautoberfläche hinzugekommen ist. Für diese Dokumentation bieten sich unterschiedliche Bewertungsstandards an wie z.B. der CCLRU-Standard.

7.2.5 Fazit
KL sind in der Regel die letzte Möglichkeit der visuellen Rehabilitation bei Patienten nach PKP. Ohne die Entstehung von KL-induzierten Vaskularisationen, mecha-

nischen Dauerbelastungen und toxischen Reaktionen ist die Anpassung von Kontaktlinsen nach PKP sicher.

Beim ersten Ansatz der Entstehung eines der obigen Kontaktlinsen-induzierten Problematiken ist die Anpassung sofort zu unterbrechen oder zu verbessern und die Zusammenarbeit mit dem behandelnden Ophthalmologen gefragt.

7.3 Welche Sehleistung ist zu erwarten?

Wenn alle Bereiche des Auges bis auf die Hornhaut gesund sind, ist im Median mit einer signifikanten Steigerung von 2,5 Stufen im Vergleich zum Brillenvisus zu rechnen, was einem Visus von 0,8, teilweise auch 1,0 entspricht.

Je geringer der Visus mit Brille ist, umso ausgeprägter ist die Visussteigerung. Ein Hochrechnen des maximalen KL-Visus anhand des Aberrationskoeffizienten aus der Zernike Analyse des Oculus-Keratograph ist nicht möglich.

7.4 Kann ich meine alten Kontaktlinsen wieder verwenden?

Speziell die Patienten nach PKP bei Keratokonus haben in der Regel schon Kontaktlinsenerfahrung vor der Transplantation gehabt. Sie kennen sich mit dem Auf- und absetzen sowie den Tragemodalitäten aus. Häufig haben sie noch ihre alten Kontaktlinsen, die durch die komplett andere Hornhautform nach der PKP nicht mehr zu verwenden sind (Bild 65).

Genauso wenig kann in der Regel die KL, welche bei einer PKP mit 2 Fäden oder 1 Faden angepasst wurde, nach dem Fadenziehen weiter genutzt werden (Bild 66). Die zentralen Radien sowie die Exzentrizität verändern sich. Eine Neuanpassung wird notwendig!

7.5 Müssen die KL täglich auf- und abgesetzt werden?

Durch die besondere Belastung des Stoffwechsels durch den chronischen Endothelzellverlust kommt ein Dauertragen der Linsen außer in Extremsituationen nicht in Frage.

7.6 Ab wann kann angepasst werden?

Die Beantwortung des Anpasszeitpunktes hängt in der Regel mit der organspezifischen Nachbehandlung sowie den Heilprozessen der Hornhaut ab. Die wichtigsten "Eckdaten" im Überblick:
- Systemische Kortikosteroide werden über 3 Wochen verabreicht.

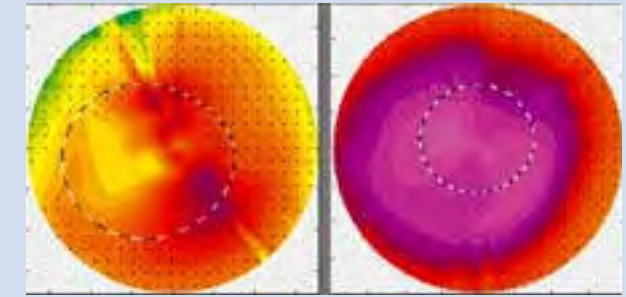


Bild 65: Übersichtsaufnahme im Keratograph. Links: Nach PKP mit 2 Fäden 2011. Rechts: Vor der PKP mit Keratokonus 2008.



Bild 66: Kameralbild aus dem Oculus-Keratograph inklusive HH-Radien. Links: Hornhaut nach PKP mit 2 Fäden 2005. Rechts: Hornhaut nach PKP ohne Fäden 2008.

- Nach 3 Monaten sind alle Epithelzellen der Spender-HH durch die der Wirts-HH ersetzt.
- Nach 3 Monaten verbessert sich der Visus signifikant.
- Bei Normalrisikopatienten werden die Kortikosteroid-Salben/Tropfen über 5 Monate verabreicht.
- Jedes Fadenziehen verändert die HH-Topographie.
- Das Stroma benötigt ca. 1 Jahr zur Wundheilung.

Vom visuellen Gesichtspunkt aus ist die Anpassung 3 Monate nach der Operation sinnvoll, da ab diesem Zeitpunkt ein signifikanter Anstieg in Visus, Stereosehen und Kontrastsehen zu vermerken ist. Vom Heilungsprozess aus ist die Anpassung frühestens nach 6 Monaten sinnvoll, da die Hornhautoberfläche sich durch das Medikamentenausschleichen und den voranschreitenden Heilungsprozess dann stabilisiert hat.

Nur in Ausnahmefällen wie bei extremen visuellen Einschränkungen des Patienten und notwendiger visueller Rehabilitation kann mit Zustimmung des behandelnden Ophthalmologen und Operateurs 6 Wochen nach der Operation mit der Anpassung begonnen werden.

7.7 Welche tägliche Tragezeit ist möglich?

Durchschnittlich können die Kontaktlinsen jeden Tag im Jahr für 13,7 h/Tag getra-

gen werden [150]. Bei dieser langen Tragezeit und Wichtigkeit für die Patienten ist es wichtig auf Reserve-KL zu achten. Diese sind bei 51% der Patienten nicht vorhanden!

7.8 Sind spezielle KL-Geometrien notwendig?

Für eine möglichst gleichmäßige Druckverteilung werden bei den hohen Astigmatismen in der Regel auch torische Rückflächen notwendig. 69,7% torische und 30,3% rotationsymmetrische Rückflächen wurden angepasst, von denen 36% steiler werdende Geometrien hatten (revers und oblong). Da weiterhin in sehr vielen Fällen quadrantendiferente Hornhautformen vorlagen, sind insgesamt 31% der Versorgungen quadrantendiferent (Bild 67, Bild 68) ausgeführt worden [150].

Nur in den Fällen, in denen extrem hohe Scheiteltiefen der Hornhaut resultierten oder überbrückend angepasst werden musste wie bei Transplantaten mit 2 Fäden oder bei Epithelheilstörungen, wurden Minisklerallinsen genutzt. So kann die Druckverteilung auf die Sklera ausgeweitet oder verschoben werden.

Der Anteil an torischen Linsen und Spezialgeometrien ist somit überproportional groß, so dass es wünschenswert wäre, schon im Vorfeld einer Versorgung nach PKP Erfahrung im Umgang mit formstabilen KL zu haben.



Bild 67: Aufbau der mehrkurvigen Quadro-KA (Hecht Contactlinsen) sowie das Bearbeitungs-Fluobildsimulations- und Bestellmodul APEX (Hecht Anpassprogramm im Oculus Keratograph).

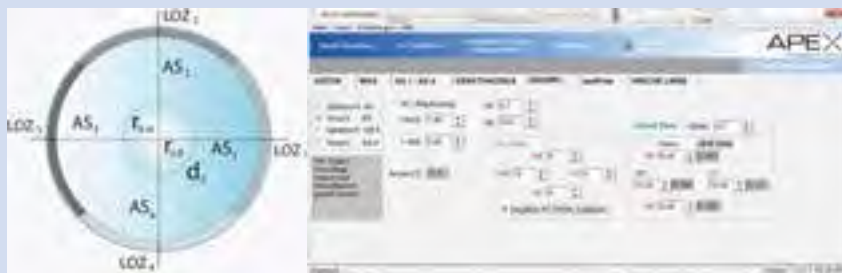


Bild 68: Aufbau der asphärischen Quadro-AS (Hecht Contactlinsen) sowie das Bearbeitungs-Fluobildsimulations- und Bestellmodul APEX (Hecht Anpassprogramm im Oculus Keratograph).

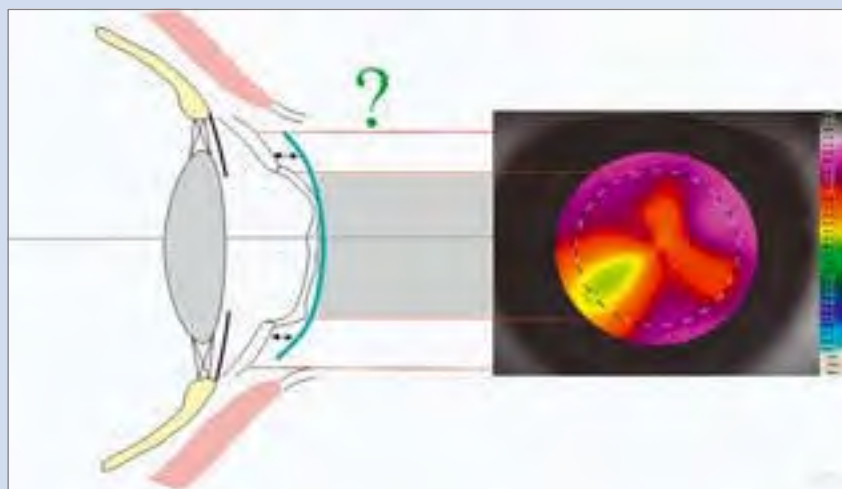


Bild 69: 8mm Messbereich der handelsüblichen Topographiesysteme. Doch was passiert in der Peripherie speziell bei irregulären HH-Topographien? Bild: Sergi Herrero

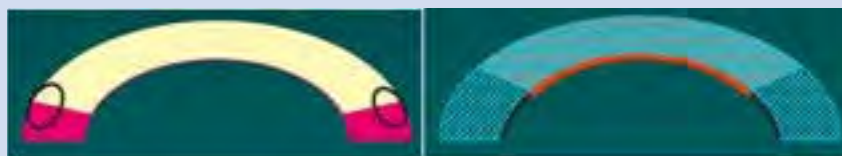


Bild 70: Links: Deep Anterior Lamellar Keratoplasty (DALK), Rechts: Descemet Membrane Endothelial Keratoplasty (DMEK) Foto: Universitäts-Augenklinik Freiburg

7.9 Gibt es weitere Besonderheiten bei der Anpassung?

Die Hornhaut-Sensibilität ist nach PKP verändert. Speziell bei Kontaktlinsen-Anpassungen mit Fäden muss dem Kontaktlinsenanpasser klar sein, dass zentral innerhalb des ersten Jahres noch keine Sensibilität vorhanden ist, sehr wohl aber peripher. Durch den Mangel an Sensibilität können der Hornhaut höhere Belastungen zugefügt werden, ohne dass der Patient etwas davon realisiert. Die Verträglichkeit der Linse ist somit subjektiv häufig sehr gut, die Verantwortung des KL-Anpassers für die dauerhafte Verträglichkeit steigt damit allerdings. Er muss objektiv bewerten, ob die Belastung für die Hornhaut verträglich ist oder nicht.

Durch die periphere gleichmäßige Sensibilität ist vor allem darauf zu achten, dass die Peripherie nicht zu eng ist. Eine gute Unterspülung der Kontaktlinse ist Voraussetzung für einen langfristigen Trageerfolg. Sollte nun eine Kontaktlinse die Heilungsprozesse stören und es zu einer immunologischen Reaktion kommen, welche wiederum mit Steroiden behandelt werden muss, dreht sich das System in einem Negativstrudel.

7.10 Intelligente Anpassprogramme und Topographiesysteme – wie gut funktionieren sie bei KL-Versorgungen nach PKP?

Für "normale" rotationssymmetrische und torische Topographien ist das Ziel einer best möglichen individuellen Anpasskontaktlinse mit bestem Tragecomfort, Sicherheit und ökonomischen Faktoren wie Zeitersparnis für den Patienten und den Anpasser schon Gegenwart. Ob es sich für die irregulären Hornhautformen der perforierenden Keratoplastik uneingeschränkt umsetzen lässt, ist fraglich, da die tatsächlich gemessene und ausgewertete Fläche (AA) bei Hornhäuten nach perforierender Keratoplastik mit durchschnittlich 47% kleiner ist als bei der rotationssymmetrischen Kontrollgruppe mit 64% [150]. Um die Peripherie bei den maximal 8mm großen vermessenen Arealen besser darstellen zu können, werden die peripheren Daten im Oculus Keratograph zwar hervorragend für regelmäßige Hornhaut-Topographien hochgerechnet, doch für irreguläre Topographien wie nach perforierender Keratoplastik sind hier Grenzen gesetzt (Bild 69). Wünschenswert wäre die Übertragung der intelligenten Kontaktlinsen-Anpassprogramme inklusive

der Analysetechniken in der aktuellen Genauigkeit auf Messgeräte wie die Pentacam (Oculus) oder Visante (Zeiss), welche die peripheren Daten besser erfassen können. Untersuchungen und Studien dazu im Bereich der Pentacam laufen, sind aber noch zu keinem Abschluss gelangt.

7.11 Werden KL nach PKP von der Krankenkasse bezahlt?

Aktuell werden KL nach PKP von der Krankenkasse finanziell unterstützt. Sie sind nicht in einer Festpreisregelung integriert, sondern werden über einen Kostenvoranschlag mit ophthalmologischem Rezept an die Krankenkasse eingereicht. Die Höhe der Unterstützung ist nicht vorhersehbar. Mit dem Patienten sollte dieses im Vorfeld immer diskutiert werden. Ein Vorab-Kostenvoranschlag klärt die Situation.

7.12 Können die Patienten tatsächlich zufriedenstellend versorgt werden?

Die Hornhaut-Vermessungstechniken, Operationstechniken, intelligente Anpassprogramme und die Produktionstechniken der Kontaktlinsen werden kontinuierlich besser. Doch steht die Patientenzufriedenheit in einem direkten Zusammenhang mit diesen technischen Entwicklungen? Für die Operation selber lässt sich sicher der Zusammenhang darstellen: Je besser die Operation inklusive der visuellen Rehabilitation gelaufen ist, umso zufriedener ist der Patient. Im Fall der Kontaktlinsen-Anpassung ist der Zusammenhang nicht so eindeutig.

Jede Kontaktlinsen-Anpassung schränkt die Zufriedenheit des transplantierten Patienten ein, da die Hoffnung auf ein Sehen ohne Hilfsmittel vor der Operation vorhanden war. Um neben einem klaren Transplantat das Hauptziel der visuellen Rehabilitation zu erreichen, müssen in der Regel formstabile Kontaktlinsen angepasst werden, welche gerade zu Beginn deutlich spürbar sind und eine Eingewöhnungszeit benötigen. Außerdem muss eine Kontaktlinse egal ob formstabil oder weich auf- und abgesetzt sowie gepflegt werden. Die eingeschränkte Sensibilität der transplantierten Hornhaut kommt der Eingewöhnungszeit und den vielen unterschiedlichen Anpassetechniken zwar entgegen, so dass der Patient Veränderungen oder Belastungen auf seiner Hornhaut weniger oder nicht spürt. Die zusätzliche Beschäftigung und Belastung durch die Handhabung der Kontaktlinse sowie eine gewisse Enttäuschung durch das für ihn nicht

optimale Operationsergebnis aber bleibt. So ist der Stellenwert der Augen speziell für Patienten mit beidäugigen Transplantaten enorm hoch. Ohne Kontaktlinsen ist für sie der Alltag teilweise nicht bewältigbar. Umso kritischer sind sie in Bezug auf die Notwendigkeit und Funktion der Kontaktlinse. Da die Visussteigerung immer geringer ausfällt, je höher der maximale Visus mit Brille ist, kann ein hoher Anspruch des Patienten nicht immer erfüllt werden. Wird der „Comfortvisus“ von 0.5 mit Brille erreicht, ist die Motivation für eine Kontaktlinse häufig nicht mehr ausreichend, auch wenn mit dieser eine deutliche Visusverbesserung erreicht werden könnte.

Teilweise wird direkt nach dem Beratungsgespräch oder dem 1. Anpassversuch die Anpassung abgebrochen. Die Beratung im Vorfeld ist sehr wichtig, um dem Patienten alle notwendigen Informationen zu geben und ihm auch eine mögliche Kostenübernahme zu erklären. Je motivierter der Patient ist, umso höher ist hinterher auch seine Zufriedenheit.

7.13 Ausblick

Kontaktlinsen-Patienten nach perforierender Keratoplastik tragen ihre Kontaktlinsen in aller Regel nur durch den Leidensdruck einer für sie durch die Transplantation nicht ausreichend visuellen Rehabilitation. Daher ist der Kontaktlinsen-Trägeranteil an der Gesamtheit der vermessenen und beratenen Patienten sowie dem Seherfolg mit Kontaktlinsen eher gering.

An erster Stelle stehen für den Patienten somit natürlich die Entwicklungen und Fortschritte der neuen Operationstechniken (Bild 70, Bild 71) mit dem Ziel einer schnelleren und besseren Rehabilitation. In einigen Jahren werden genügend Erfahrung gesammelt sein, um zu wissen, ob mit ihnen ein geringerer Kontaktlinsen-Trägeranteil aus den Operationen resultieren wird und ob die Operationsergebnisse tatsächlich konstant besser werden.

Für die Kontaktlinsen-Anpassung sind komplexe Kontaktlinsen-Geometrien wie torische und quadrantendifferente Kontaktlinsen, welche unter Berücksichtigung zentraler Astigmatismen und peripher unterschiedlichen Abflachungen nach der modifizierten Konturanpassung mit möglichst großflächiger Druckverteilung angepasst werden können, der „Goldstandard“. Obwohl in herkömmlichen Messgeräten mit dem Placido-System und den integrierten intelligenten Anpassprogrammen die Kontaktlinsen-Anpassung schon auf



Bild 71: Descemet Stripping Automated Endothelial Keratoplasty (DSAEK). Oben schematisiert, unten OCT-Aufnahme.

Foto: Universitäts-Augenklinik Freiburg



Bild 72: OCT-Aufnahme: Hornhaut und Sklerallinse. Foto: Universitäts-Augenklinik Freiburg

hohem Niveau möglich ist, wäre die Integration dieser Anpassprogramme in Messgeräte wie der Pentacam oder dem Zeiss Visante (OCT) (Bild 72) wünschenswert. Gerade nach perforierender Keratoplastik ist die Peripherie der Hornhaut von entscheidender Bedeutung, wobei diese eben mit den herkömmlichen Messinstrumenten nach dem Placido-Prinzip nicht optimal ausgewertet und vermessen werden kann (Bild 69). Bei der Anpassung von Minisklerallinsen ist es die einzige Möglichkeit, eine erste Anpasskontaktlinse vorab zu berechnen. Aktuell sind nur Anpassungen mit Messlinsen und anschließender Fluobildbeurteilung für die Anpassung von Minisklerallinsen machbar. Eine Fluobild-Simulation durch die nicht vermessene Peripherie ist aktuell nicht möglich.

Da die Aberrationen höherer Ordnung nach perforierender Keratoplastik überproportional hoch sind, sind formstabile Kontaktlinsen so erfolgreich bei der visuellen Rehabilitation. Vielleicht ergeben sich durch neue Techniken und immer besser werdende Materialien auch im Weichlinsenbereich in Zukunft bessere Korrekturmöglichkeiten, welche die Zufriedenheit sowie die Kontaktlinsen-Tragequote der Patienten noch weiter steigern kann. Aktuell sind formstabile Kontaktlinsen – egal ob corneal oder skleral – der Goldstandard und physiologisch sinnvoll.

Hecht Contactlinsen nach Keratoplastik

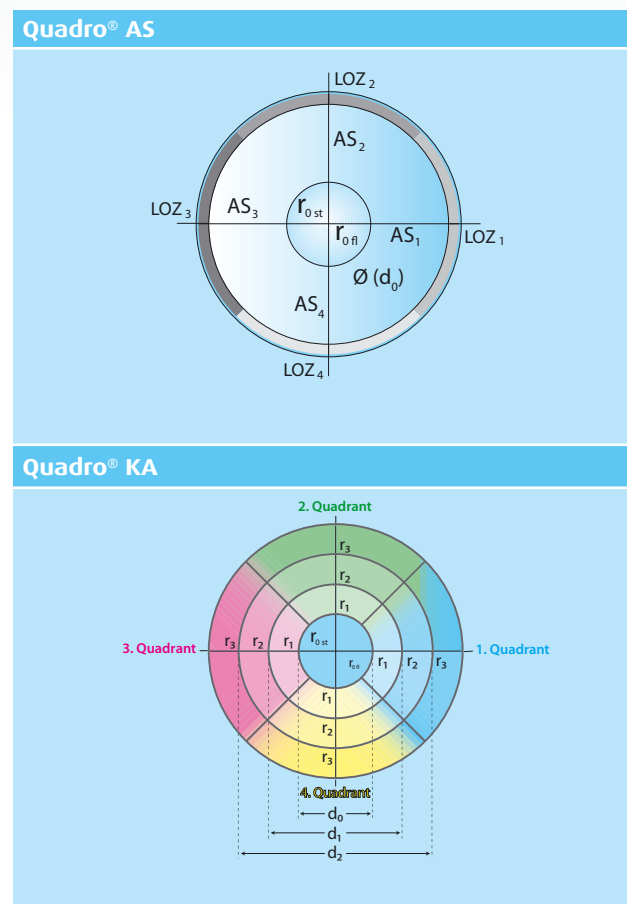
| Lieferbereich | KA 4-Reverse | KA 4-Reverse-T (RT, BTC, BT, BTX) | KA3 | KA 3-T (RT, BTC, BT, BTX) | Miniskleral (MSK) |
|-----------------------|--|-----------------------------------|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Radius r_0 | 5.0 bis 10 mm in 0.05 mm Schritten | | | | |
| Radiendifferenz | | 0.4 bis 2 mm in 0.05 mm Schritten | | 0.4 bis 2 mm in 0.05 mm Schritten | |
| Sphäre | -30 dpt bis + 30 dpt in 0.25 dpt Schritten | | | | |
| Gesamtdurchmesser | 8.0 bis 12.0 mm in 0.1 mm Schritten | | | | 12.3 bis 16.5 mm in 0.1 Schritten |
| Zusätzl. Ausführungen | VP + VPT | | VP + VPT | | |
| Material | Alle Boston Materialien u. a. | | | | BO-XO2 |

Hecht Anpass-Schema nach Keratoconus

| Keratoplastik mit 1 oder 2 Fäden | |
|--|--------------|
| Minisklerallinse Ø ca. 13 - 16.5 mm | Quadro S + T |

| Keratoplastik ohne Fäden | | |
|--|--|----------------------------|
| Keratoplastik-Typ | | |
| Flachere Wirtshornhaut | Steilere Wirtshornhaut | Bunte Mischung |
| KAKC KAKC-T KA3 KA3-T „normale“ CL-Ø | KA4-revers KA4-revers-T KA3-I KA3-I-T Quadro S + T CL-Ø >10.2 | Quadro S + T CL-Ø >10.2 |

Hecht Atelierlinsen Quadro®



Seminar

Neue Hornhaut – und nun?
Die Anpassung nach Keratoplastik und Lasik

Hecht Contactlinsen GmbH
Dorfstraße 2-4
79280 Au bei Freiburg
Deutschland

Telefon (07 61) 40 10 5.0
Telefax (07 61) 40 10 5.22
info@hecht-contactlinsen.de