

Ophthalmologie 2020 · 117:811–828
<https://doi.org/10.1007/s00347-020-01134-1>
 Online publiziert: 19. Juni 2020
 © Der/die Autor(en) 2020

Berthold Seitz · Loay Daas · Elias Flockerzi · Shady Suffo

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



„Descemet membrane endothelial keratoplasty“ DMEK – Spender und Empfänger Schritt für Schritt

Nach ihrer ersten Beschreibung durch Gerit Melles aus Rotterdam im Jahr 2006 [1] erfuh die DMEK („Descemet membrane endothelial keratoplasty“) besonders innerhalb der letzten 10 Jahre einen wohlverdienten, rasanten Aufschwung in Deutschland [2, 3]. Im Jahr 2018 stieg die Zahl der Keratoplastiken in Deutschland insgesamt auf 9152 (Abb. 1). Das „Deutsche Keratoplastik-Register“, das im Jahr 2000 von der DOG (Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft)-Sektio-

on Kornea gegründet wurde [4], zeigte für 2018 einen Anteil von 61,2% für die posteriore lamelläre Keratoplastik (hauptsächlich DMEK [n = 5433, 97%] vs. DSAEK = „Descemet-stripping automated endothelial keratoplasty“ [n = 169, 3%]), einen Anteil von 35,8% für die perforierende Keratoplastik (PKP), aber nur 3% für die anteriore lamelläre Keratoplastik (hauptsächlich DALK = „deep anterior lamellar keratoplasty“ [n = 214]). Die absolute Verteilung der Keratoplas-

tiken zeigt, dass von 2016 bis 2018 die Anzahl der posterior lamellären Keratoplastiken dramatisch von 4175 auf 5602 angestiegen ist. Im gleichen Zeitraum ist aber auch die Anzahl der perforierenden Keratoplastiken von 2944 auf 3273 leicht angestiegen (Abb. 2a–c). Insgesamt ist in Deutschland die (mehr oder weniger ausgeprägte) Fuchs-Endotheldystrophie mit einem Anteil von etwa 45% mit großem Abstand zur Hauptdiagnose für

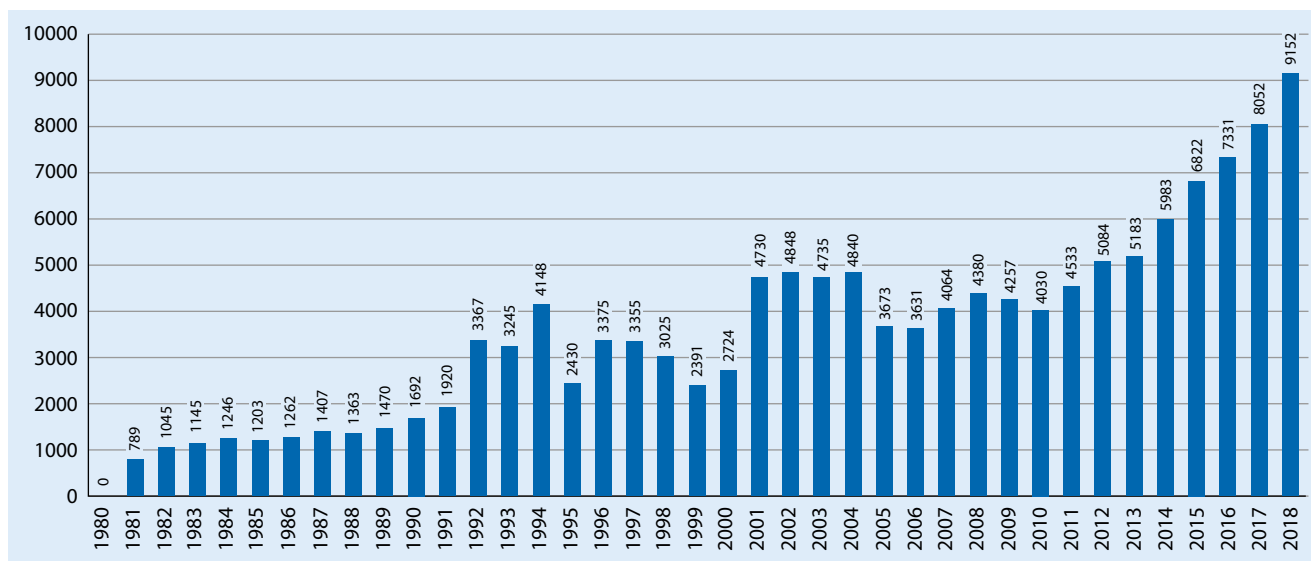


Abb. 1 ▲ Deutsches Keratoplastik-Register der Sektion Kornea (DOG [Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft]). Im Jahr 2018 wurden insgesamt 9152 Keratoplastiken durchgeführt. Ende 2018 standen 5313 auf den dezentralen Wartelisten deutscher Hornhautbanken

Diese Arbeit ist unserer exzellenten OP-Schwester Silke Weyhreter zum Ruhestand in großer Dankbarkeit gewidmet.

Das diagnostische und therapeutische Prinzip

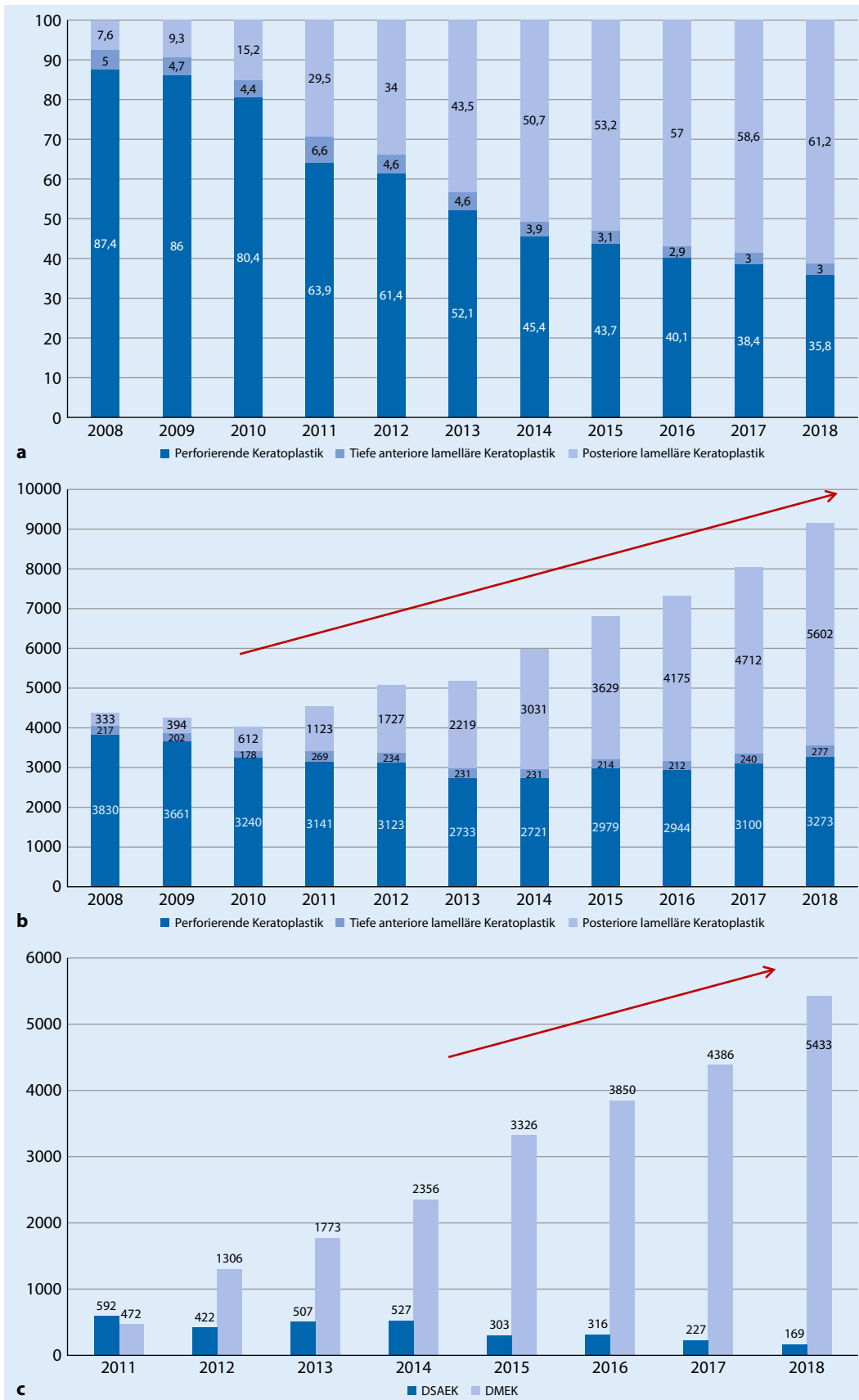


Abb. 2 ◀ Deutsches Keratoplastik-Register der Sektion Kornea (DOG [Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft]). **a** Im Jahr 2018 waren 35,8 % aller Transplantate perforierende (PKP), 61,2 % posteriore lamelläre (DMEK [„Descemet-membrane endothelial keratoplasty“] oder DSAEK [„Descemet-stripping automated endothelial keratoplasty“]) und nur 3,0 % anteriore lamelläre Keratoplastiken (DALK [„deep anterior lamellar keratoplasty“]). **b** Die absolute Verteilung der Keratoplastiken zeigt, dass von 2016 bis 2018 die Anzahl der posterioren lamellären Keratoplastiken dramatisch von 4175 auf 5602 angestiegen ist. Im gleichen Zeitraum ist auch die Anzahl der perforierenden Keratoplastiken leicht von 2944 auf 3273 angestiegen. **c** Bereits im Jahr 2012 wurden in Deutschland mehr DMEK als DSAEK durchgeführt, im Jahr 2018 lag der Anteil der DMEK bei 97 %

eine Hornhauttransplantation geworden [5–8].

Obwohl die DMEK-Methode in geübten Händen morphologische und funktionelle Ergebnisse von bisher in der Hornhauttransplantationschirurgie unerreichter Qualität liefert [9], wurde die weite Verbreitung dieser minimal-invasiven Methode jedoch initial aufgrund von Problemen mit der Spenderpräparation und Schwierigkeiten bei den Patientenmanövern eingeschränkt. Obwohl die ersten Beschreibungen der DMEK-Pioniere [1, 10–12] nahelegten, dass die Vorbereitung des Spendergewebes und die Manipulation in der Vorderkammer routinemäßig durchgeführt werden können, bedeutet jedes Reißen der Endothel-Descemet-Membran (EDM) beim Versuch der Präparation einen Transplantatverlust mit zum Teil gravierender Störung des organisatorischen Ablaufs. Darüber hinaus kann eine längere und ungeschickte Manipulation der EDM in der Vorderkammer zu einem erheblichen Endothelverlust mit potenziell primärem oder (früher) sekundärem Transplantatversagen führen [13].

Vor der deutschen Pionierpublikation von Kruse et al. vor fast 10 Jahren – „A stepwise approach to donor preparation and insertion increases safety and outcome of DMEK“ [10] – hatten viele deutsche Mikrochirurgen befürchtet, dieser Methode nicht Herr werden zu können. Das Ziel dieser Arbeit war es, nicht zuletzt auch aus den zum Teil schmerzlichen Erfahrungen der eigenen Lernkurve die DMEK Schritt für Schritt zu beschreiben, dies von der Indikation und Operationsvorbereitung über die Spenderpräparation, die intraoperativen Patientenmanipulationen und die frühe bzw. späte Nachsorge. Der vorliegende Beitrag zeigt eine – von möglicherweise mehreren – im täglichen Leben praktikablen Strategien auf, mithilfe derer Ophthalmomikrochirurgen sowohl die Spenderpräparation als auch die Patientenmanöver bei DMEK ad hoc sicher und unter Vermeidung grober, demotivierender Misserfolge in der Lernkurve durchführen können. Hierbei soll jeweils besonders auf die Fallstricke eingegangen werden, die jeder geübte Hornhautchirurg reproduzierbar und frei von genial-mys-

Ophthalmologe 2020 · 117:811–828 <https://doi.org/10.1007/s00347-020-01134-1>
© Der/die Autor(en) 2020

B. Seitz · L. Daas · E. Flockerzi · S. Suffo

„Descemet membrane endothelial keratoplasty“ DMEK – Spender und Empfänger Schritt für Schritt

Zusammenfassung

Im Jahr 2020 ist die DMEK („Descemet membrane endothelial keratoplasty“) in Deutschland der Goldstandard zur Behandlung von endothelialen Hornhauterkrankungen. Die weitverbreitete Verwendung der DMEK war initial eingeschränkt aufgrund von Problemen mit der Spendervorbereitung und der Schwierigkeit, die Endothel-Descemet-Membran (EDM) korrekt und schonend in der Vorderkammer zu entfalten. Wir beschreiben zum einen nach der situativen Spenderauswahl die sichere einhändige Spenderpräparation der Hornhaut ohne Ein- oder gar Zerreißen der EDM einschließlich der unabdingbaren peripheren Halbkreismarkierungen zur Orientierung. Zum anderen stellen wir Schritt für Schritt die atraumatische Beladung der Glaskartusche, die Einführung der EDM-Rolle in die Vorderkammer und ihr sicheres, schrittweises Entfalten durch (1) die sequen-

zielle Verwendung von Flüssigkeitsstößen, (2) das Klopfen auf die periphere/zentrale Hornhaut, (3) die kontrollierte Abflachung der Vorderkammer, (4) die Luftbläscheingabe definierter Größe dar sowie das Anlegen der EDM in korrekter Orientierung an die Rückseite der Wirtshornhaut mithilfe einer Gasblase. Nachdem bei der DMEK jeder falsche Einzelschritt weitreichende Konsequenzen für Patient und Operateur haben kann, sollte mit dieser schrittweisen pragmatischen Vorgehensweise das Auftreten von Spendergewebeschädigung und Fehlschlägen bei den Patientenmanövern minimiert werden.

Schlüsselwörter

Posteriore lamelläre Keratoplastik · Spenderpräparation · Patientenmanöver · Endothelopathie · Endotheliale Hornhauterkrankung

Descemet membrane endothelial keratoplasty DMEK — Donor and recipient step by step

Abstract

In 2020 Descemet membrane endothelial keratoplasty (DMEK) has become the gold standard in Germany for the treatment of corneal endothelial diseases; however, the widespread use of DMEK was initially limited due to problems with donor preparation and the difficulty of correctly and gently unfolding the endothelial Descemet membrane (EDM) in the anterior chamber. Following the situational donor selection, the safe single-handed donor preparation of the cornea without tearing or even rupturing the EDM, including the indispensable peripheral semicircular orientation marking. Also presented is a step by step atraumatic loading of the glass cartridge, the introduction of the EDM roll into the anterior chamber, and its safe step by step unfolding based on (1) the

sequential use of jets of fluid, (2) repeated tapping on the peripheral/central cornea, (3) controlled flattening of the anterior chamber, (4) use of air bubbles of defined size and finally, the fixation of the EDM in correct orientation to the back of the host cornea with a gas bubble. Since every wrong step with DMEK can have far-reaching consequences for patient and surgeon, this step by step pragmatic approach should minimize the incidence of donor tissue damage and failure in patient maneuvers.

Keywords

Posterior lamellar keratoplasty · Donor preparation · Patient maneuvers · Endothelial pathology · Endothelial corneal diseases

tischer Verklärung meistern kann. Genau so wird die DMEK seit Jahren in unseren Wetlabs [14] und im Operationssaal für unsere jüngeren Mikrochirurgen am Patienten gelehrt (seit 2010 fast 1000 DMEK/DSAek in Homburg).

Indikationen für die Keratoplastik

Neben methodischen Problemen mit lamellären Techniken gibt es eine Reihe von Indikationen, die prinzipiell auch heute noch eine PKP erfordern [15]. Diese In-

Tab. 1 Zeitlose Indikationen für die perforierende Keratoplastik (PKP)

Dystrophien, die alle Hornhautschichten betreffen (z. B. makuläre Dystrophie, kongenitale stromale Dystrophie)
Hoher Astigmatismus und/oder stromale Narben nach PKP (mit/ohne Endotheldekompensation)
Patienten mit fortgeschrittenem Keratokonus (in jedem Fall nach akutem Keratokonus = kornealer Hydrops mit Ruptur der Descemet-Membran und Dua-Schicht)
Zentrale überdimensionierte Korneoskleralplastik bei schwerem Keratotorus oder Keratoglobus
Instabile Kornea (z. B. nach RK, iatrogenen Keratektasie nach LASIK, Descemetozele, perforiertes Ulkus)
Aphakie, simultane IOL-Implantation (immer mit Flieringa-Ring!)
Ipsilaterale und kontralaterale autologe Keratoplastik
Akanthamöben- bzw. Pilzkeratitis
Semilunare exzentrische Korneoskleralplastik
Blockexzision mit tektonischer Korneoskleralplastik

RK radiale Keratotomien, *LASIK* laserassistierte In-situ-Keratomileusis, *IOL* Intraokularlinse

dikationen können in Wahleingriffe (optisch im Vergleich zu tektonisch) und in medizinische Notoperationen (PKP à chaud) aufgeteilt werden (▣ Tab. 1).

Heutzutage kann das Spendergewebe vor elektiver PKP durch „sterile Spender-tomographie“ beispielsweise in unserem Klaus Faber Zentrum für Hornhauterkrankungen inkl. LIONS Hornhautbank Saar-Lor-Lux, Trier/Westpfalz, routinemäßig untersucht werden, um refraktive Überraschungen nach PKP zu vermeiden. Sollte diese Untersuchung des Spendergewebes eine zurückliegende refraktive Chirurgie oder gar einen Keratokonus „aufdecken“, so kann dieses Gewebe nicht für eine PKP oder DALK, sehr wohl aber für eine DMEK verwendet werden [16, 17].

Indikationen für eine *posteriore lamelläre Keratoplastik* umfassen prinzipiell alle Erkrankungen des Endothels mit Stromaödem, jedoch ohne permanente Stromanarben (z. B. Fuchs-Endotheldystrophie [7, 8], pseudophake bullöse Keratopathie, Pseudoexfoliations(PEX)-Keratopathie [7], Endothel-degeneration viraler Genese [18], Endotheldekompensation bei Haab-Leisten bei Buphthalmus [19] oder nach Zangen-geburts [▣ Abb. 3a, b]). Die DMEK ist aber auch eine potenzielle Option zum Management des sekundären Transplantatversagens nach PKP [20–24], weil die Patienten von einer wesentlich schnelleren visuellen Rehabilitation im Vergleich zur PKP und einer deutlich geringeren Immunreaktionsrate profitieren. Nicht zuletzt können in den Händen beson-

ders erfahrener DMEK-Chirurgen auch „komplexe Veränderungen“ des Augenvorderabschnitts von einer DMEK profitieren (z. B. nach Trabekulektomie oder drucksenkenden Shunt-Operationen, bei ICE[iridokorneoendotheliales]-Syndrom mit Irisdefekten, sklera- oder irisfixierter Intraokularlinse [IOL], Aphakie und Zustand nach Pars-plana-Vitrektomie) [25, 26].

Nicht geeignet ist eine DMEK bei prädescemetalen stromalen Narben (z. B. nach interstitieller Keratitis), bei lange bestehender Hornhaut-Endothel-Epithel-Dekompensation (HEED) mit durchgreifenden stromalen Narben (▣ Abb. 4) und bei einem Transplantat nach PKP mit stromalen Narben (▣ Abb. 5a, b) und/oder hohem irregulärem Astigmatismus, mit dem der Patient noch nie gut gesehen hat. Hier ist die gut zentrierte Re-PKP mit größerem Transplantatdurchmesser – am besten Excimerlaser-assistiert [15] – nach wie vor die Methode der ersten Wahl [27, 28].

Die Zunahme der Keratoplastiken in Deutschland in den letzten 5 Jahren begründet sich höchstwahrscheinlich auf der *Ausweitung der Indikation* (insbesondere frühe Fuchs-Endotheldystrophie oder Cornea guttata mit Sehschärfe 0,8 oder sogar 1,0). Verfechter der frühen DMEK führen ins Feld, dass Patienten mit deutlichen Endothelveränderungen (z. B. bei Fuchs-Endotheldystrophie) immer wieder gute Visusergebnisse unter augenärztlichen Standardtestbedingungen erreichen, aber dennoch einen ho-

hen Leidensdruck im Alltag haben [25]. Hier helfen ergänzende Sehtests wie die Bestimmung des Blendvisus, der Kontrastsensitivität oder die C-Quant-Analyse (Einwärts-Streulichtmessung), um die subjektive Sehbeeinträchtigung des Patienten zu quantifizieren. In der Freiburger Arbeitsgruppe wurde ein spezielles fragebogenbasiertes Instrument (V-FUCHS) entwickelt, das die individuellen Einschränkungen bei der Fuchs-Endotheldystrophie standardisiert erfasst [8]. Außerdem wird die Vermehrung von Rekeratoplastiken durch früh und spät dekompensierte Transplantate nach DMEK-Eingriffen als Grund für die Indikationsausweitung angeführt. Nicht zuletzt deshalb bleibt die Erhebung der Operationszahlen 10 bis 20 Jahre nach Einführung der DMEK mit Fokus auf den Reoperationen wegen Endothelversagen hoch spannend [29–31].

Vorbereitung der Operation

Die Einführung der DMEK erlaubt das Ersetzen des erkrankten Wirtsendothels praktisch ohne Veränderung der Krümmung und der Biomechanik der Hornhautoberfläche [1, 11]. Die eigenen Erfahrungen während der Lernkurve zeigten, dass während der DMEK jeder Schritt bei der Spendervorbereitung und dem Wirtsmanöver zu einer potenziellen „Katastrophe“ führen kann. Das Ziel für den beginnenden DMEK-Chirurgen muss es also sein, das Verfahren Schritt für Schritt so weit wie möglich im Vorhinein zu standardisieren, dass nur noch die Entfaltung der 20–30 µm dünnen EDM in der Vorderkammer als potenziell „überraschend“ bleibt [10]. Aber auch dieses Manöver kann durch einen gut einstudierten Eskalationsplan „standardisiert“ werden. So empfiehlt es sich, den limbalen Tunnel mit einer 10-0-Nylon-Einzelknüpfnaht zu verschließen, um zu verhindern, dass die EDM bei den Manipulationen aus der Vorderkammer rutscht und möglicherweise im äußeren Gehörgang zum Liegen kommt.

Derzeit ist unklar, wie Endothelzellen am besten während und nach der Vorbereitung des EDM-Transplantats konserviert werden können. Es gibt viele Faktoren, die einen Einfluss auf die Überle-

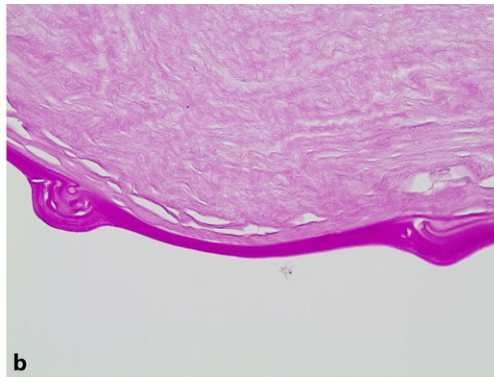
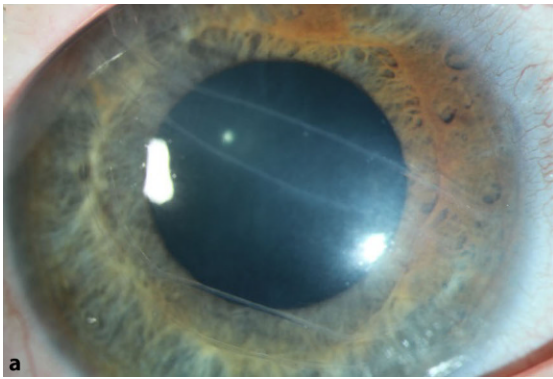


Abb. 3 ◀ Die endotheliale Dekompensation bei Descemet-Leisten nach Zangengeburt (a Übersicht, b Histologie PAS[„periodic acid-Schiff reaction“-]Färbung) ist eine gute Indikation für eine DMEK („Descemet membrane endothelial keratoplasty“)



Abb. 4 ▲ Die lange bestehende endotheliale Dekompensation mit panstromalen Narben ist keine Indikation für eine DMEK („Descemet membrane endothelial keratoplasty“)

benzsfähigkeit des Endothels haben, wie z. B. Lagerbedingungen vor der Operation, während der Präparation verwendete Medien sowie den Zeitpunkt der Aufbereitung in Bezug auf den Zeitpunkt der Operation. Im Gegensatz zu früheren Berichten [10, 32] haben wir uns entschieden, die EDM nicht unmittelbar vor der Operation, sondern 1 Tag vor der Operation vorzubereiten, die Transplantate jedoch in einem Organkulturmedium *ohne* Dextran zu konservieren [33]! So können mögliche organisatorische Probleme bei einer unbeabsichtigten Zerstörung des Spendergewebes vermieden oder leichter gelöst werden. Unser Klaus Faber Zentrum für Hornhauterkrankungen inkl. LIONS Hornhautbank Saar-Lor-Lux, Trier/Westpfalz, kann uns glücklicherweise bei „Zwischenfällen“ im Operationssaal immer zeitnah eine Ersatzhornhaut zur Verfügung stellen.

Wir bitten alle Patienten, einige Wochen vor der DMEK eine große YAG-Laser-Iridotomie an der 6-Uhr-Position (*nicht* im oberen Quadranten oder mitelperipher!) in unserer Klinik oder alternativ beim niedergelassenen Augen-

arzt durchführen zu lassen, um Blutungen oder Pigmentdispersionen im Falle einer Iridotomie kurzfristig am präoperativen Tag oder gar während des Eingriffs zu vermeiden (▣ Abb. 6). Am Abend vor der Operation prüfen wir im regredienten Licht, ob die Iridotomie durchgängig und groß genug ist. Ist das nicht der Fall, so wiederholen wir die YAG-Iridotomie in Pilocarpin-Miosis. Ist die periphere Kornea zu trüb, kann intraoperativ mit dem Vitrektomie-Cutter (oder mit der Vannas-Schere) vorsichtig eine Art „Ando-Iridektomie“ angelegt werden.

Merke

Zur bestmöglichen Vorbereitung gehört die mit großem zeitlichem Abstand präoperativ durchgeführte großzügige YAG-Iridotomie bei 06.00 Uhr!

Liegt beispielsweise ein diabetisches Makulaödem vor, so planen wir am Aufnahme-tag die simultane Triamcinolon-IVOM (intravitreale operative Medikamenteneingabe) mit der DMEK. Entsprechende Einträge in die elektronische Patientenakte werden am nächsten Morgen ohne Zutun des Operateurs vom Pflegepersonal im Operationssaal registriert und die entsprechenden Vorkehrungen getroffen [34].

Wir führen die DMEK entweder sequenziell an pseudophaken Augen durch (zuerst Kataraktoperation, dann DMEK), wenn die Katarakt das maßgebliche Krankheitsbild ist, oder simultan mit einer Phakoemulsifikation und einer Hinterkammerlinsenimplantation (sog. „Triple-DMEK“), wenn das Hornhautödem das maßgebliche Krankheitsbild

ist. Bei der Triple-DMEK zielen wir auf eine Refraktion $-0,75$ bis $-1,0$ dpt in der Haigis-Formel, wenn wir real eine Emmetropie erzielen wollen. Der Patient muss wissen, dass es sich dabei nicht um „refraktive Chirurgie“ handelt: 40 % der Patienten bekommen nach DMEK einen geringen myopen Shift, und 60 % der Patienten bekommen einen hyperopen Shift. Die Refraktionsänderung nach Abschwellen der Kornea schwankt von $-0,5$ bis $+2,0$ dpt [35]. Deshalb halten wir die Implantation einer multifokalen Kunstlinse bei Triple-DMEK für nicht empfehlenswert.

Cave

Bei einer Endotheldekompensation mit Keratopathia bullosa kann die IOL-Stärke für eine geplante Triple-DMEK deutlich unterschätzt werden. Am besten orientiert man sich für die Kunstlinsebestimmung am anderen Auge ohne Bullosa.

Um Verkalkungen der zentralen IOL-Optik zu vermeiden, benutzen wir bei der Triple-DMEK keine hydrophilen Kunstlinsen [3].

Ist die Linse klar, kann die DMEK auch in phaken Augen durchgeführt werden mit dem Ziel, dem jüngeren Patienten die Akkommodation zu erhalten [13].

Für die Spenderauswahl sind folgende Details für den Anfänger von Bedeutung [36–38]:

- Alter des Spenders >50 Jahre wegen des leichteren Entfaltens in der Vorderkammer,
- Diabetiker sind als Spender wegen des hohen Risikos des Risses während der

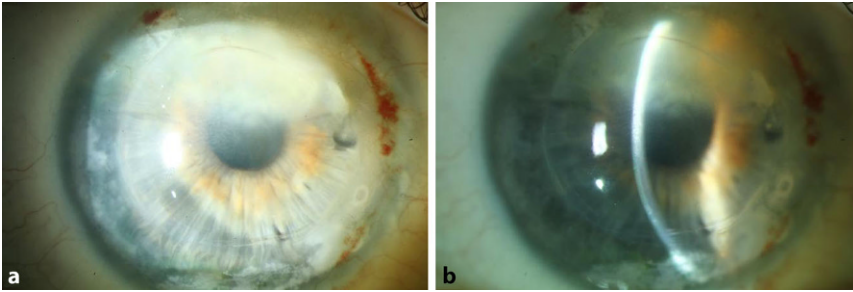


Abb. 5 ▲ Die stromalen Narben nach perforierender Keratoplastik (PKP) sind keine Indikation für eine DMEK („Descemet membrane endothelial keratoplasty“). **a** Übersicht, **b** Spalt

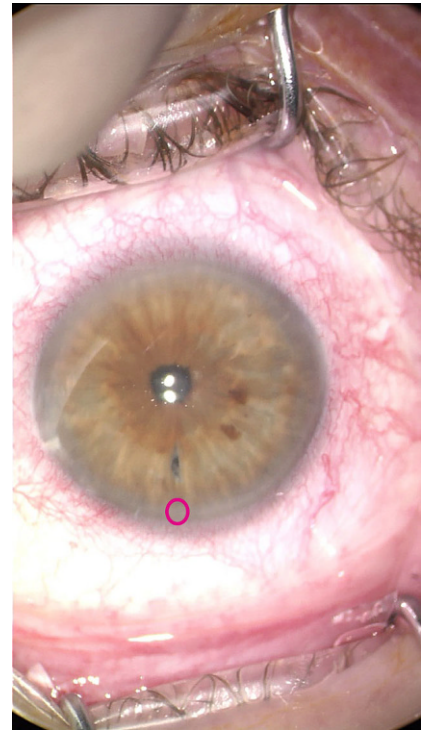


Abb. 6 ▲ Die präoperative YAG-Laser-Iridotomie sollte möglichst peripher bei 6 Uhr angelegt werden (roter Kreis), nicht mittelperipher – wie hier zu sehen



Abb. 7 ◀ Operati- onstisch mit allen Requisiten für die Spendervorbereitung

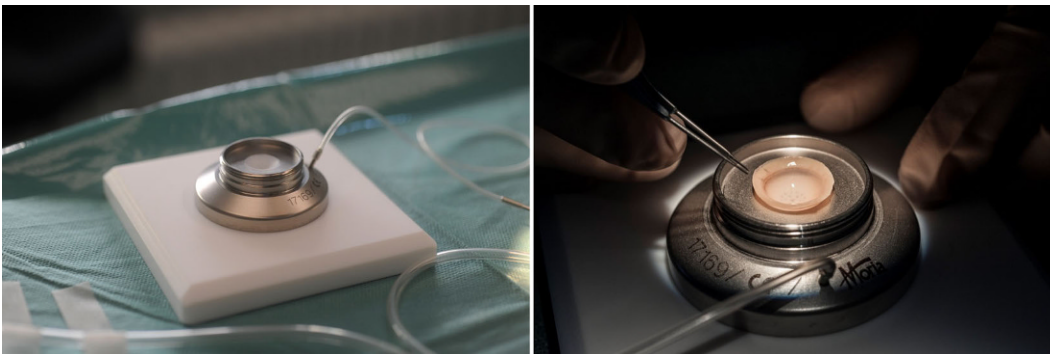


Abb. 8 ▲ Um eine Verschiebung während der Vorbereitung des Transplantates zu verhindern, werden die 15-mm korneoskleralen Scheiben mit dem Epithel nach unten auf den Saugblock gelegt, der üblicherweise zur Präparation von DSAEK („Descemet-stripping automated endothelial keratoplasty“)-Gewebe verwendet wird (Hanna Trepanationssystem; Moria SA, Antony, Frankreich)

Spendervorbereitung zu vermeiden [39],

- pseudophake Spender sind wegen des erhöhten Risikos von Radialrissen im Bereich der Inzisionen vom Erfahrenen zu präparieren,
- Organkultur ist für die EDM-Präparation zu bevorzugen,
- aufgrund des akzeptablen Endothelzellverlusts von 4,1 % nach Lagerung für 1 Tag [40] verbessern wir unsere Organisation durch die stressfreie

Transplantatpräparation im Operationssaal am Tag vor der geplanten DMEK und lagern das sog. „precut tissue“ oder „prestripped tissue“ in Organkultur *ohne* Dextran (Medium 1) [33, 41] in einem Glasgefäß bis zur geplanten Operation am Folgetag.

In der Praxis wird die Pupille für eine einfache DMEK medikamentös mit Pilocarpin 2 % maximal enggestellt. Für die Triple-DMEK vermeiden wir Atro-

pin und Adrenalin in der Vorderkammer während des Katarakteingriffs, damit sich die Pupille nach der Implantation der Kunstlinse in den Kapselsack so weit wie möglich zusammenziehen kann. Im Zweifel benutzen wir Irisretraktoren, um die Kataraktoperation sicher durchführen zu können.

In Homburg wird die DMEK in Vollnarkose oder Retrobulbäranästhesie durchgeführt. Der erfahrene Anästhesist kann durch den Einsatz von Mivacurium

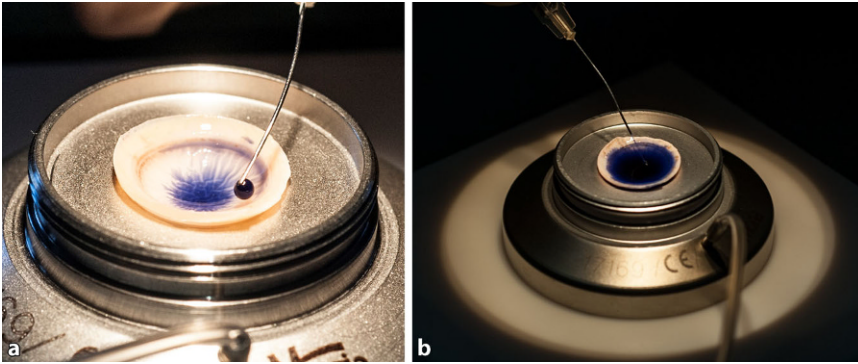


Abb. 9 ▲ Um die Visualisierung zu verbessern, wird Blue Color Caps (BCC, Croma GmbH, Leobendorf, Österreich) in die konkave Korneoskleralscheibe geträufelt (a), wobei die adäquate Einfärbung ca. 60 s dauert (b)

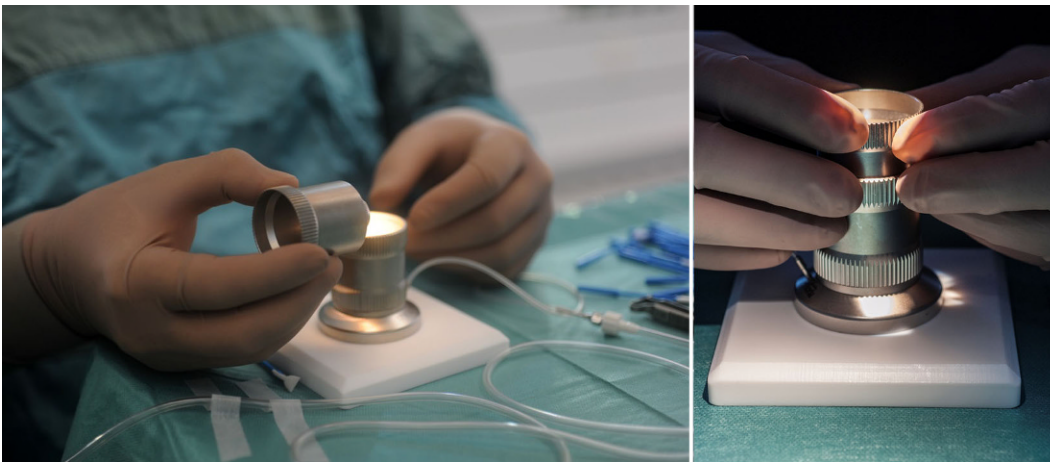


Abb. 10 ◀ Die Markierung der zukünftigen Transplantatgröße wird unter visueller Kontrolle angebracht, indem man den Trepan vorsichtig innerhalb des Führungszylinders des Trepanationssystems hinabgleiten lässt, bis dieser die Oberfläche des Endothels sanft berührt. *Cave: Nicht perforieren!*

als Muskelrelaxans und die kontrollierte mäßiggradige arterielle Hypotonie oft zu einer Vis-a-tergo im gewünschten Bereich von 1–2 beitragen.

Spenderpräparation Schritt für Schritt

Die OP-Schwester bereiten einen standardisiert gedeckten Tisch für die Spenderpräparation vor (▣ Abb. 7). Zur Stabilisierung wird die 15-mm-Korneoskleralscheibe mit dem Epithel nach unten auf einen Saugblock gelegt, der üblicherweise zur Trepanation des DSAEK-Gewebes verwendet wird (Hanna Trepanationssystem; Moria SA, Antony, Frankreich) (▣ Abb. 8a, b). Nach der korrekten Zentrierung (!) der Korneoskleralscheibe wird die Absaugung mittels Fußschalter in Gang gesetzt.

Um die Sichtbarkeit zu verbessern, wird Blue Color Caps (BCC, Croma GmbH, Leobendorf, Österreich) einge-

setzt, wobei die Einfärbung knapp 60 s dauert (▣ Abb. 9a, b). Danach wird BCC durch das Organkulturmedium ersetzt.

Merke

Das Endothel muss während der gesamten Präparation mittels Organkulturmedium feucht gehalten werden.

Um die Orientierung auf der Oberfläche der EDM zu erleichtern, wird typischerweise mittels 7,5-mm-Trepan des Moria-DSA EK-Trepanationssystems (Moria SA, Antony, Frankreich) eine ganz oberflächliche Kreismarkierung aufgebracht, die den gleichen Durchmesser wie das zukünftige EDM-Transplantat hat. Die Markierung wird unter haptischer Kontrolle angebracht, indem man den Trepan innerhalb des Führungszylinders des Trepanationssystems kontrolliert hinabgleiten lässt, bis dieser die Oberfläche des Endothels sanft be-

rührt (▣ Abb. 10a, b). Bei ungewünschter Perforation der DM bei diesem Schritt ist das weitere Vorgehen der Spenderpräparation erschwert und geht mit einem erhöhten Endothelzellverlust einher.

In der klinischen Routine hat sich bei der Spenderpräparation am Vortag der 7,5-mm-Durchmesser bewährt, weil er auch bei relativ kleinen Patientenhornhäuten noch „passt“ und nicht schon bei geringer Dezentrierung das Trabekelmaschenwerk partiell überdeckt. Bei Buphthalmusaugen mit sehr großen Hornhäuten kann ein größerer Transplantatdurchmesser sinnvoll sein, um möglichst viele Endothelzellen zu transplantieren.

Die Descemet-Membran (DM) haftet peripher fest am Trabekelmaschenwerk und dem peripheren Hornhautstroma nahe dem Limbus. Deshalb werden zu Beginn der Präparation mit einer Rasier Klinge periphere lamelläre Inzisionen von ca. 1,5 mm Länge außerhalb der ringförmigen 7,5-mm-Markierung in hexa-



Abb. 11 ◀ Um den Rand der Endothel-Desemet-Membran (EDM) zu erreichen, werden periphere lamelläre Inzisionen von ca. 1,5 mm Länge außerhalb der 7,5-mm-Marke mithilfe einer Rasierklinge in hexagonaler, heptagonaler oder achteckiger Weise durchgeführt

gonaler, heptagonaler oder oktagonaler Weise durchgeführt (▣ **Abb. 11**). Dies ist notwendig, um den Rand der EDM zirkulär leichter fassen zu können. Ein rechts-händiger Chirurg führt diese Schnitte am besten im Uhrzeigersinn durch Linksdrehen des Saugblocks durch. Typischerweise wird die DM nicht nur mit der Rasierklinge gerade eingeschnitten, sondern sie reißt auch in gekrümmter Weise (analog zur Kapsulorhexis der Linse) (▣ **Abb. 12**). Dann wird der Schnittbereich durch erneute BCC Blue Dye-Anwendung noch einmal besser sichtbar gemacht. Mit einer winzigen ungezähnten Pinzette wird die DM radial unter sehr geringer Dehnung erfasst und der periphere Rand der EDM (vorzugsweise ausgehend vom gerissenen – nicht vom geschnittenen Rand!) analog zum Öffnen eines Umschlags zirkulär angehoben.

Cave

Der Anfänger greift hier oft zu tief ins Stroma!

Idealerweise sollte der Rand der angehobenen EDM etwa 1 mm außerhalb der 7,5-mm-Marke liegen, um die Manipulation des Randes der EDM zu ermöglichen, ohne die Anzahl der Endothelzellen des zukünftigen Transplantats zu reduzieren und um im Falle von induzierten, radiären Rissen in der EDM passend reagieren zu können. Wenn während der Spendervorbereitungen kleine Radialrisse auftreten, ergreifen wir einen Rand des Risses mit einer Pinzette und vervollständigen den Radialriss zu einer halbkreisförmigen konkaven Kante (wie

bei einer Kapsulorhexis bei der Kataraktchirurgie) – und wir markieren diesen kritischen Bereich am Skleralrand mit einem feinen sterilen Blaustift.

Nach Phakoemulsifikation reißt die EDM typischerweise im Bereich der Parazentesen und des Hauptzugangs ein. In dieser Situation muss der Prozess der peripheren EDM-Abhebung proximal des Defekts wieder aufgenommen werden, was durch fokale Adhäsionen oftmals erschwert wird. Rechtshändige Chirurgen liften die periphere EDM am besten durch Drehen des Saugblocks im Uhrzeigersinn.

Merke

Pseudophake Spender sind keine Kontraindikation für die DMEK, allerdings ist die Spenderpräparation erschwert!

Da der EDM-Rand außerhalb der 7,5-mm-Markierung ohnehin entfernt wird, führt das Greifen dieses Randes außerhalb der 7,5-mm-Markierung mit einer Pinzette nicht zum Verlust von Endothelzellen auf dem Transplantat, und die EDM kann so sicher einhändig in Richtung Zentrum gezogen werden. Beide seitlichen Ränder der sich langsam ablösenden EDM werden genau beobachtet, um sofort mit dem Abziehen aufzuhören, falls ein radialer Riss erkennbar wird. Im Übrigen wird das Abziehen planmäßig gestoppt, nachdem knapp ein Drittel der gesamten EDM abgelöst ist. Dann wird die periphere EDM durch Fassen an den später zu verworfenden Rändern an ihren ursprünglichen Platz zurückgelegt. Durch Drehen des Saugblocks um etwa

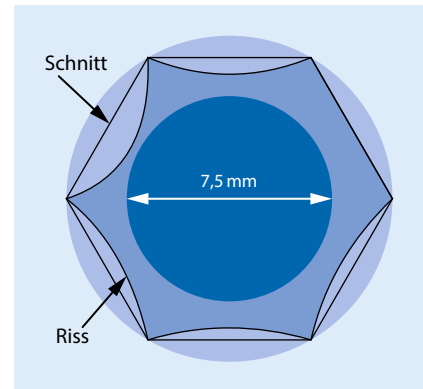


Abb. 12 ▲ Schema: Typischerweise wird die Descemet-Membran (DM) nicht nur mit der Rasierklinge geschnitten, sondern sie reißt auch in gekrümmter Weise ein (analog zur Kapsulorhexis der Linse). Mit einer winzigen ungezähnten Pinzette wird die DM radial unter sehr geringer Dehnung erfasst, und der periphere Rand der DM (vorzugsweise der gerissene Bereich zuerst!) wird analog zum Öffnen eines Umschlags kreisförmig angehoben

120° kann die EDM im zweiten Drittel mittelperipher vom Stroma abgelöst werden. Wenn die EDM im letzten Drittel abgehoben wird, ist es wichtig, dass ein kleiner Teil der EDM am zentralen Stroma befestigt bleibt, damit die EDM nicht unkontrolliert zu gleiten beginnt.

Manchmal ist die Adhäsion der EDM auch mittelperipher so groß, dass nur die bimanuelle Technik mit 2 Pinzetten ein rezidivierendes Ausreißen an den fokal peripher gefassten Stellen der EDM vermeidet.

Merke

Beim Abziehen der EDM wird die Pinzettenspitze knapp über dem Endothel quer über die konkave Oberfläche der Korneoskleralscheibe geführt. Auf keinen Fall wird die EDM in die Luft gezogen, weil sie dann sicher reißt!

Nachdem die gesamte EDM wieder in der richtigen anatomischen Position ausgebreitet wurde, erfolgt die lamelläre (!) Trepanation der EDM mit dem 7,5-mm-Moria-Trepan. Bei Perforation läuft das Nährmedium ab, die Endothelzellschicht kann austrocknen und die weiteren Schritte sind erschwert. Der periphere kreisförmige Rand der EDM, der bisher mit der Pinzette angefasst wurde,

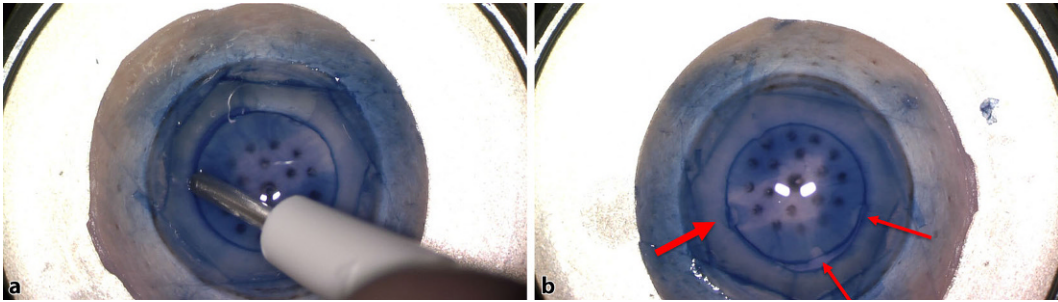


Abb. 13 ▲ **a** Drei halbkreisförmige Markierungen am Rand der Endothel-Descemet-Membran (EDM) werden mit einem 1-mm-Hauttrepan angebracht, und zwar 2 nahe beieinander und 1 in größerer Entfernung. **b** Die dritte Markierung (*dicker Pfeil*) am Rand der EDM liegt im Uhrzeigersinn in größerer Entfernung als die ersten beiden Markierungen zueinander. So wird während der folgenden Operationsschritte die anteriore/posteriore Orientierung der EDM sichergestellt, wie von Bachmann et al. im Jahr 2010 beschrieben [42]

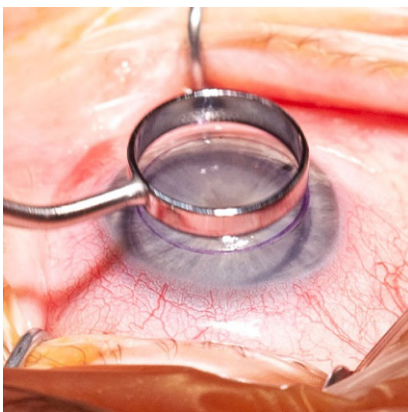


Abb. 14 ▲ Eine 8,0 mm große, ringförmige Markierung wird für ein 7,5 mm großes Transplantat auf die zentrale Hornhautoberfläche aufgetragen

wird nun verworfen. Dann werden mit der Greiffläche einer Pinzettenhälfte die teilweise in der lamellären Trepanationsfuge eingeklemmten Ränder der EDM angehoben, um jeden Widerstand während des finalen Ablösungsmanövers zu vermeiden.

Am wichtigsten ist, dass *Orientierungsmarkierungen* wie von Bachmann, Cursiefen und Kruse im Jahr 2010 beschrieben [42] vorgenommen werden, um während der folgenden Operationsschritte die korrekte anteroposteriore Orientierung der EDM sicherzustellen (▣ **Abb. 13a**; [43]). Mit einem 1-mm-Hauttrepan werden 3 halbbrunde Markierungen am Rand der EDM vorgenommen, und zwar so, dass 2 Markierungen nahe beieinander sind und 1 im Uhrzeigersinn in größerer Entfernung zu liegen kommt (▣ **Abb. 13b**). Hierbei muss die

Entstehung radiärer Einrisse in der EDM vermieden werden.

Der Saugblock wird nun so gedreht, dass die 3 Markierungen zum Chirurgen hin zeigen. Zum vollständigen Ablösen der EDM wird eine Hornhautfadenpinzette verwendet, um den Rand der EDM gegenüber den Orientierungsmarkierungen zu greifen. Da der Großteil der EDM bereits vom Stroma abgelöst ist, ist die vollständige Abtrennung relativ einfach und sicher. Die Pinzette muss jedoch wieder entlang der konkaven Wölbung direkt über dem Endothel der Korneoskleralscheibe geführt werden, ohne das Endothel zu berühren. Nach Beendigung des Saugvorgangs des Moria-Systems wird die vollständig abgelöste EDM auf der Korneoskleralscheibe als Vehikel in einen halb mit Organkulturmedium *ohne* Dextran gefüllten Glasbehälter (12 cm × 1 cm) übertragen. Bei der Konservierung über Nacht wird die EDM in die ursprüngliche Organkulturflasche verbracht und zurück in den Brutschrank der Hornhautbank gegeben.

Cave

Manchmal legt sich die EDM unauffällig wieder zurück in das ursprüngliche Bett der Korneoskleralscheibe.

Die Sicherheit und Geschwindigkeit bei der Präparation des EDM-Transplantats wird durch Training deutlich verbessert. Dieses Verfahren kann von einem erfahrenen DMEK-Chirurgen in der Regel in 5 bis maximal 10 min erfolgreich durchgeführt werden.

Empfänger- bzw. Wirtsmanöver Schritt für Schritt

Empfängervorbereitung

Wenn die Wirtshornhaut sehr ödematös ist, tropfen wir schon direkt nach dem Aufstehen 5% NaCl (Natriumchlorid) ½-stündlich und intraoperativ 20% Glukoselösung. Hilft das nicht ausreichend, so entfernen wir – besonders auch bei geplanter Triple-DMEK – das verdickte weißliche Epithel mit dem Hockeymesser. Oft wird danach die Sicht in die Vorderkammer deutlich besser. Dies hilft beim Vermeiden von Komplikationen. Am Ende der Operation erhalten diese Patienten eine therapeutische Kontaktlinse mit lokaler Antibiotikaphylaxe für 2 Wochen.

Merke

Eine Abrasio corneae verbessert den Einblick in die Vorderkammer bei bullöser Keratopathie oft erheblich.

Zunächst wird nach Trocknung der Hornhautoberfläche mit dem Zigarettenpfeifer eine 8,0 mm ringförmige zentrale Markierung für ein 7,5-mm-Transplantat aufgetragen (▣ **Abb. 14**). Nach Anfärben des Markierers sollte die Schwester diesen vor Berührung der Hornhaut mindestens 3-mal auf einem Tuch abtupfen, damit der Ring auf der Hornhaut nicht zu breit wird und später die Sicht beeinträchtigt. Der Spenderdurchmesser sollte immer kleiner sein als der Empfängerdurchmesser, um eine Überlappung der Spender- und Wirts-DM zu verhindern,

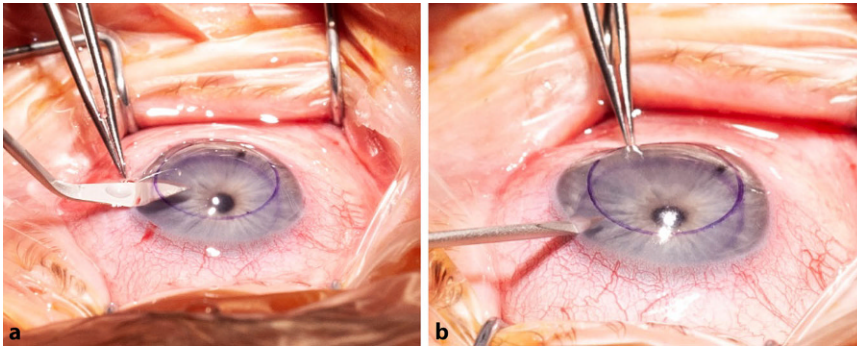


Abb. 15 ▲ **a** Ein limbaler „Phakotunnel“ (Breite 2,5 mm) und **b** 3 kleine Parazenten (Breite 1,8 mm) in einem Abstand von 120° zueinander werden am Limbus angelegt

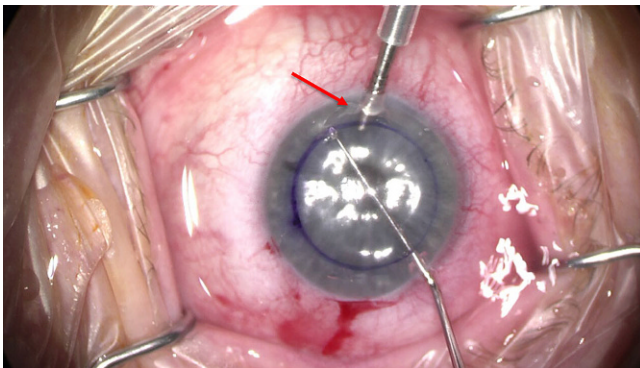


Abb. 16 ▲ Über die nasalen Parazentesen wird ein „anterior chamber maintainer“ (ACM) (Pfeil) am Limbus platziert. Dieser ist mit einer Vitrektomieeinheit verbunden, die durch eine 40-mm Hg-Luftfüllung die Vorderkammer während der Descemetorhexis tief hält. Für die Descemetorhexis wird ein invertiertes Häkchen (z. B. Price Hook „Reverse Sinsky“; Moria SA, Antony, Frankreich) durch eine Parazentese gegenüber des ACM eingeführt

weil dies das Risiko einer späteren Transplantatabhebung und damit die Notwendigkeit eines Re-Bubbings erhöht [3]. Ein klarer Hornhautphakoschnitt (Breite 3,0 mm) (Abb. 15a) und 3 kleine Parazentesen (Breite 1,8 mm) in einem Abstand von 120° werden am Limbus angelegt (Abb. 15b). Ein relativ kurzer „Phakotunnel“ (nicht länger als 1,5 mm) soll sicherstellen, dass der Abstand zwischen der Innenlippe des Tunnels und dem kontralateralen Kammerwinkel genügend Platz für die zentrierte Anlage des Transplantats gewährt und die nötigen Manöver mit einer Kanüle durch den Tunnel möglich sind. Um die erkrankte Empfänger-DM zu entfernen, wird durch die dem Tunnel gegenüberliegende Parazentese ein „anterior chamber maintainer“ (ACM) an eine Vitrektomieeinheit angeschlossen, um eine zentrierte Descemetorhexis unter Luft (typischerweise 40 mm Hg Druck) zu ermöglichen (Abb. 16). So bleibt die Vorderkammer

während der gesamten Descemetorhexis tief. Dies ist bei Patienten mit starker Vis-a-tergo (= „positiver Glaskörperdruck“) sehr hilfreich!

Cave

Der ACM sollte nicht bei 6 Uhr nahe der Iridotomie angebracht werden, weil es sonst durch *Misdirektion* der Luft hinter die Iris zu einer aufgehobenen Vorderkammer kommen kann.

Für die Descemetorhexis wird ein invertiertes Häkchen (Price Hook „Reverse Sinsky“, Moria SA, Antony, Frankreich) durch eine Parazentese neben dem Tunnel eingeführt (Abb. 16). Zunächst wird eine zirkuläre Inzision hinter der runden Markierung im Bereich der DM vorgenommen. Anschließend wird der periphere Anteil der EDM – analog der Kapsulorhexis bei der Kataraktoperation – umgeklappt und sukzessive zum gegen-

überliegenden Rand gezogen, ohne im Zentrum Furchen und Defekte im posterioren Wirtsstroma zu verursachen. Die Luftfüllung der Vorderkammer zeigt – im Gegensatz zu Wasser oder Viskoelastikum – dem Operateur am besten die Stellen, wo noch Reste der gelegentlich auch lamellär gespaltenen DM verblieben sind. Diese können anschließend noch mit dem breiten „Schaber“ (90° Spatula, Moria SA), wie er für die DSAEK verwendet wird, komplett entfernt werden. Im Rahmen der Triple-DMEK nutzen wir oft auch das einhändige Saug-Spül-System mit nach oben gerichteter Aspirationsöffnung, um das zentrale und mittelperiphere (!) posteriore Hornhautstroma komplett von DM-Resten zu säubern. Danach wird die Parazentese, die zuvor den ACM beherbergte, mit einer 10-0-Nylon-Einzelknüpfnaht sicher verschlossen, und die Vorderkammer bleibt mit Luft gefüllt, um eine stromale Quellung während der Vorbereitung der Transplantatinjektionskartusche zu vermeiden.

Vorbereitung des Endothel-Descemet-Membran-Injektionssystems

Die EDM-Rolle, die am Vortag oder direkt vor der Operation vorbereitet wurde, wird in eine Petri-Schale (12 cm × 1 cm) transferiert, die zur Hälfte mit einem Organkulturmedium ohne Dextran gefüllt ist (Abb. 17a). Der dunkelblaue Farbstoff DORC MEMBRANE BLUE DUAL (DORC, VN Zuidland, Niederlande) wird manuell über eine kleine Kanüle in das Lumen der Rolle injiziert. Die Spitze einer Glaskartusche (Einmal-DMEK-Kartusche, Geuder, Heidelberg, G-38635) ist mit einem Schläuchlein und einer 5-ml-Spritze verbunden. Sie wird vollständig mit Medium gefüllt und in das Medium eingetaucht. Mit Hilfe eines Spatels kann die gerollte EDM leicht in die großlumige posteriore Öffnung der Glaskartusche manövriert werden (Abb. 17b). Um dieses Prozedere zu erleichtern, zieht die assistierende Schwester vorsichtig am Kolben der 5-ml-Spritze. Dann wird eine weitere 3-ml-Spritze mit der großen Öffnung der Glaskartusche verschraubt (Luer-Lok-Tip) und das Schläuchlein von der Spitze der Glaskartusche entfernt. Die

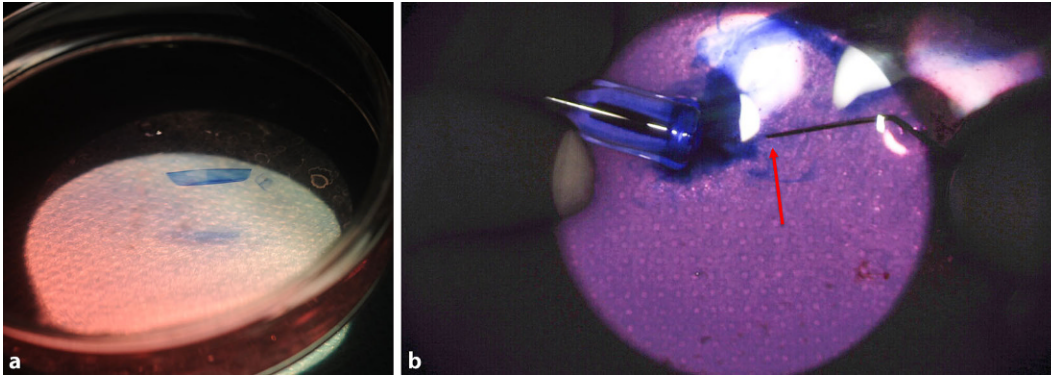


Abb. 17 ▲ a Gerollte EDM schwimmt in einer 12 cm × 1 cm Petri-Schale. b Mithilfe eines kleinen Spatels (*Pfeil*) kann die gerollte EDM leicht in die große Öffnung der Glaskartusche (Fa. Geuder, Heidelberg) geleitet werden. Um dieses Verfahren zu erleichtern, zieht die assistierende Schwester vorsichtig am Kolben der Spritze, die über ein Schläuchlein mit der Spitze der Kartusche verbunden ist

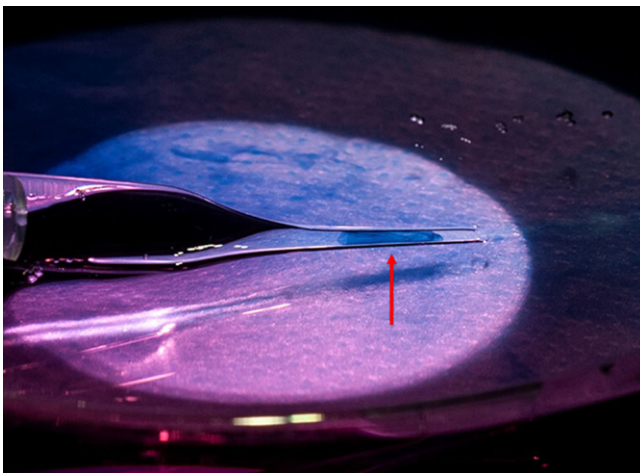


Abb. 18 ▲ Die Rolle wird durch vorsichtiges Drehen (nicht Drücken!) des Kolbens der 3-ml-Spritze an die Spitze der Glaskartusche (*Pfeil*) vorgeschoben

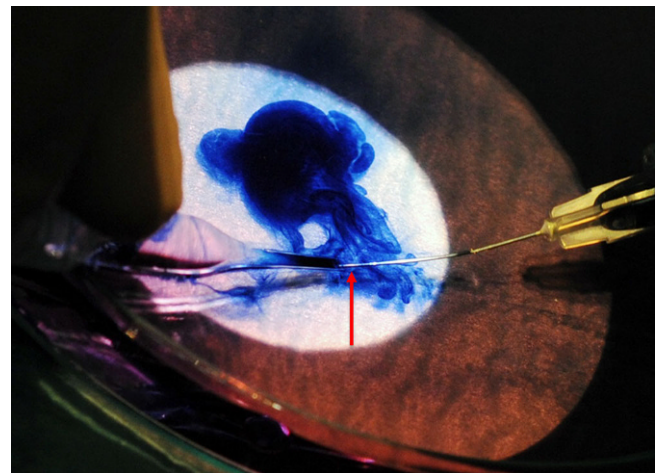


Abb. 19 ▲ Der dunkelblaue Farbstoff DORC MEMBRANEBLUE DUAL (DORC, VN Zuidland, Niederlande) wird über eine kleine, gebogene Kanüle (*Pfeil*) in die Spitze der Glaskartusche gefüllt, bis die gesamte Rolle vollständig mit dem tiefblauen Farbstoff bedeckt ist. Dieser Schritt ist klinisch von größter Bedeutung, um sicherzustellen, dass alle 3 Markierungen am Rand der Endothel-Descemet-Membran (EDM) später in der Vorderkammer eindeutig zu identifizieren sind

EDM-Rolle wird durch vorsichtiges Drehen (nicht Drücken!) des 3-ml-Kolbens bis in die Spitze der Kartusche vorgeschoben (▣ **Abb. 18**). Der dunkelblaue DORC-Farbstoff wird über eine kleine, gebogene Kanüle in die Spitze der Glaskartusche gefüllt, bis die gesamte EDM-Rolle vollständig mit dem tiefblauen Farbstoff bedeckt ist (▣ **Abb. 19**).

Merke

Diese komplette (!) Blaufärbung ist klinisch von größter Bedeutung, um sicherzustellen, dass alle 3 „Bachmann-Markierungen“ am Rande der EDM spä-

ter in der Vorderkammer eindeutig identifiziert werden können.

Dann warten wir 30 s, um sicher zu sein, dass der Farbstoff gut von der EDM aufgenommen wurde.

Injektion der Endothel-Descemet-Membran in die Vorderkammer

Um die Injektion der EDM-Rolle vorzubereiten, wird die Luft vollständig (!) aus der Vorderkammer entfernt und diese komplett mit Balanced Salt Solution (BSS) gefüllt. Die Spitze der Glaspatrone wird mit dem Schrägschliff nach un-

ten (!) in Richtung der mittleren Peripherie der Vorderkammer eingeführt (▣ **Abb. 20a**), um zu vermeiden, dass das Transplantat hinter der Iris verschwindet – besonders im Falle mittelweiter Pupillen bei Triple-DMEK. Durch Drücken des Kolbens wird die EDM-Rolle zusammen mit der blauen Flüssigkeit in die Vorderkammer injiziert – dies zunächst, ohne auf die Orientierung zu achten (▣ **Abb. 20b**). Durch vorsichtigen Druck mit der Glasspitze auf die hintere Lefze der limbalen Inzision kann eine große Menge des blauen Farbstoffs sofort wieder aus der Vorderkammer entfernt werden. Akrobatische bimanuelle Ver-

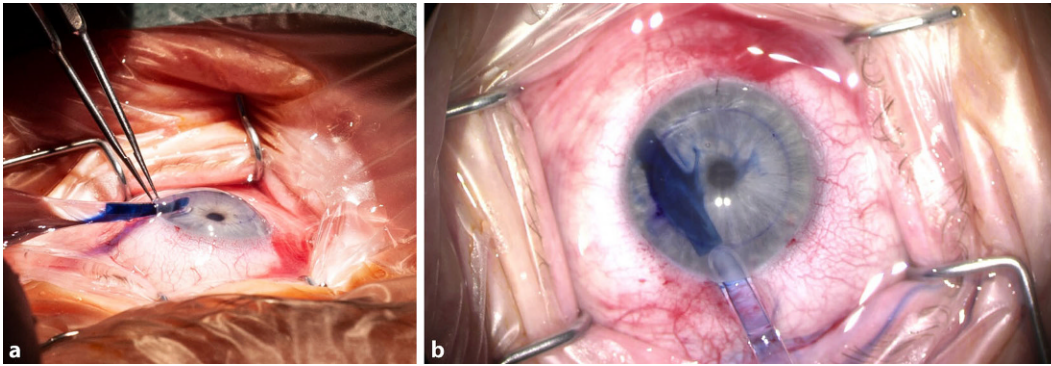


Abb. 20 ▲ Um die Injektion der EDM(Endothel-Descemet-Membran)-Rolle vorzubereiten, wird die Luft vollständig (!) entfernt und die Vorderkammer mit Balanced Salt Solution (BSS) gefüllt. Die Spitze der Glaskartusche wird mit dem schrägen Anschliff nach unten (!) in Richtung der mittleren Peripherie der Vorderkammer gerichtet (a von seitlich), um zu vermeiden, dass das Transplantat hinter der Iris verschwindet. Durch Drücken des Kolbens wird die EDM-Rolle zusammen mit der blauen Flüssigkeit in die Vorderkammer injiziert (b von oben)

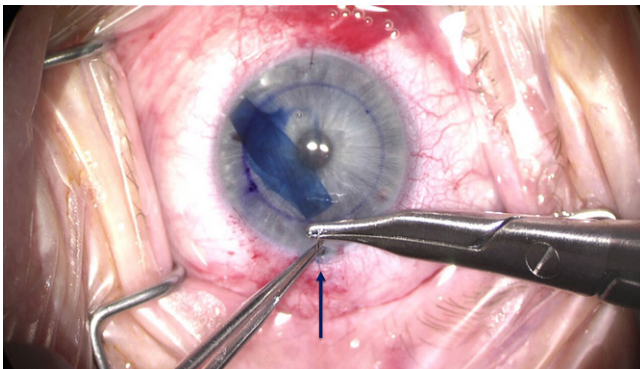


Abb. 21 ◀ Dann wird der „Phakotunnel“ mit einer 10-0-Nylon-Einzelknüpfnaht (Pfeil) bei tonisiertem Bulbus (!) verschlossen, ohne dass die Hornhauttopographie zu stark verkrümmt wird

fahren mit simultaner Übernahme der EDM-Rolle mittels Mikropinzette über die gegenüberliegende Parazentese sind nicht Bestandteil unserer praktikablen und realitätsnahen Anleitung. Anschließend wird der Schnitt mit einer 10-0-Nylon-Einzelknüpfnaht bei tonisiertem Bulbus wasserdicht verschlossen, ohne dass die Hornhauttopographie zu stark irregulär wird (■ **Abb. 21**).

Entfaltung und Ausrichtung der Endothel-Descemet-Membran in der Vorderkammer

Mithilfe einer Sautter-Kanüle und BSS wird der verbliebene blaue Farbstoff nun vollständig aus der Vorderkammer ausgespült. Auf diese Weise neigt die EDM-Rolle in der Regel dazu, sich teilweise zu öffnen, sodass der Operateur die Orientierung und die Ränder des Transplantats erkennen kann (■ **Abb. 22a**). Die Beobachtung der Markierungen am Rand der EDM in Verbindung mit der Beob-

achtung der Rollenkante (die sich gegen die Rückseite der Hornhaut nach oben wölbt) ermöglicht es, sich der korrekten Ausrichtung zu versichern. Es ist sehr vorteilhaft, wenn die EDM in dieser Phase einen dreieckigen „Napoleonshut“ bildet. In diesem Stadium kann die Entfaltung des Transplantats erreicht werden, indem man entweder auf die Wirtshornhaut klopft, nachdem man wiederholt auf den Boden des Tunnels gedrückt hat, um die Vorderkammer abzuflachen, oder indem man eine kleine Luftblase aus einer von der Schwester vorbereiteten Insulinspritze in das innere Lumen der EDM-Rolle einbringt (■ **Abb. 22b**). Durch entsprechendes Tippen auf der Hornhaut wird die zur Peripherie hinrollende Luftblase genutzt, um die Ränder der EDM nacheinander aufzuklappen. Die Ränder sollen – einmal entfaltet – in der Peripherie zwischen Hornhaurückfläche und Iris „eingeklemmt“ werden (■ **Abb. 22c**). Wenn die EDM indirekt mit Wasserstößen nicht zentriert

werden kann, ist es manchmal ratsam, mithilfe eines kleinen Spatels die EDM auf direktem Wege zu zentrieren, ohne das Transplantat gegen die Iris zu drücken. Ist die Vorderkammer zu tief, kann die Membran auf der Oberfläche der Iris ausgebreitet werden, indem die Luftblase vergrößert und die Vorderkammer vollständig mit Luft gefüllt wird, dies jedoch ohne zu viel Druck. Bei vitrektomierten Augen ohne Vis-a-tergo gelingt oft die Entfaltung nur bimanuell, indem konsequent mit der linken Hand durch Druck auf die zentrale Hornhaut mit einem 5 mm durchmessenden ringförmigen feinen Metallinstrument (Bores O-Z Marker, Fa Polytech-Domilens, Roßdorf) die Vorderkammer flach gehalten wird! Auch ein vorsichtiges aktives Absaugen von Flüssigkeit aus der Vorderkammer mittels Sautter-Kanüle kann helfen. Alternative Techniken und weitere komplexe Ansätze sind ebenfalls beschrieben worden [25, 26, 44].

In jedem Fall muss die kleine oder größere Luftblase mittels nach oben gerichteter Sautter-Kanüle (Lumen der Kanüle in Richtung des Empfängerstromas!) sorgfältig komplett abgesaugt werden. Dabei kollabiert die Hornhaut in der Regel, und die EDM bleibt auf der Iris – auch bei jungen Spendern, tiefer Vorderkammer oder nach Vitrektomie. Die Kanüle muss entfernt werden, ohne die Lage der EDM zu beeinträchtigen. Anschließend wird eine mit einer 20 % SF₆(Schwefelhexafluorid)-Gas gefüllten Spritze verbundene Kanüle unter der EDM in Richtung der Pu-

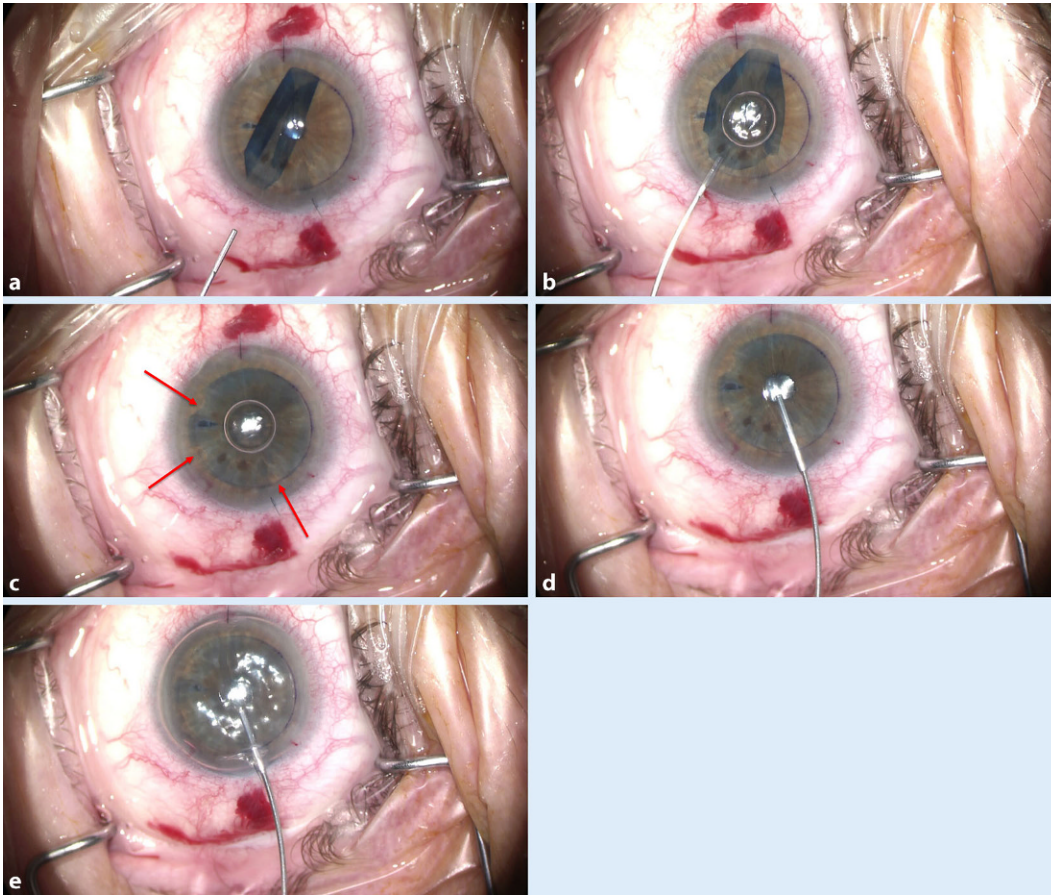


Abb. 22 ▲ Entfaltung und Anlegen der Endothel-Descemet-Membran (EDM) in der Vorderkammer. **a** Nach einigen Flüssigkeitsstößen zeigt die EDM in die passende Richtung. Durch Druck auf den Boden einer Parazentese wird das EDM in dieser Position arretiert. **b** Mittels Insulinspritze wird eine kleine Luftblase von definiertem Volumen zwischen EDM und Hornhaut appliziert. Indirekt gesteuerte Rollmanöver entfalten die peripheren Ränder der EDM. **c** Das Transplantat liegt gut zentriert und in korrekter anteroposteriorer Orientierung (Pfeile an den 3 „Bachmann-Markierungen“) auf der Iris. **d** Nach Entfaltung der EDM muss die Kanüle, die mit einer Spritze mit 20 % SF₆ (Schwefelhexafluorid)-Gas verbunden ist, unter der EDM in Richtung der Pupillenmitte vorgeschoben werden. Während dieses Stadiums muss der Daumen des Chirurgen weg vom Kolben bleiben, um eine unkontrollierte Dislokation der EDM zu vermeiden! **e** Durch die kontrollierte Gasinjektion legt sich die EDM in der Regel wie eine Qualle gut zentriert an die Rückseite der Wirtshornhaut an

pillenmitte vorgeschoben (▣ **Abb. 22d**). Während dieses Stadiums muss der Daumen des Chirurgen weg vom Kolben sein, um eine unkontrollierte Dislokation der EDM zu vermeiden! Außerdem muss man bei Triple-DMEK und stärkerer Visa-tergo vermeiden, mit der Kanüle am möglicherweise durch die Iris prominenten Optikrand der Kunstlinse hängen zu bleiben. Durch die kontrollierte Gasinjektion legt sich die EDM in der Regel wie eine Qualle gut an die Rückseite der Wirtshornhaut an (▣ **Abb. 22e**). Die Orientierungsmarkierungen lassen final die korrekte Ausrichtung des Transplantats und sichere Vermeidung einer Upside-down-Apposition sicherstellen.

Cave

Faux ami: Die EDM alter Spender lassen sich manchmal völlig unproblematisch in der Vorderkammer entfalten – liegen aber „upside down“, wie die 3 „Bachmann-Markierungen“ eindeutig belegen (▣ **Abb. 23**).

Es ist sehr wichtig, vor der Eingabe der Gasblase eine zentrale Position der EDM in der Vorderkammer unterhalb der 8,0-mm-Kreismarkierung sicherzustellen, weil das Transplantat – anders als bei einer DSAEK – häufig nicht mehr nennenswert verschoben werden kann, sobald es dem Wirtsstroma anliegt. Manchmal kann energisches Klopfen

mit einem Schiellhaken vom Limbus zur Mitte im Hemimeridian der Dezentrierung eine geringe Verschiebung der EDM bewirken.

Die Entfaltung dauert typischerweise nach Abschluss der Lernkurve zwischen 2 und maximal 10 min.

Perioperative Details

Nach dem Anlegen der EDM bleibt die Vorderkammer für 2–3 h vollständig mit 20 % SF₆-Gas gefüllt, und der Patient wird gebeten, sich auf Station auf den Rücken zu legen. Danach wird der Patient wieder in den Operationssaal gebracht, und in Tropfanästhesie wird eine geringe Menge Flüssigkeit mit der Sautter-Kanüle via

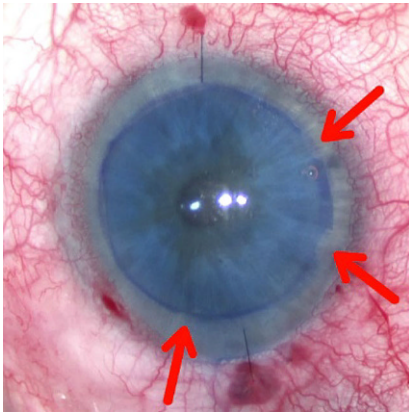


Abb. 23 ▲ Faux ami: Die EDM eines 85-jährigen Spenders ließ sich völlig unproblematisch in der Vorderkammer (VK) entfalten. Die 3 „Bachmann-Markierungen“ zeigen eindeutig, dass die anteroposteriore Orientierung falsch ist und das Transplantat „upside down“ gedreht werden muss. (<https://www.eyefox.com/videos/111/dmek-mit-faux-ami-prof-dr-berthold-seitz-homburg-saar.html>)

Parazentese in die Vorderkammer gegeben, sodass die Iridotomie bei 6 Uhr beim Blick nach unten frei ist und so ein Flüssigkeitsstrom des Kammerwassers von der Produktionsstätte zur Abflusstätte erfolgen kann. Wir streben hier einen etwa ½ mm breiten kreisförmigen Flüssigkeitsrand am Limbus an, das entspricht einer etwa 90%igen expansiven Gasfüllung. Am Operationstag messen wir applanatorisch alle 2 h den Augeninnendruck, hierfür darf der Patient aufstehen, ins Arztzimmer kommen und sich an die Spaltlampe setzen. Steigt der Augeninnendruck über 30 mm Hg, kann bei 100%iger Gasfüllung durch milden Druck mit der Spitze einer sterilen Pinzette etwas Gas abgelassen werden. Legt sich der untere Teil der Iris der Hornhauatrückfläche an, sollte mit einer erneuten YAG-Iridotomie (ohne Kontaktglas) die offenbar zu kleine Irisöffnung erweitert werden. Nach der Operation wird der Patient gebeten, 4 bis 5 Tage lang möglichst viel auf dem Rücken oder abwechselnd links und rechts auf der Seite zu liegen und intermittierend den Kopf zu überstrecken. Bauchlage ist verboten!

Merke

Bei Augeninnendruckspitzen perioperativ primär keine topische Drucksenkung

oder systemische Carboanhydrasehemmer, sondern mechanische Entlastung an der Spaltlampe durch Gasablassen via Parazentese!

„Descemet membrane endothelial keratoplasty“ nach perforierender Keratoplastik

Die klassische Indikation für eine DMEK nach einer PKP ist die endotheliale Transplantatdekompensation mit/ohne bullöse Keratopathie ohne stromale Narben [20–24]. Ursächlich hierfür sind meistens Transplantatermüdungen (z. B. bei transplantierten Guttas), endotheliale Immunreaktionen und Glaukomdrainageimplantate. Kontraindikationen stellen stromale Narben auf dem Transplantat (auch prädescemetal!) und ein hoher und/oder irregulärer Astigmatismus dar. Hier ist die Re-PKP mit größerem (!) Transplantatdurchmesser (bevorzugt als kontaktfreie Excimerlaser-Trepanation mit doppelt fortlaufender Kreuzstichnaht nach Hoffmann) die Methode der Wahl [15]. Hierbei gilt je nach Größe der Hornhaut für die Größe des neuen Transplantats: „So groß wie möglich, so klein wie nötig“ – nicht: „One size fits all“. Allerdings muss man hierbei im Falle einer inkompletten Exzision des (z. B. dezentrierten) alten Transplantats mit einem starken Astigmatismusanstieg nach Entfernung des zweiten Fadens rechnen [28].

Wichtig für die Entscheidung DMEK vs. Re-PKP ist die Frage an den Patienten nach

- der Kontaktlinsentoleranz und
- dem besten Visus und der subjektiven Zufriedenheit mit dem alten Transplantat.

Merke

Zufriedenheit mit dem alten Transplantat und Kontaktlinsentoleranz triggern im Zweifel eher eine Entscheidung für die DMEK nach PKP.

Bei der DMEK entfernen wir stets die Descemet-Membran des PKP-Transplantats und verwenden ein um 0,5 mm kleiner dimensioniertes EDM-Transplantat. Alle Patienten werden über

die erhöhte Wahrscheinlichkeit eines oft verzögert notwendigen Re-Bubbings aufgeklärt. Vor der Indikationsstellung empfiehlt sich routinemäßig eine Vorderabschnitts-OCT (optische Kohärenztomographie), um zirkulär nach ungünstigen posterioren Stufen am ehemaligen Transplantatrand zu fahnden (▣ Abb. 24a–e).

Der Endothelzellverlust liegt zwischen 24 und 60 % nach 1 Jahr [20, 24]. Das 4-Jahres-Überleben von DMEK vs. DSAEK (76 % vs. 74 %) nach einer fehlgeschlagenen PKP war vergleichbar [23]. Die vorangegangene Glaukomchirurgie war der einzig signifikante Risikofaktor für das Versagen einer DMEK nach PKP [23].

Nachsorge

Die folgenden bekannten potenziellen, postoperativen Probleme bei PKP werden durch die Anwendung der DMEK minimiert:

- langsame und oft suboptimale Visuserholung,
- hoher/irregulärer Astigmatismus,
- Oberflächenprobleme,
- biomechanische Instabilität,
- Immunreaktionen,
- nahtassoziierte Probleme,
- expulsive Blutung [45].

Nach 2 bis 4 Tagen kann der Patient normalerweise entlassen werden. Unsere aktuelle Therapie besteht aus

- hyperosmolaren Augentropfen für 2 Wochen,
- Antibiotika für 2 Wochen,
- Prednisolonacetat stündlich für 1 Woche, um ein zystoides Makulaödem [46, 47] zu verhindern, anschließend 5-mal pro Tag, alle 8 Wochen um 1 Tropfen reduzieren – 1 Tropfen pro Tag sollte für mindestens 2 Jahre [48], bei pseudophaken Augen sogar lebenslang fortgeführt werden, sofern keine Steroidresponse besteht,
- Gleitmittel nach Bedarf (z. B. Hylo-Gel [Ursapharm, Saarbrücken, Deutschland], 5-mal pro Tag) wegen der begleitenden neuroparalytischen Komponente nach DMEK [3].

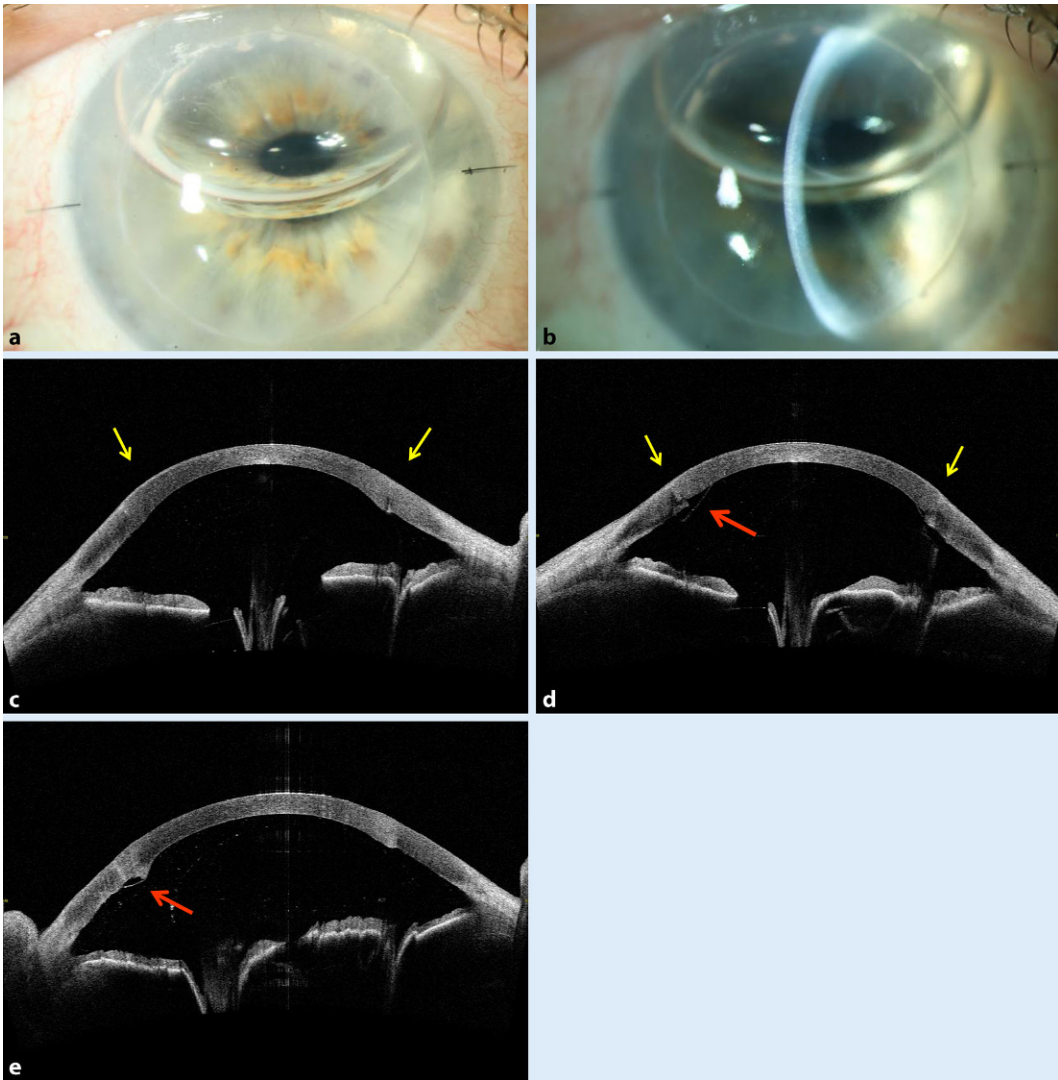


Abb. 24 ◀ Spaltlam-
penbiomikroskopie
(a Übersicht; b Spalt)
am 3. Tag nach DMEK
 („Descemet membrane
endothelial keratoplasty“)
(7,5 mm) wegen endo-
thelial dekompensierter
Excimerlaser-PKP (perforierende Keratoplastik)
(8,0/8,1 mm) 11 Jahre zu-
vor. Das Transplantat liegt
zentral gut an. Die 20%
SF₆(Schwefelhexafluorid)-
Gasblase füllt die Vorder-
kammer zu knapp 40%.
c Vorderabschnitts-OCT
(optische Kohärenztomo-
graphie) (CASIA 2, Tomey,
Erlangen) Schnitt von 2
nach 8 Uhr: Das Transplan-
tat liegt komplett an, es
finden sich keine posterioren
Stufen im Graft-Host-Inter-
face (gelbe Pfeile). d Schnitt
von 10 nach 4 Uhr: partielle
periphere Transplantat-
ablösung (roter Pfeil) über
einer posterioren Stufe
im Graft-Host-Interface
(gelbe Pfeile). Hier ist ein Re-
Bubbling erwägenswert.
e Schnitt von 12 nach 6 Uhr:
Der Rand der Endothel-De-
scemet-Membran (EDM)
schmiegt sich um die pos-
teriore Stufe (roter Pfeil).
Dieser Befund erfordert
kein Re-Bubbling

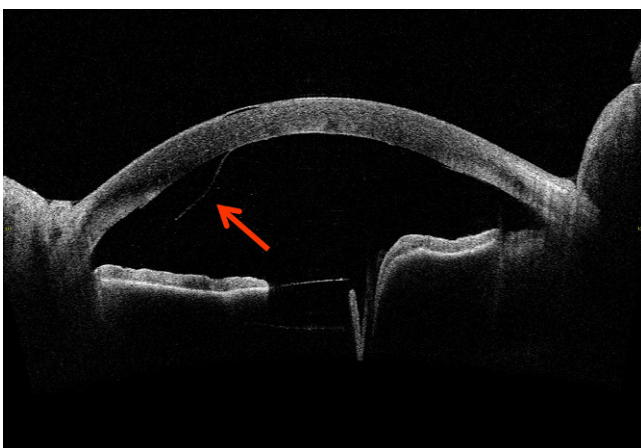


Abb. 25 ▲ Vorderabschnitts-OCT (optische Kohärenztomographie) (CA-SIA 2 [Tomey, Erlangen, Deutschland]): Freie periphere Transplantatabhebungen (Pfeil) erfordern ein Re-Bubbling, weil sie oft progressiv sind

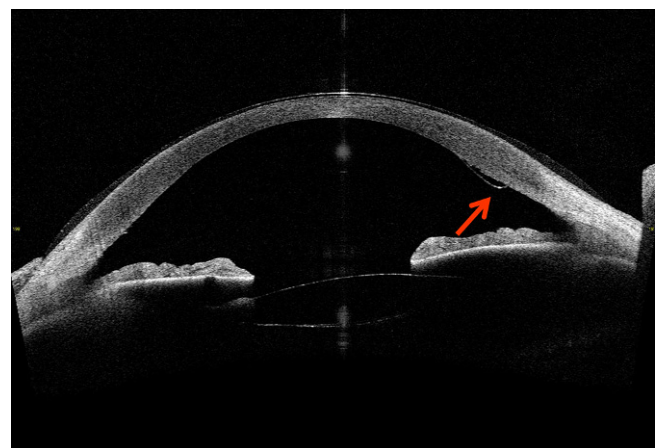


Abb. 26 ▲ Vorderabschnitts-OCT (optische Kohärenztomographie) (CA-SIA 2 [Tomey, Erlangen, Deutschland]): Geschlossene periphere Transplantatabhebungen (Pfeil) erfordern kein Re-Bubbling, weil sie oft regressiv sind

Tab. 2 Prä- und postoperative korneale Routinediagnostik 2, 6 Wochen, 6 Monate, 1 Jahr, dann jährlich nach DMEK („Descemet membrane endothelial keratoplasty“)

Bestkorrigierter Visus
Spaltlampenbiomikroskopie
Intraokularer Druck (IOD)
Pentacam (Krümmung/Dicke)
Endothelzellanalyse (Quantität/Qualität)
Vorderabschnitts-OCT !!!
Makula-OCT!
OCT optische Kohärenztomographie

Um auf der sicheren Seite zu sein, kommt der Patient 2 Wochen nach der Operation wieder zu uns zur Kontrolle („mit Köfferchen und Zahnbürste“). Zu diesem Zeitpunkt entfernen wir entweder die beiden korneoskleralen Einzelknüpfnähte oder nehmen den Patienten zum Re-Bubbling für 1 Nacht stationär auf, wenn eine (neue) Transplantatdehiszenz vorliegt (Abb. 25). Geschlossene periphere Transplantatabhebungen erfordern kein Re-Bubbling, weil sie oft regressiv sind (Abb. 26).

Um das Risiko von Komplikationen zu reduzieren, sollte der Chirurg am Ende der DMEK in der Akte vermerken, welche der vorhandenen Parazentesen für das De- und Re-Bubbling verwendet werden soll. Wegen der potenziellen Gasexpansion wird eine 90%ige Füllung der Vorderkammer mit 20% SF₆-Gas bevorzugt. Am besten benutzt man für das Re-Bubbling die vorbestehende Parazentese gegenüber dem Bereich der partiellen EDM-Ablösung, um eine iatrogene Einfaltung des Transplantats oder Vergrößerung der Descemetolyse zu vermeiden.

Die nächsten ambulanten Folgeuntersuchungen finden 6 Wochen, 6 Monate und 1 Jahr sowie anschließend jährlich statt. Nach 6 Wochen kann – ganz anders als nach der PKP – bereits eine Brille verschrieben werden.

Die postoperative Routinediagnostik beinhaltet (Tab. 2):

- bestmöglich korrigierte Sehschärfe,
- Spaltlampenuntersuchung,
- Applanationstonometrie,
- Pentacam-Tomographie (Oculus, Wetzlar)
- Endothelzellzahl und v. a.

- Vorderabschnitts-OCT zur Beurteilung der zirkulären peripheren Adhäsion des Transplantats!

Vor der Entlassung und während der frühen ambulanten Kontrolluntersuchungen wird eine Makula-OCT durchgeführt, um ein zystoides Makulaödem sofort zu erkennen und bei Bedarf zu behandeln [46, 47]!

Die Rate der Immunreaktionen liegt realistisch zwischen 2 und 3% nach 3 Jahren. Diese werden von den Patienten oft nicht bemerkt [48, 49]. Deshalb verordnen wir konsequent 1 Tropfen Prednisolonacetat oder Dexamethasophosphat (kein Fluorometholon, keine NSAIDs [„nonsteroidal antiinflammatory drugs“]) für mehr als 2 Jahre. Im Akutstadium hat sich neben lokalen und systemischen Steroiden die intrakamerale Fortecortin-Eingabe in unseren Händen bewährt [50].

Die folgende Patientenunterweisung ist repetitiv unbedingt notwendig: Wenn

- die Sehkraft sich zu verschlechtern beginnt (v. a. morgens),
- der Patient Halos um Lichtquellen sieht,
- eine segmentale Trübung im Gesichtsfeld auftritt oder
- das Auge gerötet ist oder schmerzt,

sollte der Patient sofort einen Augenarzt aufsuchen oder in unsere Klinik kommen.

Unser Motto: „Nicht 3 Tage lang warten und hoffen ...“

Der Endothelzellverlust liegt früh postoperativ bei etwa 30–40% und damit deutlich höher als bei der PKP. Im Langzeitverlauf allerdings scheint die weitere Abnahme der Endothelzellzahl deutlich niedriger als nach PKP zu sein [3, 13, 29–31, 33].

Fazit für die Praxis

- In Deutschland ist DMEK („Descemet membrane endothelial keratoplasty“) heute die Methode der Wahl bei isolierten Endotheldefekten ohne Stromanarben.
- Die beschriebene Technik sollte leicht zu verstehen und einfach zu wiederholen sein, sie ist zuverlässig

und erfordert so wenig „individuelles Kunstwerk“ wie möglich.

- In jedem Fall (!) markieren wir den DMEK-Spender bei der Gewinnung mit 3 asymmetrischen Halbkreisen am Rand nach Bachmann, Cursiefen und Kruse, um in der Vorderkammer zweifelsfrei die Transplantatorientierung bestimmen zu können.
- Von der Verwendung von nicht markiertem Spendergewebe, das möglicherweise sogar mehrere Tage in der Kartusche aufbewahrt und versandt wurde, raten wir dezidiert ab.
- Zur Reduktion der Re-Bubbling-Rate benutzen wir routinemäßig am Ende des DMEK-Eingriffs 20% SF₆(Schwefelhexafluorid)-Gas und empfehlen dem Patienten anschließend Rücken- oder wechselnde Seitenlage für einige Tage.
- Wir empfehlen die DMEK zur schnelleren Visuserholung bei endothelialer Dekompensation des Transplantats nach perforierender Keratoplastik (PKP), wenn keine stromalen Narben bestehen und der Patient früher mit seinem Transplantat zufrieden war.
- Zweifellos handelt es sich trotz möglicher Standardisierung der Einzelschritte bei der DMEK nach wie vor um eine Gewebetransplantation, die hoch spezialisierten Transplantationszentren vorbehalten bleiben und nicht „an jeder Ecke“ „in einem Katarakt-Zeitslot“ „mal schnell“ angeboten werden sollte.

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. med. Berthold Seitz, ML, FEBO
Klinik für Augenheilkunde, Universitätsklinikum des Saarlandes UKS
66421 Homburg/Saar, Deutschland
berthold.seitz@uks.eu

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. B. Seitz, L. Daas, E. Flockerzi und S. Suffo geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

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

Open Access. Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

Literatur

- Melles GR (2006) Descemet membrane endothelial keratoplasty (DMEK). *Cornea* 25:987–990
- Maier P, Reinhard T, Cursiefen C (2013) Hauchdünne Hornhauttransplantate – schnelle und gute Sehschärfenerholung. *Dtsch Arztebl* 110(21):365–371
- Matthaei M, Schrittenlocher S, Hos D et al (2019) Zehn Jahre „Descemet membrane endothelial keratoplasty“ bei Fuchs-Dystrophie – was haben wir gelernt? *Ophthalmologie* 116:236–242
- Flockerzi E, Maier P, Böhlinger D et al (2018) Trends in corneal transplantation from 2001 to 2016 in Germany—a report of the section DOG-Cornea and its keratoplasty registry. *Am J Ophthalmol* 188:91–98
- Pluzsik ML, Seitz B, Flockerzi F et al (2020) Changing trends in penetrating keratoplasty indications in Homburg/Saar between 2011 and 2018 — histopathology of 2123 corneal buttons. *Curr Eye Res* 13:1–6. <https://doi.org/10.1080/02713683.2020.1737716>
- Seitz B, Lisch W, Weiss J (2015) Die revidierte neueste IC³D-Klassifikation der Hornhautdystrophien. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 232:283–294
- Seitz B, Hager T (2017) Clinical phenotypes of Fuchs endothelial corneal dystrophy (FECD), disease progression, differential diagnosis, and medical therapy. In: Cursiefen C, Jun A (Hrsg) *Current treatment options for Fuchs endothelial dystrophy*. Springer International Publishing Switzerland, S25–50
- Wacker K, Reinhard T, Maier P (2019) Pathogenese, Diagnose und Klinik der Fuchs-Endotheldystrophie. *Ophthalmologie* 116:221–227
- Anshu A, Price MO, Tan D, Price FW Jr. (2012) Endothelial keratoplasty: a revolution in evolution. *Surv Ophthalmol* 57:236–252
- Kruse FE, Laaser K, Cursiefen C et al (2011) A stepwise approach to donor preparation and insertion increases safety and outcome of DMEK. *Cornea* 30:580–587
- Price FW Jr, Price MO (2006) Descemet's stripping with endothelial keratoplasty in 200 eyes: early challenges and techniques to enhance donor adherence. *J Cataract Refract Surg* 32:411–418
- Terry MA, Straiko MD, Veldman PB et al (2015) Standardized DMEK technique reducing complications using prestripped tissue, novel glass injector, and sulfur hexafluoride (SF₆) gas. *Cornea* 34:845–852
- Birbal RS, Baydoun L, Ham L et al (2020) Effect of surgical indication and preoperative lens status on Descemet membrane endothelial keratoplasty outcomes. *Am J Ophthalmol* 212:79–87
- Seitz B, Daas L, Bischoff-Jung M et al (2018) Anatomy-based DMEK-Wetlab in Homburg/Saar — novel aspects of donor preparation and host maneuvers to teach Descemet membrane endothelial keratoplasty. *Clin Anat* 31:16–27
- Seitz B, Daas L, Milioti G et al (2019) Excimerlaser-assistierte perforierende Keratoplastik – Am 01.07.2019 feierte die perforierende Excimerlaserkeratoplastik ihren 30. Geburtstag. Videobeitrag. *Ophthalmologie* 116:1221–1230
- Damian A, Seitz B, Langenbacher A, Eppig T (2017) Optical coherence tomography-based topography determination of corneal grafts in eye bank cultivation. *J Biomed Opt* 22(1):16001
- Mäurer A, Asi F, Rawer A et al (2019) Konzept zur 3D Vermessung von Hornhautspendergewebe mit Hilfe eines klinischen OCTs. *Ophthalmologie* 116:640–646
- Asi F, Milioti G, Seitz B (2018) Descemet membrane endothelial keratoplasty for corneal decompensation caused by herpes simplex virus endotheliitis. *J Cataract Refract Surg* 44:106–108
- Asi F, Daas L, Milioti G, Seitz B (2019) The new-triple Descemet membrane endothelial Keratoplasty (DMEK) as successful surgical option for Haab's striae with corneal decompensation in congenital glaucoma. *JCRS Online Case Rep* 7(3):38–41
- Alió del Barrio JL, Montesel A, Ho V, Bhogal M (2020) Descemet membrane endothelial keratoplasty under failed penetrating keratoplasty without host descemetorhexis for the management of secondary graft failure. *Cornea* 39:13–17
- Ang M, Ho H, Wong C et al (2014) Endothelial keratoplasty after failed penetrating keratoplasty: an alternative to repeat penetrating keratoplasty. *Am J Ophthalmol* 158:1221–1227
- Heinzelmann S, Böhlinger D, Eberwein P et al (2017) Descemet membrane endothelial keratoplasty for graft failure following penetrating keratoplasty. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 255:979–985
- Pasari A, Price MO, Feng MT, Price FW Jr (2019) Descemet membrane endothelial keratoplasty for failed penetrating keratoplasty: visual outcomes and graft survival. *Cornea* 38:151–156
- Piarné K, Panthier C, Courtin Retal (2019) Descemet membrane endothelial keratoplasty after failed penetrating keratoplasty. *Cornea* 38:280–284
- Bachmann B, Schrittenlocher N, Matthaei M et al (2019) „Descemet membrane endothelial keratoplasty“ in komplexen Augen. *Ophthalmologie* 116:228–235
- Weller JM, Tourtas T, Kruse FE (2015) Feasibility and outcome of Descemet membrane endothelial keratoplasty in complex anterior segment and vitreous disease. *Cornea* 34:1351–1357
- Alfaro Rangel R, Szentmáry N, Lepper S et al (2020) 8.5/8.6-mm excimer laser assisted penetrating keratoplasties in a tertiary corneal subspecialty referral center — indications and outcomes in 107 eyes. *Cornea* 39:806–811
- Szentmáry N, Seitz B, Langenbacher A, Naumann GOH (2005) Repeat keratoplasty for correction of high or irregular postkeratoplasty astigmatism in clear corneal grafts. *Am J Ophthalmol* 139:826–830
- Baydoun L, Tong CM, Tse WW et al (2012) Endothelial cell density after DMEK: 1- to 5-years follow-up. *Am J Ophthalmol* 154:762–763
- Birbal RS, Ni Dhubghail S, Bourgonje VJA et al (2020) Five-year graft survival and clinical outcomes of 500 consecutive cases after Descemet membrane endothelial keratoplasty. *Cornea* 39:290–297
- Price MO, Giebel AW, Fairchild KM et al (2009) Descemet's membrane endothelial keratoplasty: prospective multicenter study of visual and refractive outcomes and endothelial survival. *Ophthalmology* 116:2361–2368
- Heinzelmann S, Böhlinger D, Eberwein P et al (2017) Graft dislocation and graft failure following Descemet membrane endothelial keratoplasty (DMEK) using precut tissue: a retrospective cohort study. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 255:127–133
- Abdin A, Daas L, Pattmüller M et al (2018) Negative impact of dextran in organ culture media for pre-stripped tissue preservation on DMEK (Descemet membrane endothelial keratoplasty) outcome. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 256:2135–2142
- Spira-Eppig C, Eppig T, Bischof M et al (2019) Work in Progress: Anpassung der elektronischen Patientenakte an die täglichen Anforderungen einer Universitätsaugenklinik – Individuelle Erweiterungen der Software „FIDUS“ an der Klinik für Augenheilkunde am Universitätsklinikum des Saarlandes UKS. *Ophthalmologie* 116:1046–1047
- Schoenberg ED, Price FW Jr., Miller J et al (2015) Refractive outcomes of Descemet membrane endothelial keratoplasty triple procedures (combined with cataract surgery). *J Cataract Refract Surg* 41:1182–1189
- Heinzelmann S, Hüther S, Böhlinger D et al (2014) Influence of donor characteristics on DMEK. *Cornea* 33:644–648
- Lie JT, Birbal R, Ham L et al (2008) Donor tissue preparation for Descemet membrane endothelial keratoplasty. *J Cataract Refract Surg* 34:1578–1583
- Yoeuek E, Hofmann J, Bartz-Schmidt KU (2013) Comparison of swollen and dextran deswollen organ cultured corneas for Descemet membrane dissection preparation: histologic and ultrastructural findings. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 54:8036–8040
- Greiner MA, Rixen JJ, Wagoner MD et al (2014) Diabetes mellitus increases risk of unsuccessful graft preparation in Descemet membrane endothelial keratoplasty: a multicenter study. *Cornea* 33:1129–1133
- Bayyoud T, Röck D, Hofmann J et al (2012) Precut Verfahren für Descemet-Membran-Endothelzelltransplantation, Präparation und Aufbewahrung in Kultur. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 229:621–623
- Menzel-Severing J, Walter P, Plum WJ et al (2018) Assessment of corneal endothelium during continued organ culture of pre-stripped human donor tissue for DMEK surgery. *Curr Eye Res* 43:1439–1444
- Bachmann BO, Laaser K, Cursiefen C et al (2010) A method to confirm correct orientation of Descemet membrane during descemet membrane endothelial keratoplasty. *Am J Ophthalmol* 149:922–925
- Schmidt I, Schlötzer-Schrehardt U, Langenbacher A et al (2019) Ultrastructural findings in graft failure after Descemet membrane endothelial keratoplasty (DMEK) and new triple procedure. *Medicine* 98(19):e15493
- Hayashi T, Kobayashi A (2018) Double-bubble technique in Descemet membrane endothelial

- keratoplasty for vitrectomized eyes: a case series. *Cornea* 37:1185–1188
45. Seitz B, El-Husseiny M, Langenbucher A, Szentmáry N (2013) Prophylaxe und Management von Komplikationen bei perforierender Keratoplastik. *Ophthalmologie* 110:605–613
46. Heintelmann S, Maier P, Böhringer D et al (2015) Cystoid macular oedema following Descemet membrane endothelial keratoplasty. *Br J Ophthalmol* 99:98–102
47. Hoerster R, Stanzel TP, Bachmann BO et al (2016) Intensified topical steroids as prophylaxis for macular edema after posterior lamellar keratoplasty combined with cataract surgery. *Am J Ophthalmol* 163:174–179
48. Hos D, Tuac O, Schaub F et al (2017) Incidence and clinical course of immune reactions after Descemet membrane endothelial keratoplasty: retrospective analysis of 1000 consecutive eyes. *Ophthalmology* 124:512–518
49. Anshu A, Price MO, Price FW Jr. (2012) Risk of corneal transplant rejection significantly reduced with Descemet's membrane endothelial keratoplasty. *Ophthalmology* 119:536–540
50. Fiorentzis M, Viestenz AR, Viestenz AN, Seitz B (2017) Intracameral dexamethason injection as adjuvant therapy in endothelial immune reaction after penetrating and posterior lamellar keratoplasty: a retrospective clinical observation. *Adv Ther* 34:1928–1935

Ophthalmologie 2020 · 117:828
<https://doi.org/10.1007/s00347-020-01185-4>
Online publiziert: 17. Juli 2020

© Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature 2020



Redaktion „Der Ophthalmologe“

Springer Medizin Verlag GmbH, Heidelberg, Deutschland

Erratum zu: Grundlagen der Replikation und der Immunologie von SARS-CoV-2

Erratum zu:

***Ophthalmologie* 2020**

<https://doi.org/10.1007/s00347-020-01155-w>

In dem ursprünglich erschienenen Artikel ist uns im englischen Titel ein Fehler unterlaufen. Die Online- und die Druck-Version wurden korrigiert.

Wir entschuldigen uns für den Fehler und bitten, den korrigierten Titel zu beachten.

Die Redaktion

Korrespondenzadresse

Redaktion „Der Ophthalmologe“

Springer Medizin Verlag GmbH
Heidelberg, Deutschland

Die Online-Version des Originalartikels ist unter <https://doi.org/10.1007/s00347-020-01155-w> zu finden.