

Persönliche PDF-Datei für A. J. Augustin

Mit den besten Grüßen vom Georg Thieme Verlag

www.thieme.de

Intraoperative optische Kohärenz- tomografie – eine aktuelle Übersicht klinischer Studien zur Anwendung im Vorder- und Hinterabschnitt

DOI 10.1055/s-0042-122710
Klin Monatsbl Augenheilkd

Dieser elektronische Sonderdruck ist nur für die Nutzung zu nicht-kommerziellen, persönlichen Zwecken bestimmt (z. B. im Rahmen des fachlichen Austauschs mit einzelnen Kollegen und zur Verwendung auf der privaten Homepage des Autors). Diese PDF-Datei ist nicht für die Einstellung in Repositorien vorgesehen, dies gilt auch für soziale und wissenschaftliche Netzwerke und Plattformen.

Verlag und Copyright:
© 2017 by
Georg Thieme Verlag KG
Rüdigerstraße 14
70469 Stuttgart
ISSN 0023-2165

Nachdruck nur
mit Genehmigung
des Verlags

 **Thieme**

Intraoperative optische Kohärenztomografie – eine aktuelle Übersicht klinischer Studien zur Anwendung im Vorder- und Hinterabschnitt

Intraoperative Optical Coherence Tomography – an Overview of Current Clinical Data for the Application in the Anterior and Posterior Segments

Autor

A. J. Augustin

Institut

Augenlinik, Klinikum Karlsruhe

Schlüsselwörter

intraoperative optische Kohärenztomografie, Retina, Glaukom, Hornhauttransplantation, Bildgebung

Key words

intraoperative optical coherence tomography, corneal transplantation, imaging, retina, glaucoma

eingereicht 10. 11. 2016

akzeptiert 21. 11. 2016

Bibliografie

DOI <http://dx.doi.org/10.1055/s-0042-122710>

Online-publiziert: | Klin Monatsbl Augenheilkd © Georg Thieme Verlag KG Stuttgart · New York | ISSN 0023-2165

Korrespondenzadresse

Prof. Albert J. Augustin

Augenlinik, Klinikum Karlsruhe

Moltkestraße 90, 76133 Karlsruhe

Tel.: + 49/(0)7 21/9 74-20 01, Fax: + 49/(0)7 21/9 74-20 09

albertjaugustin@googlemail.com

ZUSAMMENFASSUNG

Die intraoperative optische Kohärenztomografie (iOCT) stellt einen weiteren, erheblichen Entwicklungsschritt in der ophthalmologischen Bildgebung dar – erstmals sind nun hochaufgelöste OCT-Darstellungen nicht nur prä- und postoperativ, sondern auch intraoperativ verfügbar. In den letzten Jahren wurden intraoperative OCT-Technologien intensiv erforscht und von ersten, handgehaltenen, über auf das Mikroskop aufmontierten Systemen bis hin zu vollständig in das Operationsmikroskop integrierten Systemen weiterentwickelt. Diese liefern uns während eines chirurgischen Eingriffs bei quasi unverändertem Arbeitsumfeld in Echtzeit 3-dimensionale OCT-Bilder und bieten uns so zusätzlich zur Mikroskopansicht weitere Informationen, wie z. B. zu Mikrostrukturen der Netzhaut oder der Kornea, die die Operationsstrategie bei Vorder- und Hinterabschnittseingriffen beeinflussen können. Wie jede neue Technologie weist auch die iOCT derzeit noch einige Limitationen auf, wie z. B. durch die Instrumente hervorgerufene Abschattungen des darunterliegenden Gewebes oder fehlende Tracking-Systeme. Daher ist zum derzeitigen Stand der Technologie noch etwas

Geschick erforderlich, um chirurgische Manöver mit der iOCT in Echtzeit nachzuverfolgen. Dies wird durch zukünftige Weiterentwicklungen sicherlich behoben werden. Auch wenn die iOCT nicht für alle Prozeduren erforderlich ist, so kann es doch bei vielen chirurgischen Eingriffen am Vorder- bzw. Hinterabschnitt schon heute zu mehr Sicherheit und Kontrolle beitragen, wie zahlreiche Studien und Fallserien zeigen. Insbesondere bei der Entfernung vitreomakulärer Traktionen oder epiretinaler Membranen (ERM-Peeling) wie auch bei der Operation von Makulaforamina bietet die iOCT den Chirurgen eine deutliche Unterstützung, indem sie zur besseren Visualisierung transparenter Strukturen beiträgt, eine direkte Erfolgskontrolle ermöglicht und in bestimmten Fällen den Einsatz von Farbstoffen überflüssig macht. Auch bei lamellären hornhautchirurgischen Eingriffen sowie in der Glaukomchirurgie kann die iOCT zu mehr Kontrolle und Präzision beitragen. Zudem können mithilfe der iOCT neue wissenschaftliche Erkenntnisse zu verschiedenen Pathologien gewonnen, Auswirkungen chirurgischer Manöver auf die okuläre Strukturen besser evaluiert und somit chirurgische Manöver langfristig optimiert werden. Zur besseren Beurteilung des Nutzens der iOCT für verschiedene chirurgische Prozeduren werden zukünftig weitere prospektive Studien erforderlich sein.

ABSTRACT

Intraoperative optical coherence tomography (iOCT) represents another milestone in ocular imaging technologies. Now, for the first time, high resolution OCT images are available not only pre- or post-operatively, but also intraoperatively. In recent years, there have been significant advances in iOCT technology – from hand-held probes and mounted systems towards iOCT systems which are fully integrated into the surgical microscope and which provide seamless integration into the workflow. These systems offer high-resolution, intraoperative OCT scans in real-time and provide additional information on microstructures of the retina or the cornea. These findings may even lead to a modification of surgical strategies. Like any other new technology, iOCT technology still has some limitations, such as shadowing from instruments and the lack of eye tracking systems. Therefore, the current state of iOCT technology still requires some skill to track surgical maneuvers in real time. Further research and development will help to solve these limitations in the future. However, even if not required for all surgical procedures, iOCT imaging can already improve safety and control in many surgical procedures on the anterior and posterior segments. This has already been shown in several studies and case series. Particularly in the surgery of vitreomacular traction, peeling of epiretinal membranes (ERM peeling) and macular hole surgery, iOCT offers significant added value. It improves the visualisation of transparent structures and helps to avoid the usage of dyes. In addition the success

of the surgical maneuvers can be investigated intraoperatively. In lamellar keratoplasty and glaucoma surgery too, iOCT improves precision and safety. Moreover, iOCT technology may help to achieve further insight into ocular pathologies and a better understanding of the impact of surgical maneuvers on

visual rehabilitation. Further prospective studies are however required to evaluate the usefulness of iOCT in various surgical procedures on both, the anterior and posterior segments.

Einleitung

In den letzten Jahren haben sich die diagnostischen und therapeutischen Möglichkeiten in der Augenheilkunde rasant entwickelt. Heute ermöglicht uns die hochauflösende Spectral-Domain optische Kohärenztomografie (SD-OCT) eine nicht invasive Untersuchung okulärer Strukturen mit einer nahezu histopathologischen Auflösung und liefert uns für das gesamte Spektrum der Augenheilkunde unverzichtbare Daten zur präzisen Diagnosestellung und Therapieplanung. Waren SD-OCT-Untersuchungen bislang nur präoperativ zur Diagnose bzw. postoperativ zur Kontrolle und zum Monitoring einsetzbar, so schließt die intraoperative OCT (iOCT) diese Lücke und stellt uns auch intraoperativ hochauflösende, vertikale und horizontale OCT-Bilder zur Verfügung. In den letzten Jahren wurden intraoperative OCT-Technologien intensiv erforscht und von ersten, handgehaltenen über auf das Mikroskop aufmontierten Systemen bis hin zu vollständig in das Operationsmikroskop integrierten Systemen weiterentwickelt. Derzeit stehen verschiedene iOCT-Systeme kommerziell zur Verfügung, darunter 2 von der FDA zugelassene, vollständig integrierte iOCT-Systeme: das OPMI LUMERA 700/RESCAN 700 von Carl Zeiss Meditec (seit Dezember 2014) und das iOCT von Opto-Medical Technologies integriert in das HS Hi-R Neo 900 A von Haag-Streit Surgical (seit März 2015) [1,2]. Mit diesen können während der Operation in Echtzeit 3-dimensionale OCT-Bilder im Okular dem Mikroskopbild überlagert werden, sodass intraoperativ zusätzlich zur Mikroskopansicht jederzeit auch zusätzliche wichtige Informationen, wie z. B. zu Mikrostrukturen der Netzhaut oder der Kornea, zur Verfügung stehen. Ziel der vorliegenden Übersichtsarbeit ist es, die Ergebnisse aktueller, klinischer Studien und Fallserien zum Einsatz der iOCT bei verschiedenen chirurgischen Situationen des Vorder- und Hinterabschnitts zusammenfassend darzustellen. Dabei soll insbesondere herausgearbeitet werden, wie sich die iOCT im klinischen Alltag in Arbeitsabläufe integrieren lässt und welche zusätzlichen Möglichkeiten, aber auch Grenzen die iOCT bei verschiedenen intraokularen Eingriffen derzeit bietet.

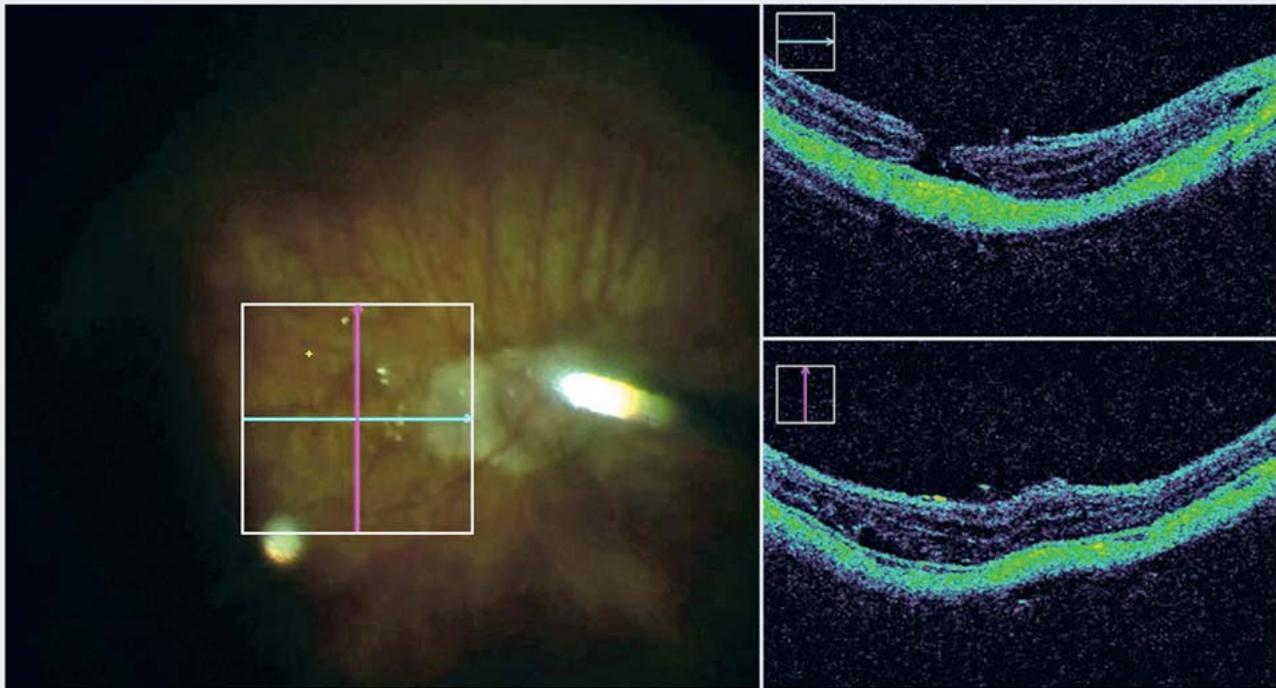
Integration der iOCT-Untersuchung in den klinischen Alltag

Wie klinische Studien zeigen, liefern handgehaltene bzw. aufmontierte Systeme zwar bereits sehr gute intraoperative OCT-Aufnahmen, allerdings erfordert ihr Einsatz doch gewisse Veränderungen an Arbeitsumfeld und -abläufen. Außerdem muss der Eingriff für die Bildaufnahme unterbrochen werden, sodass eine intraoperative Evaluierung in Echtzeit nicht möglich ist [3–6]. Im Gegensatz dazu liefern integrierte iOCT-Systeme ohne Unterbrechung der

Operation in Echtzeit intraoperative OCT-Bilder und zeichnen sich dabei durch eine hohe Bedienerfreundlichkeit aus, wie erste klinische Untersuchungen übereinstimmend belegen. So bleiben Arbeitsumfeld und Arbeitsabläufe beim Einsatz integrierter iOCT-Systeme quasi unverändert, und die Steuerung und Kontrolle der OCT-Einheit kann, je nach Vorliebe des Chirurgen, über den Fußschalter des Mikroskops oder über einen Touchscreen erfolgen [6–8]. Zwei klinische Studien mit 227 bzw. 40 Eingriffen an Hinter- und Vorderabschnitt zur Evaluierung des RESCAN 700 belegen eine hohe Zuverlässigkeit – in nahezu allen Fällen (40/40 bzw. 224/227) war eine erfolgreiche iOCT-Bildgebung möglich [9, 10]. Wie die Autoren zudem hervorhoben, werden im Vergleich zu aufmontierten iOCT-Systemen effizientere Abläufe ermöglicht, was zu deutlich reduzierten Bildakquisitionszeiten beiträgt. So dauerte der iOCT-Einsatz mit dem integrierten System durchschnittlich knapp 2,5 Minuten und damit nur halb so lang wie mit aufmontierten iOCT-Systemen [10, 11].

Anwendungen im Hinterabschnitt

Die Anwendung der iOCT während verschiedener Eingriffe des Hinterabschnitts wurde in zahlreichen klinischen Studien und vor allem Fallserien untersucht [7–10, 12–30]. Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass sich der iOCT-Einsatz immer dann als hilfreich erweist, wenn der Einblick in den Hinterabschnitt erschwert ist, wie z. B. bei gleichzeitig vorliegender Katarakt, eingetrübter Hornhaut oder Einblutungen in den Hinterabschnitt [9, 10, 14]. So war bspw. in einer Fallserie (n = 4) mit neovaskulärer, altersbedingter Makuladegeneration und submakulärer Blutung mittels iOCT die geeignete Stelle zur Platzierung der rtPA-Injektion (rtPA: rekombinanter Gewebsplasminogenaktivator) darstellbar [27]. Auch wenn Manöver erforderlich sind, bei denen sehr transparente und dünne, mit dem OP-Mikroskop nur schlecht visualisierbare Strukturen manipuliert werden müssen, kann die iOCT wichtige Informationen liefern. Ergebnisse zweier Evaluierungsstudien mit 227 bzw. 40 Eingriffen im Vorder- bzw. Hinterabschnitt zeigten, dass mittels iOCT in bis zu 74% aller Hinterabschnittseingriffe bzw. kombinierten Eingriffe zusätzliche Informationen erhoben werden konnten, die ohne iOCT nicht verfügbar waren [9, 10]. Dies führte in bis zu 42% aller Hinterabschnittseingriffe bzw. kombinierten Eingriffe zu einer Anpassung der OP-Strategie. Dabei ergibt sich durch iOCT die Möglichkeit einer direkten Erfolgskontrolle im Anschluss an ein chirurgisches Manöver, sodass – falls erforderlich – noch während des Eingriffs nachgebessert und das Ergebnis optimiert werden kann. Jedenfalls kann so ein erneuter Eingriff vermieden werden. Auch die Wahl der Tamponade nach Hinterabschnittseingriffen kann durch iOCT-Informationen beeinflusst werden, wie gleich mehrere Studien und Fallberichte übereinstimmend zeigten [7, 9, 14, 15, 18].



► **Abb. 1** Im Falle einer Netzhautablösung und eines Makulaforamens wurden mittels iOCT nach erfolgreichem Wiederanlegen der Netzhaut nasal noch Membranreste festgestellt, die entfernt werden mussten (mit freundlicher Genehmigung der Carl Zeiss Meditec AG).

Insbesondere bei komplizierten und kritischen Situationen, wie z. B. foveale Schisis oder Vitreoschisis mit multilamellären Membranen, sind die zusätzlichen Informationen durch iOCT hilfreich [8, 9]. Zudem können mittels iOCT bereits während des Eingriffs auch retinale Mikrostrukturen bzw. deren Veränderungen durch das chirurgische Manöver bewertet werden, um so zukünftig den OP-Erfolg bzw. die Prognose besser abschätzen zu können [9, 10, 18].

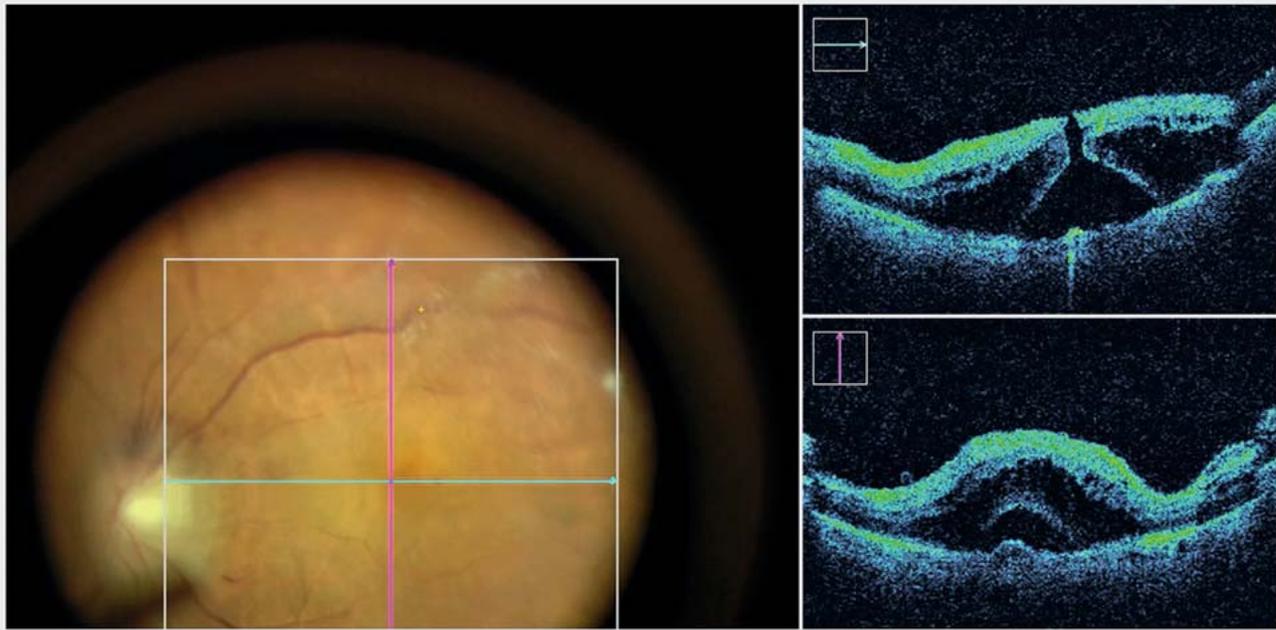
Makulaforamina, epiretinale Membranen und vitreomakuläre Traktionen

Insbesondere bei der Entfernung vitreomakulärer Traktionen (VMT) oder epiretinaler Membranen (ERM-Peeling) sowie auch bei der Operation von Makulaforamina bietet die iOCT den Chirurgen eine deutliche Unterstützung. Dies wurde durch zahlreiche Arbeiten belegt.

So können etwa die vitreoretinale Grenzfläche, die exakte Lokalisation einer Traktion sowie auch mögliche Angriffspunkte zur Abhebung einer Membran oder zur Entfernung einer vitreomakulären Traktion mittels iOCT exakter identifiziert werden [18]. Zudem können Membranen mittels iOCT besser visualisiert und so die Vollständigkeit einer Membranentfernung noch während des Eingriffs wiederholt überprüft werden. Hier kann die iOCT wichtige Informationen liefern, um das Operationsergebnis zu optimieren. So berichten Ehlers et al. in der prospektiven DISCOVER-Studie, dass in 22% (9/41) der ERM-Fälle, bei denen der Chirurg von einer vollständigen Membranentfernung ausging, mittels iOCT noch Membranreste entdeckt wurden, die dann auch ent-

fernt werden mussten (► **Abb. 1**). Umgekehrt konnte in 15% (4/26) der Fälle, bei denen der Chirurg noch von einem Vorliegen residueller Membranen ausging, mittels iOCT die Vollständigkeit der Membranentfernung verifiziert und so ein überflüssiges Peeling-Manöver verhindert werden [9]. Viele Chirurgen sehen gerade in dieser Möglichkeit der intraoperativen Erfolgskontrolle die derzeit wichtigste Nutzung der iOCT-Technologie in der Makulachirurgie. Da zudem der OCT-Scanner auch unabhängig vom Fokus des Mikroskops bewegt werden kann, bietet sich die Möglichkeit, den OCT-Scan auch bis in die Peripherie nachzuführen, um diese sorgfältig auf pathologische Veränderungen hin zu überprüfen – und dies ohne Veränderung des OP-Feldes. Dies soll umso bedeutsamer sein, als Patienten mit zentralen Defekten der Netzhaut, wie z. B. einer VMT und/oder einem Makulaloch, im klinischen Alltag häufig auch gleichzeitig periphere Pathologien aufweisen. Allerdings muss die klinische Relevanz dieser immer wieder berichteten Einsatzmöglichkeit erst noch überprüft werden. Werden zudem im Rahmen der intraoperativen Kontrolle mittels iOCT Makulaforamina entdeckt, die während oder nach dem Peeling-Manöver entstanden sind, so kann dies auch die Wahl der Tamponade bzw. den weiteren Operationsverlauf (ILM-Peeling) beeinflussen [14, 18] (► **Abb. 2**).

In bestimmten Fällen vitreoretinaler Pathologien kann durch den iOCT-Einsatz sogar auf die Verwendung von (nicht unumstrittenen) Farbstoffen verzichtet werden. Wie Falkner-Radler et al. in einer prospektiven Studie mit 70 Patienten mit epiretinalen Membranen (n = 51), vitreomakulärer Traktion (n = 11) bzw. durchgreifendem Makulaforamen (n = 8) zeigten, konnte durch den iOCT-



► **Abb. 2** Intraoperative Detektion eines durchgreifenden Makulafornens mittels iOCT nach Membran-Peeling. Dies beeinflusste die Wahl der Tamponade (mit freundlicher Genehmigung der Carl Zeiss Meditec AG).

Einsatz in 40% der Fälle auf ein Anfärben verzichtet und dennoch eine vollständige Membranentfernung gewährleistet werden. So fanden sich in der anschließenden Kontrolle mittels iOCT und nachfolgender Färbung in 94,3% dieser Fälle keine residuellen Membranen mehr. Bei flachen epiretinalen Membranen scheint allerdings nach wie vor die Verwendung eines Farbstoffs dem iOCT-Einsatz überlegen zu sein, um eine ausreichende Visualisierung der Membran sowie eines möglichen Angriffspunkts zu gewährleisten [5, 15].

Auch dynamische Veränderungen der vitreoretinalen Strukturen durch chirurgische Manöver können mittels iOCT intraoperativ verfolgt werden. Dies kann dazu beitragen, die Auswirkungen chirurgischer Manöver bzw. eingesetzter Instrumente auf retinale Strukturen zukünftig besser abschätzen zu können. So haben Leiser et al. in einer prospektiven Studie mit 20 Patienten iOCT während des ERM-Peelings eingesetzt und konnten so die durch eine Membranentfernung hervorgerufenen Veränderungen der retinalen Mikrostrukturen mittels iOCT exakt erfassen. In 35% der Fälle wurde intraoperativ eine subfoveale, hyporeflektive Zone detektiert, in 12,5% der Fälle zeigte sich postoperativ eine hyporeflektive Zone [21].

Weiterhin liefern erste iOCT-Daten auch Hinweise für eine unterschiedliche Wirkung verschiedener Instrumente auf die Netzhaut. Ehlers et al. untersuchten in einer 163 Augen umfassenden Subanalyse der prospektiven PIONEER-Studie, wie sich der Einsatz unterschiedlicher Instrumente während des Peeling-Manövers auf retinale Strukturen auswirkte. In 28% (45/163) der Augen zeigten sich makroretinale Veränderungen, d. h. retinale Abhebungen außerhalb der Fovea, die mit dem Instrumenteneinsatz in Verbindung gebracht wurden. Dabei scheint die Verwendung von Pin-

zette beim Membran-Peeling stärker mit mechanischen Veränderungen der Retina zu korrelieren als der Einsatz eines diamantbeschichteten Scrapers. So traten 62% der makroretinalen Veränderungen im Zusammenhang mit einem Pinzetteneinsatz und 23% beim Einsatz eines diamantbeschichteten Membran-Scrapers auf. Zudem zeigten sich auch mikroretinale Veränderungen, d. h. eine Dickenzunahme einzelner Retinaschichten, direkt nach Membran-Peeling. Derzeit ist die anatomische und funktionelle Bedeutung dieser Alterationen noch unklar. Möglicherweise könnten diese mittels iOCT erfassbaren Parameter zur Abschätzung der Visusprognose relevant sein. Zur Bestätigung dieser Hypothese sind allerdings weitere Studien erforderlich [30].

Auch im Rahmen der Makulalochirurgie hat uns die iOCT neue Erkenntnisse gebracht. So wurden mittels iOCT retinale Alterationen nach Peeling der Membrana limitans interna (ILM) beschrieben. Zwar ist eine anliegende ILM mit iOCT nur schwer darstellbar, wohl aber kann nun der morphologische Befund der Retina vor und nach ILM-Peeling bereits intraoperativ verglichen werden. So ergaben die iOCT-Untersuchungen bei 13 Augen einer retrospektiven Analyse von Ray et al., dass nach ILM-Peeling Höhe und zentraler Durchmesser des Fornens zwar unverändert vorliegen. Allerdings wiesen fast alle Augen eine Zunahme der Netzhautdicke (<2%), eine Zunahme der Fläche mit subretinaler Flüssigkeit im Bereich der Makula sowie eine neu aufgetretene Hyporeflektivität auf [5]. In einer weiteren retrospektiven Untersuchung mit 21 Augen mit Makulaloch zeigten sich nach ILM-Peeling signifikante, in der Mikroskopansicht nicht erkennbare Veränderungen der Fornengeometrie sowie ebenfalls eine Zunahme der subretinalen Hyporeflektivität [14]. Inwiefern dies die funktionellen Ergebnisse beeinflusst, wird in weiteren Studien zu klären

sein. Erste Erkenntnisse hierzu liefert möglicherweise eine Analyse von 37 Augen der PIONEER-Studie, bei denen im Rahmen der Makulalochchirurgie ein ILM-Peeling durchgeführt wurde und für die neben den iOCT-Daten auch bis zu 6 Monate postoperativ OCT- und Visusdaten vorliegen. Untersucht wurde, welche prä- und intraoperativen Faktoren mit der Ansammlung subretinaler Flüssigkeit korrelieren. Denn auch wenn ein Auftreten subretinaler Flüssigkeit im Rahmen der Makulalochchirurgie das finale Visusergebnis nicht zu beeinträchtigen scheint, so kann dies doch die Erholung der Sehschärfe verzögern. Wie die Analyse ergab, korrelierte keiner der präoperativ messbaren Faktoren (wie Dauer oder Stadium des Foramens) mit postoperativ vorliegender, subretinaler Flüssigkeit. Hingegen scheinen intraoperativ nach dem ILM-Peeling auftretende und mittels iOCT messbare Veränderungen der äußeren Retina, wie die Höhe der zwischen der ellipsoiden Zone und dem retinalen Pigmentepithel auftretenden Hyporeflektivität sowie die Breite der subretinalen Hyporeflektivität, sich auf das Vorhandensein subretinaler Flüssigkeit auszuwirken [30]. Hier werden sicherlich weitere Studien erforderlich sein, um die Zusammenhänge exakt zu evaluieren.

Netzhautchirurgie mit Einsatz schwerer Flüssigkeiten

Hinsichtlich chirurgischer Manöver bei Netzhautablösung wird der klinische Nutzen der iOCT derzeit noch unterschiedlich eingeschätzt. In den meisten Untersuchungen wird der Einsatz der iOCT als vorteilhaft erachtet, da intraoperativ direkt überprüft werden kann, ob die Netzhaut tatsächlich wieder vollständig dem retinalen Pigmentepithel aufliegt. Zudem können auch mikrostrukturelle Veränderungen der Retina bzw. noch persistierende subretinale Flüssigkeiten zuverlässig und rechtzeitig erkannt werden [7–9, 13, 25]. So berichten Ehlers et al. in den Ergebnissen der DISCOVER-Studie, dass bei 71% (17/24) der Patienten mit Netzhautablösung mittels iOCT noch vorliegende subretinale Flüssigkeit unter einer PFCL-Tamponade (PFCL: Perfluorcarbon – hier: Perfluor-N-Octan) entdeckt wurde, obwohl diese klinisch nicht sichtbar war. Daraufhin wurde bei 5 dieser 17 Patienten die OP-Strategie entsprechend angepasst [9]. In einer weiteren Fallserie von Ehlers et al. mit 9 Augen mit rhegmatogener Makula-off-Ablatio wurden mittels iOCT ebenfalls in allen Augen subklinische, persistierende subretinale Flüssigkeit und unterschiedliche strukturelle Veränderungen der Netzhaut bis hin zu einem intraoperativ auftretenden, durchgreifenden Makulaforamen festgestellt. Während die prognostische Bedeutung der subretinalen Flüssigkeit nach Ablatio derzeit noch unklar ist, scheint ein intraoperativ aufgetretenes durchgreifendes Makulaforamen (früh postoperativ waren alle Makulaforamina verschlossen) mit einer signifikant schlechteren Visusprognose einherzugehen [13]. Auch Junker et al. konnten in einer Fallserie mit 23 Patienten mit Netzhautablösung (17 Patienten mit Makula-off-Ablatio, 4 Patienten mit Makula-on) die von Ehlers beschriebene, wellige Struktur der äußeren Netzhautschichten feststellen, die selbst nach dem Wiederanlegen der Netzhaut so bestehen blieb. Und auch in der Fallserie von Junker et al. waren in allen Fällen, in denen schwere Flüssigkeiten eingesetzt wurden (n = 18), bei klinisch anliegender Netzhaut mittels iOCT noch subfoveale Flüssigkeiten festzustellen. Dies scheint unter Perfluordecalin geringer ausgeprägt zu sein [19]. Dennoch bewerten Junker et al. den klinischen Nutzen

der iOCT für die Ablatiochirurgie insgesamt etwas kritischer, da sich die von einer Ablösung betroffenen Regionen mittels iOCT aufgrund geringer Eindringtiefe derzeit nur schwer darstellen lassen und häufig nur kleine Ausschnitte darstellbar sind. Zudem gehen sie davon aus, dass eine Änderung der Operationsstrategie aufgrund der erhobenen iOCT-Daten bei Ablatio retinae derzeit eher selten erfolgt, z. B. dann, wenn epiretinale Membranen oder Makulalöcher erst intraoperativ entdeckt werden. Allerdings scheinen klinisch nicht sichtbare, durchgreifende Makulaforamina bei Ablatio häufiger als bislang angenommen aufzutreten und sich – wie oben beschrieben – negativ auf die Visusprognose auszuwirken. Mittels iOCT können diese detektiert und möglicherweise zur Beratung des Patienten hinsichtlich seiner Visusprognose herangezogen werden [13, 19]. Ob zukünftig noch andere, mittels iOCT darstellbare Parameter ebenfalls für die Visusprognose relevant sind, muss in weiteren Studien evaluiert werden. Darüber hinaus liefert die iOCT auch bei Ablatio retinae detaillierte intraoperative Darstellungen der retinalen Mikrostrukturen und kann so einen wichtigen Beitrag zur Beantwortung wissenschaftlicher Fragestellungen liefern [19]. Bezüglich der konventionellen Ablatiochirurgie mittels Plomben liegen zwar bislang keine Studien oder Fallserien zum Einsatz der iOCT vor. Dennoch könnte sich iOCT auch hier als hilfreich erweisen, um bspw. nach Platzierung der Plombe die Integrität der Netzhaut direkt intraoperativ zu kontrollieren.

Fazit Hinterabschnitt

Bei Hinterabschnittseingriffen bzw. kombinierten Eingriffen bietet die iOCT die Möglichkeit einer besseren intraoperativen Kontrolle und einer höheren intraoperativen Sicherheit. Dies gilt vor allem für die Chirurgie von Makulaforamina sowie für die Entfernung epiretinale Membranen bzw. vitreomakulärer Traktionen. Darüber hinaus trägt es dazu bei, neue wissenschaftliche Erkenntnisse zu verschiedenen Pathologien zu erhalten und die Auswirkungen chirurgischer Manöver auf die Netzhaut besser zu evaluieren und somit chirurgische Manöver langfristig optimieren zu können.

Anwendungen in der Vorderabschnittschirurgie

Auch bei verschiedenen chirurgischen Eingriffen im Vorderabschnitt kann die iOCT zusätzliche Informationen liefern und so Präzision und Sicherheit erhöhen. Es bietet auch im Vorderabschnitt – wie bereits für Eingriffe des Hinterabschnitts beschrieben – immer dann einen Vorteil, wenn transparente Strukturen visualisiert werden müssen oder der Einblick auf das Operationsfeld reduziert ist [8–10, 31, 32]. Die gilt im Bereich des Vorderabschnitts derzeit vor allem für hornhautchirurgische sowie glaukomchirurgische Eingriffe, bei denen häufig dünne und transparente Strukturen manipuliert werden, die sich mittels Operationsmikroskop nur schwer visualisieren und bewerten lassen. Zudem sind die Augen bei diesen Eingriffen häufig voroperiert und der Einblick entsprechend erschwert. Wie Siebelmann et al. hervorheben, bietet hier iOCT gegenüber der bislang zur intraoperativen Visualisierung eingesetzten Ultraschallbiomikroskopie den

Vorteil einer höheren Bildauflösung und einer berührungslosen Vorgehensweise [31].

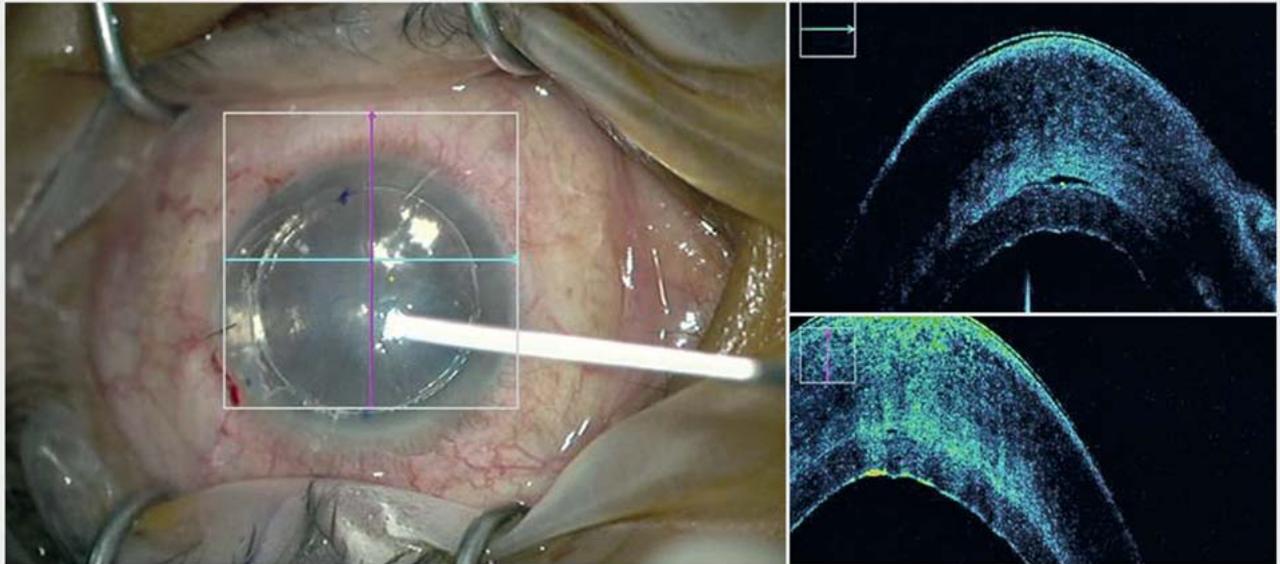
Glaukomchirurgie

In der Glaukomchirurgie müssen einige chirurgische Manöver bislang ohne exakte intraoperative Visualisierung durchgeführt werden. Mittels iOCT können diese ansonsten „blind“ durchzuführenden Schritte der Glaukomchirurgie visualisiert und kontrolliert werden. Erste Hinweise dafür liefert eine Pilotstudie mit 4 Patienten, bei denen folgende glaukomchirurgische Maßnahmen unter Einsatz der iOCT ergriffen wurden: Phakotrabekulektomie, Implantation eines Ahmed Glaucoma Valve, Goniosynechiolyse bei Vorliegen peripherer anteriorer Synechien und Needling eines vernarbten Filterkissens. Während der Trabekulektomie konnte z. B. die Tiefe der skleralen Dissektion mittels iOCT intraoperativ genauer beurteilt und kontrolliert werden. Anschließend konnte der Skleradeckel mithilfe von Nähten unter iOCT-Kontrolle so angepasst werden, dass der verbleibende Spalt einen ausreichenden Abfluss zulässt. Dabei kann die iOCT auch unterstützend eingesetzt werden, um angehenden Chirurgen die Feinheiten dieser Operationstechnik anschaulich zu erläutern und so das Erlernen zu erleichtern. Bei der Goniosynechiolyse konnten relevante Strukturen und das Lösen der peripheren anterioren Synechien mittels iOCT visualisiert werden. Allerdings kann dabei eine Beurteilung des Gewebes mittels iOCT erst nach dem Manöver erfolgen, da die Metallinstrumente das darunterliegende Gewebe verschatten. Bei der Implantation des Ahmed Glaucoma Valves konnten mittels iOCT die Positionierung des Implantats sowie periphere anteriore Synechien im Bereich des Implantat-Gewebe-Übergangs visualisiert und bewertet werden. Insbesondere auch beim Needling eines vernarbten Filterkissens, einem Manöver, das ansonsten vollständig ohne Visualisierung durchgeführt werden muss, kann iOCT hilfreich sein. So kann mittels iOCT das Lösen der Adhäsion, das Eröffnen des skleralen Bettes und die Wiederherstellung eines funktionierenden Filterkissens kontrolliert werden. Zudem kann direkt im Anschluss die Funktion des Filterkissens anhand der Möglichkeit der Darstellung mikrozystischer Bindehauträume überprüft werden [8, 32]. Auch in der mikroinzipionalen Glaukomchirurgie könnte iOCT bei der Implantation von Stents vorteilhaft sein, vor allem um die exakte Positionierung besser darstellen und kontrollieren zu können. Zudem wurde in einem weiteren Fallbericht der Einsatz der iOCT während Kanaloplastik beschrieben. Dabei war es mittels iOCT möglich, die korrekte Fadenimplantation zu kontrollieren und die Konfiguration des Schlemm-Kanals zu messen [33]. Auch die Möglichkeit, den OCT-Laserstrahl mittels Gonioskop direkt in den Kammerwinkel zu lenken und so eine detaillierte Visualisierung und Kontrolle des Schlemm-Kanals zu ermöglichen, wurde beschrieben [31]. Insgesamt halten die Autoren dieser Arbeiten fest, dass iOCT dazu beitragen kann, Sicherheit und Effizienz in der Glaukomchirurgie zu erhöhen. Allerdings sind unbedingt kontrollierte Studien erforderlich, um den tatsächlichen Nutzen der iOCT für die Glaukomchirurgie besser bewerten zu können [31, 32].

Visuelle Kontrolle aller OP-Schritte bei DMEK, DSAEK und DALK in Echtzeit

Zahlreiche Fallserien und Studien, darunter auch 2 groß angelegte, prospektive Studien zur Evaluierung der iOCT bei Vorder- und Hinterabschnittseingriffen, belegen, dass sich der Einsatz der iOCT bei lamellären Keratoplastiken als vorteilhaft erweist. Sämtliche Schritte der DMEK (Descemet Membrane endothelial Keratoplasty) bzw. der DSAEK (Descemet stripping automated endothelial Keratoplasty) können mittels iOCT intraoperativ visualisiert und kontrolliert werden. Dies trägt dazu bei, dass das Transplantat mittels iOCT schneller orientiert, entrollt und mit geringerer Manipulation angelegt werden kann [8, 9, 31, 34–36]. Selbst bei eingetrübter Hornhaut oder bullöser Keratopathie kann die Position des Transplantats sowie auch die Grenzfläche zur Hornhaut des Patienten und das Vorliegen residueller Interface-Flüssigkeit mittels iOCT bereits intraoperativ gut beurteilt werden [9, 35] (► **Abb. 3**). So können mittels iOCT einerseits überflüssige Manöver vermieden und andererseits auch die Notwendigkeit für zusätzlich erforderliche Manöver intraoperativ erkannt werden. Insgesamt können so Dauer des Eingriffs und Gewebemanipulationen minimiert werden [9].

So ergab die PIONEER-Studie, in welcher der iOCT-Einsatz bei 275 Vorderabschnittseingriffen – 59% davon lamelläre Keratoplastiken – evaluiert wurde, dass bei 48% der Augen nach lamellärer Keratoplastik noch residuale Interface-Flüssigkeit vorlag, die zusätzliche Manöver erforderlich machte [11]. Ein ähnliches Ergebnis lieferte auch die Auswertung der Fälle mit lamellärer Keratoplastik der prospektiven DISCOVER-Studie [9, 36]. Dort waren in 41% (17/41) aller DSAEK-Fälle basierend auf iOCT-Aufnahmen zusätzliche Manöver erforderlich geworden, um den Operationserfolg sicherzustellen. Da anhand von iOCT-Aufnahmen auch Interface-Flüssigkeit präzise darstellbar ist, konnte deren Abnahme durch bestimmte Manöver (Massage/Luftinjektion) im zeitlichen Verlauf zuverlässig kontrolliert und so ein gutes Anlegen des Transplantats gewährleistet werden. Umgekehrt konnte bei 7 der 15 (47%) Patienten, bei denen die Chirurgen anhand der Mikroskopansicht noch weitere Manöver zur besseren Positionierung des Transplantats geplant hatten, aufgrund der iOCT-Bilder auf diese verzichtet werden. Insbesondere eine sorgfältige Kontrolle der Interface-Flüssigkeit scheint bei lamellären Keratoplastiken wichtig, da ein direkter Zusammenhang zwischen residueller Interface-Flüssigkeit und postoperativer Interface-Trübung nachgewiesen werden konnte [37]. Mithilfe eines neu entwickelten, automatisierten Segmentierungsalgorithmus, mit dem anhand von iOCT-Daten verschiedene Parameter residueller Interface-Flüssigkeit (u. a. Gesamtvolumen, durchschnittliche und maximale Dicke der Flüssigkeitsschicht sowie maximale Fläche) evaluiert werden können, wurden nun die Daten von 178 DSAEK-Fällen der PIONEER-Studie erneut ausgewertet. Es zeigte sich, dass residuale Interface-Flüssigkeit mit einer mangelhaften Anlage des Transplantats in der frühen postoperativen Phase assoziiert ist. Allerdings ist es derzeit aufgrund einer hohen Variabilität der Daten nicht möglich, Schwellenwerte für die verschiedenen Parameter residueller Interface-Flüssigkeit anzugeben. Hier sind sicherlich weitere Studien erforderlich, um die Bedeutung der Interface-Flüssigkeit für die erfolgreiche Anlage eines Transplantats genauer zu untersuchen [38, 39]. Darüber hinaus ermöglicht iOCT auch eine



► **Abb. 3** Im Rahmen einer DSAEK kann die Anlage des Transplantats mittels RESCAN intraoperativ kontrolliert und ggf. korrigiert werden (mit freundlicher Genehmigung der Carl Zeiss Meditec AG).

schnelle Evaluierung von bereitgestellten Transplantaten. Die Qualität des Spendergewebes sowie der Schnittränder sind mittels iOCT gut darstellbar [40].

Bei der vorderen lamellären Hornhauttransplantation (DALK), bei der einige Schritte in der Mikroskopansicht nur unzureichend oder gar nicht visualisiert werden können, erweist sich der Einsatz der iOCT als sehr hilfreich [7, 9, 11, 31, 41–43]. So kann mittels iOCT sowohl die Trepanationstiefe als auch die Lokalisation der Kanüle zur Luftinjektion exakt und in Echtzeit visualisiert und kontrolliert werden. Sehr geringe bzw. zu tiefe Trepanationstiefen können rechtzeitig erkannt und vermieden werden [7]. Anschließend kann das residuale stromale Bett wie auch die Position des Transplantats direkt beurteilt und ggf. korrigiert werden. Zudem wurde bei 2 Patienten einer Fallserie mittels iOCT nach der Positionierung des Transplantats noch verbliebene Interface-Flüssigkeit detektiert, die mithilfe zusätzlicher Manöver unter iOCT-Kontrolle erfolgreich drainiert werden konnte [43]. In einem weiteren Fallbericht wurde bei einem Patienten mit abgehobener Descemet-Membran am 1. Tag nach DALK unter iOCT-Kontrolle residuale Interface-Flüssigkeit entfernt und das Wiederanlegen des Transplantats unter SF₆-Gas erreicht. Dabei konnte die Positionsveränderung des Transplantats während der Gasinjektion mittels iOCT in Echtzeit überwacht werden [42].

Kataraktchirurgie

Auch sämtliche Schritte der Kataraktchirurgie können mittels iOCT intraoperativ visualisiert werden. Selbst wenn dies die Operationsstrategie bei Routineeingriffen i. d. R. nicht wesentlich beeinflusst [9, 10], so kann doch die Wundarchitektur ebenso wie die exakte Positionierung der Intraokularlinse visualisiert und kontrolliert werden [44]. So zeigte eine prospektive Fallserie mit 101 Augen, in der iOCT während Kataraktchirurgie eingesetzt

worden war, dass mittels iOCT intraoperativ die genaue Positionierung der Intraokularlinse erfasst werden kann. Außerdem zeigte sich, dass in 57,3% der Fälle ein nur partieller Kontakt von IOL und Hinterkapsel vorgelegen hatte. Basierend auf diesen iOCT-Daten regen die Autoren neue Intraokularlinsendesigns an, die einen besseren Kontakt von Intraokularlinse und Hinterkapsel ermöglichen und so zu einer besseren Nachstarprävention beitragen können [45]. In der refraktiven Linsen Chirurgie könnte iOCT am aphaken Auge eingesetzt werden, um durch eine intraoperativ erneute Bestimmung von Vorderkammertiefe und neu berechneter Linsenposition die Zielrefraktion genauer zu erreichen [46]. Zudem kann iOCT im Rahmen der Kataraktchirurgie auch zur Evaluierung des hinteren Augenabschnitts eingesetzt werden. Gerade bei schlechtem Einblick, wie z. B. weißer Katarakt, gestaltet sich die präoperative Untersuchung des Hinterabschnitts häufig schwierig.

Nach Entfernung der Katarakt können mittels iOCT der Zustand der vitreoretinalen Grenzschicht sowie mögliche pathologische Veränderungen der Makula noch intraoperativ erkannt werden und entsprechende Maßnahmen, wie z. B. intravitreale Injektionen, direkt eingeleitet werden, sodass dem Patienten zusätzliche Eingriffe erspart bleiben [47]. Allerdings werden dieser Einschätzung sicherlich nicht alle Chirurgen zustimmen, da die Gabe einer intravitrealen Injektion i. d. R. nicht nur auf Basis intraoperativer OCT-Untersuchungen erfolgt, sondern immer auch die Abklärung funktioneller bzw. angiografischer Parameter erfordert.

Fazit Vorderabschnitt

Vor allem bei lamellären hornhautchirurgischen Eingriffen (DMEK, DSAEK, DALK) sowie auch in der Glaukomchirurgie kann iOCT zu mehr Sicherheit, Kontrolle und Präzision beitragen und angehenden Chirurgen das Erlernen komplizierter Operationstechniken er-

leichtern. Während iOCT bei der routinemäßigen Kataraktchirurgie sicherlich nicht erforderlich ist, bietet es doch bei speziellen und komplizierteren Fällen zusätzliche hilfreiche Informationen. Des Weiteren kann es zur Beantwortung wissenschaftlicher Fragestellungen beitragen.

iOCT bei Früh- und Neugeborenen sowie Kleinkindern

Ein weiterer, sehr interessanter Einsatzbereich für die iOCT betrifft ophthalmologische Untersuchungen bzw. chirurgische Eingriffe bei Kleinkindern, Neugeborenen und auch Frühgeborenen. So hat der iOCT-Einsatz im Rahmen einer Fallserie mit 3 Frühgeborenen neue Erkenntnisse zur Pathologie der Frühgeborenenretinopathie gebracht. Es wurden ausgeprägte präretinale Strukturen, Retinoschisis und Netzhautabhebungen beschrieben, die mittels Standarduntersuchungen nicht festgestellt worden waren [48]. Auch bei chirurgischen Eingriffen bei Neugeborenen erweist sich iOCT als hilfreich, da Membranen bei diesen Patienten häufig äußerst schwierig zu entfernen sind und in einigen Fällen sogar ein 2-faches Peeling erfordern. Gerade bei dieser Patientengruppe kann iOCT daher maßgeblich dazu beitragen, unnötige chirurgische Manöver zu vermeiden und dennoch die Vollständigkeit des Peelings intraoperativ sicherzustellen. Auch bei Untersuchungen des Vorderabschnitts von Neugeborenen und Kleinkindern erweist sich die iOCT als hilfreich und liefert zusätzliche, für Diagnose und Therapieentscheidungen relevante Informationen, wie eine Fallserie mit 7 Patienten zeigt [49]. So konnten mittels iOCT auch bei reduziertem Einblick u. a. die Tiefenausdehnung von Hornhautnarben, das Ausmaß von Synechien oder auch ein Kammerwinkelverschluss erkannt werden. Bei einem Neugeborenen mit kongenitalen hypertrophen Hornhautnarben konnte zudem mittels iOCT eine zunächst vermutete Peters-Anomalie ausgeschlossen und eine adäquate Therapie unter iOCT-Kontrolle durchgeführt werden. Aufgrund dieser Erfahrungen empfehlen die Autoren daher, bei Neugeborenen oder Kleinkindern, bei denen nur ein reduzierter Einblick möglich ist, im Rahmen von Narkoseuntersuchungen auch die Durchführung einer iOCT-Untersuchung, um so Anomalien bzw. Erkrankungen möglichst präzise erfassen und entsprechende Therapieentscheidungen treffen zu können [49].

Zukünftige Anforderungen und Ausblick

Wie jede neue Technologie weist auch die intraoperative OCT derzeit noch einige Limitationen auf, die zukünftig sicherlich durch eine kontinuierliche Weiterentwicklung der Technologie noch behoben werden. So werfen Metallinstrumente in der iOCT einen Schatten und behindern dadurch den Einblick auf darunterliegende Gewebsschichten [7, 15, 18]. Entsprechend ist derzeit auch eine Interaktion von Instrument und Gewebe nur schlecht visualisierbar. Eine mögliche Lösung bieten hier neue, optisch durchlässige Instrumente aus z. B. Polycarbonat, die sich derzeit in der Evaluierung befinden [50]. Eine andere Lösungsmöglichkeit wären verbesserte Algorithmen, die die durch Metallinstrumente hervor-

gerufenen Artefakte bei der Bildbearbeitung weitestgehend eliminieren.

Eine automatisierte Nachverfolgung entweder der Instrumente oder des Operationsfelds wären ebenfalls wünschenswert. Derzeit fehlen derartige Tracking-Systeme noch, sodass der Operateur selbst gefordert ist, um Instrumentenpositionierung, OCT-Scan-Ausschnitt und Mikroskopansicht aufeinander abzustimmen. Ein erstes Tracking-System zur Nachverfolgung der Instrumente wurde bereits beschrieben, denkbar und sicherlich hilfreich wäre auch ein automatisches Tracking des Operationsfelds [51]. Und auch wenn beim Einsatz der iOCT sicherlich eine qualitative Auswertung der Bildinformationen im Vordergrund steht, so sind doch auch quantitative Auswertungen bestimmter Parameter sinnvoll und werden zukünftig sicherlich im Rahmen von Softwareanalyseplattformen, wie sie bereits für verschiedene kommerziell erhältliche SD-OCT-Geräte und auch in der OCT-Angiografie vorliegen, umgesetzt werden. Erste Daten automatisierter Algorithmen zur Quantifizierung der Interface-Flüssigkeit nach lamellärem Keratoplastik wurden bereits beschrieben [39]. Zudem sind neben diesen technologischen Weiterentwicklungen zukünftig selbstverständlich auch prospektive, kontrollierte Studien erforderlich, um den patientenrelevanten Nutzen der iOCT für verschiedene ophthalmochirurgische Bereiche besser zu evaluieren.

Die intraoperative OCT stellt somit einen weiteren, erheblichen Entwicklungsschritt in der ophthalmologischen Bildgebung dar. Endlich sind OCT-Darstellungen nicht nur prä- und postoperativ, sondern auch intraoperativ verfügbar. Nun können mittels iOCT auch transparente und/oder sehr dünne Strukturen intraoperativ sichtbar gemacht werden. Selbst bei schlechtem Einblick können intraokulare Strukturen visualisiert werden und chirurgische Manöver überwacht werden. Gleichwohl darf nicht vergessen werden, dass die iOCT-Technologie zum derzeitigen Zeitpunkt durchaus noch einige Schwachpunkte wie z. B. die durch die Instrumente hervorgerufenen Abschattungen des darunterliegenden Gewebes oder fehlende Tracking-Systeme aufweist. Auch wenn dies zukünftig behoben werden wird, so erfordert es doch zum derzeitigen Stand der Technologie noch einiges an Geschick, um chirurgische Manöver in der iOCT in Echtzeit darzustellen und nachzuvollziehen. Wohl deshalb wird die iOCT derzeit von vielen Chirurgen vor allem nach einem chirurgischen Manöver zur intraoperativen Erfolgskontrolle eingesetzt, und auch zukünftig werden sicherlich nicht alle Chirurgen eine kontinuierliche Überlagerung des iOCT-Bildes im OP-Mikroskop wünschen. Dennoch bietet gerade die Möglichkeit der intraoperativen Erfolgskontrolle durch die iOCT schon heute ganz wesentliche Vorteile für die Ophthalmochirurgie. Erstmals können nun mittels iOCT direkt nach einem chirurgischen Manöver die Ergebnisse noch intraoperativ überprüft und ggf. nachgebessert werden, sodass erforderliche Manöver sichergestellt bzw. überflüssige Manöver bzw. Zweiteingriffe vermieden werden können. Zudem erhält der Operateur mittels iOCT zusätzlich zur Mikroskopansicht während des Manövers weitere wichtige Informationen, die die Operationsstrategie und weitere Therapieplanung beeinflussen können. Auch wenn die iOCT sicherlich nicht für alle Prozeduren gleichermaßen erforderlich ist und viele Eingriffe bei entsprechender Erfahrung ohne iOCT sicher und zuverlässig durchgeführt werden können, so kann die iOCT bei vielen chirurgischen Eingriffen am Vorder- bzw. Hinterabschnitt

doch zu mehr Sicherheit und Kontrolle beitragen. Dies wurde mit größeren Fallzahlen bereits für die Makulachirurgie sowie für hornhautchirurgische Eingriffe gezeigt. Zudem legen erste Fallserien nahe, dass die iOCT auch in der Glaukomchirurgie und bei Untersuchungen bzw. Eingriffen bei Kindern und Neugeborenen wesentliche Vorteile bringt. Auch bei der Ausbildung angehender Operateure kann sich die iOCT als vorteilhaft erweisen, weil durch die intraoperative Visualisierung okulärer Strukturen bestimmte chirurgische Manöver besser nachvollziehbar sind und entsprechend leichter erlernt werden können. Ein zunehmender Einsatz dieser Technologie kann möglicherweise auch zu neuen Erkenntnissen zum Einfluss chirurgischer Manöver auf die (Visus-)Prognose führen. Möglicherweise können sogar mittels iOCT Parameter etabliert werden, die zur Abschätzung der Visusprognose dienen. Diesbezüglich sowie auch zur Evaluierung des Nutzens der iOCT für verschiedene chirurgische Prozeduren werden weitere prospektive Studien erforderlich sein.

Auf einen Blick

- Die iOCT schließt die Lücke zwischen präoperativen und postoperativen OCT-Untersuchungen und liefert uns bislang nicht mögliche intraoperative Einblicke.
- Sie liefert zahlreiche zusätzliche Informationen in verschiedenen chirurgischen Situationen der Vorder- und Hinterabschnittschirurgie, die mit dem konventionellen Operationsmikroskop nicht identifizierbar sind.
- Dies kann zu Änderungen von OP-Entscheidungen bzw. der Operationsstrategie führen.
- Bei verschiedenen chirurgischen Eingriffen am Vorder- bzw. Hinterabschnitt kann die iOCT zu mehr Sicherheit und Kontrolle beitragen – insbesondere bei komplizierten Fällen und kritischen Situationen sowie auch bei der chirurgischen Versorgung von Früh- oder Neugeborenen sowie Kleinkindern.
- Insbesondere bei ERM-Peeling kann die iOCT zur besseren Visualisierung beitragen, eine direkte Erfolgskontrolle ermöglichen und in bestimmten Fällen den Einsatz von Farbstoffen überflüssig machen.
- iOCT-Informationen können auch für die Wahl der Tamponade nach Hinterabschnittseingriffen relevant sein.
- Im Vorderabschnitt kann die iOCT vor allem bei lamellären hornhautchirurgischen Eingriffen (DMEK, DSAEK, DALK) sowie in der Glaukomchirurgie zu mehr Sicherheit, Kontrolle und Präzision beitragen.
- Mittels iOCT können neue Erkenntnisse zur Pathologie okulärer Erkrankungen bzw. zu prognostischen Faktoren gewonnen werden.
- Die iOCT kann in der Ausbildung bzw. beim Erlernen chirurgischer Techniken hilfreich sein.
- Prospektive, kontrollierte Studien sind erforderlich, um den tatsächlichen patientenrelevanten Nutzen der iOCT bei verschiedenen intraokularen Eingriffen zu evaluieren.

Interessenkonflikt

Consulting ZEISS.

Literatur

- [1] Binder S. Intra-operative OCT devices for ophthalmic use: an overview. *Spektrum Augenheilkd* 2014; 28: 2–5
- [2] Siebelmann S, Steven P, Cursiefen C. Intraoperative optical coherence tomography – ocular surgery on a higher level or just nice pictures? *JAMA Ophthalmol* 2015; 133: 1133–1134
- [3] Hüttmann G, Lankenau E, Schulz-Wackerbarth C et al. [Optical coherence tomography: from retina imaging to intraoperative use – a review]. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 2009; 226: 958–964
- [4] Dayani PN, Maldonado R, Farsiu S et al. Intraoperative use of handheld spectral domain optical coherence tomography imaging in macular surgery. *Retina* 2009; 29: 1457–1468
- [5] Ray R, Baranano DE, Fortun JA et al. Intraoperative microscope-mounted spectral domain optical coherence tomography for evaluation of retinal anatomy during macular surgery. *Ophthalmology* 2011; 118: 2212–2217
- [6] Ehlers JP, Tao YK, Srivastava SK. The value of intraoperative OCT imaging in vitreoretinal surgery. *Curr Opin Ophthalmol* 2014; 25: 221–227
- [7] Stanzl B, Gagalic A, Brinkmann CK et al. Intraoperative OCT in der ophthalmologischen Mikrochirurgie. *Ophthalmologe* 2016; 113: 435–442
- [8] Jayadev C, Dabir S, Vinekar A et al. Microscope-integrated optical coherence tomography: a new surgical tool in vitreoretinal surgery. *Indian Ophthalmol* 2015; 63: 399–403
- [9] Ehlers JP, Goshe J, Dupps WJ et al. Determination of feasibility and utility of microscope-integrated optical coherence tomography during ophthalmic surgery: the DISCOVER Study RESCAN Results. *JAMA Ophthalmol* 2015; 133: 1124–1132
- [10] Pfau M, Michels S, Binder S et al. Clinical experience with the first commercially available intraoperative optical coherence tomography system. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging Retina* 2015; 46: 1001–1008
- [11] Ehlers JP, Dupps WJ, Kaiser PK et al. The Prospective Intraoperative and Perioperative Ophthalmic ImagiNg with Optical CoherEncE tomogRaphy (PIONEER) study: 2-year results. *Am J Ophthalmol* 2014; 158: 999–1007
- [12] Ehlers JP, Itoh Y, Xu LT et al. Factors associated with persistent subfoveal fluid and complete macular hole closure in the PIONEER study. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2014; 56: 1141–1146
- [13] Ehlers JP, Ohr MP, Kaiser PK et al. Novel microarchitectural dynamics in rhegmatogenous retinal detachments identified with intraoperative optical coherence tomography. *Retina* 2013; 33: 1428–1434
- [14] Ehlers JP, Tam T, Kaiser PK et al. Utility of intraoperative optical coherence tomography during vitrectomy surgery for vitreomacular traction syndrome. *Retina* 2014; 34: 1341–1346
- [15] Falkner-Radler C, Glittenberg C, Gabriel M et al. Intrasurgical microscope-integrated spectral-domain optical coherence tomography-assisted membrane peeling. *Retina* 2015; 35: 2100–2106
- [16] Hahn P, Carrasco-Zevallos O, Cunefare D et al. Intrasurgical human retinal imaging with manual instrument tracking using a microscope-integrated spectral-domain optical coherence tomography device. *Transl Vis Sci Technol* 2015; 4: 1
- [17] Hahn P, Migacz J, O'Donnell R et al. Preclinical evaluation and intraoperative human retinal imaging with a high-resolution microscope-integrated spectral domain optical coherence tomography device. *Retina* 2013; 33: 1328–1337
- [18] Hattenbach LO, Framme C, Junker B et al. [Intraoperative real-time OCT in macular surgery]. *Ophthalmologe* 2016; 113: 656–662
- [19] Junker B, Maier M, Agostini H et al. [Intraoperative optical coherence tomography in retinal detachment]. *Ophthalmologe* 2016; 113: 663–667
- [20] Kunikata H, Nakazawa T. Intraoperative optical coherence tomography-assisted 27-gauge vitrectomy in eyes with vitreoretinal diseases. *Case Rep Ophthalmol* 2015; 6: 216–222

- [21] Leisser C, Hackl C, Hirschsall N et al. Visualizing macular structures during membrane peeling surgery with an intraoperative spectral-domain optical coherence tomography device. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging Retina* 2016; 47: 328–332
- [22] Riazzi-Esfahani M, Khademi MR, Mazloumi M et al. Macular surgery using intraoperative spectral domain optical coherence tomography. *J Ophthalmic Vis Res* 2015; 10: 309–315
- [23] Smith AG, Cost BM, Ehlers JP. Intraoperative OCT-assisted subretinal perfluorocarbon liquid removal in the DISCOVER study. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging Retina* 2015; 46: 964–966
- [24] Tao YK, Ehlers JP, Toth CA et al. Intraoperative spectral domain optical coherence tomography for vitreoretinal surgery. *Opt Lett* 2010; 35: 3315–3317
- [25] Toygar O, Riemann CD. Intraoperative optical coherence tomography in macula involving rhegmatogenous retinal detachment repair with pars plana vitrectomy and perfluoron. *Eye (Lond)* 2016; 30: 23–30
- [26] Ehlers JP, Griffith JF, Srivastava SK. The intraoperative optical coherence tomography during vitreoretinal surgery for dense vitreous hemorrhage in the PIONEER study. *Retina* 2015; 35: 2537–2542
- [27] Ehlers JP, Petkovsek DS, Yuan A et al. Intraoperative assessment of subretinal tPA injection for submacular hemorrhage in the PIONEER study utilizing intraoperative OCT. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging Retina* 2015; 46: 327–332
- [28] Sawaguchi S, Maruko I, Mikami Y et al. Macular hole formation identified with intraoperative OCT during vitrectomy for vitreomacular traction syndrome. *Retin Cases Brief Rep* 2016; [Epub ahead of print]
- [29] Toygar O, Riemann CD. Intraoperative optical coherence tomography in macula involving rhegmatogenous retinal detachment repair with pars plana vitrectomy and perfluoron. *Eye (Lond)* 2016; 1: 23–30
- [30] Ehlers JP, Han J, Petkovsek D et al. Membrane Peeling induced retinal alterations on intraoperative OCT in vitreomacular interface disorders from the PIONEER study. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2015; 56: 7324–7330
- [31] Siebelmann S, Bachmann B, Lappas A et al. Intraoperative optische Kohärenztomographie bei hornhaut- und glaukomchirurgischen Eingriffen. *Ophthalmologie* 2016; 113: 646–650
- [32] Kumar RS, Jariwala MU, V SA et al. A pilot study on feasibility and effectiveness of intraoperative spectral-domain optical coherence tomography in glaucoma procedures. *Transl Vis Sci Technol* 2015; 4: 2. eCollection 2015
- [33] Siebelmann S, Cursiefen C, Lappas A et al. Intraoperative optical coherence tomography enables noncontact imaging during canaloplasty. *J Glaucoma* 2016; 25: 236–238
- [34] Saad A, Guilbert E, Grise-Dulac A et al. Intraoperative OCT-assisted DMEK: 14 consecutive cases. *Cornea* 2015; 34: 802–807
- [35] Pasricha ND, Shieh C, Carrasco-Zevallos OM et al. Real-time microscope-integrated OCT to improve visualization in DSAEK for advanced bullous keratopathy. *Cornea* 2015; 34: 1606–1610
- [36] Cost B, Goshe JM, Srivastava S et al. Intraoperative optical coherence tomography-assisted descemet membrane endothelial keratoplasty in the DISCOVER study. *Am J Ophthalmol* 2015; 160: 430–437
- [37] Juthani VV, Goshe JM, Srivastava SK et al. Association between transient interface fluid on intraoperative OCT and textural interface opacity after DSAEK surgery in the PIONEER study. *Cornea* 2014; 33: 887–892
- [38] Xu D, Dupps WJ jr., Srivastava SK et al. Automated volumetric analysis of interface fluid in descemet stripping automated endothelial keratoplasty using intraoperative optical coherence tomography. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2014; 55: 5610–5615
- [39] Hallahan KM, Cost B, Goshe JM et al. Intraoperative interface fluid dynamics and clinical outcomes for intraoperative optical coherence tomography-assisted Descemet stripping automated endothelial keratoplasty from the PIONEER Study. *Am J Ophthalmol* 2017; 173: 16–22
- [40] Kobayashi A, Yokogawa H, Mori N et al. Visualization of precut DSAEK and prestripped DMEK donor corneas by intraoperative optical coherence tomography using the RESCAN 700. *BMC Ophthalmol* 2016; 16: 135
- [41] Au J, Goshe J, Dupps WJ jr. et al. Intraoperative optical coherence tomography for enhanced depth visualization in deep anterior lamellar keratoplasty from the PIONEER study. *Cornea* 2015; 34: 1039–1043
- [42] Sharma N, Aron N, Kakkar P et al. Continuous intraoperative OCT guided management of post-deep anterior lamellar keratoplasty Descemet's membrane detachment. *Saudi J Ophthalmol* 2016; 30: 133–136
- [43] Steven P, Le Blanc C, Lankenau E et al. Optimising deep anterior lamellar keratoplasty (DALK) using intraoperative online optical coherence tomography (iOCT). *Br J Ophthalmol* 2014; 98: 900–904
- [44] Das S, Kummelil MK, Kharbanda V et al. Microscope integrated intraoperative spectral domain optical coherence tomography for cataract surgery: uses and applications. *Curr Eye Res* 2016; 4: 643–652
- [45] Lytvynchuk LM, Glittenberg CG, Falkner-Radler CI et al. Evaluation of intraocular lens position during phacoemulsification using intraoperative spectral-domain optical coherence tomography. *J Cataract Refract Surg* 2016; 42: 694–702
- [46] Hirschsall N, Norrby S, Weber M et al. Using continuous intraoperative optical coherence tomography measurement of the aphakic eye for intraocular power calculations. *Br J Ophthalmol* 2015; 99: 7–10
- [47] Tripathy K, Chawla R, Kumawat B et al. Intraoperative optical coherence tomography imaging and assessment of the macula during cataract surgery: a novel technique. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging Retina* 2016; 47: 846–847
- [48] Chavala SH, Farsiu S, Maldonado R et al. Insights into advanced retinopathy of prematurity using handheld spectral domain optical coherence tomography imaging. *Ophthalmology* 2009; 116: 2448–2456
- [49] Siebelmann S, Herrmann M, Dietlein T et al. Intraoperative optical coherence tomography in children with anterior segment anomalies. *Ophthalmology* 2015; 122: 2582–2584
- [50] Ehlers JP, Srivastava SK, Feiler D et al. Integrative advances for OCT-guided ophthalmic surgery and intraoperative OCT: microscope integration, surgical instrumentation, and heads-up display surgeon feedback. *PLoS One* 2016; 9: e105224
- [51] El-Haddad MT, Tao YK. Automated stereo vision instrument tracking for intraoperative OCT guided anterior segment ophthalmic surgical maneuvers. *Biomed Opt Express* 2015; 6: 3014–3031