

Ophthalmologie

<https://doi.org/10.1007/s00347-020-01238-8>

Eingegangen: 19. Juni 2020

Überarbeitet: 31. August 2020

Angenommen: 9. September 2020

© Der/die Autor(en) 2020

V. Degenhardt¹ · R. Khoramnia¹ · J. Storr² · C. S. Mayer¹ ¹Klinik und Poliklinik für Augenheilkunde, Universität Heidelberg, Heidelberg, Deutschland²Klinik und Poliklinik für Augenheilkunde, Klinikum rechts der Isar, Technische Universität München, München, Deutschland

Intraoperative OCT bei Netzhautablösung mit Makulabeteiligung

Während die prä- und postoperative Untersuchung der Makula mittels optischer Kohärenztomographie (OCT) schon seit Jahren in weiten Bereichen zur Diagnostik, operativen Indikationsstellung und postoperativen Verlaufskontrolle bei vitreoretinalen Eingriffen gehört [3, 8, 9], ist die intraoperative Anwendung dieser Methode erst seit jüngerer Zeit möglich [2, 5, 6, 10, 16, 17]. Mithilfe der intraoperativen optischen Kohärenztomographie (iOCT) können Schnittbilder retinaler Strukturen in Echtzeit in das Okular eines Operationsmikroskops eingeblendet werden. Wo bisher nur ein En-face-Bild zur Verfügung stand, wird dieses durch die iOCT um eine Vielzahl von Informationen durch die vertikalen Schnittbilder ergänzt. Erkenntnisse, welche durch eine iOCT während einer laufenden Operation gewonnen werden, können die sofortige Entscheidung über chirurgische Strategien beeinflussen [11–15]. Bisher ist nur wenig über das intraoperative Verhalten der Retina im Rahmen von netzhautchirurgischen Manipulationen bekannt. Ziel dieser Arbeit ist die Analyse von iOCT-Aufnahmen der zentralen Netzhaut, welche bei der operativen Versorgung von Netzhautablösungen mit Makulabeteiligung entstanden sind. Insbesondere sollten dabei die morphologischen Gegebenheiten der Makula im Hinblick auf intra- und subretinale Flüssigkeit, Membranen und Abhebungshöhen analysiert werden. Möglicherweise beeinflussen die gewon-

nenen Erkenntnisse zukünftig operative Vorgehensweisen.

Methoden

Dieser Arbeit liegen die klinischen Daten von 41 Augen von 41 konsekutiven Patienten zugrunde, die im Zeitraum von 6 Monaten in einer Universitäts-Augenklinik mit Maximalversorgung aufgrund einer präoperativ ophthalmoskopisch diagnostizierten Netzhautablösung mit Makulabeteiligung und unter Verwendung einer iOCT behandelt wurden.

Die Einschlusskriterien waren: (1) Ablatio retinae mit Makulabeteiligung bei Indikationsstellung, (2) Operation durch Pars-plana-Vitrektomie (ppV) mit iOCT-fähigem Mikroskop (Lumera Rescan, Carl Zeiss Meditec AG, Jena), (3) vollständige Patientendaten aus der Krankenakte verfügbar, (4) Alter >18 Jahre, (5) Einblick ausreichend für die Generierung eines iOCT-Bildes und (6) ein Operateur (CM). Es wurden keine expliziten Ausschlusskriterien definiert, insbesondere wurden sowohl primäre Eingriffe wie auch Revisionen zugelassen.

Folgende Informationen wurden aus den Patientendokumentationen erhoben: demografische Daten (Alter, Geschlecht), Visus prä- und postoperativ, Symptombdauer, Art und Erweiterungen des operativen Eingriffs (z. B. Makula-Peeling, Tamponade). Die postoperative SD-OCT wurde nach 8 Wochen durchgeführt. Der Dezimalvisus wurde mittels Sehzeichentafel in 5 m oder 1 m Entfernung bestimmt und in logMAR-

Werte (engl. „logarithm of the minimum angle of resolution“) umgerechnet.

Alle Patienten erhielten innerhalb von 24 h nach Vorstellung in der Augenklinik eine Standard-3-Port-Vitrektomie in 23-Gauge-Technik. Ein optionales Cerclageband war erlaubt. Sofern sich intraoperativ klinisch im Bereich der Makula ein auffälliger glitzernder Reflex darstellte, wurde die Entscheidung zum ILM-Entfernung getroffen.

Falls ein Membranpeeling erforderlich war, wurde als Farbstoff Brilliant Blue G: 0,125 mg (0,25 g/l; ILM-BLUE® D.O.R.C, Niederlande) verwendet. Während der Operation wurde bei allen Eingriffen schwere Flüssigkeit (Perfluorodecalin [PFCL], Fluoron, Ulm, Deutschland) angewendet, um eine Vergleichbarkeit der Befunde zu gewährleisten. Als Endotamponade wurde entweder steriles Gas (SF₆, C₂F₆ oder C₃F₈; EasyGas, Fluoron, Ulm, Deutschland) oder Silikonöl (Siluron 2000, Fluoron, Ulm, Deutschland) verwendet. Eine kombinierte ppV mit Phakoemulsifikation und Linsenimplantation wurde durchgeführt, falls dies nötig war.

Das Bild des Operationsmikroskops (En-Face und iOCT) wurde digital als Video zur späteren Analyse aufgezeichnet. Die **Abb. 1a** zeigt die Ansicht durch das Okular des Operationsmikroskops am Beispiel einer hochbullösen Ablatio retinae, wie sie der Operateur sieht. Die Schnittbilder der x- und y-Achse sind im En-face-Bild eingeblendet. Die intraoperative Beurteilung der zentralen Netzhaut mittels iOCT erfolgte zu 3 Zeitpunkten:

V. Degenhardt und R. Khoramnia teilen sich die Erstautorenschaft.

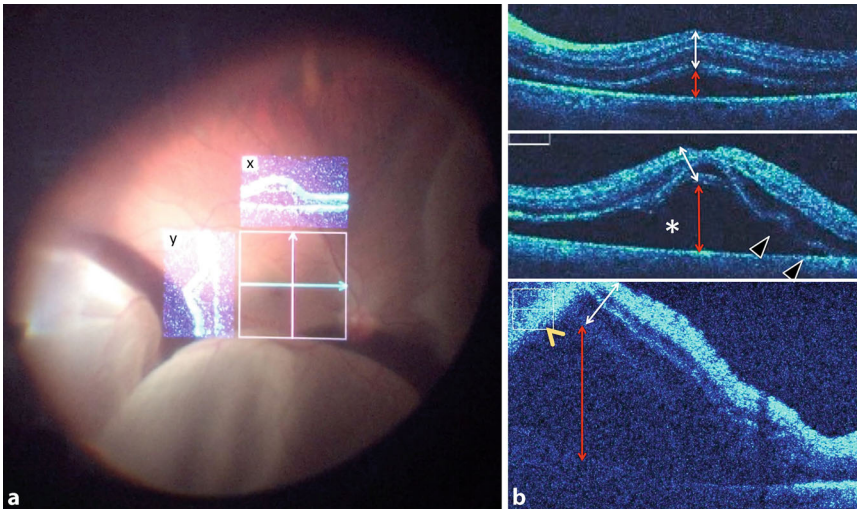


Abb. 1 ▲ **a** zeigt die Ansicht durch das Okular des Operationsmikroskops am Beispiel einer hochbulösen Ablatio retinae, wie sie der Operateur sieht. Die beiden orthogonalen Schnittbilder (roter und grüner Pfeil für vertikalen und horizontalen Schnitt) der iOCT im En-face-Bild. Die Aufnahme erfolgte vor Beginn jeglicher Manipulation im Glaskörper. Die Höhe der Netzhautabhebung wurde direkt unterhalb der Fovea bestimmt (**b**, roter Doppelpfeil). Die Netzhautdicke wurde in kleiner oder größer einer Netzhautdicke (**b**, weißer Doppelpfeil) bzw. höher als der iOCT-Scan quantifiziert (Artefakt bei „umgeschlagenem Scan“ bei zu hoher Netzhautabhebung; gelbe Pfeilspitze). Das Sternchen zeigt die neurosensorische Netzhautabhebung, die Pfeilspitzen Falten der äußeren Netzhautschichten

1. Zunächst wurde unmittelbar nach Eingehen mit dem Endlichtleiter und vor Beginn jeglicher Manipulation im Glaskörper die Höhe der Netzhautabhebung direkt unterhalb der Fovea bestimmt (**Abb. 1b**, roter Doppelpfeil), welche anhand der Netzhautdicke in kleiner (a) oder größer (b) einer Netzhautdicke (**Abb. 1b**, jeweils weißer Doppelpfeil) bzw. höher als der iOCT-Scan (c) quantifiziert wurde (**Abb. 1b und 2a**).
2. Nach durchgeführter Vitrektomie und nach Eingabe der schweren Flüssigkeit (PFCL) erfolgte die erneute Beurteilung hinsichtlich Netzhautanlage und Morphologie (intra-/subretinale Flüssigkeit) der zentralen Makula (**Abb. 2b–f**).
3. Nach den gleichen Kriterien erfolgte die abschließende Beurteilung am Ende des Eingriffs nach Injektion der endgültigen Tamponade und vor dem Entfernen der intraokularen Instrumente und Zugänge (**Abb. 2g**).

Anhand der Operationsvideos wurden retrospektiv auch weitere Besonderheiten des Netzhautverhaltens dokumentiert, wie beispielsweise die Falten der

äußeren Netzhautschichten (**Abb. 1b**, Pfeilspitzen).

Ziel der Arbeit war die Evaluation von iOCT-Makula-Bildern zu Beginn, während und unmittelbar am Ende der Operation. Die demografischen und klinischen Charakteristika wurden unter Verwendung traditioneller deskriptiver Methoden retrospektiv ausgewertet und im Einklang mit nationalem Recht sowie in Übereinstimmung mit der Deklaration von Helsinki von 1975 (in ihrer aktuellen, überarbeiteten Fassung) durchgeführt.

Ergebnisse

Die Analyse umfasste 41 Patienten mit einem medianen Alter von 61 Jahren. Bei allen Patienten wurde eine klinisch und in der OCT gesicherte Netzhautablösung mit Foveabeteiligung festgestellt. Die **Tab. 1** zeigt die Baseline-Charakteristika. Präoperativ lag die mittlere bestkorrigierte Sehschärfe bei $1,6 \pm 0,7$ log-MAR; 14 von 41 (34,1 %) Augen hatten bereits eine operativ versorgte Netzhautablösung in der Vorgeschichte. Im Folgenden sind die Befunde während der 3 Untersuchungsabschnitte dargestellt.

1. iOCT-Makulabefund unmittelbar nach Setzen der Trokare, vor Beginn der Vitrektomie (Abb. 2a und 3a, e, i, m, q): Zu Beginn der Operation ohne jegliche Glaskörpermanipulation zeigte sich bei 12 von 41 (29,3 %) der Patienten eine Elevation von weniger als einer Netzhautdicke, bei 11 von 41 Patienten (26,8 %) eine Elevation von mehr als einer Netzhautdicke (**Abb. 1b** mittleres Bild, 2g, 2j), sowie bei 15 von 41 Patienten (36,6 %) eine Elevation von einer Abhebung, die höher war, als die Scantiefe zuließ.

In 3 Fällen (7,3 %) zeigte sich wider Erwarten eine Ablatio mit anliegender Makula (**Abb. 3q**). Aufgrund eines intraoperativ auffälligen glitzernden Reflexes im Bereich der Makula wurde in 14 Fällen (34,1 %) zusätzlich eine ILM-Entfernung durchgeführt (**Abb. 4**). Eine epiretinale Membran konnte in diesen Fällen nicht mittels iOCT dargestellt werden. Bei 15 Patienten (36,6 %) konnte eine epiretinale PVR-Reaktion in der iOCT dargestellt werden, die im Folgenden operativ entfernt wurde. In einem Fall zeigte sich ein durchgreifendes Makulaforamen, das mit Membranpeeling unter Ablatiobedingungen und Gaseingabe behandelt wurde. Somit erfolgte insgesamt bei 30 von 41 Patienten (73,2 %) mit Ablatio retinae und Makulabeteiligung eine Membranentfernung.

2. iOCT-Makulabefund unter Perfluorodecalin (Abb. 2b–f und 3b, f, j, n, r): Unter PFCL lag die makuläre Netzhaut vollständig bei 15 von 41 Patienten (36,6 %) an, während bei 14 Patienten (34,1 %) noch ein dünner subretinaler Flüssigkeitsfilm nachgewiesen werden konnte, welcher sich offenbar nicht vollständig durch die schwere Flüssigkeit verdrängen ließ (**Abb. 2b–f**). Bei 4 Patienten (9,8 %) zeigten sich unter PFCL intraretinale Zysten. Bei 8 (19 %) Patienten konnten sowohl intraretinale Zysten als auch subretinale Flüssigkeit unter PFCL nachgewiesen werden. Zusätzlich konnten in 22 % der Fälle (9/41 Augen) Falten der äußeren Netzhautschichten beobachtet werden (**Abb. 2b–f und 3e**). Ein Fall einer Ablatio retinae mit anliegender Fovea (**Abb. 3r**) zeigte unter PFCL parafoveal noch einen schmalen subretinalen

Ophthalmologie <https://doi.org/10.1007/s00347-020-01238-8>
© Der/die Autor(en) 2020

V. Degenhardt · R. Khoramnia · J. Storr · C. S. Mayer

Intraoperative OCT bei Netzhautablösung mit Makulabeteiligung

Zusammenfassung

Hintergrund. Seit wenigen Jahren ermöglicht die intraoperative optische Kohärenztomographie (iOCT) die Darstellung retinaler Strukturen im Operationsmikroskop.

Ziel. Das Ziel dieser Studie ist die Analyse des Verhaltens der Netzhaut und die morphologische Befundung während Operationen bei Ablatio retinae mit Makulabeteiligung.

Methoden. Retrospektive Analyse von 41 konsekutiven Augen mit Makula-off-Ablatio, welche mittels Pars-plana-Vitrektomie (ppV) unter Verwendung von iOCT behandelt wurden, durch qualitative Beurteilung der Netzhautmorphologie zu definierten Zeitpunkten im OP-Ablauf.

Ergebnisse. In 63 % der Fälle gelang die iOCT-Darstellung der abgehobenen Makula, in den

anderen Fällen überstieg die Netzhautabhebung die maximale Scantiefe der iOCT. Unter Perfluorodecalin zeigten 53,7 % der Augen noch subretinale Flüssigkeit, und 22 % der Augen zeigten eine Falte der äußeren Netzhautschichten. In 61 % der Augen konnte persistierende subretinale Flüssigkeit unter der endgültigen Tamponade festgestellt werden. Die subretinale Flüssigkeit konnte intraoperativ in dieser Menge mit bloßem Auge nicht festgestellt werden. In einem Fall konnte intraoperativ ein Makulaformen neu erkannt werden, in 3 Fällen zeigte sich zum Operationszeitpunkt eine wieder anliegende Makula.

Diskussion. Die Informationen der iOCT führen eher selten zu einer Änderung oder

Erweiterung des Eingriffs. Sie liefert jedoch in Echtzeit neue Informationen über intra- und subretinale Flüssigkeitsverteilung, die nicht immer der klinischen Einschätzung entsprechen. Die Bedeutung von persistierender subretinaler Flüssigkeit und die Falten der äußeren Netzhautschichten am Ende der Operation sind noch unklar. Sie könnten möglicherweise als prognostischer Faktor für das postoperative Outcome dienen.

Schlüsselwörter

Endotamponaden in der Bildgebung · Makulachirurgie · Netzhautfalten · Amotio retinae

Intraoperative OCT in retinal detachment with macular involvement

Abstract

Background. Intraoperative optical coherence tomography (iOCT) has recently been introduced for the visualization of retinal structures within the operating microscope.

Objective. The aim of this study was to analyze the behavior of the retina and morphological features during surgery for retinal detachment with macular involvement.

Methods. A retrospective analysis of 41 consecutive eyes with macula-off retinal detachment, which were treated with pars plana vitrectomy (PPV) using iOCT. A qualitative analysis of morphological features of the retina at defined moments during surgery was carried out.

Results. The visualization of macular detachment with iOCT was successful in 63% of cases

and in the other cases the height of retinal detachment surpassed the maximum depth of the scan by iOCT. With perfluorodecalin 53.7% of eyes showed subretinal fluid and 22% of eyes showed a wave-like configuration of the outer retinal layers. In 61% of the eyes persisting subretinal fluid could be detected under the final tamponade. The amount of subretinal fluid could not be detected intraoperatively with the naked eye. In one case a macular hole could be newly identified intraoperatively and in three cases macular detachment could not be found at the start of surgery, although a detachment had been expected.

Conclusion. The use of iOCT rarely leads to changes or extension of the intervention;

however, it provides real-time information on intraretinal and subretinal fluid, which is sometimes in contrast to the clinical assessment. The relevance of persistent subretinal fluid and folds of the outer retinal layers after surgery remains unclear. It can be speculated whether this could serve as a prognostic factor for the postoperative outcome.

Keywords

Imaging of endotamponades · Macular surgery · Retinal folds · Retinal detachment

Flüssigkeitsfilm (Abb. 3s, weiße Pfeile). PFCL ließ sich in der iOCT nicht darstellen.

3. iOCT-Makulabefund unter der endgültigen Endotamponade vor Entfernen der Trokare (Abb. 2g und 3c, g, k, o, s): Nach Eingabe der endgültigen Endotamponade wurde eine abschließende Beurteilung der Netzhaut mittels iOCT vorgenommen. Die Abb. 2b–g zeigt exemplarisch eine anliegende Netzhaut unter Gastamponade

mit gut sichtbarer Gas-Flüssigkeits-Grenze sowie persistierender submakulärer Flüssigkeit sowie Falten der äußeren Netzhautschichten. Bei 14 Patienten (39%) konnte eine sofortige, vollständige Netzhautanlage direkt am Ende der Operation nachgewiesen werden, bei 25 Patienten (60,9%) fand sich weiterhin persistierende oder aus der Peripherie nach zentral verlagerte subretinale Flüssigkeit in unterschiedlichem Ausmaß. Unabhängig von der Netzhautanlage unter PFCL konnte bei

7 Patienten (17,1%) intraretinale Flüssigkeit bzw. eine Netzhautverdickung festgestellt werden.

Als Endotamponade wurde in 19 Fällen Gas (SF₆, C₂F₆ oder C₃F₈) und in 22 Fällen Silikonöl verwendet.

Die Tab. 2 zeigt zusammengefasst die intraoperativ erhobenen Netzhautbefunde. Am Entlasstag lag die bestkorrigierte Sehschärfe bei 2,0 ± 0,5 logMAR. Acht Wochen nach dem chirurgischen Eingriff erfolgte eine Follow-up-Untersuchung: Die bestkorrigierte Sehschärfe

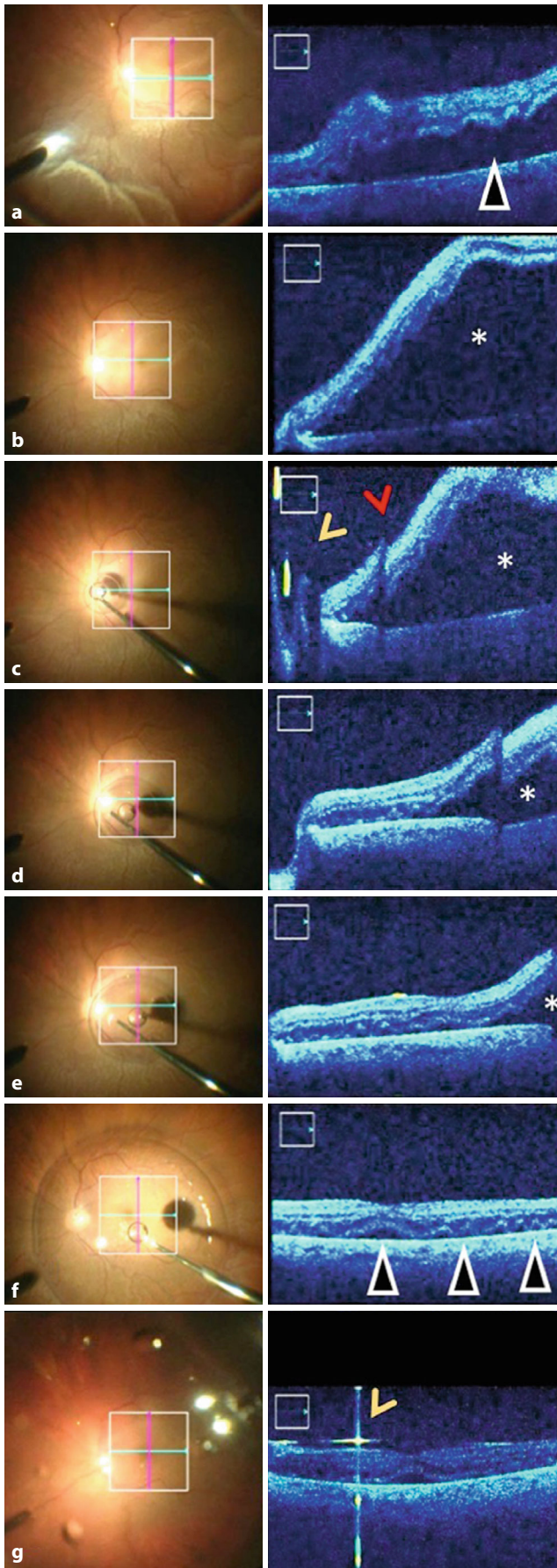


Abb. 2 ◀ a Ausgangsbefund mit abgehobener Makula: die Pfeilspitze zeigt Falten der äußeren Netzhautschichten. b, c, d, e, f Serienbilder unter Eingabe von PFCL: Von oben nach unten zeigt sich die zunehmende Verdrängung der subretinalen Flüssigkeit (*Sternchen*) in die Peripherie. Artefaktbildung durch eine kleine Luftblase (*gelbe Pfeilspitze*) und die doppelläufige Eingabekannüle (*rote Pfeilspitze*). Die Makula wird auf das retinale Pigmentepithel gedrückt. Trotzdem findet sich zuletzt noch ein dünner Film persistierender Flüssigkeit unter der Netzhaut. Die äußeren Netzhautschichten gleichen einer Welle (*Pfeilspitzen*). g Befund am Ende der Operation: Gastampnade mit Spiegel- und Reflexbildung (*gelbe Pfeilspitze*)

betrug $0,85 \pm 0,7$ logMAR. In der zu diesem Zeitpunkt erneuten OCT-Untersuchung zeigte sich in 5% der Fälle noch subretinale Flüssigkeit im Makulabereich (Abb. 3g, k), in 38% der Fälle noch intraretinale Flüssigkeit, während keine sichtbaren makulären Gliosen oder epiretinale Membranen gefunden wurden. In der Hälfte der Fälle wurden andere morphologische Netzhautveränderungen festgestellt: verdickte Netzhaut ($n=3$), Makulaschichtforamina ($n=2$), verstrichene Foveakonturen ($n=2$), Verdacht auf chorioidale Neovaskularisation ($n=1$), subretinaler Strang ($n=1$, Abb. 3p, roter Pfeil), Falten der Ganglienzellschicht ($n=1$, Abb. 3l), verdicktes retinales Pigmentepithel ($n=1$), Makulaödem ($n=1$ Fall). Im Nachbeobachtungszeitraum zeigte sich bei keinem Fall eine Reablatio.

Diskussion

Die intraoperative OCT bietet die Möglichkeit, in Echtzeit Feinschichtaufnahmen der Netzhaut des hinteren Pols während einer Vitrektomie durchzuführen. Leiser et al. konnten zeigen, dass die intraoperative Spectral-Domain-OCT eine hohe Reproduzierbarkeit hinsichtlich der Sichtbarkeit von epiretinale Membranen (ERM), lamellären Makulalöchern und vitreomakulärer Traktion bietet [12]. Allerdings verursachten mikrozystische Veränderungen Diskrepanzen bei der Interpretation, die oft einfach als Netzhautverdickung diagnostiziert wurden. In einer anderen Arbeit berichtete dieselbe Arbeitsgruppe darüber [13], dass dank der iOCT ein ERM-Peeling ohne Färbung in der Mehrheit der Fälle (63%) durchgeführt werden konnte. Auch wir sehen die Echtzeitvisualisierung des Netzhautverhaltens unter Manipulation und damit die direkte Rückmeldung des In-situ-Befundes als besonders hilfreich an. Die vorliegende Arbeit untersucht die möglichen Mehrgewinne der Diagnostik anhand von makulabeteiligten Netzhautablösungen. In 63% der hier untersuchten Fälle gelang die iOCT-Darstellung der Makula zu Beginn der Operation. In den anderen Fällen überstieg die Höhe der Netzhautablösung die maximale Scanhöhe der iOCT. Unter Ablatiobe-

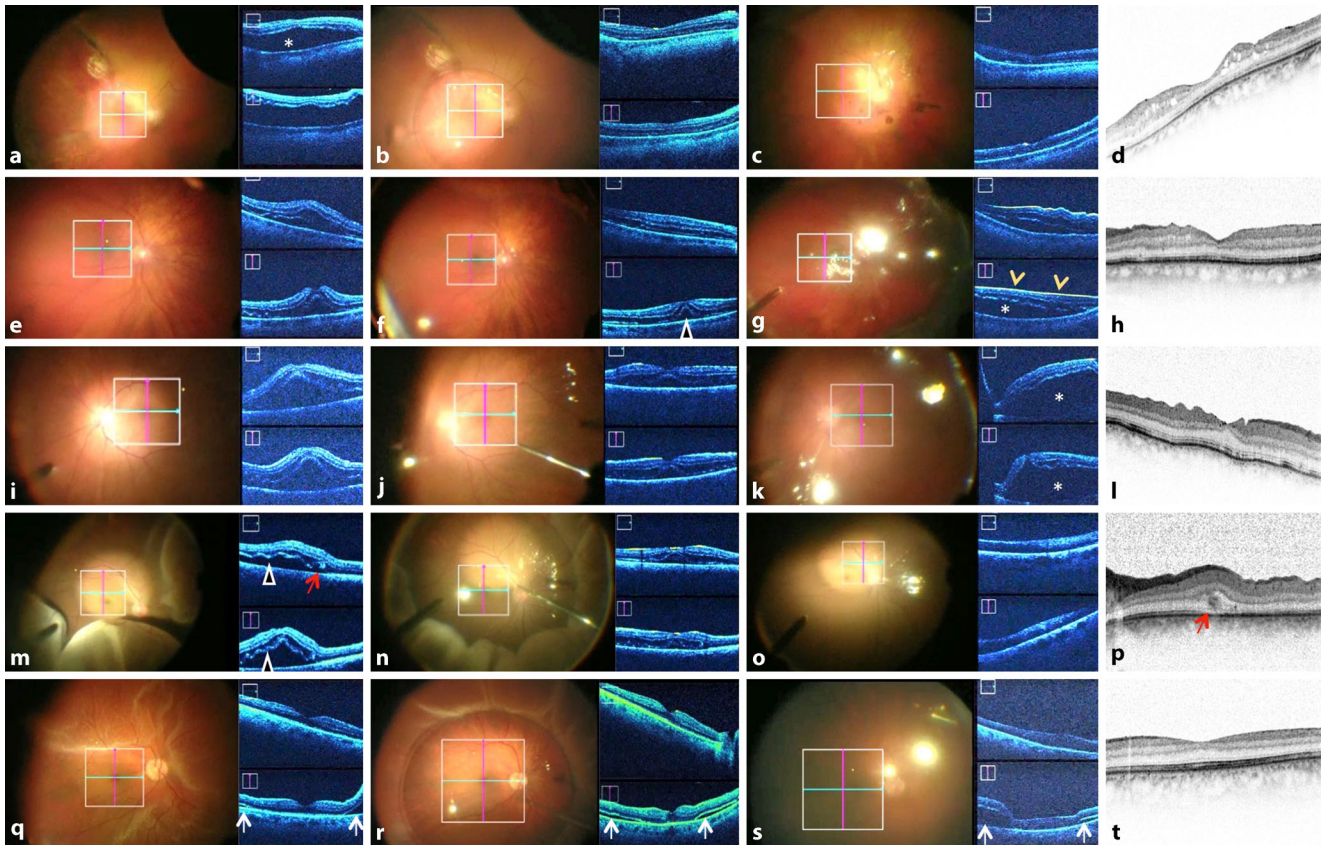


Abb. 3 ▲ iOCT-Befunde aus den Operationsvideos und postoperative SD-OCT von 5 Patienten: **a, e, i, m, q** unmittelbar nach Eingehen mit dem Endlichtleiter und vor Beginn jeglicher Manipulation im Glaskörper. **b, f, j, n, r** nach durchgeführter Vitrektomie und nach Eingabe der schweren Flüssigkeit (PFCL). **c, g, k, o, s** mit abschließender Beurteilung nach Eingabe der endgültigen Tamponade und vor dem Entfernen der Zugänge. **d, h, l, p, t** zeigt die postoperative SD-OCT. Subretinale Flüssigkeit (*Sternchen*), Falten der äußeren Netzhautschichten (*Pfeilspitzen*), Gasgrenze über der Netzhaut (*gelbe Pfeilspitzen*), subretinaler Strang (*roter Pfeil*) und parafoveale persistierende subretinale Flüssigkeit (*weiße Pfeile*). PFCL und ILM können nicht in der iOCT dargestellt werden

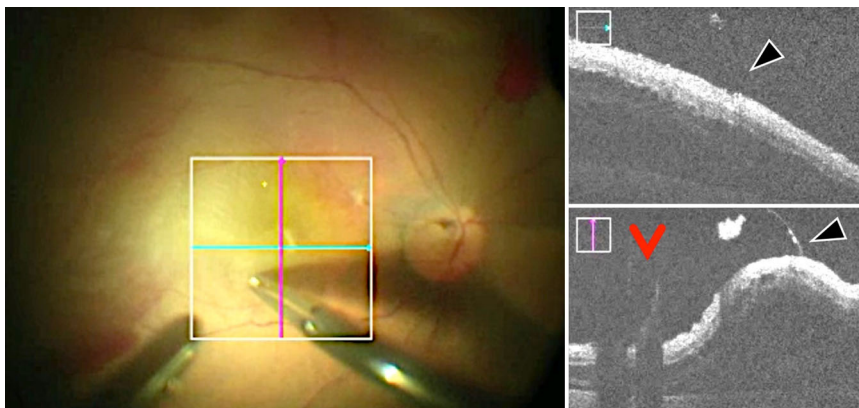


Abb. 4 ▲ iOCT-Befund bei ILM-Entfernung unter Ablatiobedingungen. Das Peeling wurde nach Anfärben mit Membranfarbstoff und vor Eingabe von PFCL durchgeführt. In der iOCT ist die abgehobene ILM und deren Zug an der Netzhautoberfläche zu sehen (*Pfeilspitzen*). Doppelter Schattenwurf der endfassenden Pinzette (*rote Pfeilspitze*)

dingungen scheint daher die Darstellung mittels iOCT in den meisten Fällen möglich, jedoch ist insbesondere bei hochbläsigen Ablationes die Verwendbarkeit der iOCT zumindest zu Beginn der Operation wenig aussagekräftig. Die Höhe der initialen fovealen Abhebung konnte nicht in Zusammenhang mit anderen Befunden während und am Ende der Operation gebracht werden. Abraham et al. [1] konnten allerdings zeigen, dass Netzhautchirurgen in komplexen Amotiones die durch die iOCT vermittelten, zusätzlichen Informationen signifikant häufiger als hilfreich empfanden als in einfachen Fällen. Auch in unserer Arbeit zeigten sich zusätzliche Informationen, die zuvor in dieser Weise nicht ersichtlich waren:

Trotz präoperativ klinisch diagnostizierter Makula-off-Ablatio konnte intraoperativ in 3 Fällen eine anliegende Fovea dargestellt werden. Möglicherweise

Tab. 1 Demografische Daten. Patienten-Baseline-Charakteristika (n = 41)

Alter in Jahren (Median, SD)	61 ± 13
Geschlecht: männlich/weiblich (n)	32/9
Dauer der Symptome bis zur OP (Tage, SD)	26 ± 60
Lateralität: rechtes Auge/linkes Auge (n)	23/18
Präoperativer BCVA am betroffenen Auge (logMAR, SD)	1,6 ± 0,7
Re-Ablatio retinae	14/41 (34,1 %)
Tamponaden	
SF6 (n)	3 (7 %)
C2F6 (n)	15 (37 %)
C3F8 (n)	1 (2 %)
Silikonöl 2000c (n)	22 (54 %)

handelt es sich in diesen Fällen um eine Spontananlage, welche durch die Lagerung (prä- und intraoperativ) bedingt war. Auch in dieser Studie konnten wir ein zuvor klinisch nicht diagnostiziertes Makulaforamen detektieren. Ehlers et al. [7] berichteten ebenfalls darüber, intraoperativ durch die Verwendung einer iOCT ein zuvor nicht erkanntes Makulaforamen diagnostiziert zu haben. Dieses Phänomen lässt sich möglicherweise dadurch erklären, dass präoperativ entweder keine SD-OCT durchgeführt wurde und somit vermutlich klinisch übersehen wurde oder das Foramen nicht vom SD-OCT-Scan getroffen wurde.

Überraschenderweise ließ sich mittels der iOCT in über 60 % noch persistierende subretinale Flüssigkeit am Ende der OP nachweisen, wobei dies nicht der visuellen klinischen Einschätzung durch das Mikroskop entsprach. Es ist unklar, ob der dünne persistierende subretinale Flüssigkeitsfilm die Ursache für die beobachteten Falten der äußeren Netzhautschichten ist oder umgekehrt. Ehlers et al. [7] berichten ebenso von subretinaler Flüssigkeit und Falten der äußeren Netzhautschichten in 100 % der Fälle (9/9 Augen) nach Injektion von Perfluorooctan (PFO). Junker et al. [10] konnten diese Ergebnisse zumindest teilweise bestätigen. In unserer Studie konnten persistierende subretinale Flüssigkeit in 60,9 % der Fälle (25/41 Augen) und Falten der äußeren Netzhautschichten in 22 % der Fälle

Tab. 2 Intraoperative Auswertung des fovealen bzw. makulären Netzhautbefundes mit der i-OCT

	n (%)
Netzhautbefund vor Beginn der eigentlichen Vitrektomie	
Abhebung weniger als eine Netzhautdicke	12 (29,3)
Abhebung mehr als eine Netzhautdicke	11 (26,8)
Abhebung größer als maximale Scantiefe	15 (36,6)
Anliegende Makula	3 (7,3)
Netzhautbefund nach Vitrektomie und PFCL-Eingabe	
Sofortige, vollständige Netzhautanlage	15 (36,6)
Persistierende subretinale Flüssigkeit	14 (34,1)
Intraretinale Flüssigkeit	4 (9,8)
Intra- und subretinale Flüssigkeit	8 (19,5)
Netzhautbefund unter endgültiger Tamponade	
Sofortige, vollständige Netzhautanlage	14 (39)
Persistierende subretinale Flüssigkeit	25 (60,9)
Intraretinale Flüssigkeit	7 (17,1)
Allgemeine Befunde während der Operation	
Epiretinale Gliose	14 (34,1)
Epiretinale PVR-Reaktion	15 (36,6)
Makulaforamen	1 (2,4)
Falten der äußeren Netzhautschichten	9 (22)

(9/41 Augen) nach Injektion von PFCL festgestellt werden. Junker et al. [10] vermuten, dass die subretinale Flüssigkeit oder Falten der äußeren Netzhautschichten durch die unterschiedlichen Dichten der schweren Flüssigkeit verursacht sein könnten. Cho et al. [4] konnten zeigen, dass präoperativ beobachtete Falten der äußeren Netzhautschichten ein negativer prädiktiver Faktor sind. Wir konnten zeigen, dass diese Veränderungen auch intraoperativ und zum Teil noch am Ende der Operation darstellbar sind. Über die Zeit, die der Eingriff dauerte, und damit der Anpressdruck der schweren Flüssigkeit wirken konnte, schien die Menge der subretinalen Flüssigkeit abzunehmen (Abb. 2). Die klinische Relevanz

von persistierender subretinaler Flüssigkeit am Ende der Operation ist derzeit noch unklar. Die Menge der subretinalen Flüssigkeit scheint unterschiedlich groß zu sein und ist möglicherweise durch die Zusammensetzung und das Vorhandensein von Reservoirs (i. S. des „Fluid-Shifting“) bedingt. Die Beobachtung, dass die Makula häufiger unter PFCL als unter der endgültigen Endotamponade anliegt, spricht für dieses Phänomen. Das retinale Pigmentepithel resorbierte im Verlauf alle noch vorhandene subretinale Flüssigkeit. Ob die entfernte Menge zu einem unterschiedlichen postoperativen Visus führt, ist anhand unserer Daten nicht zu eruieren. Hierzu wäre eine Studie mit Quantifizierung der subretinalen Flüssigkeit wünschenswert. Zudem besteht unmittelbar postoperativ ein diagnostisches blindes Fenster (v. a. im Falle einer Gastamponade) für OCT-Aufnahmen. Inwiefern die postoperativen OCT-Aufnahmen 8 Wochen später in Relation zu den intraoperativen Befunden stehen, lässt sich in dieser Analyse nicht herausarbeiten. Die intra- und auch die postoperativen Befunde waren zu heterogen (Dauer der Ablatio, Ursache, Ausprägung und Art der Versorgung), als dass ein aussagekräftiger Zusammenhang ausgewertet werden konnte. Zusätzlich ist die Aussagekraft durch intraoperative iOCT-Bildqualität im Vergleich zu der höher auflösenden Darstellung in den standardmäßig gemittelten Aufnahmebildern der postoperativen SD-OCT reduziert. Für eine solche Fragestellung bedarf es eines anderen Studienaufbaus.

Während die Endotamponaden (Gas und Silikonöl) an ihrem Spiegel gut darstellbar waren (s. Abb. 2g), konnte die schwere Flüssigkeitsgrenze (PFCL) nicht dargestellt werden. Damit scheint die iOCT eher ungeeignet dafür zu sein, die vollständige Entfernung von PFCL zu überwachen. Subretinales PFCL konnten wir in unserer Kohorte (glücklicherweise) nicht darstellen, wäre aber in der regulären OCT gut darstellbar. In 54 % der Fälle (22/41 Augen) wurde Silikonöl als Endotamponade gewählt. Dieser hohe Anteil ist am ehesten dadurch bedingt, dass auch 14 von 41 Augen mit Re-Ablation sowie weitere mit komplexen Ausgangssituationen in die

Studie eingeschlossen wurden. Außerdem stellen die Netzhautablösungen mit Makulabeteiligung ein tendenziell weiter fortgeschrittenes Krankheitsbild dar.

Unsere Arbeit hat einige Limitationen. Angesichts des heterogenen Patientenkollektivs, der geringen Fallzahl sowie der fehlenden Kontrollgruppe können Fragen zum Einfluss der SRF oder des Peelings auf den postoperativen Visus nicht ausreichend beantwortet werden.

Einige Autoren sehen keine offensichtlichen Vorteile beim Einsatz der iOCT bei der Netzhautablösung. Dennoch bietet diese neue Technik tiefere Einblicke in die Mikroarchitektur der abgelösten Netzhaut [10]. Im Wesentlichen beeinflusst die iOCT weder die Handhabung des Operationsmikroskops noch den Routineablauf der Ablatio-OP. In einigen Fällen konnte durch die iOCT der klinische Eindruck der Netzhautsituation korrigiert werden, etwa durch die Darstellung persistierender subretinaler Flüssigkeit bei klinischem Eindruck einer ausreichenden „Trockenlegung“ der Netzhaut. Dieses Ergebnis ähnelt dem von Abraham et al. [1], welcher über eine iOCT-getriggerte Änderung seiner chirurgischen Strategie in 12 % der Fälle beschreibt. Weitere Untersuchungen bei mehr Patienten werden zeigen, ob der Einsatz der iOCT zu einer besseren Prognose für unsere Patienten führt.

Zusammenfassend führen die Informationen durch die iOCT in der Ablatiochirurgie bisher eher selten zu einer Änderung oder Erweiterung des Eingriffs. Sie liefert jedoch in Echtzeit neue Informationen wie intra- und subretinale Flüssigkeitsverteilungen v. a. in Querschnittsaufnahmen der Netzhaut, die im Operationsmikroskop nur in der Aufsicht zu erfassen sind. Damit führt die iOCT zu einem besseren Verständnis über das Verhalten der Netzhaut direkt und unmittelbar unter laufenden OP-Bedingungen.

Fazit für die Praxis

- Die iOCT erlaubt während des Eingriffs die Echtzeitdarstellung ansonsten nicht sichtbarer retinaler Strukturen direkt im Operationsmikroskop und können dadurch evtl. unmittelbar behandelt werden.

- In der Netzhautchirurgie bei Amotio retinae mit Makulabeteiligung zeigt sich oft subfoveale Flüssigkeit, die nicht immer dem intraoperativen klinischen Eindruck entspricht.
- Die Bedeutung von intra-, subretinaler Flüssigkeit und Falten der äußeren Netzhautschichten am Ende der OP ist derzeit noch unklar, sie könnten jedoch zukünftig als prognostische Faktoren für das postoperative Outcome dienen.

Korrespondenzadresse



PD Dr. med. C. S. Mayer
Klinik und Poliklinik für
Augenheilkunde, Universität
Heidelberg
Im Neuenheimer Feld 400,
69120 Heidelberg,
Deutschland
christian.mayer@
med.uni-heidelberg.de

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

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. V. Degenhardt, R. Khoramnia, J. Storr und C.S. Mayer 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

1. Abraham JR, Srivastava SK, Le TK, Sharma S, Rachitskaya A, Reese JL, Ehlers JP (2020) Intraoperative OCT-assisted retinal detachment repair in the DISCOVER study: impact and outcomes. *Ophthalmol Retina* 4:378–383
2. Binder S, Falkner-Radler C, Hauger C, Matz H, Glittenberg C (2011) Feasibility of intrasurgical spectral-domain optical coherence tomography. *Retina* 31:1332–1336
3. Cheng KC, Cheng KY, Cheng KH, Chen KJ, Chen CH, Wu WC (2016) Using optical coherence tomography to evaluate macular changes after surgical management for rhegmatogenous retinal detachment. *Kaohsiung J Med Sci* 32:248–254
4. Cho M, Witmer MT, Favarone G, Chan RP, D'amico DJ, Kiss S (2012) Optical coherence tomography predicts visual outcome in macula-involving rhegmatogenous retinal detachment. *Clin Ophthalmol* 6:91–96
5. Ehlers JP, Goshe J, Dupps WJ, Kaiser PK, Singh RP, Gans R, Eisengart J, Srivastava SK (2015) Determination of feasibility and utility of microscope-integrated optical coherence tomography during ophthalmic surgery: the DISCOVER Study RESCAN Results. *JAMA Ophthalmol* 133:1124–1132
6. Ehlers JP, Modi YS, Pecun PE, Goshe J, Dupps WJ, Rachitskaya A, Sharma S, Yuan A, Singh R, Kaiser PK, Reese JL, Calabrese C, Watts A, Srivastava SK (2018) The DISCOVER study 3-year results: feasibility and usefulness of microscope-integrated Intraoperative OCT during ophthalmic surgery. *Ophthalmology* 125:1014–1027
7. Ehlers JP, Ohr MP, Kaiser PK, Srivastava SK (2013) Novel microarchitectural dynamics in rhegmatogenous retinal detachments identified with intraoperative optical coherence tomography. *Retina* 33:1428–1434
8. Georgopoulos M, Geitzenauer W, Ahlers C, Simader C, Scholda C, Schmidt-Erfurth U (2008) High-resolution optical coherence tomography to evaluate vitreomacular traction before and after membrane peeling. *Ophthalmologie* 105:753–760
9. Hassenstein A, Scholz F, Richard G (2005) OCT in epiretinal gliosis. *Ophthalmologie* 102:127–132
10. Junker B, Maier M, Agostini H, Hattenbach LO, Pielon A, Framme C (2016) Intraoperative optical coherence tomography in retinal detachment. *Ophthalmologie* 113:663–667
11. Khan M, Ehlers JP (2016) Clinical utility of intraoperative optical coherence tomography. *Curr Opin Ophthalmol* 27:201–209
12. Leisser C, Hirschnall N, Hackl C, Doller B, Varsits R, Findl O (2018) Diagnostic precision of a microscope-integrated intraoperative OCT device in patients with epiretinal membranes. *Eur J Ophthalmol* 28:329–332
13. Leisser C, Hirschnall N, Palkovits S, Doeller B, Kefer K, Findl O (2019) Intraoperative optical coherence tomography-guided membrane peeling for surgery of macular pucker: advantages and limitations. *Ophthalmologica* 241:234–240
14. Lorusso M, Micelli Ferreri L, Cicinelli MV, Nikolopoulou E, Zito R, Bandello F, Querques G, Micelli Ferreri T (2020) Feasibility and safety of intraoperative optical coherence tomography-guided short-term posturing prescription after macular hole surgery. *Ophthalmic Res* 63:18–24
15. Maier M, Hattenbach LO, Klein J, Nasser A, Chronopoulos A, Strobel M, Lohmann CP, Feucht N (2020) Real-time optical coherence tomography-assisted high-precision vitreoretinal surgery in the clinical routine. *Ophthalmologie* 117:158–165

16. Posarelli C, Sartini F, Casini G, Passani A, Toro MD, Vella G, Figus M (2020) What is the impact of intraoperative microscope-integrated OCT in ophthalmic surgery? Relevant applications and outcomes. A systematic review. *J Clin Med* 9(6):1682. <https://doi.org/10.3390/jcm9061682>
17. Toygar O, Riemann CD (2016) Intraoperative optical coherence tomography in macula involving rhegmatogenous retinal detachment repair with pars plana vitrectomy and perfluoron. *Eye (Lond)* 30:23–30