

# Optische Kohärenztomographie in der Makuladiagnostik

## Übersicht der Methode und standardisierte Anwendung – Diagnostik und Therapiekontrolle der altersbedingten Makuladegeneration

**Die optische Kohärenztomographie (OCT) stellt ein immer wichtiger werdendes Verfahren zur Makuladiagnostik dar. Neben der binokularen Funduskopie ist die Fluoreszenzangiographie (FLA) seit Jahren v. a. bei der altersbedingten Makuladegeneration (AMD) immer noch ein Goldstandard, nicht zuletzt wegen der angiographischen Einteilung der chorioidalen Neovaskularisationen (CNV). Durch die immer höhere Auflösung hat sich das OCT einen festen Platz in der strukturellen Makuladiagnostik gesichert. Die Validität und Reproduzierbarkeit des OCT bei verschiedensten Makulaerkrankungen gilt als gesichert [5, 6, 7, 8, 9, 15, 17]. Insbesondere werden derzeit große Hoffnungen auf die Nutzung der OCT-**

**Technik zum nichtinvasiven Monitoring der Anti-VEGF-Therapie u. a. bei der exsudativen AMD gesetzt. Um diese Technik hier jedoch sinnvoll und zuverlässig einsetzen zu können, ist die Erfüllung gewisser Qualitätsstandards schon bei der Aufnahmeerstellung ebenso erforderlich wie die Verwendung standardisierter Auswertungsstrategien, die einen entsprechenden Vergleich der Aufnahmen untereinander erst ermöglichen.**

Zu diesem Thema sollen im Folgenden einige durch die klinische Erfahrung etablierte Empfehlungen dargestellt werden. Es handelt sich um Erfahrungen der Autorengruppe. Bei den Scanprotokollen wurden eigene Erfahrungen und Literaturstellen von OCT-Studien berücksichtigt [12, 13, 14, 16].

je nach Software entsprechende Scanprogramme und Untersuchungsrichtlinien erarbeitet werden. Gemäß unseren Erfahrungen und jenen der Literatur haben sich 6-mm-Scans bewährt [12, 13, 14, 16]. Sollte der Scan nicht die gesamte Läsion erfassen, ist auf die Patientenfixation und auf die Zentrierung der Scanposition zu achten. In Ausnahmefällen können längere Scans von 7–8 mm Länge erforderlich werden.

### Empfehlung Scanprogramme für die Routine bei Makulaerkrankungen

#### „Macular thickness map scan“ (6 mm Scanlänge, radial lines, 512 B-Scan)

Dieses Scanprotokoll besteht aus 6 radial zueinander verlaufenden Scanlinien. Hier werden die 6 Scans der „macular thickness map“ (Darstellung der Makuladicke) in einem Scan nacheinander kombiniert. Das Protokoll erfasst 6 radiale Linienscans mit einer Länge von 6 mm. Die Scangröße oder Anzahl der Linien kann nicht geändert werden und bietet daher auch den Vorteil der Standardisierung (■ **Abb. 1**).

Beim „fast mode“ kann der radiäre Stern während eines Scanvorgangs in 1,92 s durchgeführt werden. Hier liegt nur ein 128 B-Scan vor, also deutlich weniger Daten. Dies sollte aufgrund der geringeren Dateninformation nur bei schlechter Scanqualität und schlechter Fixation durchgeführt werden, z. B. bei Aus-

### OCT-Grundlagen

#### Standard-OCT-Gerät

Das OCT III Stratus Zeiss Humphrey ist zurzeit das am häufigsten eingesetzte Gerät. Es stellt somit den derzeitigen Standard dar. Es wird bei vielen Makulaerkrankungen zur Darstellung der pathologischen Morphologie herangezogen (■ **Tab. 1**). Als nichtinvasives Verfahren hat es viele Vorteile (■ **Tab. 2**), aber auch seine Grenzen (■ **Tab. 3**).

Diese Empfehlungen gelten nur für das Stratus OCT III von Zeiss Humphrey. Analog müssten für andere OCT-Geräte

Abkürzungen	
AMD	Altersbedingte Makuladegeneration
CNV	Chorioidale Neovaskularisation
DIM	Digitale Integrationsmethode
ERG	Elektroretinogramm
FES	Fundus-Enhancement-System
FLA	Fluoreszenzangiographie
HRT	Heidelberg Retina Tomographie
ICG	Indocyaninröntgenangiographie
PCV	Polypoide chorioidale Vaskulopathie
PDT	Photodynamische Therapie
OCT	Optische Kohärenztomographie
ROI	Region of interest
RPE	Retinales Pigmentepithel
RTS	Retinal-Tracking-System
VEGF	„Vascular endothelial growth factor“

schluss eines zystoiden Makulaödems. Der 6-mm-Scan hat sich bei verschiedenen Studien als „Standard“ bewährt, auch wenn in einigen Studien die 7- und 8-mm-Scans verwendet wurden. Auch in der neuen Generation besteht der „macular cube“ aus 6 mm und ist je nach Gerät veränderbar oder auch nicht. Unabhängig von der Scanlänge ist es wichtig, die Scanposition nach der Läsion auszurichten. Die wenigsten Läsionen sind größer als 6 mm. Wichtig ist auch, dass man im Verlauf bei einem Patienten immer bei derselben Scanlänge bleibt. Ist ein „macular thickness map scan“ mit guter Qualität gelungen, wird der „cross hair scan“ nicht benötigt.

### „Cross hair“ (3 mm Scanlänge, hochauflösend 512 B-Scan)

Dieses Scanprotokoll besteht aus 2 senkrecht zueinander liegenden Linienscans (Fadenkreuz), die sich in der Mitte (Fovea) kreuzen. Der standardmäßige Linienscan ist 3 mm lang. Die Scanlänge hier ist horizontal und vertikal veränderbar (▣ **Abb. 2**). Dieses Scanprotokoll sollte nur bei mangelnder Qualität des o. g. Protokolls verwendet werden, um einen Überblick zu haben, ob z. B. ein Makulaödem vorliegt. Basierend auf die Studienlage haben sich diese beiden Scanprotokolle auch für die meisten Studienauswertungen bewährt [12, 13, 14, 16].

Grundsätzlich sollten immer Scans für die Auswertung gewählt werden, die durch die Fovea verlaufen. Zusätzlich können bei spezieller Fragestellung und bestimmter Lage der zu untersuchenden Läsion andere Scans gewählt werden. Auch abhängig von speziellen Fragestellungen können weitere Scans verwendet werden. Die zu untersuchende Läsion und besondere Schnittführungen sollten vor der OCT-Untersuchung festgelegt und dem Untersucher auf einem Fundusbild oder in einem Angiogramm eingezeichnet vorliegen, um die entsprechenden Scans gezielt durchführen zu können. Für sehr spezielle Fragestellungen empfiehlt es sich, dass der Untersucher bei der OCT-Untersuchung selbst anwesend ist:

Besonders wichtig ist die exakte Schnittführung bei sehr umschriebenen Befunden, wie z. B. sehr kleinen Maku-

laforamina, damit der Befund (z. B. das Foramen) mit dem Scan sicher getroffen wird.

Die relative Lage der Läsion zur Foveavertiefung oder deren Fehlen im OCT Schnitt können Anhaltspunkte zur Orientierung sein. Ferner erlaubt der „preview mode“ ein punktweises manuelles Verschieben des Scanschnitts, um so die gewünschte Region feiner „durchzumustern“. Hier werden neben einem Fundusbild mehrere OCT-Scanbilder der gerade durchgeführten Untersuchung angezeigt. Dadurch kann das beste OCT-Bild der Untersuchung ausgewählt werden. Diese Anwendung ist allerdings nicht für eine Integration (DIM) geeignet, da das Fundusbild nicht mit Sicherheit mit dem OCT-Scan korreliert.

Die Optimierung des Scanbilds erfordert 2 Schritte: Einstellung des Z-Offset und Optimierung der Polarisation. Das beste Scanbild enthält die stärksten Signale. Wichtig ist, dass zuerst das Z-Offset und dann die Polarisation optimiert werden.

### Z-Offset

Z-Offset bedeutet die axiale Position des Scans. Die axiale Länge des OCT-Scanbilds beträgt 2 mm (1/10 der Bulbuslänge). Daher muss die Scanposition in axialer Richtung optimal ausgerichtet werden. Die Netzhaut sollte auf dem OCT-Monitor *mittig* abgebildet werden. Ist die Netzhaut beim ersten Scanvorgang nicht abgebildet oder nur mit schlechter Bildqualität, sollten folgende Schritte durchgeführt werden: Auf der Registerkarte „Scan Parameter“ kann „Optimize Z-Offset“ gewählt werden. Hier kann mit Hilfe der Z-Offset-Pfeile die Scanposition optimiert und die Netzhaut vollständig auf dem Scanbild abgebildet werden. Diese Methode funktioniert sowohl bei der Ausrichtung als auch bei der Erfassung.

Auch bei tiefliegenden Augen und großer Nase kann es hilfreich sein, durch Vorauswahl eines entsprechenden Z-Offsets die Lage des OCT-Geräts so zu optimieren, dass die Bilderstellung ermöglicht wird.

### Optimieren der Polarisation

Die PolarisationsEbene sollte für jedes Auge optimal gewählt sein, um so eine hö-

**Tab. 1** Indikationsschwerpunkte für den OCT-Einsatz

Vitreoretinale Traktionssyndrome
Epiretinale Gliose
Makulaforamen
Makulaödeme (zystoid, nichtzystoid)
Altersabhängige Makuladegeneration (exsudative Form)
Chorioretinopathia centralis serosa
X-linked retinoschisis
Grubenpapille mit sensorischer Abhebung der Makula (Kranenburg-Syndrom)
Differenzialdiagnose mit morphologischer Fragestellung

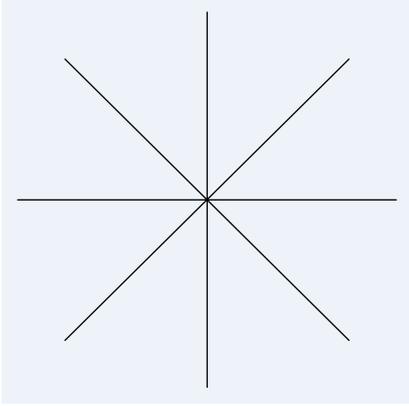
**Tab. 2** Vorteile des OCT

Nichtinvasive Methode
Schnelle Untersuchungsmethode
Reproduzierbarkeit
Objektive Bilderstellung
Non-Kontakt-Verfahren
Quantifizierungsmöglichkeit

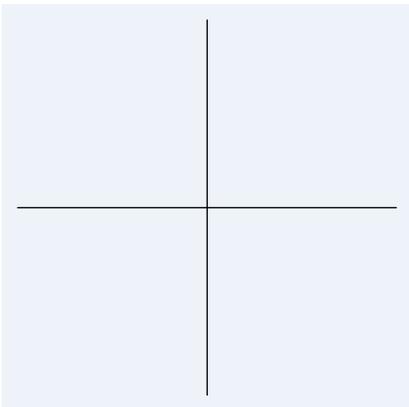
**Tab. 3** Nachteile des OCT

Trübe brechende Medien (z. B. Katarakt, Blutung)
Periphere Netzhautbefunde
Fixationsabhängigkeit (Nystagmus, zentrale Skotome)
Tomographie (keine Topographie)
Statisches Verfahren (im Vergleich zur Videoangiographie)
Subjektive Interpretation
Unsicherheit der Scanlokalisation, v. a. im Verlauf
Bewegungsartefakte

here Intensität und damit Bildqualität zu gewährleisten. Hier kann es große Unterschiede zwischen den Augen geben. Der Polarisationsoptimierungsmodus muss daher für jedes Auge zu Beginn der Untersuchung separat aktiviert werden. Die Polarisation ist einstellbar, damit die Signalstärke des Interferometers durch Anpassung an die Polarisation des an der Retina reflektierten Lichts optimiert werden kann. Hierfür muss auf der Registerkarte „Scan Parameter“ die Schaltfläche „Optimize Polarization“ gewählt werden. Die Polarisation sollte zu Beginn des Scannens eingestellt werden, dann muss für die Folgeuntersuchungen desselben Auges keine erneute Polarisationsoptimierung erfolgen. Zusätzliche Optimierung erfolgt ggf.



**Abb. 1** ▲ Scanprotokoll „fast macular thickness map scan“



**Abb. 2** ▲ Scanprotokoll „cross hair scan“ (Fadenkreuz)

im Anschluss manuell unter ständiger Beobachtung der Scanqualität.

Der Patient sollte während der Einstellungsphase vor der eigentlichen Untersuchung möglichst wenig angespannt in die Ferne blicken und zwischenzeitlich normal blinzeln, bis die OCT-Einstellungen abgeschlossen sind. Dann erst sollte der Patient aufgefordert werden, für die Untersuchungsdauer temporär nicht zu blinzeln und sich auf das Target zu konzentrieren. Dieses Vorgehen erhöht die Compliance des Patienten und ist v. a. weniger anstrengend, gerade für ältere Patienten.

Vor Beendigung der Untersuchung bzw. bevor der Patient den Untersuchungsraum verlässt, sollte eine Qualitätskontrolle der durchgeführten OCT-Bilder erfolgen, damit die Untersuchung evtl. wiederholt werden kann.

Für Verlaufskontrollen insbesondere bei spezieller Schnittführung wird empfohlen, beim Stratus OCT ab dem Erstkontakt sog. Landmarks zu setzen, sodass

dasselbe Scanprogramm an derselben Lokalisation verwendet wird. Besonders wichtig ist dies, wenn kein Integrations-system wie die DIM (s. Kapitel DIM, Digitale Integrationsmethode) verfügbar ist.

Der OCT-Untersucher sollte während der Untersuchung die Fixation kontrollieren und bei Bedarf das OCT wiederholen. Da das Fundusbild bei Stratus OCT III nicht selten von schlechter Qualität (zu dunkel) ist, sind oft Details des Fundus nicht genau zu erkennen. Um dies zu verbessern, wurde das FES (Fundus-Enhancement-System, s. Kapitel DIM) entwickelt, das über eine Nachsichtkamera und einer speziellen Software bei allen Patienten eine sehr gute Fundusbildqualität liefert, auch wenn man DIM nicht verwendet.

Bei schlechter Fixation sollte dies für die Interpretation dokumentiert werden. Einen zusätzlichen Hinweis auf die Fixationsstabilität während der Untersuchung kann auch die Beachtung der Standardabweichungswerte geben, die bei der Map-Analysis zu dem Foveal-center-thickness-Wert angegeben wird. Bei konstant schlechter Fixation und kleinen Makulabefunden kann das OCT als Grundlage einer Therapieentscheidung nur unter Vorbehalt zugrunde gelegt werden. Das OCT-Fundusbild mit Scanposition wird erst am Ende des Scanvorganges photographiert, sodass es möglich ist, dass der Patient sein Auge zwischen Scanvorgang und Fundusbild bewegt hat. Insofern ist die dargestellte Scanposition im OCT-Fundusbild nicht zuverlässig und birgt das Risiko der falschen Abbildung (s. auch Kapitel DIM). Besondere Vorsicht ist diesbezüglich beim Review Mode anzuwenden: Dieser erlaubt es, retrospektiv einige vorangegangene OCT-Scans nachträglich auszuwählen, um so z. B. bei sehr schlechter Fixation mit wenigen guten Scans den gelungensten auszuwählen. Beim „review mode“ existiert jedoch nur das Fundusbild, welches beim letzten Scan gemacht wurde. Dies ist zeitlich entsprechend weit von dem ausgewählten Scan entfernt und bietet daher keine synchrone Aufnahme von Fundusbild und OCT. Deshalb sollte auf diesen Modus möglichst verzichtet werden und im Falle der Benutzung dies entsprechend dokumentiert werden.

### Zeitpunkt der OCT-Untersuchung

Grundsätzlich sollte vor jeder therapeutischen Intervention, für die das OCT als Diagnostikum und zur Therapiekontrolle eingesetzt werden soll, ein OCT als Baseline-Untersuchung durchgeführt werden (z. B. vor Anti-VEGF-Therapie, photodynamischer Therapie oder Makulachirurgie). Aber auch bei konservativen Verlaufskontrollen (z.B. Gliose mit gutem Visus) sollte ein OCT als Ausgangsbefund („baseline“) durchgeführt werden.

Ziel und Zeitpunkt der OCT-Dokumentation:

- Vor Therapie als Ausgangsbefund (medikamentös und chirurgisch),
- zur objektiven Befunddokumentation,
- zur Verlaufskontrolle mit/ohne Therapie,
- zur Differenzialdiagnose.

Empfohlen wird eine binokulare Funduskopie in Mydriasis vor jeder OCT-Untersuchung oder eine zusätzliche Fotodokumentation der Makula, um u. a. Befunde bei komplizierteren Situationen, wie z. B. fehlender Netzhautdarstellung durch präretinale Blutungen etc. deuten zu können. Eine Mydriasis stellt zwar keine Untersuchungsvoraussetzung dar. Jedoch sollte zumindest eine mittlere Pupillenweite vorliegen. Dies kann bei älteren Patienten oder durch miotische Medikamentenwirkungen gelegentlich nicht gegeben sein. Aus Erfahrung ist daher gerade bei älteren Patienten die Bildqualität in Mydriasis deutlich besser. Bei einer Kernkatarakt gerade bei älteren Patienten erhält man manchmal einen besseren Scan, wenn dieser nicht genau durch die Pupille geht. Grundsätzlich ist es erforderlich, dass man manchmal die Scanposition parazentral positioniert, um ein optimales Scanbild zu erhalten. Bei jungen Patienten ist eine Untersuchung ohne Mydriasis bei guter Qualität möglich.

Vor einer OCT-Untersuchung, die als optisches Verfahren v. a. auch von der Qualität der brechenden Medien abhängt, sollte möglichst kein Hornhaut-Kontakt-Untersuchungsverfahren durchgeführt werden (Tonometrie, Kontaktglasuntersuchung, ERG usw.), um die Untersuchungsqualität nicht zu min-

A. Hassenstein · G. Spital · F. Scholz · A. Henschel · G. Richard · D. Pauleikhoff  
**Optische Kohärenztomographie in der Makuladiagnostik. Übersicht der Methode und standardisierte Anwendung – Diagnostik und Therapiekontrolle der altersbedingten Makuladegeneration**

### Zusammenfassung

**Hintergrund.** Die zunehmende Bedeutung des OCT (optische Kohärenztomographie) in der Makuladiagnostik bei Verlaufskontrollen nach Makulatherapie und einer hohen Anzahl von Kontrollen nach Anti-VEGF-Therapie lassen standardisierte Auswertungsstrategien und OCT-Untersuchungsrichtlinien sinnvoll erscheinen.

**Methode und Ergebnisse.** Für das Status OCT III wurden grundsätzliche Guidelines zur Untersuchung von Makulaerkrankungen erarbeitet. Im ersten Teil des Beitrags geht es um grundsätzliche Tipps für die OCT-Untersuchung bezüglich Untersuchungsdurchführung, Patientencompliance, Bildqualität, Bewegungsartefakte, Algorithmen, Archivierung und Interpretation von OCT-Bildern. Im zweiten Teil werden der Stellenwert und die Einsatzempfehlung des OCT bei der altersbedingten Makuladegeneration (AMD) und deren Therapiekontrollen zusammengefasst so-

wie entsprechend ihrer einzelnen Formen unterteilt. Im dritten Teil wird ein kurzer Ausblick auf Weiterentwicklungen wie die digitale Integrationsmethode (DIM) gegeben, die beim Stratus OCT III eine identische Scanlokalisierung im Verlauf und Ausschluss von Bewegungsartefakten gewährleistet.

**Schlussfolgerung.** Durch den standardisierten Einsatz des Stratus OCT III und geeigneter Auswertungsprogramme zur Makuladiagnostik im Verlauf nach Therapie kann der Einsatz des OCT optimiert, zeitsparend eingesetzt und v. a. vergleichbar gemacht werden. Damit erhöht sich die Aussagequalität sowohl für die Routine in Arztpraxen und Kliniken sowie auch für Studien.

### Schlüsselwörter

Optische Kohärenztomographie · Makuladiagnostik · Makuladegeneration · Digitale Integrationsmethode

dern. Sind mehrere bildgebende Untersuchungen wie z. B. eine Fluoreszeinangiographie zusätzlich zum OCT erforderlich, wie oft bei exsudativer AMD, sollte in der Regel zunächst das angiographische Verfahren vor der OCT-Untersuchung erfolgen, um anhand der angiographischen Topographie die „region of interest“ (ROI) besser festlegen zu können und anschließend gezielter das OCT durchzuführen.

Entscheidend für Verlaufskontrollen ist stets eine vorangehende Baseline-Untersuchung. Gerade bei der AMD ist sie besonders wichtig, um durch Vergleich der Untersuchung zur Voruntersuchung besser die Dynamik von Flüssigkeitsansammlungen auswerten zu können und die Wiederbehandlung zu indizieren. Da Flüssigkeitsansammlungen bei der exsudativen AMD als Kriterium zur Wiederbehandlung gelten und das OCT diese ca. 5-mal sensibler detektieren kann als die FLA, ist die Durchführung des OCT für die Therapieentscheidungen wesentlich [10].

### — Es sollte stets die gesamte Läsion erfasst werden.

Ist dies nicht der Fall, kann es durch ein Flüssigkeitsshift zu falschen Bewertungen kommen (falsch-positiv oder falsch-negativ). Präzise Scanlokalisierung s. auch Kapitel DIM.

### Wer führt die OCT-Untersuchung durch?

In den Kliniken und Praxen ist es sehr heterogen, wer die OCT-Untersuchung durchführt. Entscheidend ist hierbei, dass das Personal, welches die OCT-Untersuchung durchführt, geschult ist und Routine hat, d. h. dass der OCT-Untersucher sehr viele OCT-Untersuchungen durchführt. Dieser Aspekt ist wichtiger als z. B. die Qualifikation als Arzt. Es sollten jedoch fachliche Grundkenntnisse der Augenheilkunde vorhanden sein. Entscheidend ist nicht unbedingt, wer misst, sondern, dass der OCT-Anwender entsprechende Erfahrung (bzw. vorangehende ausgiebige praktische Anleitung mit Patientenuntersuchungen) hat. Sowohl Pflegepersonal als auch Arzthelferinnen kön-

## Optical coherence tomography for macula diagnostics. Review of methods and standardized application concentrating on diagnostic and therapy control of age-related macula degeneration

### Abstract

**Background.** Optical coherence tomography (OCT) has gained increasing relevance for follow-up after the treatment of macular diseases especially after anti-VEGF therapy. Therefore it seemed reasonable to develop standardized evaluation strategies and OCT examination guidelines for Stratus OCT III.

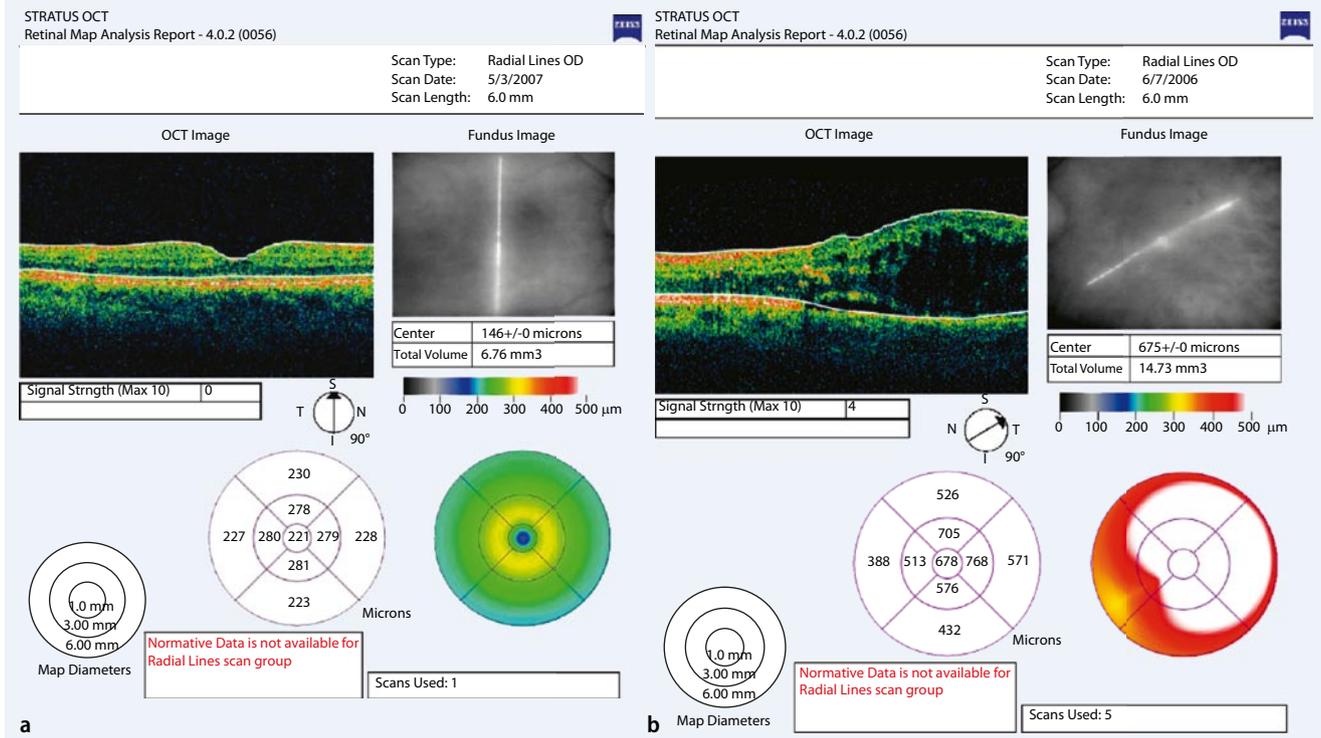
**Materials and methods.** Basic guidelines for the Stratus OCT III examination of macular diseases were developed. The first part contains basic advice for the OCT examination with respect to the examiner, patients, image quality, movement artefacts, algorithms, archiving and interpretation of OCT images. The second part consists of the relevance and indications for OCT examination especially in age-related macular degeneration (AMD), subgroups of AMD and follow-up after treatment. The third part demonstrates a brief

outlook on future developments, such as the digital integration method (DIM), which provides identical scan localization in follow-up and eliminates any movement artefacts.

**Conclusion.** The application of standardized routine scanning and analysis protocols in Stratus OCT III for macular diseases and follow-up examinations provides an optimized, time-saving and comparable use of OCT. Therefore, the relevance and quality of OCT is increased for routine use in outpatient departments, hospitals and also for clinical studies.

### Keywords

Optical coherence tomography · Macula diagnostics · Age-related macula degeneration · Digital integration method



**Abb. 3** ▲ Analyseprotokoll „retinal map analysis“. **a** Normalbefund mit physiologischer Foveavertiefung; **b** Makulaödem bei Venenastverschluss

nen für die OCT-Untersuchung eingearbeitet werden. Wichtiger ist vielmehr, dass der OCT-Untersucher diese Untersuchung oft durchführt und hierbei Erfahrung hat. Ideal wäre eine Photo- oder Angio-MTA, da diese bezüglich der Bildgebung bereits Erfahrung hat und technisch versiert ist. Dies muss aufgrund der vorhandenen Ressourcen entschieden werden. Erstrebenswert wäre, dass der Arzt die Untersuchung durchführt, der auch die Fragestellung formuliert hat. Dies ist aber ressourcenbedingt oft nicht möglich. Dennoch und gerade deshalb ist ein enger Informationsaustausch zwischen Indikationssteller und dem OCT-Ausführenden essenziell. Ideal ist ebenso eine räumlich enge Verbindung zwischen FLA, OCT und Ärzten, damit eine enge Interaktion optimal stattfinden kann. Die Einarbeitung an das OCT sollte stets durch erfahrene Untersucher weitergegeben werden.

Der OCT-Untersuchungsraum sollte ruhig und zur optimalen Untersuchungsdurchführung ohne „Durchgangsverkehr“ sein. Es sollte eine staubarme Umgebung gewählt werden, um die Langlebigkeit des OCT-Geräts zu erhöhen.

### Analyse und Befundung von OCT-Bildern

#### Qualitative Beurteilung

Primär ist bei den OCT-Bildern, v. a. zur Differenzialdiagnose, die qualitative Bewertung entscheidend. Nur in wenigen Fällen benötigt man für eine klinische Entscheidung die quantitative Auswertung. Wenn es um das Erkennen von Gliosen, Makulaforamen, Makulaödem, chorioidalen Neovaskularisationen, intraretinalen Zysten und neurosensorischen Abhebungen etc. im OCT geht, sind dies in der Regel Blickdiagnosen.

#### Quantitative Beurteilung

Die quantitative Erfassung ist derzeit überwiegend für klinische Studien und die wissenschaftliche Auswertung wichtig. In Einzelfällen kann natürlich jederzeit für Verlaufskontrollen eine Ausmessung durchgeführt werden, z. B. wenn im Verlauf Unsicherheit bezüglich einer Zu- oder Abnahme bei zystoidem Makulaödem besteht. Vereinfachend kann das Foveavolumen der „retinal thickness map“ (Abb. 3a, b). grob orientierend herangezogen werden, bei dem man das Fo-

veavolumen im Verlauf vergleichen kann. „Grob orientierend“ ist dies deshalb, da die Messwerte zwischen den Scans interpoliert werden.

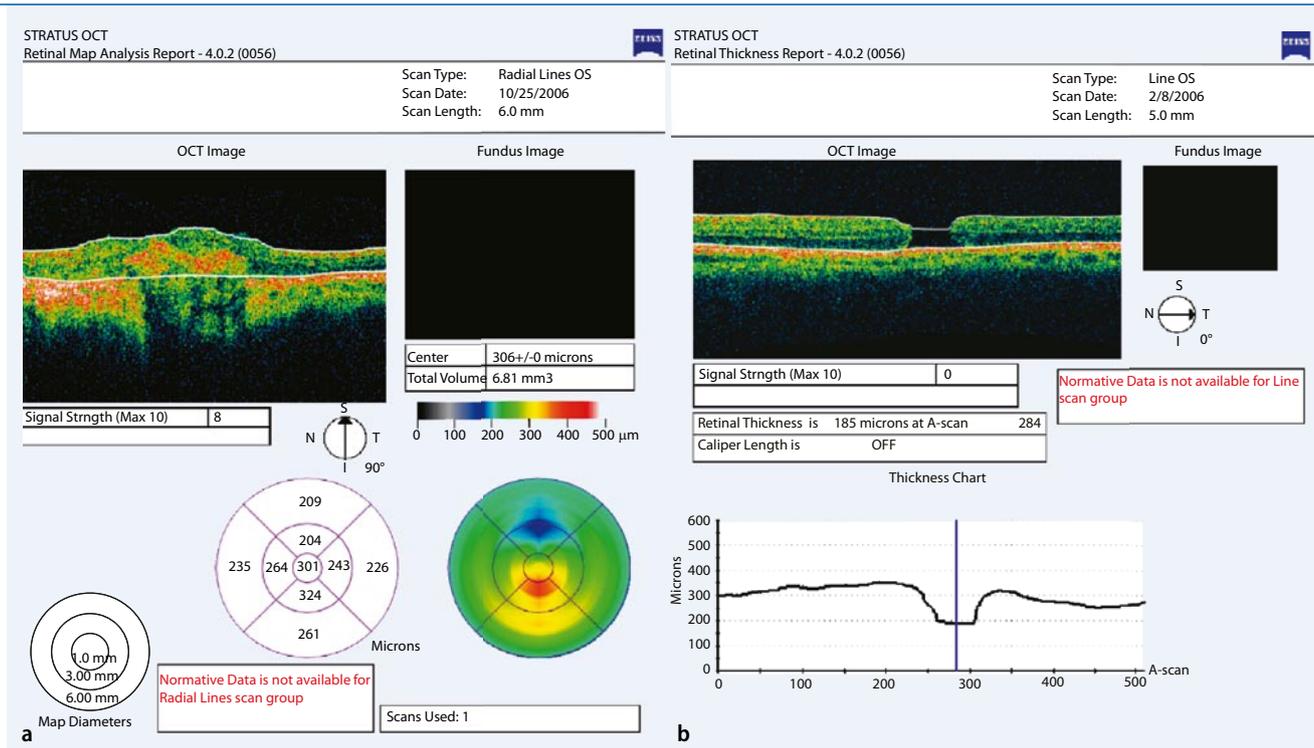
#### Retinal thickness map

Die Netzhautdicke berechnet sich aus der Distanz zwischen der Glaskörpergrenzfläche und der hochreflektiven RPE-Schicht. Hier sind 2 Kreise auf die Makula zentriert und zeigen die Netzhautdicke bzw. das Volumen an. Dieses Protokoll kann angewendet werden, wenn als Untersuchungsmodus „radial lines“ oder „macular thickness map“ (normal oder schnell) angewendet wurde.

Die rechte **Abb. 3** repräsentiert die Netzhautdicke in einer Farbkodierung und die linke Abbildung zeigt die durchschnittliche Netzhautdicke bzw. das Volumen in  $\mu\text{m}$  oder  $\text{mm}^3$ . Die quantitative Aussage enthält die „foveal thickness“ (Foveadicke) in  $\mu\text{m}$  und das „total macular volume“ (Makulagesamtvolumen) in  $\text{mm}^3$ .

#### Algorithmen

Man sollte nicht unkritisch automatisierte Algorithmen anwenden. Einfacher zu



**Abb. 4** **a** Analyseprotokoll „retinal map analysis“; chorioidale Neovaskularisation (CNV). Das automatisierte Programm erkennt bei makulären Pathologien nicht immer die korrekte Netzhautbegrenzung. Hier wird die Netzhaut um ca. zwei Drittel zu dick gemessen, da die CNV-Membran mitgemessen wird (s. Foveadicke 301  $\mu\text{m}$ ). Dies birgt die Gefahr bei automatisierten Algorithmusausmessungen von ausgeprägten Fehlmessungen (von CNV bis Makulaforamen, s. **b**). Cave bei Studien. **b** Analyseprotokoll „retinal thickness report“: Bei makulären Pathologien besteht leicht die Gefahr, dass die Algorithmuslinien fehlerhaft verlaufen und automatisiert zur Fehlberechnungen führen. Cave bei Studien

handhaben und zu kontrollieren sind die manuellen Ausmessungen, die eine exakte Kontrolle des OCT-Scans erleichtern. Daher sollte für eine valide Ausmessung in der Regel eine manuelle Vermessung angewendet werden, da hier die Läsionen präziser erkannt werden.

Grundsätzlich sollte weder für die Routine noch für wissenschaftliche Auswertungen ein Algorithmus verwendet werden, da die Berechnungen zu fehlerhaft sind. Die Algorithmen können nur bei klaren Grenzlinien verwendet werden, am ehesten noch beim zystoiden Makulaödem. Aber auch hier werden Berechnungen fehlerhaft, wenn das Ödem sehr ausgeprägt ist. Bei der AMD ist der Algorithmus nicht hilfreich, da die Grenzlinien selbst bei der manuellen Vermessung schwierig zu erkennen sind. Die Fehlerquote ist bei den automatisierten Vermessungen zu hoch und bietet keine Optimierung. Wenn ein Algorithmus angewendet werden soll, dann ist Folgendes zu beachten: Der Einsatz von vorgegebenen Algorithmen ist nur

sinnvoll, wenn diese stets kontrolliert werden. So müssen z. B. die Einzelscans im „retinal thickness mode“ stets zunächst bezüglich möglicher Artefakte kontrolliert („raw scans“) und dann der Algorithmus („retinal thickness“) freigegeben werden. Die morphologische Beurteilung der nicht alignierten Rohscans („raw data“) erfolgt zuerst, anschließend muss dann im Analyse-Modus in der alignierten Version die korrekte Lage der automatisiert gesetzten Grenzlinien überprüft werden. Erst danach kann ein vorgegebener Auswertemodus, wie z. B. die „retinal map“, auf der Basis der zuvor kontrollierten Daten durchgeführt werden. Wegen der Artefaktanfälligkeit sollte stets erst nach Raw-Scan-Kontrolle und Kontrolle der Grenzlinienfestlegung die automatisierte „retinal map“ ausgewählt werden (**Abb. 4**).

Ein Algorithmus ist derzeit nur für die Nervenfaserschichtdicke und Netzhautdicke verfügbar. Bei Nichtbeachtung der oben genannten Vorgehensweise kann es zu abstrusen Berechnungen kommen,

die nicht sinnvoll verwertbar sind. Artefakte des OCT-Bilds, z. B. bei schwachen Reflektivitäten, aber auch bei Problemen der automatisierten Grenzlinienerkennung der Pigmentepithelschicht im Fall von z. B. AMD-bedingter RPE-Destruktionen sind Ursachen für Fehlbewertungen bei den automatisierten unkontrolliert angewendeten Algorithmen. Je ausgeprägter die Pathologie, desto weniger können derartige Algorithmen angewendet werden, besonders bei vielschichtigen Pathologien wie der CNV oder okkulten Läsionen, die aus RPE- und sensorischen Abhebungen, Membranen und zystoiden Räumen bestehen können (**Abb. 4**).

Der Einsatz von Algorithmen ist v. a. bei rein sensorischer Pathologie wie den zystoiden Makulaödemem wegen der besseren Identifikation der Referenzlinien (RPE und Nervenfaserschicht) deutlich besser als bei Pathologien der RPE-Choriokapillarisschicht (CNV, RPE-Abhebung). Dies belegen auch Studien zu dieser Fragestellung [10, 11].

### Ausmessen der Makula

Beim Stratus OCT III können Befundausmessungen nur im „aligned Modus“ durchgeführt werden. Nur in diesem Modus können mit Calipern die jeweiligen Dicken ausgemessen werden. Alternativ kann, sofern vorhanden, mit der Software der Integrationsmethode (DIM, s. u.) die Ausmessung auch im Raw-Data-Modus erfolgen.

Der „aligned Modus“ nimmt die Pigmentepithel-Choriokapillarisschicht zur Grundlage der Bild-Alignierung und verändert bei vorliegender ausgeprägter Pathologie in diesem Bereich, wie z. B. bei exsudativer AMD, die Darstellung der RPE-Choriokapillarisschichten am meisten. Derartige Läsionen sind am besten im „raw scan“ zu beurteilen.

- Wo findet man die Fovea, wenn aufgrund von Pathologien keine Foveavertiefung mehr vorhanden ist? Hier ist die Scanlage entscheidend: Zunächst muss die Scanposition in der FLA präzise lokalisiert werden (DIM). Durch Fixationskontrolle bei der Funduskopie kann die Fovealage in der FLA markiert werden. Denn bei schlechtem Visus ist die Fixation z. T. exzentrisch. Erst bei Gewährleistung eines Foveascans (Kontrolle über Fixation oder DIM) kann die Netzhautdicke o. a. mittig im Foveascan ausgemessen werden.
- An welchen Begrenzungen wird die Netzhautdicke gemessen? Innere Begrenzung der sensorischen Netzhaut ist die Nervenfaserschicht-Glaskörperbegrenzung, äußere Begrenzung die hochreflektive Linie der RPE/Choriokapillarisschicht. Das hochreflektive retinale Pigmentepithel wird von der inneren Netzhautseite bis zur äußeren RPE-Begrenzung gemessen.

### Technische Aspekte und Empfehlungen

- Technische Wartung einmal im Jahr (Kalibrierung) durch die Firm Zeiss/Humphrey,
- Linsenreinigung regelmäßig (wegen Wimpernkontakt),
- OCT-Bildlage mittig,
- keine staubige Umgebung (hohe Reparaturkosten),

- ruhiger Raum ohne Durchgangsverkehr.

### Bildqualitätskontrolle des OCT

Folgende Parameter sollten bei schlechter OCT-Bildqualität überprüft werden:

- verschmutzte Optik,
- Beleuchtung falsch eingestellt,
- brechende Medien des Patienten trüb,
- hohe Myopie oder Astigmatismus,
- schlechte Fixation, Nystagmus, schlechter Visus,
- fehlende Scharfeinstellung am OCT,
- zu enge Pupille,
- Bewegungsartefakte,
- Austrocknung der Hornhaut,
- fehlende Optimierung der Polarisat ionsebene.

Bedingt durch schlechten Visus oder schlechte Mitarbeit kann es sehr schwierig werden, ein OCT-Bild zu erstellen. Bei schlechter Mitarbeit muss der Patient mehrfach präzise angewiesen werden, den Fixationspunkt zu fixieren. Bei schlechter Sehschärfe kann versucht werden, mit dem (hoffentlich) besseren Partnerauge eine „externe“ Fixation aufzunehmen. Dies gilt auch für den Versuch, Befunde in der Peripherie zu erreichen. Mit viel Geduld kann dies gelingen.

### Archivierung

Beim Stratus OCT III erfolgt die Sicherung derzeit über die DVD RAM. Automatische Datenbanksicherung erfolgt beim Start des Systems. Auf Wunsch können manuell Bilder zusätzlich abgespeichert werden. Wichtig ist, dass die Daten regelmäßig gesichert werden, da sonst gar kein Zugriff auf die Bilder mehr erfolgen kann. Optimal wäre eine tägliche Datensicherung. Entscheidend für eine Nutzung der Daten ist das Vorhandensein der Patientendatenbank und der Bilddaten. Ein Datenzugriff ist nur möglich, wenn Patientendaten und die entsprechenden Bilddaten vorliegen. Ideal ist ein Netzwerks server, auf dem die Daten abgespeichert werden können (gerätefern). Der Netzwerks server wird in vielen Praxen bereits eingesetzt, um die vielen Daten der bildgebenden Labore zu sichern. Dies erhöht auch die Sicherheit der untersuchungsfernen Datensicherung in einem anderen

Raum. Wichtig bei der Datensicherung ist ebenfalls, dass diese technisch korrekt auf einem mobilen Medium und redundant erfolgt. Gerade wenn es zu unbemerkten Datenstörungen auf der Festplatte kommt und die Daten sukzessive überschrieben werden, kann ein Fehler die bisherigen Daten auch unlesbar machen.

Mit einem Tool sollten defekte Sektoren der Festplatte regelmäßig überprüft werden. Um die Datensicherung auch über Jahre von vielen Patienten zuverlässig zu sichern, ist es empfehlenswert, sich den Rat von professionellem IT-Beraterpersonal einzuholen, um in einer Praxis oder Klinik die Art der Datensicherung sowie die Häufigkeit von Kontrollen oder Festplattenwechseln festzulegen. Dies hängt auch davon ab, wieviele Daten auf dem Netzwerks server abgelegt werden: nur OCT oder auch Angiographie, HRT etc.

Alle 3 Jahre ist zu empfehlen, die Festplatten auszutauschen, da sonst Fehlerquote und Anfälligkeit exponentiell ansteigen (Kosten derzeit ca. 1000 EUR). Dies sollte in Absprache mit IT-Beratern bzw. dem OCT-Hersteller erfolgen.

Es sollte unbedingt vermieden werden, dass zusätzliche Programme oder Software auf dem OCT-Rechner installiert werden (wie z. B. Virens scanner), da hierbei das gesamte System unter Umständen unbrauchbar werden kann und aufwendig repariert werden muss.

### Schwerpunkt: Altersbedingte Makuladegeneration

### Stellenwert und Einsatzempfehlung für die Diagnostik und Therapiekontrollen bei exsudativer AMD

Als Baseline-Untersuchung sollte stets neben der klinischen Untersuchung mit eventueller Fundusphotographie und der OCT-Untersuchung eine FLA erfolgen. Nur dadurch kann eine adäquate dynamische Darstellung der aktuellen Flüssigkeitsbewegungen, eine ausreichend sichere diagnostische und differenzialdiagnostische Befundeinordnung und das sichere Abbilden der gesamten Läsion gewährleistet werden, was für eine Diagnosestellung und Therapieentscheidung wegweisend ist. Das OCT ist ein sensibler

Indikator für Flüssigkeitsansammlungen und ist diesbezüglich ca. fünfmal sensibler als die FLA [1].

Die folgenden Untersuchungs- und Kontrollintervalle entsprechen den eigenen klinischen Erfahrungen der Autorengruppe auf der Basis von Literaturangaben.

## Unterformen der exsudativen AMD und ihrer Untersuchung

### Seröse RPE-Abhebung

Zur Baseline-Untersuchung wird das FLA gut durch das OCT ergänzt. In Ausnahmefällen bei V.a. eine polypoide chorioideale Vaskulopathie (PCV) kann die Indocyaningrün- (ICG-)Angiographie weiterhelfen, um eine darunter gelegende, okkulte Neovaskularisation oder eine retinale angiomatöse Proliferation (Rap-Läsion) besser abgrenzen zu können, insbesondere wenn diese z. B. bei einer extrafoveolären Rap-Läsion einer Lasertherapie zugänglich wäre. Bei Verlaufskontrollen mit konstantem Visus und Fundusbefund reichen dann OCT-Kontrollen z. B. alle 8 bis 12 Wochen. Bei Befund- und Visusänderung sollte wieder die Baseline-Diagnostik erfolgen, um die therapeutische Strategie erneut festzulegen.

### Fibrovaskuläre RPE-Abhebung und chorioideale Neovaskularisation (CNV)

Die Baseline-Untersuchung zur differenzialdiagnostischen Differenzierung des Typs der exsudativen AMD und zur Prüfung eventueller Therapieindikationen (okkulte CNV mit „recent disease progression“, minimal klassische und überwiegend klassische CNV) benötigt primär eine FLA. Nach Indikationsstellung erfolgt therapieabhängig eine Baseline-OCT-Untersuchung; fakultativ ist in Ausnahmefällen eine zusätzliche ICG-Untersuchung. Der weitere Einsatz der verschiedenen diagnostischen Möglichkeiten erfolgt in Abhängigkeit von der eingesetzten Therapie.

**Photodynamische Therapie.** Bei Erstkontrolle nach photodynamischer Therapie (PDT) wird ein FLA evt. mit OCT nach 3 Monaten durchgeführt. Da die weitere Therapieentscheidung nach angi-

ographischer Differenzierung des Vorliegens einer Leckage bzw. von Staining (und Läsionsgröße im größten linearen Durchmesser) getroffen wird, ist die FLA in Kombination mit der klinischen Untersuchung und dem Visusverlauf richtungsgleitend. Bei weiterer Therapienotwendigkeit erfolgt erneut nach 3 Monaten (6. Monat) die Diagnostik mit FLA und evtl. OCT. Sollten weitere PDT erforderlich sein, ist die kombinierte Diagnostik mit FLA und evtl. OCT zu empfehlen, ansonsten regelmäßige Kontrollen. Entscheidend für die Wiederbehandlung ist der Nachweis von Leckage bzw. Flüssigkeit. Ein Flüssigkeitsnachweis gelingt mit dem OCT sensibler als mit der FLA, während die Angiographie besser Größenzunahmen erkennen kann und den räumlichen Überblick über die Läsion ermöglicht. Als Grundlage für die Entscheidung zur Wiederbehandlung ergänzen sich die Verfahren.

**Anti-VEGF-Therapie.** Zur Indikationsstellung ist – wie oben erwähnt – die FLA Voraussetzung. Da die weitere Indikationsstellung aber neben dem Visusverlauf und dem funduskopischen Befund auch vom Vorliegen und Ausmaß eines intraretinalen Ödems und von subretinaler Flüssigkeit abhängt, ist bei dieser Therapie die OCT-Diagnostik äußerst sinnvoll. Sie ist deshalb initial und zur Verlaufskontrolle etwa 4 bis 6 Wochen nach intravitrealer Anti-VEGF-Therapie neben Visusuntersuchung, funduskopischer Beurteilung und evtl. FLA einzusetzen. Die genauen Wiederbehandlungsparameter können nur so im weiteren klinischen Alltag definiert werden und die verschiedenen funktionellen und morphologischen Parameter in ihrer Wertigkeit zum Therapiemonitoring evaluiert werden.

### OCT-Messung und Beurteilung

Wesentlich für die Beurteilung bei der AMD ist das qualitative OCT-Bild, idealerweise der gesamten Läsion. Die quantitative Messung der OCT-Daten wie Foveadicke, Abhebung sensorische Netzhaut, zystoide Räume und RPE-Abhebungen dient v. a. wissenschaftlichen Auswertungen. Für die Routine sind nicht Einzelausmessungen von Schichten erforderlich, sondern der qualitative Scan der Läsion, v. a. im Verlauf.

Für die klinische Routine wird das zentrale foveale Feld des „retinal map“ („mean foveal retinal thickness“ bzw. „foveal subfield thickness“) für die Dickenbestimmung empfohlen, da hier bei subfoveolärer exsudativer AMD die Fovea exsudativ verdickt ist und somit eine starke Korrelation zwischen manueller Fovea-Einzelmessung und Foveakreis aus dem „retinal map“ vorliegt. Das OCT bietet die Möglichkeit, im Verlauf die Differenzen aus den Retinal Maps abzubilden („retinal map volume change“). Dieses Auswertverfahren bietet einen guten raschen Überblick, seine Aussage kann jedoch nur dann herangezogen werden, wenn die Qualitätskriterien der OCT-Untersuchung („raw data“), wie oben geschildert, erfüllt werden.

Für die Indikation zur Wiederbehandlung werden qualitativ die Vorbefunde aus dem OCT mit den aktuellen Befunden verglichen. Quantitative Ausmessungen allein können nie Grundlage der Entscheidung sein, obgleich bei akkurater Beachtung der o. g. Auswertungsschritte ihre Rolle in Zukunft in der Therapiekontrolle größer werden könnte. Dabei ist stets Folgendes zu beachten: Beurteilt wird die *Gesamtheit* der Flüssigkeitsansammlung in den einzelnen Netzhautschichten für die Entscheidung zur Wiederbehandlung. Es gibt keine Wertigkeit intra- oder subretinal gelegen ist. Zusätzlich kann das Ausmaß der exsudativen RPE-Abhebung v. a. mit dem OCT im nicht alignierten Bild hervorragend beurteilt werden:

- **Foveadicke:** automatisiert mit „central foveal thickness“ (Verlauf),
- **Flüssigkeitsansammlung:** qualitativ und in der Gesamtheit (neurosensorische Abhebung, intraretinale Zysten und RPE-Abhebung).

Für klinische Studien und wissenschaftliche Auswertung gelten andere Kriterien. Auch hier werden aus Qualitätsgründen niemals nur Analyseprogrammauswertungen allein für die Befundung genutzt. Es werden stets alle Einzelscans im alignierten und nicht alignierten Zustand mit zur Diagnostik herangezogen und im Reading Center ausgewertet. Zusätzlich wird in der Regel die Foveadicke manu-



**Abb. 5** ▲ Digitale Integrationsmethode: links das FLA-Bild mit korrespondierenden Referenzmarkern (*blau und rot*) und der OCT-Scanposition (*weiße Linie*); in der Mitte das OCT-Fundusbild mit denselben korrespondierenden Referenzmarkern (*blau und rot*) und den Markern für die OCT-Scanposition (*gelb und grün*) und rechts der OCT-Scan (seröse RPE-Abhebung). Jegliche Läsion im OCT-Scan oder auch FLA-Bild kann mit Calipern markiert und vice versa projiziert werden

ell vermessen. Ebenso kann hier als Empfehlung auch die digitale Integrationsmethode genannt werden.

### Weiterentwicklung

#### Digitale Integrationsmethode

Mit Hilfe von DIM ist eine Integration von OCT-Bildern in Fundusbilder und Angiographiebilder mit Fluoreszein oder Indocyaningrün möglich und – vor allem präzise und objektiv. Eine exakte Korrelation der Methoden ist so möglich [2, 3, 4].

Voraussetzung für die Integration ist die gemeinsame Datenbank von Fundus-, FLA-, ICG- und OCT-Bildern. Dies ist Bestandteil der DIM-Software (F. Scholz, Hamburg). Korrespondierende Gefäßgabelungen müssen manuell auf dem Angiogramm und Fundusbild des OCT markiert werden. Mit DIM erfolgt die präzise Integration des OCT-Scans in das Angiogramm (Fundusbild oder ICG). Es kann jedes digital vorliegende Bild (klinisches Fundusbild, Infrarot, Autofluoreszenz) mit dem OCT korreliert und integriert werden. Auch können so viele OCT-Scans wie gewünscht integriert werden. Jede Läsion im OCT kann in DIM mit Calipern markiert und in das Angiogramm eingeblendet werden.

#### Klinische Studien

Die digitale Integrationsmethode ist Voraussetzung für Studien, die anhand des

OCT eine Aussage ableiten. Die korrekte Scanlage kann auch von Reading Centern jederzeit nachvollzogen und damit bewiesen werden. Wichtig für die Aussagekraft von Studien ist die Sicherheit, dass die OCT-Scans im Verlauf immer an derselben Stelle waren. Dies ist ganz eminent wichtig für Verlaufskontrollen bezüglich einer evidenzbasierten Medizin.

#### Verlaufskontrollen

Hier ist die digitale Integrationsmethode für die Sicherheit der identischen Scanlokalisierung obligat. Zudem überwacht DIM durch das Retinal-Tracking-System (RTS) noch mögliche Bewegungsartefakte. Mit Hilfe einer Videokamera wird der Scanvorgang im OCT-Fundusbild erfasst und anhand der Gefäßgabelungen der korrekte Verlauf kontrolliert und mit einer Scanlinie dokumentiert. Bewegungsartefakte sind durch Bewegungen des Fundus während des Films zu erkennen. Die OCT-Kontrollen sollten bei den Verlaufskontrollen immer neben den FLA durchgeführt werden (▣ Abb. 5).

#### Fundus-Enhancement-System

Für DIM ist es notwendig, dass die Fundusbildqualität im OCT sehr gut ist. Dies ist beim Stratus OCT III oft nicht der Fall. Daher wurde zur weiteren Optimierung das FES entwickelt, um die Anwendbarkeit von DIM von ca. einem Drittel auf fast 100% zu erhöhen. Dazu wurde

eine hochauflösende Funduskamera mit spezieller Optik und optimierter Software (Synchronisation) zur hochwertigen Fundusaufnahme bei der OCT-Untersuchung entwickelt. Mit Hilfe von FES kann der Fundus jedes Patienten, bei dem man auch ophthalmoskopisch den Fundus erkennen kann, scharf abgebildet werden (▣ Abb. 6).

#### Retinal-Tracking-System

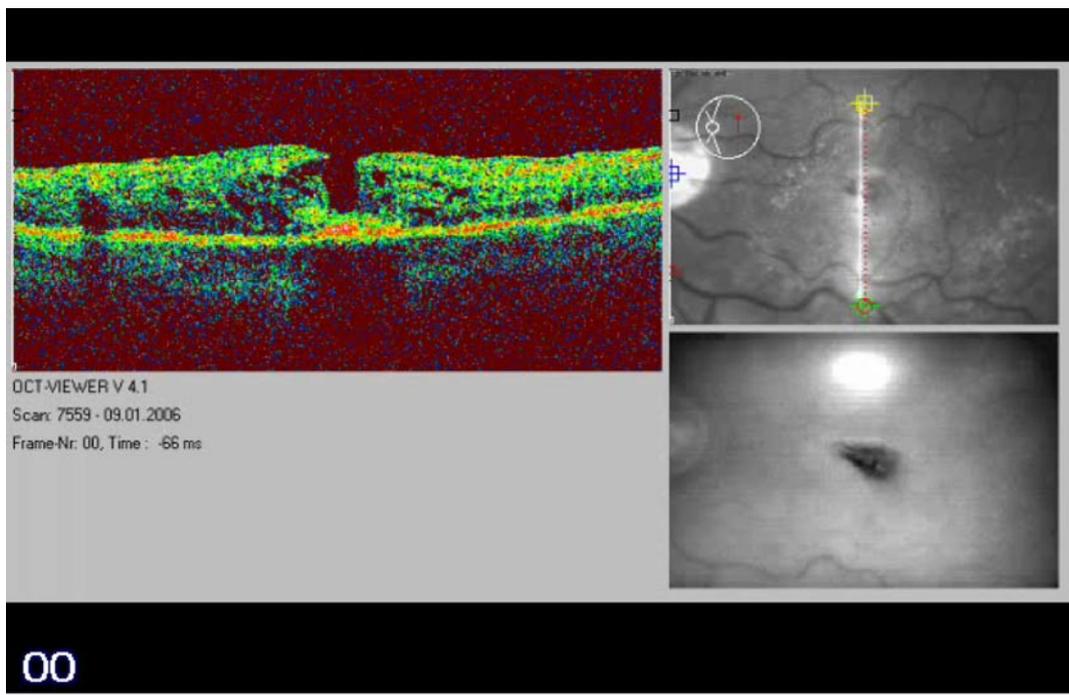
Wegen der bestehenden Unsicherheit der Scanlage des OCT im Fundusbild wurde eine Videoüberwachung während der OCT-Scanuntersuchung entwickelt (▣ Abb. 7). Das Problem der Scanposition besteht seit Beginn der OCT-Ära. Mit einer Videokamera wird der Fundus während des Scanvorgangs aufgenommen und somit können Bewegungsartefakte erkannt werden. Der tatsächliche Scanverlauf wird im Fundusbild neben dem geraden OCT-Scan eingeblendet (Ist-Soll-Vergleich).

#### Ausblick

Neuere Weiterentwicklungen von OCT-Geräten wie u. a. das Cirrus OCT der Firma Zeiss Humphrey und das Spectralis OCT von Heidelberg Engineering zeigen zusätzliche Verbesserungen. Zum einen hat sich die Auflösung durch höhere Scanzahl und schnellere Aufnahmezeit (Cirrus und Spectralis) sowie durch ein Rauschunterdrückungssystem (Spectra-



**Abb. 6** ▶ Fundus-Enhancement-System (derselbe Patient): rechts ohne FES (Originalfundusbild des OCT) und links mit FES



**Abb. 7** ▶ Retinal-Tracking-System: links das OCT-Scanbild, oben rechts das OCT-Fundusbild während des Scanvorgangs mit der eingblendeten Linie als tatsächlicher Scanverlauf und unten rechts die Infrarotaufnahme des Fundusbilds (Ausschnitt aus dem Video)

lis) verbessert. Das Risiko von Augenbewegungsartefakten kann neuerdings bei den Macular-Cube-Scanprogrammen durch Überlagerung (Cirrus OCT) oder durch Echtzeit-Eye-Tracking (Spectralis) kompensiert werden. Damit ist das RTS-System des Stratus OCT nicht mehr erforderlich. Das Fundus-Enhancement-System ist aufgrund der sehr guten Fundusbildqualität bei beiden neuen Geräten verzichtbar.

Mit neueren Techniken und Software Tools wird die Messgenauigkeit durch höhere Auflösung und Sicherheit der Scanposition verbessert. Ausmessen und Datenaquisition wird schneller und automatisiert („volumen retinal map“). Fehler-

quellen wie Bewegungsartefakte können ausgeschlossen werden und es gelingt eine 3D-Darstellung.

Besonderer Vorteil der neuen Gerätegeneration ist die Sicherheit der Scanposition (Ausschluss Bewegungsartefakte) und die hohe Zuverlässigkeit, dass die gesamte Läsion im Macular Cube (Quadrat) erfasst wird. Damit sind zwei wesentliche Schwächen der bisherigen Generation beseitigt. Der Cube bietet den großen Vorteil, dass vom gesamten Quadrat die Dicken und ein Volumen berechnet werden können. Dies ist aber nur dadurch valide, da die Auflösung deutlich besser ist und die Segmentierung der Netzhautschichten nun eine selektive Vo-

lumenmessung erlaubt. Allerdings gibt es auch hier bei unscharfen Grenzlinien Fehlmessungen.

Grundsätzlich ist jedoch mit Macular Cube eine Makulavolumenmessung möglich und erlaubt einen Vergleich im Verlauf nach Therapie. Einzelläsionen werden sicherer erkannt, wiedergefunden und damit nachverfolgt.

Welche Scanprogramme sich bei den einzelnen neuen Geräten für die klinische Routineanwendung als sinnvoll und zeitsparend erweisen, wird die klinische Erprobung zeigen.

## Fazit für die Praxis

Die optische Kohärenztomographie ist bei therapeutischen Verlaufskontrollen inzwischen gerade bei der AMD von größter Bedeutung. Umso wichtiger sind standardisierte und konstante OCT-Untersuchungsparameter, die die Aussagekraft und Zuverlässigkeit des OCT im Verlauf der Behandlung für die Patienten erhöhen.

## Korrespondenzadresse

PD Dr. A. Hassenstein

Universitäts-Augenklinik Hamburg Eppendorf  
Martinistraße 52, 20251 Hamburg  
hassenstein@uke.uni-hamburg.de

**Interessenkonflikt.** Der korrespondierende Autor weist auf folgende Beziehung/en hin: F. Scholz ist der Entwickler der digitalen Integrationsmethode.

## Literatur

- Goebel W, Kretzchmar-Gross T (2002) Retinal thickness in diabetic retinopathy: A study using Optical Coherence Tomography (OCT). *Retina* 22(6):759–767
- Hassenstein A, Richard G, Inhoffen W, Scholz F (2007) Die digitale Integrationsmethode (DIM): ein neues Verfahren zur präzisen Korrelation von OCT und Fluoreszenzangiographie. *Spektrum der Augenheilkunde* 21(1):43–48
- Hassenstein A, Inhoffen W, Scholz F, Richard G (2007) Clinical relevance of the new digital integration method for the precise correlation of fluorescein angiographic and optical coherence tomography findings. *Expert Review of Ophthalmology* 2(6):911–916
- Hassenstein A, Inhoffen W, Scholz F, Richard G (2008) Die Bedeutung der digitalen Integrationsmethode (DIM) von OCT und FLA für die klinische Anwendung. *Klinische Monatsblätter* 225:1–7
- Hee MR, Izatt JA, Swanson EA et al (1995) Optical coherence tomography of the human retina. *Arch Ophthalmol* 113:325–332
- Hee MR, Baumal CR, Puliafito CA et al (1996) Optical coherence tomography of age-related macular degeneration and choroidal neovascularization. *Ophthalmology* 103:1260–1270
- Huang D, Swanson EA, Lin CP et al (1991) Optical coherence tomography. *Science* 254:1178–1181
- Puliafito CA, Hee MR, Lin ChP et al (1995) Imaging of macular diseases with optical coherence tomography. *Ophthalmology* 102:217–229
- Puliafito CA, Hee MR, Schuman JS, Fujimoto JG (2004) Optical coherence tomography of ocular diseases SLACK incorporated, 6900 grove road, Thorofare, NJ 1-55642-609-7, pp 3–34 2<sup>nd</sup> edn
- Sadda SR, Tan O, Walsh AC, Schuman JS et al (2006) Automated detection of clinically significant macular edema by grid scanning optical coherence tomography. *Ophthalmology* 113(7):1187 e1–e12
- Sadda SR, Wu Z, Walsh AC, Richine L et al (2006) Errors in retinal thickness measurements obtained by optical coherence tomography. *Ophthalmology* 113(2):285–293
- Sahni J et al (2005) Optical coherence tomography in photodynamic therapy for subfoveal choroidal neovascularisation secondary to age related macular degeneration: a cross sectional study. *Br J Ophthalmol* 89:316–320
- Salinas-Alaman A et al (2005) Using optical coherence tomography to monitor photodynamic therapy in age related macular degeneration. *Am J Ophthalmol* 140:23–28
- Sandhu SS, Talks SJ (2005) Correlation of optical coherence tomography, with or without additional colour fundus photography, with stereo fundus fluorescein angiography in diagnosing choroidal neovascular membranes. *Br J Ophthalmol* 89:967–970
- Swanson EA, Izatt JA, Hee MR et al (1993) In vivo retinal imaging by optical coherence tomography. *Opt Lett* 18:1864–1866
- Talks J, Koshy Z, Chatzinikolas K (2007) Use of optical coherence tomography, fluorescein angiography and indocyanine green angiography in a screening clinic for wet age-related macular degeneration. *Br J Ophthalmol* 91:600–601
- Toth CA, Narayan DG, Boppart SA et al (1997) A comparison of retinal morphology viewed by optical coherence tomography and by light microscopy. *Arch Ophthalmol* 115:1425–1428

## Licht zerstört Tumoren im Auge

Erste Studie zur rahmenlosen, radiochirurgischen Behandlung des Aderhautmelanoms mittels Robotertechnologie belegt Wirksamkeit

Das Aderhautmelanom ist eine seltene Krebserkrankung des Auges, jährlich erkranken knapp 500 Menschen in Deutschland daran. Die klassische Behandlung großer Aderhautmelanome besteht in der Entfernung des kompletten Augapfels. Mittlere Melanome werden meist mit einem lokalen Strahlenträger behandelt (Brachytherapie mit Ru-106). Mit der strahlenchirurgischen Cyberknife-Methode können vor allem große Tumore schmerzfrei und ohne operativen Eingriff zerstört werden.

Die Behandlungsalternativen reichen von der radioaktiven Bestrahlung bis hin zum Beschuss der Tumoren mit Photonen. Eine Variante dieser Photonen-Bestrahlung ist die Cyberknife-Technologie. Dabei werden aus vielen verschiedenen Richtungen einzelne hoch energetische Lichtteilchen aus einem Beschleuniger auf den Tumor gefeuert. Durch ständig wechselnde Einstrahlrichtungen bleibt das umliegende Gewebe weitgehend geschont, im Zielgebiet aber werden die Krebszellen maximal geschädigt und sterben schließlich ab. Eine ca. 3-stündige einmalige Behandlung ist bis auf die örtliche Betäubung der Augenmuskulatur völlig schmerzfrei. Der Patient kann zudem nach der Therapie nach Hause gehen.

In einer aktuell veröffentlichten Studie konnten die Ärzte belegen, dass Cyberknife eine passende Alternative zur Behandlung des Aderhautmelanoms darstellt, die für Patienten sicher, effektiv und komfortabel ist. Zudem sind die Kosten bei dieser ambulanten Behandlung meist weitaus geringer als bei einem stationären Aufenthalt im Krankenhaus. Voraussetzung dafür ist die Behandlungsplanung und -durchführung durch ein erfahrenes, interdisziplinäres Team aus Augenärzten, Strahlenonkologen und -chirurgen sowie Radiologen.

Quelle:

Europäisches Cyberknife Zentrum  
München-Großhadern

<http://www.cyber-knife.net>

<http://augenkl.klinikum.uni-muenchen.de>