

Optische Kohärenztomographie

S. Wolf

- 10.1 Einleitung – 168
- 10.2 Technik der SD-OCT – 168
- 10.3 SD-OCT bei altersabhängiger Makulopathie – 169
- 10.4 OCT bei geographischer Atrophie – 171
- 10.5 OCT bei exsudativer AMD – 171
- 10.6 SD-OCT für Nachuntersuchungen und Therapiekontrolle bei der exsudative AMD – 172
- Literatur – 174

Kernaussagen

- Die Fluoreszein-Angiographie ist zwar der Goldstandard für die Diagnostik der exsudativen AMD, aber für die optische Kohärenztomographie (OCT) spielt eine zunehmende Rolle in der klinischen Diagnostik.
- Die OCT-Bildgebung bei der AMD wird eingesetzt um die Netzhautdicke zu bestimmen, intra- oder subretinale Flüssigkeitsansammlungen zu detektieren, die Integrität der einzelnen Netzhautschichten zu beurteilen und subretinale Pathologien darzustellen.
- Die entscheidenden Vorteile der SD-OCT-Technik sind die hohe Scangeschwindigkeit und die verbesserte Auflösung
- Bei der altersabhängigen Makulopathie erlaubt die SD-OCT-Technik eine Differenzierung der verschiedenen Drusenarten und Abschätzung des Schädigungsgrades der äußeren Netzhautschichten.
- Bei der atrophen AMD lässt sich mit Hilfe der SD-OCT-Bildgebung der Verlust der Photorezeptoren nachweisen und pathologische Veränderungen im Randbereich der Atrophie quantifizieren.
- Bei der exsudativen AMD lassen sich mit der SD-OCT-Technik die verschiedenen Typen einer CNV diagnostizieren.
- Die qualitative Beurteilung von SD-OCT-Netzhautschnitten und Bestimmung der Netzhautdicke ist für die Therapiekontrolle einer Anti-VEGF-Therapie bei exsudativer AMD entscheidend.

10.1 Einleitung

Fortschritte in der bildgebenden Diagnostik haben zu einem besseren Verständnis der altersabhängigen Makuladegeneration (AMD) geführt. Aktuell ist die Fluoreszein-Angiographie der Goldstandard zur Darstellung von pathologischen Veränderungen, für die Therapiekontrolle und die Definition der verschiedenen Typen der exsudativen AMD. In den letzten Jahren hat jedoch die optische Kohärenztomographie (OCT) die Bildgebung in der Ophthalmologie revolutioniert. Die Einführung des OCT 1991 [13, 16, 25] und seine Anwendung in der klinischen Routine seit 1995 [1, 2, 4, 7, 8, 9, 11, 23, 35, 36] hat unser Verständnis verschiedener Netzhauterkrankungen verbessert. Die Einführung des Spectral-Domain-OCT (SD-OCT) [20, 32] hat zu einer erheblichen Verbesserung der Bildqualität geführt. Hierzu tragen die erheblich höhere Scangeschwindig-

keiten und die bessere Bildverarbeitung bei. Durch diese Verbesserungen der Technik ist die klinische Bedeutung des OCT dramatisch angestiegen. Zurzeit wird die OCT-Bildgebung bei der AMD verwendet um die Netzhautdicke zu bestimmen, intra- oder subretinale Flüssigkeitsansammlungen zu detektieren, die Integrität der einzelnen Netzhautschichten zu beurteilen, und subretinale Pathologien darzustellen.

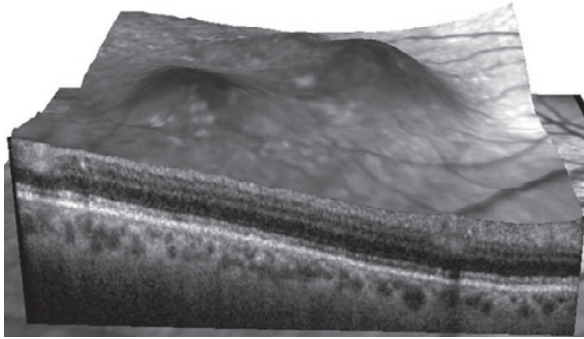
10.2 Technik der SD-OCT

Das OCT basiert auf einer interferometrischen Bildgebungstechnik, die Schnittbilder erzeugt, indem die tiefenaufgelösten Reflexionen eines wenig kohärenten Lasers detektiert werden. Spektral oder Fourier-Domain-OCT bedeutet, dass das optische Spektrum des »Low-coherence«-Interferometers mittels Fourier-Transformation ausgewertet wird. Hieraus können in Objekten mit verschiedenen Schichten, so wie in der Retina, die Dicke und Reflektivität dieser Schichten bestimmt werden. Dieses erlaubt die Rekonstruktion eines A-Scans. Die Spektral-OCT(SD-OCT)-Technik ermöglicht die Aufnahme von 25.000–100.000 A-Scans/s. Die axiale Auflösung der A-Scans eines OCT ist von der Bandbreite der »Low-coherence«-Lichtquelle abhängig. Die meisten kommerziellen OCT-Systeme verwenden eine **superlumineszente Diode** (SLD) mit einer Bandbreite von etwa 20 nm. Dieses ergibt eine axiale Auflösung von 5–10 µm. Die transversale Auflösung eines OCT Bildes ist durch die Optik des Auges, die niedrige numerische Apertur des Beleuchtungsstrahls und die Zahl der A-Scans, die zur Rekonstruktion eines B-Scans verwendet werden, begrenzt [10]. Die Penetration des Laserlichts durch das retinale Gewebe limitiert die Bildtiefe. Kommerzielle OCT-Systeme verwenden Lichtquellen mit einer Wellenlänge zwischen 800–900 nm, was eine gute Darstellung der Retina, aber begrenzte Abbildung der Chorioidea erlaubt. Zur besseren Darstellung der Chorioidea können Wellenlängen über 1000 nm verwendet werden [10, 26, 37].

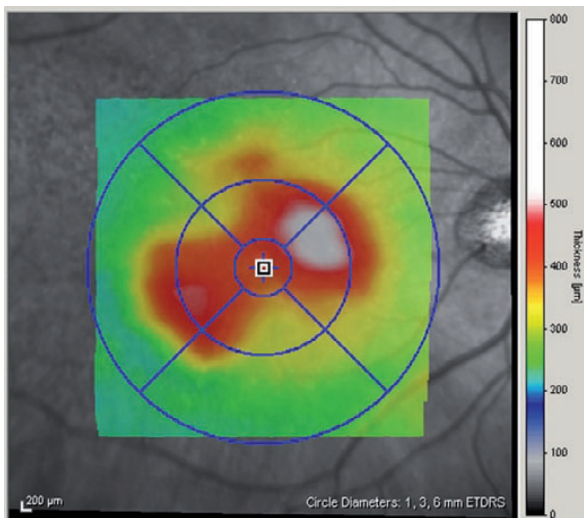
Alle kommerziell erhältlichen SD-OCT-Systeme erzeugen OCT-Linienscans mit hoher Auflösung. Ebenfalls verfügen alle SD-OCT-Systeme über verschiedene Scan-Muster zur Erzeugung von dreidimensionalen OCT-Bildern (■ Abb. 10.1). Zusätzlich gibt es spezielle Scan-Muster um die Nervenfasern um die Papille darzustellen. Durch Segmentierung der Netzhautschichten lassen sich Dickenkarten aus den dreidimensionalen OCT-Bildern berechnen (■ Abb. 10.2) [18, 19, 30, 33, 34]. ■ Abb. 10.3 zeigt ein SD-OCT-Bild eines gesunden Auges eines 80-jährigen Probanden. Die Aufnahme wur-

de mit dem Spectralis HRA+OCT (Heidelberg Engineering, Heidelberg, Germany) und zeigt die Integrität aller Netzhautschichten. Zur Verbesserung des Signal/Rausch-Verhältnisses wurden 36 einzelne OCT-Scans gemittelt, was eine Verbesserung des Signal/Rausch-Ver-

hältnisses um den Faktor 6 bedeutet. Die Mittelung von OCT-Scans erfordert die Korrektur von Augenbewegungen, die während der Bildaufnahme auftreten. Zurzeit ist das Spectralis HRA+OCT das einzige kommerzielle System, das Korrektur von Augenbewegungen in Echtzeit ermöglicht.



■ **Abb. 10.1** Volumen- der 3D-Scan bei einem Patienten mit exsudativer AMD aufgenommen mit dem Spectralis HRA+OCT. Der 3D-Scan deckt ein Areal von 6x6 mm ab und setzt sich aus 50 Einzelscans zusammen



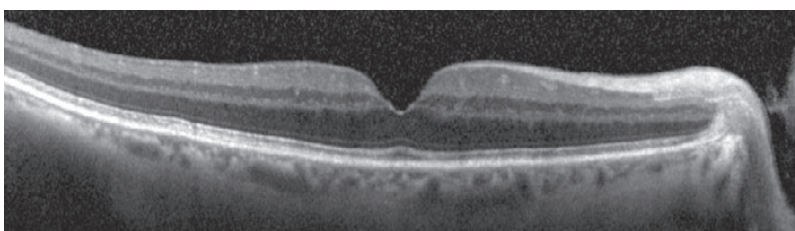
■ **Abb. 10.2** Dickenkarte, die aus dem 3D-Scan aus Abb. 10.1 rekonstruiert wurde

10.3 SD-OCT bei altersabhängiger Makulopathie

Die Kennzeichen der altersabhängigen Makulopathie (ARM) sind verschiedene Arten von **Drusen** (weiche, konfluierende oder retikuläre) und Veränderungen des retinalen Pigmentepithels (RPE). Bei den verschiedenen Typen von Drusen handelt es sich um »basal laminar deposits«, weiche, konfluierende und retikuläre Drusen.

Mit dem SD-OCT können weiche Drusen als Erhebungen des RPE dargestellt werden. Drusen sind mittelreflektiv und sehr oft kann man die Bruch-Membran unter den Drusen sehen (■ Abb. 10.4 und ■ Abb. 10.5). Drusen sind sehr variabel in ihrer Größe. Über großen Drusen kann das RPE-Band, der IS/OS-Komplex, und die Membrana limitans externa irregulär oder zerstört sein (■ Abb. 10.6). Diese Veränderungen deuten auf einen Schaden der Photorezeptoren im Bereich großer Drusen hin und können die Sehstörungen, die von Patienten mit großen Drusen berichtet werden, erklären.

Retikuläre Drusen in SD-OCT-Bildern sind als ein verdicktes Reflexionsband über dem RPE zu erkennen (■ Abb. 10.7). In der Regel sind die äußeren Netzhautschichten im Bereich von retikulären Drusen nicht verändert. Sehr große weiche Drusen können als drusenoides Pigmentepithelabhebungen (PED) imponieren. In SD-OCT-Bildern zeigt eine drusenoides PED eine deutliche Abhebung des RPE, die Druse selbst erscheint hyporeflektiv und die Bruch-Membran ist gut zu sehen (■ Abb. 10.8). Pigmentveränderungen erscheinen in SD-OCT-Scans meist hyperreflektiv. Sie können bis zu den inneren Netzhautschichten reichen und zu lokalen Störungen der retinalen Schichten führen.



■ **Abb. 10.3** Normale Netzhaut bei einem 80-jährigen Mann aufgenommen mit dem Spectralis HRA+OCT. Die einzelnen Netzhautschichten können gut abgegrenzt werden

Abb. 10.4 SD-OCT-Scan eines 65 Jahre alten Mannes mit großen Drusen. Die Drusen sind unter dem RPE zu sehen und weisen eine mittlere Reflektivität auf

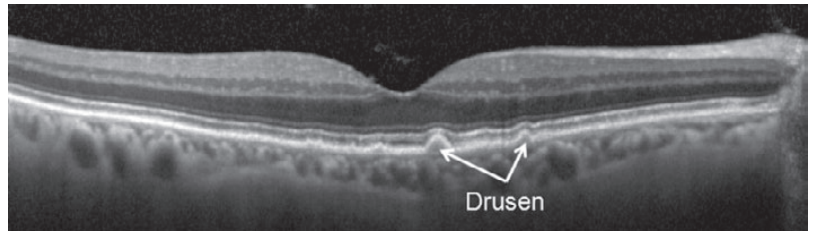


Abb. 10.5 SD-OCT-Bild der Makula eines 72 Jahre alten Patienten mit großen Drusen. Unter den Drusen kann man die Bruch-Membran sehen. Die äußeren Netzhautschichten über den Drusen zeigen deutliche Veränderungen

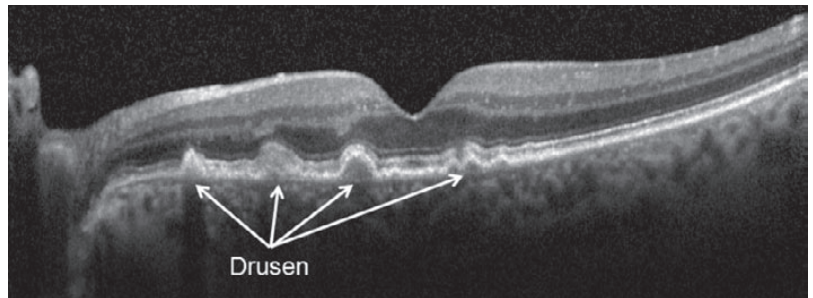


Abb. 10.6 SD-OCT-Bild von der Makula bei einer 66-jährigen Patientin mit vielen Drusen. Die äußeren Netzhautschichten oberhalb der Drusen weisen deutliche Zeichen einer Destruktion auf

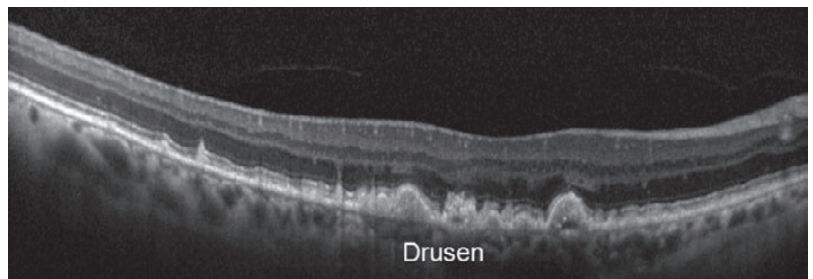


Abb. 10.7 SD-OCT-Bild einer Patientin mit retikulären Drusen. Der OS/OS-Komplex ist deutlich gewellt und unterhalb sieht man ein verdicktes hyperreflektives Band

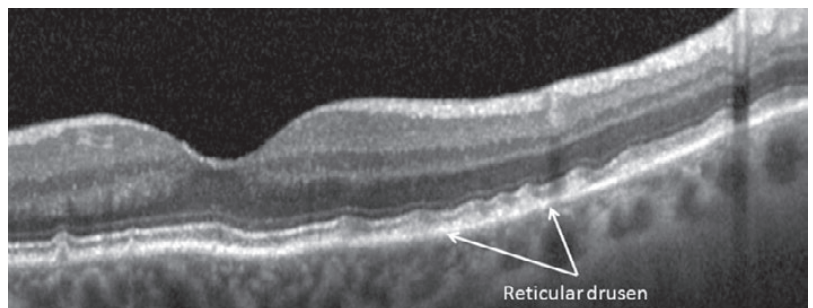
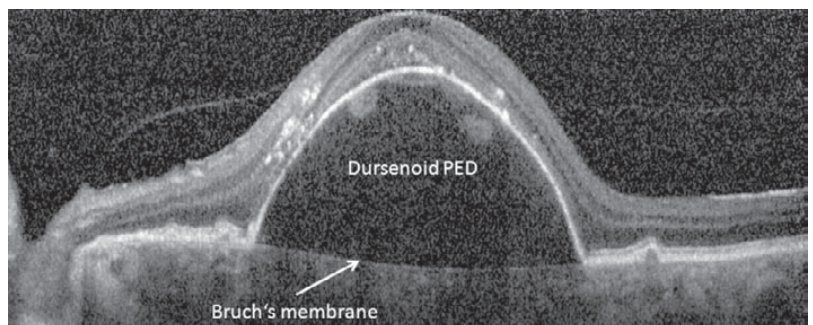
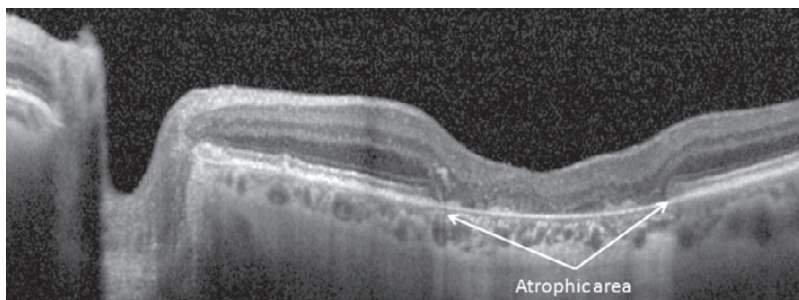
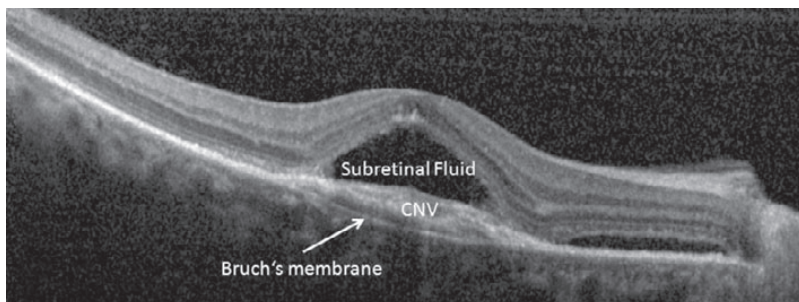


Abb. 10.8 SD-OCT-Bild einer Patientin mit einer drusenoiden PED. Das Drusenmaterial ist hyporeflektiv. Die Bruch-Membran ist deutlich unterhalb der drusenoiden PED sichtbar





■ **Abb. 10.9** SD-OCT-Bild eines 82-jährigen Patienten mit geographischer Atrophie. Man erkennt eine Verdünnung des RPE, den Verlust des OS/IS-Komplexes und der Membrana limitans externa



■ **Abb. 10.10** SD-OCT-Scan bei einer 77-jährigen Patientin mit okkulten CNV. Man erkennt die CNV als hyperreflektive Struktur unter dem RPE. Zusätzlich ist die Bruch-Membran unter der CNV und subretinale Flüssigkeit zu sehen

10.4 OCT bei geographischer Atrophie

Eine geographische Atrophie (GA) ist häufig der Grund für einen schweren Visusabfall bei Patienten mit altersabhängiger Makuladegeneration (AMD) [14, 22, 31]. Die Atrophie betrifft nicht nur das RPE, sondern auch die äußere neurosensorischen Netzhaut und die Chorio-kapillaris [11, 15, 35]. In Arealen einer geographischen Atrophie zeigen SD-OCT-Scans eine Verdünnung oder einen Verlust des RPE (■ Abb. 10.9). Die Bruch-Membran ist in der Regel als dünne Linie sichtbar. Die äußeren Netzhautschichten wie der IS/OS-Komplex und die Membrana limitans externa sind in der Regel massiv verändert oder nicht darstellbar. Die äußere Körnerschicht kann in Bereichen der geographischen Atrophie fehlen. Die äußere plexiforme Schicht ist häufig in direktem Kontakt zum RPE, was zu einer deutlichen Verdünnung der Netzhaut in diesen Arealen führt. Die inneren Netzhautschichten zeigen in der Regel wenige Veränderungen. In der Übergangszone zwischen normaler Netzhaut und atrophischen Arealen kann man migriertes RPE und schwere Veränderungen der äußeren Netzhautschichten nachweisen [11, 35].

10.5 OCT bei exsudativer AMD

Die exsudative oder neovaskuläre AMD schließt chorioideale Neovaskularisationen (CNV), retinale Pigmentepithelabhebungen, PRE-Risse, fibrovaskuläre Narben, subre-

tinale Massenblutungen und Glaskörperblutungen ein. Die Patienten bemerken Verzerrt-Sehen, einen Visusabfall oder Zentralskotome. Die Symptome werden durch subretinale oder intraretinale Flüssigkeit, Blut oder Zerstörungen der Photorezeptoren und des RPE durch fibrovaskuläres Narbengewebe verursacht [3, 12]. Der »Goldstandard« für die Diagnose und Klassifikation des exsudativen AMD ist die **Fluoreszein-Angiographie** [21]. Die neovaskuläre Läsion kann als klassische und okkulte CNV klassifiziert werden. Eine okkulte CNV kann in der Fluoreszein-Angiographie zwei unterschiedliche Fluoreszenz-Muster aufweisen:

- Fibrovaskuläre Pigmentepithelabhebung
- Spätleckage unbestimmter Herkunft

Bei der fibrovaskulären Pigmentepithelabhebung sieht man eine irreguläre Abhebung des RPE mit punktförmiger Hyperfluoreszenz in der Spätphase der Angiographie. Bei der Spätleckage unbestimmter Herkunft sieht man in der Spätphase der Angiographie eine Hyperfluoreszenz, deren Herkunft in der Frühphase nicht bestimmt werden kann.

In SD-OCT-Bildern ist die neovaskuläre Läsion meist als hyperreflektive Struktur mit begleitender sub- oder intraretinaler Flüssigkeitsansammlung sichtbar (■ Abb. 10.10). Bei der okkulten CNV ist die hyperreflektive Struktur meist unter dem PRE lokalisiert, während bei klassischer oder gemischter CNV die hyperreflektive Struktur anterior des RPE zu sehen ist (■ Abb. 10.11). Andere Zeichen der neovaskulären Läsion wie harte Exsudate oder Blutungen sind in der Regel als hyperreflektive Strukturen sichtbar.

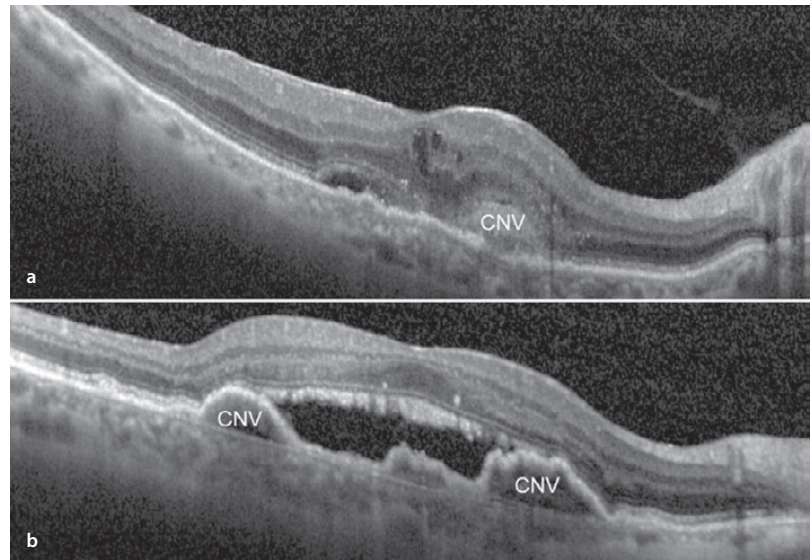


Abb. 10.11a,b a SD-OCT-Bild einer klassischen CNV bei einer 68-jährigen Patientin. Die CNV ist als hyperreflektive Struktur anterior des RPE zu sehen. b SD-OCT-Bild einer okkulten CNV bei einer 72-jährigen Patientin mit fibrovaskulärer PED. Der die Neovaskularisation ist unterhalb des RPE zu erkennen

10.6 SD-OCT für Nachuntersuchungen und Therapiekontrolle bei der exsudativen AMD

Die Behandlung der exsudativen AMD wurde durch die Einführung der intravitrealen Anti-VEGF-Therapie revolutioniert [5, 6, 24, 27, 28]. Heute sind wichtige Fragestellungen bei der Anti-VEGF-Therapie für die exsudative AMD das genaue Therapieschema und insbesondere Wiederbehandlungskriterien. Im Allgemeinen wird eine Wiederbehandlung bei allen Augen mit aktiver neovaskulärer Läsion empfohlen. Die OCT-Technik kann helfen, diese Augen zu identifizieren. Auch wenn es bisher keine prospektiven Studien gibt, die den prädiktiven Wert der SD-OCT-Bildgebung für die Wiederbehandlung bei der exsudativen AMD belegen, wird die OCT-Technik doch breit eingesetzt, um die Wiederbehandlung mit Anti-VEGF-Medikamenten zu steuern.

Verschiedene Studien haben die mit einem OCT bestimmte Netzhautdicke als Wiederbehandlungskriterium untersucht [17, 29]. Allerdings wurden diese Studien mit der älteren Time-Domain-OCT-Technologie durchgeführt. Da jedoch die Bestimmung der Netzhautdicke bei pathologisch veränderten Netzhautschichten auch mit der neuen SD-OCT-Technik sehr variabel ist, wurde vorgeschlagen, nicht die Netzhautdicke (Abb. 10.12), sondern qualitative Parameter wie das Vorliegen intra- oder subretinaler Flüssigkeit (Abb. 10.13) heranzuziehen. In einzelnen OCT-Scans können jedoch kleine Flüssigkeitsansammlungen leicht übersehen werden; deshalb wird

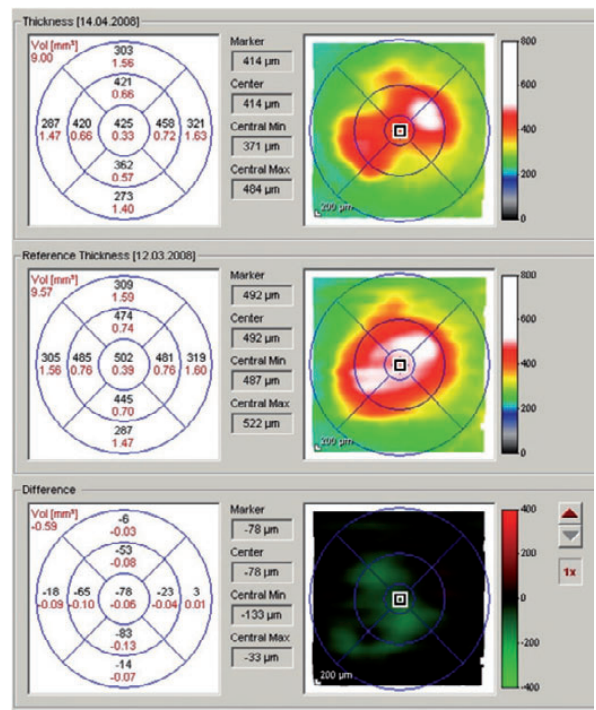
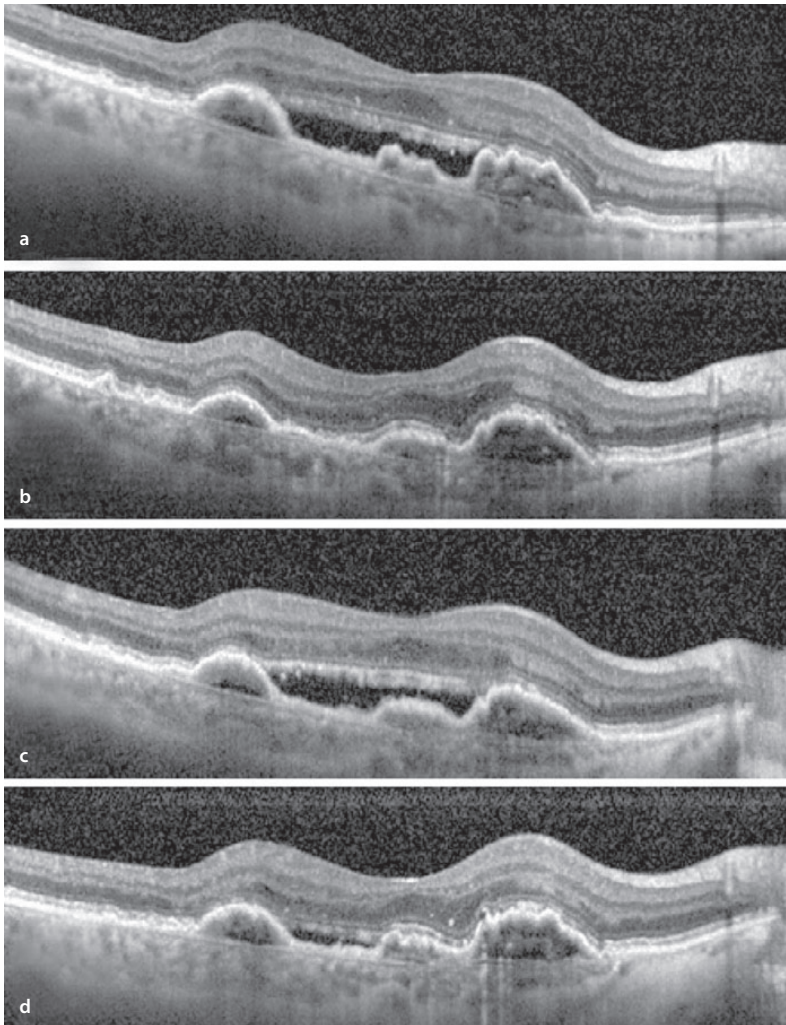
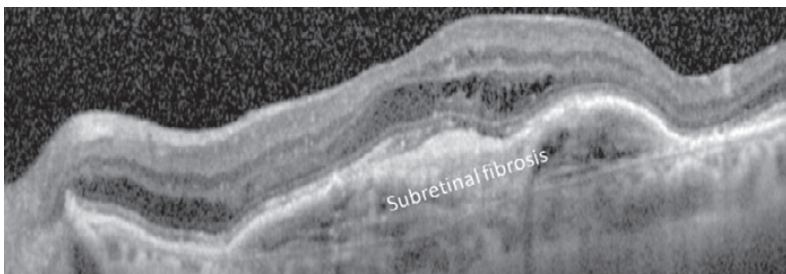


Abb. 10.12 Retinale Dickenkarten, die von dreidimensionalen OCT-Scans mit 49 B-Scans berechnet wurden. Die oberste retinale Dickenkarte wurde 4 Wochen nach einer intravitrealen Anti-VEGF-Therapie wegen exsudativer AMD aufgenommen. Die Dickenkarte unterhalb zeigt die Netzhautdicke direkt vor der Injektion. Man kann eine Reduktion der zentralen Netzhautdicke von 502 µm auf 425 µm. Die unterste Dickenkarte zeigt die Dickenänderung zwischen den beiden Messzeitpunkten



■ **Abb. 10.13a–d** Serie von 4 SD-OCT-Bildern einer Patientin mit okkulten CNV, die mit intravitrealer Anti-VEGF-Therapie behandelt wird. **a** SD-OCT-Scan vor der Therapie. Man erkennt eine fibrovaskuläre PED mit deutlicher subretinaler Flüssigkeit. **b** SD-OCT-Scan 4 Wochen nach intravitrealer Anti-VEGF-Therapie ohne subretinale Flüssigkeit. **c** Auftreten erneuter subretinaler Flüssigkeit nach Therapieunterbrechung für 8 Wochen. **d** SD-OCT-Scan 4 Wochen nach erneuter intravitrealer Anti-VEGF-Therapie. Es ist noch etwas subretinale Flüssigkeit zu sehen, was anzeigt, dass die neovaskuläre Läsion weiterhin aktiv ist und weiterer Therapie bedarf



■ **Abb. 10.14** SD-OCT-Bild der Makula einer 72-jährigen Patientin mit subretinaler Fibrose als Folge einer okkulten CNV. Man erkennt intraretinale zystoide Veränderungen, die auf eine Netzhautdegeneration hinweisen

empfohlen, dreidimensionale OCT-Scans, die einen großen Teil der Makula abdecken, zu verwenden. Die Scans sollten nach dem Vorliegen sub- oder intraretinaler Flüssigkeit abgesucht werden. Zu beachten ist jedoch, dass intraretinale Flüssigkeit nicht nur ein Zeichen einer aktiven CNV, sondern auch Zeichen eines degenerativen Prozesses bei fibrovaskulären Narben sein kann (■ Abb. 10.14).

Fazit

Die SD-OCT-Technologie hat die Bildgebung bei retinalen Erkrankungen entscheidend verbessert. So wird die SD-OCT-Bildgebung zur Diagnostik und Therapiekontrolle der AMD eingesetzt. Insbesondere zur Steuerung einer Anti-VEGF-Therapie ist die Detektion von intra- oder subretinalen Flüssigkeitsansammlungen in SD-OCT-Bildern entscheidend.

Literatur

- [1] Arvas S, Akar S, Yolar M, Yetik H, Kizilkaya M, Ozkan S (2002) Optical coherence tomography and angiography in patients with angioid streaks. *Eur J Ophthalmol* 12(6):473–481
- [2] Barbazetto I, Burdan A, Bressler NM, Bressler SB, Haynes L, Kapetanios AD, Lukas J, Olsen K, Potter M, Reaves A, Rosenfeld P, Schachat AP, Strong HA, Wenkenstern A (2003) Photodynamic therapy of subfoveal choroidal neovascularization with verteporfin: fluorescein angiographic guidelines for evaluation and treatment – TAP and VIP report No. 2. *Arch Ophthalmol* 121(9):1253–68
- [3] Bressler NM, Silva JC, Bressler SB, Fine SL, Green WR (1994) Clinicopathologic correlation of drusen and retinal pigment epithelial abnormalities in age-related macular degeneration. *Retina* 14:130–142
- [4] Brinkmann CK, Wolf S, Wolf-Schnurrbusch UE (2008) Multimodal imaging in macular diagnostics: combined OCT-SLO improves therapeutical monitoring. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 246(1):9–16
- [5] Brown DM, Kaiser PK, Michels M, Soubrane G, Heier JS, Kim RY, Sy JP, Schneider S (2006) Ranibizumab versus verteporfin for neovascular age-related macular degeneration. *N Engl J Med* 355(14):1432–44
- [6] Brown DM, Michels M, Kaiser PK, Heier JS, Sy JP, Ianchulev T (2009) Ranibizumab versus verteporfin photodynamic therapy for neovascular age-related macular degeneration: Two-year results of the ANCHOR study. *Ophthalmology* 116(1):57–65
- [7] Brown JC, Solomon SD, Bressler SB, Schachat AP, DiBernardo C, Bressler NM (2004) Detection of diabetic foveal edema: contact lens biomicroscopy compared with optical coherence tomography. *Arch Ophthalmol* 122(3):330–5
- [8] Chang LK, Koizumi H, Spaide RF (2008) Disruption of the photoreceptor inner segment-outer segment junction in eyes with macular holes. *Retina* 28(7):969–75
- [9] de Bruin DM, Burnes D, Loewenstein J, Chen Y, Chang S, Chen T, Esmaili D, de Boer JF (2008) In-vivo three-dimensional imaging of neovascular age related macular degeneration using optical frequency domain imaging at 1050 nm. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 49(10):4545–52
- [10] Drexler W, Sattmann H, Hermann B, Ko TH, Stur M, Unterhuber A, Scholda C, Findl O, Wirtitsch M, Fujimoto JG, Fercher AF (2003) Enhanced visualization of macular pathology with the use of ultrahigh-resolution optical coherence tomography. *Arch Ophthalmol* 121(5):695–706
- [11] Fleckenstein M, Charbel Issa P, Helb HM, Schmitz-Valckenberg S, Finger RP, Scholl HP, Loeffler KU, Holz FG (2008) High resolution Spectral Domain-OCT imaging in Geographic Atrophy associated with Age-related Macular Degeneration. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 49(9):4137–44
- [12] Green WR, Key SN (1977) Senile macular degeneration: a histopathologic study. *Trans Am Ophthalmol Soc* 75:180–254
- [13] Hee MR, Puliafito C, Carlton W, Duker J, Reichel E, Rutledge B, Schuman J, Swanson E, Fujimoto J (1995) Quantitative Assessment of Macular Edema with Optical Coherence Tomography. *Arch. Ophthalmol* 113(8/95):1019–1029
- [14] Holz F, Wolfensberger T, Piquet B, Gross-Jendroska M, Wells J, Minassian D, Chisholm I, Bird A (1994) Bilateral macular drusen in age-related macular degeneration. *Ophthalmology* 101:1522–1528
- [15] Holz FG, Bellman C, Staudt S, Schutt F, Volcker HE (2001) Fundus autofluorescence and development of geographic atrophy in age-related macular degeneration. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 42(5):1051–6
- [16] Huang D, Swanson EA, Lin CP, Schuman JS, Stinson WG, Chang W, Hee MR, Flotte T, Gregory K, Puliafito CA, et al. (1991) Optical coherence tomography. *Science* 254(5035):1178–81
- [17] Lalwani GA, Rosenfeld PJ, Fung AE, Dubovy SR, Michels S, Feuer W, Davis JL, Flynn HW, Jr., Esquiabro M (2009) A variable-dosing regimen with intravitreal ranibizumab for neovascular age-related macular degeneration: year 2 of the PRONTO Study. *Am J Ophthalmol* 148(1):43–58 e1
- [18] Legarreta JE, Gregori G, Knighton RW, Punjabi OS, Lalwani GA, Puliafito CA (2008) Three-dimensional spectral-domain optical coherence tomography images of the retina in the presence of epiretinal membranes. *Am J Ophthalmol* 145(6):1023–1030
- [19] Legarreta JE, Gregori G, Punjabi OS, Knighton RW, Lalwani GA, Puliafito CA (2008) Macular thickness measurements in normal eyes using spectral domain optical coherence tomography. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging* 39(4 Suppl):S43–9
- [20] Leitgeb R, Wojtkowski M, Kowalczyk A, Hitznerberger CK, Sticker M, Fercher AF (2000) Spectral measurement of absorption by spectroscopic frequency-domain optical coherence tomography. *Opt Lett* 25(11):820–2
- [21] Macular Photocoagulation Study G (1991) Subfoveal neovascular lesions in age-related macular degeneration. Guidelines for evaluation and treatment in the Macular Photocoagulation Study. *Arch Ophthalmol* 109:1242–1257
- [22] Maguire P, Vine AK (1986) Geographic atrophy of the retinal pigment epithelium. *American Journal of Ophthalmology* 102:621–625
- [23] Massin P, Duguid G, Erginay A, Haouchine B, Gaudric A (2003) Optical coherence tomography for evaluating diabetic macular edema before and after vitrectomy. *Am J Ophthalmol* 135(2):169–77
- [24] Mitchell PR, Korobelnik JF, Lanzetta P, Holz FG, Pruenke C, Schmidt-Erfurth UM, Tano Y, Wolf S (2010) Ranibizumab (Lucentis) in neovascular age-related macular degeneration: evidence from clinical trials. *Br J Ophthalmol* 94(1):2–13
- [25] Puliafito CA, Hee MR, Lin CP, Reichel E, Schuman JS, Duker JS, Izatt JA, Swanson EA, G. FJ (1995) Imaging of macular diseases with optical coherence tomography. *Ophthalmology* 102:217–229
- [26] Puvanathan P, Forbes P, Ren Z, Malchow D, Boyd S, Bizheva K (2008) High-speed, high-resolution Fourier-domain optical coherence tomography system for retinal imaging in the 1060 nm wavelength region. *Opt Lett* 33(21):2479–81
- [27] Rosenfeld PJ, Brown DM, Heier JS, Boyer DS, Kaiser PK, Chung CY, Kim RY (2006) Ranibizumab for neovascular age-related macular degeneration. *N Engl J Med* 355(14):1419–31
- [28] Rosenfeld PJ, Rich RM, Lalwani GA (2006) Ranibizumab: Phase III clinical trial results. *Ophthalmol Clin North Am* 19(3):361–72
- [29] Rothenbuehler SP, Waeber D, Brinkmann CK, Wolf S, Wolf-Schnurrbusch UE (2009) Effects of ranibizumab in patients with subfoveal choroidal neovascularization attributable to age-related macular degeneration. *Am J Ophthalmol* 147(5):831–7
- [30] Ruggeri M, Wehbe H, Jiao S, Gregori G, Jockovich ME, Hackam A, Duan Y, Puliafito CA (2007) In vivo three-dimensional high-resolution imaging of rodent retina with spectral-domain optical coherence tomography. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 48(4):1808–14
- [31] Sunness JS, Gonzalez-Baron J, Applegate CA, Bressler NM, Tian Y, Hawkins B, Barron Y, Bergman A (1999) Enlargement of atrophy and visual acuity loss in the geographic atrophy form of age-related macular degeneration. *Ophthalmology* 106(9):1768–1779

- [32] Wojtkowski M, Kowalczyk A, Leitgeb R, Fercher AF (2002) Full range complex spectral optical coherence tomography technique in eye imaging. *Opt Lett* 27(16):1415–7
- [33] Wojtkowski M, Srinivasan V, Fujimoto JG, Ko T, Schuman JS, Kowalczyk A, Duker JS (2005) Three-dimensional retinal imaging with high-speed ultrahigh-resolution optical coherence tomography. *Ophthalmology* 112(10):1734–46
- [34] Wolf-Schnurrbusch UE, Ceklic L, Brinkmann CK, Iliev ME, Frey M, Rothenbuehler SP, Enzmann V, Wolf S (2009) Macular thickness measurements in healthy eyes using six different optical coherence tomography instruments. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 50(7):3432–7
- [35] Wolf-Schnurrbusch UE, Enzmann V, Brinkmann CK, Wolf S (2008) Morphologic Changes in Patients with Geographic Atrophy Assessed with a Novel Spectral OCT-SLO Combination. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 49(7):3095–9
- [36] Yi K, Mujat M, Park BH, Sun W, Miller JW, Seddon JM, Young LH, de Boer JF, Chen TC (2009) Spectral domain optical coherence tomography for quantitative evaluation of drusen and associated structural changes in non-neovascular age related macular degeneration. *Br J Ophthalmol* 93(2):176–81
- [37] Huber R, Adler DC, Srinivasan VJ, Fujimoto JG (2007) Fourier domain mode locking at 1050 nm for ultra-high-speed optical coherence tomography of the human retina at 236,000 axial scans per second. *Opt Lett* 32:2049–51

Altersabhängige Makuladegeneration

Holz, F.G.; Pauleikhoff, D.; Spaide, R.F.; Bird, A.C. (Hrsg.)

2011, XVI, 324 S., Hardcover

ISBN: 978-3-642-20869-0