

Optische Kohärenztomographie des vorderen Augenabschnitts

Prof. Dr. Dr. Ludwig M. Heindl
Priv.-Doz. Dr. med. Sebastian
Siebelmann, FEBO, MHBA
Hrsg.

Optische Kohärenz- tomographie des vorderen Augen- abschnitts

Atlas



Springer

Hrsg.

Prof. Dr. Dr. Ludwig M. Heindl
Zentrum für Augenheilkunde
Universität zu Köln
Köln, Deutschland

Priv.-Doz. Dr. med. Sebastian
Siebelmann, FEBO, MHBA
Universität zu Köln
Köln, Deutschland

ISBN 978-3-662-63272-7

<https://doi.org/10.1007/978-3-662-63273-4>

ISBN 978-3-662-63273-4 (eBook)

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature 2022
Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung/Lektorat: Susanne Sobich

Springer ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature.
Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

Vorwort

Die Einführung der optischen Kohärenztomografie (OCT) im Jahr 1991 hat die Welt der Augenheilkunde nachhaltig verändert. Die OCT-Technologie arbeitet mit Licht unsichtbarer Wellenlänge und erlaubt durch dessen Laufzeitmessung eine nicht-invasive und kontaktfreie in-vivo Bildgebung von biologischem Gewebe und nicht-biologischem, transparentem Material mit hoher, nahezu histologischer Auflösung. Gerade die physiologisch lichtdurchlässigen Strukturen des Auges wie Hornhaut, Vorderkammer, Linse und Netzhaut sind prädestinierte Anwendungsgebiete der OCT. Mittlerweile ist die Augenheilkunde mit derzeit mehr als 30 Millionen klinischen OCT-Untersuchungen jährlich weltweit das mit Abstand größte Einsatzgebiet dieser Technologie.

Die OCT-Technik war und ist bis heute das einzige Verfahren, das in vivo die einzelnen Schichten der Netzhaut abzubilden vermag. Zusammen mit der Einführung der antiangiogenen intravitrealen Therapien bei exsudativen Makuladegenerationen, wie der altersbedingten Makuladegeneration (AMD), hat die OCT die klinische Diagnostik und Therapiekontrolle in der Retinologie revolutioniert.

Aber bereits kurz nach der Erfindung der OCT wurden erste Aufnahmen des vorderen Augenabschnitts publiziert. Diese sogenannte Vorderabschnitts-OCT (VA-OCT) hat immenses Potenzial und bietet wichtige Zusatzinformationen im Bereich der Diagnostik von Erkrankungen der Augenlider und Bindehaut, der Hornhaut, der vorderen Augenkammer, des Kammerwinkels und der Iris wie auch im Bereich der Linse. Das Verfahren ist hilfreich, um Erkrankungen frühzeitig zu erkennen, rechtzeitig zu behandeln und den Therapieverlauf zu verfolgen. Aber auch in der Operationsvorbereitung wird die VA-OCT häufig eingesetzt. Neuerdings steht sie sogar intraoperativ zur Verfügung. Im klinischen Alltag gehört diese patientenschonende Untersuchung bereits zum Standard, da sie derzeit die höchste Auflösung unter den gängigen Diagnose-Verfahren in der Augenheilkunde hat. Deshalb ist die VA-OCT aus keiner Augenklinik oder operativem Augenzentrum wegzudenken und gewinnt in niedergelassenen konservativen Augenpraxen ebenfalls zunehmend an Popularität. Angesichts den jüngsten Entwicklungen im Bereich der automatischen Bilddatenanalyse mittels künstlicher Intelligenz könnte die automatische Auswertung von OCT-Bilddaten in Zukunft ein weiteres Mal die Augenheilkunde revolutionieren.

Die bisher verfügbaren OCT-Bücher beschränken sich vollständig oder ganz wesentlich auf den hinteren Augenabschnitt. Im Gegensatz dazu möchten wir mit diesem Atlas den Fokus auf die OCT-Anwendung im vorderen Augenabschnitt legen. Es ist das erste Buch, welches anhand zahlreicher Abbildungen

die wichtigsten Krankheitsbilder und Anwendungsgebiete des vorderen Augensegments gesammelt und übersichtlich darstellt. Dieses Praxisbuch will zum einen helfen, sich in diesem neuen zukunftsträchtigen Diagnostik-Verfahren weiterzubilden, zum anderen aber auch ein hervorragendes Nachschlagewerk für alle Augenärztinnen und Augenärzte sein, die die VA-OCT bereits praktizieren und interessante Befunde abgleichen möchten. Ebenso möchte dieser Atlas den Augenchirurginnen und Augenchirurgen von präoperativem, intraoperativem, und postoperativem Nutzen sein.

Im Verständnis der optischen Kohärenztomografie als angewandte Ophthalmopathologie hoffen wir auf breite Leserschaft und breite Anwendung zum Wohle der Patientinnen und Patienten.

Ludwig M. Heindl
Köln

Sebastian Siebelmann
Dezember 2022

Inhaltsverzeichnis

1	Geschichte und Zukunftsaussichten der Vorderabschnitts-OCT	1
	<i>Jens Horstmann und Eva Lankenau</i>	
1.1	Einleitung.....	2
1.2	Steckbrief und Nomenklatur.....	2
1.3	Der Ursprung der OCT	3
1.4	Die Weiterentwicklung der OCT seit ihrer Erfindung	6
1.5	Die Entwicklung der klinischen Akzeptanz der OCT.....	8
1.6	Perspektiven der Vorderabschnitts-OCT.....	11
	Literatur	14
2	Physikalische Grundlagen der Vorderabschnitts-OCT	21
	<i>Jens Horstmann und Eva Lankenau</i>	
2.1	Einleitung.....	22
2.2	Teilchenoptische Aspekte: Lichtausbreitung in Gewebe	22
2.3	Datenakquisition und Abbildungsoptik	24
2.4	Wellenoptische Aspekte: Interferenz	27
2.5	OCT-Methoden.....	29
2.5.1	Time-Domain-OCT.....	30
2.5.2	Spectral-Domain-OCT	31
2.5.3	Swept-Source-OCT	36
2.6	OCT-Bildgebung des vorderen Augenabschnittes – praktische Beispiele	37
2.6.1	Beispiel aus der Forschung: Einfluss der Fokusgeometrie	37
2.6.2	Anwendungsbeispiel: Intraoperative OCT	39
2.7	Resümee.....	41
	Literatur	41
3	Die optische Kohärenztomografie bei Raumforderungen der Bindehaut und der Augenlider.....	43
	<i>Alexander C. Rokohl, Sebastian Siebelmann und Ludwig M. Heindl</i>	
3.1	Erkrankungen der Augenlider	45
3.1.1	Basalzellkarzinome des Augenlides	45
3.1.2	Kapilläres Hämangiom des Augenlides	46
3.1.3	Plattenepithelkarzinome des Augenlides.....	47
3.2	Erkrankungen der Bindehaut.....	48
3.2.1	Primär erworbene Melanose der Konjunktiva.....	48
3.2.2	Konjunktivale Nävi.....	48
3.2.3	Papillen der Konjunktiva.....	49
3.2.4	Follikel der Konjunktiva	49
3.2.5	Pingueculum.....	50
3.2.6	Pterygium	50
3.2.7	Dermolipom der Bindehaut	51

3.2.8	Bindegauzyse	51
3.3	Schlussfolgerungen	52
	Literatur	52
4	Anatomie und Traumatologie des vorderen Augenabschnittes in der optischen Kohärenztomografie	55
	<i>Sebastian Siebelmann, Stefan J. Lang, Takahiko Hayashi, Atsuyuki Ishida, Alexander Händel und Alexandra Lappas</i>	
4.1	Anatomie	56
4.2	Traumatologie	59
4.3	Vorteile der OCT	63
4.4	Beispiele für okuläre Traumatologien	64
	Literatur	70
5	Epithelmapping der Hornhaut	73
	<i>Maya Müller und Theo G. Seiler</i>	
5.1	Das korneale Epithel	74
5.2	Epitheldickenprofil bei kornealen Erkrankungen	75
5.2.1	Keratokonus	75
5.2.2	Hornhautnarben.....	77
5.2.3	Epithelveränderungen nach refraktiver Chirurgie	78
	Literatur	80
6	Entzündliche Hornhauterkrankungen	81
	<i>Simona Schlereth</i>	
6.1	Hornhautulkus bei Pseudomonas aeruginosa	82
6.2	Hornhautulkus bei Akanthämöbenkeratitis	84
6.3	Kristalline Keratitis	86
6.4	Herpetische Keratitis	87
6.5	Interstitielle Keratitis	91
6.6	Korneale Beteiligung bei Skleromalazie	95
6.7	Autoimmunes Hornhautulkus mit Deszemetozole	96
	Literatur	98
7	Degenerative Hornhauterkrankungen	99
	<i>Alexander Händel, Sebastian Siebelmann und Claus Cursiefen</i>	
7.1	Keratokonus	101
7.1.1	Vogt-Striae	102
7.1.2	Hornhautektasie	102
7.1.3	Demarkationslinie nach Crosslinking	103
7.1.4	Subepitheliale Hornhautnarben nach Kontaktlinsen	104
7.1.5	DALK-Befund postoperativ	105
7.1.6	Implantation von Ringsegmenten	106
7.1.7	Krumeich-Ringe	107

Inhaltsverzeichnis

7.1.8	Akuter kornealer Hydrops bei Keratokonus	108
7.1.9	Descemet-Membran-Riss	108
7.1.10	Fluid Pockets	109
7.1.11	Mini-DMEK	110
7.1.12	Korneale Raffnähte	112
7.1.13	Kontaktlinsen	113
7.2	Arcus senilis	116
7.3	Lipidkeratopathie	117
7.4	Bandförmige Keratopathie	118
7.5	Hornhaut-Pannus	119
7.6	Pelluzidale marginale Hornhautdegeneration (PMD)	120
7.7	Salzmannsche noduläre Hornhautdegeneration	121
7.8	Cornea verticillata	122
7.9	Pseudoexfoliationssyndrom-assoziierte Keratopathie	123
7.10	Degenerative posttraumatische Eiseneinlagerung der Hornhaut	124
7.11	Haabsche Leisten	125
	Literatur	126
8	Refraktive und therapeutische Hornhautchirurgie	129
	<i>Stephan J. Linke und Johannes Steinberg</i>	
8.1	Lasersysteme mit Einsatz in der refraktiven und therapeutischen Hornhautchirurgie	131
8.2	Einsatzmöglichkeiten der OCT im Bereich der refraktiven Hornhautchirurgie	132
8.2.1	Epitheleinwachstum nach LASIK/SMILE	133
8.2.2	Keratitis/Haze	135
8.3	Therapeutische lasergestützte Hornhautchirurgie	138
8.3.1	Indikationsstellung	139
8.3.2	Grundlagen der phototherapeutischen Keratektomie (PTK)	142
8.3.3	Maskierende Substanzen	143
8.3.4	Kombination der PTK mit manueller Abrasio bei rezidivierender Erosio cornea	146
8.3.5	Kombination der PTK mit manueller Keratektomie	147
8.3.6	Kombination der PTK mit photorefraktiver Keratektomie	148
8.3.7	Subepitheliale und stromale Hornhautdystrophien	148
8.3.8	Degenerationen und Vernarbungen	150
8.3.9	Topografiegeführte PTK	154
8.3.10	Seltene Indikationen anhand ausgewählter Beispiele	157
8.3.11	Narben nach viraler Keratitis	158
8.3.12	Mitomycin-C-Applikation in Kombination mit therapeutischen kornealen Laseranwendungen	160
8.4	Zusammenfassung	160
	Literatur	161

9	Die OCT des vorderen Augenabschnitts bei Hornhauttransplantationen	165
	<i>Takahiko Hayashi, Alexander Händel, Mario Matthaei, Claus Cursiefen und Sebastian Siebelmann</i>	
9.1	Einleitung	166
9.2	Die optische Kohärenztomografie bei der tiefen anterioren lamellären Keratoplastik (DALK)	167
9.3	Die Vorderabschnitts-OCT bei den hinteren lamellären Keratoplastiken	171
9.4	Die optische Kohärenztomografie bei der penetrierenden Keratoplastik und bei Keratoprothesen	182
	Literatur	189
10	Die OCT bei Hornhautdystrophien	193
	<i>Sebastian Siebelmann, Simon Sonnenschein, Mario Matthaei, Ludwig M. Heindl, Claus Cursiefen und José Güell</i>	
10.1	Epitheliale und subepitheliale Dystrophien	197
10.1.1	Epitheliale Basalmembrandystrophie (EBMD)	197
10.1.2	Epitheliale Dystrophie der rezidivierenden Hornhauterosion (ERED)	199
10.1.3	Subepitheliale muzinöse Hornhautdystrophie (SMCD)	200
10.1.4	Meesmann'sche Hornhautdystrophie (MECD)	200
10.1.5	Lisch epitheliale Hornhautdystrophie (LECD)	201
10.1.6	Gelatinöse tropfenförmige Hornhautdystrophie (GDLD)	202
10.2	Epithelial-stromale TGFBI-Dystrophien	203
10.2.1	Reis-Bücklers-Hornhautdystrophie (RBCD)	203
10.2.2	Thiel-Behnke-Hornhautdystrophie (TBCD)	204
10.2.3	Gittrige Hornhautdystrophie (LCD1)	205
10.2.4	Granuläre Hornhautdystrophie Typ 1 (GCD1)	206
10.2.5	Granuläre Hornhautdystrophie Typ 2 (GCD2)	207
10.3	Stromale Dystrophien	207
10.3.1	Makuläre Hornhautdystrophie (MCD)	207
10.3.2	Schnyder-Hornhautdystrophie (SCD)	208
10.3.3	Kongenitale stromale Hornhautdystrophie (CSCD)	209
10.3.4	Fleckchen-Hornhautdystrophie (FCD)	210
10.3.5	Amorphe hintere Hornhautdystrophie (PACD)	210
10.3.6	Zentrale wolkige Hornhautdystrophie nach Francois (CCDF)	211
10.3.7	Prä-Descemet-Hornhautdystrophie (PDCD)	211
10.4	Endotheliale Dystrophien	212
10.4.1	Fuchs-Endothel-Hornhautdystrophie (FECD)	212
10.4.2	Hintere polymorphe Hornhautdystrophie (PPCD)	212
10.4.3	Kongenitale hereditäre Endotheldystrophie (CHED)	214
10.4.4	X-chromosomal endotheliale Hornhautdystrophie (XECD)	214
10.5	Schlussfolgerung	215
	Literatur	216

Inhaltsverzeichnis

11	Die OCT von vorderer Augenkammer und Kammerwinkel	219
	<i>Stefan J. Lang und Rafael S. Grajewski</i>	
11.1	Einleitung.....	220
11.2	Einsatzmöglichkeiten der optischen Kohärenztomografie zur Analyse von vorderer Augenkammer und Kammerwinkel	222
11.3	Schlussfolgerung und Zusammenfassung	231
	Literatur	231
12	Die OCT der Iris.....	233
	<i>Rafael S. Grajewski und Stefan J. Lang</i>	
12.1	Einleitung.....	234
12.2	Einsatzmöglichkeiten der optischen Kohärenztomografie zur Analyse der Iris.....	237
12.3	Schlussfolgerung und Zusammenfassung	245
	Literatur	245
13	Die OCT bei der refraktiven Chirurgie.....	247
	<i>Toam Katz, Stephan J. Linke, Sebastian Siebelmann und Félix González-Lopez</i>	
13.1	Einleitung.....	248
13.2	OCT bei der Implantation phaker Intraokularlinsen	250
	Literatur	265
	Serviceteil	
	Stichwortverzeichnis	269

Herausgeber- und Autorenverzeichnis

Über die Herausgeber



Univ.-Prof. Dr. med. Ludwig M. Heindl, M.Sc.

Universitätsprofessor Dr. med. Ludwig M. Heindl, M.Sc. ist Leiter des Schwerpunkts für Ophthalmoonkologie und Ophthalmoplastische Chirurgie an der Universitätsaugenklinik Köln und dem Centrum für Integrierte Onkologie (CIO) Aachen-Bonn-Köln-Düsseldorf. Seine klinische Expertise umfasst die Diagnose und Therapie von Tumoren am und im Auge sowie von Erkrankungen des Augenlides, der Tränenwege, der Orbita und der Augenoberfläche. Er publizierte mehr als 275 peer-reviewed Artikel in den renommieritesten internationalen Journals. Er erhielt zahlreiche Ehrungen, unter anderem den Sallmann Clinician-Scientist Award der Association for Research in Vision and Ophthalmology (ARVO), den Leonhard-Klein-Preis der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft (DOG) und den Erwin-Niehaus Preis für Ophthalmologie.



Priv.-Doz. Dr. med. Sebastian Siebelmann, FEBO, MHBA

Studium der Humanmedizin an der Universität zu Lübeck. Promotion an der Universität zu Köln. Facharztausbildung am Zentrum für Augenheilkunde der Uniklinik Köln. Studium Master of Healthcare Business Administration an der FAU Erlangen-Nürnberg (MHBA).

Auslandsaufenthalte in Birmingham, UK, Tampere, Finnland, Odessa, Ukraine und in Barcelona, Spanien. Schwerpunkte Hornhaut- und Katarakt-/Refraktivchirurgie.

Habilitation und Venia Legendi an der Hohen Medizinischen Fakultät der Universität zu Köln zum Thema „Nicht-invasive Bildgebung zur Optimierung von ophthalmochirurgischen Prozeduren am vorderen Augenabschnitt“, Preisträger

mehrerer nationaler und internationaler Preise, darunter den Sicca-Förderpreisen 2010, 2012 und 2015, unterschiedlichen Travel Grants, dem Wissenschaftspreis Trockenes Auge/MGD 2014 der DOG und dem Young Ophthalmologist Problem Solving Award 2017 und dem Observership Grant der ESCRS 2018, sowie einer DOG Kurzeitdozentur 2020 in Mozambique.

Mitglied des Young Physician Leader Programms (YPL) 2019, vorgeschlagen durch die Leopoldina.

Die klinischen und wissenschaftlichen Schwerpunkte von Herrn Siebelmann sind die translationale Forschung zur Bildgebung zur Verbesserung chirurgischer Prozeduren am vorderen Augenabschnitt, insbesondere der Hornhaut-, Katarakt- und Refraktivchirurgie.

Autorenverzeichnis

Claus Cursiefen Zentrum für Augenheilkunde, Universitätsklinikum Köln, Köln, Deutschland

Félix González-Lopez Instituto Oftalmológico Europeo, Clínica Baviera, Madrid, Spanien

Rafael Grajewski Zentrum für Augenheilkunde, Universitätsklinikum Köln, Köln, Deutschland

Alexander Händel Zentrum für Augenheilkunde, Universitätsklinikum Köln, Köln, Deutschland

Takahiko Hayashi Division of Ophthalmology, Department of Visual Science, Nihon University School of Medicine, Tokyo, Japan

Ludwig M. Heindl Zentrum für Augenheilkunde, Universität zu Köln, Köln, Deutschland

Jens Horstmann Zentrum für Augenheilkunde, Universitätsklinikum Köln, Köln, Deutschland

Atsuyuki Ishida Department of Ophthalmology, Kikuna Yuda Eye Clinic, Yokohama, Japan

Toam Katz CARE Vision Germany GmbH, Frankfurt am Main, Deutschland

Stefan J. Lang Klinik für Augenheilkunde, Universitätsklinikum Freiburg, Freiburg, Deutschland

Eva Lankenau Modell-Augen-Manufaktur, Rondeshagen, Deutschland

Alexandra Lappas Zentrum für Augenheilkunde, Universitätsklinikum Köln, Köln, Deutschland

Stephan J. Linke zentrumsehstärke am UKE, Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf (UKE) Hamburg, Hamburg, Deutschland

Mario Matthaei Zentrum für Augenheilkunde, Universitätsklinikum Köln, Köln, Deutschland

Maya Müller Institut für Refraktive und Ophtalmologische Chirurgie, IROC AG, Zürich, Schweiz

Alexander C. Rokohl Zentrum für Augenheilkunde, Universitätsklinikum Köln, Köln, Deutschland

Simona Schlereth Zentrum für Augenheilkunde, Universitätsklinikum Köln, Köln, Deutschland

Theo G. Seiler Institut für Refraktive und Ophtalmologische Chirurgie, IROC AG, Zürich, Schweiz

Sebastian Siebelmann Universität zu Köln, Köln, Deutschland

Johannes Steinberg zentrumsehstärke am UKE, Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf (UKE) Hamburg, Hamburg, Deutschland