

Aktueller Stand zur Topographie der Sklera – eine Literaturrecherche

Stefan Bandlitz^{1,2,3}

¹ PhD, MS, FCOptom, FIACLE, FBCLA · ² Höhere Fachschule für Augenoptik Köln, Germany · ³ School of Life and Health Sciences, Aston University, Birmingham, United Kingdom

Eingereicht 7. Dezember 2021; angenommen 19. Januar 2022

Received 7 December 2021; accepted 19 January 2022

COE Multiple-Choice-Fragebogen

Die Publikation „Aktueller Stand zur Topographie der Sklera – eine Literaturrecherche“ wurde von der Gütegemeinschaft Optometrische Leistungen (GOL) als COE Fortbildungsartikel anerkannt. Die Frist zur Beantwortung der Fragen endet am **1. April 2023**. Die Fragen können online auf der Website www.ocl-online.de beantwortet werden. Die unten stehende Reihenfolge entspricht nicht der Online-Version. Pro Frage ist nur eine Antwort richtig. Eine erfolgreiche Teilnahme setzt die Beantwortung von vier der sechs Fragen voraus.



Zusammenfassung

Zweck. Obwohl ein großer Teil der vorderen Oberfläche des Augenapfels durch die Sklera geformt wird, gibt es zu Topographie der Sklera bisher im Vergleich zur Hornhaut kaum gesicherte Daten. Ziel dieser Arbeit war es, einen aktuellen Überblick über relevante Veröffentlichungen zur Anatomie und Topographie der vorderen Sklera zu geben.

Methode. Es wurde eine systematische Literaturrecherche in PubMed mit den Suchbegriffen „scleral“ und „topography“ durchgeführt. Von den 310 Suchergebnissen betrafen 66 Artikel das Thema und wurden im vorliegenden Artikel verwendet. Daneben wurden 5 Artikel aus der deutschsprachigen nicht peer-reviewed Literatur einbezogen.

Ergebnisse. Mehrere Studien konnten den Nutzen moderner Mess- und Untersuchungsverfahren, wie die optische Kohärenztomographie (OCT), die Scheimpflug-Bildgebung oder die Fourier-basierte Profilometrie bei der Erfassung skleraler Parameter zeigen. Diese ermöglichen ein umfassenderes Ver-

ständnis über den Aufbau und die Form der vorderen Sklera, eine vereinfachte Kontaktlinsenauswahl, eine Prognose des Linsensitzes sowie eine Beurteilung der Veränderungen der skleralen Topographie. Die Form der Sklera kann dabei durch Faktoren wie Alter, Refraktion, Akkommodation, Konvergenz, Dicke, Steifigkeit, Elastizitätsmodul, intraokularer Druck, Keratokonus sowie Kontaktlinsentrage beeinflusst werden.

Fazit. Ein umfassendes Verständnis der biometrischen Eigenschaften sowie der Topographie der Sklera des vorderen Augenabschnittes ist ein wesentlicher Bestandteil sowohl für das Design als auch für die Anpassung skleraler und weicher Kontaktlinsen.

Schlüsselwörter

Sklera, Topographie, Anatomie, Scheimpflug, Profilometrie, optische Kohärenztomographie

Current status of the topography of the sclera: a literature review

Abstract

Purpose. Although a major part of the anterior surface of the eyeball is formed by the sclera, there is little confirmed data on topography of the sclera compared to the cornea. The goal of this paper was to provide an update of relevant literature published on anatomy and topography of the anterior sclera.

Methods. A systematic literature search was conducted in PubMed using the key words “scleral” and “topography.” 66 of the 310 papers dealt with the topic and were used for this present review. In addition, 5 articles from the German-language non-peer-reviewed literature were included.

Results. Several studies have demonstrated the utility of modern measurement and examination techniques, such as optical coherence tomography (OCT), Scheimpflug imaging, or Fourier-based profilometry in the assessment of scleral parameters. These allow a more comprehensive understanding

of the structure and shape of the anterior sclera, simplified contact lens selection, prediction of lens fit, and assessment of changes in scleral topography. The shape of the sclera can be influenced by factors such as age, refraction, accommodation, convergence, thickness, stiffness, modulus of elasticity, intraocular pressure, keratoconus and contact lens wear.

Conclusion. A comprehensive understanding of the biometric properties and topography of the sclera of the anterior segment of the eye is an essential component for both the design and fitting of scleral as well as soft contact lenses.

Keywords

Sclera, topography, anatomy, Scheimpflug, profilometry, optical coherence tomography

Einleitung

Eine corneale Topographie gehört neben einer Anamnese, einer Spaltlampenuntersuchung sowie einer Analyse des Tränenfilms zu den essenziellen vorbereitenden Messungen, die vor der Anpassung von Kontaktlinsen durchgeführt werden.¹ Die Auswahl des Rückflächendesigns von formstabilen Kontaktlinsen stützt sich dabei traditionell auf die mit dem Ophthalmometer gemessenen zentralen Hornhautradien. Fortschrittlichere Verfahren wie die Placido-basierte Topographie und die Scheimpflug-Tomographie ermöglichen eine detailliertere Beschreibung der Form der zentralen, parazentralen und peripheren Hornhaut.² Der Einsatz einer cornealen Topographie führt bei der Anpassung formstabiler Kontaktlinsen zu einer optimierten Linsenanpassung, kürzeren Anpasszeiten, höheren Erfolgsquoten bei der Erstanpassung, größerer Zufriedenheit der Patienten sowie durch eine reduzierte Notwendigkeit von Anpasskontaktlinsen, zu einem geringeren potenziellen Infektionsrisiko.³⁻⁶ Während die Topographie der Hornhaut für die Auswahl und Vorhersage des Sitzes einer formstabilen Kontaktlinse von wesentlicher Bedeutung ist, gibt es eine schwache bzw. keine Korrelation zwischen Hornhauttopographie und dem Sitzverhalten von weichen Kontaktlinsen.^{7,8} Die vordere Skleralregion ist die Landezone für weiche, mini-sklerale und sklerale Kontaktlinsen und somit können Unterschiede in der vorderen Augenoberfläche in diesem Bereich die Linsenanpassung beeinflussen und für das Design dieser Kontaktlinsen relevant sein (**Bild 1**).⁹ Ein detaillierter Einblick in die Topographie der

vorderen Sklera ist zudem von Bedeutung, da die gesamte okuläre Scheitelhöhe neben den zentralen Hornhautradien, dem Hornhautdurchmesser, der Hornhautexzentrizität auch vom Profil der Sklera bestimmt wird.

Anatomie und Physiologie der Sklera

Die undurchsichtige Sklera bedeckt den größten Teil der Oberfläche des Augapfels und hat eine Dicke von 0,3 mm unmittelbar hinter dem Ansatz der geraden Muskeln des Auges bis hin zu 1,0 mm in der Nähe des Sehnervs.¹⁰ Die vordere Skleradicke variiert dabei erheblich zwischen den Quadranten und ähnelt der Spirale von Tillaux, die die Ansatzstellen der vier geraden Augenmuskeln beschreibt.¹¹ Die Sklera besteht aus drei Hauptschichten, die von der äußersten zur innersten Schicht die folgenden sind: Episklera, Stroma und Lamina fusca.¹⁰ Die Episklera ist die äußerste Schicht der Sklera, die zwischen der Tenonschen Kapsel und dem skleralen Stroma liegt.¹² Sie besteht hauptsächlich aus locker angeordneten Kollagenbündeln und ist am Limbus ca. 15 - 20 µm dick.¹² Die Episklera hat eine reiche Gefäßversorgung durch die vorderen Ziliararterien an ihrer Verbindung zur Faszien-scheide des Augapfels, während die hinteren Ziliararterien den Äquator und die hintere Episklera mit Blut versorgen.¹³ Im Gegensatz zur Episklera ist das sklerale Stroma avaskulär, obwohl zahlreiche Arterien, die andere Strukturen des Auges versorgen, das stromale Gewebe perforieren.¹² Das Stroma ist die größte Gewebeschicht der Sklera und bestimmt die

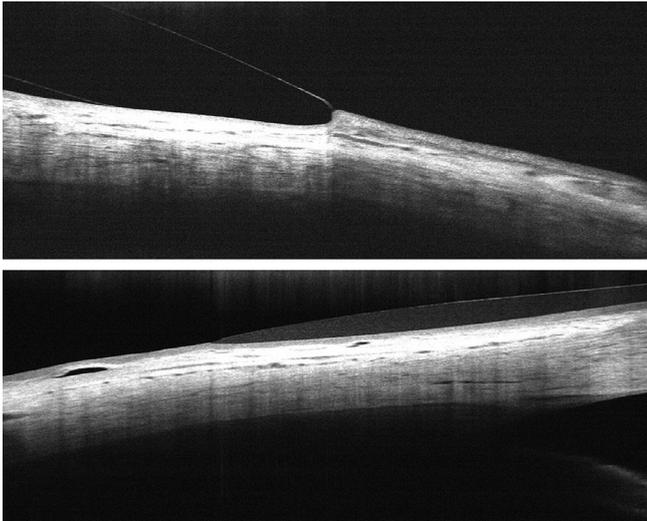


Bild 1: Die Sklera mit der darüberliegenden Conjunctiva als Landezone für Sklerallinsen (oben) und Weichlinsen (unten).

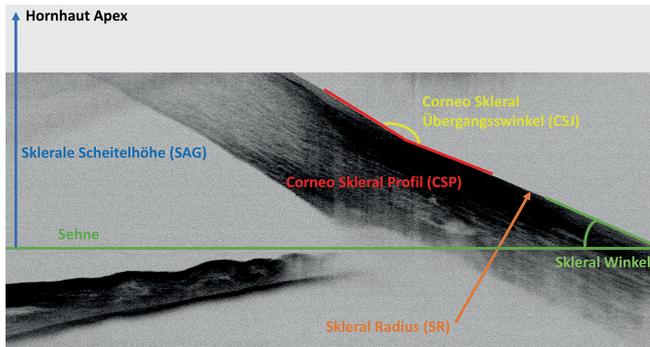


Bild 2: OCT-Aufnahme mit den messbaren Parametern im corneo-skleralen Bereich.

biomechanischen Eigenschaften der Sklera. Die Materialeigenschaften des Stromas lassen sich als nicht-linear viskoelastisch zusammenfassen und ergeben sich aus Zusammensetzung und Organisation der kollagenreichen extrazellulären Matrix.¹³ Das Stroma besteht hauptsächlich aus dichten und im Vergleich zur Episklera dickeren Kollagenbündeln mit unterschiedlichem Fibrillendurchmesser in zufälliger Anordnung.¹⁰ Die Lamina fusca, die an die Uvea grenzt, bestehend aus kürzeren Kollagenbündeln und einer erhöhten Anzahl von elastischen Fasern.¹⁰ Die Sklera am Augenhintergrund scheint eine lockerere Anordnung der Kollagenfibrillen, weniger Kollagen und ein geringeres Elastizitätsmodul als die vordere und äquatoriale Sklera zu haben.¹⁴

Die Sklera hilft die Größe und die Form des Auges zu bestimmen und spielt folglich eine wichtige Rolle bei der Bestimmung und Aufrechterhaltung des refraktiven Status des Auges. Als robuste Hülle schützt sie die empfindlichen inneren Augenstrukturen, wie die Netzhaut und den Sehnervenkopf, vor mechanischen Verletzungen. Außerdem bietet das Gewebe einen festen Ansatzpunkt für die extraokulären Muskeln. Die biomechanischen Eigenschaften der Sklera und damit der Widerstand oder die Anfälligkeit

des Gewebes für Verformungskräfte, zum Beispiel durch das Tragen von Kontaktlinsen, variieren mit Alter, ethnischer Zugehörigkeit, Augeninnendruck und Refraktion.¹² Folglich können diese Faktoren das Sitzverhalten von Kontaktlinsen, die im Bereich der Sklera ihre Auflage haben, beeinflussen und umgekehrt die vordere Sklera durch diese Kontaktlinsen beeinflusst werden. Eine genaue Kenntnis der Topographie der Sklera kann demnach dazu beitragen, das Sitzverhalten zu optimieren und Gewebekompressionen im Auflagebereich zu vermeiden oder zu minimieren.

Sklerale Parameter

Zur Beschreibung des Profils der vorderen Sklera bzw. des corneo-skleralen Übergangs wurden in der Literatur verschiedene Parameter vorgeschlagen (**Bild 2**). Das Corneo-Skleral-Profil (CSP) beschreibt die Profillinie, die durch die Form der Cornea, des Sulcus und dem weiteren Verlauf der Sklera gebildet wird.¹⁵ Der corneo-sklerale Übergangswinkel (Corneo Scleral Junction Angle, CSJ), ist der Winkel der zwischen einer Tangente an der Cornea und einer Tangente an der Sklera im Bereich des Limbus entsteht.¹⁶ Der sklerale Winkel bezieht sich auf den Winkel, den die vordere Sklera mit einer horizontalen Sehne (chord), die senkrecht zur Mitte der Hornhaut oder der Pupille steht, bildet.¹⁷ Die sklerale Scheitelhöhe (sagittal scleral height SAG) ist der Abstand von einer Tangente am Hornhautscheitel zu einer parallelen horizontalen Sehne im Bereich der Sklera.¹⁷ Der sklerale Radius (SR) entspricht dem Radius eines am besten an die Form Sklera angepassten Kreises.¹⁸

Erfassung der skleralen Topographie

Subjektive Klassifizierung des Corneo-Skleral-Profiles

Der Einfluss des Corneo-Skleral-Profiles auf die Anpassung von weichen Kontaktlinsen wurde im deutschsprachigen Raum erstmals 1987 von Gaggioni und Meier beschrieben.¹⁵ Zur einfachen Anwendung an der Spaltlampe klassifizierten die Autoren das CSP in fünf verschiedene Profilformen (**Bild 3**). Diese Einteilung soll dem Anpasser Hinweise darauf geben,

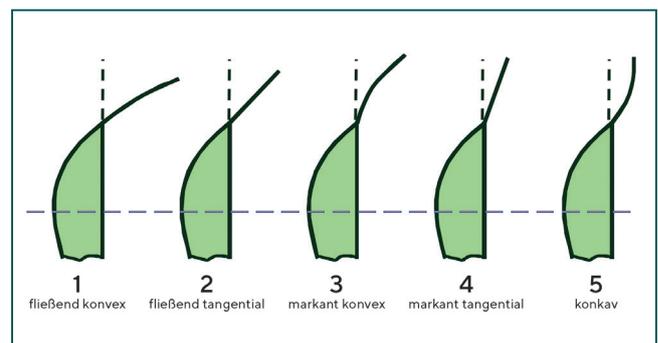


Bild 3: Klassifizierung des Cornea-Skleral-Profiles nach Meier.

welches Kontaktlinsendesign bzw. welches Kontaktlinsenmaterial für das jeweilige Auge gute Anpasserfolge verspricht. In der Praxis kann das CSP mit Hilfe der Spaltlampe, einer Handlupe oder auch ohne Hilfsmittel beurteilt werden. Bokern et al.¹⁹ berichteten jedoch von einer geringen Genauigkeit und Wiederholbarkeit dieser subjektiven Klassifizierungsmethode an der Spaltlampe. Bestätigt wurden diese Ergebnisse durch eine jüngst publizierte Studie von Bergmann et al.²⁰, die eine schlechte Intra-Beobachter-Zuverlässigkeit ($\text{Kappa} = 0,098$) für die subjektive Klassifizierung des CSP auf den Bildern einer Scheimpflug-Kamera zeigte.

Fourier-basierte Profilometrie

Die Fourier-Transformations-Profilometrie ist eine berührungslose 3D-Messmethoden, bei der ein Ronchi- oder Sinus-Gitter auf eine diffuse dreidimensionale Oberfläche projiziert wird und das daraus resultierende verformte Gitterbild von einer CCD-Kamera erfasst und von einem Computer verarbeitet wird.²¹ Basierend auf diesem Messprinzip, stellten Jongsma et al.²² unter dem Namen „Maastricht Shape Topographer“ den Prototyp eines Hornhauttopographen zur Erfassung der Form der gesamten vorderen Oberfläche inklusive Sklera vor. Mittlerweile sind zwei corneo-sklerale Topographen mit einem ähnlichen Messprinzip auf dem Markt. Der Eye Surface Profiler (Eaglet Eye, The Netherlands) und der sMap3D Corneo-Skleral-Topograph (Visionary Optics, USA). Diese Geräte können die Topographie der Augenoberfläche bis zu einem Durchmesser von 22 mm mittels Fluorophotometrie, die eine Applikation von Fluoreszein erfordert, messen.²³ Beim Eye Surface Profiler werden dabei zwei blaue Linienmuster aus zwei verschiedenen Positionen auf die Augenoberfläche projiziert und deren Überlagerung von einer Kamera aufgenommen (Bild 4).²⁴ Dabei wird eine einzelne Aufnahme bei Blick geradeaus durchgeführt. Im Gegensatz dazu verwendet das sMap3D nur ein blaues Linienmuster, das zentral aus einer Position auf die Augenoberfläche projiziert und dann von zwei versetzten Kameras aufgenommen wird.²⁵ Es wird jeweils eine Aufnahme bei Blick geradeaus, superior und inferior durchgeführt und die drei Bilder anschließend zu einer Karte zusammengesetzt.²⁶ Die Fourier-basierte Profilometrie mit diesen Messgeräten ermöglicht neben der Bestimmung der von cornealen Topographen bekannten Parameter (zentrale Hornhautradien, Exzentrizitäten, Hornhautastigmatismus, Hornhautdurchmesser, Pupillendurchmesser) auch die automatische Messung der skleralen Scheitelhöhen, der skleralen Winkel und der skleralen Radien für den erweiterten Messbereich bis zu 22 mm (Bild 4).

Optische Kohärenztomographie (OCT)

Als Kohärenz bezeichnet man eine Eigenschaft von Wellen, die stationäre Interferenzerscheinungen ermöglicht. Optische Kohärenztomographiesysteme analysieren Messungen der Echozeitverzögerung von rückgestreutem oder rückre-

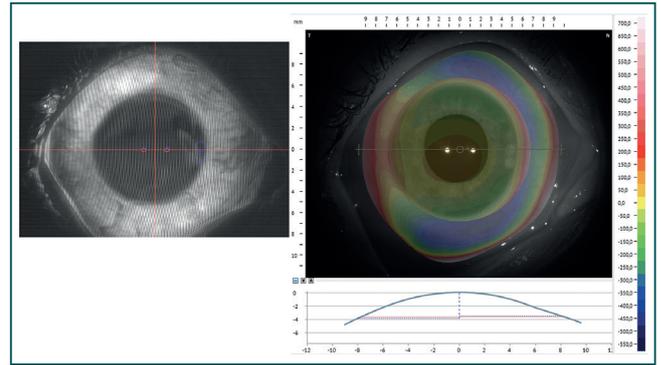


Bild 4: Fourier-basierte Profilometrie. Links: Kameraaufnahme der projizierten Linienmuster. Rechts: Gemessene Scheitelhöhen in einer farbkodierten Flächendarstellung.

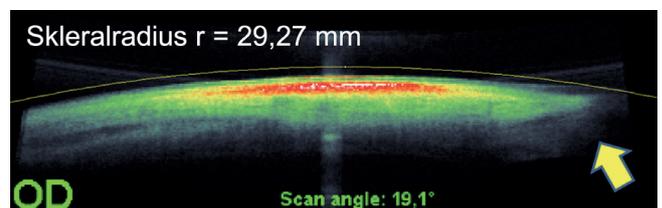


Bild 5: Gefitteter Kreis zur Bestimmung des Skleralradius auf einer OCT-Aufnahme.

flektiertem Licht unter Verwendung eines Interferometers mit einer mechanisch abgetasteten optischen Referenzstrecke.²⁷ Die hochauflösenden, in-vivo aufgenommenen Bilder der optischen Kohärenztomographie werden dabei zunehmend auch am vorderen Augenabschnitt zur Beurteilung der Augenoberfläche, des Tränenfilms sowie des Kontaktlinsensitzes eingesetzt.^{18,28,29} Die optische Kohärenztomographie ermöglicht eine umfassendere und detailliertere Darstellung des vorderen Segments sowie des peripheren corneo-skleralen Profils. Erste Versuche den skleralen Winkel auf OCT-Bildern zu messen wurden von van der Worp et al. 2010 beschrieben.^{30,31} In der Zwischenzeit gab es zahlreiche weitere Studien in denen neben den skleralen Winkeln auch die skleralen Radien sowie die sklerale Scheitelhöhe auf OCT-Aufnahmen des vorderen Augenabschnittes gemessen wurden.^{16,18,32-37} Die Bestimmung der skleralen Parameter mittels OCT bedarf jedoch immer einer manuellen Messung mittels externer Software (Bild 5). Zudem können nur einzelne Meridiane ausgewertet werden, so dass aus den Messungen keine automatisch generierte topographische Karte der gesamten vorderen Sklera entsteht.

Scheimpflug-Kamera

Die Scheimpflug-Technik ermöglicht drei imaginäre, senkrecht zueinanderstehende Ebenen (Objektiv, Bild und Motiv) anstelle der zwei Ebenen einer herkömmlichen oder normalen Kamera. Durch die drei Ebenen ergibt sich eine Erweiterung der Schärfentiefe, die eine scharfe Auflösung des Bildes ermöglicht. Geräte mit einer rotierenden Scheimpflug-Kamera

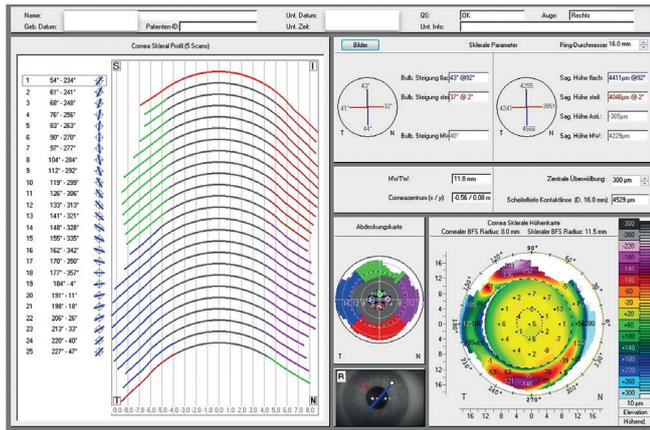


Bild 6: Screenshot des CSP-Moduls der Pentacam (Oculus, Wetzlar, Deutschland) mit Darstellung der Scheitelhöhen und skleralen Winkel.

beurteilen nicht nur die Hornhaut, sondern das gesamte vordere Segment von der vorderen Hornhautoberfläche bis zur hinteren Linsenoberfläche.²⁷ Erste Versuche zur Messung der skleralen Radien mittels Scheimpflug-Fotografie wurden von Tiffany et al.³⁸ bereits 2004 beschrieben. Kürzlich wurde ein neues Corneo-Skleral-Profil-Softwaremodul für die Pentacam (Oculus, Wetzlar, Deutschland) auf dem Markt eingeführt.^{24,39,40} Das Corneo-Skleral-Profil-Modul nutzt die Scheimpflug-Bildgebung zur Messung der sagittalen Höhe bis zu einer Sehnenlänge von 18 mm. Eine zentrale und vier periphere Scheimpflug-Aufnahmen (nasal, temporal, superior und inferior) sind für die Erstellung des Gesamtbericht des corneo-skleralen Profils in 25 Meridianen erforderlich (**Bild 6**). Automatisch gemessen werden dabei sowohl die skleralen

Scheitelhöhen als auch die skleralen Winkel. Eine manuelle Messung weiterer Parameter, wie zum Beispiel dem corneo-skleralen Übergangswinkel, ist durch den Einsatz externer Software zur Auswertung der Scheimpflug-Aufnahmen möglich.²⁰

Sklerale Topographie bei gesunden Augen

CSP Profil

Eine Studie von Rott-Muff et al. zeigte 2001 bei der Klassifizierung des CSP an der Spaltlampe, dass ein fließend tangentialer Verlauf mit 42% am häufigsten vorkam.⁴⁰ Gefolgt wurde dies von einem markant konvexen (28,1%), einem fließend konvexen (22,8%) und einem markant tangentialen (6,8%) Übergang. Ein konkav konvexer Übergang kam mit 0,3% fast nicht vor. Vergleichbare Werte fanden Bergmann et al. 2021 bei der Klassifizierung des CSP auf Bilder einer Scheimpflug-Kamera (**Tabelle 1**). Auch hier war der fließend tangentialer Verlauf mit 47,8% am häufigsten vertreten.²⁰ Demnach scheint der Übergang zwischen Cornea und Sklera mehrheitlich fließend ohne markanten Übergang zu verlaufen.

Skleraler Winkel

Der sklerale Winkel für einen Durchmesser (Sehnenlänge) von 15 mm, kann Werte zwischen 30° und 47° annehmen (**Tabelle 2**).^{30,31} Nasal liegen im Vergleich zu temporal kleinere sklerale Winkel vor. Diese Asymmetrie des Skleralwinkels

Tabelle 1: Häufigkeitsverteilung der Corneo-Skleral-Profil-Formen 1 bis 5.

Autoren	Technik	Profil 1 fließend konvex	Profil 2 fließend tangential	Profil 3 markant konvex	Profil 4 markant tangential	Profil 5 konkav konvex
Gaggioni und Meier (n = 40)	Spaltlampe	7.5 %	56.3 %	33.8 %	2.5 %	0.0 %
Rott-Muff et al. (n = 250)	Spaltlampe	22.8 %	42.0 %	28.1 %	6.8 %	0.3 %
Bergmann et al. (n = 38)	Scheimpflug	8.6 %	47.8 %	9.3 %	24.3 %	10.0 %

Tabelle 2: Vergleich der in verschiedenen Studien gemessenen skleralen Winkel bei einem Durchmesser von 15 mm.

Autoren	Technik	Nasal	Superior-nasal	Superior	Superior-temporal	Temporal	Inferior-temporal	Inferior	Inferior-nasal
Van der Worp et al. (n = 48)	OCT	36.8°	36.6°	41.0°	42.7°	41.8°	43.2°	39.7°	37.3°
Ritzmann et al. (n = 39)	OCT	36.4° ± 3.0°	36.2° ± 2.7°	38.0° ± 2.5°	37.7° ± 2.0°	38.2° ± 2.6°	38.0° ± 2.8°	36.7° ± 2.6°	35.2° ± 2.3°
Gier et al. (n = 74)	Scheimpflug	34.7° ± 2.7°	35.8° ± 2.9°	37.2° ± 2.8°	40.1° ± 2.5°	41.9° ± 2.7°	43.1° ± 2.5°	40.5° ± 2.3°	37.4° ± 2.2°

Tabelle 3: Vergleich der in verschiedenen Studien gemessenen skleralen Radien in Millimeter.

Autoren	Technik	Nasal	Superior-nasal	Superior	Superior-temporal	Temporal	Inferior-temporal	Inferior	Inferior-nasal
Tiffany et al. (n = 6)	Scheimpflug					13.8			
Bataille et al. (n = 35)	Profilometrie	12.4	12.4	12.4	12.4	12.4	12.4	12.4	12.4
Pinero et al. (n = 88)	Profilometrie	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4
Hall et al. (n = 50)	OCT	45.0		43.1		25.3		42.2	
Hall et al. (n = 204)	OCT	35.5		29.3		22.4		33.5	
Choi et al. (n = 24)	OCT	13.3				12.3			
Kasahara et al. (n = 34)	OCT		34.3		18.3				
Lee et al. (n = 24)	OCT	13.7				11.7			
Bandlitz et al. (n = 30)	OCT	30.7	58.0	37.1	28.4	23.4	25.8	28.8	30.0

entlang des horizontalen Meridians nimmt mit zunehmender Entfernung vom Limbus zu.^{33,40}

Skleralradien (SR)

Die Krümmung der vorderen Sklera kann invasiv mittels Abdruckverfahren und nicht-invasiv mit Scheimpflug-Technik, Profilometrie und optische Kohärenztomographie bestimmt werden. Mit allen Techniken konnte gezeigt werden, dass die sklerale Form eher tangential und gering gekrümmt zu sein scheint (**Tabelle 3**).^{18,32,33,42,43} Dabei sind die nasalen Radien der Sklera flacher als die temporalen Radien^{16,18,32} und die Asymmetrie und Torizität der Sklera ist limbusnah weniger stark ausgeprägt als limbusfern.^{31,33,43,44} Für den Unterschied zwischen nasalem und temporalen Verlauf werden Unterschiede in der Anatomie des nasalen und temporalen Augenwinkels⁴⁵, Differenzen zwischen den Ansatzstellen und Breite der Augenmuskeln⁴⁶ sowie Variationen der skleralen Dicke angenommen.^{11,47}

Corneo-skleraler Kreuzungswinkel (CSJ)

Der Krümmungsradius der vorderen Sklera ist wesentlich flacher als der der peripheren Hornhaut. Somit setzt sich der Verlauf der Sklera im Bereich des Limbus mehrheitlich fast als eine gerade Linie ohne nennenswert markanten Übergang fort. Dies wurde bereits in frühen Studien von Meier und Rott-Muff als fließend tangenciales Profil an der Spaltlampe beobachtet und durch OCT und Scheimpflug-Messungen

bestätigt.^{32,33,41,48} Der Winkel, der an der Hornhaut-Skleral-Grenze gebildet wird, kommt dabei im superioren Bereich einer Tangente am nächsten und ist nasal am markantesten ausgeprägt (**Tabelle 4**).^{32,33,41,48} Die größte meridionale Asymmetrie wird in der Regel zwischen der temporalen und der nasalen Region beobachtet.^{32,33,41,48}

Sklerale Scheitelhöhen

Sklerale Scheitelhöhen (sagittal heights), bilden eine wichtige Grundlage für die Auswahl und den Aufbau der ersten skleralen Messlinse.²³ Zudem ist bekannt, dass die Auswahl des optimalen Rückflächenradius einer Weichlinse nicht mit den zentralen Hornhautradien korreliert, sondern vielmehr durch die gesamte Scheiteltiefe des corneo-skleralen Bereiches bestimmt wird.^{49,50} Während die Radien, die Exzentrizitäten und die Torizität der Hornhaut mit Hilfe von Topographen zuverlässig quantifiziert werden kann, korrelieren diese zentralen Hornhautmessungen oft schlecht mit den sklerale Scheitelhöhen oder der skleralen Torizität.^{18,51} Folglich lässt sich das Sitzverhalten von Sklerallinsen und Weichlinsen anhand einer alleinigen cornealen Messung nicht vorhersagen. Die skleralen Scheitelhöhen können mittels Profilometrie, optischer Kohärenztomographie oder Scheimpflug-Verfahren bestimmt werden, wobei die Messverfahren nicht als untereinander austauschbar gelten.^{24,39} Für eine gleiche Sehnenlänge sind die skleralen Scheitelhöhen, die mit dem Scheimpflug-Verfahren gemessen wurden, größer als die mit der Profilometrie gemessenen, während für die sklerale Torizität das Gegenteil gilt (**Tabelle 5**).^{24,39} In Übereinstimmung

Tabelle 4: Vergleich der in verschiedenen Studien gemessenen corneo-skleralen Kreuzungswinkel.

Autoren	Technik	Nasal	Superior	Temporal	Inferior
Hall et al. (n = 204)	OCT	174° ± 3°	178° ± 2°	177° ± 2°	178° ± 2°
Ritzmann et al. (n = 39)	OCT	177° ± 3°	180° ± 2°	180° ± 2°	179° ± 2°
Bergmann et al. (n = 38)	Scheimpflug	177° ± 1°	180° ± 1°	180° ± 1°	177° ± 2°

Tabelle 5: Vergleich der in verschiedenen Studien gemessenen skleralen Scheitelhöhen in Mikrometer.

Autoren	Technik	Sehnenlänge	Min	Max	Horizontal	Vertikal	Nasal	Temporal	Mittel
Bandlitz et al. (n = 38)	Scheimpflug	14.8	3609 ± 408	3716 ± 442					3663 ± 423
Bataille et al. (n = 23)	Scheimpflug	15.0					3360 ± 270	4110 ± 310	3780 ± 160
Gier et al. (n = 74)	Scheimpflug	15.0					3632 ± 228	3944 ± 245	3792 ± 272
Bandlitz et al. (n = 38)	Profilometrie	14.8	3266 ± 392	3436 ± 416					3351 ± 401
Bataille et al. (n = 23)	Profilometrie	15.0					3230 ± 200	3470 ± 180	3340 ± 150
Macedo-de-Araújo et al. (n = 18)	Profilometrie	15.0					3199 ± 281	3888 ± 139	3544 ± 150
Ritzmann et al. (n = 39)	OCT	15.0					3708 ± 211	3772 ± 222	
Sorbara et al. (n = 40)	OCT	15.0	3700 ± 160	3710 ± 190					
Hall et al. (n = 50)	OCT	15.0			3740 ± 160	3770 ± 150			

mit den nasal flacheren skleralen Radien scheinen auch die skleralen Scheitelhöhen nasal größer zu sein als temporal.^{43,52} Je weiter weg vom Limbus gemessen wird, desto größer ist die Differenz der Scheitelhöhen zwischen nasal und temporal.⁵³ Die sklerale Torizität, die als die größte Differenz der Scheitelhöhen zwischen zwei senkrecht zueinander stehen Meridianen bei einer gegebenen Sehnenlänge definiert wird, nimmt ebenfalls mit zunehmender Entfernung vom Limbus zu.⁵⁴

Einflussfaktoren auf die sklerale Topographie

Alter

Hall et al. konnten in einer Studie zeigen, dass das Alter der Studienteilnehmer für eine Varianz der skleralen Topographievariablen verantwortlich war.³² Dies zeigte sich in einer Abnahme der skleralen Radien und der corneo-skle-

raler Kreuzungswinkel. Die Skleralradien scheinen demnach mit zunehmendem Alter kleiner und der Übergang von Hornhaut zu Sklera markanter zu werden.³² Eine altersbedingte Zunahme der skleralen Kollagenvernetzung trotz einer Verringerung des Gesamtkollagengehalts und einer Abnahme des Glykosaminoglykans, ist höchstwahrscheinlich die Ursache für eine Versteifung des Skleragewebes mit zunehmendem Alter.¹⁷ Die Fähigkeit der Sklera sich auszudehnen hängt mit der Hydratation des Bindegewebes zusammen, die ebenfalls mit dem Alter abnimmt.¹⁷ Zudem wurde über eine Dickenzunahme der Sklera mit zunehmendem Alter berichtet.^{11,47,55,56}

Intraokularer Druck

Die Sklera schützt das Augeninnere und dient der Aufrechterhaltung des intraokularen Druckes. Die vordere Sklera könnte daher ein potenziell interessanter Faktor in der Pathogenese der glaukomatösen Optikusneuropathie sein, da eine IOD-induzierte Deformation der Sklera auf das Gewebe des

Sehnervenkopfes übertragen werden könnte. Angesichts der möglichen Auswirkung der Gewebekompression im Bereich der Landzone einer Sklerallinse, haben mehrere Studien die Veränderungen des intraokularen Drucks (IOD) im Zusammenhang mit dem Tragen von Sklerallinsen untersucht.²³ So wird die Möglichkeit eines Anstiegs des Augeninnendrucks durch Sklerallinsen diskutiert. Eine Hypothese besagt, dass Sklerallinsen aufgrund ihrer Masse und Größe die episkleralen Venen zusammendrücken und den Abfluss des Kammerwassers bei anfälligen Personen verringern können.⁵⁷ Eine andere Möglichkeit ist, dass Sklerallinsen die Augenoberfläche applanieren und die intraokulare Flüssigkeit verdrängen können, so dass der IOD erhöht wird.⁵⁸ Eine jüngst publizierte Studie von Walker et al.⁵⁹ deutet jedoch darauf hin, dass Sklerallinsen während des Tragens eine sehr minimale Auswirkung auf den IOD und eine unbedeutende Auswirkung auf die Morphologie des Sehnervenkopfes bei gesunden Erwachsenen Augen zeigen. Weiterhin konnten Nguyen et al. zeigen, dass die Hornhautdeformationsreaktion unter einer Luftstoß-induzierten Verformung erheblich durch die Eigenschaften der Sklera beeinflusst wird.⁶⁰ Je steifer die Sklera ist, desto größer ist ihr Einfluss auf die Deformationseigenschaften der Hornhaut.⁶⁰

Refraktion

Eine hohe Myopie ist verbunden mit einer fortschreitenden und übermäßigen Dehnung des Augapfels, die mit degenerativen Veränderungen der Sklera einhergehen kann.⁵⁶ Einige Studien haben geometrische Veränderungen der vorderen Sklera bei zunehmender Myopie nachgewiesen. Consejo et al. zeigten, dass die Asymmetrie der skleralen Oberfläche mit zunehmender Myopie abnimmt.⁶¹ Je myoper das Auge ist, desto weniger asymmetrisch ist die vordere Sklera. Diese Autoren fanden auch heraus, dass die Form der vorderen Sklera gut mit der Baulänge und der Brechkraft des Auges korrelierten und die Baulänge des Auges durch eine Bestimmung der Parameter der vorderen skleralen vorausgesagt werden könnte.^{61,62} Niyazmanda et al. zeigten ebenfalls, dass die nasal-temporale Asymmetrie der skleralen Scheitelhöhen und der skleralen Radien bei hochgradig Myopen geringer ist als bei Emmetropen.⁶³ Dhakal et al. fanden mit zunehmendem Grad der Myopie eine signifikante Verdünnung der vorderen Sklera des inferioren Meridians im Vergleich zu den anderen drei Meridianen.⁶⁴

Keratokonus

Die Topographie der Sklera ist bei Augen mit Keratokonus von besonderer Bedeutung, da ein Keratokonus weltweit die häufigste Indikation für die Anpassung von Sklerallinsen ist.⁶⁵ Dabei scheint die Form der Sklera bei vorliegendem Keratokonus unregelmäßiger und steiler zu sein als bei gesunden Augen.^{54,66,67} Im Gegensatz dazu wurde bei einer Gruppe von Marfan-Syndrom Patienten eine im Vergleich zu gesunden Augen signifikant flacherer Skleraform festgestellt, was

einen Hinweis auf eine eher zentrifugale Dehnung des Bulbus geben könnte.⁶⁸

Je fortgeschrittener der Keratokonus desto höher scheint dabei die Asymmetrie der Sklera zu sein.⁶⁷ Während bei gesunden Augen die Form der Sklera an Hand der cornealen Topographie nur bedingt vorausgesagt werden kann¹⁸, scheinen die Hornhautparameter bei Keratokonus mit der Asymmetrie der Sklera zu korrelieren.⁶⁹ Dhaese et al. zeigten, dass bei vorliegendem Keratokonus der steilste Bereich der zentralen Hornhaut, der peripheren Hornhaut und der Sklera tendenziell eine gemeinsame Richtung haben.⁶⁹ Im Gegensatz dazu zeigte der Hornhautastigmatismus nur eine schwache Korrelation mit dem Grad der skleralen Unregelmäßigkeit, während die Krümmung der Hornhautrückfläche und die Hornhautdicke nicht mit der skleralen Asymmetrie korrelierten.⁶⁹

Akkommodation und Konvergenz

Woodman-Pieterse et al. berichteten von einer signifikanten Verdünnung der temporalen vorderen Sklera während der Akkommodation, die bei Myopen stärker ausgeprägt war als bei Emmetropen.⁷⁰ Zudem wurde von einer Veränderung der skleralen Scheitelhöhe während der Akkommodation berichtet. Diese nahm nasal während der Akkommodation um 390–330 µm ab, während sie temporal um 380–280 µm zunahm.⁷¹ Niyazmanda et al. wiesen nach, dass sowohl die Akkommodation als auch eine simulierte Konvergenz die Form der nasalen vorderen Sklera beeinflussen, wobei die größten Veränderungen mit der Konvergenz einhergehen und in den periphereren nasalen Skleraregionen am deutlichsten ausgeprägt waren.⁷² Dabei wurde eine signifikante Vorwärtsbewegung und eine Abflachung der nasalen skleralen Oberfläche bei Akkommodation, Konvergenz und deren Kombination beobachtet. Diese Veränderungen unterschieden sich nicht signifikant zwischen gering- bis mittelgradigen Myopen und Emmetropen.⁷²

Kontaktlinsen

Die Anatomie der Sklera des vorderen Augenabschnittes kann das Sitzverhalten von Kontaktlinsen, die ihre Auflage im Bereich der Sklera haben, beeinflussen, sie kann aber auch umgekehrt durch die Geometrie dieser Kontaktlinsen beeinflusst werden. Dabei kann es sowohl zu einer Veränderung der Dicke als auch der Topographie der Sklera kommen. Jandl et al. fanden im nasalen Teil der Bindehaut einen größeren Abdruck beim Tragen weicher Kontaktlinsen als im temporalen Teil und schlussfolgerten, dass die flachere Kurve der darunter liegenden nasalen Sklera für diesen festeren Sitz verantwortlich ist.²⁹ Auch nach dem Tragen von Sklerallinsen wurde über eine nasal stärkere Kompression des conjunctivalen und skleralen Gewebes berichtet.⁷³ Das Ausmaß einer Veränderung der skleralen Scheitelhöhe ist dabei stark mit dem Grad der Asymmetrie der Sklera verbunden. So führt eine höhere Asymmetrie neben einer stärkeren Gewebekompression auch

zu einer stärkeren Dezentration einer sphärischen Sklerallinse. Dies bedeutet auch, dass die Gewebekompression reduziert werden kann, wenn sich die Geometrie der Sklerallinse an der Geometrie der Sklera in den verschiedenen Quadranten orientiert. Zudem wurde bei gesunden Augen nach einer Sklerallinsen-Tragezeit von 3 - 5 Stunden eine erhebliche Abflachung der sklero-conjunctivalen Oberfläche im oberen Bereich nachgewiesen, was auf die Kräfte des Oberlids zurückgeführt wurde.^{61,74} Die Befunde einer höheren skleralen Asymmetrie bei Keratokonus-Augen deuten darauf hin, dass Sklerallinsen mit einer sphärischen Landezone wahrscheinlich zu einer ungleichmäßigen Kompression in Sektoren führen.⁶⁷ Anstatt die Skleraoberfläche zu glätten, scheint das regelmäßige Tragen von sphärischen Sklerallinsen zu einer stärkeren Asymmetrie der Sklera zu führen.⁶⁷ Es sind jedoch weitere Studien erforderlich, um die langfristigen Auswirkungen der Veränderungen von Bindehaut- und Skleragewebe unter und neben der Landezone bzw. dem Randbereich von weichen Kontaktlinsen und Sklerallinsen besser zu verstehen.

Fazit

Die Topographie der Sklera kann verschiedene Aspekte des Kontaktlinsensitzes, wie Zentrierung, oberflächige Gewebekompression sowie optische und physiologische Verträglichkeit beeinflussen. Ein detailliertes Verständnis der Anatomie sowie der Topographie der Sklera sowie möglicher Einflussfaktoren auf die sklerale Oberfläche ermöglichen eine individualisierte Auswahl von Weichlinsen und Sklerallinsen. Mehrere Studien konnten dabei den Nutzen moderner Messverfahren wie OCT, Scheimpflug oder Profilometrie bei der Erfassung skleraler Parameter zeigen. Diese ermöglichen eine vereinfachte Linsenauswahl, eine Prognose des Linsensitzes sowie eine Beurteilung der Veränderungen der skleralen Topographie. Die Kompression des Gewebes beim Tragen von Weichlinsen und Sklerallinsen scheint in erster Linie oberflächlich (conjunktivale und episklerale) zu sein und variiert je nach skleraler Topographie, Tragezeit und Linsendesign. Weitere Untersuchung zu langfristigen Auswirkungen von Veränderungen der skleralen Topographie sowie der Regenerationsdauer bei Gewebekompressionen im Bereich der vorderen Sklera können eine noch maßgeschneiderte und qualitativ hochwertige Versorgung gewährleisten.

Autor



Dr. Stefan Bandlitz
MS, FCOptom, FIACLE, FBCLA

E-Mail:
bandlitz@hfak.de

Literatur

- 1 Wolffsohn, J. S., Dumbleton, K., Huntjens, B., Kandel, H., Koh, S., Kunnen, C. M. E., Nagra, M., Pult, H., Sulley, A., Vianya-Estopa, M., Walsh, K., Wong, S., Stapleton, F. (2021). CLEAR - Evidence-based contact lens practice. *Cont. Lens Anterior Eye*, 44, 368-97.
- 2 Mülhaupt, M., Dietzko, S., Wolffsohn, J., Bandlitz, S. (2018). Corneal topography with an aberrometry-topography system. *Cont. Lens Anterior Eye*, 41, 436-41.
- 3 Ruston, D. M. (1999). The challenge of fitting astigmatic eyes: rigid gas-permeable toric lenses. *Cont. Lens Anterior Eye*, 22 Suppl. 1:S2-13.
- 4 Kwong, H., Gundel, R. (1999). Empirical fitting with polycon II lenses. *Int. Contact Lens Clin.*, 26, 152-156.
- 5 van der Worp, E., de Brabander, J., Lubberman, B., Marin, G., Hendrikse, F. (2002). Optimising RGP lens fitting in normal eyes using 3D topographic data. *Cont. Lens Anterior Eye*, 25, 95-99.
- 6 Sindt, C., Bennett, E., Szczotka-Flynn, L., Sclafani, L., Barnett, M., American Academy of Optometry (AAO) Section on Cornea, Contact Lenses & Refractive Technologies, and The American Optometric Association (AOA) Contact Lens and Cornea Section (2020). Technical Report: Guidelines for Handling of Multipatient Contact Lenses in the Clinical Setting. *Optom. Vis. Sci.* 97, 544-548.
- 7 Young, G., Schnider, C., Hunt, C., Efron, S. (2010). Corneal topography and soft contact lens fit. *Optom. Vis. Sci.*, 87, 358-366.
- 8 Szczotka, L. B., Roberts, C., Herderick, E. E., Mahmoud, A. (2002). Quantitative descriptors of corneal topography that influence soft toric contact lens fitting. *Cornea*, 21, 249-55.
- 9 Niyazmand, H., Read, S. A., Atchison, D. A. (2021). Repeatability of Anterior Eye Surface Topography Parameters from an Anterior Eye Surface Profilometer. *Optom. Vis. Sci.*, 98, 1203-1209.
- 10 Downie, L. E., Bandlitz, S., Bergmanson, J. P. G., Craig, J. P., Dutta, D., Maldonado-Codina C., Ngo, W., Siddireddy, J. S., Wolffsohn, J. S. (2021). CLEAR - Anatomy and physiology of the anterior eye. *Cont. Lens Anterior Eye*, 44, 132-56.
- 11 Ebner, A., Haner, N. U., Zinkernagel, M. S. (2015). Metrics of the normal anterior sclera: imaging with optical coherence tomography. *Graefes Arch. Clin. Exp. Ophthalmol.*, 253, 1575-80.
- 12 Walker, M. K., Schornack, M. M., Vincent, S. J. (2021). Anatomical and physiological considerations in scleral lens wear: Eyelids and tear film. *Cont. Lens Anterior Eye*, 44, 101407.
- 13 Boote, C., Sigal, I. A., Grytz, R., Hua, Y., Nguyen, T. D., Girard, M. J. A. (2020). Scleral structure and biomechanics. *Prog. Retin. Eye Res.*, 74, 100773.
- 14 Wang, C., Xie, Y., Wang, G. (2018). The elastic modulus and collagen of sclera increase during the early growth process. *J. Mech. Behav. Biomed. Mater.*, 77, 566-571.
- 15 Gaggioni, M., Meier, D. (1987). Das Corneo-Skleral-Profil. *NOJ*, 1, 66-71.
- 16 Hall, L. A., Young, G., Wolffsohn, J. S., Riley, C. (2011). The influence of corneoscleral topography on soft contact lens fit. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, 52, 6801-6806.
- 17 Walker, M. K., Schornack, M. M., Vincent, S. J. (2020). Anatomical and physiological considerations in scleral lens wear: Conjunctiva and sclera. *Cont. Lens Anterior Eye*, 43, 517-28.
- 18 Bandlitz, S., Bäumer, J., Conrad, U., Wolffsohn, J. (2017). Scleral topography analysed by optical coherence tomography. *Cont. Lens Anterior Eye*, 40, 242-247.
- 19 Bokern, S., Hoppe, M., Bandlitz, S. (2007). Accuracy and Repeatability of Grading Corneo Scleral Profile. *Die Kontaktlinse* 40, 7-8, 26-28.
- 20 Bergmann B, Wolffsohn JS, Bandlitz S. (2021). Scheimpflug imaging for grading and measurement of corneo-scleral-profile in different directions. BCLA Virtual Conference presentation.
- 21 Su, X., Chen, W. (2001). Fourier transform profilometry: a review. *Optics and Lasers in Engineering*, 35, 263-284.
- 22 Jongmsa, F. H., de Brabander, J., Hendrikse, F., Stultiens, B. A. (1998). Development of a wide field height eye topographer: validation on models of the anterior eye surface. *Optom. Vis. Sci.*, 75, 69-77.
- 23 Barnett M., Courey, C., Fadel, D., Lee, K., Michaud, L., Montani, G., van der Worp, E., Vincent, S. J., Walker, M., Bilkhu, P., Morgan, P. B. (2021). CLEAR - Scleral lenses. *Cont. Lens Anterior Eye*, 44, 270-88.
- 24 Bandlitz, S., Esper, P., Stein, M., Dautzenberg, T., Wolffsohn, J. S. (2020). Corneoscleral Topography Measured with Fourier-based Profilometry and Scheimpflug Imaging. *Optom. Vis. Sci.*, 97, 766-774.

- 25 DeNaeyer, G., Sanders, D. R. (2018). sMap3D Corneo-Scleral Topographer Repeatability in Scleral Lens Patients. *Eye Contact Lens*, 44, Suppl 1, S259-S64.
- 26 DeNaeyer, G., Sanders, D. R., Farajian, T. S. (2017). Surface coverage with single vs. multiple gaze surface topography to fit scleral lenses. *Cont. Lens Anterior Eye*, 40, 162-169.
- 27 Kanclerz, P., Khoramnia, R., Wang, X. (2021). Current Developments in Corneal Topography and Tomography. *Diagnostics (Basel)*, 11, 1466.
- 28 Bandlitz, S., Purslow, C., Murphy, P. J., Pult, H. (2016). Influence of Conjunctival Folds on Calculated Tear Meniscus Volume Along the Lower Eyelid. *Ocul. Surf.*, 14, 377-384.
- 29 Jandl, A., Ruland, T., Schwarz, D., Wolffsohn, J. S., Pult, H., Bandlitz, S. (2021). Clinical significance of contact lens related changes of ocular surface tissue observed on optical coherence images. *Cont. Lens Anterior Eye*, 44, 101388.
- 30 van der Worp, E. (2020). New technology in contact lens practice. *Contact Lens Spectrum*, 2, 22-29.
- 31 van der Worp, E., Graf, T., Caroline, P. (2010). Exploring beyond the corneal borders. *Contact Lens Spectrum*, 6, 26-32.
- 32 Hall, L. A., Hunt C., Young, G., Wolffsohn, J. (2013). Factors affecting corneoscleral topography. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, 54, 3691-701.
- 33 Ritzmann, M., Caroline, P. J., Borret, R., Korszen, E. (2019). An analysis of anterior scleral shape and its role in the design and fitting of scleral contact lenses. *Cont. Lens Anterior Eye*, 41, 205-213.
- 34 Choi, H. J., Lee, S. M., Lee, J. Y., Lee, S. Y., Kim, M. K., Wee, W. R. (2014). Measurement of anterior scleral curvature using anterior segment OCT. *Optom. Vis. Sci.*, 91, 793-802.
- 35 Kasahara, M., Shoji, N., Morita, T., Shimizu, K. (2014). Comparative optical coherence tomography study of differences in scleral shape between the superonasal and superotemporal quadrants. *Jpn. J. Ophthalmol.*, 58, 396-401.
- 36 Lee, S. M., Choi H. J., Choi, H., Kim, M. K., Wee, W. R. (2016). Estimation of axial curvature of anterior sclera: correlation between axial length and anterior scleral curvature as affected by angle kappa. *BMC Ophthalmol.*, 16, 176.
- 37 Sorbara, L., Maram, J., Fonn, D., Woods, C., Simpson, T. (2010). Metrics of the normal cornea: anterior segment imaging with the Visante OCT. *Clin. Exp. Optom.*, 93, 150-156.
- 38 Tiffany, J. M., Grande, E. F., Todd, B. S. (2004). Measurement of scleral curvature by scheimpflug photography. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, 45, 2389.
- 39 Bataille, L., Molina-Martin, A., Pinero, D. P. (2021). Comparative Analysis of Two Clinical Diagnostic Methods of the Corneoscleral Geometry. *Eye Contact Lens*, 47, 546-51.
- 40 Gier, Y., Rehnert, M., Widmer, F., Nagl, A. (2021). Eine Analyse des vorderen Augenabschnitts mit dem Oculus Pentacam Corneo-Skleral-Profil-Report. *Optom. Contact Lenses*, 1, 21-32.
- 41 Rott-Muff, D., Keller, U., Häusler, M., Spinell, M. R. (2001). Das Corneo-Skleral-Profil und seine Auswirkungen auf die Form von Weichlinsen. *Die Kontaktlinse*, 35, 5, 26-34.
- 42 Consejo, A., Llorens-Quintana, C., Radhakrishnan, H., Iskander, D. R. (2017). Mean shape of the human limbus. *J. Cataract Refract. Surg.*, 43, 667-72.
- 43 Consejo, A., Llorens-Quintana, C., Bartuzel, M. M., Iskander, D. R., Rozema, J. J. (2019). Rotation asymmetry of the human sclera. *Acta Ophthalmol.*, 97, e266-e70.
- 44 Fadel, D. (2018). The influence of limbal and scleral shape on scleral lens design. *Cont. Lens Anterior Eye*, 41, 321-328.
- 45 van den Bosch, W. A., Leenders, I., Mulder, P. (1999). Topographic anatomy of the eyelids, and the effects of sex and age. *Br. J. Ophthalmol.*, 83, 347-352.
- 46 Apt, L., Call, N. B. (1982). An anatomical reevaluation of rectus muscle insertions. *Ophthalmic Surg.*, 13, 108-112.
- 47 Read, S. A., Alonso-Caneiro, D., Free, K. A., Labuc-Spoors, E., Leigh, J. K., Quirk, C. J., Yang, Z. Y.-L., Vincent, S. Y. (2016). Diurnal variation of anterior scleral and conjunctival thickness. *Ophthalmic Physiol. Opt.*, 36, 279-89.
- 48 Meier, D. (1992). Corneo Scleral Profile for Individual Contact Lens Fitting. *Die Kontaktlinse*. 26, 10, 4-11.
- 49 Young, G. (1992). Ocular sagittal height and soft contact lens fit. *J. Br. Contact Lens Assoc.*, 15, 45-9.
- 50 van der Worp, E., Lampa, M., Kinoshita, B., Fujimoto, M. J., Coldrick, B. J., Caroline, P. (2021). Variation in sag values in daily disposable, reusable and toric soft contact lenses. *Cont Lens Anterior Eye*, 44, 101386.
- 51 Lagodny, M., Kurz, C., Wolffsohn, J. S., Bandlitz, S. (2021). Prediction of corneoscleral sagittal heights using placido-based corneal topography in healthy eyes. *BCLA Virtual Conference Presentation*.
- 52 Abass, A., Lopes, B.T., Eliasy, A., Salomao, M., Wu, R., White, L., Jones, S., Clamp, J., Ambrósio Jr, R., Elsheikh, A. (2019). Artefact-free topography based scleral-asymmetry. *PLoS One*, 14, e0219789.
- 53 Kowalski, L. P., Collins, M. J., Vincent, S. J. (2019). Scleral lens centration: The influence of centre thickness, scleral topography, and apical clearance. *Cont. Lens Anterior Eye*, 43, 562-567.
- 54 Pinero, D. P., Martinez-Abad, A., Soto-Negro, R., Ruiz-Fortes, P., Perez-Cambrodi, R. J., Ariza-Gracia, M. A., Carracedo, G. (2019). Differences in corneo-scleral topographic profile between healthy and keratoconus corneas. *Cont Lens Anterior Eye*, 42, 75-84.
- 55 Read, S. A., Alonso-Caneiro, D., Vincent, S. J., Bremner, A., Fothergill, A., Ismail, B., McGraw, R., Quirk, C. J., Wrigley, E. (2016). Anterior eye tissue morphology: Scleral and conjunctival thickness in children and young adults. *Sci. Rep.*, 6, 33796.
- 56 Fernandez-Vigo, J. I., Shi, H., Burgos-Blasco, B., Fernandez-Aragon, S., De-Pablo-Gomez-de-Liano, L., Kudsieh, B., Macarro-Merino, A., Fernandez-Vigo, J. Á. (2021). Anterior scleral thickness dimensions by swept-source optical coherence tomography. *Clin. Exp. Optom.*, 16, 1-7.
- 57 Nau, C. B., Schornack, M. M., McLaren, J. W., Sit, A. J. (2016). Intraocular Pressure After 2 Hours of Small-Diameter Scleral Lens Wear. *Eye Contact Lens*, 42, 50-53.
- 58 McMonnies, C. W. (2016). A hypothesis that scleral contact lenses could elevate intraocular pressure. *Clin. Exp. Optom.*, 99, 594-596.
- 59 Walker, M. K., Pardon, L. P., Redfern, R., Patel, N. (2020). IOP and Optic Nerve Head Morphology during Scleral Lens Wear. *Optom. Vis. Sci.*, 97, 661-668.
- 60 Nguyen, B. A., Reilly, M. A., Roberts, C. J. (2020). Biomechanical contribution of the sclera to dynamic corneal response in air-puff induced deformation in human donor eyes. *Exp. Eye Res.*, 191, 107904.
- 61 Consejo, A., Rozema, J. J. (2020). In vivo anterior scleral morphometry, axial length and myopia. *Cont. Lens Anterior Eye*, 43, 21-25.
- 62 Bataille, L., Molina-Martin, A., Pinero, D. P. (2021). Relationship between Axial Length and Corneo-Scleral Topography: A Preliminary Study. *Diagnostics (Basel)*, 11, 542.
- 63 Niyazmand, H., Read, S. A., Atchison, D. A., Collins, M. J. (2021). Anterior eye shape in emmetropes, low to moderate myopes, and high myopes. *Cont. Lens Anterior Eye*. 44, 101361.
- 64 Dhakal, R., Vupparaboina, K. K., Verkicharla, P. K. (2020). Anterior Sclera Undergoes Thinning with Increasing Degree of Myopia. *Invest. Ophthalmol.*, 61, 6.
- 65 Nau, C. B., Harthan, J., Shorter, E., Barr, J., Nau, A., Chimato, N. T., Hodge, D. O., Schornack, M. (2018). Demographic Characteristics and Prescribing Patterns of Scleral Lens Fitters: The SCOPE Study. *Eye Contact Lens*, 44 Suppl 1, S265-S72.
- 66 Mas-Aixala, E., Gispets, J., Lupon, N., Cardona, G. (2016). The variability of corneal and anterior segment parameters in keratoconus. *Cont. Lens Anterior Eye*, 39, 466-470.
- 67 Van Nuffel, S., Consejo, A., Koppen, C., Kreps, E. O. (2021). The corneo-scleral shape in keratoconus patients with and without specialty lens wear. *Cont Lens Anterior Eye*, 44, 101343.
- 68 Vanhonsbrouck, E., Consejo, A., Coucke, P. J., Leroy, B. P., Kreps, E. O. (2021). The corneoscleral shape in Marfan syndrome. *Acta Ophthalmol.*, 99, 405-410.
- 69 Dhaese, S. E., Kreps, E. O., Consejo, A. (2021). Scleral shape and its correlation with corneal parameters in keratoconus. *Cont. Lens Anterior Eye*, 44, 101366.
- 70 Woodman-Pieterse, E. C., Read, S. A., Collins, M. J., Alonso-Caneiro, D. (2018). Anterior scleral thickness changes with accommodation in myopes and emmetropes. *Exp Eye Res.*, 177, 96-103.
- 71 Consejo, A., Radhakrishnan, H., Iskander, D. R. (2017). Scleral changes with accommodation. *Ophthalmic Physiol. Opt.*, 37, 263-74.
- 72 Niyazmand, H., Read, S. A., Atchison, D. A., Collins, M. J. (2020). Effects of accommodation and simulated convergence on anterior scleral shape. *Ophthalmic Physiol. Opt.*, 40, 482-490.
- 73 Macedo-de-Araujo, R. J., van der Worp, E., Gonzalez-Mejjome, J. M. (2019). In vivo assessment of the anterior scleral contour assisted by automatic profilometry and changes in conjunctival shape after mini-scleral contact lens fitting. *J. Optom.*, 12, 131-140.
- 74 Alonso-Caneiro, D., Vincent, S. J., Collins, M. J. (2016). Morphological changes in the conjunctiva, episclera and sclera following short-term miniscleral contact lens wear in rigid lens neophytes. *Cont. Lens Anterior Eye*, 39, 53-61.

COE Multiple-Choice-Fragebogen



Letzter Termin, um die Fragen online auf der Website www.ocl-online.de zu beantworten, ist der 1. April 2023

Frage 1: Welche der folgenden Schichten findet man in der Sklera?

- a) Epithel
- b) Stroma
- c) Endothel
- d) Lamina limitans anterior

Frage 2: Zur Erfassung der skleralen Topographie kommen verschiedene Techniken zum Einsatz. Welche der folgenden Aussage trifft für die Fourier-basierte Profilometrie zu?

- a) Analysiert Messungen der Echozeitverzögerung von rückgestreutem oder rückreflektiertem Licht unter Verwendung eines Interferometers.
- b) Projiziert ein Sinus-Gitter auf eine diffuse dreidimensionale Oberfläche und analysiert das daraus resultierende verformte Gitterbild.
- c) Verwendet drei senkrecht zueinanderstehende Ebenen zur Erweiterung der Schärfentiefe, die eine scharfe Auflösung des Bildes ermöglicht.
- d) Ermöglicht auch hochauflösende, *in-vivo* aufgenommene Bilder des Augenhintergrundes.

Frage 3: Was versteht man unter dem corneo-skleralen Übergangswinkel?

- a) Winkel, den die vordere Sklera mit einer horizontalen Sehne, die senkrecht zur Mitte der Hornhaut oder der Pupille steht, bildet.
- b) Profillinie, die durch die Form der Cornea, des Sulcus und dem weiteren Verlauf der Sklera gebildet wird.
- c) Winkel, der zwischen einer Tangente an der Cornea und einer Tangente an der Sklera im Bereich des Limbus entsteht.
- d) Abstand von einer Tangente am Hornhautscheitel zu einer parallelen horizontalen Sehne im Bereich der Sklera.

Frage 4: Die Topographie der Sklera ist bei Augen mit Keratokonus von besonderer Bedeutung, da ein Keratokonus weltweit die häufigste Indikation für die Anpassung von Sklerallinsen ist. Welches Ergebnis zur Form der Sklera bei vorliegendem Keratokonus konnte in Studien gezeigt werden?

- a) Je fortgeschrittener der Keratokonus, desto höher scheint die Asymmetrie der Sklera zu sein.
- b) Bei Patienten mit Keratokonus wurde eine im Vergleich zu gesunden Augen signifikant flacherer Skleraform festgestellt.
- c) Der Hornhautastigmatismus bei Keratokonus zeigt eine sehr hohe Korrelation mit dem Grad der skleralen Unregelmäßigkeit.
- d) Sklerallinsen mit einer sphärischen Landezone führen zu einer Glättung der unregelmäßigen Skleraform bei vorliegendem Keratokonus.

Frage 5: Welche Verlaufsform des Corneo-Skleral-Profiles scheint am häufigsten vorzukommen?

- a) Ein fließend tangentialer Verlauf
- b) Ein fließend konvexer Verlauf
- c) Ein markant konvexer Verlauf
- d) Ein markant tangentialer Verlauf

Frage 6: Welche geometrischen Veränderungen der vorderen Sklera konnten bei zunehmender Myopie in Studien nachgewiesen werden?

- a) Die nasal-temporale Asymmetrie der skleralen Scheitelhöhen und der skleralen Radien ist bei hochgradig Myopen größer als bei Emmetropen.
- b) Die Form der vorderen Sklera korreliert nicht mit der Baulänge und der Brechkraft des Auges.
- c) Mit zunehmendem Grad der Myopie kommt es zu einer signifikanten Verdünnung der vorderen Sklera des inferioren Meridians im Vergleich zu den anderen drei Meridianen.
- d) Die Asymmetrie der skleralen Oberfläche nimmt mit zunehmender Myopie ab.