

Hornhautsensibilität

Teil 2: Der Einfluss von Kontaktlinsen

Daniela S. Nosch

Die Messung der Hornhautsensibilität ermöglicht eine Beurteilung der Funktionstüchtigkeit der schmerzempfindlichen oberflächlichen Hornhautnerven. Daraus ergeben sich wichtige Hinweise auf die Gesundheit der Hornhaut im Verlauf eines Erkrankungsprozesses, während der Heilungsphase nach einer Verletzung oder einem refraktiv-chirurgischen Eingriff, sowie beim Kontaktlinsentragen. [1-3] Die Nervenenden in der Hornhaut und Bindehaut sind über ein komplexes Feedback-Netzwerk (unter Aktivierung von Hirnstamm Regelkreisen) mit den Tränendrüsen und dem Musculus orbicularis oculi verbunden, um die Gesundheit der Augenvorderfläche und den Tränenfilm jederzeit zu überwachen und zu erhalten. [4] Für die Regulierung des Heilungsprozesses nach Verletzungen lösen sie die Freigabe von trophischen Substanzen (Neuropeptide und Neurotrophine) aus. [5] Dieser Beitrag ist der zweite Artikel einer Trilogie über die Hornhautsensibilität. Er fasst die publizierte Literatur über den Einfluss des Kontaktlinsentragens zusammen und erläutert, welche Auswirkungen verschiedene Kontaktlinsenmaterialien und Tragemodi haben. Zu berücksichtigen ist, dass in den Studien jeweils unterschiedliche Messmethoden mit spezifischen Stimulusarten eingesetzt wurden. Die Ergebnisse sind untereinander nicht vergleichbar (siehe Artikel Teil 1, DOZ 12-2013), weil jeweils andere Rezeptoren stimuliert wer-

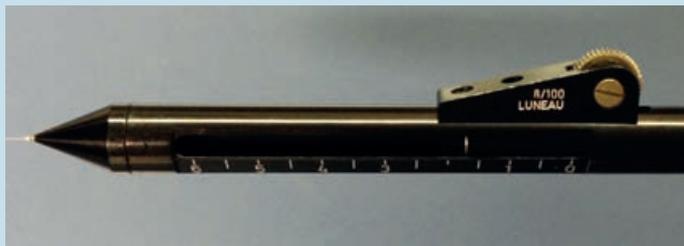


Abb. 1: Das Cochet-Bonnet-Aesthesiometer.



Abb. 2: Das Belmonte-Aesthesiometer (Ocular Pain Meter, OPM).

den: [6] Das Cochet-Bonnet Aesthesiometer (Abb. 1) generiert einen taktilen, mechanischen Stimulus und stimuliert Mechanorezeptoren, welche auf eher größeren Druck reagieren; der Belmonte Luftstoß-Aesthesiometer (Abb. 2) hingegen verwendet einen Stimulus, der je nach Temperatur und Mischung mit Kohlendioxid entweder eine leicht mechanische, kühlende oder chemische Reizung verursacht, wobei eher die auf weniger Druck sensiblen mechanischen, die polymodalen und die kälteempfindlichen Nozizeptoren reagieren. Das Cochet-Bonnet Aesthesiometer ist zwar das am häufigsten verwendete Aesthesiometer, wird aber wegen einiger Schwächen in Frage gestellt. Da es sich um eine invasive Methode handelt, kann es zu Verletzungen des Epithels kommen. Eine Anspannung der Probanden kann außerdem die Schwellenwertmessung beeinflussen. Weiterhin ist die Reproduzierbarkeit schlecht (kein standardisierter Druck auf der Hornhaut, Orientierung des Nylonfadens zur Hornhautoberfläche problematisch). Die Stimulus-Bandbreite ist eingeschränkt, da es zu einer Unterschätzung der Hornhautsensibilität kommen kann und feine Sensibilitätsschwankungen nicht erkennbar sind. Schließlich kann die Luftfeuchtigkeit und das Alter des Nylonfadens die Messung beeinflussen. [7,8] Andererseits gilt es nicht als gesichert, ob das Luftstoß-Aesthesiometer effektiv eine mechanische Hornhautempfindlichkeit messen kann, denn sein Luft-Stimulus verursacht zwangsläufig eine Verdunstung des Tränenfilms, wodurch die temperaturempfindlichen C Fasern im subbasalen epithelialen Nervenplexus zusätzlich angeregt werden.

Der Einfluss von PMMA und formstabilen Kontaktlinsen (RGP-KL)

Schon im Jahre 1963 berichtete Schirmer von einer Herabsetzung der Hornhautsensibilität unmittelbar nach dem Tragen von PMMA-Kontaktlinsen (KL). [9] Er verwendete ein taktilen Aesthesiometer, welches ein mit einer Feder geladenes Kunststoffplättchen auf die Hornhaut sendet (Abb. 3 und 4). Millodot erhielt eine 94-prozentige Erhöhung des Schwellenwertes (= Herabsetzung der Sensibilität) im zentralen Hornhautbereich und eine 114-prozentige Erhöhung im peripheren Hornhautbereich (von 19.64 mg/mm² auf 45.64 mg/mm²) nach achtstündigem Tragen von PMMA-KL. [10] Auch konnte er eine durch das KL-Tragen verursachte Dickenzunahme der Hornhaut von durchschnittlich 6,9% feststellen. Einen ähnlichen Effekt konnte er nach dem sechs- bis zehnstündigen Tragen von formstabilen (RGP) KL unter Verwendung des Cochet-Bonnet Aesthesiometers messen. [11] Wenn allerdings diese KL-Materialien für mehrere Jahre täglich getragen wurden, so war die Beeinträchti-

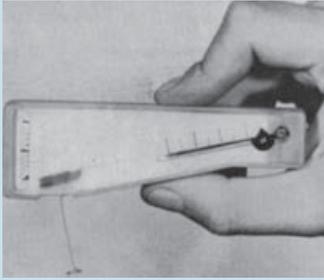


Abb. 3 und 4: Das Schirmer-Aesthesiometer. [1]

gung der Hornhautsensibilität mit PMMA-KL ausgeprägter als mit RGP-KL, wobei Millodot eine gewisse Korrelation zwischen Sensibilität und der Anzahl der Jahre des KL-Tragens beobachten konnte. [12] Bergenske und Polse rüsteten PMMA-KL-Träger auf RGP-KL um und konnten eine erhebliche Erholung der Hornhautsensibilität feststellen. Sanaty und Temel haben unter Verwendung eines Cochet-Bonnet Aesthesiometers einen erheblich größeren Einfluss auf die zentrale als die periphere Hornhautsensibilität gemessen. [13]

Der Einfluss von Orthokeratologie

Bei der Orthokeratologie (Ortho-K) wird vor allem mit Hilfe von hydrostatischen Kräften (durch sogenannte ‚Squeeze Film‘-Kräfte im Tränenfilm) auf die zentrale Hornhaut Druck ausgeübt. [14] Lum et al. konnten zeigen, dass die Hornhautsensibilität, unter Verwendung des Cochet-Bonnet Aesthesiometers, drei Stunden nach Absetzen der über Nacht getragenen Ortho-K-KL herabgesetzt ist. [15] Keine statistisch signifikante Änderung konnten sie jedoch zum gleichen Zeitpunkt mit dem NCCA Luftstoß-Aesthesiometer feststellen. Sie spekulierten, dass die Sensibilität nur lokal im zentralen Hornhautbereich im Behandlungsbereich beeinträchtigt gewesen sein könnte. Der Luftstimulus des NCCA Luftstoß-Aesthesiometers erreicht einen wesentlich größeren Bereich der Hornhaut und hat somit die lokale Sensibilitätsänderung möglicherweise nicht detektieren können. Auch spekulierten sie, dass das NCCA Aesthesiometer eher die Reaktion von polymodalen und temperaturempfindlichen Nozizeptoren prüft, während das taktile Cochet-Bonnet Aesthesiometer die auf Deformation empfindlichen Mechanonozizeptoren anspricht. [5,16,17] Lum et al. konnten bei zwei Ortho-K-Trägern (nach einem und neun Jahren täglichem KL-Tragen) auch eine durch Ortho-K hervorgerufene Veränderung der Morphologie des epithelialen subbasalen Nervplexus aufzeigen (Abb. 5 und 6): [18] Im Gegensatz zu einem normalen Auge, verlaufen die Nervenfasern nach dem Tragen von Ortho-K-KL nicht mehr in einem spiralförmigen Arrangement aufeinander zu, sondern bilden stattdessen ein geschlängeltes Netzwerk im zentralen Hornhautbereich, wobei sie in der Mittelperipherie eher kurvenartig und verdickt verlaufen.

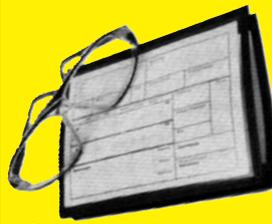
Der Einfluss von weichen Kontaktlinsen

Knoll und Williams konnten keine Einwirkung von täglich getragenen weichen KL mit niedrigem Dk-Wert auf die Hornhautsensibilität feststellen. [19] Andere Forschungsgruppen haben jedoch unter der Verwendung des Cochet-Bonnet Aesthesiometers eine kleine Beeinträchtigung ermittelt, die jedoch viel

weniger ausgeprägt war als jene durch das Tragen von PMMA-KL. [20-23] Murphy und Kollegen beobachteten ebenfalls eine Herabsetzung der Hornhautsensibilität unter Verwendung eines kühlen Luftstimulus (mit dem NCCA Aesthesiometer, Abb. 7). Sie fanden jedoch keinen Unterschied zwischen dem langjährigen Tragen von RGP- und Hydrogel-KL. [24] Beuerman und Rosza verwendeten unmittelbar nach dem KL-Tragen eine andere Methode zur Hornhautsensibilitätsmessung: Die Augen wurden in ein auf 33°C erwärmtes steriles Saline-Bad getunkt, woraufhin Saline-Jets mit ansteigendem Druck und unterschiedlichen Temperaturen (33-48°C) auf ihre Hornhautoberfläche gesendet wurden. [25] Sie konnten eine größere Beeinträchtigung der Empfindlichkeit an drei Probanden messen, wenn Hydrogel-KL mit mittlerem Dk-Wert für vier Wochen täglich mindestens acht Stunden getragen wurden, als wenn die gleichen KL nur für eine Woche für täglich für zwei bis vier Stunden getragen wurden.

Stapleton et al. verwendeten einen mechanischen Luftstimulus (= oberflächliche Hornhauttemperatur) und konnten weder einen Einfluss von kurzzeitigem Tragen von weichen KL mit einem niedrigem Dk-Wert von 28 noch von solchen mit einem hohen Dk-Wert von 140 unter Verwendung eines modifizierten CRCERT Belmonte Aesthesiometers messen. [26] Sie beobachteten jedoch eine Sensibilisierung der bulbären Bindehaut wenn Silikonhydrogel-(SH)-KL, nicht aber wenn Hydrogel-KL mit niedrigem Dk getragen wurden. Situ et al. untersuchten den Effekt von kurzzeitig getragenen SH-KL mit einem Dk von 91 unter Verwendung des Cochet-Bonnet- und des Belmonte-Aesthesiometers (mit mechanischer und chemischer Reizung). [27] Sie konnten eine leichte Beeinträchtigung der taktilen Hornhautsensibilität (unter Verwendung des Cochet-Bonnet-Aesthesiometers) und eine leichte Erhöhung der mechanischen cornealen und conjunctivalen Sensibilität mit dem Luftstoß-Stimulus messen. Sie spekulierten, dass diese Sensibilisierung durch die Reibung der KL mit dem Auge hervorgerufen werden könnte, da die verwendete SH-KL einen erhöhten Elastizitätsmodul aufwies. Auch hielten sie es für wahrscheinlich, dass der durch das KL-Tragen veränderte Tränenfilm eine erhöhte Reizung der oberflächlichen Nervenenden verursacht hat. Auch könnte eine subklinische Entzündung verantwortlich gewesen sein, welche bei asymptomatischen KL-Trägern auftritt. [27] Die leichte Herabsetzung der taktilen Sensibilität erklärten sie mit einer vorangegangenen sensorischen Adaptation an die KL. Diese offenbar widersprüchlichen Ergebnisse mit den zwei unterschiedlichen Messverfahren erklärten sie folgendermaßen: Die taktilen Sensibilität sei für die Meldung einer ‚Alarmsituation‘ auf äußere Einflüsse verantwortlich, während die pneumatische mechanische Sensibilität vor allem interozeptive Informationen wie beispielsweise Änderungen auf der Augenoberfläche oder im Tränenfilm liefert. [27] ▶

Anzeige



Arbeitstaschen für Augenoptiker

Klarsicht-Tasche für Brillen und Kontaktlinsen für Format DIN A5 und DIN A6.
Auf Wunsch auch andere Formate und Sonderanfertigungen möglich. Bitte fordern Sie Unterlagen und kostenlose Muster an.

just
www.just-products.de · Mail: info@just-products.de

Bassermannstr. 7, 70563 Stuttgart
Fon: 0711-7352144 · Fax: 0711-7356100

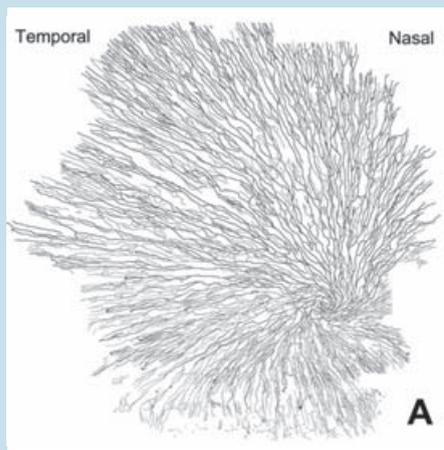


Abb. 5: Der epitheliale subbasale Nervplexus einer normalen Hornhaut; mit freundlicher Genehmigung von Edward Lum.

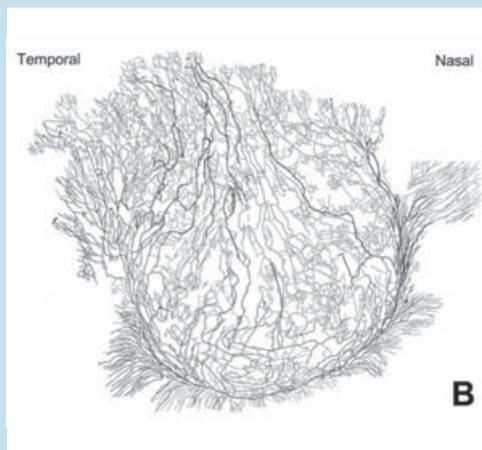


Abb. 6: Der epitheliale subbasale Nervplexus nach dem Tragen von Ortho-K-KL; mit freundlicher Genehmigung von Edward Lum.

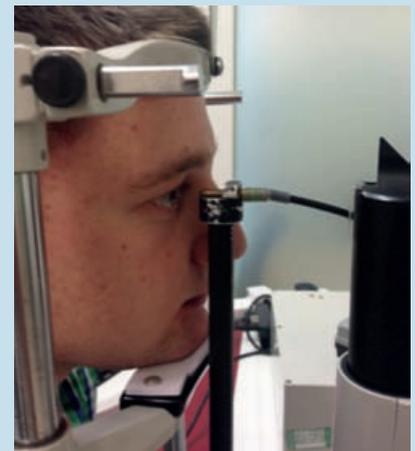


Abb. 7: Das NCCA-Luftstoß-Aesthesiometer am Spaltlampenmikroskop.

Golebiowski et al. wollten herausfinden, ob die Hornhautsensibilität durch das verlängerte Tragen (VT, über Nacht) von Hydrogel-KL mit einem niedrigem Dk von 40 und 24 im Vergleich zu einer Kontrollgruppe ohne KL beeinflusst wird. Sie untersuchten 27 Personen in der KL-Gruppe und 25 Personen in der Kontrollgruppe und verwendeten den mechanischen Stimulus des CRCERT-Belmonte-Aesthesiometers (Stimulus = oberflächliche Hornhauttemperatur) und konnten keinen Unterschied zwischen diesen beiden Gruppen feststellen. Erstaunlicherweise erhielten sie etwas tiefere Hornhautsensibilitätswerte für alle Personen, nachdem diese für eine gewisse Zeit keine KL getragen hatten. Nachdem diese Gruppe auf SH-KL (Dk 140) umgerüstet worden war, veränderten sich die Hornhautsensibilitätswerte nicht mehr und blieben auf dem etwas tieferen Niveau. Die Autoren erklärten diese, im Vergleich zu vorangegangenen Studien, widersprüchlichen Ergebnisse mit der unterschiedlichen Natur der verwendeten Stimuli und spekulierten, dass die durch Hypoxie verursachte Herabsetzung der Hornhautsensibilität mit dem Cochet-Bonnet-Aesthesiometer auf die Reizung von solchen Mechanorezeptoren zurückzuführen sei, welche tendenziell auf höhere mechanische Einwirkung reagieren. Im Gegensatz hierzu seien möglicherweise solche Mechanorezeptoren, welche auf weniger Druck reagierten, nicht betroffen gewesen und hätten somit mit dem Luftstoß-Aesthesiometer keine erhöhte Aktivität angezeigt. Da es sich im Versuch um langjährige KL-Träger handelte, standen leider keine Baseline Messungen für diese Probandengruppe zur Verfügung. Weitere klinische Studien mit größeren Probandengruppen sind notwendig, um zu einer verlässlichen Schlussfolgerung zu gelangen.

Die Sensibilität der Conjunctiva beim KL-Tragen

Nur wenige Studien befassten sich mit dem Einfluss des KL-Tragens auf die Sensibilität der Bindehaut. Unter Verwendung des Cochet-Bonnet Aesthesiometers beobachteten Lowther und Hill in den 1960er Jahren eine Herabsetzung der Empfindlichkeit des Lidrandes verursacht durch das Tragen von PMMA, RGP und Hydrogel-KL mit niedrigem Dk. [28] Stapleton et al. konnten eine Sensibilisierung der bulbären Bindehaut bei SH-KL-Trägern beobachten, nachdem sie von Hydrogel-KL umgerüstet

worden waren. [26] Diese Werte waren auch im Vergleich zu einer Kontrollgruppe ohne KL erhöht. Situ und Kollegen bestätigten diese statistisch signifikante Erhöhung der Sensibilität der Conjunctiva unter Verwendung eines mechanischen Stimulus des Luftstoß-Aesthesiometers, nicht jedoch mit chemischer Einwirkung (mit einem Kohlendioxid-Luft-Gemisch) und auch nicht mit dem Cochet-Bonnet-Aesthesiometer. [27] Golebiowski et al. hingegen konnten keine Sensibilitätsänderungen der bulbären Bindehaut bei ihrem Vergleich von langjährigen Hydrogel-KL auf VT-Basis im Vergleich mit einer Kontrollgruppe beobachten (unter Verwendung des mechanischen Stimulus mit Luftstoß-Aesthesiometrie). [29]

Der Einfluss von KL-Pflegemitteln auf die Hornhautsensibilität

Seit einigen Jahren diskutiert die Fachpresse, ob KL-Pflegemittel mit Konservierungsstoffen den Komfort von KL beeinträchtigen. Vielfach wurde berichtet, dass mit Polyhexanid konservierte Pflegemittel in Kombination mit bestimmten SH-KL-Materialien corneale und conjunctivale Stippungen, sowie bulbäre Hyperämie und KL-Diskomfort hervorrufen können. [30-33] Epstein führte eine Crossover Pilotstudie durch, um – unter Verwendung des Cochet-Bonnet-Aesthesiometers – eine mögliche Korrelation zwischen KL-Pflegemittelprodukten und Hornhautsensibilität herzustellen. [34] Er fand eine reduzierte Hornhautsensibilität, wenn das mit Polyhexanid konservierte Pflegemittel verwendet wurde, im Gegensatz zu dem mit Polyquad konservierten Pflegemittel. Allerdings waren diese Unterschiede statistisch nicht signifikant, was unter anderem auch an seiner kleinen Probandengruppe gelegen haben könnte. Situ et al. untersuchten ebenfalls die Auswirkungen von unterschiedlichen SH-KL/Pflegemittel Kombinationen auf die Sensibilität der Augenvorderfläche an einer größeren Probandengruppe von 48, unter Verwendung des Cochet-Bonnet- sowie des Luftstoß-Aesthesiometers: [27] Sie verglichen die Sensibilitätsänderungen bei KL-Trägern, welche mit Wasserstoffperoxid basierte Pflegemittel und zwei unterschiedliche Mehrzwecklösungen (konserviert mit Polyhexanid und Polyquad/Aldox) verwendeten. Sie erhielten reduzierte corneale und conjunctivale Schwellenwerte für die chemische Sensibilität mit dem mit Polyhexanid

konservierten Pflegemittel im Vergleich zu dem mit Polyquad/Aldox konservierten Pflegemittel. Allerdings war dieser Unterschied nur für die cornealen Messungen statistisch signifikant. In Bezug auf die taktilen und pneumatischen mechanischen Schwellenwerte konnten keine statistischen Unterschiede festgestellt werden. Sie führten die erhöhte chemische Sensibilität unter Verwendung des mit Polyhexanid konservierten Pflegemittels auf die erhöhte Prävalenz von cornealen und conjunctivalen Stippungen zurück, welche eine Aktivierung der polymodalen Nozizeptoren zur Folge gehabt hätten.

Sind die durch KL induzierten Sensibilitätsänderungen reversibel?

Zahlreiche Studien konnten zeigen, dass sich eine durch KL hervorgerufene Beeinträchtigung der Hornhautsensibilität nach dem Absetzen der KL wieder erholt, jedoch hängt die Erholungsphase insbesondere bei den älteren PMMA-Materialien von der Dauer des KL-Tragens (in Jahren) ab: Millodot konnte schon bereits 30 Minuten nach dem Absetzen von PMMA-KL eine 82-prozentige Erholung nach einer kurzzeitigen KL-Tragedauer beobachten (Cochet-Bonnet-Aesthesiometer). [10] Nach langjährigem Tragen von PMMA betrug die Erholungsphase gemäß seinen Erkenntnissen mehrere Monate. [12] Bergenske und Polse konnten eine teilweise Rückkehr zu normalen Sensibilitätswerten nach einem Umrüsten von PMMA auf RGP schon bereits nach einer Woche feststellen (auch unter Verwendung des Cochet-Bonnet-Aesthesiometers). [35] Velasco et al. erhielten bereits (nach vier Stunden) wieder normale Werte nach dem Absetzen von Hydrogel-KL mit niedrigem Dk-Wert bei langjährigen KL-Trägern. [20]

Mögliche Mechanismen bei der veränderten Sensibilität verursacht durch das KL-Tragen

Drei unterschiedliche Mechanismen, welche für eine Herabsetzung der Sensibilität während des KL-Tragens verantwortlich sein könnten, werden diskutiert: eine metabolische Beeinträchtigung der Hornhaut, eine sensorische Adaptation an die mechanische Reizung und eine Übersäuerung der Hornhaut.

Metabolische Beeinträchtigung der Hornhaut

Es wird spekuliert, dass Hypoxie mit oder ohne Ödem die Hornhautsensibilität beeinträchtigen könnte. Dies wäre durch eine Behinderung der Produktion des Neurotransmitters Acetylcholin geschehen, welcher im Hornhautepithel eine höhere Konzentration als in anderen Bereichen des Körpers aufweist. [36] Es wird daher angenommen, dass Acetylcholin beim ionischen Transport (Natrium-Chlorid) in der Hornhaut eine wichtige Rolle spielt, welcher wiederum einen Einfluss auf die Generierung von Nervenimpulsen hat. [37]

Millodot hat eine Korrelation zwischen dem Grad des Hornhautödems und der Beeinträchtigung der Hornhautsensibilität hergestellt. [23] Er zeigte auf, dass die Sensibilität morgens nach einigen Stunden Lidschluss aufgrund des Nachtödems reduziert ist. [36] Bergenske und Polse zeigten eine Erholung der Hornhautsensibilität bei Kontaktlinsträgern, nachdem sie von PMMA- auf RGP-KL umgerüstet worden waren und folgerten, ▶

Brille & Co
Augenoptik-Fachmessen

EINTRITT KOSTENLOS
NUR FÜR FACHBESUCHER



DORTMUND

25. + 26. Januar 2014

30. + 31. August 2014

Veranstalter HVVplus GmbH

Tel. 0221 / 99 22 39-0

www.brille-und-co.de

Messe Westfalenhallen Dortmund





Abb. 8: Stumpfer, abgerundeter Rand einer SH KL.

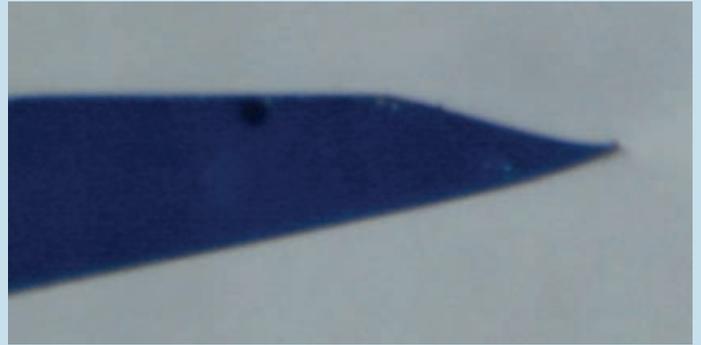


Abb. 9: Spitzer Rand einer SH KL.

dass der Einfluss der Hypoxie auf die Hornhautphysiologie größer sei, als derjenige der mechanischen Reizung. [35] Velasco et al. registrierten eine stärkere Beeinträchtigung der Hornhautsensibilität durch KL mit niedrigem Dk-Wert, im Vergleich zu solchen mit mittlerem Dk-Wert. [20] Leider machten sie jedoch keine Angabe über die dioptrischen Werte dieser KL, wodurch der Einfluss der Sauerstofftransmissibilität ungeklärt ist. Vega et al. zeigten mit einem Luftstoß-Aesthesiometer, dass die Hornhautsensibilität nach drei Stunden KL-Tragen mit geschlossenen Augen um 55 % reduziert war, welche sich jedoch schon nach einer 15-minütigen Erholungsphase um 83 % erholte. [38] Polse teilte jedoch nicht die Auffassung, dass corneale Hypoxie für eine Beeinträchtigung der Hornhautsensibilität verantwortlich sein könnte, da er an ödematösen Augen, umgeben von Sauerstoff-freiem Gas, keine Veränderung messen konnte. [39] Möglicherweise hat er den Augen den Sauerstoff nicht lange genug entzogen. [40]

Wie bereits erwähnt, konnten Stapleton et al. auch keinen Einfluss durch kurzzeitiges Tragen von hydrogelene KL mit niedrigem Dk messen, und Golebiowski et al. beobachteten sogar eine Herabsetzung der Sensibilität nach einer Tragepause von hydrogelene KL mit niedrigem Dk-Wert auf VT-Basis. [29] Dies könnte entweder bedeuten, dass die Sauerstofftransmissibilität keine wichtige Rolle für die Empfindlichkeit der Hornhaut spielt, oder dass der minimale Bedarf an Sauerstoff für eine normale Funktion der Hornhautnerven schon bereits mit hydrogelene KL mit niedrigem Dk-Wert gedeckt ist.

Sensorische Adaptation auf mechanische Reizung

Polse hat eine Herabsetzung der Hornhautsensibilität bei KL-Trägern ohne Hornhautödem beobachtet und folgerte, dass es sich hier um eine sensorische Adaptation auf die mechanische Reizung handeln müsste. [39] Auch beim Tragen von Ortho-K-KL über Nacht, findet eine sensorische Adaptation statt. [15] In Abwesenheit von verletztem Gewebe wird der Schwellenwert für eine Alarmreaktion von Mechanorezeptoren auf (bedrohliche) Fremdkörper verschoben.

Übersäuerung der Hornhaut

Kleine Veränderungen des für den menschlichen Körper normalen pH Werts von 7.4 verändern die Nervenfunktionen erheblich und können daher auch eine Reduktion der Hornhautsensibilität hervorrufen. [1] Eine Reduktion des pH Wertes geschieht durch eine Übersäuerung infolge einer Hyperkapnie (Ansammlung von Kohlenstoffdioxid). [1]

Interaktion der drei Mechanismen

Sehr wahrscheinlich wird beim Tragen von KL die Hornhautsensibilität durch eine Kombination von den oben diskutierten drei Mechanismen beeinflusst. Wahrscheinlich spielen beim Tragen von PMMA-KL sowohl mechanische wie auch metabolische Einflüsse eine Rolle, während RGP-KL nur mechanische Reize auslösen, sofern eine ausreichender Dk-Wert und eine ausreichende Linsenbewegung gewährleistet sind. [24] Hydrogel-KL reduzieren die Sauerstoffversorgung für die Hornhaut und induzieren somit metabolische Veränderungen. [24] SH-KL reduzieren die Sauerstoffversorgung, wenn überhaupt, nur minimal. Die neueren Material-Generationen verursachen kaum mechanische Reizungen. Es ist daher nicht klar, ob und wie diese die Hornhautsensibilität beeinflussen. Möglicherweise könnten subklinische entzündliche Prozesse oder eine erhöhte Osmolarität eine Rolle spielen (siehe folgenden Abschnitt über KL-Diskomfort).

Welche Rolle spielen die oberflächlichen Hornhautnerven bei KL Diskomfort?

Beim Tragen von KL wird eine komplexe und multifaktorielle Stimulation der funktionell unterschiedlichen Nervenenden ausgelöst. Wenn eine KL sich für den Träger unangenehm anfühlt, so geschieht dies über einen oder mehrere der folgenden Stimulus Modalitäten: mechanisch, durch veränderte Osmolarität, durch Abkühlung sowie durch chemische Einwirkung. [41]

Mechanische Stimulus Modalität

KL interagieren direkt mit der Hornhaut, der Conjunctiva sowie den Augenlidern und können eine mechanische Reizung auslösen. Hervorgerufen durch das Linsendesign (beispielsweise durch einen scharfen Rand, Abb. 9), die Rigidität und die Oberflächeneigenschaften, kann es zu einer Reibung der KL mit der Augenvorderfläche kommen. Mithilfe von OCT konnte gezeigt werden, dass weiche KL durch Reibung einen leichten Einfluss auf die Morphologie der limbalen/skleralen Region haben können. [42] Durch die andauernde Reibung des Lidrandes des Oberlids über einen verdünnten Tränenfilm auf der Linsenvorderfläche, häufig verstärkt durch eine erhöhte Lidschlagfrequenz, können sich eine Lidwiper Epitheliopathy (LWE, Abb.10) und Lid-parallele conjunctivale Falten (LIPCOF) entwickeln. [43,44] In dieser Situation werden die polymodalen Nozizeptoren und die Mechanorezeptoren angeregt, was zu einer Emp- ▶

Autoren / Jahr	KL Typ	Aesthesiometer	Konklusion
Schirmer, 1963 [1]	PMMA	Taktiles Schirmer-Aesthesiometer	Herabsetzung der Hornhautsensibilität
Millodot, 1975 [3]	PMMA	Cochet-Bonnet	Herabsetzung der Hornhautsensibilität
Millodot et al. 1979 [4]	PMMA & RGP	Cochet-Bonnet	Herabsetzung der Hornhautsensibilität
Millodot, 1978 [5]	PMMA & RGP	Cochet-Bonnet	Herabsetzung der Hornhautsensibilität ausgeprägter mit PMMA
Bergenske and Polse, 1987 [6]	PMMA & RGP	Cochet-Bonnet	Herabsetzung der Hornhautsensibilität; Verbesserung nach Umrüsten von PMMA auf RGP
Sanaty and Temel, 1998 [7]	PMMA	Cochet-Bonnet	Herabsetzung der Hornhautsensibilität stärker ausgeprägt im zentralen als im peripheren Hornhautbereich
Knoll and Williams, 1970 [8]	Hydrogel tiefer Dk	Cochet-Bonnet	Keine Herabsetzung der Hornhautsensibilität
Velasco et al. 1994 [9]	Hydrogel Wassergehalt von 38 und 55%	Cochet-Bonnet	Geringe Herabsetzung der Hornhautsensibilität, ausgeprägter mit dem niedrigeren Wassergehalt
Millodot, 1976 [10]	Hydrogel tiefer Dk	Cochet-Bonnet	Herabsetzung der Hornhautsensibilität
Millodot, 1974 [11]	Hydrogel tiefer Dk	Cochet-Bonnet	Herabsetzung der Hornhautsensibilität
Beuerman and Rozsa, 1985 [12]	Hydrogel (Polymacon, Dk 8)	Saline Jet mit unterschiedlichen Temperaturen und Intensitäten	Herabsetzung der Hornhautsensibilität stärker ausgeprägt nach längerer Tragezeit
Murphy et al., 2001 [13]	RGP/Hydrogel, verschiedene Materialien	NCCA Luftstoß-Aesthesiometer	Herabsetzung der Hornhautsensibilität
Stapleton et al., 2004 [14]	Hydrogel (Etafilcon A, Dk 21), SH (Lotrafilcon, Dk 140)	CRCERT Belmonte-Luftstoß-Aesthesiometer	Keine Herabsetzung der Hornhautsensibilität; erhöhte Empfindlichkeit der Bindehaut mit SH KL
Situ et al., 2010 [15]	SH (Balafilcon A, Dk 99)	Cochet-Bonnet- und Belmonte-Luftstoß-Aesthesiometer	Geringe Herabsetzung der Hornhautsensibilität mit Cochet Bonnet, leichte Sensibilisierung mit Luftstoß-Aesthesiometrie
Golebiowski et al., 2012 [16]	Hydrogel (Etafilcon A, Dk 21 und Poymacon, Dk 8), SH (Lotrafilcon A, Dk 140 und Balafilcon A, Dk 99)	CRCERT Belmonte-Luftstoß-Aesthesiometer	Keine cornealen oder conjunctivalen Sensibilitätsunterschiede mit KL mit niedrigem Dk auf VT Basis und ohne KL; reduzierte Empfindlichkeit nach KL-Tragepause, welche sich nach dem Umrüsten mit SH-KL nicht ändert.

Tabelle 1: Der Einfluss von Kontaktlinsen auf die Hornhautsensibilität (Dk Wert-Angabe nach Fatt: $10^{-11} \text{ ml(O}_2\text{)} \times \text{cm}^2 / \text{ml} \times \text{sec} \times \text{mmHg}$).



Abb. 10: Lidwiper Epitheliopathie: der breitere, mit Lissamingrün angefärbte Lidrand. [2]

findung von Irritation und Fremdkörpergefühlen führt. Auch eine mangelhafte sensorische Adaptation an die KL verursacht Diskomfort. [45]

Osmolarität als Stimulus Modalität

Eine KL unterbricht die Lipidschicht, was zu einer erhöhten Verdunstungsrate und einer verkürzten Tränenfilmaufreisszeit führt. [46] Somit kann eine erhöhte Osmolarität während des KL-Tragens auftreten, [47-51] wodurch die polymodalen und kälteempfindlichen Nozizeptoren angeregt werden, welche als ein Empfinden von Trockenheitsgefühl, Brennen und Abkühlung wahrgenommen werden. Eine Erklärung für die Symptome des trockenen Auges, nach einigen Stunden Tragezeit von weichen KL, wäre auch wie folgt möglich: Da ein dünner Tränenfilm zwischen der KL und der Hornhaut bestehen bleibt, könnte dies die Aktivität der auf Verdunstung sensibel reagierenden Nervenenden dämpfen. Somit würden die afferenten Impulse für die Regulierung der normalen Tränenfilmproduktion überwiegend durch die weniger sensiblen conjunctivale C-Fasern generiert, was zu einer reduzierten Lidschlagfrequenz und einer verminderten Tränenfilmproduktion führen könnte. [52-54] Im Verlauf des Tages könnte die somit reduzierte Tränenfilmmenge zu vermehrten Symptomen des trockenen Auges führen, wie sie von einer Mehrheit der KL-Träger wahrgenommen werden. [55] Als Reaktion auf diese Irritationen würde die Lidschlagfrequenz erhöht, was die durch den verdünnten Tränenfilm bereits schon erhöhte Reibung zwischen dem Lid und der Augenvorderfläche noch verstärkt. Es entsteht ein Teufelskreis, in welchem sich vermehrt LIPCOF und LWE entwickeln.

Die chemische Stimulus Modalität

Infolge der im vorangegangenen Abschnitt diskutierten Erhöhung der Osmolarität beim KL-Tragen, werden auch entzündliche Mediatoren ausgeschüttet, welche die polymodalen Nervenenden in der Hornhaut sowie Bindehaut sensibilisieren und eine Empfindung von Irritation und Brennen auslösen. [56,57] Dies würde auch erklären, weshalb Stapleton et al. und Situ et al. eine erhöhte conjunctivale Sensibilität beim Tragen von SH beobachtet haben. [26,58] Es wurde bereits schon erwähnt, dass Situ et al. eine erhöhte corneale chemische Sensibilität durch Verwendung von biguanidhaltigen Mehrzweckpflegemitteln feststellten, im Gegensatz zu denjenigen, welche mit Polyquad/Aldox konserviert waren. [27]

Schlussfolgerungen

Aus den bisher publizierten klinischen Studien kann geschlossen werden, dass PMMA und RGP-KL eine reversible Herabsetzung der Hornhautsensibilität verursachen, infolge einer Adaptation auf mechanische Reizung. Beim Tragen von PMMA-KL wirken zusätzliche metabolische Einflüsse. Die Dauer der Erholungsphase der Hornhautsensibilität hängt vom Material ab und wie viele Jahre und Stunden täglich die KL bereits getragen wurden. Der Einfluss von weichen KL auf die Hornhautsensibilität ist sehr viel weniger stark ausgeprägt und ist vermutlich bei KL mit niedrigem Dk-Wert auf die Hypoxie zurückzuführen. Beim erfolgreichen Tragen von weichen KL mit hohem Dk konnten nur sehr geringe Schwankungen, in Bezug auf die corneale und conjunctivale Empfindlichkeit, gemessen werden. Mit der bulbären conjunctivale Sensibilität, in Verbindung mit dem KL-Tragen, haben sich bisher nur wenige Studien befasst, deren Ergebnisse nur geringe Änderungen der Hornhautsensibilität vermuten ließen.

Folgende Maßnahmen könnten getroffen werden, um eine Reaktion der oberflächlichen Hornhautnerven zu reduzieren, welche zu KL-Diskomfort führen könnte: die Wahl einer KL mit abgerundetem Linsenrand; die Verwendung von gut benetzenden und nicht dehydrierenden KL-Oberflächen; eventuell zusätzlicher Einsatz von benetzenden Substanzen (ohne Konservierungsstoffe), um eine erhöhte Reibung zwischen Lid und Augenvorderfläche zu verhindern; die Wahl eines Pflegemittels mit einem guten Kompromiss zwischen chemischer Stimulus Modalität und einer ausreichenden Desinfektion bzw. Compliance.

In Zukunft bedarf es longitudinaler klinischer Studien, welche Klarheit darüber schaffen, durch welches Gewebe der maßgebliche sensorische Impuls für KL-Diskomfort hervorgerufen wird: Der Lidrand, die bulbäre Bindehaut und/oder die Hornhaut. Weiter zu klären ist, wie sich beim KL-Tragen eine anfängliche Irritation in eine spätere Intoleranz entwickelt. ■



Autorin:

Daniela S. Nosch

MSc. Optom DipTP(AS) FBCLA

Institut für Optometrie, Fachhochschule Nordwestschweiz, CH-Olten

E-Mail: daniela.nosch@fhnw.ch

Die Literatur zum Beitrag ist auf www.doz-verlag.de unter „Service“ im Downloadbereich zu finden!

Die DOZ veröffentlicht unter der Rubrik Optometrie Beiträge, die vom Wissenschaftlichen Beirat der DOZ begutachtet, auf ihre fachwissenschaftliche Tragfähigkeit überprüft und freigegeben wurden. Nähere Auskünfte erteilt Dr. Andreas Berke (berke@doz-verlag.de) oder die Chefredaktion unter kern@doz-verlag.de

Hornhautsensibilität

Teil 2: Der Einfluss von Kontaktlinsen

Daniela S. Nosch

Literatur

- [1] Brennan NBA. Esthesiometry as an indicator of corneal health. *Optometry & Vision Science*. 1991;68(9):699.
- [2] Martin XY, Safran AB. Corneal hypoesthesia. *Surv Ophthalmol*. 1988;33(1):28–40.
- [3] Millodot M. A review of research on the sensitivity of the cornea. *Ophthalmic Physiol Opt*. 1984;4(4):305–318.
- [4] Stern ME, Gao J, Siemasko KF, Beuerman RW, Pflugfelder SC. The role of the lacrimal functional unit in the pathophysiology of dry eye. *Exp Eye Res*. 2004;78(3):409–416. doi:10.1016/j.exer.2003.09.003.
- [5] Belmonte C, Garcia-Hirschfeld J, Gallar J. Neurobiology of Ocular Pain. *Prog Retin Eye Res*. 1997;16(1):117–156.
- [6] Golebiowski B, Papas E, Stapleton F. Assessing the sensory function of the ocular surface: implications of use of a non-contact air jet aesthesiometer versus the Cochet-Bonnet aesthesiometer. *Exp Eye Res*. 2011;92(5):408–413. doi:10.1016/j.exer.2011.02.016.
- [7] Millodot M, Larson W. Effect of bending of the nylon thread of the Cochet-Bonnet aesthesiometer upon the recorded pressure. *The Contact Lens*; 1967:5–6.
- [8] Murphy PJ, Patel S, Marshall J. A new non-contact corneal aesthesiometer (NCCA). *Ophthalmic Physiol Opt*. 1996;16(2):101–107.
- [9] Schirmer KE. Corneal sensitivity and contact lenses. *British Journal of Ophthalmology*. 1963;47(8):493–495. doi:10.1136/bjo.47.8.493.
- [10] Millodot M. Effect of hard contact lenses on corneal sensitivity and thickness. *Acta Ophthalmologica*. 1975;53(4):576–584.
- [11] Millodot M, Henson B, O'Leary D. Measurement of corneal sensitivity and thickness with PMMA and Gaspermeable Contact Lenses. 1979:1–5.
- [12] Millodot M. Effect of long-term wear of hard contact lenses on corneal sensitivity. *Arch Ophthalmol*. 1978;96(7):1225–1227.
- [13] Sanaty M, Temel A. Corneal sensitivity changes in long-term wearing of hard polymethylmethacrylate contact lenses. *Ophthalmologica*. 1998;212(5):328–330.
- [14] Mountford J, Ruston D, Dave T. *Orthokeratology*. Butterworth-Heinemann Medical; 2004.
- [15] Lum E, Golebiowski B, Gunn R, Babhota M, Swarbrick H. Corneal sensitivity with contact lenses of different mechanical properties. *Optom Vis Sci*. 2013;90(9):954–960. doi:10.1097/OPX.000000000000016.
- [16] Murphy PJ, Lawrenson JG, Patel S, Marshall J. Reliability of the Non-Contact Corneal Aesthesiometer and its comparison with the Cochet-Bonnet aesthesiometer. 1998:1–8.
- [17] Müller LJ, Pels L, Vrensen GF. Ultrastructural organization of human corneal nerves. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1996;37(4):476–488.
- [18] Lum E, Golebiowski B, Swarbrick HA. Mapping the corneal sub-basal nerve plexus in orthokeratology lens wear using in vivo laser scanning confocal microscopy. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2012:1–33. doi:10.1167/iovs.11-8706.
- [19] Knoll HA, Williams J. Effects of hydrophilic contact lenses on corneal sensitivity. *American Journal of Optometry and Archives of American Academy of Optometry*. 1970;47(7):561–563.
- [20] Velasco M, Bermúdez F, Romero J, Hita E. Variations in corneal sensitivity with hydrogel contact lenses. *Acta Ophthalmologica*. 1994;72(1):53–56.
- [21] Millodot M. Effect of the length of wear of contact lenses on corneal sensitivity. *Acta Ophthalmologica*. 1976;54(6):721–730.
- [22] Larke JR, Hirji NK. Some clinically observed phenomena in extended contact lens wear. *British Journal of Ophthalmology*. 1979;63(7):475–477.
- [23] Millodot M. Effect of soft lenses on corneal sensitivity. *Acta Ophthalmologica*. 1974;52(5):603–608.
- [24] Murphy PJ, Patel S, Marshall J. The effect of long-term, daily contact lens wear on corneal sensitivity. *Cornea*. 2001;20(3):264–269.
- [25] Beuerman RW, Rozsa AJ. Threshold and signal detection measurements of the effect of soft contact lenses on corneal sensitivity. *Curr Eye Res*. 1985;4(6):742–744.
- [26] Stapleton F, Tan ME, Papas EB, et al. Corneal and conjunctival sensitivity to air stimuli. *British Journal of Ophthalmology*. 2004;88(12):1547–1551. doi:10.1136/bjo.2004.044024.
- [27] Situ P, Simpson TL, Jones LW, Fonn D. Effects of Silicone Hydrogel Contact Lens Wear on Ocular Surface Sensitivity to Tactile, Pneumatic Mechanical, and Chemical Stimulation. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2010;51(12):6111–6117. doi:10.1167/iovs.09-4807.
- [28] Lowther GE, Hill RM. Sensitivity threshold of the lower lid margin in the course of adaptation to contact lenses. *American Journal of Optometry and Archives of American Academy of Optometry*. 1968;45(9):587–594.
- [29] Golebiowski B, Papas EB, Stapleton F. Corneal and conjunctival sensory function: the impact on ocular surface sensitivity of change from low to high oxygen transmissibility contact lenses. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2012. doi:10.1167/iovs.11-8416.
- [30] Andrasko G, Ryen K. Corneal staining and comfort observed with traditional and silicone hydrogel lenses and multipurpose solution combinations. *Optometry*. 2008;79(8):444–454. doi:10.1016/j.optm.2008.04.097.
- [31] Santodomingo-Rubido J, Barrado-Navascués E, Rubido-Crespo M-J, Sugimoto K, Sawano T. Compatibility of two new silicone hydrogel contact lenses with three soft contact lens multipurpose solutions. *Ophthalmic Physiol Opt*. 2008;28(4):373–381. doi:10.1111/j.1475-1313.2008.00573.x.
- [32] Papas EB, Carnt N, Willcox MDP, Holden BA. Complications associated with care product use during silicone daily wear of hydrogel contact lens. *Eye & Contact Lens: Science & Clinical Practice*. 2007;33(6 Pt 2):392–3; discussion 399–400. doi:10.1097/ICL.0b013e318157e542.
- [33] Jones L, MacDougall N, Sorbara LG. Asymptomatic corneal staining associated with the use of balafilcon silicone-hydrogel contact lenses disinfected with a polyaminopropyl biguanide-preserved care regimen. *Optom Vis Sci*. 2002;79(12):753–761.
- [34] Epstein AB. Contact Lens Care Products Effect on Corneal Sensitivity and Patient Comfort. *Eye & Contact Lens: Science & Clinical Practice*. 2006;32(3):128–132. doi:10.1097/01.icl.0000178850.55802.1c.

- [35] Bergenske PD, Polse KA. The effect of rigid gas permeable lenses on corneal sensitivity. *J Am Optom Assoc.* 1987;58(3):212–215.
- [36] Millodot M, O'Leary DJ. Loss of corneal sensitivity with lid closure in humans. *Exp Eye Res.* 1979;29(4):417–421.
- [37] Pesin SR, Candia OA. Acetylcholine concentration and its role in ionic transport by the corneal epithelium. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1982;22(5):651–659.
- [38] Vega J, Simpson T, Fonn D. A noncontact pneumatic esthesiometer for measurement of ocular sensitivity: a preliminary report. *Cornea.* 1999;18(6):675.
- [39] Polse KA. Etiology of corneal sensitivity changes accompanying contact lens wear. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1978;17(12):1202–1206.
- [40] Millodot M, O'Leary DJ. Effect of oxygen deprivation on corneal sensitivity. *Acta Ophthalmologica.* 1980;58(3):434–439.
- [41] Stapleton F, Marfurt CF, Golebiowski B, et al. The TFOS International Workshop on Contact Lens Discomfort: the report of the subcommittee on neurobiology. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2013:1–69. doi:10.1167/iovs.13-13226.
- [42] Alonso-Caneiro D, Shaw AJ, Collins MJ. Using optical coherence tomography to assess corneal morphology after soft contact lens wear. *Optom Vis Sci.* 2012;89(11):1619–1626. doi:10.1097/OPX.0b013e31826c5f63.
- [43] Korb DR, Greiner JV, Herman JP, et al. Lid-wiper epitheliopathy and dry-eye symptoms in contact lens wearers. *CLAO J.* 2002;28(4):211–216. doi:10.1097/01.ICL.0000029344.37847.5A.
- [44] Pult H, Purslow C, Berry M, Murphy PJ. Clinical tests for successful contact lens wear: relationship and predictive potential. *Optom Vis Sci.* 2008;85(10):E924–9. doi:10.1097/OPX.0b013e3181888909.
- [45] Chen J, Simpson TL. A role of corneal mechanical adaptation in contact lens-related dry eye symptoms. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2011;52(3):1200–1205. doi:10.1167/iovs.10-5349.
- [46] Rohit A, Willcox M, Stapleton F. Tear Lipid Layer and Contact Lens Comfort: A Review. *Eye Contact Lens.* 2013;39(3):247–253. doi:10.1097/ICL.0b013e31828af164.
- [47] Iskeleli G, Karakoç Y, Aydin O, Yetik H, Uslu H, Kizilkaya M. Comparison of tear-film osmolarity in different types of contact lenses. *CLAO J.* 2002;28(4):174–176. doi:10.1097/01.ICL.0000024117.46518.A4.
- [48] Kojima T, Matsumoto Y, Ibrahim OMA, et al. Effect of controlled adverse chamber environment exposure on tear functions in silicon hydrogel and hydrogel soft contact lens wearers. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2011;52(12):8811–8817. doi:10.1167/iovs.10-6841.
- [49] Martin DK. Osmolality of the tear fluid in the contralateral eye during monocular contact lens wear. *Acta Ophthalmologica.* 1987;65(5):551–555.
- [50] Miller WL, Doughty MJ, Narayanan S, et al. A comparison of tear volume (by tear meniscus height and phenol red thread test) and tear fluid osmolality measures in non-lens wearers and in contact lens wearers. *Eye Contact Lens.* 2004;30(3):132–137.
- [51] Stahl U, Willcox MDP, Naduvilath T, Stapleton F. Influence of tear film and contact lens osmolality on ocular comfort in contact lens wear. *Optom Vis Sci.* 2009;86(7):857–867. doi:10.1097/OPX.0b013e3181ae027b.
- [52] Jordan A, Baum J. Basic tear flow. Does it exist? *Ophthalmology.* 1980;87(9):920–930.
- [53] Tsubota K. Tear dynamics and dry eye. *Prog Retin Eye Res.* 1998;17(4):565–596.
- [54] Collins M, Seeto R, Campbell L, Ross M. Blinking and corneal sensitivity. *Acta Ophthalmologica.* 1989;67(5):525–531.
- [55] Richdale K, Sinnott LT, Skadahl E, Nichols JJ. Frequency of and factors associated with contact lens dissatisfaction and discontinuation. *Cornea.* 2007;26(2):168–174. doi:10.1097/01.icc.0000248382.32143.86.
- [56] Luo L, Li D-Q, Corrales RM, Pflugfelder SC. Hyperosmolar saline is a proinflammatory stress on the mouse ocular surface. *Eye & Contact Lens: Science & Clinical Practice.* 2005;31(5):186–193.
- [57] Rosenthal P, Borsook D. The Corneal Pain System. Part I: The Missing Piece of the Dry Eye Puzzle. *Ocul Surf.* 2012;10(1):2–14. doi:10.1016/j.jtos.2012.01.002.
- [58] Situ P, Simpson TL, Jones LW, Fonn D. Effects of Silicone Hydrogel Contact Lens Wear on Ocular Surface Sensitivity to Tactile, Pneumatic Mechanical, and Chemical Stimulation. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2010;51(12):6111–6117. doi:10.1167/iovs.09-4807.

Quellenverzeichnis für Tabelle und Abbildungen

- [1] Schirmer KE. Assessment of corneal sensitivity. *British Journal of Ophthalmology.* 1963;47(8):488–492. doi:10.1136/bjo.47.8.488.
- [2] Efron N, Morgan PB, Woods CA, International Contact Lens Prescribing Survey Consortium. International survey of rigid contact lens fitting. *Optom Vis Sci.* 2013;90(2):113–118. doi:10.1097/OPX.0b013e31827cd8be.
- [3] Millodot M. Effect of hard contact lenses on corneal sensitivity and thickness. *Acta Ophthalmologica.* 1975;53(4):576–584.
- [4] Millodot M, Henson B, O'Leary D. Measurement of corneal sensitivity and thickness with PMMA and Gaspermeable Contact Lenses. 1979:1–5.
- [5] Millodot M. Effect of long-term wear of hard contact lenses on corneal sensitivity. *Arch Ophthalmol.* 1978;96(7):1225–1227.
- [6] Bergenske PD, Polse KA. The effect of rigid gas permeable lenses on corneal sensitivity. *J Am Optom Assoc.* 1987;58(3):212–215.
- [7] Sanaty M, Temel A. Corneal sensitivity changes in long-term wearing of hard polymethylmethacrylate contact lenses. *Ophthalmologica.* 1998;212(5):328–330.
- [8] Knoll HA, Williams J. Effects of hydrophilic contact lenses on corneal sensitivity. *American Journal of Optometry and Archives of American Academy of Optometry.* 1970;47(7):561–563.
- [9] Velasco M, Bermúdez F, Romero J, Hita E. Variations in corneal sensitivity with hydrogel contact lenses. *Acta Ophthalmologica.* 1994;72(1):53–56.
- [10] Millodot M. Effect of the length of wear of contact lenses on corneal sensitivity. *Acta Ophthalmologica.* 1976;54(6):721–730.
- [11] Millodot M. Effect of soft lenses on corneal sensitivity. *Acta Ophthalmologica.* 1974;52(5):603–608.
- [12] BEUERMAN RW, Rozsa AJ. Threshold and signal detection measurements of the effect of soft contact lenses on corneal sensitivity. *Curr Eye Res.* 1985;4(6):742–744.
- [13] Murphy PJ, Patel S, Marshall J. The effect of long-term, daily contact lens wear on corneal sensitivity. *Cornea.* 2001;20(3):264–269.
- [14] Stapleton F, Tan ME, Papas EB, et al. Corneal and conjunctival sensitivity to air stimuli. *British Journal of Ophthalmology.* 2004;88(12):1547–1551. doi:10.1136/bjo.2004.044024.
- [15] Situ P, Simpson TL, Jones LW, Fonn D. Effects of Silicone Hydrogel Contact Lens Wear on Ocular Surface Sensitivity to Tactile, Pneumatic Mechanical, and Chemical Stimulation. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2010;51(12):6111–6117. doi:10.1167/iovs.09-4807.
- [16] Golebiowski B, Papas EB, Stapleton F. Corneal and conjunctival sensory function: the impact on ocular surface sensitivity of change from low to high oxygen transmissibility contact lenses. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2012. doi:10.1167/iovs.11-8416.