Die Ophthalmologie
vormals Der Ophthalmologe

Ophthalmologie 2023 · 120:1022–1028
https://doi.org/10.1007/s00347-023-01862-0
Eingegangen: 29. November 2022
Überarbeitet: 21. Februar 2023
Angenommen: 6. April 2023
Online publiziert: 12. Mai 2023
© Der/die Autor(en) 2023

Hydrophobe Oberflächeneigenschaften hydrophiler Acryllinsen schützen nicht vor Kalzifikation

Leoni Britz[1] · Sonja Katrin Schickhardt[1] · Timur Mert Yildirim[1] · Gerd Uwe Auffarth[1] · Ingo Lieberwirth[2] · Ramin Khoramnia[1]

[1] David J. Apple International Laboratory for Ocular Pathology, Universitäts-Augenklinik Heidelberg, Heidelberg, Deutschland

[2] Department of Physical Chemistry of Polymers, Max Planck Institute for Polymer Research, Mainz, Deutschland

Zusammenfassung

Hintergrund: Die Eintrübung hydrophiler Acryllinsen durch Kalzifikation ist eine schwerwiegende Komplikation der Kataraktchirurgie, welche meist in einer Linsenexplantation resultiert. Im Prozess der Linsenkalzifikation spielt das Material der Kunstlinse eine entscheidende Rolle: Es wurde bisher lediglich über die Kalzifikation hydrophiler Acryllinsen berichtet. Hydrophobe Acryllinsen zeigen keine Kristallbildung innerhalb des Polymers. Hydrophile Acryllinsen einiger Hersteller weisen hydrophobe Oberflächeneigenschaften auf. Es stellt sich die Frage, welchen Einfluss diese hydrophoben Oberflächeneigenschaften auf das Kalzifikationsrisiko haben.
Zielsetzung: In der vorliegenden Studie wurde untersucht, ob hydrophobe Oberflächeneigenschaften hydrophiler Acryllinsen vor Kalzifikation schützen.
Material und Methoden: Mithilfe eines in vitro Modells der Kalzifikation wurden zwei hydrophile Linsen mit hydrophoben Oberflächeneigenschaften im Vergleich zu zwei hydrophilen Linsen und einer hydrophoben Negativkontrolle auf das Risiko einer Kalzifikation hin untersucht. Die Linsen wurden anschließend mittels Lichtmikroskopie, Alizarinrot- und Von-Kossa-Färbung, Rasterelektronenmikroskopie (REM) und energiedispersiver Röntgenspektroskopie (EDS) analysiert.
Ergebnisse: Alle vier hydrophilen Linsenmodelle zeigten eine Kalzifikation innerhalb des Polymers. Es konnte kein Unterschied zwischen den hydrophilen Linsen und den hydrophilen Linsen mit hydrophoben Oberflächeneigenschaften in Bezug auf die Kristallbildung gefunden werden. Die Negativkontrolle aus hydrophobem Acrylat zeigte keine Kalzifikation.
Schlussfolgerung: Die in dieser Studie unter standardisierten Bedingungen durchgeführte Untersuchung konnte zeigen, dass hydrophobe Oberflächeneigenschaften hydrophiler Acryllinsen nicht vor Kalzifikation schützen und somit auch bei diesen Linsenmodellen das Risiko einer Eintrübung besteht.

Schlüsselwörter
Kataraktchirurgie · Komplikation · Eintrübung · Pathologie · Linsenmaterial

Erstautor/-in

Leoni Britz
Universitäts-Augenklinik Heidelberg, Heidelberg

QR-Code scannen & Beitrag online lesen

Im Laufe der Zeit wurden Intraokularlinsen aus verschiedenen Materialien entwickelt. Die Eintrübung hydrophiler Acryllinsen ist eine seltene, aber schwerwiegende Komplikation, welche in den meisten Fällen eine Explantation der Linse nötig macht.

Modifikationen bestehender Linsenmaterialien können einen Einfluss auf das Auftreten von Komplikationen haben. Es besteht daher der Bedarf, Materialveränderungen unter standardisierten Bedingungen zu prüfen.

Tab. 1 Verwendete Intraokularlinsenmodelle und ihre Materialeigenschaften				
	Modell	**Hersteller**	**Material**[a]	**H_2O %**
Hydrophil	Centerflex Toric 571T PCL	Rayner Intraocular Lenses Ltd	PHEMA	26
	95S	Morcher GmbH	PHEMA	28
Hydrophil mit hydrophober Oberfläche	Lentis®Mplus LS-313 MF30	Teleon Surgical GmbH	PHEMA	25
	CT SPHERIS 204	Carl Zeiss Meditec AG	PHEMA	25
Hydrophob	Clareon SY60WF	Alcon Laboratories, Inc	PEA	1,5

PHEMA Poly (2-hydroxyethylmethacrylate), *PEA* Poly (2-phenylethylacrylate)
[a]Angegeben ist jeweils die Hauptmaterialkomponente

Hintergrund und Fragestellung

Die Eintrübung hydrophiler Acryllinsen durch Kalzifikation stellt eine seltene, aber schwere Komplikation der Kataraktchirurgie dar. Bei dieser Kalzifikation kommt es zu einer Bildung von Kalziumphosphatkristallen innerhalb des Linsenpolymers [6, 11–13, 15, 25, 27]. Diese Kristalle können ein erhöhtes Streulicht verursachen, was in vermehrtem Blendungsempfinden bis hin zu schwerwiegendem Sehverlust resultieren kann [14, 18, 27]. Auch heute noch stellt die Explantation der eingetrübten Kunstlinse die einzige Therapieoption dar [10]. Es konnte gezeigt werden, dass eine Eintrübung mit einem Anteil von 76,5 % die Hauptursache einer Linsenexplantation darstellt [21]. Andere Ursachen wie eine Linsendislokation oder eine falsche Brechkraft der Linse waren mit 13,5 % bzw. 1 % von geringer Bedeutung.

Es kann zwischen 2 Formen der Kalzifikation unterschieden werden. Die *primäre* oder *intrinsische Kalzifikation* bezeichnet all jene Kalzifikationen, deren Ursache in der Intraokularlinse selbst liegen und somit patientenunabhängig sind [20]. Eine solche Kalzifikation kann z. B. durch den Kontakt der Linsen mit Lösungen auf Phosphatbasis im Herstellungsprozess verursacht werden. Die Verwendung von phosphathaltigen Spüllösungen hatte zur Kalzifikation ganzer Linsenchargen bestimmter Hersteller geführt [4, 22, 23], sodass betroffene Linsenmodelle vom Markt genommen wurden.

Der *primären* steht die *sekundäre Kalzifikation* gegenüber, welche durch extrinsische, z. T. patientenspezifische Faktoren verursacht wird [20]. Darunter fallen nach heutiger Begriffsverwendung sowohl ophthalmochirurgische Eingriffe [10, 24, 26], welche einen intraokularen Entzündungszustand verursachen können, als auch systemische Erkrankungen wie Diabetes mellitus [16]. Sie erhöhen vermutlich die Durchlässigkeit der Blut-Kammerwasser-Schranke und führen so zu einer Veränderung des Mikromilieus des Auges, was die Kalzifikation begünstigt. Auch die intraokulare Verwendung von Gas, beispielsweise im Rahmen chirurgischer Eingriffe wie einer endothelialen Keratoplastik oder Pars-plana-Vitrektomie, scheint ein Risikofaktor zu sein [18, 19, 24, 26].

Eine Kalzifikation wurde bisher nur in hydrophilen Acryllinsen beobachtet. Im Polymer hydrophober Acryllinsen konnte noch keine Kristallbildung festgestellt werden. Von einigen Herstellern werden hydrophile Acryllinsen mit hydrophoben Oberflächeneigenschaften produziert [1]. In der vorliegenden Studie wurde untersucht, ob diese hydrophoben Oberflächeneigenschaften hydrophiler Acryllinsen vor Kalzifikation schützen.

Material und Methoden

Mithilfe eines elektrophoretischen Modells zur In-vitro-Kalzifikation [3] wurden unter standardisierten Bedingungen 5 Acryllinsen (**Tab. 1**) getestet.

Es wurden 2 hydrophile Acryllinsen (Centerflex Toric 571T PCL, Rayner Intraocular Lenses Ltd., London, Vereinigtes Königreich, und 95S, Morcher GmbH, Stuttgart, Deutschland) aus Poly (2-hydroxyethylmethacrylat) (PHEMA) gegen 2 hydrophile Acryllinsen aus PHEMA mit hydrophoben Oberflächeneigenschaften (Lentis®Mplus LS-313 MF30, Teleon Surgical GmbH, Leverkusen, Deutschland, und CT SPHERIS 204, Carl Zeiss Meditec AG, Jena, Deutschland) getestet. Als Negativkontrolle diente eine Acryllinse aus hydrophoben Poly (2-phenylethyl-acrylat) (PEA) (Clareon SY60WF).

Die 5 Linsen wurden in eine Halterung aus inertem Polymethylmethacrylat (PMMA) gespannt und in der Mitte einer Horizontalelektrophorese platziert (**Abb. 1**). Das Kammerwasser wurde durch eine 10 mM wässrige Na_2HPO_4-Lösung und eine 10 mM wässrige $CaCl_2$-Lösungen simuliert. Diese wurden mit TRIS-Puffer und HCl auf einen pH-Wert von 7,40 eingestellt. Die Na_2HPO_4-Lösung wurde in die Kathodenseite der Elektrophoresekammer gefüllt, die $CaCl_2$-Lösung auf die Anodenseite. Durch Anlegen der Spannung an die Elektrophorese konnte eine beschleunigte Diffusion der Ionen erzeugt werden. Die Ionen migrierten zur jeweils gegenüberliegenden Seite, trafen sich im Linsenpolymer und fielen als Hydroxylapatit aus.

In der anschließenden Analyse wurden die Methoden verwendet, wie sie auch bei der Auswertung in vivo kalzifizierter, explantierter Linsen Anwendung finden [10, 15, 18, 25–28]. Mit einem Lichtmikroskop wurden im ersten Schritt standardisierte Aufnahmen der Linsen gefertigt. Dazu wurden an einem Mikroskop (BX50, Olympus Optical Co. Ltd, Tokyo, JPN) mit Kamera (CAMEDIA, C-7070, Olympus Optical Co. Ltd, Tokyo, JPN) native Übersichts- (× 1,25) und Vergrößerungsaufnahmen (× 4; × 10; × 20) der kompletten Linse gefertigt. Im nächsten Schritt wurden die Linsen mithilfe einer Schere halbiert. Eine Hälfte der Linse wurde mittels histologischer Alizarinrot- und Von-Kossa-Färbungen ausgewertet und die andere Hälfte der Elektronenmikroskopie zugeführt.

Die Alizarinrot-Färbung dient der Darstellung oberflächlicher Kalziumablagerungen. Dazu wurden die Linsenhälften für 2 min in 20 ml einer 4 % Formaldehydlösung entwässert, mit dest. H_2O gewaschen und auf Filterpapier getrocknet. Anschließend wurden sie für 2 min in 20 ml einer 1 % Alizarinrot-Lösung gefärbt und mit dest. H_2O gewaschen. Von den gefärbten Linsenhälften wurden am Lichtmikroskop die Standard- und Vergrößerungsaufnahmen gefertigt.

Mit der Von-Kossa-Färbung von Querschnitten der Intraokularlinsen können Kalziumphosphatkristalle im Inneren des Linsenpolymers dargestellt werden. Dazu

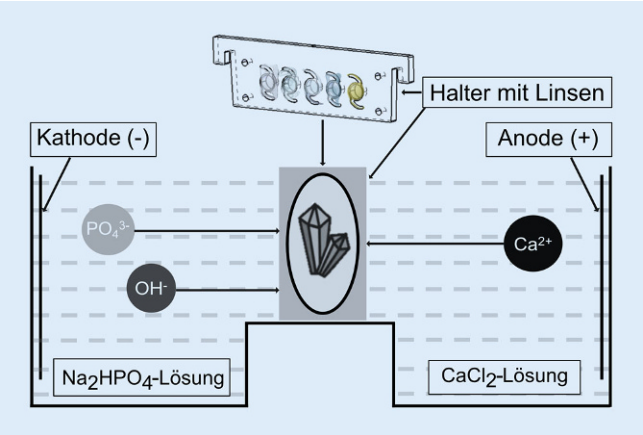

Abb. 1 ▲ Versuchsaufbau. Die 5 Linsen wurden in einen Linsenhalter aus Polymethylmethacrylat gespannt und in die Mitte einer Horizontalelektrophorese gesetzt. Durch Verwendung von Silikongummidichtungen wurden 2 getrennte Kammern geschaffen. In die Anodenseite wurde eine wässrige 10 mM $CaCl_2$-Lösung gefüllt, in die Kathodenseite eine wässrige 10 mM Na_2HPO_4-Lösung. Durch Anlegen der Spannung an die Elektrophorese migrierten die Ionen zur jeweils gegenüberliegenden Seite, trafen sich im Linsenpolymer und fielen als Kalziumphosphatkristalle aus

wurde die vorher mit Alizarinrot gefärbte Hälfte dehydriert und in Paraffin eingebettet. Es wurden 5 µm dünne Querschnitte aus dem optischen Zentrum der Linsen gefertigt. Diese Schnitte wurden entparaffiniert, rehydriert und in 5 % Silbernitrat inkubiert, für 30 min mit ultraviolettem Licht bestrahlt und anschließend mehrfach gespült. Nach einer Inkubation mit 5 % Natriumthiosulfat und einem letzten Spülschritt mit dest. H_2O wurden von den Schnitten wieder Standard- und Vergrößerungsaufnahmen gefertigt.

Die weitere Auswertung mittels Rasterelektronenmikroskopie (REM) und energiedispersiver Röntgenspektroskopie (EDS) wurde am Max-Planck-Institut für Polymerforschung in Mainz (Deutschland) durchgeführt. Aus dem optischen Zentrum der getrockneten Linsen wurden mit einem Ultramikrotom (Leica Mikrosysteme Vertrieb GmbH, Wetzlar, Deutschland) und einem 35-Grad-Diamantmesser (Diatome AG, Nidau, Schweiz) 2,5 µm dünne Schnitte angefertigt. Diese Schnitte wurden auf einen Siliziumwafer-Objektträger platziert und mit einer niedrigen Beschleunigungsspannung von 700 V an einem SU8000-Mikroskop (Hitachi, Tokio, Japan) untersucht.

Um zu bestimmen, aus welchen Elementen sich die Kristalle im Polymer zusammensetzen, wurde anschließend eine EDS-Analyse mit einem Quantax 400 EDS-Detektor (Bruker, Mannheim, Deutschland) durchgeführt.

Ergebnisse

Die Lichtmikroskopie mit Alizarinrot- und Von-Kossa-Färbung zeigte eine Kalzifikation aller 4 hydrophilen Acryllinsen (◘ **Abb. 2**). Dabei konnte kein Unterschied zwischen den hydrophilen Linsen und den hydrophilen Linsen mit hydrophoben Oberflächeneigenschaften festgestellt werden. Beide Linsenmodelle zeigten sowohl eine oberflächliche Kalziumphosphatbildung (◘ **Abb. 2**, *Alizarinrot*, Übersicht und Linsenoberfläche) als auch eine Kristallbildung im Linsenpolymer (◘ **Abb. 2**, Querschnitt, *Von Kossa*).

Dies bestätigte sich auch in der REM (◘ **Abb. 3**). Alle 4 hydrophilen Linsenmodelle wiesen eine deutliche Kristallbildung im Polymer auf. Eine Analyse mittels EDS zeigte, dass es sich bei den Kristallen im Polymer um Kalziumphosphatkristalle handelte (◘ **Abb. 4**). Im hydrophoben Polymer der Negativkontrolle zeigte sich keine Kristallbildung.

Diskussion

Im Laufe der Zeit wurden unterschiedliche Linsenmaterialien entwickelt, sodass Chirurgen heute auf ein breites Angebot verschiedener Linsen zurückgreifen können [2, 17]. Hauptsächlich lassen sich dabei 2 Materialgruppen unterscheiden: hydrophile und hydrophobe Acrylatlinsen. Hydrophile Acryllinsen finden breite Anwendung aufgrund einiger Vorteile, die v. a. im Hinblick auf moderne mikrochirurgische Implantationstechniken an Bedeutung gewinnen. Durch den höheren Wassergehalt des Materials sind hydrophile Acryllinsen flexibler und weisen eine bessere Komprimierbarkeit während des Implantationsvorgangs auf [2]. Dies ermöglicht kleinere operative Schnitte, eine bessere Wundheilung und ein vermindertes Infektionsrisiko. Bei refraktiven Linsenimplantationen spielt außerdem die erleichterte Ausrichtung der Linse im Kapselsack eine Rolle. Auch die höhere Biokompatibilität im Vergleich zu hydrophoben Linsen ist ein großer Vorteil.

Die Eintrübung durch Kalzifikation ist eine Komplikation, die die Anwendung hydrophiler Acryllinsen limitiert. Eine Kalzifikation beschreibt die Bildung von Kalziumphosphatkristallen innerhalb des Linsenpolymers [8]. Diese Kristallbildung kann das Sehvermögen des Patienten stark beeinträchtigen [18, 28]. Zu Beginn führt die Kristallbildung zu vermehrter Lichtstreuung, was in Symptomen wie Kontrastverlust und starkem Blendungsempfinden resultiert. Je mehr Kristalle sich im Polymer bilden, desto weniger Licht gelangt durch die Intraokularlinse ins Auge. In sehr fortgeschrittenen Fällen kann es daher auch zu einem schwerwiegenden Sehverlust kommen. Bis jetzt stellt eine Explantation der eingetrübten Acryllinse die einzige Therapieoption dar [10]. Daher besteht großes Interesse daran, den Prozess der Kalzifikation besser zu verstehen, um diese Komplikation in Zukunft zu vermeiden.

Laborstudien haben gezeigt, dass dieser Kalzifikation 3 Mechanismen zugrunde liegen [6, 8]. Erstens stellt das Kammerwasser im Hinblick auf Kalzium- und Phosphationen eine übersättigte Lösung dar. Diese Übersättigung begünstigt eine Präzipitation von Kalziumphosphatsalzen. Zweitens spielt die Diffusion der Ionen eine entscheidende Rolle. Kalzium- und Phosphationen diffundieren nach Implantation der Linse mit der Zeit in das Innere des Linsenpolymers. Bei Überschreitung des Sättigungsgleichgewichtes innerhalb des Polymers fallen die Ionen als Salze aus

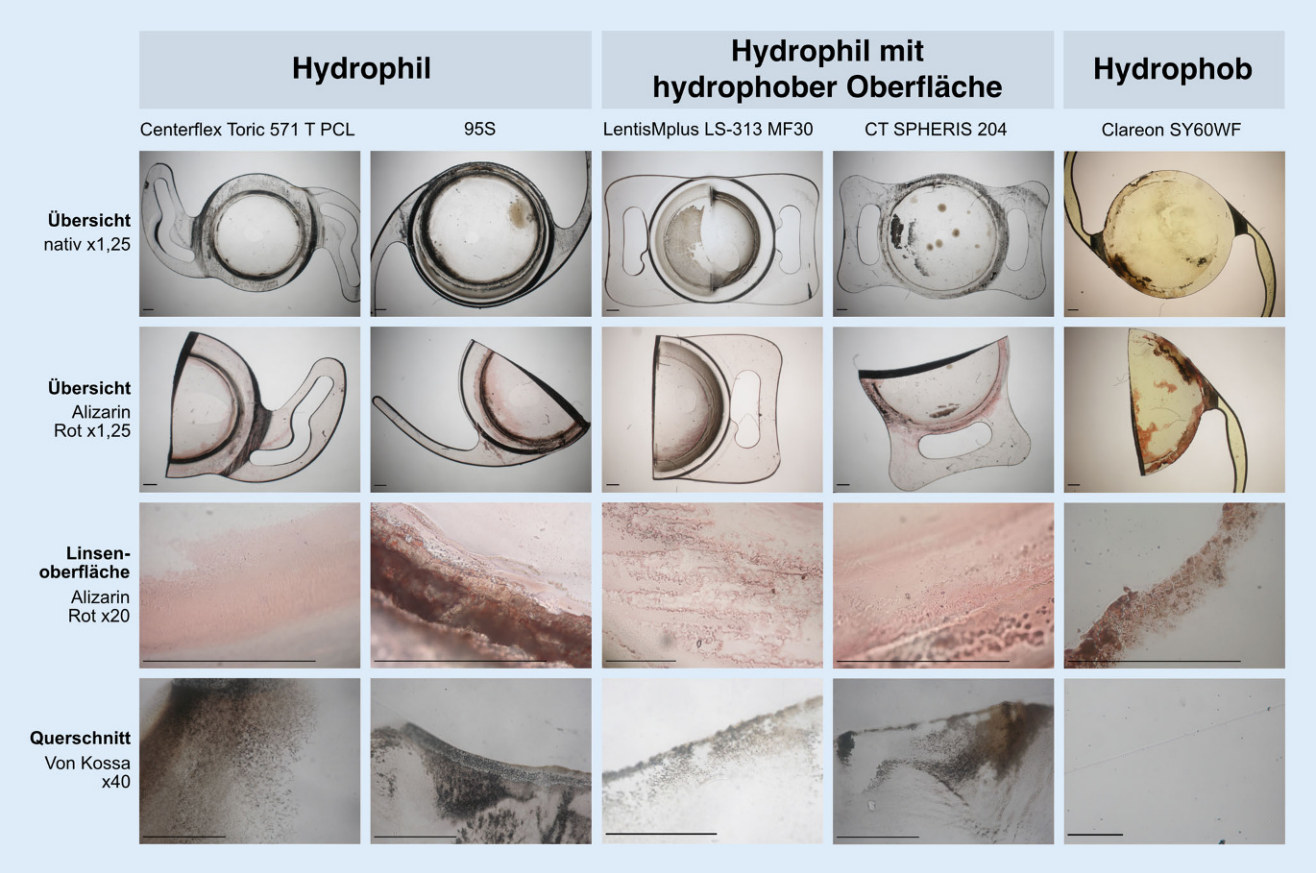

Abb. 2 ▲ Ergebnisse der Analyse mittels Lichtmikroskopie, Alizarinrot- und Von-Kossa-Färbungen. Auf der Oberfläche aller Linsen sind oberflächliche Kalziumablagerungen entstanden, welche sich in der Alizarinrot-Färbung rötlich darstellen. Eine Analyse von Querschnitten aus dem optischen Zentrum der Linsen zeigt, dass sich im Acrylpolymer aller hydrophilen Linsen Kalziumphosphatkristalle gebildet haben. Diese färben sich in der Von-Kossa-Färbung schwarz bräunlich an. Nur die Kristallbildung innerhalb des Polymers entspricht einer Kalzifikation. Die hydrophobe Negativkontrolle zeigte zwar oberflächliche Kalziumablagerungen, aber keine Kristallbildung im Polymer und blieb somit negativ in Bezug auf die Kalzifikation. Maßstableiste in Reihe 1, 2 und 3 = 0,5 mm, in Reihe 4 = 0,1 mm

und dienen als Kristallisationskeim für die Bildung von Hydroxylapatit. Drittens trägt das für die Herstellung von hydrophilen Acryllinsen verwendete Material maßgeblich zur Kalzifikation bei.

Gängige hydrophile Acryllinsen weisen einen Wassergehalt zwischen 18 und 28 % auf und bestehen hauptsächlich aus PHEMA. Carboxyl- und Hydroxylgruppen verleihen diesem Polymer polare Eigenschaften, da sie negative Partialladungen tragen [8]. Diese negativen Partialladung führen zu einer Komplexierung positiv geladener Kalziumionen und begünstigen dadurch die Diffusion, Akkumulation und Ausfällung mit Phosphationen innerhalb des Linsenpolymers [5]. Eine Kalzifikation ist daher theoretisch in jeder hydrophilen Acryllinse möglich, welche PHEMA oder funktionell ähnliche hydrophile Gruppen enthält und einen Wassergehalt von 18–28 % aufweist, und wurde für verschiedene Linsenmodelle beschrieben [7].

In hydrophoben Acryllinsen konnte bis jetzt keine Kalzifikation festgestellt werden. Der Hauptbestandteil hydrophober Acryllinsen ist häufig PMMA oder PEA. Diese Polymere weisen im Vergleich zu PHEMA keine polaren Hydroxylgruppen auf. Charakteristisch für hydrophobe Linsen ist außerdem ein geringer Wassergehalt von ≤ 2 % [17]. Daher finden Diffusion und Akkumulation von Kalzium- und Phosphationen innerhalb des hydrophoben Polymers, wenn überhaupt, in viel geringerem Maße statt, sodass eine Kristallbildung unwahrscheinlich ist.

Es stellt sich die Frage, inwiefern hydrophobe Oberflächeneigenschaften hydrophiler Acryllinsen das Kalzifikationsverhalten dieser Linsen beeinflussen können. In der vorliegenden Studie konnte kein Unterschied bezüglich des Kalzifikationsrisikos und der Kristallbildung im Polymer zwischen hydrophilen Acryllinsen und hydrophilen Acryllinsen mit hydrophoben Oberflächeneigenschaften beobachtet werden.

In jedem der 4 getesteten hydrophilen Acryllinsenmodelle konnten Kalziumphosphatkristalle nachgewiesen werden. Die Kristalle konnten sowohl auf der Linsenoberfläche als auch im Polymer nachgewiesen werden. Gleiches wurde bereits in einer Fallstudie in vivo beobachtet: Sechs aufgrund von Eintrübung explantierte hydrophile Acryllinsen mit hydrophober Oberfläche zeigten in der Untersuchung eine Bildung von Kalziumphosphatkristallen innerhalb des Linsenpolymers [9].

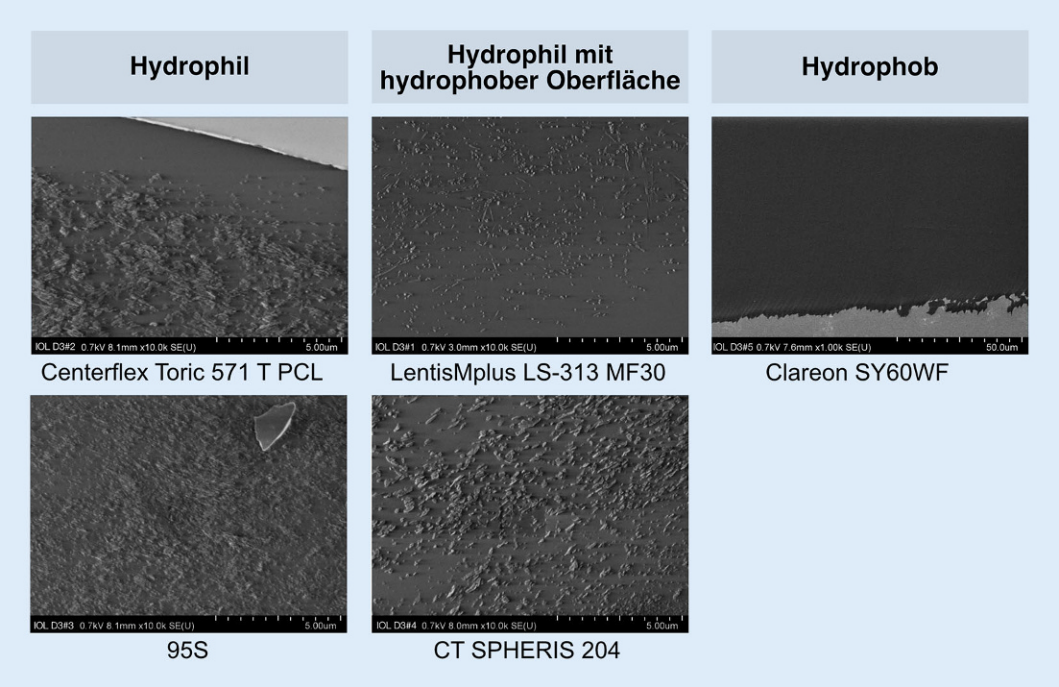

Abb. 3 ◄ Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen von Querschnitten aus dem optischen Zentrum der Linsen. Sowohl im Polymer der hydrophilen als auch im Polymer der hydrophilen Linsen mit hydrophoben Oberflächeneigenschaften haben sich Kalziumphosphatkristalle gebildet. Die hydrophobe Negativkontrolle zeigte hingegen keine Kristallbildung im Polymer

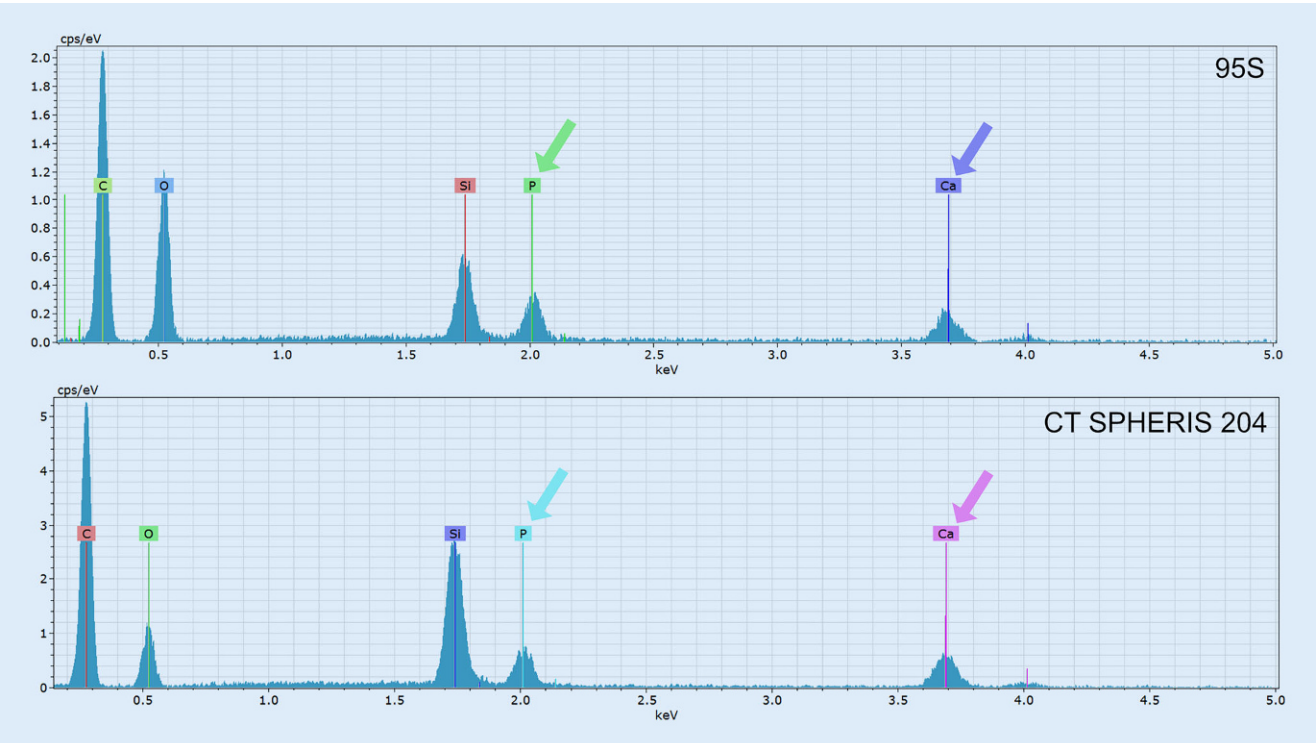

Abb. 4 ▲ Elementbestimmung der Kristalle im Linsenpolymer mittels energiedispersiver Röntgenspektroskopie (EDS). Eine EDS-Analyse der Kristalle im Polymer der 4 hydrophilen Linsen ergab, dass sich diese aus Kalzium (*Ca*) und Phosphor (*P*) zusammensetzen. Beispielhaft für alle 4 Linsen sind die Ergebnisse der 95S und CT SPHERIS 204 aufgeführt. Die Peaks für Kohlenstoff (*C*) und Sauerstoff (*O*) entstehen durch das Linsenpolymer, bei dem Siliziumpeak (*Si*) handelt es sich um ein Artefakt des Objektträgers

In der vorliegenden Studie wurden die Linsen unter standardisierten Bedingungen getestet, sodass der Einfluss weiterer Faktoren soweit wie möglich reduziert wurde. Es kann daraus geschlossen werden, dass auch eine hydrophobe Oberfläche die Diffusion der Kalzium- und Phosphationen ins Innere des hydrophilen Linsenpolymers nicht verhindert und daher nicht vor Kalzifikation schützt.

Schlussfolgerung

Die in dieser Studie unter standardisierten Bedingungen durchgeführte Untersuchung konnte zeigen, dass hydrophobe Oberflächeneigenschaften hydrophiler Acryllinsen nicht vor Kalzifikation schützen und somit auch bei diesen Linsenmodellen das Risiko einer Eintrübung besteht.

Fazit für die Praxis

- **Die Materialeigenschaften von Intraokularlinsen spielen eine entscheidende Rolle bei der Kalzifikation.**
- **Die Kalzifikation kann nur in hydrophilen Acryllinsen beobachtet werden.**
- **Eine Kalzifikation hydrophober Polymere wurde bisher noch nicht beschrieben.**
- **Hydrophobe Oberflächeneigenschaften hydrophiler Acryllinsen schützen nicht vor Kalzifikation.**
- **Es besteht weiterhin Bedarf, Materialveränderungen kritisch zu hinterfragen und unter standardisierten Bedingungen zu testen.**

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. med. Ramin Khoramnia, FEBO
David J. Apple International Laboratory for Ocular Pathology, Universitäts-Augenklinik Heidelberg
INF 400, 69120 Heidelberg, Deutschland
ramin.khoramnia@med.uni-heidelberg.de

Förderung. Die verwendeten Intraokularlinsen wurden dem David J Apple Lab freundlicherweise von Alcon Laboratories, Inc., Carl Zeiss Meditec AG, Morcher GmbH, Teleon Surgical GmbH und Rayner Intraocular Lenses Ltd. kostenlos zur Verfügung gestellt. Die Unternehmen hatten keinen Einfluss auf die Gestaltung oder Durchführung dieser Studie. Das David J Apple International Laboratory for Ocular Pathology wird durch der Klaus Tschira Stiftung GmbH unterstützt.

Funding. Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. L. Britz, I. Lieberwirth und S.K. Schickhardt und geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht. G.U. Auffarth erhält Honorare, nichtfinanzielle Unterstützung und Beratungsgebühren von Johnson & Johnson und Alcon, Honorare und nichtfinanzielle Unterstützung von Carl Zeiss Meditec, Hoya, Kowa, Oculentis/Teleon, Rayner, Santen, Sifi, Ursapharm, Zuschüsse und persönliche Honorare von Biotech, Oculus, EyeYon und Zuschüsse von Acufocus, Anew, Contamac, Glaukos, der Klaus Tschira Stiftung, Physiol und Rheacell außerhalb der eingereichten Arbeit. R. Khoramnia erhält Honorare und nichtfinanzielle Unterstützung von Alimera, Alcon, Bayer, Johnson & Johnson, Hoya, Novartis, Physiol, Rayner und Roche außerhalb der eingereichten Arbeit. R. Khoramnia erhält Honorare und nichtfinanzielle Unterstützung von Alcon, persönliche Honorare und nichtfinanzielle Unterstützung von Kowa, persönliche Honorare und nichtfinanzielle Unterstützung von Hoya, persönliche Honorare von Ophtec, Zuschüsse und persönliche Honorare von Physiol, persönliche Honorare und nichtfinanzielle Unterstützung von Rayner, persönliche Honorare und nichtfinanzielle Unterstützung von Johnson & Johnson, nichtfinanzielle Unterstützung von Acufocus, persönliche Honorare und nichtfinanzielle Unterstützung von Oculentis/Teleon, persönliche Honorare und nichtfinanzielle Unterstützung von Santen, außerhalb der eingereichten Arbeit. T.M. Yildirim wird durch das Physician-Scientist-Programm der Medizinischen Fakultät der Universität Heidelberg gefördert.

Die Studie bedurfte keiner Genehmigung durch die Ethikkommission, da es sich ausschließlich um eine experimentelle In-vitro-Studie handelt. Außer den Autoren war keine weitere Person an der Durchführung dieser Studie und der Erstellung des Manuskripts beteiligt. Die Studie wurde im Einklang mit nationalem Recht sowie gemäß der Deklaration von Helsinki von 1975 (in der aktuellen, überarbeiteten Fassung) durchgeführt.

Open Access. Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de.

Literatur

1. Ag CZM Produktinformationen CT SPHERIS 204/209M. https://www.zeiss.de/meditec/produktportfolio/iols/monofokale-iol/ct-spheris-familie.html. Zugegriffen: 25. Nov. 2022
2. Bellucci R (2013) An introduction to intraocular lenses: material, optics, haptics, design and aberration. Karger, Basel
3. Britz L, Schickhardt SK, Yildirim TM et al (2022) Development of a standardized in vitro model to reproduce hydrophilic acrylic intraocular lens calcification. Sci Rep 12:7685
4. Costa JF, Bompastor-Ramos P, Marques M et al (2020) Large-scale opacification of a hydrophilic/hydrophobic intraocular lens. Eur J Ophthalmol 30:307–314. https://doi.org/10.1177/1120672119830581
5. Dalas E, Kallitsis JK, Koutsoukos PG (1991) Crystallization of Hydroxyapatite on Polymers. Langmuir 7:1822–1826
6. Drimtzias EG, Rokidi SG, Gartaganis SP et al (2011) Experimental investigation on mechanism of hydrophilic acrylic intraocular lens calcification. Am J Ophthalmol 152:824–833
7. Fernandez J, Sanchez-Garcia A, Rodriguez-Vallejo M et al (2020) Systematic review of potential causes of intraocular lens opacification. Clin Exp Ophthalmol 48:89–97. https://doi.org/10.1111/ceo.13650
8. Gartaganis SP, Kanellopoulou DG, Mela EK et al (2008) Opacification of hydrophilic acrylic intraocular lens attributable to calcification: investigation on mechanism. Am J Ophthalmol 146:395–403
9. Gartaganis SP, Prahs P, Lazari ED et al (2016) Calcification of hydrophilic acrylic Intraocular lenses with a hydrophobic surface: laboratory analysis of 6 cases. Am J Ophthalmol 168:68–77
10. Giers BC, Tandogan T, Auffarth GU et al (2017) Hydrophilic intraocular lens opacification after posterior lamellar keratoplasty—a material analysis with special reference to optical quality assessment. BMC Ophthalmol 17:150
11. Kanclerz P, Yildirim TM, Khoramnia R (2020) Microscopic Characteristics of Late Intraocular Lens Opacifications. Arch Pathol Lab Med. https://doi.org/10.5858/arpa.2019-0626-RA
12. Kanclerz P, Yildirim TM, Khoramnia R (2021) A review of late intraocular lens opacifications. Curr Opin Ophthalmol 32:31–44
13. Khoramnia R (2021) Opacification of intraocular lenses. Klin Monbl Augenheilkd 238:831–842
14. Khoramnia R, Salgado JP, Auffarth GU et al (2012) Opacification of a hydrophilic intraocular lens 4 years after cataract surgery. A biomaterial analysis. Ophthalmol : Z Dtsch Ophthalmol Ges 109:483–486
15. Khoramnia R, Yildirim TM, Labuz G et al (2021) Opacification of intraocular lenses: laboratory and clinical findings. Ophthalmol : Z Dtsch Ophthalmol Ges 118:633–642

16. Kim CJ, Choi SK (2007) Analysis of aqueous humor calcium and phosphate from cataract eyes with and without diabetes mellitus. Korean J Ophthalmol 21:90–94. https://doi.org/10.3341/kjo.2007.21.2.90
17. Kohnen T (1996) The variety of foldable intraocular lens materials. J Cataract Refract Surg 22(Suppl 2):1255–1258
18. Labuz G, Yildirim TM, van den Berg T et al (2018) Assessment of straylight and the modulation transfer function of intraocular lenses with centrally localized opacification associated with the intraocular injection of gas. J Cataract Refract Surg 44:615–622. https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2018.01.033
19. Marcovich AL, Tandogan T, Bareket M et al (2018) Opacification of hydrophilic intraocular lenses associated with vitrectomy and injection of intraocular gas. Bmj Open Ophthalmol 3:e157. https://doi.org/10.1136/bmjophth-2018-000157
20. Neuhann IM, Kleinmann G, Apple DJ (2008) A new classification of calcification of intraocular lenses. Ophthalmology 115:73–79. https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2007.02.016
21. Neuhann T, Yildirim TM, Son HS et al (2020) Reasons for explantation, demographics, and material analysis of 200 intraocular lens explants. J Cataract Refract Surg 46:20–26
22. Oculentis. Field Safety Notice Recall Lentis foldable Intraocular lenses. In. Berlin: Oculentis; 2017
23. Scherer NCD, Muller K, Prahs PM et al (2020) Serial opacification of a hydrophilic-hydrophobic acrylic intraocular lens—analysis of potential risk factors. J Cataract Refract Surg. https://doi.org/10.1097/j.jcrs.0000000000000342
24. Schrittenlocher S, Penier M, Schaub F et al (2017) Intraocular lens calcifications after (triple-) descemet membrane endothelial keratoplasty. Am J Ophthalmol 179:129–136. https://doi.org/10.1016/j.ajo.2017.04.024
25. Tandogan T, Khoramnia R, Choi CY et al (2015) Optical and material analysis of opacified hydrophilic intraocular lenses after explantation: a laboratory study. BMC Ophthalmol 15:170
26. Yildirim TM, Auffarth GU, Łabuz G et al (2018) Material analysis and optical quality assessment of opacified hydrophilic acrylic intraocular lenses after pars plana vitrectomy. Am J Ophthalmol 193:10–19
27. Yildirim TM, Khoramnia R, Schickhardt SK et al (2020) Variation in intraocular lens calcification under different environmental conditions in eyes with supplementary sulcus-supported lenses. Am J Ophthalmol Case Rep 19:100797
28. Yildirim TM, Labuz G, Khoramnia R et al (2020) Impact of primary calcification in segmented refractive bifocal Intraocular lenses on optical performance including straylight. J Refract Surg 36:20–27

Abstract

Hydrophobic surface properties of hydrophilic acrylic lenses do not protect against calcification

Background: Opacification through calcification of hydrophilic acrylic intraocular lenses is a serious complication of cataract surgery, which usually results in explantation of the lens. In the process of calcification, the intraocular lens material plays a crucial role: calcification only occurs in hydrophilic acrylic lenses. Hydrophobic acrylic lenses show no crystal formation within the polymer. Hydrophilic acrylic lenses from some manufacturers have hydrophobic surface properties. The question arises as to what influence these surface properties have on the risk of calcification.
Objective: The present study investigated whether the hydrophobic surface properties of hydrophilic acrylic lenses can prevent calcification.
Material and methods: Using an electrophoretic in vitro model of calcification, two hydrophilic lenses with hydrophobic surface properties were compared to two hydrophilic lenses and a hydrophobic negative control to determine the risk of calcification. The lenses were then analyzed by optical microscopy, Alizarin Red and Von Kossa staining, scanning electron microscopy (SEM) and energy dispersive X-ray spectroscopy (EDX).
Results: All four hydrophilic lens models showed calcification within the polymer. No difference was found between the hydrophilic lenses and the hydrophilic lenses with hydrophobic surface properties in terms of crystal formation. The hydrophobic negative control showed no calcification.
Conclusion: The investigation conducted in this study under standardized conditions could show that hydrophobic surface properties of hydrophilic acrylic lenses do not protect against calcium phosphate crystal formation within the polymer. There also is a risk of calcification in these lens models.

Keywords
Cataract surgery · Complication · Opacification · Pathology · Lens material