

Blaulichtfilterlinsen – ein Update

A. J. Augustin

Zusammenfassung

Blaulichtfilterlinsen sind heute ein fester Bestandteil moderner Kataraktchirurgie. Der vorliegende Artikel erläutert zunächst die Schutzmechanismen des Auges vor einer möglichen oxidativen Schädigung durch lichtinduzierte Mechanismen sowie deren Veränderung mit zunehmendem Alter. Insbesondere der derzeitige Kenntnisstand zugrunde liegender biochemischer Prozesse wird beleuchtet. Daten epidemiologischer Studien, die den Zusammenhang zwischen Lichtexposition und Entstehung bzw. Progression einer altersbedingten Makuladegeneration (AMD) untersuchen, werden ebenso zusammengefasst wie die derzeitige Datenlage zur Schutzwirkung von Blaulichtfilterlinsen. Mögliche Auswirkung des Blaulichtfilters auf das funktionelle Sehvermögen (u. a. Farbsehen, Kontrastsensitivität, Blendungsempfindlichkeit, skotopisches Sehen) werden diskutiert. Insgesamt erscheint bei derzeitiger Datenlage die Implantation einer Blaulichtfilterlinse im Rahmen einer Kataraktoperation vor allem bei Patienten mit Frühformen einer AMD bzw. erhöhtem AMD-Risiko sowie bei jungen Patienten empfehlenswert.

Summary

Blue light-filtering intraocular lenses (IOLs) have become part of the modern cataract surgery. The following article illuminates the biochemical mechanisms which protects the eye from photo-oxidative damage as well as their changes with aging. The biochemical processes resulting from photo-oxidation and the role of blue light are explained. Data from epidemiological studies examining the relationship between light exposition and the development as well as the progression of age related macular degeneration (ARMD) are summarized. Studies focusing on the effect of blue light filtering intraocular lenses on functional vision (i.e. color vision, contrast sensitivity, glare disability, scotopic vision) are discussed. All in all – bearing in mind current scientific information – implantation of blue light filtering intraocular lenses seems to be advisable in patients with early AMD, high risk of AMD and younger patients.

Rationale

Neuere biochemische Erkenntnisse zu phototoxischen Effekten des blauen Lichtes, das zunehmend bessere Verständnis altersbedingter Veränderungen im Bereich von Linse und Retina sowie die Ergebnisse großer epidemiologischer Studien haben zur Entwicklung von Intraokularlinsen geführt, die zusätzlich zum UV-Licht auch blaues Licht der Wellenlängen 400 bis 500 nm teilweise herausfiltern und so die

Filtereigenschaften der natürlichen Linse widerspiegeln (Abb. 1) [7]. Selbstverständlich ist es wichtig, die Effekte und Schutzwirkungen solcher Intraokularlinsen näher zu evaluieren. Des Weiteren müssen mögliche Auswirkungen dieser zusätzlichen Filterfunktion auf das funktionelle Sehvermögen der Patienten untersucht werden.

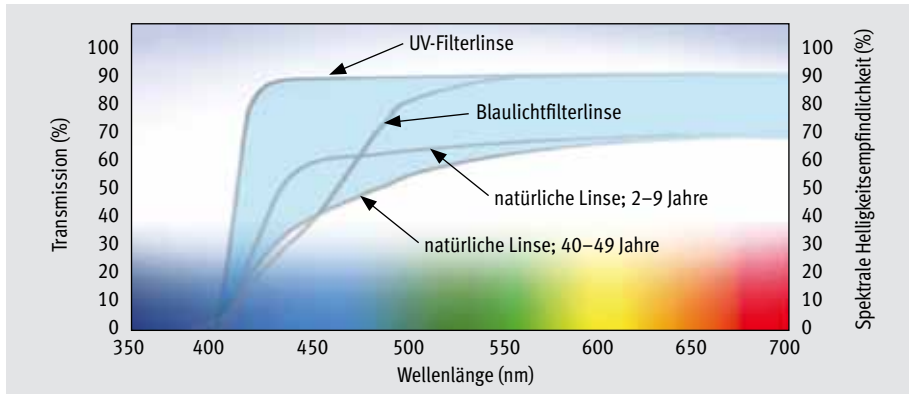


Abb. 1: Vergleich der Transmissionskurven von natürlicher Linse (in Abhängigkeit vom Alter), Blaulichtfilterlinsen und UV-Filterlinsen

Schutzmechanismen des Auges

Die Strukturen des Auges weisen eine unterschiedliche Durchlässigkeit für Licht verschiedener Wellenlängen auf. Hornhaut, Kammerwasser und Glaskörper filtern den größten Teil des UV-Lichtes bis 300 nm heraus, sind allerdings weitgehend durchlässig für UV-A-Licht (315 bis 400 nm). Dieser Bereich wird fast vollständig durch die natürliche Linse herausgefiltert [4], sodass die Netzhaut insgesamt vor möglichen phototoxischen Effekten durch Licht der Wellenlänge 200 bis 400 nm geschützt scheint. Außerdem kommt es im Lauf des Lebens durch photooxidative Veränderungen von Proteinen in der menschlichen Linse zu einer Einlagerung von Chromophoren und damit zu einer zunehmenden Eintrübung und Gelbfärbung (Kataraktentwicklung) [12], sodass mit zunehmendem Alter auch verstärkt blaues Licht durch die natürliche Linse gefiltert wird.

Beim jungen Menschen ist die natürliche Linse noch sehr durchlässig für blaues Licht, das daher in hohem Ausmaß die Netzhaut erreicht (ca. 90 %). Gleichzeitig liegen in der jungen Netzhaut Substanzen vor, die wie eine innere Sonnenbrille wirken und vor einer Schädigung durch blaues Licht schützen. Dabei handelt es sich um das Makulapigment, das sich aus den Carotinoiden Zeaxanthin und Lutein zusammensetzt. Zudem liegen in der jungen Netzhaut noch genügend Antioxidantien in hoher Konzentration vor und schützen vor oxidativen Schäden, indem sie die durch Lichtenergie gebildeten Radikale weitgehend unschädlich machen. Auch im

retinalen Pigmentepithel, das u. a. für eine Versorgung der Photorezeptoren verantwortlich ist, sorgt das Pigment Melanin dafür, dass Lichtenergie in harmlose kinetische Energie umgewandelt wird [2].

Mit zunehmendem Alter nehmen die Schutzmechanismen im Bereich von Netzhaut und retinalem Pigmentepithel ab, d. h., die Konzentrationen von Antioxidantien und Makulapigment in der Netzhaut sowie Melanin im retinalen Pigmentepithel sinken. Außerdem kommt es im retinalen Pigmentepithel zu einer Anreicherung von Lipofuszin, dessen wichtiger und wesentlicher (>85 %) Bestandteil, der Photosensibilisator A_2E , durch blaues Licht angeregt wird und dann oxidative Schäden hervorrufen kann. Insgesamt ist die alternde Netzhaut daher vermehrt gefährdet, einen oxidativen Schaden zu erleiden [2]. Gleichzeitig kommt es im Lauf des Lebens in der menschlichen Linse auch zu einer zunehmenden Gelbfärbung und Eintrübung, sodass die menschliche Linse mit zunehmendem Alter weniger durchlässig für energiereiches, blaues Licht wird [9] und so möglicherweise einen Schutz vor energiereichem UV- und Blaulicht bieten kann. Dieser lenticuläre UV- und Blaulichtfilter wird nun im Rahmen der Kataraktextraktion entfernt.

Phototoxizität – die Rolle von Lipofuszin

Der genaue Mechanismus einer retinalen Schädigung durch blaues Licht ist noch nicht vollständig erforscht. Diverse Untersuchungen weisen darauf hin, dass A_2E , ein Photosensibilisator und Bestandteil des Lipofuszins eine wichtige Rolle bei der Schädigung durch blaues Licht zu spielen scheint [25, 28, 27]: Durch Lichteinwirkung induzierte oxidative Prozesse kann es im Bereich der Retina zur Entstehung von schädlichen Stoffwechselendprodukten kommen, die von retinalen Pigmentepithelzellen (RPE) phagozytiert werden. Diese bilden insgesamt das Alterspigment Lipofuszin, das sich im Alter in den retinalen Pigmentepithelzellen anreichert. Hauptbestandteil von Lipofuszin ist der Photosensibilisator A_2E . Dieser wird durch blaues Licht, vor allem Licht der Wellenlänge um 443 nm, aktiviert und kann dann die Bildung freier Radikale (v. a. ROS) zur Folge haben, was wiederum in oxidativen Gewebeschäden und weiteren Lipofuszinablagerungen in RPE-Zellen resultieren kann [2, 6]. Dies führt zu einer Schädigung der RPE-Zellen sowie zur Expression von entzündungsfördernden und angiogenen Stoffen und dadurch langfristig zu einer Degeneration der Photorezeptoren.

Epidemiologische Studien

Bereits in den 1990er-Jahren wurde aufgezeigt, dass das Progressionsrisiko einer altersbedingten Makuladegeneration (AMD) nach Kataraktextraktion deutlich erhöht ist [22, 23, 21], wobei als mögliche Ursache die verstärkte Lichtexposition nach Kataraktoperation diskutiert wurde. Auch wenn epidemiologische Studien bislang

kein eindeutiges Bild abgeben, so liegen doch hinreichend Daten vor, die einen Zusammenhang zwischen Kataraktoperation und AMD-Progression beschreiben. So zeigen die zusammengefassten Ergebnisse zweier großer epidemiologischer Studien, dass das Risiko einer fortgeschrittenen AMD in pseudophaken Augen mehr als fünfmal höher ist als in phaken Augen [29]. Insgesamt sollte auch bedacht werden, dass Menschen mit erhöhter Sonnenexposition ein 2,5-fach höheres Risiko haben, eine AMD zu entwickeln. Besonders gefährdet scheinen Menschen mit schwacher Pigmentierung (blond, blauäugig) zu sein, die daher von Geburt an unbedingt auf ausreichend Lichtschutz achten sollten.

Laborexperimentelle und klinische Studien zur Schutzwirkung von Blaulichtfilterlinsen

In verschiedenen laborexperimentellen Studien wurden zunächst die Effekte des Lichtes auf die bereits bekannten Pathomechanismen untersucht, die für die Entstehung und Progression einer AMD bekannt sind. Diese Modellsysteme wurden schließlich genutzt, um die Schutzwirkung verschiedener Intraokularlinsen vor blauem Licht zu überprüfen. Insgesamt kann festgehalten werden, dass die Datenlage zur Schutzwirkung von Blaulichtfilterlinsen zunehmend konsistenter wird:

Zunächst wurden die toxische Wirkung des Lichtes sowie die Schutzwirkung durch Blaulichtfilterlinsen vorwiegend an isolierten retinalen Pigmentepithelzellen (RPE) getestet. Sparrow et al. arbeiteten mit RPE-Zellkulturen, die mit dem Photosensibilisator A_2E in einer Konzentration, wie er auch im Auge vorkommt, beladen wurden. Diese A_2E beladenen RPE-Zellen wurden anschließend weißem bzw. blauem Licht ausgesetzt und die abgestorbenen RPE-Zellen quantifiziert. Als Kontrolle dienten RPE-Zellen, die nicht mit A_2E beladen wurden. Es zeigte sich, dass Bestrahlung mit blauem oder weißem Licht bei RPE-Zellen, die mit A_2E beladen sind, zu einem Absterben führt. Um die Schutzwirkung verschiedener Intraokularlinsen zu überprüfen, wurden die Versuche schließlich auch mit UV-Filterlinsen bzw. mit Blaulichtfilterlinsen im Strahlengang durchgeführt. Blaulichtfilterlinsen reduzierten den lichtinduzierten Zelltod signifikant um ca. 80 %, während konventionelle UV-Filterlinsen kaum Schutzwirkung zeigten (Abb. 2) [27]. Weiterhin konnten Rezai et al. an fetalen RPE-Zellkulturen nachweisen, dass durch Blaulichteinwirkung (430 bis 450 nm) der programmierte Zelltod (Apoptose) von RPE-Zellen in bis zu zehn Tagen Expositionszeit zunimmt (bis zu 85 % Zelltod). Dies kann durch die Abdeckung der Zellkulturen mit Blaulichtfilter-Intraokularlinsen (AcrySof-Natural-Filter) auf ca. 37 % vermindert werden [24].

Eine andere Gruppe untersuchte den Einfluss von Licht auf die Bildung verschiedener Faktoren, die an Entstehung und Progression einer AMD beteiligt sind [16, 17]. Zunächst setzten sie humane RPE-Zellkulturen bis zu 60 min weißem Licht aus.

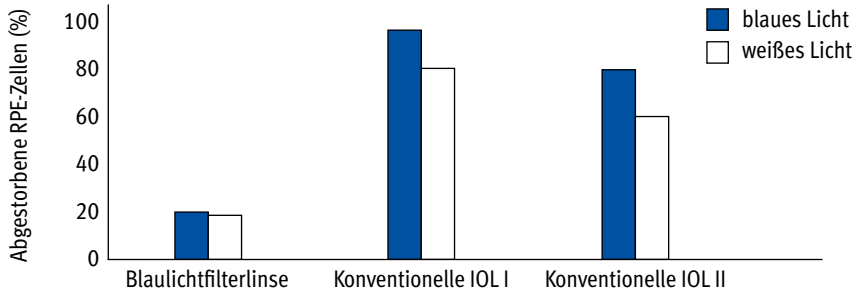


Abb. 2: Relative Schutzwirkung von Blaulichtfilterlinsen und konventionellen IOLs gegenüber blauem und weißem Licht. Blaulichtfilterlinsen reduzieren den lichtinduzierten Zelltod signifikant um etwa 80 %. Konventionelle IOLs zeigen kaum Schutzwirkung

Dies führte zu einer bis zu 2,5-fach erhöhten Konzentration des Wachstumsfaktors VEGF- α , der eine entscheidende Rolle bei der Entstehung der feuchten AMD spielt. Außerdem wurde auch die Bildung des anti-apoptotischen XIAP-Proteins reduziert, das dazu beiträgt, Zellen vor dem programmierten Zelltod (Apoptose) zu schützen. Eine lichtinduzierte Reduktion dieses Proteins bedeutet, dass die Zellen einen wichtigen Schutz vor Apoptose verlieren. Wurde die Bestrahlung der RPE-Zellen mit weißem Licht durch konventionelle UV-Filter bzw. Blaulichtfilterlinsen gemindert, so konnten zwar in beiden Fällen die phototoxischen Schäden reduziert werden. Allerdings zeigten Blaulichtfilterlinsen insbesondere bei längeren Bestrahlungszeiten ab 45 min eine signifikant bessere Schutzwirkung: Die VEGF- α Konzentration entsprach auch nach 60 min noch nahezu der Kontrolle (RPE-Zellen ohne Lichtexposition). Auch die Reduktion des XIAP-Proteins, und somit der lichtinduzierte Verlust des Apoptose-Schutzes, fällt mit Blaulichtfilterlinsen signifikant geringer aus als mit konventionellen UV-Filterlinsen. Die Autoren halten daher insgesamt fest, dass Blaulichtfilterlinsen einen verbesserten Schutz vor phototoxischen Schäden der Netzhaut bieten und empfehlen diese für AMD-Hochrisikopatienten [17].

Auch klinische Untersuchungen nach Implantation einer Blaulichtfilterlinse untermauern weiter deren Schutzwirkung. So wiesen Nolan et al. erstmals auch am Patienten den positiven Effekt des Blaulichtfilters nach. In einer prospektiven, doppelblinden Studie erhielten 42 Patienten entweder eine Blaulichtfilterlinse oder eine konventionelle UV-Filter-IOL. Die Dichte des Makulapigments wurde präoperativ sowie bis zu zwölf Monate postoperativ gemessen. Bei Patienten mit Blaulichtfilterlinse zeigte sich bereits nach drei Monaten ein signifikanter Anstieg der Makulapigmentdichte, wohingegen mit der UV-Filter-Intraokularlinse keine Zunahme festzustellen war. Die Autoren schlussfolgern, dass der Blaulichtfilter dazu beiträgt, einem „Ausbleichen“ des Makulapigmentes vorzubeugen. Dadurch wird auch nach Kataraktoperation eine erhöhte protektive Wirkung vor hochenergetischem blauem Licht ermöglicht [20].

Auswirkungen einer Blaulichtfilterlinse auf das funktionelle Sehvermögen

Anfängliche Bedenken, der Blaulichtfilter könne das funktionelle Sehvermögen der Patienten beeinträchtigen, wurden mittlerweile anhand zahlreicher Studien ausgeräumt. Seh- und Lebensqualität der Patienten werden durch die Implantation einer Blaulichtfilterlinse mindestens so verbessert wie durch eine UV-Filterlinse (Abb. 3) [8]. Neuere Untersuchungen zeigen sogar, dass Patienten mit Blaulichtfilterlinsen weniger blendungsempfindlich sind als Patienten mit UV-Filterlinsen [13, 11, 10]. Dies kann z. B. im Straßenverkehr zu einer signifikant kürzeren Reaktionszeit führen und somit die Sicherheit erhöhen, wie in zwei Vergleichsstudien mit 34 bzw. 33 Patienten gezeigt wurde [11, 10]. Zudem belegen zahlreiche, auch randomisierte Vergleichsstudien, dass durch Blaulichtfilterlinsen weder eine Beeinträchtigung des Farbsehens noch des Kontrastsehens festzustellen ist. So stellen Marshall et al. anhand einer multizentrischen Vergleichsstudie mit 297 Patienten fest, dass durch eine Blaulichtfilterlinse das Farben- und Kontrastsehen weder unter mesopischen noch unter skotopischen Bedingungen beeinträchtigt wird. Auch im Vergleich zu gleichaltrigen Patienten mit klarer, kristalliner Linse wiesen mit Blaulichtfilterlinse versorgte Patienten keine signifikant veränderte Farbwahrnehmung auf [18]. Gleichzeitig scheint der Blaulichtfilter auch ein nahezu natürliches Kontrastsehen wiederherzustellen. Bhattacharjee et al. stellten fest, dass das Kontrastsehen von Patienten mit einer Blaulichtfilterlinse dem Kontrastsehen von Patienten mit natürlicher Linse näher kommt, wohingegen Patienten mit UV-Filterlinsen in diesem Vergleich sogar etwas schlechter abschneiden. Die Autoren führen dies darauf zurück, dass durch den Blaulichtfilter die störende Lichtstreuung reduziert werde [3].

Weiterhin ist nicht davon auszugehen, dass der Blaulichtfilter das skotopische Sehen in klinisch relevantem Ausmaß beeinträchtigt. Am mesopischen und skotopischen Sehen sind Stäbchen maßgeblich beteiligt, die vor allem durch Licht der Wellenlänge um 507 nm angeregt werden. Daher ist vor allem Licht im Bereich dieser Wellenlänge von großer Bedeutung für das Sehen unter schlechten Lichtbedingungen. Die meisten Blaulichtfilterlinsen sind in diesem Bereich für etwa 85 % des Lichtes durchlässig und entsprechen damit in etwa der Transmission der kristallinen Linse eines Kindes. Muf-tuoglu et al. verglichen in einer interindividuellen Studie mit 76 Patienten, wie sich UV-Filter- bzw. Blaulichtfilterlinsen auf die Kontrastsensitivität der Patienten auswirken – auch unter nahezu skotopischen Bedingungen. Zwischen den beiden Patientengruppen konnte kein signifikanter Unterschied der Kontrastsensitivität festgestellt werden. Die Autoren schlussfolgern, dass die Blaulichtfilterlinse das skotopische Sehen nicht beeinträchtigt bzw. eine UV-Filterlinse diesbezüglich keine Vorteile bringt [19].

Auch von einer Beeinträchtigung des zirkadianen Rhythmus aufgrund von Blaulichtfilterlinsen ist nicht auszugehen. Erstens ist die Messung der Lichtintensität nur

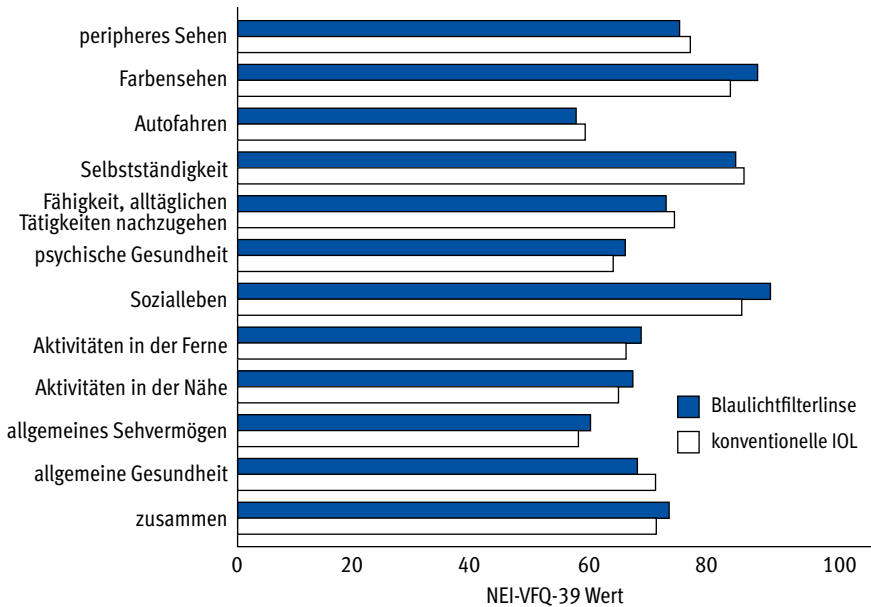


Abb. 3: Die Abbildung zeigt NEI-VFQ-Werte für verschiedene Themenkomplexe. Es lies sich kein Unterschied zwischen konventionellen und Blaulichtfilterlinsen nachweisen

ein Eingangssignal von vielen weiteren Faktoren zur Regulation des zirkadianen Rhythmus. Zweitens erfolgt die hochkomplexe, lichtabhängige Regulation des zirkadianen Rhythmus über ein eigenes photosensitives System in den intrinsisch photosensitiven retinalen Ganglienzellen (ipRGCs) durch Melanopsin, das maximal durch Licht der Wellenlänge 480 nm angeregt wird. Die meisten Blaulichtfilterlinsen sind zu etwa 70 bis 80 % durchlässig für Licht der Wellenlänge 480 nm und entsprechen damit in diesem Bereich im Wesentlichen den Transmissionseigenschaften der natürlichen, jungen, kristallinen Linse [1]. Die neuronale Aktivität der Retina bleibt durch Blaulichtfilterlinsen ebenfalls weitgehend unverändert, wie anhand von multifokalen Elektroretinogrammen gezeigt wurde [15], und auch den weiteren Verlauf der Bildverarbeitung in den extraretinalen Bereichen des primären Cortex beeinträchtigen Blaulichtfilterlinsen nicht [14].

In einem Übersichtsartikel bewerten Davison et al. zahlreiche aktuelle klinische und computergestützte Studien zur Photorezeption und Photoprotektion und erstellen eine klinische Risiko-Nutzen-Analyse zum Einsatz von Blaulichtfilterlinsen in der Kataraktchirurgie [5]. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass Blaulichtfilterlinsen das Potenzial eines schützenden Effekts gegen Phototoxizität und Entstehung sowie Voranschreiten der AMD aufweisen und dabei keine klinisch fundierten Risiken bergen. Dementsprechend empfehlen die Autoren Blaulichtfilter-IOL für Patienten jeglichen Alters, vor allem jedoch für den kindlichen und presbyopen Linsentausch.

Fazit

Neben UV-Licht können auch Anteile des sichtbaren Lichtes – hier v. a. energie-reiches, blaues Licht – zu photooxidativen Schäden der Netzhaut führen. Dies gilt umso mehr mit zunehmendem Alter des Patienten, da im Alter die natürlichen Schutzmechanismen des Auges (u. a. Makulapigmentierung; Konzentration von Antioxidantien) nachlassen. Blaulichtfilterintraokularlinsen spiegeln das Transmissionsspektrum der natürlichen Linse eines Erwachsenen wider und filtern neben UV-Licht auch Anteile des blauen Lichtes. Zahlreiche Studien belegen, dass Blaulichtfilterlinsen das funktionelle Sehvermögen nicht beeinträchtigen. Neuere Untersuchungen belegen sogar Vorteile wie eine reduzierte Blendungsempfindlichkeit nach Implantation von Blaulichtfilterlinsen. Die Datenlage zur Schutzwirkung der Blaulichtfilterlinsen ist insgesamt konsistenter geworden: zahlreiche laborexperimentelle Arbeiten belegen mittlerweile die Schutzwirkung von Blaulichtfilterlinsen und in einer klinischen Untersuchung wurde die Zunahme des Makulapigmentes nach Implantation von Blaulichtfilterlinsen gezeigt. Bei Berücksichtigung der derzeit insgesamt zur Verfügung stehenden Datenlage erscheint daher im Rahmen einer Kataraktoperation die Implantation einer Blaulichtfilterlinse vor allem bei Patienten mit Frühformen einer AMD bzw. erhöhtem AMD-Risiko sowie bei jungen Patienten empfehlenswert. Aufgrund des multifaktoriellen Charakters der Erkrankung kann eine Blaulichtfilterlinse eine AMD allerdings sicherlich nur verzögern, nicht vollständig verhindern. Wichtig im Zusammenhang mit AMD-Prävention ist daher auch ein Lichtschutz von Geburt an.

Literatur (Auswahl)

1. AUGUSTIN AJ: The physiology of scotopic vision, contrast vision, color vision, and circadian rhythmicity: Can These Parameters be Influenced by Blue-Light-Filter Lenses? *Retina* 2008;28:1179–1187. Review
2. AUGUSTIN AJ: Einfluss der Lichtexposition auf Linse und Makula – Konsequenzen für die Intraokularlinsenoperation. *Ophthalmochirurgie* 2003;19–23
3. BHATTACHARJEE H, BHATTACHARJEE K, MEDHI J: Visual Performance: comparison of foldable intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg* 2006;32:451–455
4. BOETTNER EA, WOLTER JR: Transmission of the ocular media. *Invest Ophthalmol* 1962;1:776–783
5. DAVISON JA, PATEL AS, CUNHA JP et al.: Recent studies provide an updated clinical perspective on blue-light-filtering IOLs. *Graefes Archive Clin Exp Ophthalmol* 2011;249:957–68
6. ENGLMANN K, FUNK RH: Kataraktextraktion und Blaulicht – Wirkung auf die Netzhaut. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 2009;226:1–10
7. ERNEST PH: Light-transmission-spectrum comparison of foldable intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg* 2004;30:1755–1758
8. ESPINDLE D, CRAWFORD B, MAXWELL A et al.: Quality-of-life improvements in cataract patients with bilateral blue light-filtering intraocular lenses: clinical trial. *J Cataract Refract Surg* 2005;31:1952–1959

9. GAILLARD ER, ZHENG L, MEERIAM JC, DILLON J: Age-related changes in the absorption characteristics of the primate lens. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2000;41:1454–1459
10. GRAY R, HILL W, NEUMAN B et al.: Effects of a blue light-filtering intraocular lens on driving safety in glare conditions. *J Cataract Refract Surg* 2012;38:816–22
11. GRAY R, PERKINS SA, SURYAKUMAR R et al.: Reduced effect of glare disability on driving performance in patients with blue light-filtering intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg* 2011;37:38–44
12. GROSSWEINER LI: Photochemistry of proteins: a review. *Curr Eye Res* 1984;3:137–145
13. HAMMOND BR, RENZI LM, SACHAK S, BRINT SF: Contralateral comparison of blue-filtering and non-blue-filtering intraocular lenses: glare disability, heterochromatic contrast, and photostress recovery. *Clin Ophthalmol* 2010 Dec 8;4:1465–1473
14. HOFFMANN MB, BEHRENS-BAUMANN W, LANGENBUCHER A et al.: Effect of blue-light filtering on multifocal visual-evoked potentials. *J Cataract Refract Surg* 2012;38:85–91
15. HOFFMANN MB, SPORS F, LANGENBUCHER A et al.: Minor effect of blue-light filtering on multifocal electroretinograms. *J Cataract Refract Surg* 2010;36:1692–1699
16. KERNT M, NEUBAUER AS, LIEGL R et al.: Cytoprotective effects of a blue light-filtering intraocular lens on human retinal pigment epithelium by reducing phototoxic effects on vascular endothelial growth factor- α , Bax, and Bcl-2 expression. *J Cataract Refract Surg* 2009;35:354–362
17. KERNT M, HIRNEISS C, NEUBAUER AS et al.: Protektive Wirkung Blaulichtabsorbierender IOLs auf das menschliche retinale Pigmentepithel. *Ophthalmologie* 2010;107:150–157
18. MARSHALL J, CIONNI RJ, DAVISON J et al.: Clinical results of the blue-light filtering AcrySof Natural foldable acrylic intraocular lens. *J Cataract Refract Surg* 2005;31:2319–23
19. MUFTUOGLU O, KAREL F, DUMAN R: Effect of a yellow intraocular lens on scotopic vision, glare disability, and blue color perception. *J Cataract Refract Surg* 2007;33:658–666
20. NOLAN JM, O' REILLY P, LOUGHMAN J et al.: Augmentation of macular pigment following implantation of blue light filtering intraocular lenses at the time of cataract surgery. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2009;50:4777–4785
21. POLLACK A, BUKELMANN A, ZALISH M et al.: The course of age-related macular degeneration following bilateral cataract surgery. *Ophthalmic Surg Lasers* 1998;29:286–294
22. POLLACK A, MARCOVICH A, BUKELMAN A, OLIVER M: Age-related macular degeneration after extracapsular cataract extraction with intraocular lens implantation. *Ophthalmology* 1996;103:1546–1554
23. POLLACK A, MARCOVICH A, BUKELMAN A et al.: Development of exudative age-related macular degeneration after bilateral cataract surgery. *Eye* 1997;11:523–530
24. REZAI KA, GASYNA E, SEAGLE BL et al.: AcrySof Natural filter decreases blue light-induced apoptosis in human retinal pigment epithelium. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2008;246: 671–676
25. SHABAN H, RICHTER C: A2E and blue light in the retina: the paradigm of age-related macular degeneration. *Biol Chem* 2002;383:537–545
26. SPARROW JR, CAI B: Blue light-induced apoptosis of A2E-containing RPE: involvement of caspase 3 and protection by BCL-2. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2001;42:1356–1362
27. SPARROW JR, MILLER AS, ZHOU J: Blue light-absorbing intraocular lens and retinal pigment epithelium protection in vitro. *J Cataract Refract Surg* 2004;30:873–878
28. SPARROW JR, NAKANISHI K, PARISH CA: The lipofuscin fluorophor A2E mediates blue light-induced damage to retinal pigmented epithelial cells. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2000;1981–1989
29. WANG JJ, KLEIN R, SMITH W et al.: Cataract surgery and the 5-year incidence of late stage age related maculopathy; pooled findings from the Beaver Dam and Blue Mountains Eye Studies. *Ophthalmology* 2003;110:1960–1967