

Chemical Structure and Optical Properties of Hydrophilic and Hydrophobic Intraocular Lenses

Behnam-Ghader AA, PhD*; Latifi A, MSc; Neghabat-Shirazi R, MSc; Siatiri H, MD

PO Box: 14155-4777

*Corresponding author: a-behnamghader@merc.ac.ir

Purpose: To compare the optical properties of hydrophilic and hydrophobic intraocular lenses (IOLs) containing UV-absorber and to determine their chemical composition.

Methods: Optical properties of different foldable hydrophilic and hydrophobic as well as non-foldable hydrophobic polymethylmethacrylate (PMMA) IOLs were evaluated in three powers of 15, 22 and 25 diopters. Optical properties were measured using UV-VIS (UV-Visible) spectroscopy between wavelengths 200 and 800 nm and chemical structure characteristics were determined by ATR (attenuated total reflectance) spectroscopy.

Results: ATR spectroscopy revealed that foldable hydrophilic and hydrophobic IOLs and non-foldable hydrophobic IOLs were respectively composed of hydroxyethylmethacrylate, a copolymer of phenylethylacrylate and phenylethylmethacrylate, and PMMA (in accordance with manufacturer's claim). Cut-off points of the lenses were found to be around 350-420 nm. Increasing the IOL power from 15 to 22 diopters did not significantly change the cut-off points of foldable hydrophobic IOLs, however a considerable cut-off shift to higher wavelengths was noted when power increased to 25 diopters. PMMA lenses showed a constant cut-off at 400 nm for all power values.

Conclusion: The increase in power is associated with absorption of lower energy UV radiation and shift of cut-off points to higher wavelengths in hydrophobic IOLs but with no considerable effect on cut-off points in PMMA IOLs.

Keywords: Intraocular Lens, Optical Property, Chemical Structure, Hydrophilic, Hydrophobic

• Bina J Ophthalmol 2011; 16 (4): 344-350.

Received: 11 July 2010

Accepted: 4 January 2011

ساختار شیمیایی و خواص نوری لنزهای درون چشمی هیدروفیل و هیدروفوب

دکتر علی اصغر بهنام قادر^۱، مهندس افروز لطیفی^۲، مهندس ریحانه نقابت شیرازی^۲ و دکتر حیدر سیاتیری^۳

هدف: مقایسه خواص نوری لنزهای درون چشمی حاوی مواد جذب‌کننده پرتو فرابنفش و تعیین ترکیبات شیمیایی آنها. **روش پژوهش:** لنزهای درون چشمی گوناگون شامل لنزهای آکرلیک هیدروفیل انعطاف‌پذیر، هیدروفوب انعطاف‌پذیر و هیدروفوب غیرقابل انعطاف PMMA (پلی‌متیل‌متاکریلات) در سه عدد دیوپتر ۱۵، ۲۲ و ۲۵ مورد بررسی قرار گرفتند. بررسی خواص نوری با روش طیف‌سنجی UV-VIS (UV-Visible) در طول موج‌های بین ۲۰۰-۸۰۰ nm و ساختار شیمیایی با روش طیف‌سنجی ATR (attenuated total reflectance) انجام شد.

یافته‌ها: بر اساس طیف‌سنجی ATR، لنزهای هیدروفیل از جنس هیدروکسی‌اتیل‌متاکریلات، هیدروفوب انعطاف‌پذیر از جنس کولیم‌های فنیل‌اتیل‌اکریلات و فنیل‌اتیل‌متاکریلات و لنزهای هیدروفوب غیرقابل انعطاف از جنس PMMA (منطبق با اعلام شرکت سازنده) بودند. ناحیه cut-off لنزهای مورد بررسی، در محدوده طول موج ۳۵۰ تا ۴۲۰ نانومتر قرار داشت. با افزایش عدد دیوپتر از ۱۵ به ۲۲ در لنزهای هیدروفوب انعطاف‌پذیر، تغییر قابل توجهی در ناحیه cut-off و در مقدار جذب پرتوهای فرابنفش رخ نداد در حالی که افزایش بیش‌تر آن تا عدد دیوپتر ۲۵، انتقال ناحیه cut-off به طول موج‌های بالاتر را به همراه

داشت. لنزهای PMMA دارای ناحیه cut-off در طول موج ۴۰۰ نانومتر بودند و تغییرات عدد دیوپتر، اثر قابل سنجشی بر آن نداشت.

نتیجه گیری: با افزایش عدد دیوپتر در لنزهای هیدروفوب، ناحیه cut-off به طول موج‌های بالاتر منتقل می‌شود و پرتوهای فرابنفش کم‌انرژی‌تر نیز جذب می‌گردند. در لنزهای PMMA، تغییرات عدد دیوپتر اثر قابل سنجشی را نشان نمی‌دهد.
• مجله چشم پزشکی بینا ۱۳۹۰؛ دوره ۱۶، شماره ۴: ۳۴۴-۳۵۰.

• پاسخ‌گو: دکتر علی اصغر بهنام قادر (e-mail: a-behnamghader@merc.ac.ir)

دریافت مقاله: ۲۰ تیر ۱۳۸۹
تایید مقاله: ۱۴ دی ۱۳۸۹

۱- استادیار - دکترای مکانیک مواد- بیومواد پژوهشگاه مواد و انرژی - کرج
۲- دانشجوی دکترای مهندسی پزشکی - دانشگاه آزاد اسلامی - واحد علوم و تحقیقات
۳- دانشیار - فوق تخصص قرنیه - دانشگاه علوم پزشکی تهران
✉ کرج- پژوهشگاه مواد و انرژی- صندوق پستی ۴۷۷۷-۱۴۱۵۵

مقدمه

جذب پرتو فرابنفش توسط بافت‌های گوناگون چشم متفاوت است. اگرچه انتظار می‌رود لایه اوزون از عبور پرتوهای فرابنفش جلوگیری نماید، اما روزه‌های ایجادشده در آن موجب افزایش عبور پرتوهای فرابنفش C (۲۸۰-۲۰۰)، B (۳۱۵-۲۸۰) و A (۴۰۰-۳۱۵ nm) به سطح زمین می‌شوند. بخش زیادی از پرتو فرابنفش B در ورود به چشم، توسط قرنیه جذب می‌شود که سبب بروز آسیب‌های ساختاری در اپی‌تلیوم قرنیه می‌گردد. گرچه پرتوهای دارای طول موج ۳۰۰ nm از قرنیه و زجاجیه عبور می‌کنند؛ بخش عمده پرتوهای فرابنفش A و B توسط عدسی چشم جذب می‌شوند.^{۱-۵}

پرتوهای فرابنفش با سازوکارهای مکانیکی، حرارتی و فوتوشیمیایی، منجر به آسیب‌های چشمی می‌شوند. اثرات مکانیکی زمانی ایجاد می‌شوند که چگالی توان نور (power per unit area) برای تحریک الکترون‌ها به اندازه کافی بالا باشد و یونیزه‌شدن بافتی و پارگی بافت را به همراه آورد. آسیب حرارتی ناشی از افزایش دما شامل پاسخ التهابی موضعی و حتماً انعقاد و ایجاد اسکار است. اگر انرژی نورانی به اندازه‌ای باشد که موجب تحریک واکنش‌های شیمیایی گردد آثار تخریب فوتوشیمیایی بافت نیز نمایان می‌شود. این نوع تخریب عامل اصلی اکثر بیماری‌های چشمی مانند آب‌مروارید و بیماری‌های شبکه است.^۶

لنزهای درون چشمی پلی‌آکرلیک که در جراحی آب‌مروارید به کار می‌روند بر اساس نوع مواد اولیه، به ۳ گروه کلی هیدروفوب غیرقابل انعطاف پلی‌متیل‌متاکریلاتی (PMMA)، هیدروفوب انعطاف‌پذیر از جنس کاپلیمرهای فنیل‌اتیل‌اکریلات و فنیل‌اتیل‌متاکریلات و هیدروفیل انعطاف‌پذیر از جنس هیدروکسی‌اتیل‌متاکریلات دسته‌بندی می‌شوند.^{۷،۸} از جمله

مهم‌ترین خواص لنزهای درون‌چشمی می‌توان به سازگاری زیستی^{۹،۱۰}، خواص نوری و مکانیکی^{۱۱،۱۲} و خواص مرتبط با عملکرد بالینی و جراحی^{۱۳} اشاره نمود.

بررسی خواص مرتبط با عبور نور در لنزها بر پایه الزامات استانداردهای بین‌المللی (ISO) و راهنماهای FDA انجام می‌گردد.^{۱۴} بر این اساس با استفاده از روش طیف‌سنجی در گستره طول موج‌های فرابنفش و مرئی می‌توان میزان جذب طیف UV و درصد عبور طیف مرئی را به منظور ارزیابی کیفی خواص نوری لنزهای درون چشمی تعیین نمود. در بین مولفه‌های مربوط به خواص نوری، بررسی خواص عبور نوری لنزها در دامنه طول موج‌های ۳۰۰ تا ۱۲۰۰ نانومتر دارای اهمیت است.^{۱۴}

آنچه از یک لنز ایده‌آل انتظار می‌رود، عبور ۱۰۰ درصد نور در طیف مرئی و حذف کامل طیف UV است. لذا با استفاده از روش طیف‌سنجی UV-Visible و رسم نمودارهای عبور نور در گستره مذکور، می‌توان میزان حذف طیف UV و درصد عبور طیف مرئی را به منظور ارزیابی کیفی خواص نوری لنزها تعیین نمود. هم‌چنین با استفاده از روش‌های طیف‌سنجی (Fourier transform infrared) می‌توان ترکیبات شیمیایی لنز را تعیین کرد و نتایج حاصل را با اطلاعات ارایه‌شده توسط سازندگان این محصولات مطابقت داد.

با توجه به حجم بالای واردات لنزهای درون‌چشمی به کشور، دستیابی به روش‌های بررسی خواص نوری و ترکیبات شیمیایی این لنزها و مطابقت نتایج به دست آمده با اطلاعات ارایه‌شده از سوی سازندگان جهت تایید اطلاعات ادعا شده، حایز اهمیت است. هم‌چنین با توجه به تولید لنزهای درون‌چشمی در کشور، توانایی انجام آزمون‌های بررسی خواص نوری، ارایه محصولاتی با کیفیت مطلوب‌تر را امکان‌پذیر می‌سازد.

هیدروفوب انعطاف‌پذیر و هیدروفوب غیر قابل انعطاف (PMMA) در سه عدد دیوپتر متفاوت مورد بررسی قرار گرفتند. مشخصات نمونه‌های مورد آزمایش در جدول (۱) آورده شده است.

روش پژوهش

برای ارزیابی خواص مرتبط با عبور نور در لنزهای درون چشمی، نمونه‌هایی از لنزهای آکرلیک هیدروفیل انعطاف‌پذیر،

جدول ۱- مشخصات لنزهای درون چشمی مورد آزمایش

نمونه	قطر کلی (mm)	قطر ناحیه بینایی (mm)	توان (دیوپتر)	نوع ماده	کارخانه
HL15	۱۲٫۵	۶	+۱۵	هیدروفیل	
HL22	۱۲٫۵	۶	+۲۲	هیدروفیل	OII
HL25	۱۲٫۵	۶	+۲۵	هیدروفیل	
HB15	۱۳	۶	+۱۵	هیدروفوب	
HB22	۱۳	۶	+۲۲	هیدروفوب	OII
HB25	۱۳	۶	+۲۵	هیدروفوب	
HBPA15	۱۳٫۵	۶٫۵	+۱۵	هیدروفوب (PMMA)	
HBPA22	۱۳٫۵	۶٫۵	+۲۲	هیدروفوب (PMMA)	Aurolab
HBPA25	۱۳٫۵	۶٫۵	+۲۵	هیدروفوب (PMMA)	

HL, hydrophilic intraocular lens; HB, hydrophobic foldable intraocular lens; HBPA, hydrophilic non-foldable intraocular lens

مولکولی بسامدهای گوناگون از امواج الکترومغناطیس توسط ترکیبات شیمیایی ناشی از تغییرات پدیدآمده در انرژی پیوندی اتم‌هاست. از آنجا که هر پیوند اتمی دارای بسامد ارتعاشی ویژه است و هیچ‌گاه دو مولکول با ساختمان اتمی گوناگون، حتی اگر دارای ترکیب شیمیایی یکسان باشند، جذب فرسرخ یکسانی ندارند؛ می‌توان از طیف‌های جذب مواد برای تعیین بنیان‌های سازنده ترکیبات شیمیایی استفاده نمود.^{۱۵} در روش طیف‌سنجی ATR-IR (attenuated total reflectance-infrared) پرتو فرسرخ از کریستال دستگاه ATR عبور می‌نماید و به سطح نمونه در تماس با کریستال برخورد می‌کند و بازتاب می‌یابد. پرتو بازتاب‌یافته، در چندین مرحله، درون کریستال به سطح نمونه، می‌تابد و بازتاب می‌یابد. در نهایت پرتو خروجی توسط آشکارساز، آشکار می‌شود و سیگنال یا طیف خروجی توسط یک ثبت‌کننده یا چاپگر، رسم می‌گردد. سیگنال خروجی نموداری است براساس درصد عبور پرتو نسبت به عدد موجی (عکس طول موج) که حاوی اطلاعات حاصل از بنیان‌های موجود در سطح نمونه می‌باشد.^{۱۶}

در این پژوهش، برای شناسایی بنیان‌های موجود در ترکیبات سازنده لنزهای درون چشمی هیدروفیل و هیدروفوب، طیف‌سنجی در گستره طول موج ۴۰۰ تا ۴۰۰۰ نانومتر با استفاده از دستگاه

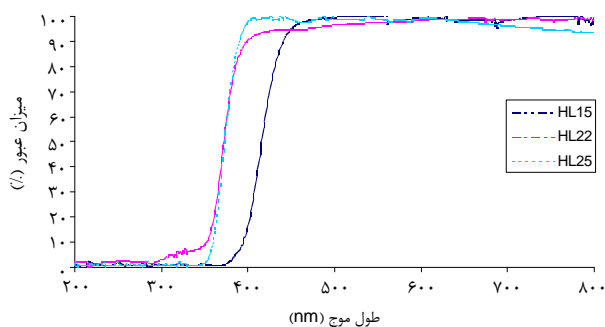
برای بررسی خواص مرتبط با عبور نور در لنزها، طیف عبور نور در محدوده طول موج ۲۰۰ تا ۸۰۰ نانومتر با سرعت ۲۵۰ نانومتر بر ثانیه، به روش طیف‌سنجی UV-VIS (UV-Visible) به دست آمد. در روش طیف‌سنجی UV-VIS، لنزها در معرض تابش پرتو فرابنفش و مرئی قرار گرفتند و نمودار خروجی، براساس میزان عبور پرتو از نمونه در طول موج‌های مختلف، حاصل گردید و از روی این نمودار، درصد عبور نور از نمونه در طیف مرئی و فرابنفش تعیین شد.

برای جلوگیری از دهیدریشن و کاهش اثرات انکساری لنزها، طیف‌سنجی در شرایط آزمایشگاهی (in vitro) و با قرارگیری نمونه‌ها در محلول نرمال سالین صورت گرفت. طیف‌سنجی UV-VIS با استفاده از دستگاه طیف‌سنجی Lambda 25 (Perkin-Elmer, USA) انجام شد. پیش از انجام هر آزمایش، یک استاندارد پایه برای کالیبریشن سیستم از سل پرشده با سالین تهیه شد.

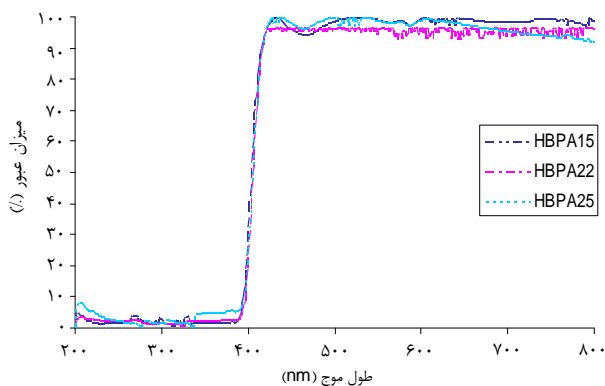
متداول‌ترین روش شناسایی مواد، آنالیز ترکیبی آنهاست. روش‌های گوناگونی برای شناسایی ترکیب مواد وجود دارند که در میان آنها روش‌های مبتنی بر طیف‌سنجی پرتو فرسرخ از پرکاربردترین روش‌های موجود است. اساس این روش، جذب

مربوط به طیف ATR لنز درون چشمی هیدروفیل است؛ نوارهای پهن OH در عدد موجی ۳۳۹۲ ظاهر شده‌اند.

بیک مشاهده شده در عدد موج ۲۹۵۲ مربوط به ارتعاش‌های کششی متقارن و نامتقارن CH_2 و CH_3 است. ارتعاش کششی $\text{C}=\text{O}$ گروه‌های آکریلی در عدد موجی ۱۷۰۸ و ارتعاش کششی گروه $\text{C}(\text{=O})\text{O}$ در عدد موجی ۱۲۴۸ ظاهر شده است. در نمودار (۴-ب) طیف ATR لنز درون چشمی هیدروفوب انعطاف‌پذیر حاوی گروه‌های فنیل رسم شده است. ارتعاش کششی متیل گروه آروماتیک در عدد موجی ۲۹۵۹ دیده می‌شود. نمودار (۴-ج) طیف ATR لنز درون چشمی هیدروفوبیک غیرقابل انعطاف را نشان می‌دهد. ارتعاش کششی $\text{C}=\text{O}$ گروه‌های آکریلی در عدد موجی ۱۷۲۴ نمایان شده است. ارتعاش کششی متقارن و نامتقارن CH_2 و CH_3 در اعداد موجی ۲۹۹۴ و ۲۹۵۰ و ارتعاش‌های خمشی نامتقارن CH_2 در عدد موجی ۱۴۳۴ دیده می‌شوند. ارتعاش کششی بنیان $\text{C}(\text{=O})\text{O}$ در عدد موجی ۱۲۴۰ ظاهر شده است.



HL, hydrophilic intraocular lens
نمودار ۲- طیف عبور نور از لنزهای هیدروفیل

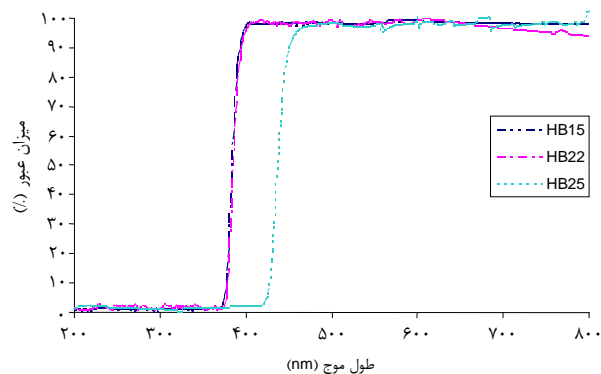


HBPA, hydrophilic non-foldable intraocular lens
نمودار ۳- طیف عبور نور از لنزهای هیدروفوب غیرقابل انعطاف

Vertex 80 (Bruker, آلمان) انجام شد. آزمایش ATR برای لنزهای هیدروفوب انعطاف‌پذیر و هیدروفوب غیرقابل انعطاف (PMMA) در حالت خشک و برای لنزهای هیدروفیل در حالت مرطوب بلافاصله پس از خروج لنز از بسته‌بندی آن انجام شد.

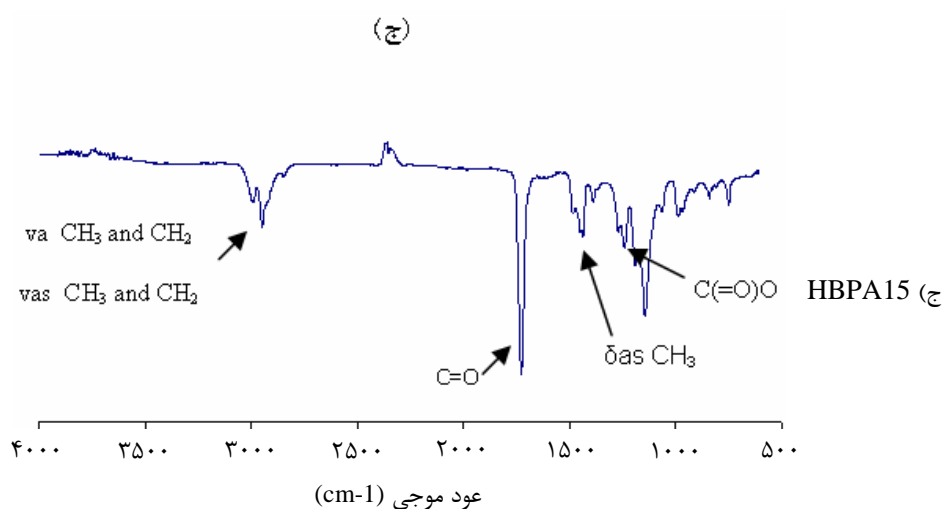
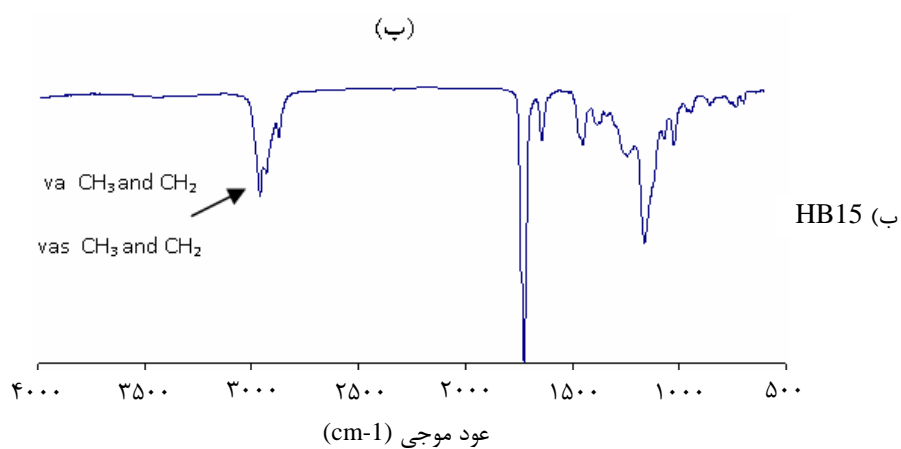
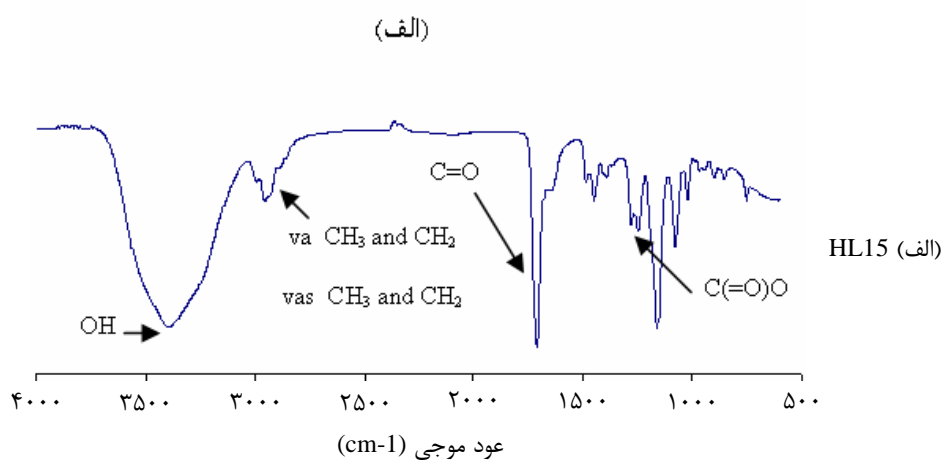
یافته‌ها

منحنی عبور نوری برای لنزهای درون چشمی هیدروفیل، هیدروفوب انعطاف‌پذیر و هیدروفوب غیرقابل انعطاف (PMMA) به ترتیب در نمودارهای ۱ تا ۳ نشان داده شده است. چنان که دیده می‌شود همه لنزهای هیدروفیل و هیدروفوب از خواص جذب پرتو فرابنفش قابل قبولی برخوردار بودند و ناحیه cut-off آن‌ها در گستره طول موج ۳۵۰-۴۲۰ nm قرار داشت. همه لنزها جذب پرتو فرابنفش را در طیف فرابنفش C (۲۸۰-۲۰۰ nm) و B (۲۸۰-۳۱۵ nm) نشان دادند. هم‌چنین لنزهای هیدروفیل و هیدروفوب انعطاف‌پذیر با عدد دیوپتر بالا (۲۵ D) و هیدروفوب غیرقابل انعطاف (PMMA) دارای خواص مطلوبی در فیلتر کردن طیف فرابنفش (۳۱۵-۴۰۰ nm) بودند. ناحیه cut-off در لنزهای هیدروفوب انعطاف‌پذیر با دیوپترهای ۱۵ و ۲۲ در طول موج ۳۸۰ nm و در لنزهای هیدروفیل با دیوپتر ۱۵ و ۲۲ در طول موج‌های ۳۸۰ nm و ۳۵۰ nm دیده شد. میزان عبور نور در طیف مرئی برای همه لنزها، بالای ۹۰ درصد بود.



HB, hydrophobic foldable intraocular lens
نمودار ۱- طیف عبور نور از لنزهای هیدروفوب انعطاف‌پذیر

نمودار (۴) طیف ATR لنزهای درون چشمی هیدروفیل (گروه HL)، هیدروفوب انعطاف‌پذیر (گروه HB) و هیدروفوب غیرقابل انعطاف (گروه HBPA) را نشان می‌دهد. در نمودار (۴-الف) که



HL, hydrophilic intraocular lens; HB, hydrophobic foldable intraocular lens; HBPA, hydrophilic non-foldable intraocular lens
 نمودار ۴- طیف ATR (attenuated total reflectance) لنزهای درون چشمی

فنیل و ترکیب پلی متیل متاکریلات را در سه نمونه لنز هیدروفیل و هیدروفوب انعطاف پذیر و هیدروفوب غیرقابل انعطاف تایید نمود. بررسی دقیق پیک‌های جذب فرسرخ در این لنزها نشان داد که

بحث

نتایج طیف‌سنجی ATR وجود ترکیبات هیدروکسی اتیل متاکریلات، ترکیبات آکرلیکی حاوی گروه‌های

طول موج کم‌تر همراه بود اما افزایش بیش‌تر عدد دیوپتر تا ۲۵ تغییر قابل تشخیصی را در طیف به بار نیاورد. ناحیه cut-off لنزهای آکرلیکی هیدروفیل و هیدروفوب مورد مطالعه در این پژوهش با سایر نمونه‌های لنز درون چشمی آکرلیک هیدروفوب و هیدروفیل تجاری نظیر Acrysof (ساخت شرکت Alcon)، Acrygel (ساخت شرکت Ioitech)، Eyecryl (ساخت شرکت Tomey)، Acrygel (ساخت شرکت Corneal) و Yellowflex (ساخت شرکت Physiol) قابل مقایسه است و تنها با صرف نظر از اختلاف اندکی در ناحیه cut-off لنزهای Acrysof، نتایج مشابهی را نشان می‌دهند.^{۱۴،۱۷}

لنزهای درون چشمی از جنس PMMA دارای ناحیه cut-off در طول موج ۴۰۰ نانومتر بودند و تغییرات عدد دیوپتر، اثر قابل سنجشی بر آن نداشت. بررسی‌های انجام‌شده در مراجع علمی نشان داد که مشابه چنین اثری در لنزهای PMMA هیدروفوب غیرقابل انعطاف نیز دیده می‌شود.^{۱۷} نمودار عبور پرتو نور در لنزهای PMMA مطالعه ما مشابه نمودار عبور پرتو نور در لنزهای PMMA تجاری نظیر Ceeon722A و Ceeon811E (ساخت کمپانی Pharmacia) و 287 (ساخت کمپانی Ophtec) است و همه لنزها دارای ناحیه cut-off در طول موج ۴۰۰ نانومتر هستند.^۱

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج حاصل از آزمایش طیف‌سنجی ATR، لنزهای هیدروفیل از جنس هیدروکسی‌اتیل‌متاکریلات، هیدروفوب انعطاف‌پذیر از جنس کوپلیمرهای فنیل‌اتیل‌اکریلات و فنیل‌اتیل‌متاکریلات و هیدروفوب غیرقابل انعطاف از جنس پلی‌متیل‌متاکریلات (منطبق با اعلام شرکت سازنده) می‌باشند. همه لنزهای درون چشمی هیدروفیل و هیدروفوب و PMMA اثرات جذب پرتو فرابنفش خوبی دارند و ناحیه cut-off آن‌ها در محدوده طول موج ۳۵۰ تا ۴۲۰ نانومتر قرار دارد. عدد دیوپتر لنزهای آکرلیکی هیدروفیل و هیدروفوب در جابه‌جایی ناحیه cut-off موثر است و این پدیده در حال بررسی جامع‌تری می‌باشد.

لنزهای هیدروفیل از جنس هیدروکسی‌اتیل‌متاکریلات، هیدروفوب انعطاف‌پذیر از جنس کوپلیمرهای فنیل‌اتیل‌اکریلات و فنیل‌اتیل‌متاکریلات و نوع هیدروفوب غیرقابل انعطاف از جنس PMMA (منطبق با اعلام شرکت سازنده) می‌باشند.

از آن‌جا که تابش پرتوهای فرابنفش A و B منجر به آسیب بافت شبکیه می‌شود؛ جراحان تمایل به استفاده نوعی از لنزهای درون چشمی دارند که این پرتوها را تا بیش‌ترین حد ممکن حذف نمایند. اهمیت جلوگیری از ورود پرتوهای مذکور تا اندازه‌ای است که حتی استفاده از عینک‌های شیشه‌ای جذب‌کننده طیف فرابنفش A به بیماران دارای لنزهای درون چشمی توصیه می‌گردد. ماده اصلی لنز، ماده افزودنی جاذب پرتو فرابنفش و ضخامت لنز، از جمله عوامل موثر بر خواص نوری آن‌ها هستند.

نتایج آزمایش طیف‌سنجی، عبور پرتو فرابنفش A را در برخی از لنزهای هیدروفیل و هیدروفوب بیش‌تر از ۱۰ درصد نشان داد. بررسی یافته‌های مربوط به خواص نوری لنزهای هیدروفوب انعطاف‌پذیر (گروه HB) نشان داد که با افزایش عدد دیوپتر از ۱۵ به ۲۲، ناحیه cut-off تغییر قابل توجهی نکرد. در حالی که افزایش بیش‌تر آن تا عدد دیوپتر ۲۵، انتقال این ناحیه به طول‌موج‌های بالاتر را به همراه داشت که موجب می‌گردد پرتوهای فرابنفش بیش‌تری جذب شوند. افزایش جذب پرتوهای کم‌انرژی‌تر در طول موج‌های مساوی یا کم‌تر از ناحیه cut-off با افزایش عدد دیوپتر را می‌توان به تداخل منفی امواج پراکنده‌شده در حجم بیش‌تر ماده (لنز) نسبت داد. بدیهی است که پرتوهای کم‌انرژی نمی‌توانند به راحتی از دیواره لنزها عبور نمایند درحالی که انرژی پرتوهای فرابنفش C و B آن‌قدر زیاد است که با افزایش عدد دیوپتر و ضخامت لنز در محدوده مورد مطالعه، تاثیر قابل سنجشی بر شدت پرتوهای عبوری ندارند.

بررسی طیف جذب نور در عدد دیوپترهای مختلف در نمونه‌های هیدروفیل، نتایج مشابه با نمونه‌های هیدروفوب انعطاف‌پذیر (گروه HB) را نشان نداد. در این گروه، افزایش دیوپتر تا ۲۲ با کاهش طول‌موج جذب و انتقال ناحیه Cut-off به مقادیر

منابع

1. Laube T, Apel H, Koch HR. Ultraviolet radiation absorption of intraocular lenses. *Ophthalmology* 2004;111:880-885.
2. Brockmann C, Schulz M, Laube T. Transmittance characteristics of ultraviolet and blue-light-filtering intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg* 2008;34:1161-1166.
3. Harris MG, Chin'S RS, Lee DS, Tarot MH, Dobkins CE. Ultraviolet transmittance of the vistakon disposable contact lenses. *Cont Lens Anterior Eye* 2000;23:10-15.
4. Mainster MA. Intraocular lenses should block UV radiation and violet but not blue light. *Arch Ophthalmol* 2005;123:550-554.
5. Quinn MH, Faubl H. Accelerated photostability testing of precision UV™ Contact Lenses. *Int Contact Lens Clin* 1999;26:56-65.

6. Lin KK, Lin YC, Lee JSH, Chao AN, Chen HSHL. Spectral transmission characteristics of spectacle contact, and intraocular lenses. *Ann Ophthalmol* 2002;34:206-215.
7. Pratt CM, Barton S, McGonigle E, Kishi M, Foot PJS. The effect of ionising radiation on poly(methyl methacrylate) used in intraocular lenses. *Polym Degrad Stabil* 2006;91:2315-2317.
8. Ramani R, Parihar JKS, Ranganathaiah C, Awasthi P, Alam S, Mathur GN. Free volume study on calcification process in an intraocular lens after cataract surgery. *J Biomed Mater Res Part B: Appl Biomater* 2005;75B:221-227.
9. Saika S. Relationship between posterior capsule opacification and intraocular lens biocompatibility. *Retin Eye Res* 2004;23:283-305.
10. Abela-Formanek C, Almon M, Schild G, Schauersberger J, Heinze G, Kruger A. Uveal and capsular biocompatibility of hydrophilic acrylic, hydrophobic acrylic, and silicone intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg* 2002;28:50-61.
11. Pitts DG. Ultraviolet-absorbing spectacle lenses, contact lenses, and intraocular lenses. *Optom Vis Sci* 1990;67:435-440.
12. Park JB, Lakes RC. *Biomaterials: an introduction*. 2nd ed: New York: Plenum Publishing Corporation; 1992.
13. ISO 11979-2: Ophthalmic implants. Intraocular lenses: Optical properties and test methods.
14. Guidance on 510(k) submission for keratoprosthesis, March 3, 1999.
15. Christian GD, O'Reilly JE. *Instrumental Analysis*. 2nd ed. Boston: Allyn and Bacon; 1986.
16. Chalmers JM, Griffiths PR, eds. *Handbook of Vibrational Spectroscopy: Theory and Instrumentation*. UK: John Wiley; 2002.
17. Ernest PH. Light transmission spectrum comparison of foldable intraocular lens. *J Cataract Refract Surg* 2004;30:1755-1758.