

The IOL Technis-z9000 Decentration Effect on Optical Quality of the Eye Using Mathematical Modeling

Asgari A, MSc¹; Keshavarzi K, PhD²; Parach AA, PhD^{1*}

¹ Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran; ² Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

* Corresponding Author: aliparach@ssu.ac.ir

Purpose: To assess the optical effect of the technis-z9000 IOL decentration by Lio-Brennan mathematic-optical eye model.

Methods: The phantom with real eye parameters (Lio-Brennas) was used for IOL Technis-z9000 modeling with Zemax code. Modulation Transfer Function (MTF) and MTF Contrast that represent the ratio of the image data to total object data in optical system were used for analysis.

Results: A 0 to 0.2-mm decentration of IOL on +X direction showed good contrast and MTF but, MTF and Contrast reduced continuously with decentration ≥ 0.4 mm. Increasing the IOL decentration on -X resulted in a reduction of MTF and Contrast, so that decentration ≥ -0.4 mm led to a significant reduction in MTF and Contrast. IOL decentration on $\pm Y$ demonstrated a symmetrical reduction in MTF and Contrast in two directions.

Conclusion: Decentration of the Technis-z9000 IOL led to degradation of the visual quality in both X and Y directions. This effect was remarkable when decentration was more than 0.4 mm.

Keywords: Decentration, Modeling, Visual Quality

• Bina J Ophthalmol 2014; 19 (3): 242-248.

Received: 3 June 2013

Accepted: September 2013

اثر جابه‌جا شدن لنزهای داخل چشمی Technis-z9000 در کیفیت اپتیکی بینایی چشم با استفاده از مدل شبیه‌سازی

اعظم عسگری^۱، دکتر کیخسرو کشاورزی^۲ و دکتر علی اصغر پرچ^{۱*}

هدف: بررسی اپتیکی اثر جابه‌جا شدن لنزهای داخل چشمی Technis-Z9000 در جراحی آب‌مرورید به روش شبیه‌سازی با استفاده از مدل ریاضی- اپتیکی لیو- برنان.

روش پژوهش: برای این کار از یک فانوم دارای پارامترهای یک چشم واقعی برای شبیه‌سازی لنز Technis-z9000 در کد zemax با مدل لیو-برنان استفاده شد. تابع انتقال مدولاسیون (MTF, Modulation Transfer Function) و کنتراست MTF در سیستم اپتیکی نمایانگر نسبت اطلاعات بین تصویر (دید فرد) بر میزان کل اطلاعات شی می‌باشد.

یافته‌ها: جابه‌جا شدن لنز داخل چشمی در جهت +X نشان داد که در ۰ تا ۰/۲ میلی‌متر، MTF و کنتراست خوبی دارد ولی در ۰/۴ میلی‌متر و بیش‌تر از آن، MTF و کنتراست به طور پیوسته کاهش می‌یابد. افزایش جابه‌جا شدن لنز داخل چشمی در جهت -X به طور مرتب کاهش MTF و کنتراست را در پی داشت؛ به طوری که جابه‌جا شدن بیش از ۰/۴ میلی‌متر با افت موثر MTF و کنتراست همراه بود. جابه‌جا شدن لنز داخل چشمی در جهت $\pm Y$ نیز نشان داد که در هر دو جهت، MTF و میزان کنتراست به طور متقارن کاهش می‌یابند.

نتیجه‌گیری: جابه‌جا شدن لنز داخل چشمی Technis-z9000 در هر دو جهت افقی و عمودی باعث افت کیفیت بینایی فرد می‌شوند. این اثر در موارد جابه‌جا شدن بیش از ۰/۴ میلی‌متر قابل توجه می‌گردد و دید فرد را به شدت کاهش می‌دهد که به کارگیری روش‌های جبرانی برای بهبود بینایی فرد را ضروری می‌نماید.

• مجله چشم‌پزشکی بینا ۱۳۹۳؛ دوره ۱۹، شماره ۳: ۲۴۲-۲۴۸.

• پاسخ گو: دکتر علی اصغر پرچ (e-mail: aliparach@ssu.ac.ir)

۱- کارشناسی ارشد (مربی) فیزیک پزشکی- دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد

۲- استادیار- دکترای فیزیک پزشکی- دانشگاه علوم پزشکی تهران

۳- استادیار- دکترای فیزیک پزشکی- دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد

✉ یزد-دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد-دانشکده پزشکی- گروه فیزیک پزشکی

دریافت مقاله: ۹ تیر ۱۳۹۲

تایید مقاله: ۱۷ شهریور ۱۳۹۲

فرکانس‌های فضایی یک سیستم اپتیکی است و در واقع، نسبت کنتراست تصویر به کنتراست شی می‌باشد. بنابراین بهبود در MTF به معنی بهبود کنتراست تصویر است. میزانی از جابه‌جا شدن IOL که تاثیر قابل توجهی در کیفیت دید فرد نمی‌گذارند نیز تعیین گردید.

روش پژوهش

نرم افزارهای متنوعی در زمینه اپتیک وجود دارند که هر یک قابلیت‌ها و عملکرد خاصی دارد. در این پژوهش، برای شبیه‌سازی عملکرد اپتیکی چشم از نرم‌افزار Zemax استفاده شد که یک نرم‌افزار استاندارد است و به طور گسترده در طراحی‌های اپتیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. از مدل اپتیکی لیو- برنان استفاده شد که یک مدل چشمی شماتیک است و بیش‌ترین شباهت را در شرایط *In vivo* به چشم انسان دارد و قادر به پیش‌بینی عملکرد اپتیکی چشم است^{۵،۶}. لازم به یادآوری است که مردمک در نظر گرفته شده برای این مدل، قطری برابر ۲/۵ میلی‌متر دارد و در جهت X- کج و خارج از مرکز شده است. در ابتدا یک چشم فاکیک با الگوی مدل لیو- برنان مدل‌سازی شد. مدل لیو- برنان، کامل‌ترین مدل موجود برای چشم انسان است و می‌تواند یک چشم واقعی را با واقعیات بیولوژیکی و آناتومیکی توصیف کند. سپس یک چشم سودوفاکیک بر اساس این مدل شبیه‌سازی شد. داده‌های استفاده شده برای شبیه‌سازی چشم فاکیک در جدول (۱) آورده شده‌اند.

برای کارگذاری مدل چشم با IOL، ژئومتری سطح قدامی و خلفی IOL (Tecnis- Z9000) که توسط تولیدکننده ارائه شده بود به عنوان سطح استاندارد مخروطی (Conic) با ضریب شکست مشخص در چشم مدل گردید^{۷،۸}. در مرحله بعد، جابه‌جا شدن (جابه‌جا شدن مرکز IOL نسبت به مرکز مردمک) در جهت‌های افقی و عمودی بر روی IOL در مدل مورد نظر اعمال شد. محدوده جابه‌جا شدن براساس یافته‌های مطالعات متعددی بوده که از بیماران مختلف در مقالات گزارش شده بودند (جابه‌جا شدن IOL با توجه به محور مردمک در چشم اعمال شد).

مقدمه

امروزه کارگذاری لنز داخل چشمی (IOL) روشی استاندارد برای بازتوانی بینایی بعد از جراحی آب‌مرورید شده است و بیماران بسیاری از آن سود می‌برند. در میان پیش‌رفت‌های قابل توجهه، عوارض متعددی مربوط به تکنیک جراحی و طراحی IOL وجود دارند^{۱،۲}. لنزهای داخل چشمی ممکن است که اعوجاج‌هایی را بعد از عمل جراحی به وجود آورند که نتیجه جابه‌جا شدن آن‌ها در هنگام کارگذاری در چشم یا بعد از عمل جراحی هستند. البته آهنگ و وسعت عوارض با بهبود طراحی IOL و روش جراحی کاهش یافته است؛ با این وجود، مطالعات مختلف، جابه‌جا شدن IOL را هم‌چنان گزارش می‌کنند.

Altmann و همکاران^۳ در ۲۰۰۷ جابه‌جا شدن IOL را روی سه نوع مختلف از لنزهای داخل چشمی اعمال کردند و دریافتند که در لنزهای رایج با سطوح کروی، جابه‌جا شدن سبب دیفوکوس، آستیگماتیسم و کما می‌گردد و میزان خطاها وابسته به میزان خطای کروی ذاتی است. Baumeister و همکاران در ۲۰۰۹ کج شدن و جابه‌جا شدن لنزهای داخل چشمی غیرکروی (aspheric) و کروی (Spheric) را بررسی نمودند و نشان دادند که تاثیر کج شدن و جابه‌جا شدن حتا برای لنزهای داخل چشمی غیرکروی نیز بسیار مهم است^۴. در نتیجه، تعیین مقدار جابه‌جا شدن IOL و تاثیر آن بر کیفیت دید و میزان بینایی هر فرد بسیار اهمیت دارد. از این رو، در این پژوهش سعی شد که مقادیر مختلف جابه‌جا شدن IOL غیرکروی از نوع Tecnis Z9000 (دارای تاییدیه از سازمان غذا و داروی ایالات متحده و دارای کاربرد وسیع^۵) را توسط کد Zemax و با استفاده از یک مدل مناسب چشمی که بتواند چشم واقعی را بهتر نمایش دهد شبیه‌سازی کنیم. در پایان هر شبیه‌سازی، با استفاده از آنالیزهای مورد استفاده در این کد، اثرات منفی و میزان اثر منفی در کیفیت بینایی فرد بر حسب مقادیر مختلف جابه‌جا شدن IOL، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. یکی از مهم‌ترین آنالیزهای مورد استفاده در این تحقیق برای بررسی کیفیت تصویر، آنالیز MTF یا تابع انتقال مدولاسیون (modulation transfer function) است که بیانگر چگونگی انتقال

یافته‌ها

نتایج مربوط به جابه‌جا شدن لنز داخل چشمی TecnisZ9000 در جهت +X

اثر جابه‌جا شدن IOL در جهت +X (نازال) بر کیفیت اپتیکی، با رسم MTF در نمودار (۱) مشاهده می‌گردد. محور عمودی، مقدار MTF سیستم اپتیکی و محور افقی فرکانس فضایی را بر حسب سیکل بر درجه برای مقادیر مختلف جابه‌جا شدن IOL نشان می‌دهد. به وضوح مشخص است که با افزایش جابه‌جا شدن IOL افت MTF شدیدتر می‌شود؛ به طوری که در ۶ سیکل بر درجه، جابه‌جا شدن ۰٫۶، ۰٫۸ و ۱ میلی‌متر، MTF کم‌تر از ۵۰ درصد را دارند. این امر گویای آن است که کیفیت بینایی در این مقادیر از جابه‌جا شدن در جهت محور +X مطلوب نیست.

نتایج مربوط به جابه‌جا شدن لنز داخل چشمی TecnisZ9000 در جهت -X

اثر جابه‌جا شدن IOL در جهت محور -X (تمپورال) بر کیفیت اپتیکی، با رسم MTF در تصویر (۲) نشان داده شده است. به وضوح مشخص است که افزایش جابه‌جا شدن IOL کاهش MTF سیستم اپتیکی را به همراه دارد ولی نه به شدت جابه‌جا شدن در جهت +X به طوری که در ۶ سیکل بر درجه، MTF برای تمامی مقادیر جابه‌جا شدن (۰٫۲، ۰٫۴، ۰٫۶، ۰٫۸ و ۱ میلی‌متر) بیش‌تر از ۵۰ درصد می‌باشد؛ یعنی با وجود کاهش کیفیت بینایی، جابه‌جا شدن در جهت -X، نسبت به جهت +X براساس MTF مطلوب‌تر می‌باشد.

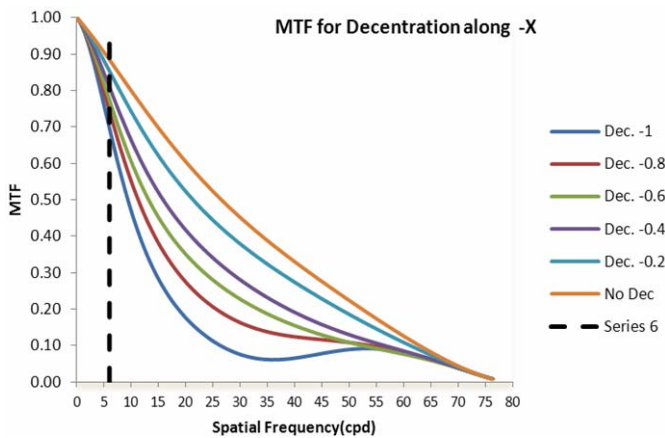
محدوده جابه‌جا شدن IOL در جهت افقی +X (نازال) و -X (تمپورال) با گام‌های ۰٫۲ میلی‌متر به ترتیب از ۰ تا ۱ میلی‌متر و از ۰ تا ۱ میلی‌متر و در جهت عمودی -Y و +Y با گام‌های ۰٫۲ میلی‌متر به ترتیب از ۰ تا ۱ و ۱+ میلی‌متر اجرا شد. اثرات جابه‌جا شدن IOL بعد از اعمال misalignment، مشاهده شد و با کمک بخش‌های مختلف کد Zemax و نرم‌افزار Excel آنالیز گردید. یکی از انواع آنالیزهای مورد استفاده در این پژوهش MTF بود که برای بیان کیفیت تصاویر حاصل از چشم سودوفاکیک مورد توجه می‌باشد. برای بررسی کیفیت تصویر، از اعمال تابع نقطه گستر (PSF, point spread function) بر روی یک تصویر مانند E بهره برده شد که با این اعمال و با توجه به تصویر خروجی، اثر مقادیر مختلف جابه‌جا شدن IOL در جهات X و Y بر کیفیت بینایی فرد مورد ارزیابی قرار گرفت.

جدول ۱- داده‌های طراحی اپتیک فاکیک LBME که برای

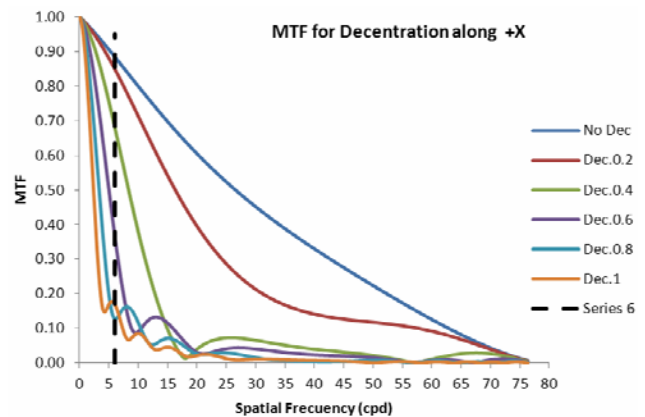
شبیه‌سازی استفاده شده‌اند

سطح	شعاع (mm)	کنتراست مخروطی ضخامت (mm)	n ($\lambda=555$ nm)
قدام قرنیه	۷٫۷۷	-۰٫۱۸	۱٫۳۷۶
خلف قرنیه	۶٫۴۰	-۰٫۶۰	۱٫۳۳۶
عنبیه	Infinity	-	۱٫۳۳۶
قدام لنز	۱۲٫۴۰	-۰٫۹۴	۱٫۳۶۸-۱٫۴۰۷
خلف لنز	Infinity	-	۱٫۴۰۷-۱٫۳۶۸
زجاجیه	-۸٫۱۰	+۰٫۹۶	۱٫۳۳۶
شبکیه	-۱۲٫۰۰	۰	

($\lambda=8$ طول موج، n ضریب شکست) LBME, Lio-Brennan Eye Model



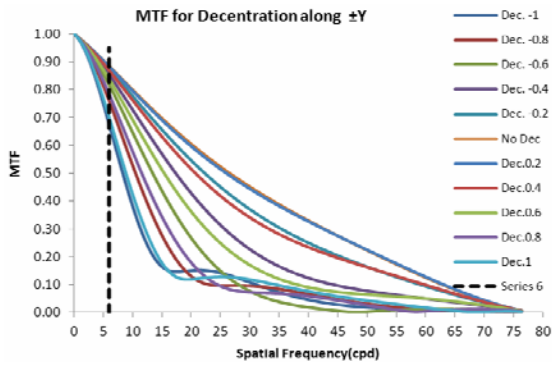
نمودار ۲- جابه‌جا شدن لنز داخل چشمی در جهت محور -X



MTF, modulation transfer function

نمودار ۱- جابه‌جا شدن لنز داخل چشمی در جهت محور +X

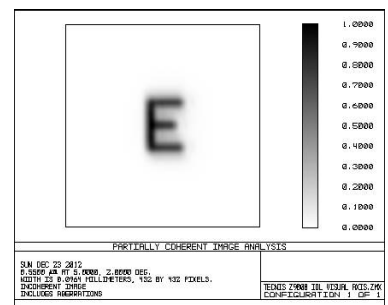
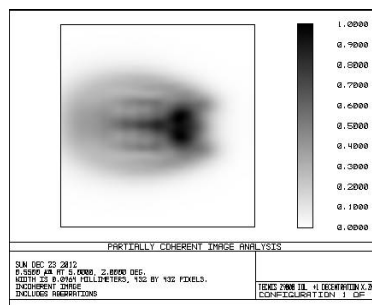
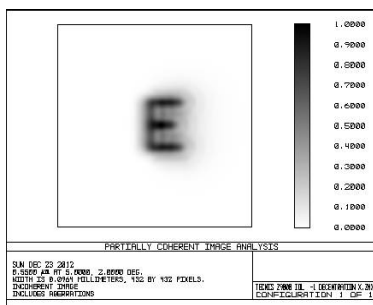
حاصل از چشم داشت. هم چنین دیده می شود که جابه جا شدن در محور X- نه به شدت جابه جا شدن در محور X+ بر روی کیفیت بینایی فرد تاثیر منفی داشته است.



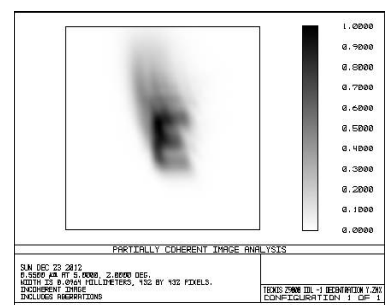
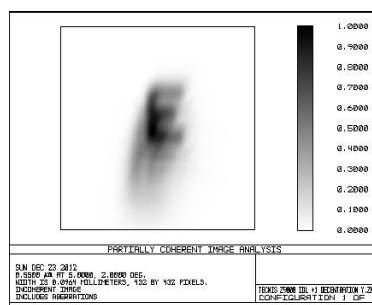
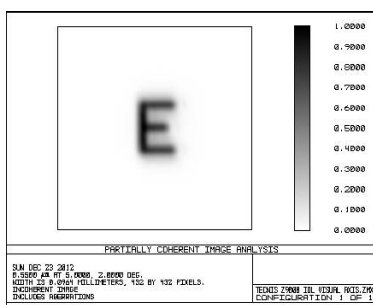
نمودار ۳- جابه جا شدن لنز داخل چشمی در جهت محور $\pm Y$

آنالیز تصویر حرف E در جابه جا شدن لنز داخل چشمی در محور $\pm Y$

در نمودار (۵) مشاهده می گردد که جابه جا شدن در محورهای مثبت و منفی Y باعث کاهش کیفیت اپتیکی تصاویر حاصل می گردد. کشیدگی و به هم ریختگی تصویر در جهت Y به وضوح قابل مشاهده است و تقریباً جابه جا شدن در جهت های مثبت و منفی Y اثر مقارنی بر تصویر بر جای گذاشته اند.



نمودار ۴- آنالیز حرف E از چپ به راست: بدون جابه جا شدن، +1 میلی متر جابه جا شدن در جهت X+ و -1 میلی متر جابه جا شدن در جهت X-



نمودار ۵- آنالیز حرف E، از چپ به راست: بدون جابه جا شدن، +1 میلی متر جابه جا شدن در جهت محور Y+ و -1 میلی متر جابه جا شدن در جهت محور Y-

نتایج مربوط به جابه جا شدن لنز داخل چشمی Tecnis Z9000 در جهت محور Y

محدوده جابه جا شدن در جهت محور Y+ (به سمت بالا) و Y- (به سمت پایین) در نمودار (۳) آمده است. MTF در محور عمودی با مقادیر مختلف جابه جا شدن بر اساس فرکانس فضایی (سیکل بر درجه) در محور افقی نمایش داده شده است. چنان که دیده می شود، تغییرات در محور Y در هر دو جهت مثبت و منفی، کم تر از محور X است؛ یعنی در محدوده جابه جا شدن اعمالی، مقادیر MTF افت کمتری نسبت به همین محدوده جابه جا شدن در محور X داشته اند. به وضوح مشخص است که با افزایش جابه جا شدن، مقادیر MTF در هر دو جهت مثبت و منفی کاهش می یابند. در ۶ سیکل بر درجه همه مقادیر MTF بالای ۵۰ درصد بودند.

آنالیز تصویر حرف E در جابه جا شدن لنز داخل چشمی در محور $\pm X$

در آنالیز تصویری با مدل چشم لیو- برنان، نتایج به دست آمده همانند نتایج حاصل از MTF بودند به طوری که با افزایش جابه جا شدن، کیفیت دید فرد کم تر می شد. نمودار (۴) آنالیز تصویر E را به نمایش می گذارد. چنان که طبق آنالیزهای فوق مورد انتظار بود، جابه جا شدن در محور X+ تاثیر بیشتری در کیفیت تصویر اپتیکی

بحث

یکی از اندازه‌گیری‌های معمول کیفیت تصویر، تابع انتقال مدولاسیون (MTF) است که توصیف چگونگی انتقال فرکانس‌های فضایی یک سیستم اپتیکی است. مطالعات نشان داده‌اند که MTF با افزایش جابه‌جا شدن لنز، به مقدار قابل توجهی افت می‌کند. از بین معیارهای مختلف برای آنالیز کیفیت تصویر، PSF و MTF معمولاً برای پیش‌بینی نتیجه یک سیستم اپتیکی استفاده می‌شوند که بسیار مفیدند^{۹-۷}. در این تحقیق، کیفیت اپتیکی با استفاده از MTF برای نور مونوکروماتیک (تک‌رنگ)، مورد بررسی قرار گرفت. MTF عبارت است از نسبت کنتراست تصویر به کنتراست شی؛ بنابراین بهبود در MTF به معنی بهبود در کنتراست تصویر است. در منحنی‌های MTF، برای کیفیت مطلوب بر اساس چشم انسان، باید عملکرد بیش از ۵۰ درصد در ۶ سیکل بر درجه داشته باشد.

بررسی نتایج آماری مربوط به جابه‌جا شدن لنز داخل چشمی Tecnis Z9000 با مدل لیو- برنان در جهت X+ نشان داد که خارج مرکزی شدن IOL به اندازه ۰ تا ۰/۲ میلی‌متر، MTF خوبی دارد ولی در موارد جابه‌جا شدن ۰/۴ میلی‌متر و بیش‌تر، MTF به طور پیوسته کاهش می‌یابد که نشانی از افت عملکرد IOL در جابه‌جا شدن بیش از ۰/۴ میلی‌متر می‌باشد. هم‌چنین در جابه‌جا شدن IOL در جهت X- دیده شد که افزایش جابه‌جا شدن IOL به طور مرتب کاهش MTF را در پی دارد؛ به طوری که جابه‌جا شدن بیش از ۰/۴ میلی‌متر در مقایسه با IOL مرکزی شده، افت MTF را به همراه دارد. دیده شد که با افزایش جابه‌جا شدن در هر دو جهت محور X- و X+ مقدار MTF کاهش می‌یابد ولی شیب این کاهش در جهت X- به وضوح کم‌تر از جهت X+ می‌باشد که این اختلاف در افت MTF در سمت منفی محور می‌تواند به علت کج و جابه‌جا شدن مدل چشم لیو- برنان باشد که در جهت منفی انجام گرفته است (مشابه چشم واقعی). چون در یک چشم واقعی محور اپتیکی با محور بینایی منطبق نیست و در مدل لیو- برنان نیز این دو محور بر هم منطبق نیستند و در جهت X- کج و جابه‌جا شده است (همانند مردمک چشم انسان که در این جهت کج و جابه‌جا می‌باشد)؛ در نتیجه می‌توان بیان کرد که بر اساس مدل مورد استفاده در این مطالعه، اثر جابه‌جا شدن IOL در محور X متقارن نیست و در جهت مثبت، اثر بیش‌تری دارد.

بررسی نتایج مربوط به جابه‌جا شدن لنز داخل چشمی Tecnis Z9000 در جهت Y± نشان داد که در هر دو جهت، MTF به طور متقارن یک سیر نزولی دارد. قابل ذکر است که در اکثر مطالعات،

بررسی جابه‌جا شدن IOL به صورت کلی بیان شده و داده‌های تفکیک‌شده بر حسب جهت مثبت یا منفی به ندرت بیان شده است. Madrid-Costa و همکاران^{۱۲} نیز در سال ۲۰۱۲ با بررسی اثر جابه‌جا شدن IOL (۰/۲ و ۰/۴ میلی‌متر) در دو نوع IOL غیرکروی نشان دادند که برای هر دو نوع IOL غیرکروی، بین وضعیت IOL بدون جابه‌جایی با هر دو نوع جابه‌جایی در کنتراست ۱۰۰ درصد تفاوت معنی‌دار وجود دارد. هم‌چنین آن‌ها نشان دادند که اثر جابه‌جا شدن IOL با افزایش فرکانس فضایی، در یک نوع IOL کم‌تر است به طوری که تفاوت آماری معنی‌داری بین وضعیت مرکزیت و ۰/۲ mm جابه‌جا شدن وجود نداشت و در نوع دیگر IOL این اثر در منحنی‌های MTF آن‌ها دیده شد. با این حال، کاهش آماری قابل توجهی در تیزبینی برای جابه‌جا شدن ۰/۴ mm در مقایسه با وضعیت مرکز کامل دیده شد. نتایج مطالعه فوق نشان می‌دهد که حتی برای انواع مختلف IOL غیرکروی نیز بسته به نوع IOL، میزان تاثیر جابه‌جا شدن آن‌ها در MTF سیستم بینایی و در نتیجه کیفیت دید فرد یکسان نیست.

از آن‌جا که یکی از مهم‌ترین مولفه‌های مورد بررسی یک سیستم اپتیکی، بررسی منحنی PSF و پهنای آن است، رفتار سیستم اپتیکی چشم در اثر جابه‌جا شدن IOL را می‌توان با توجه به پهنای منحنی PSF و اثر آن بر کیفیت تصویر E تفسیر نمود.

$$P S F_{width} = 1.22 \frac{f \lambda}{n D}$$

(λ: طول موج، f: فاصله کانونی، n: ضریب شکست و D: قطر مردمک)

نتایج مطالعه حاضر در این مورد نشان داد که افزایش هر میزان جابه‌جا شدن IOL باعث تغییر در مقدار فاصله کانونی موثر چشم می‌شود. با توجه به رابطه مربوط به پهنای منحنی PSF، از آن‌جا که سایر مولفه‌های این معادله مثل طول موج، ضریب شکست و قطر ورودی مردمک ثابت در نظر گرفته شدند؛ در نتیجه، عرض منحنی PSF بیش‌تر می‌شود. افزایش پهنای منحنی تابع پخش نقطه‌ای، نشان‌دهنده کاهش رزولوشن و کیفیت تصویر می‌باشد. نتایج مربوط به اثر افزایش پهنای منحنی PSF بر کیفیت تصویر در تصاویر مربوط به آنالیز حرف E به خوبی قابل مشاهده است. در این تصاویر، هر جا که کیفیت تصویر پایین‌تر بود و تصویر E بدتر شده بود، نشان‌دهنده تاثیر بیش‌تر جابه‌جا شدن اعمال‌شده در منحنی PSF و در نتیجه کیفیت نهایی تصویر است^{۱۰،۹}.

نتایجی که در مطالعه حاضر برای اثر جابه‌جا شدن لنز داخل چشمی بر روی مقادیر MTF و کیفیت تصویر به دست آمد مشابه

روی بیماران، مقادیر مختلفی برای جابه‌جا شدن IOL از جنس PMMA به دست آوردند. میانگین جابه‌جا شدن در آن تحقیق حدود ۰/۴ میلی‌متر (بیش‌تر در جهت نازال) بود.

مقایسه میزان تطابق منحنی‌های MTF برای مقادیر مختلف جابه‌جا شدن با منحنی مرجع بدون جابه‌جا شدن با استفاده از آزمون K-S نشان داد که جابه‌جا شدن لنز داخل چشمی در هر جهت که باشد باعث کاهش کیفیت بینایی فرد می‌شود اما میزان این کاهش در دید فرد برای مقادیر مختلف جابه‌جا شدن و جهات مختلف (X- و X+ و Y- و Y+ متفاوت است. هم‌چنین با استفاده از نتایج این تحقیق می‌توان گفت جابه‌جا شدن تا حد ۰/۲ میلی‌متر در هر جهت، تقریباً تأثیر قابل توجهی در MTF کلی چشم که نشانی از عملکرد مجموعه اپتیکی چشم است، ندارد و قابل صرف‌نظر کردن است.

در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که جابه‌جا شدن بیش از ۰/۲ میلی‌متر در لنز داخل چشمی از نوع Tecnis-Z9000 کاهش قابل توجهی در کیفیت تصویر را به همراه خواهد داشت که نیازمند ارزیابی عملکرد بینایی فرد بر اساس جابه‌جایی‌های احتمالی لنز داخل چشمی و اتخاذ روشی جبرانی برای این نوع بیماران می‌باشد. با این حال، بر اساس مطالعات گذشته، میزان کاهش MTF در مقادیر مختلف جابه‌جا شدن IOL، به شدت وابسته به طراحی منحصر به فرد لنز است و هرچه طراحی لنزها بهتر باشد حساسیت آن‌ها نسبت به جابه‌جایی نیز کم‌تر خواهد بود و بهبود دید بیش‌تری را برای بیمار پس از عمل جراحی به همراه خواهند داشت.

نتایج به دست آمده توسط pez-Gil NL و همکاران^{۱۳} در سال ۲۰۰۷ بود که اثر مقادیر مختلف کج شدن و جابه‌جا شدن را روی مدل خاصی از IOL غیرمرکزی بررسی نمودند. آن‌ها دریافتند که جابه‌جا شدن لنز داخل چشمی، عملکرد اپتیکی IOL را کاهش می‌دهد و این کاهش MTF با افزایش میزان جابه‌جا شدن لنز بیش‌تر می‌گردد. کاهش عملکرد اپتیکی در اثر جابه‌جا شدن لنز داخل چشمی به دلیل ایجاد مرتبه بالاتر اعوجاج‌های غیرمستقر، به ویژه آستیگماتیسم و کما می‌باشد. نتایج آن‌ها نیز همانند مطالعه حاضر نشان داد که تا ۰/۲ میلی‌متر جابه‌جا شدن لنز تأثیر زیادی بر میانگین MTF سیستم اپتیکی ندارد و قابل صرف‌نظر کردن است اما از ۰/۴ میلی‌متر به بعد تأثیر جابه‌جا شدن لنز افزایش می‌یابد و قابل صرف‌نظر کردن نیست. معیاری که آن‌ها برای صرف‌نظر کردن از اثر misalignment لنز داخل چشمی روی MTF در نظر گرفتند به این صورت بود که اگر میانگین MTF کم‌تر از ۱۵ درصد کاهش می‌یافت، آن اثر قابل صرف‌نظر کردن بود. هم‌چنین کاهش ۲۰ تا ۲۵ درصدی در مقدار میانگین MTF می‌تواند اثر قابل توجهی بر تیزی دید فرد داشته باشد.

Eppig و همکاران^{۱۴} نیز در ۲۰۰۹ نشان دادند که لنزهای داخل چشمی مختلف حساسیت‌های متفاوتی نسبت به کج شدن و جابه‌جا شدن دارند به طوری که برخی از لنزها در جابه‌جایی‌های زیاد نیز حساسیت بسیار کم‌تری نسبت به سایر لنزهای داخل چشمی دارند و کیفیت تصویری بهتری نیز فراهم می‌کنند. هم‌چنین de Castro و همکاران^{۱۵} نیز با مقایسه دو روش اندازه‌گیری میزان جابه‌جا شدن IOL بر روی مدل فیزیکی و نیز

منابع

1. Altmann GE, Nichamin LD, Stephen SL, et al. Optical performance of 3 intraocular lens designs in the presence of decentration. *J Cataract Refract Surg* 2005;31:574-585.
2. Baumeister M, Bühren J, Kohlen T. Tilt and decentration of spherical and aspheric intraocular lenses: Effect on higher-order aberrations. *J Cataract Refract Surg* 2009;35:1006-1012.
3. Taketani F. Reduction of IOL tilt may decrease aberrations, investigators report. *The Best of Ophthalmology EyeWorld News Magazine* 2011:1-2.
4. Jafarinasab MR, Baghi A, Karimian F, et al. Comparison of Visual Outcomes between Aspheric IOLs Tecnis Z9000 and Acrysof IQ. *Bina J Ophthalmol* 2008;13:186-191.
5. Abolmasoomi M, Keshavarzi K, Nikkhou M, et al. Study of optical models regarding the human eye. *Iranian J Med Physics* 2011;8:73-88.
6. Almeida MS, Carvalho LA. Different schematic eyes and their accuracy to the in vivo eye: a quantitative comparison study. *Braz J Physics* 2007;37(2A):378-87.
7. Bellucci R, Scialdone A, Buratto L, et al. Visual acuity and contrast sensitivity comparison between Tecnis and AcrySof SA60AT. *J Cataract Refract Surg* 2005;31:712-717.
8. Geary JM. *Introduction to Lens Design: with Practical Zemax Examples*: Willmann-Bell; 2002. 462.
9. Nowakowski M. *Study of Ocular Aberrations within a 10 deg Central Visual Field*. Ireland: Science Faculty, National University of Ireland; 2011.
10. Davison JA, Chylack LTJ. Clinical application of the lens opacities classification system III in the performance of phacoemulsification. *J Cataract Refract Surg* 2003;29:138-145.
11. Jung CK, Chung SK, Baek NH. Decentration and tilt: Silicone multifocal versus acrylic soft intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg* 2000;26:582-585.
12. Madrid-Costa D, Ruiz-Alcocer J, Perez-Vives C, et al.

- Visual simulation through different intraocular lenses using adaptive optics: effect of tilt and decentration. *J Cataract Refract Surg* 2012;38:947-958.
13. López-Gil N, Monte's-Mico' R. New intraocular lens for achromatizing the human eye. *J Cataract Refract Surg* 2007;33:1296-302.
 14. Eppig T, Scholz K, Ffler AL, et al. Effect of decentration and tilt on the image quality of aspheric intraocular lens designs in a model eye. *J Cataract Refract Surg* 2009;35:1091-1100.
 15. Castro A, Rosales P, Marcos S. Tilt and decentration of intraocular lenses in vivo from purkinje and scheinpflug imaging validation study. *J Cataract Refract Surg* 2007;33:418-429.