

همبستگی خصوصیات بیومکانیکی قرنیه با عمق ابلیشن در کراتکتومی فتورفرکتیو

محمد میرزایی: گروه چشم، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی تبریز، تبریز، ایران، نویسنده رابط:

Email: m_mir2004@yahoo.com

دریافت: ۸۹/۲/۲ پذیرش: ۹۱/۲/۱۳

چکیده

زمینه و اهداف: ارزیابی ارتباط تغییرات خصوصیات بیومکانیکی قرنیه با عمق ابلیشن در فتورفرکتیو کراتکتومی (Photo Refractive Keratectomy= PRK) برای بیماران دارای نزدیک بینی و نزدیک بینی همراه آستیگماتیسم بودند و کاندیداهای مناسب برای جراحی PRK بودند قبل از عمل **مواد و روش ها:** ۹۶ چشم که دارای نزدیک بینی و نزدیک بینی همراه آستیگماتیسم بودند و کاندیداهای مناسب برای جراحی PRK بودند قبل از عمل و سه ماه بعد از عمل توسط دستگاه ORA (Ocular Response Analyzer) از نظر CRF (Corneal Resistance Factor)، CH (Corneal Hysteresis)، IOPg (Goldman- correlated intraocular pressure) و IOPcc (Corneal- compensated IOP) مورد ارزیابی قرار گرفتند. قبل از عمل میزان عیوب انکساری و بهترین دید اصلاح شده با عینک تعیین شد، تصویربرداری با اورب اسکن ۲، Zywave و ORA جهت بررسی های قبل از عمل انجام گرفت. چشم های مناسب به روش Customized PRK تحت عمل جراحی رفراکتیو قرار گرفتند، عمق ابلیشن AD (Ablation depth) محاسبه شد. تغییرات پارامترهای بیومکانیکی قرنیه محاسبه و ارتباط بین میزان عیوب انکساری اصلاح شده با AD، ارتباط بین AD و تغییرات CH، IOPcc، CRF و IOPg ارزیابی شدند. داده ها با استفاده از نرم افزار SPSS مورد تجزیه تحلیل آماری قرار گرفتند و P کمتر از ۰/۰۵ از لحاظ آماری معنی دار در نظر گرفته شد.

یافته ها: میانگین MRSE و CCT قبل از عمل به ترتیب $4/13 \pm 1/98$ - دیوپتر و 544 ± 34 میکرون بود. میانگین AD $74/81 \pm 30$ میکرون بدست آمد. میانگین CH، CRF قبل از عمل به ترتیب $10/0 \pm 1/36$ میلی متر جیوه و $10/20 \pm 1/51$ میلی متر جیوه بود که بعد از عمل به ترتیب به $7/55 \pm 1/81$ میلی متر جیوه و $6/74 \pm 1/72$ میلی متر جیوه کاهش یافتند. این مطالعه نشان داد میزان اصلاح عیوب انکساری با میزان AD رابطه همبستگی قوی دارد، $P < 0/001$ و $R_s = 0/87$ و هر چه AD بالا باشد رابطه همبستگی مثبت با CH $P < 0/002$ و $R_s = 0/41$ و CRF $P < 0/001$ و $R_s = 0/66$ پیدا می کند.

نتیجه گیری: تغییرات CH و CRF پس از انجام Customized PRK نشان دهنده تغییرات در بیومکانیک قرنیه است و این تغییرات ارتباط و همبستگی مثبت با میزان اصلاح عیوب انکساری دارد و CRF بیشتر از CH تحت تاثیر قرار می گیرد.

کلید واژه: خصوصیات بیومکانیکی قرنیه، عمق ابلیشن، فتورفرکتیو کراتکتومی، فاکتور مقاومت قرنیه

مقدمه

حقیقت میزان viscous damping یا قدرت فنری یا ظرفیت جذب انرژی توسط قرنیه را نشان می دهد و CRF پارامتری است که مجموع قدرت فنری و مقاومت الاستیکی قرنیه را اندازه گیری می کند (۲،۱). ORA وسیله ای است که می تواند این شاخص هارا بصورت کمی، موثر و قابل تکرار در هر چشم تعیین کند،

جراحی های رفراکتیو در هر حال خصوصیات بیومکانیکی قرنیه را تغییر می دهند (۴-۱) و بنظر می رسد این تغییرات نقش مهمی در نتیجه نهائی درمان با جراحی های رفراکتیو دارند (۷-۵) دستگاه ORA (Ocular Response Analyzer) بتازگی جهت اندازه گیری کمی خصوصیات بیومکانیکی قرنیه ابداع شده است. CH در

محاسبه می شد. بیماران پس از درمان و کنترل های بعد از عمل، سه ماه بعد، از نظر خصوصیات بیومکانیکی قرنیه مجدداً مورد بررسی و تصویر برداری قرار می گرفتند. تغییرات در چهار پارامتر CH، CRF، ΔCH ، ΔCRF ، $\Delta IOP g$ ، $\Delta IOP cc$ با تفریق میزان عددی بعد از عمل هر شاخص از میزان عددی قبل از عمل آن، تعیین و با استفاده از T-test دو طرفه مورد آنالیز آماری قرار گرفتند. ضریب همبستگی تغییرات هر کدام از پارامترها با AD و میزان معادل کروی عیوب انکساری اصلاح شده Manifest Refraction Spherical Equivalent (MRSE) تعیین شد. در ضمن قبل از عمل ضریب همبستگی ضخامت مرکزی قرنیه (Central Corneal Thickness CCT) با CH و CRF نیز بررسی شد. داده های بدست آمده با استفاده از نرم افزار SPSS و روشهای آماری توصیفی، آزمون Paired-T-Test و رگرسیون خطی مورد تجزیه تحلیل آماری قرار گرفتند و P.Value کمتر از ۰/۰۵ از لحاظ آماری معنی دار در نظر گرفته شد.

یافته ها

در این مطالعه ۹۶ چشم از ۴۸ بیمار با میانگین سنی $۲۶/۹۶ \pm ۶/۰۶$ سال مورد بررسی قرار گرفتند. جدول شماره ۱ میانگین، حداقل، حداکثر و انحراف معیار تمامی پارامترهای قبل و بعد از عمل و نیز تغییرات شاخص های بیومکانیکی را نشان می دهند.

جدول ۱: پارامترهای اندازه گیری شده در چشم ها قبل و بعد PRK

پارامتر	حداقل	حداکثر	میانگین	خطای معیار
سن (سال)	۲۰	۴۷	۲۶/۹۶	۰/۸۹
Fu(M)	۳	۹	۳/۳۱	۱/۳۲
AD(μ)	۱۹	۱۷۱	۷۴/۸۱	۳/۲۰
C.C.T(μ)	۴۸۰	۶۳۹	۵۴۴/۰۹	۳/۵۰
MRSE(D)*	-۱۰/۷۵	-۰/۸۰	-۴/۱۳	۰/۲۱
Perop CH*	۱۰/۸	۲۰/۱۳	۱۰/۰۰	۰/۱۴
Perop CRF*	۰۰/۸	۱۰/۱۴	۱۰/۲۰	۰/۱۵
Perop IOPg*	۸۰/۸	۰۰/۲۱	۱۵/۷۵	۰/۳۲
Perop IOPcc*	۲۰/۱۰	۲۱	۱۶/۶۲	۰/۳۰
Postop CH*	۲۰/۵	۶۰/۱۴	۷/۵۵	۰/۱۹
Postop CRF*	۱۰/۴	۶۰/۱۱	۶/۷۴	۰/۱۷
Postop IOPg*	۰۰/۶	۶۰/۱۹	۱۱/۵۳	۰/۳۴
Postop IOPcc*	۲۰/۷	۰۰/۲۱	۱۵/۶۳	۰/۳۲
ΔCH^*	-۳/۵۰	۷۰/۵	۲/۴۵	۰/۱۵
ΔCRF^*	-۱/۶۰	۸	۳/۴۶	۰/۱۶
$\Delta IOPg^*$	-۶/۰۰	۲۰/۱۲	۲۲/۴	۰/۳۳
$\Delta IOPcc^*$	-۳/۰۰	۲۰/۶	۰/۹۹	۰/۲۶

* mmHg

همانطور در جدول نشان داده شده، میانگین CCT قبل از PRK ۵۴۴ ± ۳۴ میکرون و میانگین MRSE اصلاح شده $-۴/۱۳ \pm ۱/۹۸$ دیوپتر بود. میانگین AD، $۷۴/۸۱$ میکرون و حداقل AD، ۱۹

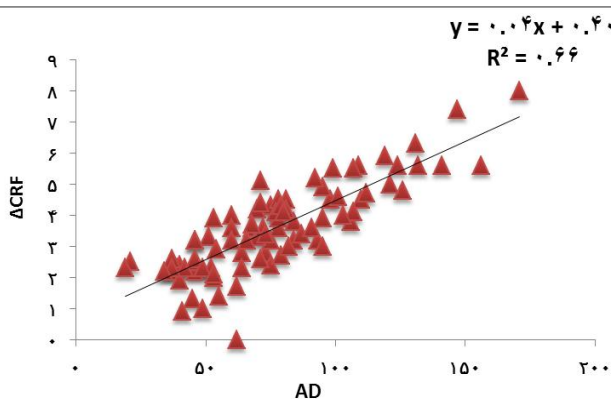
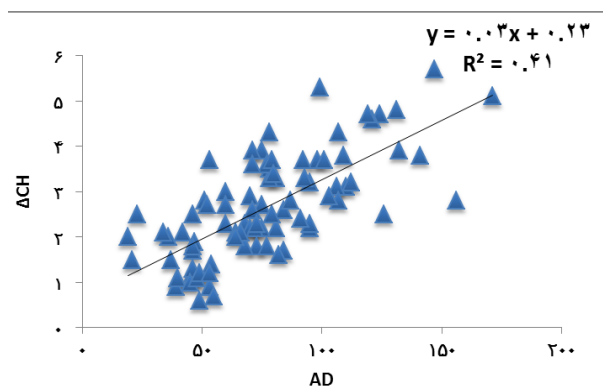
هرچند مقدار عددی CH و CRF از فردی به فرد دیگر ممکن است متفاوت باشد و نیز توسط جراحی های رفرکتیو از هرنوع آن، تحت تاثیر قرار گیرد. مطالعات قبلی که با استفاده از ORA توسط Ortiz و همکاران و نیز Chen و همکاران انجام گرفته، نشان داده است که پس از جراحی رفرکتیو بروش LASIK که در آنها تهیه فلپ قرنیه ای با استفاده از لیزر فمتوسکند و میکروکراتوم انجام گرفته هر دو شاخص بیومکانیکی قرنیه (CH و CRF) کاهش قابل ملاحظه از نظر آماری داشته است (۱۸) در حالیکه مطالعه kirwan و همکاران همبستگی ضعیفی را بین CH و عمق ابلیشن (Ablation Depth=AD) در چشم هایی که تحت عمل جراحی رفرکتیو بروش LASIK و LASEK قرار گرفته اند نشان داده است (۹).

باتوجه به اینکه تاثیرات بیومکانیکی جراحی های لیزری قرنیه در عمق های مختلف استروما با تهیه فلپ یا بدون آن کاملاً روشن نشده است لذا مطالعه حاضر جهت تعیین رابطه میزان اصلاح نزدیک بینی و نزدیک بینی همراه با آستیگماتیسم، عمق ابلیشن و پارامترهای بیومکانیکی قرنیه در جراحی لیزری بروش PRK (Photo Refractive Keratectomy) انجام گرفت که بنظر می رسد با درک این رابطه قدرت تشخیص ما برای تفکیک بیماران پرخطر برای عوارض احتمالی بعد از PRK افزایش می یابد و در نهایت به بهبود نتیجه بینائی با این روش کمک می کند.

مواد و روش ها

این مطالعه ی مقطعی در سالهای ۸۸ و ۸۹ در مرکز جراحی های رفرکتیو لیزری بیمارستان علوی روی کسانی که دارای نزدیک بینی و نزدیک بینی همراه آستیگماتیسم بودند انجام گرفت تمام بیماران قبل از عمل با معاینات کامل، کاندیدای مناسب برای جراحی لیزری تعیین شدند. شاخص های ورود به مطالعه عبارت بودند از: سن بالای ۲۰ سال، داشتن میوپی و میوپیک آستیگماتیسم و قرنیه نرمال (بدون سابقه تروما و جراحی های چشمی قبلی و بدون بیماری های زمینه ای). پس از معاینه سگمان قدامی و خلفی با اسلیت لمپ و فوندوسکوپی، میزان عیوب انکساری و بهترین دید اصلاح شده با عینک تعیین، سپس تصویر برداری با اورب اسکن ۲ و Zywave، ORA جهت بررسی های قبل از عمل قرنیه انجام گرفت و چشم های مناسب، به روش Customized PRK، با استفاده از سیستم لیزر آگرایمر Technolas 217 Z100 ساخت کارخانه Bush & Lomb تحت عمل جراحی رفرکتیو قرار گرفتند: منطقه ی اپتیکال (Optical Zone = OZ) انتخابی در چشم های مختلف باتوجه به قطر مردمک در شرایط مزوپیک و نیز محدودیت های تعیین شده توسط دستگاه از ۶/۲۵ تا ۷ میلی متر متفاوت بود. اپی تلیوم قرنیه با گذاشتن رینگ و ریختن محلول تتراکائین ۰/۰۵٪ بمدت ۱۵ تا ۲ دقیقه بصورت مکانیکی برداشته می شد. همه ی جراحی ها توسط یک نفر (مؤلف) انجام و عمق ابلیشن توسط کامپیوتر دستگاه لیزر

ما دریافتیم که بین IOPg قبل و بعد از عمل و نیز IOPcc قبل و بعد از عمل اختلاف معنی دار آماری وجود دارد ($P < 0/001$) (جدول ۲). همچنین اختلاف معنی دار آماری بین IOPg و IOPcc بعد از عمل وجود داشت (۴/۱۰ mmHg) در حالیکه این اختلاف قبل از عمل قابل ملاحظه نبود (۰/۸۸ mmHg).



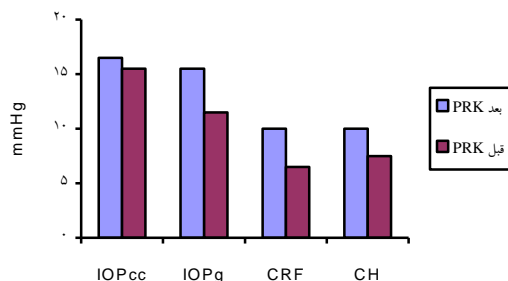
نمودار ۲: نمودار پراکنش رابطه AD با تغییرات CH و CRF
AD: عمق ابلیشن
CRF: فاکتور مقاومت قرنیه
CH: هیستریزس قرنیه

ارتباط و همبستگی ضعیفی بین میزان اصلاح MRSE و AD با IOP cc بدست آمد ($r = 0/43$ و $P = 0/05$) در حالیکه ارتباط بین میزان اصلاح MRSE و AD با IOP g بصورت متوسط مثبت بود ($r = 0/30$ و $P < 0/001$). همچنین بین CCT قبل از عمل و CH و CRF قبل از عمل رابطه و همبستگی ضعیفی وجود داشت (به ترتیب $r = 0/143$ و $P < 0/001$ و $r = 0/158$ و $P < 0/001$).

بحث

قرنیه بافت ویسکوالاستیکی است که با دو خصوصیت اصلی CH و CRF مشخص می شود (۱۱، ۱۰، ۸). بطوریکه می دانیم استرومای قدامی قرنیه کمتر آب جذب می کند و حدود ۲۵٪ از استرومای خلفی قرنیه سفت تر است (۱۳، ۱۲). لذا وقتی ابلیشن استرومای قدامی در جراحی های لیزری انجام می

حداکثر AD، ۱۷۱ میکرون بود. همچنین با توجه به جدول ۱ میانگین CH و CRF، بعد از عمل به ترتیب بمقدار $2/45 \pm 1/44$ میلی متر جیوه و $3/46 \pm 1/54$ میلی متر جیوه نسبت به قبل از عمل کاهش نشان داد که بیانگر کاهش ۲۴/۵۵ درصدی در CH و ۳۴/۰۲ درصدی در CRF می باشد (تصویر ۱).



نمودار ۱: مقایسه میانگین IOPcc و IOPg، CRF، CH قبل و بعد از PRK

CH: هیستریزس قرنیه، CRF: فاکتور مقاومت قرنیه، IOP: فشار داخل چشمی معادل گلدمن، IOPcc: فشار داخل چشمی با قرنیه جبران شده

ما در این مطالعه ارتباط مثبت، اما متفاوت بین AD، MRSE و شاخص های مختلف بیومکانیک قرنیه بدست آوردیم که در جدول ۲ ثبت شده است.

جدول ۲: رابطه بین میانگین AD، MRSE و تغییرات پارامترهای بیومکانیکی قرنیه

پارامتر	میانگین ± انحراف معیار	p	Rs
MRSE (D)	$-4/13 \pm 1/98$	$< 0/001$	۰/۸۷
ΔCH (mmHg)	$2/45 \pm 1/44$	$< 0/001$	۰/۴۱
ΔCRF (mmHg)	$3/46 \pm 1/54$	$< 0/001$	۰/۶۶
$\Delta IOPg$ (mmHg)	$4/22 \pm 3/15$	$< 0/001$	۰/۳۰
$\Delta IOPcc$ (mmHg)	$0/99 \pm 2/16$	۰/۰۵	۰/۲۷

AD: عمق ابلیشن، MRSE: معادل کروی عیب انکساری، CH: هیستریزس قرنیه، CRF: فاکتور مقاومت قرنیه، IOPg: فشار داخل چشمی معادل گلدمن، IOPcc: فشار داخل چشمی با قرنیه جبران شده، Δ : میزان تغییر

بررسی رگرسیون خطی نشان داد که اصلاح "یک دیوپتر" MRSE با جراحی رفرکتیو بروش Customized PRK منجر به افزایش ۱۵/۲ میکرونی AD و کاهش ۰/۴۸ mmHg در CH، ۰/۶۹ mmHg در CRF، ۰/۹۷ mmHg در IOPg و ۰/۲۷ mmHg در IOPcc گردید (نمودار ۲). یعنی با اصلاح یک دیوپتر عیب انکساری با این روش، CRF حدود یک و نیم برابر CH کاهش می یابد و نیز IOPg بیش از سه و نیم برابر IOPcc تحت تاثیر قرار می گیرد.

میزان اصلاح MRSE و Δ CRF، میزان AD و Δ CH و میزان AD و Δ CRF نشان داد (جدول ۲) و نشان داد که هرچه میزان اصلاح MRSE بالا باشد به همان میزان AD بالا خواهد رفت ($r=0/87$). و هر چه AD بیشتر باشد به همان میزان بیومکانیک قرنیه را بیشتر تحت تاثیر قرار خواهد داد (۲۵،۹۸،۱) این در حالی است که Kirwan و همکاران همبستگی ضعیفی را بین AD و تغییر CH بعد از عمل گزارش کردند (۹). در مطالعه ما تغییر CRF بعد از عمل بیشتر از تغییر CH بود (۳/۴۵ در مقابل ۲/۴۵ mmHg) لذا بررسی ما تایید کرد که در PRK میوپیک، CRF خیلی بیشتر از CH تحت تاثیر قرار می گیرد.

- دستگاه ORA, IOP cc را هم اندازه گیری می کند که از لحاظ نظری در واقع IOP را مستقل از تاثیر ضخامت قرنیه اندازه گیری می نماید و ممکن است برای ارزیابی IOP واقعی پس از جراحی های لیزری کمک کننده تر باشد. در مطالعه ما اختلاف معنی دار آماری بین IOP g قبل از عمل و IOP cc قبل از عمل وجود نداشت (۱۵/۷۵ mmHg در مقابل ۱۶/۶۳ mmHg) در حالیکه میزان کاهش این دو پارامتر بعد از عمل متفاوت بود یعنی کاهش IOP cc خیلی کمتر از IOP g بود (۰/۹۹ در مقابل ۴/۲۲ mmHg) و این مسئله در جهت تایید مطالعه Ortiz و همکاران، Peopse و همکاران و Chen و همکاران بود (۱،۸،۲۶). لذا به نظر می رسد که IOP cc یک پارامتر قابل اعتمادتری نسبت به IOP g پس از Customized PRK می باشد.

نتیجه گیری

در نهایت چنین نتیجه گیری می شود که خصوصیات بیومکانیکی قرنیه با CH و CRF مشخص می شود و این دو اندیکاتورهای جدید برای ارزیابی قرنیه هستند و مطالعه ما تایید کرد که پس از PRK میوپیک میزان CH و CRF در مقایسه با قرنیه های نرمال کاهش نشان می دهد ولی میزان کاهش در CRF بیشتر از CH می باشد و هرچه میزان اصلاح عیوب انکساری میوپیک بیشتر باشد میزان AD بیشتر خواهد شد و خصوصیات بیومکانیکی قرنیه را بیشتر تحت تاثیر قرار خواهد داد و همچنین IOPcc پارامتر قابل اعتمادتری نسبت به IOPg برای کنترل فشار داخل چشمی به ویژه در کسانی که تحت جراحی های کراتورفرکتیو قرار گرفته اند، می باشد.

گیرد نه تنها قسمت مرکزی قرنیه فلت می شود بلکه وقتی فیبرهای مرکزی در اثر لیزر قطع می شوند قسمت های محیطی فیبرهای قطع شده شل می شوند و فشار تورمی آنها تغییر می یابد و آب زیادی جذب می کند (۱۶-۱۴). احتمالاً این تاثیرات بیومکانیکی هر چه میزان ابلیشن بیشتر باشد و فیبرها، کلاژنها و بافت بیشتری برداشته شود منجر به شل شدن هرچه بیشتر باندهای محیطی قرنیه خواهد شد و ممکن است همین امر باعث تحریک، هیروپی و اسفیریکال ابریشن پس از جراحی کراتورفرکتیو گردد. این یافته ها نشان می دهد که فتو ابلیشن قسمت قدامی و مرکزی قرنیه ممکن است تاثیر پایداری در بیومکانیک قرنیه داشته باشد و این مسئله تلاش ها را برای تکامل تجهیزات و روشهائی که بتواند خصوصیات استرکچرال و بیومکانیکال قرنیه را بصورت In vivo اندازه گیری نماید روزافزون می کند (۱۹-۱۷).

باتوجه به موضوع مهم فوق ما در این مطالعه خصوصیات بیومکانیکی قرنیه را قبل و سه ماه بعد از Customized PRK با استفاده از دستگاه ORA مورد بررسی و ارزیابی قرار دادیم و در این ارزیابی به این مسئله توجه داشتیم که به استناد مطالعات قبلی CH در طول روز نسبتاً ثابت باقی می ماند (۲۰، ۲۱) و گزارش Kirwan نشان داده است که همبستگی مثبتی بین افزایش سن و CH وجود ندارد (۲۲).

در مطالعه ما هم CH و هم CRF بعد از عمل کاهش چشمگیری در تمام چشم ها داشتند و این امر نشان می دهد که ابلیشن، ظرفیت جذب انرژی قرنیه را کاهش می دهد و این یافته ها در تایید مطالعات Kirwan و O'Keefe، Durric و همکاران و Hamilton و همکاران، می باشد که آنها در مطالعات آینده نگر نشان دادند که فرمهای مختلف جراحی های رفرکتیو لیزری مثل LASIK, LASEK, PRK و LASIK با فلپ نازک همگی خصوصیات بیومکانیکی قرنیه را بمقدار مشابهی تحت تاثیر قرار میدهند (۲۳، ۲۴) مطالعه حاضر نشان داد که ارتباط و همبستگی ضعیفی بین CCT قبل از عمل و CH وجود دارد ($r=0/143$) در حالیکه Kirwan و همکاران و Shah و همکاران دریافته های مشابهی نشان دادند که رابطه نسبتاً قوی ($r=0/6$) بین این دو پارامتر وجود دارد. ولی Chen و همکاران ضریب همبستگی این دو پارامتر را متوسط ($r=0/37$) گزارش کردند. همسو با گزارشات قبلی مثل مطالعه Ortiz و همکاران و Chen و همکاران مطالعه ما نیز همبستگی مثبت نسبتاً قوی بین میزان اصلاح Δ CH و MRSE

Reference

- Chen MC, Lee N, Bourla N, Hamilton DR, Corneal biomechanical measurements before and after laser in situ keratomileusis. *J Cataract Refract Surg* 2008; **34**: 1886-1891.
- Luce DA. Determining in vivo biomechanical properties of the cornea with an ocular response analyzer. *J Cataract Refract Surg* 2005; **31**: 156-162.
- Dupps WJ, Wilson SE. Biomechanics and wound healing in the cornea. *Exp Eye Res* 2006; **83**: 709-720
- Schmack I, Dawson DG, Mc Carey BE, Waring GO III, Grossniklaus HE, Edelhauser HF. Cohesive tensile strength of human LASIK wounds with histologic, ultra structural, and clinical correlations. *J Refract Surg* 2005; **21**: 433-445.
- Guirao A. Theoretical elastic response of the cornea to refractive surgery: risk factors for keratectasia. *J Refract Surg* 2005; **21**: 176-185.
- Klein SR, Epstein RJ, Randleman JB, Stulting RD.

- Corneal ectasia after laser in situ keratomileusis in patients without apparent preoperative risk factors. *Cornea* 2006; **25**: 388-403.
7. Roberts C. Biomechanical customization: the next generation of laser refractive surgery [editorial]. *J Cataract Refract Surg* 2005; **31**: 2-5.
 8. Ortiz D, Piñero D, Shabayek MH, Arnalich-Montiel F, Alio JL. Corneal biomechanical properties in normal, post-laser in situ kerato-mileusis, and keratoconic eyes. *J Cataract Refract Surg* 2007; **33**: 1371-1375.
 9. Kirwan C, O'Keefe M. Corneal hysteresis using the Reichert ocular response analyser: findings pre- and post-LASIK and LASEK. *Acta Ophthalmol* 2008; **86**: 215-218.
 10. Luce DA. Determining in vivo biomechanical properties of the cornea with an ocular response analyzer. *J Cataract Refract Surg* 2005; **31**: 156-162.
 11. Dupps WJ Jr, Wilson SE. Biomechanics and wound healing in the cornea. *Exp Eye Res* 2006; **83**: 709-720.
 12. Qazi MA, Sanderson JP, Mahmoud AM, Yoon EY, Roberts CJ, Pepose JS. Postoperative changes in intraocular pressure and corneal biomechanical metrics, LASIK versus LASEK. *J Cataract Refract Surg* 2009; **32**: 1774-1788.
 13. Müller LJ, Peis E, Vrensen GF JM. The specific architecture of the anterior stroma accounts for maintenance of corneal curvature. *Br J Ophthalmology* 2001; **85**: 437-443.
 14. Roberts C. The cornea is not a piece of plastic [editorial]. *J Refract Surg* 2000; **16**: 407-413.
 15. Dupps WJ Jr, Roberts C. Effect of acute biomechanical changes on corneal curvature after photokeratectomy. *J Refract Surg* 2001; **17**: 658-669.
 16. Roberts CCT. Biomechanics of the cornea and wavefront-guided laser refractive surgery. *J Refract Surg* 2002; **18**: 589-592.
 17. Marcos S, Cano D, Barbero S. Increase in corneal asphericity after standard laser in situ keratomileusis for myopia is not inherent of the Munnerlyn algorithm. *J Refract Surg* 2003; **19**: 592-596.
 18. Dupps WJ Jr. Hysteresis: New mechanospeak for the ophthalmologist [editorial]. *J Cataract Refract Surg* 2007; **33**: 1499-1501.
 19. Kotecha A, what biomechanical properties of the cornea are relevant for the clinician? *Surv Ophthalmol* 2007; **52** Suppl 2: 109-114.
 20. Kida T, Liu JH, Weinreb RN. Effect of 24-hour corneal biomechanical changes on intraocular pressure measurement. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2006; **47**: 4422-4426.
 21. Laiquzzaman M, Bhojwani R, Cunliffe I. Diurnal variation of ocular hysteresis in normal subjects, relevance in clinical context. *Clin Exp Ophthalmol* 2006; **34**: 100-101.
 22. Kirwan C, O'Keefe M & Ianigan B. Corneal hysteresis and intraocular pressure measurement in children using the Reichert ocular response analyser. *Am J Ophthalmology* 2006; **142**: 990-992.
 23. Durrie DS, Slade SG, Marshall J. Wave front-guided excimer laser ablation using photorefractive keratectomy and sub-Bowman's keratomileusis: a contralateral eye study. *J Refract Surg* 2008; **24**: 77-84.
 24. Hamilton DR, Johnson RD, Lee N, Bourla N. Differences in the corneal biomechanical effects of surface ablation compared with laser in situ keratomileusis using a microkeratome or femtosecond laser. *J cataract Refract Surg* 2008; **34**: 2049-2056.
 25. Shah S, Laiquzzaman M, Cunliffe I. The use of the Reichert ocular response analyzer to establish the relationship between ocular hysteresis, corneal resistance factor and central corneal thickness in normal eyes. *Cont Lens Anterior Eye* 2006; **29**: 257-262.
 26. Pepose JS, Feigenbaum SK, Qazi MA, Sanderson JP, Roberts CJ. Changes in corneal biomechanics and intraocular pressure following LASIK using static, dynamic, and noncontact tonometry. *Am J Ophthalmology* 2007; **143**: 39-47.