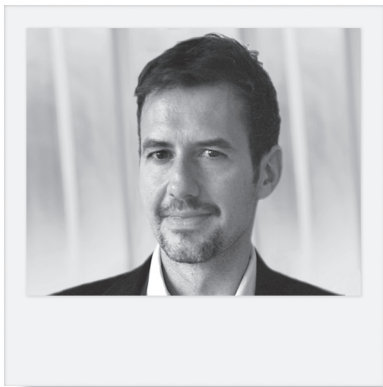


Corrections cristalliniennes des astigmatismes : les moyens récents



→ **D. GATINEL**
Fondation Rothschild, CEROC, PARIS.

L'astigmatisme oculaire résulte des effets conjugués de la cornée et du cristallin. L'astigmatisme cornéen est provoqué par une toricité excessive de la cornée. Le retrait du cristallin opacifié et son remplacement par un implant torique fournissent l'opportunité de corriger efficacement l'astigmatisme de l'œil opéré de cataracte.

Un implant de cristallin artificiel torique possède une puissance sphérique (ex. 22.5D) et une puissance cylindrique (ex. 3D). Il génère un astigmatisme dont la magnitude et le positionnement, qui dépend de l'orientation finale de l'optique vis-à-vis de la cornée, sont destinés à neutraliser la composante régulière de l'astigmatisme cornéen. La puissance nominale et le cylindre de l'implant sont calculés afin d'induire la réfraction souhaitée pour

l'œil pseudophaque. Pour la plupart des fabricants, la puissance nominale de l'implant torique ne correspond pas à la valeur de son équivalent sphérique, mais au pouvoir optique requis en regard du méridien cornéen le plus cambré. Il faut lui ajouter celle du cylindre réfractif pour rendre l'œil emmétrope en regard des autres méridiens.

La cataracte, en particulier dans ses formes nucléaires séniles, peut être à l'origine de l'apparition, ou de l'accentuation, d'un astigmatisme oculaire. Il est, dans ce cas, interne et d'origine cristallinienne. Ce type d'astigmatisme découle des modifications de l'indice de réfraction et de la géométrie du cristallin opacifié; il est le plus souvent de direction inverse. Plus rarement, un astigmatisme oculaire d'origine interne peut être provoqué par la bascule (le *tilt*) du cristallin, si celui-ci subit une subluxation et se retrouve en position ectopique.

L'astigmatisme à neutraliser au cours de la chirurgie de la cataracte est purement cornéen, et doit être déterminé en préopératoire grâce à des mesures kératométriques et/ou topographiques. L'astigmatisme chirurgicalement induit doit également être pris en compte pour l'estimation de l'astigmatisme cornéen destiné à être corrigé par l'implant torique. Celui-ci est en effet inséré dans le sac capsulaire après le retrait du cristallin au travers d'une incision potentiellement astigmatogène.

En plus des paramètres biométriques classiques comme la longueur axiale du globe oculaire, le recueil préopéra-

toire de la kératométrie ne se limite pas à la kératométrie moyenne mais, dans le contexte, doit comporter les valeurs de puissance et d'axe des deux méridiens principaux. La saisie de ces données dans un logiciel de calcul en ligne est nécessaire pour obtenir la puissance optimale du cylindre de l'implant et l'axe selon lequel celui-ci devra être aligné (*fig. 1*).

Les subtilités de la biométrie pour l'implantation torique, ainsi que les particularités des différents implants disponibles, pourraient faire l'objet d'articles dédiés. Nous limiterons notre propos aux principes généraux de la correction de l'astigmatisme en chirurgie du cristallin, en insistant sur les aspects relatifs à l'estimation de l'astigmatisme cornéen préopératoire. Cet article n'a pas d'autre ambition que d'apporter une première information aux cliniciens qui ne seraient pas encore familiers de cette méthode de correction réfractive permise par la chirurgie de la cataracte.

Quelle magnitude d'astigmatisme cornéen faut-il corriger ?

Un astigmatisme réfractif supérieur ou égal à 1D pénalise la fonction visuelle (réduction de l'acuité visuelle non corrigée), et réduit la satisfaction postopératoire chez les patients désireux d'obtenir une indépendance à la correction optique en vision de loin après chirurgie de la cataracte avec implantation monofocale. La neutralisation de l'astigmatisme cornéen est un enjeu

MISES AU POINT INTERACTIVES

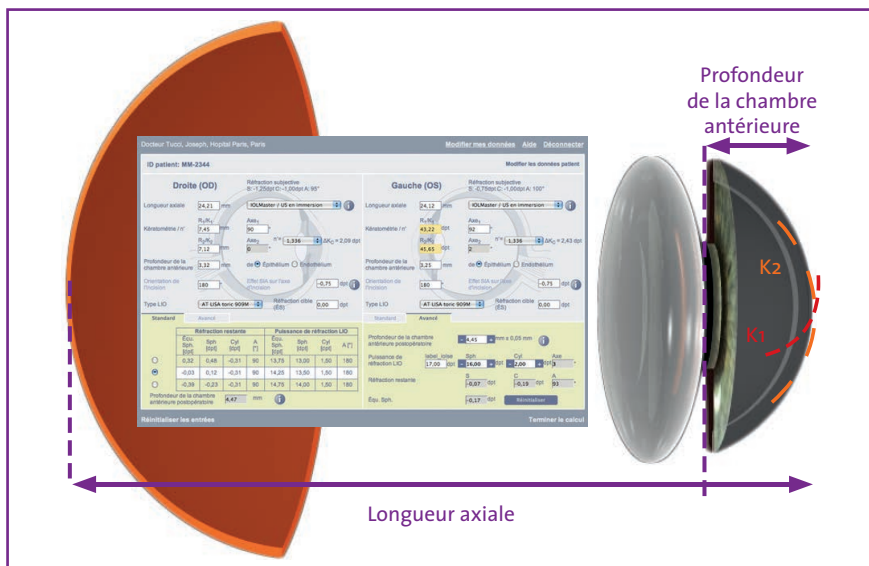


FIG. 1 : Aux paramètres classiquement saisis pour le calcul de la puissance sphérique d'un implant torique dans un logiciel de calcul en ligne (au centre), il convient de préciser les axes et valeurs de kératométrie respective des méridiens principaux du dioptré cornéen antérieur.

particulièrement important quand on envisage la pose d'implants multifocaux, qui existent en version torique. La présence d'un astigmatisme cornéen de plus de 1D concerne environ 40 % des yeux opérés de cataracte et 22 % des yeux présentant un astigmatisme cornéen au moins égal à 1.50D [1].

La pose d'un implant torique peut donc être envisagée dans une proportion non négligeable de cas, en particulier dans les yeux atteints d'astigmatisme cornéen de patients souhaitant bénéficier d'une bonne acuité visuelle non corrigée après la chirurgie. Ainsi, quand la mesure effectuée par l'autoréfractokératomètre ou le biomètre révèle un cylindre cornéen dont la magnitude excède une dioptrie, il peut s'avérer cliniquement avantageux d'utiliser un implant torique.

Comment bien mesurer l'astigmatisme cornéen ?

La magnitude de l'astigmatisme cornéen régulier et son orientation gouvernent le choix du cylindre correcteur de

l'implant torique, ainsi que l'axe selon lequel cet implant devra être orienté dans le sac capsulaire en fin d'intervention.

L'astigmatisme cornéen est couramment estimé par la kératométrie automatisée. Cette mesure repose sur l'analyse du reflet spéculaire antérieur de points répartis sur un cercle de 3 mm de diamètre centré sur le vertex cornéen et l'assomption que la cornée antérieure épouse une surface parfaitement sphéro-cylindrique, dont la courbure de chaque méridien serait constante et dont l'axe des méridiens de courbure extrême serait séparé d'un angle de 90°. La mesure fournie par les autoréfractokératomètres s'apparente ainsi à la mesure classique de kératométrie simulée, pouvant être obtenue par une simple mesure kératométrique manuelle, telle qu'effectuée avec un kératomètre de Javal. Cette valeur kératométrique ne tient compte de l'astigmatisme engendré par la face postérieure de la cornée que de manière indirecte, car elle est calculée avec un indice de réfraction kératométrique, dont la valeur est minorée vis-à-vis de l'indice de réfraction physique.

Les biomètres optiques modernes fournissent leur propre mesure de l'astigmatisme cornéen, qui est fondée sur des principes voisins de celui mis en jeu dans la kératométrie automatisée, mais avec un nombre supérieur de points de mesure (ex. 32 points sur deux cercles de 2,3 et 1,65 mm pour le biomètre Lenstar, Haag-Streit; 360 points sur deux cercles de 2,4 et 3,3 mm pour le biomètre AL-Scan, Nidek).

La présence d'une légère irrégularité de la courbure cornéenne antérieure peut réduire la précision du résultat des techniques de mesure biométrique [2]. En particulier, la précision de la kératométrie peut s'avérer insuffisante en cas d'astigmatisme induit par un kératocône, une cicatrice, ou un antécédent de chirurgie réfractive cornéenne [3]. Dans ces situations cliniques, l'attention du praticien peut être attirée par les discordances de kératométrie entre les mesures fournies par les différents instruments (auto-kératomètre vs biomètre), ou une faible symétrie entre les valeurs obtenues pour les yeux droit et gauche d'un même patient (réduction de l'énantiomorphisme qui est la propriété de symétrie en miroir qu'exhibent en général les yeux droit et gauche pour la direction de l'astigmatisme cornéen).

Au moindre doute, la réalisation d'une topographie cornéenne doit être effectuée pour appréhender de manière plus globale la nature et la magnitude de l'astigmatisme cornéen. Certains chirurgiens réalisent une topographie cornéenne de manière systématique chez les patients pour lesquels une implantation torique est envisagée.

Mesure topographique de l'astigmatisme cornéen

Pour apprécier la direction de l'astigmatisme cornéen antérieur, il faut privilégier par défaut les cartes de puissance kératométrique axiale, ou de puissance

réfractive. La concordance avec la mesure kératométrique est généralement bonne quand l'astigmatisme est régulier, et la cornée indemne d'une pathologie susceptible d'en modifier le galbe harmonieux (kératocône, dégénérescence pellucide marginale).

Quand la composante irrégulière d'un astigmatisme cornéen est prononcée, la détermination de l'axe des méridiens principaux n'est pas simple, car les deux hémiméridiens les plus cambrés ne sont généralement plus alignés. Cet aspect topographique particulier correspond à celui décrit par l'acronyme anglais SRAX. Dans ce contexte, il peut être intéressant de réaliser une carte d'analyse de Fourier ou de Zernike, qui repose sur la décomposition en harmoniques élémentaires du relief cornéen, et fournissent une méthode particulièrement élégante pour déterminer l'axe et la magnitude de la composante régulière de l'astigmatisme (fig. 2).

Ces subtilités topographiques propres à l'analyse de la topographie cornéenne antérieure ne doivent pas faire oublier que l'astigmatisme cornéen total réel résulte de l'effet conjugué des astigmatismes générés par les faces antérieure et postérieure de la cornée. En chirurgie de la cataracte, il est important de réaliser que la correction délivrée par un implant torique concerne l'astigmatisme cornéen total. Or, l'analyse kératométrique de la topographie cornéenne spéculaire ne permet pas de mesurer la réelle contribution de la face postérieure de la cornée. L'astigmatisme dit "interne" correspond classiquement aux effets conjugués de la face postérieure de la cornée et du cristallin, car il est estimé en soustrayant à l'astigmatisme oculaire l'astigmatisme généré par la surface antérieure de la cornée.

La variation de l'indice de réfraction entre le stroma et l'humeur aqueuse est de signe opposé et environ 10 fois plus

faible qu'entre l'air et le stroma. Ainsi, en cas de toricité d'axe identique entre les faces antérieure et postérieure de la cornée (propriété observée pour la plupart des astigmatismes "congénitaux" étudiés en topographie d'élévation), la toricité de la face postérieure de la cornée atténue légèrement l'astigmatisme induit par la face antérieure. La magnitude de l'astigmatisme cornéen postérieur a été estimée entre 0.18D et -0.31D [4-7]. Pour cette raison, chez le sujet indemne de cataracte et de pathologie cornéenne acquise, il existe une bonne corrélation entre l'astigmatisme cornéen antérieur et l'astigmatisme réfractif (faible astigmatisme interne d'origine cornéenne dont la magnitude moyenne n'excède pas 0.5D) [8, 9].

En cas de toricité importante (astigmatisme cornéen congénital prononcé, kératocône, greffe de cornée, antécédent de kératotomie radiaire), l'astigmatisme de la face postérieure peut devenir plus significatif, et sa prise en compte pour l'estimation de l'astigmatisme cornéen total peut s'avérer cliniquement pertinente [10]. Les topographes d'élévation fournissent par défaut une mesure disjointe des astigmatismes cornéens antérieur et postérieur; mais, pour certains, une mesure conjointe est proposée, et celle-ci fournit alors une estimation de l'astigmatisme cornéen total. Toutefois, l'utilisation d'un topographe d'élévation combinant imagerie Scheimpflug et spéculaire (Galilei) n'a pas démontré un gain très significatif pour la précision de la correction de l'astigmatisme cornéen [11].

Limitations de la correction de l'astigmatisme par les implants toriques

Une mesure fiable de l'astigmatisme cornéen ne fournit pas l'assurance d'une correction réfractive optimale en chirurgie de la cataracte avec implant torique. Plusieurs limitations,

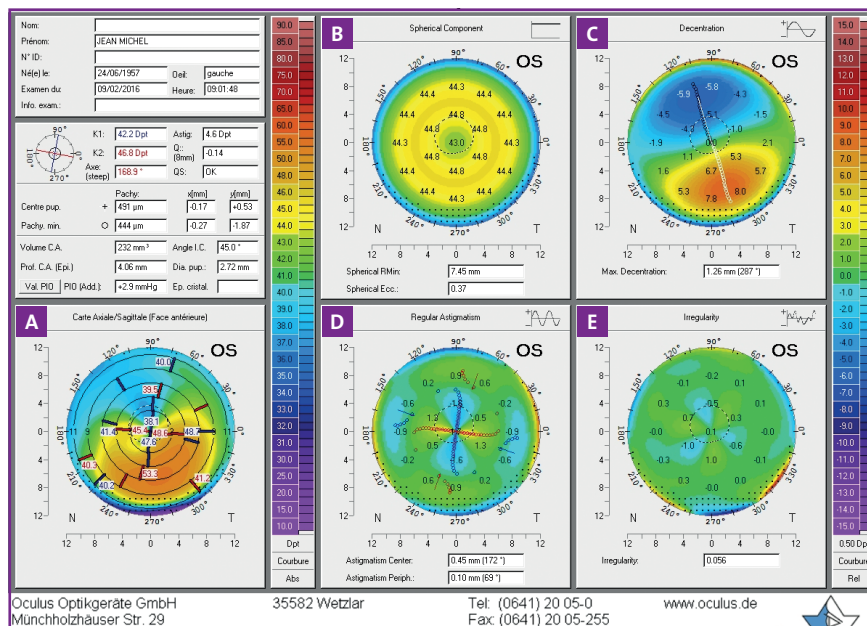


FIG. 2 : L'orientation de l'harmonique correspondant à la composante régulière de l'astigmatisme cornéen peut être choisie pour déterminer l'axe d'orientation optimale de l'implant. Elle figure dans la carte "Astigmatisme régulier" (D). La carte de topographie axiale (A) ne permet pas de repérer de manière évidente l'orientation de la composante régulière de l'astigmatisme cornéen. La carte "Spherical Component" (B) est utile pour estimer la puissance apicale de la cornée (ici proche de 43D). La déformation globale du galbe cornéen est principalement liée à une harmonique de type coma (C) et au cumul d'autres irrégularités non systématisées (E).

MISES AU POINT INTERACTIVES

de natures diverses, peuvent réduire la précision de la procédure. Ces considérations revêtent une importance variable selon que l'ambition du chirurgien est de réduire partiellement l'astigmatisme oculaire ou de l'éliminer totalement, comme dans les situations où l'implant est non seulement torique mais aussi multifocal afin d'induire une indépendance maximale à la correction optique en vision de loin et de près.

1. Limitations biométriques

Les formules de calcul biométrique reposent sur certaines assomptions, comme la position effective de l'implant dans l'œil, qui peut influencer sur la précision de la correction de la composante cylindrique de la réfraction en postopératoire. Un nombre croissant de formules et nomogrammes industriels, institutionnels ou personnels sont proposés aux chirurgiens et sont fondés sur certaines considérations empiriques et des caractéristiques biométriques et optiques, comme l'orientation de l'astigmatisme cornéen.

2. Limitations chirurgicales

Le repérage de l'axe d'alignement souhaité de l'implant sur l'œil est une procédure qui exige l'utilisation de repères anatomiques naturels (vaisseaux limbiques) ou artificiels (marquage à l'encre chirurgicale). Pour faciliter ce repérage, on peut utiliser des systèmes relativement rudimentaires et opérateur-dépendants comme un marqueur à bulle, ou plus objectifs et sophistiqués comme les systèmes d'acquisition, de reconnaissance et d'injection d'image du segment antérieur dans le microscope chirurgical (ex. systèmes Verion ou Callisto). L'utilisation d'un système de mesure aberrométrique peropératoire (ex. ORA) fournit une appréciation directe de l'astigmatisme oculaire juste avant et au décours immédiat de l'insertion d'un implant torique, mais la pré-

cision voire la pertinence des mesures peropératoires demeurent sujettes à caution dans ce contexte.

Une simple application pour smartphone peut également fournir une assistance pratique et moins onéreuse pour bien orienter un implant torique. Les capteurs photographiques récents peuvent aujourd'hui saisir une image bien résolue de repères limbiques (vaisseaux ou marques). Cette image peut être orientée grâce aux systèmes gyroscopiques dont sont équipés les smartphones pour contrer les effets de la cyclorotation oculaire entre les positions debout et allongée (applications Toreasy, Google Play/Toraxis, App Store).

Enfin, si un examen de topographie cornéenne a été réalisé, il est possible de repérer avec précision l'orientation de la cornée en position debout. La carte topographique et/ou la capture du reflet spéculaire en surimpression doivent être affichées en activant une option permettant de superposer un réticule angulaire gradué en degré. Les repères anatomiques comme les vaisseaux limbiques, les taches pigmentées que l'on peut souvent identifier sur l'image capturée ayant servi au calcul de la courbure ou au recueil de l'élévation, fournissent des repères fiables et immuables. Ils facilitent le repérage précis de la position de l'axe selon lequel l'implant torique doit être orienté.

Malgré la sophistication de certaines de ces approches, le repérage oculaire de l'axe de l'astigmatisme cornéen ne peut être garanti avec une précision absolue, en raison de phénomènes de parallaxe, de différences dans le port de tête et d'alignement du globe oculaire lors des mesures topographiques ou biométriques.

L'alignement de l'implant dans le sac capsulaire est effectué sous contrôle

visuel, et n'échappe pas à ces phénomènes de parallaxe. De plus, le maintien de la position finale de l'implant torique dans le sac capsulaire après l'intervention n'est pas toujours garanti, et une rotation de quelques degrés peut avoir des conséquences délétères et réduire l'efficacité de la correction de l'astigmatisme cornéen. Une erreur d'axe de 10° suffit pour engendrer une sous-correction de 30 % en magnitude et, au-delà de 30° , l'astigmatisme oculaire engendré par le décalage devient supérieur en magnitude à l'astigmatisme cornéen seul. Dans notre expérience, les cas de rotation secondaire d'implant torique sont plus fréquents pour les yeux forts myopes et les yeux atteints de kératocône.

Le contrôle de l'orientation effective de l'implant torique vis-à-vis des méridiens principaux peut être accompli au moyen de l'OPD-Scan III (carte Toric IOL display). (fig. 3).

3. Limitations conceptuelles

Malgré la sophistication croissante des techniques de mesure topographique et d'assistance pour l'alignement de l'implant, la correction de l'astigmatisme cornéen par une lentille torique insérée dans le sac capsulaire ne satisfait probablement pas complètement à une simple approche arithmétique. L'astigmatisme de l'implant, en effet, ne neutralise pas celui de la cornée par une simple addition de signes contraires. L'œil est un système optique dans lequel les dioptries principaux ne sont pas alignés et présentent un certain degré de *tilt* physiologique, qui peut être indirectement apprécié par la présence d'un angle kappa plus ou moins prononcé. Tandis que l'astigmatisme cornéen est mesuré vis-à-vis du vertex cornéen et que les mesures réfractives objectives sont effectuées vis-à-vis du centre pupillaire, le centrage de l'implant torique est quant à lui lié aux caractéristiques anatomiques du sac capsulaire.

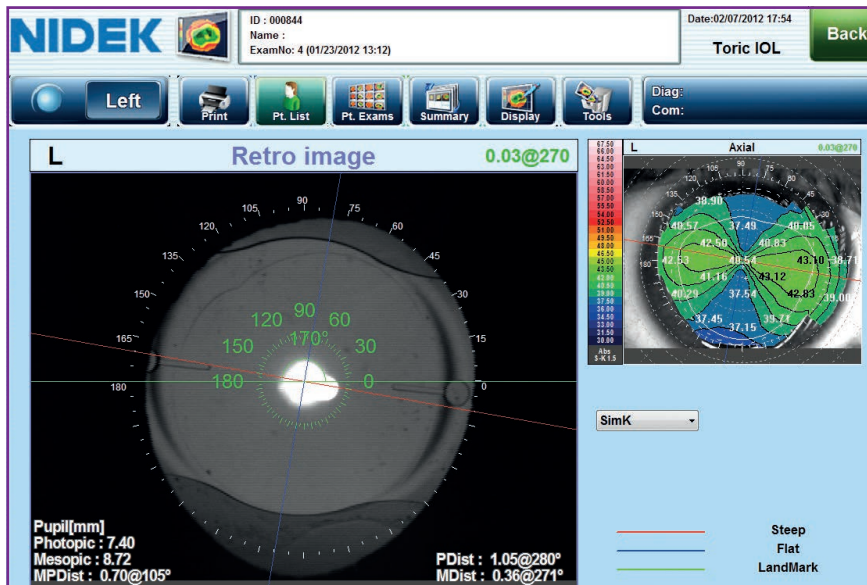


FIG. 3 : Contrôle de l'orientation de l'implant vis-à-vis de la cornée et des méridiens principaux, grâce au module Toric IOL display de l'instrument OPD-Scan III (Nidek).

Une parallaxe ou un *tilt*, *a fortiori* impliquant des surfaces toriques telles que la cornée et l'implant, sont susceptibles d'induire des effets optiques complexes incluant un certain degré d'astigmatisme régulier, dont l'axe et la magnitude sont relativement difficiles à anticiper.

Conclusion

Ces considérations ne doivent pas dissuader le chirurgien de recourir aux implants toriques pour la correction de l'astigmatisme en chirurgie de la cataracte, mais en contenir l'ambition. L'effet cumulé des limitations précé-

demment citées est lui-même relativement imprévisible, car il peut prendre la forme d'une compensation ou, au contraire, d'une majoration de l'astigmatisme oculaire total résiduel.

En pratique, l'obtention d'un astigmatisme résiduel d'une demi-dioptrie doit être considérée comme un excellent résultat réfractif, en particulier pour les astigmatismes cornéens prononcés. Le recours aux implants toriques apparaît au total comme une option de premier ordre pour la correction d'un astigmatisme cornéen de plus d'une dioptrie, dans le but d'accroître l'indépendance à la correction optique de l'œil opéré.

Bibliographie

1. FERRER-BLASCO T *et al.* Prevalence of corneal astigmatism before cataract surgery. *J Cataract Refract Surg*, 2009;35:70-75.
2. WILSON SE *et al.* Advances in the analysis of corneal topography. *Surv Ophthalmol*, 1991;35:269-277.
3. ARFFA RC *et al.* Keratometry in epikeratophakia. *J Refract Surg*, 1986;2:61-64.
4. PRISANT O *et al.* Vector summation of anterior and posterior corneal topographical astigmatism. *J Cataract Refract Surg*, 2002;28:1636-1643.
5. OSHIKA T *et al.* Regular and irregular refractive powers of the front and back surfaces of the cornea. *Exp Eye Res*, 1998;67:443-447.
6. DUNNE MCM *et al.* Posterior corneal surface toricity and total corneal astigmatism. *Optom Vis Sci*, 1991;68:708-710.
7. DUBBELMAN M *et al.* The shape of the anterior and posterior surface of the aging human cornea. *Vision Res*, 2006;46:993-1001.
8. KELLER PR *et al.* The relation between corneal and total astigmatism. *Optom Vis Sci*, 1996;73:86-91.
9. GROSVENOR T *et al.* Predicting refractive astigmatism: a suggested simplification of Javal's rule. *Am J Optom Physiol Opt*, 1988;65:292-297.
10. SCHLEGEL Z *et al.* Total, corneal, and internal ocular optical aberrations in patients with keratoconus. *J Refract Surg*, 2009;25: S951-S957.
11. KOCH DD *et al.* Correcting astigmatism with toric intraocular lenses: Effect of posterior corneal astigmatism. *J Cataract Refract Surg*, 2013;39:1803-1809.

L'auteur a déclaré ne pas avoir de conflits d'intérêts concernant les données publiées dans cet article.