



Biométrie et chirurgie réfractive cornéenne

Jean-Louis Bourges

Plusieurs facteurs contribuent à augmenter l'aléa réfractif chez des patients opérés de leur cornée, notamment des formules biométriques calculées chez des patients n'ayant jamais eu de chirurgie cornéenne... Aussi faut-il corriger la kératométrie post-cornéenne soit à partir des éléments biométriques du patient jusqu'au moment où l'indication de phakoexérèse est posée, à la condition que ces informations soient disponibles, soit en s'aidant d'autres méthodes pour limiter l'erreur biométrique prévisible : utilisation de lentilles de contact rigides, méthode « Double-K », formules de régression ou méthode corrigeant l'indice réfractif cornéen. Un arbre décisionnel simplifié illustre combien la précision du calcul d'implant intraoculaire pseudophake après chirurgie réfractive cornéenne reste un sujet délicat.

La problématique : l'attente des patients *versus* l'aléa biométrique !

L'attente réfractive des patients est importante...

Le patient opéré de chirurgie réfractive est particulièrement attentif à sa réfraction. De même qu'il a souhaité l'emmétropie (ou une amétropie donnée) au moment de sa chirurgie réfractive cornéenne, il exprime souvent des desiderata précis pour sa réfraction postopératoire de cataracte. Il attend un degré de précision élevé de sa biométrie. Il accepte souvent mal l'aléa supplémentaire engendré par sa chirurgie cornéenne antérieure. La précision biométrique, alors qu'elle est plus difficile à obtenir, est justement au centre de l'attente du patient.

...mais l'aléa réfractif augmente de façon peu prévisible

L'estimation de la longueur axiale ne présente pas de particularité pour la biométrie après chirurgie réfractive cornéenne. En revanche, les formules biométriques courantes ont été élaborées sur des cohortes de patients n'ayant jamais eu de chirurgie cornéenne. Elles sont donc inadaptées et imprécises sur les patients qui ont été opérés de leur cornée. De plus, la kératométrie est une donnée cruciale, utilisée par toutes ces formules. Utiliser une mauvaise kératométrie aurait plus d'impact sur l'erreur biométrique qu'utiliser une formule de calcul mal

adaptée. Or, après une chirurgie réfractive cornéenne par photoablation (lasik, PKR), les rapports entre les courbures cornéennes antérieures et postérieures sont modifiés, de même que la prolativité cornéenne est diminuée pour une chirurgie de la myopie et augmentée après un traitement d'hypermétropie. Il en résulte que plus la zone optique de mesure du kératomètre est large, plus la courbure cornéenne réelle est mésestimée (figure 1). Enfin, le stroma cornéen, en cicatrisant, modifie aussi son indice réfractif.

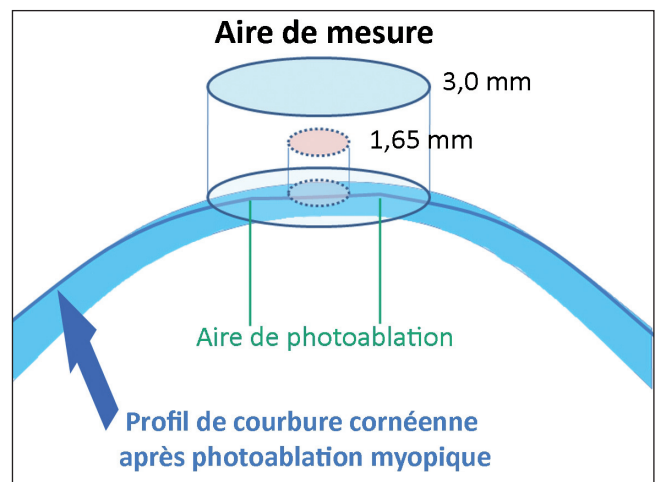


Figure 1. Les kératomètres estiment la kératométrie dans une zone optique variable. Après chirurgie réfractive myopique, une large zone d'estimation kératométrique sous-estime l'aplatissement des courbures centrales lié au profil de photoablation. Le pouvoir réfractif cornéen est surestimé, conduisant au calcul d'un implant intraoculaire de moindre puissance (hypermétropisant).

Pôle d'ophtalmologie des hôpitaux universitaires Paris Centre, Hôpital Hôtel-Dieu, Paris ; Université Paris-Descartes

Tout ceci a pour conséquence d'augmenter l'aléa réfractif de manière mal prévisible aujourd'hui. Par exemple, avec les méthodes traditionnelles de biométrie, un patient opéré de chirurgie cornéenne photoablatrice pour sa myopie se verra très probablement hypermétropisé dans des proportions pouvant être fonctionnellement handicapantes.

Comment corriger la kératométrie post-chirurgie cornéenne ?

L'idéal est de disposer des éléments biométriques utiles du patient avant qu'il ne se soit fait opérer de chirurgie réfractive et de son évolution réfractive jusqu'au moment où l'indication de phakoexérèse est posée. On peut alors utiliser l'histoire réfractive pour corriger la kératométrie moyenne (Km) [1]. C'est une méthode assez fiable. On peut aussi utiliser des formules de régression pour augmenter sa précision. Malheureusement, l'augmentation du nomadisme des patients et des médecins rend incertaine la disponibilité des données antérieures à la chirurgie cornéenne. On peut alors s'aider d'autres artifices pour limiter l'erreur biométrique prévisible.

Kératométrie issue de l'histoire réfractive (figure 2)

Il s'agit de la méthode la plus simple, lorsqu'on dispose des données pour l'appliquer. Il faut connaître la Km avant toute chirurgie cornéenne et le changement réfractif obtenu par la chirurgie réfractive cornéenne. Le principe est d'ajouter le changement réfractif obtenu à la Km ini-

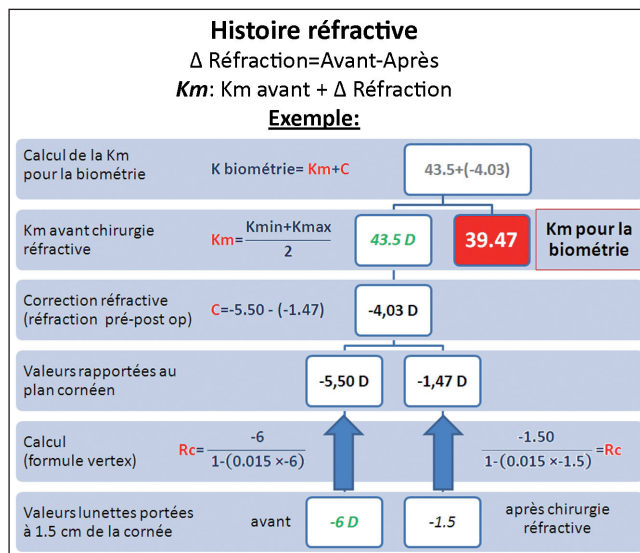


Figure 2. Histoire réfractive pour corriger la Km initiale. L'exemple montre comment corriger par l'histoire réfractive la Km initiale d'un patient opéré d'une myopie de 6 D et présentant une réfraction résiduelle en lunette de -1,5 D.

tiale pour obtenir la Km corrigée utilisable en biométrie.

D'autres formules ont été élaborées à partir des données réfractives antérieures à la chirurgie cornéenne et des mesures postopératoires en utilisant des facteurs correctifs constants (formules de régression) [2-4]. Elles augmentent la précision de la méthode utilisant l'histoire réfractive simple.

Attention cependant à quelques points spécifiques :

- le changement réfractif est estimé avant la survenue d'une myopisation d'indice liée à la cataracte. Il doit aussi être considéré au niveau de la cornée. Autrement dit, s'il s'agit d'une réfraction en lunette, donc non-contact, il faut la corriger de la distance à laquelle elle se trouve de la cornée. Le procédé est identique à celui des conversions d'une réfraction de lunette vers une réfraction en lentilles de contact. On peut ainsi s'aider de tables de conversion ou de calculateurs. Pour être plus précis, on peut utiliser directement la formule de conversion adaptée (figure 3) ;
- la Km initiale doit être exprimée en dioptries ;
- il faut enfin bien tenir compte du signe arithmétique pour la variation réfractive à ajouter. Par exemple, un patient dont la chirurgie réfractive a corrigé 5 D de myopie aura un changement réfractif de -5 D. Il faudra donc ajouter -5,00 D à sa Km initiale. La Km corrigée sera donc diminuée de 5 dioptries.

Kératométrie déduite par l'utilisation de lentilles de contact rigides

Lorsque l'on ne dispose pas de l'histoire réfractive du

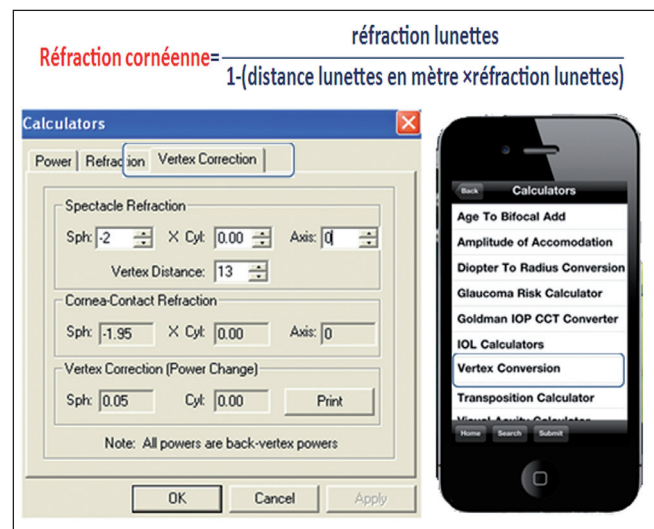


Figure 3. Calculateur utilisant la formule vertex et permettant de calculer une réfraction en fonction de la distance au vertex. Exemple de calculateur disponible sur le topographe d'élévation Orbiscan® (Bausch & Lomb) ou avec une application smartphone (Eye Handbook, UMKC).

Chirurgie

patient, il est possible de « compenser » la zone de photoablation en recréant un profil kératométrique prolate régulier par l'application d'une lentille de contact rigide (LRPG). Cette méthode est plus aléatoire que l'histoire réfractive mais reste simple et d'actualité, surtout si l'on ne possède pas de topographe.

L'effet optique de la modification de courbure centrale est atténué par le ménisque lacrymal présent entre la lentille et l'épithélium cornéen. Le rayon de la lentille de contact est adapté selon le rayon de courbure cornéen mesuré. La réfraction d'un patient reste identique avant et après la pose d'une LRPG plan lorsque la courbure cornéenne est normalement prolate. En revanche, la réfraction peut être modifiée par la simple apposition de cette lentille si le profil de courbure cornéen a été modifié chirurgicalement.

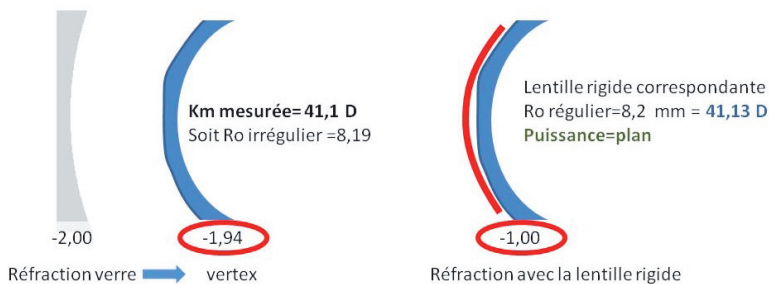
Ainsi, la kératométrie à utiliser pour le calcul biométrique serait égale à la « kératométrie » de la lentille (puissance réfractive kératométrique), à laquelle on ajoute sa puissance si elle n'est pas neutre ainsi que la différence réfractive observée chez le patient avec et sans lentille (figure 4).

L'exemple montre un myope opéré par photoablation avec une kératométrie mesurée à 41,1 D. La réfraction résiduelle en lunette est de -2,00 D, donc de -1,94 D au niveau de la cornée. Le rayon de lentille correspondant à la courbure centrale du patient est de 8,55 mm soit une puissance

$$Km \text{ biométrie} = Ro \text{ LRPG} + ES \text{ LRPG} + ES \text{ patient avec} - ES \text{ patient sans}$$

Km lentille Puissance Lentille Équivalents sphériques au plan cornéen

EXEMPLE



$$Km \text{ corrigée} = Km \text{ LRPG} + P \text{ LRPG} + \text{différence réfractive} \\ = 41,13 + 0 + (-0,94) = 40,19 \text{ D}$$

Figure 4. Méthode lentille de contact rigide (LRPG). Pour estimer la kératométrie avec une LRPG, il n'est pas nécessaire de connaître les antécédents du patient opéré. On mesure sa kératométrie. On adapte au mieux une LRPG dont on connaît le rayon (Ro). La puissance kératométrique (en dioptrie) de la lentille correspond à $0,3376/Ro$ (en mètre).

kératométrique de 39,45 D. Avec la LRPG neutre, la réfraction résiduelle n'est plus que de -1,00 D. La différence de réfraction avec et sans lentille est donc de -0,94 D. La kératométrie corrigée est donc estimée ici à $39,45 + 0 + (-0,94) = 38,51$ D.

Méthode « Double-K »

Cette méthode est probabiliste. C'est probablement la méthode la plus employée car la plus simple. Sa précision est correcte bien que modeste. Elle consiste à calculer la puissance de l'implant de manière traditionnelle avec la formule classique de son choix, mais en apportant un facteur correctif à la puissance théorique obtenue. Il est possible d'ajuster la puissance additionnelle en fonction de la formule utilisée, du type de chirurgie réfractive antécédente et de la longueur axiale du patient [5,6] (tableau I).

Tableau I. Méthode du « Double-K » [5,6]. Elle indique une puissance réfractive à ajouter au calcul d'implant proposé par les formules Hoffer-Q, Holladay-1 et SRK-T, pour les patients opérés de chirurgie réfractive cornéenne, en fonction de la correction réfractive cornéenne pratiquée et de la longueur axiale.

Correction obtenue par chirurgie réfractive (D)	Hoffer-Q						Holladay-1						SRK-T							
	Myopie						Myopie						Myopie							
	Longueur axiale (mm)						Longueur axiale (mm)						Longueur axiale (mm)							
20	22	24	26	28	30	20	22	24	26	28	30	20	22	24	26	28	30			
2	0,4	0,3	0,2	0,2	0,1	0	2	0,5	0,5	0,5	0,4	0,3	0,1	2	0,7	0,7	0,7	0,6	0,5	0,3
3	0,6	0,5	0,3	0,3	0,2	0	3	0,7	0,7	0,7	0,4	0,2	3	1	1	1,1	1	0,8	0,6	
4	0,8	0,6	0,5	0,3	0,2	0	4	0,9	1	1	0,9	0,6	0,4	4	1,3	1,4	1,4	1,3	1,1	0,8
5	1	0,8	0,6	0,4	0,3	0	5	1,2	1,2	1,3	1,2	0,8	0,5	5	1,7	1,7	1,8	1,6	1,4	1,1
6	1,2	0,9	0,7	0,5	0,4	0,1	6	1,4	1,5	1,6	1,5	1	0,7	6	2	2	2,1	2	1,7	1,4
7	1,4	1,1	0,8	0,6	0,5	0,1	7	1,6	1,7	1,8	1,7	1,2	0,9	7	2,3	2,4	2,5	2,3	2	1,7
8	1,6	1,2	1	0,7	0,6	0,2	8	1,9	2	2,1	2	1,5	1	8	2,6	2,7	2,8	2,6	2,3	2
9	1,7	1,3	1,1	0,8	0,7	0,2	9	2,1	2,2	2,4	2,3	1,7	1,2	9	2,9	3	3,2	3	2,7	2,3
10	1,9	1,5	1,2	1	0,7	0,3	10	2,4	2,5	2,7	2,6	1,9	1,4	10	3,2	3,3	3,5	3,3	3	2,6
	Hypermétropie						Hypermétropie						Hypermétropie							
	Longueur axiale (mm)						Longueur axiale (mm)						Longueur axiale (mm)							
20	22	24	26	28	30	20	22	24	26	28	30	20	22	24	26	28	30			
2	0,4	0,3	0,2	0,1	0,1	0	2	0,4	0,4	0,5	0,4	0,2	0	2	0,7	0,7	0,7	0,6	0,4	0
3	0,7	0,5	0,3	0,2	0	0	3	0,6	0,7	0,7	0,5	0,2	--	3	1,1	1,1	1,1	0,9	0,5	0
4	0,9	0,6	0,4	0,2	0	0	4	0,9	0,9	0,9	0,6	0,4	--	4	1,4	1,4	1,5	1,2	--	--
5	1,1	0,7	0,4	0,2	0	0	5	1,1	1	1	0,7	--	--	5	1,8	1,8	1,9	1,7	--	--
6	1,3	0,9	0,5	0,2	0	0	6	1,1	1,1	1,1	0,7	--	--	6	2,2	2,2	2,5	--	--	--

Formules de régression

Ces formules corrigent principalement la kératométrie des cornées opérées de chirurgie réfractive en utilisant la kératométrie topographique centrale mesurée [2,7-9]. Elles sont principalement de type : $1,1141 \times (K \text{ topo centrale}) - \text{constante}$. Elles peuvent s'utiliser en l'absence d'histoire réfractive disponible.

Méthode corrigeant l'indice réfractif cornéen

Il s'agit, là aussi, de formules de régression. Plusieurs existent. Elles prennent en compte le changement de l'indice réfractif cornéen après chirurgie réfractive afin de le corriger au mieux. Certaines nécessitent de connaître les

données réfractives antérieures à la chirurgie réfractive [9-11], d'autre pas [12]. La supériorité de chacune de ces méthodes sur les autres méthodes existantes est généralement démontrée par son auteur...

Formules et méthodes de calcul

Il est possible d'utiliser les formules de calcul habituelles lorsque la kératométrie moyenne a été corrigée correctement. S'il s'agit de la méthode la plus simple et la plus facile à mettre en application, sa prédictibilité reste imparfaite. En effet, les formules de régressions considèrent que la chambre antérieure est moins profonde si la kératométrie est plate. Elles proposent donc une puissance d'implant qui tient compte d'une position plus antérieure de celui-ci. Sa puissance théorique est donc moins importante, à tort. Bien évidemment, la chambre antérieure d'un sujet myope dont la courbure de cornée est aplatie par une chirurgie réfractive reste de profondeur identique, souvent importante. L'expérience montre qu'il est souvent judicieux de choisir une puissance d'implant supérieure d'environ 1 à 2 D pour limiter le risque d'hypermétropisation du patient en s'inspirant de la méthode « double-K ».

Pour augmenter la prédictibilité du calcul d'implant, les formules ont été adaptées aux particularités des cornées opérées de chirurgie réfractive. Globalement, il existe désormais deux types de formules de calcul : celles utilisant l'histoire réfractive (kératométrie et réfraction préopératoire, réfraction post-opératoire) [1,5] et celles qui s'en affranchissent [8]. Certaines formules sont de type « propriétaires » et ne sont pas publiées, comme la formule de Holladay-II. Les formules utilisant l'histoire réfractive seraient plus précises. Les autres sont applicables quand l'histoire réfractive n'est pas fiable ou pas connue. Désormais, il est possible d'utiliser des calculateurs

disponibles en ligne. On citera parmi les calculateurs les plus connus : celui de l'ASCRS : <http://iolcalc.org> ; celui de Haigis : <http://www.augenklinik.uni-wuerzburg.de/uslab/iol7/iform1d.htm> ; ou le synopsis de calculateurs du Dr Hill : <http://doctor-hill.com/iol-main/keratorefractive.htm>.

Il est possible de tester plusieurs formules pour les données biométriques d'un patient mesurées avec des instruments donnés. On mentionnera par exemple le calculateur d'implant intraoculaire post-chirurgie réfractive de Hoffer/Savini : <http://www.hofferprograms.com/IOLPower/HofferSaviniTool.aspx>. Cette dernière méthode a l'avantage de permettre de comparer les différentes puissances proposées selon les formules utilisées, pour un même Km.

Enfin, certains calculateurs proposent d'enregistrer de manière cumulative les résultats réfractifs obtenus après implantation de la lentille intraoculaire choisie, pour calculer la précision moyenne offerte par le chirurgien à ses patients.

Arbre stratégique

Il est donc possible de proposer un arbre décisionnel simplifié, dérivé de celui que proposent Savini et Hoffer dans leur outil de calcul (figure 5). Bien qu'il soit non exhaustif et non directif, il illustre combien la précision du calcul d'implant intraoculaire pseudophake après chirurgie réfractive cornéenne reste un sujet délicat.

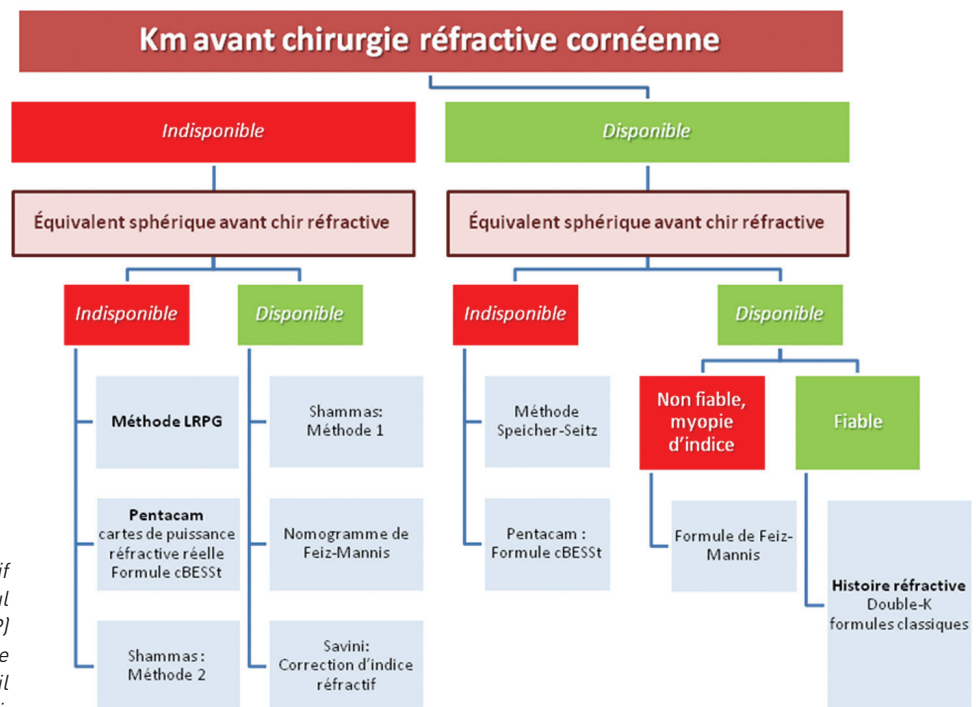


Figure 5. Arbre décisionnel indicatif pour choisir une méthode de calcul d'implant de chambre postérieure (ICP) chez un patient opéré de chirurgie réfractive cornéenne, inspiré de l'outil de calcul Hoffer-Savini.

Bibliographie

1. Feiz V, Mannis MJ, Garcia-Ferrer F *et al.* Intraocular lens power calculation after laser in situ keratomileusis for myopia and hyperopia: a standardized approach. *Cornea*. 2001;20(8):792-7.
2. Hamed AM, Wang L, Misra M, Koch DD. A comparative analysis of five methods of determining corneal refractive power in eyes that have undergone myopic laser in situ keratomileusis. *Ophthalmology*. 2002;109(4):651-8.
3. Seitz B, Langenbucher A. Intraocular lens power calculation in eyes after corneal refractive surgery. *J Refract Surg*. 2000;16(3):349-61.
4. Jarade EF, Tabbara KF. New formula for calculating intraocular lens power after laser in situ keratomileusis. *J Cataract Refract Surg*. 2004;30(8):1711-5.
5. Aramberry J. Intraocular lens power calculation after corneal refractive surgery: double-K method. *J Cataract Refract Surg*. 2003;29(11):2063-8.
6. Koch DD, Wang L. Calculating IOL power in eyes that have had refractive surgery. *J Cataract Refract Surg*. 2003;29(11):2039-42.
7. Smith RJ, Chan WK, Maloney RK. The prediction of surgically induced refractive change from corneal topography. *Am J Ophthalmol*. 1998;125(1):44-53.
8. Shammaas HJ, Shammaas MC, Garabet A *et al.* Correcting the corneal power measurements for intraocular lens power calculations after myopic laser in situ keratomileusis. *Am J Ophthalmol*. 2003;136(3):426-32.
9. Savini G, Barboni P, Zanini M. Intraocular lens power calculation after myopic refractive surgery: theoretical comparison of different methods. *Ophthalmology*. 2006;113(8):1271-82.
10. Jarade EF, Abi Nader FC, Tabbara KF. Intraocular lens power calculation following LASIK: determination of the new effective index of refraction. *J Refract Surg*. 2006;22(1):75-80.
11. Camellin M, Calossi A. A new formula for intraocular lens power calculation after refractive corneal surgery. *J Refract Surg*. 2006;22(2):187-99.
12. Ferrara G, Cennamo G, Marotta G, Loffredo E. New formula to calculate corneal power after refractive surgery. *J Refract Surg*. 2004;20(5):465-71.

L'auteur déclare n'avoir aucun intérêt financier en rapport avec cet article