

Calcul de la puissance de l'implant intraoculaire après chirurgie réfractive cornéenne

Y. Lteif (1, 2), D. Gatinel (1, 2)

(1) AP-HP, Hôpital Bichat Claude Bernard, Paris, France.

(2) Fondation Rothschild, Centre d'Expertise et de Recherche en Optique Clinique, Paris, France.

Reçu le 19 septembre 2007. Accepté le 9 octobre 2007.

Les auteurs n'ont pas d'intérêt financier dans les produits ou formules cités dans cet article.

Correspondance : D. Gatinel, Fondation Rothschild, 25, rue Manin, 75019, Paris, France. E-mail : gatinel@aol.com

Intraocular lens power calculation after keratorefractive surgery

Y. Lteif, D. Gatinel

J. Fr. Ophtalmol., 2008; 31, 3: 326-334

The number of keratorefractive procedures designed to correct refractive errors has dramatically increased over the last few years. The techniques for cataract extraction and intraocular lens implantation have evolved into a refractive surgical procedure as well as an operation to improve best corrected visual acuity and/or spectacle independence. The calculation of intraocular lens power for a desired refractive target can be challenging in post-refractive surgically treated eyes, given the frequent case reports of "refractive surprises" after cataract surgery. After corneal refractive surgery, the direct use of the measured topographic or keratometric values, with no correction, results in less accurate calculation of intraocular lens (IOL) power required for cataract surgery than calculation in virgin eyes. After laser refractive surgery for myopia, this could result in an overestimation of the corneal power and subsequent underestimation of the IOL power, therefore leading to a hyperopic outcome after phacoemulsification. Conversely, after laser refractive surgery for hyperopia, inaccuracy in the keratometric power estimation could result in a myopic outcome after phacoemulsification. Despite current progress in this subject, awareness of the shortcomings of classical methods and suggested strategies to improve accuracy can be valuable to clinicians. This article provides an overview of the possible sources of error in intraocular lens power calculation in post-keratorefractive patients, and reviews the methods to minimize intraocular lens power errors.

Key-words: Refractive errors, intraocular implant, biometry, corneal topography, keratorefractive surgery.

Calcul de la puissance de l'implant intraoculaire après chirurgie réfractive cornéenne

Le nombre de patients opérés de chirurgie réfractive a rapidement augmenté au cours des vingt dernières années. La chirurgie de la cataracte avec pose d'un implant intra-oculaire a évolué pour devenir une chirurgie réfractive visant à améliorer la meilleure acuité visuelle corrigée, voire non corrigée. Le calcul d'implant permettant d'obtenir la réfraction désirée après chirurgie de la cataracte peut s'avérer difficile sur les yeux déjà opérés de chirurgie réfractive, entraînant des « mauvaises surprises » postopératoires, comme le montrent les nombreux cas publiés dans la littérature. Après chirurgie réfractive cornéenne, l'utilisation pour le calcul d'implant des valeurs kératométriques directement calculées par les topographes ou les kératomètres donne des résultats moins précis que sur les yeux non opérés. Après chirurgie réfractive myopique, ceci peut résulter en une surestimation de la puissance cornéenne, et en conséquent une sous-estimation de la puissance d'implant, entraînant une hypermétropisation après phacoémulsification. À l'inverse, après chirurgie réfractive hypermétropique, l'erreur d'estimation de la puissance cornéenne risque d'entraîner une myopisation du patient après phacoémulsification. À la lumière des nombreux débats actuels sur ce sujet, la connaissance des limites des techniques de calcul d'implant classiques et des solutions permettant d'améliorer la précision des résultats peut être utile au praticien. Cet article fait le point sur les sources d'erreur possibles dans le calcul d'implant sur les yeux opérés de chirurgie réfractive cornéenne, et sur les différentes méthodes de calcul décrites à ce jour dans le but de minimiser ces erreurs.

Mots-clés : Erreurs réfractives, calcul d'implant intra-oculaire, topographie cornéenne, chirurgie réfractive cornéenne.

INTRODUCTION

La précision des méthodes de calcul d'implant utilisées en chirurgie de la cataracte pour des yeux vierges de chirurgie cornéenne est altérée chez les sujets opérés de chirurgie réfractive cornéenne. À ce jour, plus de 25 méthodes de calcul ont été rapportées dans la littérature dans le but de minimiser les erreurs de calcul d'implant chez les patients opérés de chirurgie réfractive cornéenne [1].

Cet article a pour but d'expliquer les causes d'erreur de calcul après chirurgie réfractive, puis de rapporter les différentes méthodes de calcul proposées, en les séparant en quatre groupes en fonction des données préopératoires nécessaires à leur application.

LES CAUSES D'ERREUR

Les données biométriques nécessaires au calcul de la puissance de l'implant pseudophaque sont la puissance dioptrique de la cornée, la longueur axiale et la distance entre la cornée et l'implant (Effective Lens Position : ELP) estimée, avec les formules de troisième et quatrième générations à partir de la kératométrie [2].

Pour un œil normal (sans antécédent de chirurgie cornéenne), les sources d'erreur les plus fréquentes pour le calcul de la puissance de l'implant sont liées à une erreur de mesure de la longueur axiale (54 %) et de la profondeur de la chambre

antérieure postopératoire (38 %), alors que l'appréciation de la kératométrie n'est responsable que de 8 % des erreurs. Après chirurgie réfractive sur la cornée, la kératométrie devient la cause principale d'erreur, suivie de la mauvaise estimation de l'ELP [3].

Erreurs d'estimation du pouvoir optique cornéen [4, 5]

Mauvaise approximation de la puissance cornéenne totale

La cornée est le dioptré oculaire dont le pouvoir optique est le plus élevé. Les topographes spéculaires ne mesurent pas directement la puissance dioptrique de la cornée, mais le rayon de courbure local en différents points de la surface cornéenne antérieure. La puissance optique cornéenne centrale est ensuite estimée à partir de la courbure du sommet cornéen (courbure apicale) par la formule suivante :

$$P = (n_2 - n_1) / r$$

où P est la puissance optique para-axiale d'un dioptré sphérique de rayon r séparant deux milieux isotropes d'indices respectifs n_1 et n_2 .

L'indice de réfraction de l'air étant égal à 1, cette équation devient :

$$P = (n - 1) / r \text{ (équation 1)}$$

où P = puissance de la cornée (en dioptries), n = indice de réfraction de la cornée, et r = rayon de courbure cornéen (m).

Les premiers kératomètres et topographes, basés sur la projection d'un motif (ex : disque de Placido) sur la surface antérieure de la cornée, utilisent pour le calcul de la puissance cornéenne une valeur proche de $n = 1,3375$, valeur arbitrairement adoptée par Javal il y a plus de 100 ans, et calculée de sorte qu'un rayon de 7,5 mm correspond à une puissance cornéenne de 45 D [6].

Or la lumière, en traversant la cornée, traverse deux surfaces réfractives (la face antérieure et la face postérieure) qui séparent trois

milieux optiques d'indice différent (l'air, le stroma cornéen, et l'humeur aqueuse). La vraie puissance dioptrique para-axiale de la cornée devrait donc être calculée en additionnant les puissances de la face antérieure et de la face postérieure, par l'équation suivante :

$$P = P_1 + P_2 = (n_2 - n_1) / r_1 + (n_3 - n_2) / r_2 \text{ (équation 2)}$$

où $P_1 = (n_2 - n_1) / r_1$ = puissance de la face antérieure de la cornée, $P_2 = (n_3 - n_2) / r_2$ = puissance de la face postérieure de la cornée, n_1 = indice de réfraction de l'air = 1, n_2 = indice de réfraction physique de la cornée = 1,376, n_3 = indice de réfraction de l'humeur aqueuse = 1,336, r_1 = rayon de la face antérieure de la cornée (m), et r_2 = rayon de la face postérieure de la cornée (m).

En substituant ces valeurs dans l'équation 2, on obtient :

$$P = (0,376 / r_1) - (0,04 / r_2) \text{ (équation 3)}$$

où P est la puissance cornéenne totale obtenue à partir des valeurs respectives du rayon de courbure antérieur et postérieur.

La surface cornéenne postérieure possède donc une puissance dioptrique négative, car elle sépare pour la lumière incidente, un milieu optique dense (le stroma cornéen, indice de réfraction vrai estimé à 1,376) d'un milieu optique moins dense (l'humeur aqueuse, valeur d'indice estimée à 1,336) ; la différence d'indice a un signe négatif.

La valeur d'indice n utilisée dans l'équation simplifiée 1 peut être qualifiée de « kératométrique », et est inférieure à la valeur de l'indice de réfraction réel ou physique. Gullstrand [7], dans son modèle d'œil schématique où $r_1 = 7,7$ mm et $r_2 = 6,8$ mm, a proposé 1,3315 comme valeur d'indice kératométrique permettant d'estimer la puissance cornéenne à partir de la seule mesure du rayon de courbure antérieur et de l'équation 1. Les topographes cornéens antérieurs utilisent des valeurs d'indice kératométrique proches de cette valeur (1,33, 4/3, etc.). L'équation 1 permet donc d'approximer la puissance du dioptré cornéen à partir de la seule valeur de la cour-

bure antérieure en fournissant une valeur réduite d'environ 10 % par rapport à celle de la puissance cornéenne antérieure P_1 obtenue dans l'équation 2 à partir de la valeur réelle de l'indice de réfraction stromal (1,376). Cet « artifice » permet toutefois de rapprocher la valeur de la puissance cornéenne antérieure ainsi réduite de la valeur de la puissance cornéenne totale (qui serait obtenue après soustraction de la puissance cornéenne postérieure à la puissance cornéenne antérieure). La minoration « automatique » de cette valeur permet de s'affranchir de la mesure de la courbure postérieure qui n'est devenue possible en pratique clinique qu'avec l'avènement de la topographie par balayage par fente ou par caméra rotative Scheimpflug. Ces instruments ne sont disponibles que depuis environ 10 ans.

Cette réduction est toutefois constante et suppose ainsi un facteur de proportionnalité identique entre les courbures cornéennes antérieure et postérieure chez tous les patients. Par exemple, plus la face antérieure est de puissance dioptrique faible (rayon de courbure plus élevé), plus la puissance cornéenne postérieure à soustraire est supposée faible. Sur une cornée non opérée, les surfaces antérieure et postérieure sont pratiquement parallèles sur les 3 mm centraux, et la cornée est considérée comme une surface sphérique, où le rayon de courbure postérieur est environ 1,2 mm plus petit que le rayon de courbure antérieur. La majorité des topographes actuels calculent la puissance dioptrique de la cornée grâce à l'équation simplifiée 1, en utilisant le rayon de courbure antérieur et une valeur de n égale à 4/3.

Les techniques photoablatives reposent sur la modification programmée au sein de la zone optique du rayon de courbure de la cornée antérieure, sans modification de la courbure de la face postérieure. Le parallélisme entre les surfaces cornéennes antérieure et

postérieure est donc perdu. De ce fait, l'utilisation d'un indice réfractif stromal de valeur minorée (4/3 ou 1,33) pour refléter l'effet « moyen » du dioptré cornéen postérieur n'est plus adaptée. Son utilisation dans le cas d'un patient opéré de LASIK myopique aboutit à une sous-estimation de l'effet divergent de la cornée postérieure, et donc une surestimation de la puissance cornéenne totale.

Exemple

Considérons un patient myope de - 5 D qui présente une courbure cornéenne apicale antérieure de 7,66 mm (r1), et une courbure apicale postérieure de 6,60 mm (R2).

En utilisant ces valeurs dans l'équation 3 ci-dessus, nous obtenons la puissance cornéenne antérieure P1 = 49 D, et la puissance cornéenne postérieure P2 = - 6 D. La puissance cornéenne totale est donc :

$$P = P1 + P2 = 49 - 6 = 43 \text{ D}$$

De même, l'application de l'équation 1 avec la seule valeur du rayon de courbure antérieure et la valeur d'indice kératométrique $n = 1,33$ donne un résultat de 43 D. L'utilisation de cette formule simplifiée n'est donc pas source d'erreur pour l'estimation de la puissance cornéenne chez ce patient non opéré.

Ce même patient décide plus tard de bénéficier d'une chirurgie réfractive cornéenne (ex : PKR). Après intervention, il devient emmétrope car sa puissance cornéenne antérieure a été réduite de 5 D par le traitement photoablatif. La surface cornéenne étant aplatie, son rayon de courbure antérieure n'est plus de 7,66 mm, mais de 8,35 mm. Cependant, la courbure cornéenne postérieure reste inchangée ($r2 = 6,60$ mm).

L'utilisation de l'équation 3 avec ces nouvelles valeurs donne une puissance cornéenne totale égale à 39 D.

En revanche, l'estimation de la puissance cornéenne totale par l'équation 1 et la valeur d'indice

kératométrique $n = 1,33$ donne un résultat de 39,5 D.

L'utilisation de la formule simplifiée après chirurgie réfractive cornéenne antérieure photoablatif aboutit donc à une surestimation de la puissance cornéenne et fait courir le risque d'une hypermétropisation après chirurgie de la cataracte car la puissance de l'implant sera sous-estimée si cette valeur de kératométrie est utilisée pour le calcul d'implant.

De la même manière, l'utilisation de la formule simplifiée après chirurgie photoablatif pour corriger l'hypermétropie fait courir le risque de myopisation après chirurgie de la cataracte [8-10].

Mauvaise estimation de la courbure cornéenne antérieure

Contrairement à la chirurgie photoablatif, la kératotomie radiaire induit une variation de courbure au niveau des deux faces cornéennes. Malgré un rapport de puissance possiblement préservé entre ces deux surfaces, la valeur de la puissance cornéenne estimée avec les méthodes classiques est également souvent erronée [11-13].

La cornée normale est légèrement prolate, ce qui signifie que sa courbure décroît légèrement de l'apex vers la périphérie. La mesure de la courbure au kératomètre de Javal est effectuée sur un diamètre compris entre 3 et 3,5 mm, c'est-à-dire à approximativement 1,5 à 1,75 mm du centre de la cornée. Les mesures de kératométrie simulée (sim K) fournies par les autokératomètres ou les topographes cornéens sont effectuées sur des points également situés à cette distance. Du fait du faible gradient de courbure (asphéricité prolate modérée), une mesure effectuée à 1,5 mm de part et d'autre du centre sur un méridien fournit une bonne estimation de la courbure apicale.

Après chirurgie démyopisante (kératotomie radiaire, photoabla-

tion), la cornée devient oblate, et le gradient de courbure entre l'apex et la proche périphérie est accru et de signe opposé. Après kératotomie radiaire, l'anneau situé à 1,5 mm du centre est souvent le siège d'une variation brutale du rayon de courbure entre la zone cornéenne périphérique directement traitée par les incisions radiaires et cambrée, et la zone cornéenne centrale indirectement traitée et aplatie. La mesure kératométrique sur cet anneau fournit des valeurs significativement supérieures à celle que l'on obtiendrait au centre de la cornée. La puissance cornéenne calculée est alors surestimée.

Dans tous les cas, la topographie cornéenne spéculaire informatisée permet une meilleure appréciation de la puissance cornéenne antérieure, puisqu'elle mesure la courbure pour plusieurs centaines de points dans les 3 mm cornéens centraux, alors que les kératomètres standards n'en mesurent que 2.

Erreur d'estimation de la position de l'implant

Il s'agit de la deuxième source d'erreur dans le calcul d'implant après chirurgie réfractive. Dans les formules de nouvelles générations, la position de l'implant (effective lens position ou ELP) est le plus souvent estimée à partir du rayon de courbure de la face antérieure de la cornée [2, 14]. Les yeux myopes ont en général une cornée légèrement prolate et une chambre antérieure profonde. Après chirurgie réfractive démyopisante, la cornée devient oblate et s'aplatit au sein de la zone optique, alors que la profondeur de la chambre antérieure demeure inchangée. La prise en compte de la kératométrie postopératoire va donc entraîner une sous-estimation de la profondeur de chambre antérieure et de l'ELP et donc une sous-estimation de la puissance de l'implant. À l'inverse, sur un œil initialement hypermétrope, l'ELP et la puissance de l'implant seront sur-estimées.

L'importance de l'erreur d'estimation de l'ELP dépend de l'importance de la correction induite par la chirurgie réfractive, de la longueur axiale de l'œil, et de la formule utilisée. Elle est d'autant plus élevée que la correction réfractive a été importante, mais diminue lorsque la longueur axiale de l'œil augmente. Elle est majorée par la formule SRK/T, suivie de Holladay 2, Holladay 1, et Hoffer Q [2-15].

Ces erreurs s'ajoutent à celles de la kératométrie, et aggravent les erreurs de calcul d'implant, augmentant ainsi le risque d'hypermétropisation des yeux initialement myopes avant chirurgie réfractive, et de myopisation des yeux initialement hypermétropes.

Plusieurs méthodes de calcul ont été proposées pour minimiser cette marge d'erreur. Elles visent à obtenir une mesure précise de la vraie puissance cornéenne et/ou à calculer directement la puissance de l'implant. Nous décrivons les plus utilisées, en les répartissant en quatre groupes, selon les données nécessaires à l'application de chacune d'entre elles.

Noter que les termes « préopératoire » et « postopératoire » utilisés tout au long de l'article concernent les états avant et après réalisation de la chirurgie réfractive cornéenne.

LES MÉTHODES DE CALCUL

Le *tableau I* rassemble les principales caractéristiques des différentes méthodes proposées pour l'estimation de la kératométrie centrale utilisée pour le calcul d'implant après chirurgie réfractive. Le *tableau II* rapporte le type de formule conseillé pour le calcul en fonction de la longueur axiale.

Méthodes de calcul nécessitant toutes les données préopératoires

Lorsque la kératométrie et la réfraction du patient avant chirurgie

réfractive sont connues, quatre méthodes sont applicables pour l'évaluation de la puissance dioptrique de la cornée et le calcul de l'implant.

La méthode de l'histoire clinique

Cette technique décrite par Holladay et Hoffer [16, 17] est considérée comme la méthode de référence pour le calcul de la vraie puissance dioptrique cornéenne après chirurgie réfractive. Elle repose sur l'addition algébrique du changement réfractif à la puissance cornéenne préopératoire, selon la formule :

Puissance cornéenne postopératoire = Puissance cornéenne préopératoire + Changement réfractif

Exemple 1

En préopératoire : Kératométrie (K) = 44 D pour un œil myope de - 10 D

En postopératoire : Myopie résiduelle de - 3

Changement réfractif = - 10 - (- 3) = - 7

Donc K postopératoire = 44 - 7 = 37 D

Exemple 2

En préopératoire : K = 45 D pour un œil hypermétrope de + 4

En postopératoire : Patient emmétrope

Changement réfractif = + 4 - 0 = + 4

Donc K = 45 + 4 = 49 D

Pour minimiser les erreurs, il est conseillé de considérer la réfraction postopératoire stable obtenue au décours de la chirurgie, c'est-à-dire avant apparition de la cataracte. Cette technique permet le calcul de la vraie puissance cornéenne postchirurgie réfractive, mais non le calcul de l'implant, car elle ne prend pas en considération l'estimation de la position effective de l'implant (Effective Lens Position : ELP). Les auteurs conseillent de la combiner à la méthode double-K pour minimiser les erreurs dues à l'erreur d'évaluation de l'ELP.

La méthode double-K

Décrite par Aramberri [18], elle permet le calcul de la puissance de l'implant en prenant en considération l'ELP. Comme son nom l'indique, deux valeurs de K sont nécessaires : la valeur de K préopératoire sert à estimer l'ELP, et la valeur de K postopératoire, calculée par la méthode de l'histoire clinique, permet de donner la puissance de l'implant. Les tables de conversion permettant d'adapter les formules de troisième génération à cette méthode ont été publiées, les trois formules utilisées étant : SRK/T, Holladay 1 et Hoffer Q [15].

La méthode du « corneal bypass » (Ladas-Stark)

Cette méthode est basée sur le même principe que la méthode double-K (évaluer la vraie ELP), avec l'avantage d'être plus simple à appliquer [19, 20]. Elle consiste à introduire dans la formule de calcul qu'on désire utiliser la kératométrie préopératoire du patient en visant le changement réfractif (exemple : viser une réfraction résiduelle de - 5 D chez un emmétrope qui était myope de - 5 D avant chirurgie cornéenne pour une myopie). La puissance de l'implant obtenue est donc équivalente à la puissance du cristallin avant le développement de la cataracte et permet de maintenir l'emmétropie obtenue par la chirurgie réfractive.

Exemple : Pour le même patient que dans l'exemple 1 ci-dessus, on introduit dans la formule une valeur de K de 44 D et on vise - 7 D au lieu de l'emmétropie.

La formule de Feiz-Mannis

Elle est basée sur la supposition qu'un changement d'une dioptrie au niveau de l'implant entraîne un changement réfractif de 0,7 D au niveau de la correction en lunettes [21]. L'implant est calculé dans un premier temps avec la kératométrie préopératoire comme si l'œil n'avait jamais subi de chirurgie réfractive. Il faut ensuite ajouter

(pour les yeux qui étaient myopes) ou soustraire (pour les yeux qui étaient hypermétropes) la valeur du changement réfractif divisée par 0,7. Les auteurs conseillent de viser dans le calcul d'implant une amétropie de $-0,5$ D pour les yeux qui étaient myopes, car cette méthode entraînerait une légère sous-estimation de la puissance de l'implant [22].

Cette méthode a l'avantage d'éviter les erreurs dues au mauvais calcul de la puissance cornéenne ou à la mauvaise estimation de l'ELP. Mais ses résultats sont aléatoires et dépendent de la précision des données préopératoires et du facteur de conversion 0,7 [23].

Exemple : Pour le même patient que dans les exemples précédents, on fait le calcul d'implant avec la kératométrie de 44 D et on vise $-0,5$ D, puis on ajoute $7/0,7$ au résultat obtenu.

Méthodes de calcul ne nécessitant que la kératométrie préopératoire

La valeur de n utilisée par la plupart des kératomètres pour convertir le rayon de courbure de millimètres en dioptries par la formule $P = (n-1)/r$ n'étant plus valable après chirurgie réfractive, il faudrait considérer séparément la face postérieure et la face antérieure de la cornée pour pouvoir calculer la vraie puissance totale de la cornée, en utilisant l'équation 2, $P = P1 + P2$ (voir première partie de l'article).

Trouver le changement réfractif par la kératométrie antérieure [9, 24]

On calcule d'abord la puissance antérieure de la cornée en préopératoire ($P1$) et en postopératoire ($P'1$) en utilisant la formule :

$P1 = (n2-n1)/r$ (voir équation 2)
où $n1$ (indice de réfraction de l'air) = 1 et $n2$ (indice de réfraction de la cornée) = 1,376

Le changement réfractif est déduit en faisant la soustraction $P'1 - P1$.

On utilise ensuite l'équation simplifiée $P = (n-1)/r$ pour calculer la vraie puissance cornéenne totale préopératoire, avec $n = 1,3315$ selon le modèle de Gullstrand.

La puissance cornéenne totale postopératoire est obtenue par l'addition du changement réfractif à la puissance cornéenne préopératoire.

Exemple

$r1$ préopératoire = 7,8 mm $\rightarrow P1 = 0,376/7,8 = 48,20$ D

$r'1$ postopératoire = 9,8 mm $\rightarrow P'1 = 38,36$ D

Changement réfractif = $38,36 - 48,2 = -9,84$ D

$P = 0,3315/7,8 = 42,5$ D

$\rightarrow P$ postopératoire = $P + \text{changement réfractif} = 42,5 - 9,84 = 32,66$ D

Facteur de correction de Mandell

Une autre façon de calculer $P1$ est d'utiliser le facteur de correction de Mandell [25] $CPC = 0,376/0,3375 = 1,114$, en appliquant la formule :

$P1 = P$ donnée par le kératomètre $\times CPC$

Trouver la puissance totale de la cornée en calculant sa puissance postérieure $P2$ [9]

On calcule P , $P1$ et $P'1$ avec $n = 1,3315$ selon le paragraphe « Trouver le changement réfractif par la kératométrie antérieure », puis on trouve $P2$ par la formule : $P2 = P - P1$.

On calcule ensuite P postopératoire en additionnant $P'1$ et $P2$

Exemple (même patient) :

$P1 = 48,2$ D

$P'1 = 38,36$ D

P préop = 42,5 D

$P2 = P - P1 = -5,70$ D

$\rightarrow P$ postop = $P'1 + P2 = 38,36 - 5,7 = 32,66$ D

Méthodes de calcul ne nécessitant que la réfraction préopératoire

Il peut s'avérer difficile d'obtenir la topographie préopératoire du patient, alors que sa réfraction préopératoire peut être obtenue grâce à une ancienne paire de lunettes ou une ancienne ordonnance de lentilles. Dans ce cas, il existe plusieurs méthodes de calcul possibles. Nous en citons celles qui semblent donner les résultats les plus fiables d'après la littérature :

Formule de régression de Latkany

Grâce à l'analyse des cas cliniques publiés dans la littérature, Latkany *et al.* [26] ont effectué une régression linéaire entre l'erreur de calcul d'implant faite avec la kératométrie conventionnelle et l'importance de l'ablation faite par le laser Excimer.

Cette régression s'exprime par la formule suivante :

en utilisant la valeur moyenne de K : $-(0,46 \times ARA + 0,21)$

en utilisant le K le plus faible : $-(0,47 \times ARA + 0,85)$

où $ARA = \text{changement réfractif}$.

Le résultat de la formule de régression est ajouté à la puissance d'implant retrouvée par le calcul fait avec la kératométrie conventionnelle. Malgré l'absence d'un nombre suffisant d'essais cliniques, cette formule semble donner des résultats prometteurs dans les comparaisons théoriques avec d'autres techniques [27].

Nomogramme de Feiz-Mannis

De façon similaire, Feiz *et al.* [21] ont exploré la relation qui existe entre le changement réfractif induit par la chirurgie réfractive et l'erreur de calcul d'implant et ont trouvé les relations linéaires suivantes :

Pour les yeux initialement myopes :

Dioptries de sous-estimation = $0,231 - (0,595 \times \text{changement réfractif})$

Pour les yeux initialement hypermétropes :

Dioptries de surestimation = $0,751 - (0,862 \times \text{changement réfractif})$

Le changement réfractif est pris en valeur absolue.

La valeur obtenue est ajoutée à la valeur de l'implant obtenue par le calcul classique.

Les essais cliniques menés via cette technique ont trouvé des résultats aléatoires avec des résultats satisfaisants chez seulement 50 % des patients [22].

Méthode de Masket

Une autre formule de correction de la puissance d'implant a été trouvée par Masket et Masket [28], utilisable aussi bien sur les yeux myopes qu'hypermétropes :

$$-0,326 \times \text{changement réfractif} + 0,101$$

Les auteurs conseillent d'utiliser la formule SRK/T pour les yeux myopes et Hoffer Q pour les yeux hypermétropes, et d'ajouter le facteur de correction au résultat obtenu. Les premiers résultats de cette technique semblent prometteurs.

Autres méthodes de correction

D'autres méthodes de correction de la puissance de l'implant ne nécessitant que la réfraction préopératoire ont été décrites (formules de Jarade, Savini et Camellin, méthode de Shamas), mais leur fiabilité n'a pas été démontrée [27, 29, 30].

Méthodes ne nécessitant aucune donnée préopératoire

Réfraction sur lentille rigide

Cette méthode décrite d'abord par Ridley [31], puis par Soper et Goffman [32], a longtemps été considérée comme la méthode de référence permettant de calculer la puissance cornéenne lorsqu'aucune donnée préopératoire n'est disponible [16, 17, 33].

Une fois l'équivalent sphérique (SEQs) actuel du patient déterminé par une réfraction, une lentille rigide de courbure connue (par exemple : 40 D) et de puissance optique nulle est appliquée sur l'œil, et une deuxième réfraction est faite par-dessus la lentille, permettant de trouver un nouvel équivalent sphérique (SEQcl).

La vraie puissance cornéenne serait donc :

$$K = K \text{ lentille} - (\text{SEQcl} - \text{SEQs})$$

Exemple (même patient)

Courbure de la lentille = 40 D

$$\text{SEQs} = -1 \text{ D}$$

$$\text{SEQcl} = -3 \text{ D}$$

$$\rightarrow \text{Changement réfractif} = \text{SEQcl} - \text{SEQs} = -2,00$$

$$\rightarrow \text{Puissance cornéenne} = 40 - 2 = 38 \text{ D}$$

Cependant, les résultats de cette méthode se sont avérés décevants, probablement à cause de la difficulté d'adaptation de la lentille sur une cornée remaniée par la chirurgie réfractive [23, 17, 34].

Facteur de correction de Rosa

La méthode de Rosa [35] consiste à calculer un facteur de correction par lequel on multiplie le rayon de courbure cornéen postopératoire donné par la topographie.

Ce facteur de correction dépend de la longueur axiale de l'œil et est calculé par la formule de régression :

$$Y = 0,0276 \text{ LA} + 0,3635$$

avec Y = facteur de correction,
LA = longueur axiale.

La puissance cornéenne est ensuite obtenue par la formule :

$$P = (n-1)/(r \text{ corrigé})$$

où n = 1,3375 et r est le rayon cornéen corrigé.

Exemple (même patient) :

Si LA = 25,4 et r = 8,57 mm

$$Y = 0,0267 \times 25,4 + 0,3635 = 1,06$$

$$r \text{ corrigé} = 8,57 \times 1,06 = 9,1$$

$$\rightarrow K = 0,3375/9,1 = 37,08$$

Cette méthode semblerait sous-estimer la puissance cornéenne avec comme conséquence une myopisation des patients après chirurgie de la cataracte [22].

Formule de Shamas

La puissance cornéenne est calculée par la formule de Shamas et al. [36] :

$$K = 1,14 \times K \text{ mesurée (par le topographe)} - 6,8$$

La valeur K obtenue est ensuite introduite dans la formule de calcul de l'implant.

Les résultats semblent très satisfaisants [36, 37].

Méthode de Maloney

La puissance cornéenne centrale donnée par la topographie est corrigée suivant la formule :

$$\text{Puissance cornéenne centrale} \times (376/337,5) - 4,9$$

(Maloney RK, personal communication, October 2002).

La limite de toutes ses méthodes est qu'elles ne prennent pas en considération l'ELP pour le calcul de l'implant. Les auteurs conseillent de les combiner à la méthode double-K ou la méthode du *corneal* bypass pour obtenir la puissance de l'implant [23], mais ceci n'est possible que si la kératométrie préopératoire est connue.

APPORTS DE LA TOPOGRAPHIE D'ÉLEVATION

L'Orbscan

L'Orbscan (Orbtek ; Salt Lake City, UT, États-Unis), est un topographe doté d'un système de balayage par fente, permettant la mesure directe du rayon de courbure des deux faces antérieure et postérieure de la cornée, de la pachymétrie, et de la profondeur de la chambre antérieure. Les valeurs de puissance cornéennes calculées par l'Orbscan semblent très similaires aux résultats retrouvés par la méthode de l'histoire clinique [38]. Plusieurs études ont montré que la puissance cornéenne centrale donnée par l'Orbscan sur les 2, voire les 4 mm centraux serait fia-

ble et pourrait être utilisée pour le calcul d'implant [39, 40]. Ces résultats sont cependant controversés [41] et restent encore à démontrer cliniquement.

La Pentacam et la formule BESSt

La formule BESSt est un logiciel de calcul d'implant évolué (BESSt Corneal Power Calculator ; EB Eye Ltd., Londres, Royaume-Uni) permettant l'estimation de la puissance dioptrique cornéenne à partir des rayons de courbure des faces antérieure et postérieure de la cornée, et de la pachymétrie. Ces mesures sont obtenues par un topographe doté d'un système de caméra rotative Scheimpflug, la

Pentacam (Oculus Optikgerate GmbH, Wetzlar, Allemagne). Les données préopératoires ne sont donc pas nécessaires au calcul d'implant. Cette formule semble donner des résultats satisfaisants [42].

LES FORMULES DE CALCUL D'IMPLANT

Sur des yeux non opérés de chirurgie réfractive, la formule de calcul d'implant est choisie en fonction de la longueur axiale, dans le but de minimiser les erreurs de calcul (*tableau II*) (Hoffer KJ. IOL power calculation. Joint Meeting of the American Academy of Ophthalmology and Pan-American Academy of Ophthalmology ; Oct 24-

27,1999 ; Orlando, FL ; Course # 832).

Après chirurgie réfractive cornéenne, l'erreur d'estimation de la position de l'implant est la deuxième source d'erreur de calcul d'implant. Les nouvelles formules de calcul d'implant (troisième et quatrième générations) estiment l'ELP à partir de la kératométrie. Or si la kératométrie préopératoire du patient n'est pas disponible, la méthode double K et la méthode Ladas-Stark ne peuvent être appliquées (*tableau I*).

Une alternative serait d'utiliser la formule de Haigis, disponible sur l'IOL Master (Carl Zeiss Meditec), qui est la seule formule de calcul n'utilisant pas directement la kératométrie pour estimer l'ELP [43].

Tableau I
Les différentes méthodes de calcul.

Données nécessaires	Méthode d'évaluation de la puissance optique de la cornée	Objectif de la méthode	Formule de calcul d'implant conseillée par les auteurs
Kératométrie et réfraction préopératoires, réfraction postopératoire	Méthode de l'histoire clinique	Calcul de la vraie puissance cornéenne	Méthode double-K
	Méthode double-K	Calcul de la puissance d'implant	SRK/T, Holladay 1, Hoffer Q (ajustées à la méthode double-K)
	Méthode du « corneal bypass » (Ladas-Stark)	Calcul de la puissance d'implant	N/A*
	Formule de Feiz-Mannis	Calcul de la puissance d'implant	N/A
Kératométrie préopératoire	Considération séparée de la face antérieure et postérieure de la cornée (Savini-Maloney-Barboni)	Calcul de la vraie puissance cornéenne	Méthode double-K
Réfraction préopératoire et postopératoire	Formule de régression de Latkany	Calcul de la puissance d'implant	N/A
	Nomogramme de Feiz-Mannis	Calcul de la puissance d'implant	N/A
	Méthode de Masket	Calcul de la puissance d'implant	SRK/T si myopie Hoffer Q si hypermétropie
Aucune donnée préopératoire	Réfraction sur lentille rigide	Calcul de la vraie puissance cornéenne	N/A
	Facteur de correction de Rosa	Calcul de la vraie puissance cornéenne	N/A
	Formule de Shamas	Calcul de la vraie puissance cornéenne	N/A
	Méthode de Maloney	Calcul de la vraie puissance cornéenne	Méthode double-K

*Non applicable.

Tableau II

Choix de la formule de calcul d'implant en fonction de la longueur axiale (Hoffer).

Longueur axiale	Formule de calcul d'implant conseillée
< 22 mm	Hoffer Q
	Holladay 2
22 à 24,5 mm	Hoffer Q
	Holladay 1
24,5 à 26 mm	SRK/T
	Holladay 1
> 26 mm	SRK/T

L'utilisation de cette formule en introduisant manuellement la profondeur de la chambre antérieure (mesurée par échobiométrie ou imagerie du segment antérieur) et la kératométrie postopératoire calculée à partir d'une des techniques décrites ci-dessus, pourrait remplacer la méthode double K. Notre expérience avec cette méthode est jusqu'à présent très satisfaisante (données non publiées).

Une autre alternative serait d'utiliser la formule Holladay 2, dont l'équation n'est pas publiée mais qui est disponible en ligne (<http://www.docholladay.com/iolprogram.htm>). Elle permet l'introduction simultanée de deux valeurs de K, la valeur préopératoire pour le calcul de l'ELP, et la valeur postopératoire pour le calcul de l'implant. Dans le cas où la kératométrie préopératoire n'est pas disponible, l'ELP est estimée avec une valeur arbitraire de 44 D, après avoir coché la case correspondante (« Previous RK, PRK »). Sur son site, Holladay propose aussi un logiciel de « consultation » permettant d'assister le chirurgien dans le choix d'implant introduit. Sept variables doivent être introduites, dont le diamètre cornéen « blanc à blanc », dans le but de choisir le modèle et la puissance d'implant permettant d'obtenir la meilleure qualité de vision après chirurgie de la cataracte.

Nous testons actuellement en collaboration avec la société Nidek une version d'évaluation du logiciel « IOL-Station ». Ce logiciel importe et utilise directement les données acquises avec le topographe/aberrromètre OPD scan. En plus de proposer le calcul de la puissance de l'implant, le logiciel fournit également une estimation de la valeur idéale d'aberration sphérique à corriger, et oriente le choix du chirurgien vers une géométrie particulière d'implant asphérique. En plus de réduire le risque de « surprise réfractive », ce type de stratégie devrait permettre d'améliorer la qualité de vision postopératoire des patients auparavant opérés de chirurgie réfractive.

CONCLUSION

Le nombre des personnes opérées de la cataracte tout en ayant déjà eu recours à la chirurgie réfractive va croissant. Les progrès de la microchirurgie font que le geste opératoire est maintenant bien codifié, sûr et reproductible. Le résultat opératoire chez ces patients dépend donc avant tout de la précision du calcul d'implant. Afin d'éviter les « mauvaises surprises » postopératoires qui impliquent parfois une reprise chirurgicale, l'évaluation correcte de la valeur de la kératométrie à utiliser pour calculer la puissance et la position

effective de l'implant est nécessaire avec les formules de troisième génération (Haigis, Hoffer Q, Holladay 2 ou SRK/T). En plus d'accroître la précision de calcul de la puissance de l'implant, les formules futures permettront certainement de corriger une partie des aberrations optiques induites par la chirurgie réfractive cornéenne.

RÉFÉRENCES

- Hamilton DR, Hardten DR. Cataract surgery in patients with prior refractive surgery. *Curr Opin Ophthalmol*, 2003;14:44-53.
- Holladay JT, Musgrove KH, Prager TC, Musgrove KH, Lewis JW, Ruiz RS. A three-part system for refining intraocular lens power calculation. *J Cataract Refract Surg*, 1988;14:17-21.
- Olsen T: Sources of error in intraocular lens power calculation. *J Cataract Refract Surg*, 1992;18:125-9.
- Speicher L. Intra-ocular lens calculation status after corneal refractive surgery. *Curr Opin Ophthalmol*, 2001;12:17-29.
- Puech M, Saragoussi JJ. [Cataract surgery after refractive surgery: Part II: the problem of implant calculation]. *J Fr Ophthalmol*, 2000;23:67-72.
- Javal E. Mémoires d'ophtalmométrie. Paris, France. Librairie de l'Académie de Médecine. 1891; p. 104-5.
- Gullstrand A. Die Dioptrik des Auges. In: *Handbuch der physiologischen Optik*, 3. Edited by Helmholtz H. Hamburg/Leipzig. 1909; p. 41-375.
- Seitz B, Langenbucher A, Nguyen NX, Kus MM, Kuchle M. Underestimation of intraocular lens power for cataract surgery after myopic photorefractive keratectomy. *Ophthalmology*, 1999; 106:693-702.
- Seitz B, Langenbucher A: Intraocular lens power calculation in eyes after corneal refractive surgery. *J Refract Surg*, 2000;16:349-61.
- Sun R, Gimbel H, Penno EE: Intraocular lens power calculation after corneal refractive surgery remains challenging. *Ophthalmology*, 2000;107:222-3.
- Koch DD, Liu JF, Hyde LL, Rock RL, Emery JM. Refractive complications of cataract surgery after radial keratotomy. *Am J Ophthalmol*, 1989;108:676-82.
- Hanna KF, Jouve FE, Waring GO III. Preliminary computer simulation of the effects of radial keratotomy. *Arch Ophthalmol*, 1989;107:911-8.
- Sawusch MR, McDonnell PJ. Computer modeling of wound gape following radial keratotomy. *Refract Corneal Surg*, 1993;8:143-5.

14. Hoffer KJ. The Hoffer Q formula; a comparison of theoretic and regression formulas. *J Cataract Refract Surg*, 1993;19:700-12.
15. Koch DD, Wang L. Calculating IOL power in eyes that have undergone refractive surgery. *J Cataract Refract Surg*, 2003;29:2039-42.
16. Holladay JT. IOL calculations following RK. *Refract Corneal Surg*, 1989;5:203.
17. Hoffer KJ. Intraocular lens power calculation for eyes after refractive keratotomy. *J Refract Surg*, 1995;11:490-3.
18. Arramberi J. Intraocular lens power calculation after corneal refractive surgery: double-K method. *J Cataract Refract Surg*, 2003;29: 2063-8.
19. Ladas JG, Stark WJ. Calculating IOL power after refractive surgery. *J Cataract Refract Surg*, 2004;30:2458.
20. Walter KA, Gagnon MR, Hoopes PC Jr, Kickinson PJ. Accurate intraocular lens calculation after myopic laser in situ keratomileusis, bypassing corneal power. *J Cataract Refract Surg*, 2006; 32:425-9.
21. Feiz V, Mannis MJ, Garcia-Ferrer F, Kandalav G, Darlington JK, Kim E, *et al*. Intraocular lens power calculation after laser in situ keratomileusis for myopia and hyperopia: a standardized approach. *Cornea*, 2001;20:792-7.
22. Savini G, Barboni P, Zanini M. Intraocular lens power calculation after myopic refractive surgery: a theoretical comparison of different methods. *Ophthalmology*, 2004;113:1271-82.
23. Wang L, Booth MA, Koch DD. Comparison of intraocular lens power calculation methods in eyes that have undergone LASIK. *Ophthalmology*, 2004;111:1825-31.
24. Gobbi PG, Carones F, Brancato R. Keratometric index, videokeratography, and refractive surgery. *J Cataract Refract Surg*, 1998; 24:202-11.
25. Mandell RB. Corneal power correction factor for photorefractive keratectomy. *J Refract Corneal Surg*, 1994;10:125-8.
26. Latkany RA, Chokshi AR, Speaker MG, Abramson J, Soloway BD, Yu G. Intraocular lens calculations after refractive surgery. *J Cataract Refract Surg*, 2005;31:562-70.
27. Savini G, Barboni P, Zanini M. Correlation between attempted correction and keratometric refractive index after myopic excimer laser surgery. *J Refract Surg*, 2007;23:461-6.
28. Masket S, Masket SE. Simple regression formula for intraocular lens power adjustment in eyes requiring cataract surgery after excimer laser photoablation. *J Cataract Refract Surg*, 2006;32: 430-4.
29. 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;22:75-80.
30. Camellin M, Calossi A. A new formula for intraocular lens power calculation after refractive corneal surgery. *J Refract Surg*, 2006;22: 187-9.
31. Ridley F. Development in contact lens theory. *Trans Ophthalmol Soc UK*, 1948;68:385-401.
32. Soper JW, Goffman J. Contact lens fitting by retinoscopy. Ed: Soper JW. In: *Contact Lenses*. Stratton Intercontinental Medical Book Corp. New York, NY. 1974:99.
33. Holladay JT: Cataract surgery in patients with previous keratorefractive surgery (RK, PRK, and LASIK). *Ophthalmic Practice*, 1997; 15:238-44.
34. Haigis W. Corneal power after refractive surgery for myopia: contact lens method. *J Cataract Refract Surg*, 2003;29:1397-411.
35. Rosa N, Capasso L, Romano A. A new method of calculating intraocular lens power after photorefractive keratectomy. *J Refract Surg*, 2002;18:720-4.
36. Shammas HJ, Shammas MC, Garabet A, Kim JH, Shammas A, LaBree L. Correcting the corneal power measurements for intraocular lens power calculations after myopic laser in situ keratomileusis. *Am J Ophthalmol*, 2003;136:426-32.
37. Shammas HJ, Shammas MC. No-history method of intraocular lens power calculation for cataract surgery after myopic laser in situ keratomileusis. *J Cataract Refract Surg*, 2007;33:31-6.
38. Cheng ACK, Lam DSC. Keratometry for intraocular lens power calculation using Orbscan II in eyes with laser in situ keratomileusis. *J Refract Surg*, 2005;21:365-8.
39. Qazi MA, Cua IY, Roberts CF, Repose JS. Determining corneal power using Orbscan II videokeratography for intraocular lens calculation after excimer laser surgery for myopia. *J Cataract Refract Surg*, 2007;33:21-30.
40. Sonego-Krone S, Lopez-Moreno G, Beaujon-Balbi OV, Arce CG, Schor P, Campos M. A direct method to measure the power of the central cornea after myopic laser in situ keratomileusis. *Arch Ophthalmol*, 2004;122:159-66.
41. Srinannaboon S, Reinstein DZ, Sutton HF, Holland SP. Accuracy of Orbscan total optical power maps in detecting refractive changes after myopic laser in situ keratomileusis. *J Cataract Refract Surg*, 25:1596-9.
42. Borasio E, Stevens J, Smith GT. Estimation of true corneal power after keratorefractive surgery in eyes requiring cataract surgery: BESSt formula. *J Cataract Refract Surg*, 2006;32:2004-14.
43. Haigis W, Lege B, Miller N, Schneider B. Comparison of immersion ultrasound biometry and partial coherence interferometry for intraocular lens calculation according to Haigis. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2000;238:765-73.