Revues générales
Cataracte

Calcul d'implant : de la théorie à la pratique

RÉSUMÉ : La chirurgie de la cataracte est devenue une véritable chirurgie à visée réfractive dans laquelle le calcul de la puissance de l'implant représente un enjeu majeur.
Toutes les formules biométriques ont montré la nécessité, pour une meilleure précision dans le calcul de la puissance de l'implant, de prédire correctement la position postopératoire effective de l'implant.
Le choix de la formule biométrique se fera par conséquent en fonction de la longueur axiale, mais aussi des paramètres (kératométries, profondeur de chambre antérieure…) pris en compte pour estimer cette position.
Les formules Hoffer Q et Holladay II seront privilégiées pour les yeux courts, les formules Holladay I et SRK-T pour les yeux longs, la formule Holladay II sera utile pour les yeux ayant des paramètres anatomiques et biométriques atypiques.

→ **F. CABOT**
Fondation A. de Rothschild, PARIS.

Il est communément admis que la chirurgie de la cataracte est de plus en plus précise et tend à devenir une véritable chirurgie à visée réfractive. L'époque où les verres correcteurs étaient systématiquement prescrits après la chirurgie est désormais révolue, les patients souhaitant une réfraction postopératoire conforme à leurs attentes.

Pour satisfaire cette demande, divers progrès techniques ont été mis au service du chirurgien, comme l'amélioration des techniques opératoires (microincisions), les matériaux implantés (implants toriques, multifocaux) et les méthodes de calcul de la puissance de l'implant.

Les principes des différentes méthodes de calcul, leurs particularités propres et leurs limites sont présentés dans cette revue (les méthodes de calcul de la puissance d'implant après chirurgie réfractive cornéenne ne seront pas abordées dans ce chapitre).

Les différentes formules de calcul d'implant

On peut scinder les formules de calcul en deux groupes : les formules "théoriques" (on devrait plutôt employer le terme "optiques" car toute formule est une expression théorique), qui se fondent sur des formules d'optiques géométriques appliquées à un modèle d'œil mathématique, et les formules "statistiques", qui sont établies à partir d'études et d'un recueil de données rétrospectifs.

Toutes ces formules ont montré la nécessité, pour une meilleure précision dans le calcul de la puissance de l'implant, de prédire correctement la position effective de l'implant (ELP : *Effective Lens Position*) en postopératoire (***fig. 1***). La quête d'une précision accrue pour le calcul biométrique a suscité diverses approches pour accroître la précision du calcul biométrique, et l'émergence de nouvelles générations de formules, qui ont une base optique, mais attribuent

Revues générales
Cataracte

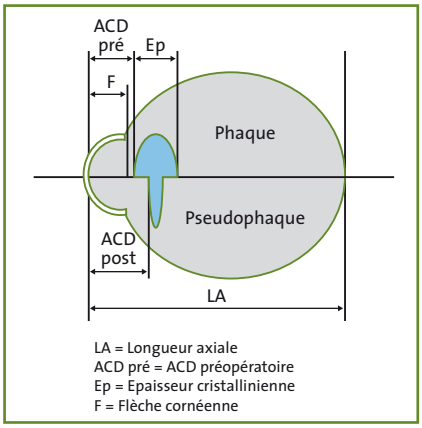

Fig. 1 : Représentation schématique de certains des paramètres utilisés pour estimer l'ELP (ACD post) [1].

à certaines variables une valeur numérique issue de l'analyse de données statistiques.

Insistons sur le fait qu'il n'est évidemment pas possible de mesurer en préopératoire la profondeur de la chambre antérieure après ablation du cristallin et remplacement par un implant. Contrairement à la longueur axiale et à la kératométrie moyenne centrale, qui peuvent être mesurées avant la chirurgie et qui ne subissent pas de modification significative avec les techniques modernes de phacoémulsification, la distance de l'implant avec le dioptre cornéen doit être "prédite". De la justesse de cette précision dépend la qualité du calcul biométrique.

Divers paramètres comme la profondeur de la chambre antérieure, la kératométrie, la longueur axiale peuvent être utilisés pour accomplir cette prédiction (***tableau I***) : c'est justement le choix du type de données prédictives prises en compte qui fait la spécificité de telle ou telle formule de dernière génération. L'influence de ces données sur l'ELP s'étudie au travers de formules statistiques de régression, avant que la valeur estimée de ce paramètre soit entrée dans une formule de type "optique". La plupart des formules de calcul actuelles sont

Facteurs pris en compte pour l'estimation de l'ELP	Formules
Longueur axiale	Hoffer, Holladay, SRK-T, Haigis
Flèche cornéenne, kératométrie	Hoffer, Holladay, SRK-T
Profondeur de CA préopératoire	Holladay II, Haigis
Epaisseur cristallinienne	Holladay II
Age	Holladay II
Réfraction préopératoire	Holladay II

Tableau I : Liste non exhaustive de certains facteurs pris en compte pour le calcul de la position effective de l'implant (ELP) selon la formule utilisée.

donc "mixtes" : établies selon un modèle de propagation lumineuse conforme aux lois de l'optique géométrique, elles utilisent au moins un paramètre (l'ELP) obtenu de manière statistique.

1. SRK et SRK-II

Ces deux formules sont fondées sur les résultats de la réfraction de plusieurs grandes cohortes de patients opérés de chirurgie de la cataracte avec les mêmes implants. Ces formules sont fondées sur l'analyse par régression statistique sur de larges échantillons. Ce sont Sanders, Retzlaff et Kraff qui ont établi, en 1980, la formule SRK qui sera modifiée quelques années plus tard et deviendra la formule SRK-II [2].

La première formule assimile la position effective de l'implant (ELP) à une profondeur de chambre antérieure dont la valeur moyenne est constante et fixée à 4 mm [3]. Dans la deuxième formule, la position effective de l'implant est modulée en fonction de la longueur axiale de l'œil, car il existe une corrélation entre la longueur du segment antérieur et la longueur axiale.

La formule SRK : P = A - 2,5L – 0,9K, où
A = constante de 115 si ICA
ou de 119 si ICP
L = longueur axiale en millimètres
K = kératométrie moyenne en dioptries

Les auteurs ont néanmoins constaté, avec cette formule, que les patients hypermétropes avaient une valeur d'implant sous-estimée (hypermétropisation postopératoire) et à l'inverse les patients myopes avaient une puissance d'implant surévaluée (myopisation postopératoire). Ils ont donc modifié leur formule, devenue "formule SRK-II", en adaptant le calcul de la puissance de l'implant à la longueur axiale de l'œil :

si L < 20 mm,
on ajoute +3 à la valeur de A,
si 20 < L < 21 mm,
on ajoute +2 à la valeur de A,
si 21 < L < 22 mm,
on ajoute +1 à la valeur de A,
si L > 24 mm,
on retire 0,5 à la valeur de A,
si L > 26 mm,
on retire 1,5 à la valeur de A.

Le passage de la formule SRK à SRK II est emblématique du problème posé par la prédiction de l'ELP, chez les yeux "courts", qui présentent souvent une variabilité accrue des dimensions du segment antérieur en comparaison avec les yeux "longs". Toutes les formules de calcul biométrique utilisent une ("A" dans cet exemple) ou plusieurs variables dont la valeur est ajustable afin d'accroître la précision du calcul. Dans les formules modernes, la valeur du paramètre équivalent à A est affinée grâce à la prise en compte (ou l'exclusion selon le contexte) de diverses variables (diamètre blanc à blanc, épaisseur du cristallin, etc.).

2. SRK-T

Les mêmes auteurs (Sanders, Retzlaff et Kraff) ont établi une formule "théorique" en associant des éléments empruntés aux formules de Hoffer-Collenbrander et Binkhorst : prise en compte de la profondeur de chambre antérieure "postopératoire" (calculée à partir d'études rétrospectives postopératoires et associée à la constante A de l'implant), de l'indice de réfraction de la cornée et de l'épaisseur rétinienne. Elle est considérée comme une formule de troisième génération dans laquelle la position effective de l'implant (ELP) est estimée en fonction de la longueur axiale et des kératométries qui déterminent la flèche cornéenne (distance de l'endothélium au plan irien).

Formule SRK-T :

$$P = \frac{1\,000 \times nhaX\,(nha \times r - nc \times Lc)}{(Lc - ACD) \times (nha \times r - nc \times ACD)}$$

P = puissance de l'implant
nha = indice de réfraction de l'humeur aqueuse = 1,336
r = rayon de courbure de la cornée
nc = indice de réfraction de la cornée
Lc = longueur axiale en mm corrigée de l'épaisseur rétinienne
ACD = profondeur de la chambre antérieure postopératoire calculée d'après la constante A

3. Hoffer Q

C'est une formule de troisième génération dans laquelle la position effective de l'implant est "personnalisée". Elle est également estimée à partir de la longueur axiale et des kératométries, mais un facteur modérateur est ajouté dans les yeux très longs (longueur axiale supérieure à 26 mm) ou très courts (longueur axiale inférieure à 22 mm) [4].

4. Holladay

>>> **Formule Holladay I :** c'est une formule de troisième génération qui a la particularité d'intégrer le *surgeon factor*, défini comme la distance en millimètre entre le plan irien antérieur et le plan optique de l'implant. Ce facteur varie en fonction du type d'implant utilisé (matériau, diamètre, angulation éventuelle). La position effective de l'implant est également estimée à partir de la longueur axiale et des kératométries.

>>> **Formule Holladay II :** c'est une formule de dernière génération qui prédit la position effective de l'implant en fonction d'au moins 7 facteurs différents : la longueur axiale, les kératométries maximales et minimales, la profondeur de chambre antérieure préopératoire, l'âge, l'épaisseur cristallinienne, la réfraction préopératoire, le diamètre cornéen. Le nombre élevé de paramètres dédiés à l'estimation de l'ELP explique que cette formule est intéressante pour le calcul biométrique sur des yeux "atypiques" (ex. : en chirurgie de cataracte après chirurgie réfractive). L'équation exacte de cette formule n'a pas été publiée.

5. Haigis

C'est une formule de dernière génération qui introduit trois nouvelles constantes ajustables (en fonction du type d'implant, des résultats initialement obtenus), qui ont là encore pour but d'optimiser les résultats. Une importance accrue est donnée à la profondeur préopératoire de la chambre antérieure (***fig. 2***). Cette formule fournit une estimation de la position de l'implant en fonction des mesures de la profondeur de la chambre antérieure préopératoire et de la longueur axiale, sans tenir compte des mesures kératométriques. De fait, cette formule est utile pour les yeux opérés de chirurgie réfractive cornéenne, et dont la kératométrie n'est plus prédictive de la profondeur du segment antérieur.

Les sources d'erreur dans le calcul de la puissance d'implant

Il a été établi que les sources d'erreur dans le calcul de la puissance de l'implant chez les patients n'ayant pas subi de chirurgie réfractive cornéenne sont représentées par la mesure de la longueur axiale (54 % des cas), puis la mesure de la position effective de l'im-

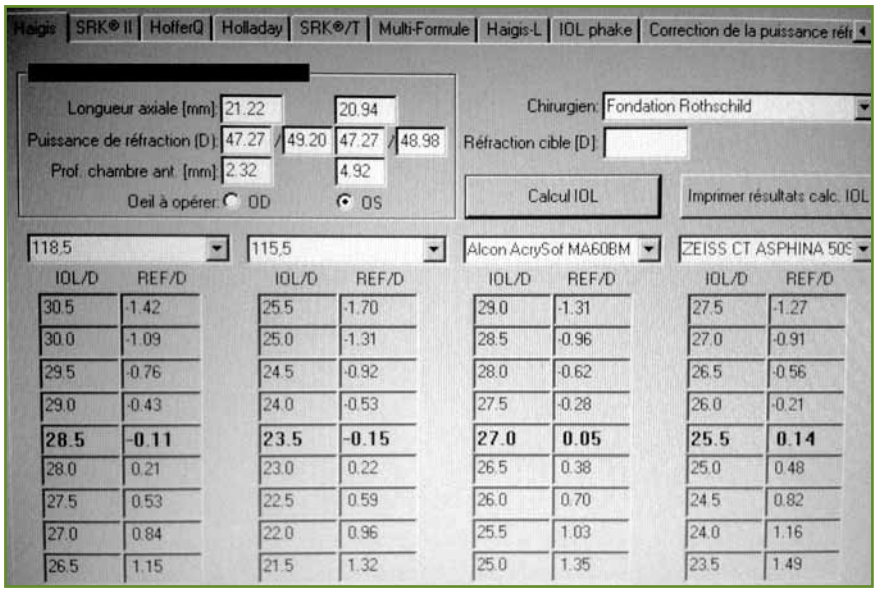

Fig. 2 : Relevé biométrique d'une formule de Haigis à l'aide du IOL Master (Carl Zeiss, Iéna, Allemagne).

Revues générales
Cataracte

plant (38 % des cas) et enfin la mesure des kératométries (8 %) lorsqu'on utilise la biométrie par ultrasons (échographie en mode A ou B) [5].

En revanche, d'après Olsen, lorsque la biométrie par rayonnement infrarouge (exemple : IOL Master, Carl Zeiss, Iéna, Allemagne) est utilisée, la position effective de l'implant arrive en première position (42 % des cas) des sources d'erreur de calcul d'implant, suivie par la mesure de la longueur axiale (36 %) et enfin la mesure des kératométries (22 %) (***fig. 3***) [1].

La fiabilité des mesures biométriques réalisées par échographie et par interférométrie à cohérence optique est équivalente [6]. Néanmoins, on utilisera préférentiellement l'une ou l'autre technique en fonction des pathologies rencontrées. On privilégiera la biométrie ultrasonique en présence d'opacités le long de l'axe visuel (dystrophie ou taie cornéenne, cataracte très dense, hémorragie intravitréenne), en cas de pathologie rétinienne (décollement de rétine, perte de fixation) et en cas de nystagmus. En revanche, la biométrie par interférométrie à cohérence optique sera privilégiée en cas de tamponnement par huile de silicone et en présence de staphylome chez les patients myopes forts [3].

POINTS **FORTS**

- Toutes les formules biométriques ont montré la nécessité, pour une meilleure précision dans le calcul de la puissance de l'implant, de prédire correctement la position postopératoire effective de l'implant.
- Pour les globes oculaires avec longueur axiale courte, il est préférable d'utiliser les formules Hoffer Q ou Holladay II. Pour les globes avec longueur axiale importante, il est préférable d'utiliser les formules SRK-T ou Holladay I.
- Pour les yeux atypiques : globes avec longueur axiale courte et kératométries importantes, longueur axiale importante et petites kératométries, cataracte intumescente, angles irido-cornéen étroits, on privilégiera les formules prenant en compte le plus de paramètres pour estimer la position effective de l'implant (exemple : formule Holladay II).
- L'estimation de la position effective de l'implant, la mesure de la longueur axiale et la mesure des kératométries sont les trois principales sources d'erreur dans le calcul de la puissance de l'implant.

Quelle formule choisir en pratique ?

Les recommandations de choix de la formule en fonction de la longueur axiale de l'œil sont résumées dans le ***tableau II***.

Il convient néanmoins d'apporter une nuance à cette standardisation : les yeux atypiques présentant une discordance entre leur longueur axiale et leurs kératométries ou une profondeur de chambre antérieure étroite par bombement du plan irido-cristallinnien méritent une attention toute particulière. On privilégiera dans ces cas-là les formules de dernière génération (Haigis ou Holladay II) qui prennent en compte le plus grand nombre de paramètres.

Conclusion

Forte du vieillissement de la population, la chirurgie de la cataracte est la chirurgie ophtalmologique la plus pratiquée en France depuis quelques années. La pression sociale croissante dans l'obligation, non plus de moyens, mais de résultats oblige les chirurgiens ophtalmologiques à utiliser tout l'arsenal technique et chirurgical mis à leur disposition pour satisfaire au mieux les patients souhaitant une chirurgie de la cataracte à visée réfractive.

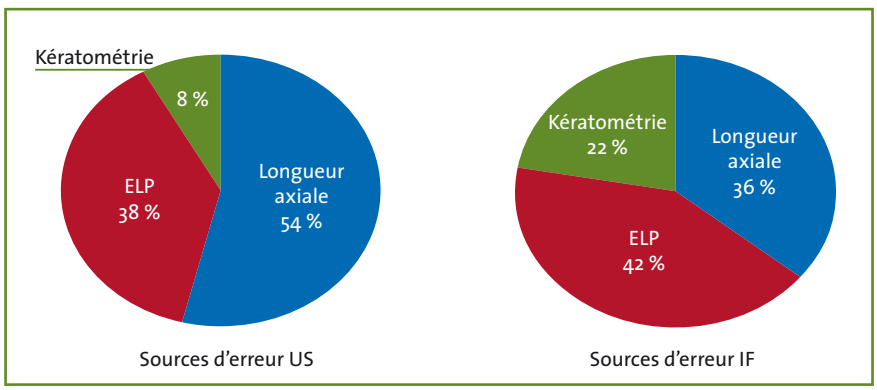

Fig. 3 : Sources d'erreur dans le calcul de la puissance de l'implant en fonction de la technique de biométrie utilisée, biométrie ultrasonore (US) versus biométrie par rayonnement infrarouge (IF).

Longueur axiale	Formule
L < 22mm	Hoffer Q, Holladay II
22 < L < 24mm	SRK-T, Holladay I, Hoffer Q
24 < L < 26mm	SRK-T, Holladay I
L > 26mm	SRK-T, Holladay II

Tableau II : Choix de la formule de calcul d'implant en fonction de la longueur axiale de l'œil.

Les techniques opératoires étant bien codifiées, le calcul de la puissance de l'implant prend toute son importance afin d'éviter les "mauvaises surprises" postopératoires. La précision des mesures de longueur axiale, de kératométrie, la prédiction correcte de la position effective de l'implant et le choix de la formule à utiliser sont autant de paramètres à prendre en compte pour obtenir de bons résultats.

Dans le futur, outre la précision de calcul de la puissance de l'implant, la considération d'autres facteurs tels que la qualité optique (contrôle des aberrations optiques de haut degré) permettra sans nul doute d'affiner encore un peu plus la vision postopératoire.

Bibliographie

1. Olsen T. Calculation of intraocular lens power: a review. *Acta Ophthalmol Scand,* 2007; 85: 472-485.
2. Perrenoud F. Pseudophakie. Aspects optiques. Calcul de la puissance de l'implant. Cristallin artificiel et aniséiconie. *Encycl Med Chir, Ophtalmologie,* 21-250-D-20, 2002, 13 p.
3. Prager T, Hardten D, Fogal B. Enhancing Intraocular lens outcome precision: an evaluation of axial length determinations, keratometrie, and IOL formulas. *Ophthalmology Clinics of North America,* 2006; 19: 435-448.
4. Hoffer KJ. The Hoffer Q formula: a comparison of theoretic and regression formulas. *J Cataract Refract Surg,* 1993; 19: 700-712.
5. Lteif Y, Gatinel D. Intraocular lens power calculation after keratorefractive surgery. *J Fr Ophtalmol,* 2008; 31: 326-334.
6. Haigis W, Lege B, Miller N *et al.* Comparison of immersion ultrasound biometry and partial coherence interferometry for intraocular lens calculation according to Haigis. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol,* 2000; 238: 765-773.

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