

REVUES GÉNÉRALES

Réfractive

Mesure de la pression intraoculaire après chirurgie réfractive

RÉSUMÉ : La chirurgie réfractive est une discipline attirant de plus en plus de patients. Le glaucome reste une maladie redoutable, pour lequel le diagnostic par mesure de la pression intraoculaire (PIO) doit être réalisé le plus précocement possible.

En modifiant l'épaisseur et l'architecture de la cornée, la chirurgie réfractive cornéenne rend difficilement interprétables les mesures données par la technique de référence qu'est le tonomètre à aplanation de Goldmann.

D'autres techniques moins dépendantes de l'épaisseur cornéenne sont à notre disposition pour mesurer la PIO après chirurgie réfractive. Parmi celles-ci, le tonomètre dynamique de Pascal et l'ORA semblent donner des résultats plus proches de la PIO réelle. D'autres études seront encore nécessaires pour s'approcher de la méthode idéale qui serait totalement indépendante des paramètres cornéens.



→ **A. GRISE-DULAC**

Service de Chirurgie Réfractive,
de la Cataracte et du Segment
Antérieur,
Fondation A. de Rothschild,
PARIS.

La chirurgie réfractive est une discipline en expansion attirant un nombre croissant de candidats, surtout chez les sujets jeunes, en majorité myopes.

Dans la population générale, la mesure de la pression intraoculaire (PIO) est souvent le premier paramètre de dépistage, de découverte fortuite et surtout de suivi d'un éventuel glaucome, dont le diagnostic est souvent posé plus tardivement dans la vie.

La chirurgie réfractive cornéenne, en modifiant l'épaisseur et l'architecture de la cornée, rend les mesures traditionnelles de la PIO ininterprétables.

Pour ces raisons, la mesure de la PIO chez les sujets opérés de chirurgie réfractive cornéenne nécessite une adaptation de réalisation, avec des techniques nouvelles s'affranchissant le plus possible des modifications cornéennes.

Problématiques

● *Chirurgie réfractive, hypertension intraoculaire et glaucome*

En France, environ 150 000 procédures de chirurgie réfractive sont réalisées chaque année, et ce nombre ne cesse d'augmenter. Une grande majorité des patients opérés sont corrigés pour une myopie et par une technique de photoablation cornéenne (Lasik: *Laser Assisted in Situ Keratomileusis*: 60 à 80 % des actes, ou PKR: PhotoKératectomie à visée Réfractive: 20 à 40 %). 5 % des actes sont d'autres types (implants phaqes, implants de chambre postérieure à but réfractif, inlays cornéens...) [1]. Les candidats sont le plus souvent des sujets jeunes en bonne santé et sans comorbidité oculaire.

Le glaucome affecte près d'un million de personnes en France et, malgré un dépistage précoce et des traitements de plus en plus efficaces, ce nombre est lui aussi en progression. La prévalence du glau-

REVUES GÉNÉRALES

Réfractive

come augmente avec l'âge, passant de 2 % à 40 ans et à plus de 10 % à 75 ans.

Plusieurs études de la littérature ont montré que la myopie était un facteur de risque de développement et d'évolution du glaucome. Le risque relatif pour un myope de développer un glaucome est de 1,88 par rapport à un sujet non myope [2]. La relation glaucome-myopie est variable selon les études et relativement faible pour les myopies de moins de 3 dioptries, alors qu'elle est très homogène et beaucoup plus élevée chez les myopes de plus de 3 dioptries. Les sujets myopes moyens à forts, sains au moment de la chirurgie doivent donc être considérés comme des sujets plus à risque de développer ultérieurement un glaucome que les emmétropes ou les autres amétropes.

Modifications cornéennes après chirurgie réfractive

La chirurgie réfractive cornéenne modifie un certain nombre de paramètres cornéens, rendant caduques les mesures données par la technique de référence qu'est la tonométrie à aplanation de Goldmann, mise au point pour des cornées standard non opérées. La technique idéale de mesure de la PIO serait une technique indépendante des paramètres cornéens.

● Modification de l'épaisseur cornéenne

La réalisation d'un acte de chirurgie réfractive cornéenne par Lasik ou PKR réduit l'épaisseur cornéenne. L'épaisseur cornéenne centrale moyenne de la population générale est de $540 \pm 30 \mu\text{m}$ [3]. Après chirurgie réfractive de type Lasik, l'épaisseur cornéenne résiduelle minimale est celle de l'épaisseur du mur résiduel stromal additionnée à celle de l'épaisseur du capot. Un consensus semble se dégager pour préserver une épaisseur stromale postérieure d'au moins 250 microns. L'épaisseur standard des capots de Lasik est comprise entre

100 et 130 μm . L'épaisseur cornéenne totale minimale mesurée après chirurgie réfractive est ainsi proche de 370 μm , soit bien en deçà des chiffres mesurés de la population générale et pour lesquels le tonomètre de Goldmann a été étalonné.

● Modification de la biomécanique de la cornée

L'étude des caractéristiques de la biomécanique cornéenne, dont l'hystérèse, est possible en pratique clinique grâce à de nouveaux appareils tels que l'*Ocular Response Analyzer* (ORA, Reichert, USA) et plus récemment le Corvis ST (Oculus, Germany) [4, 5]. L'hystérèse, phénomène décrit par Sir James Alfred Ewing en 1890, est la propriété de certains systèmes physiques à différer dans le temps la réponse à une force qui leur est appliquée.

Ces systèmes réagissent "doucement" et ne reviennent pas instantanément à leur forme d'origine car ils absorbent une partie de l'énergie mécanique incidente qu'ils dissipent sous une autre forme (chaleur). L'ORA émet un jet d'air continu dirigé vers le dôme cornéen et permet de mesurer deux pressions d'aplanation consécutives: la première (P1) lors de la déformation cornéenne initiale consécutive à l'augmentation de pression et la seconde (P2) au moment

ou la cornée retourne vers son état initial (**fig. 1**). A partir des valeurs de P1 et P2, le logiciel de l'ORA propose différents index:

- l'hystérèse cornéenne (CH = *Corneal Hysteresis*): différence entre P1 et P2, proportionnelle au degré de viscosité de la cornée et inversement proportionnelle à son degré d'élasticité;
- le facteur de résistance cornéenne (CRF = *Corneal Resistance Factor*): $P1 - K \times P2$. La valeur de K ($K = 0,7$) a été déterminée à partir d'étude cliniques et de modèles statistiques pour minimiser sa corrélation avec la valeur de l'épaisseur cornéenne centrale.

Après chirurgie réfractive cornéenne, le coefficient d'hystérèse est abaissé [6], et même sans traitement photoablatif, la simple découpe du volet stromal en Lasik réduit la valeur de l'hystérèse cornéenne [7]. En réduisant l'hystérèse cornéenne, la chirurgie réfractive modifie la viscoélasticité de la cornée et ainsi les mesures de la PIO Goldmann.

● Modification de la courbure cornéenne

La réduction de la courbure cornéenne après chirurgie cornéenne myopique en deçà des valeurs de référence pour le tonomètre de Goldmann, participe également à la sous-estimation de la PIO.

Techniques de mesure de la PIO après chirurgie réfractive

1. Tonomètre à aplanation de Goldmann

La mesure de la PIO par le tonomètre à aplanation de Goldmann est actuellement la technique de référence. Elle est basée sur le principe de Imbert-Fick qui tient compte de la rigidité cornéenne, elle-même influencée par l'épaisseur cornéenne. Les mesures fournies pré-supposent une épaisseur cornéenne de 520 μm . La mesure de la PIO effectuée par ce tonomètre sur des cornées plus

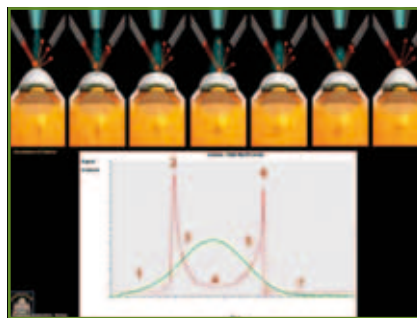


Fig. 1: Principe et signaux fournis par l'ORA: l'ORA émet un jet d'air continu dirigé vers le dôme cornéen et permet de mesurer deux pressions d'aplanation consécutives: la première (P1) lors de la déformation cornéenne initiale consécutive à l'augmentation de pression et la seconde (P2) au moment où la cornée retourne vers son état initial.

finies n'est donc pas le reflet exact de la PIO réelle et est sous-estimée. Plusieurs abaques ont été publiés, mais ceux-ci proposent des facteurs correctifs dont les valeurs sont très variables, allant de 2 à 7 mmHg pour une variation de 100 microns d'épaisseur cornéenne, mais avec de grands écart types, où certains patients avaient une PIO plus élevée après qu'avant la chirurgie [8, 9]. Une corrélation entre la baisse de la mesure de la PIO et l'équivalent sphérique traité a été mise en évidence dans plusieurs études à la fois après Lasik et après PKR [10].

2. Formules mathématiques

Plusieurs auteurs ont tenté de créer des formules mathématiques de conversion de la PIO Goldmann après chirurgie réfractive. Ces formules donnent des résultats insuffisamment reproductibles pour être utilisés en pratique clinique.

3. Tonomètre à air

La mesure de la PIO par tonomètre à air est également basée sur un principe d'aplanation même s'il est non-contact. Après Lasik, plusieurs études ont démontré que la baisse mesurée de la PIO était significativement plus importante avec le tonomètre à air qu'avec le tonomètre de Goldmann. De même qu'avec le Goldmann, cette baisse est corrélée au degré de myopie préopératoire [11].

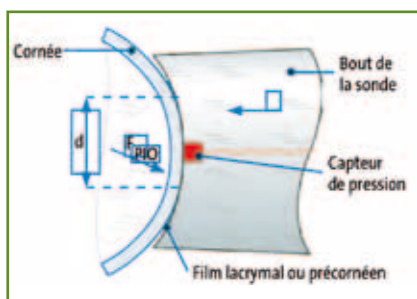


FIG. 2 : Principe du tonomètre dynamique de Pascal : le cône à surface concave épouse la forme de la cornée sans la déformer. Un capteur mesure la PIO pendant plusieurs secondes.

4. Tonomètre dynamique de Pascal

Le tonomètre dynamique de Pascal (*Zieler Ophthalmic Systems AG*, Suisse) a été élaboré pour obtenir une mesure de la PIO s'affranchissant des limites du tonomètre de Goldmann que sont les effets de l'épaisseur, la courbure et la biomécanique cornéenne sur les mesures. Le principe de ce tonomètre est de mesurer la PIO grâce un cône à surface concave, épousant la cornée sans la déformer afin de compenser l'ensemble des forces s'exerçant sur elle [12] (*fig. 2*). La mesure dure quelques secondes afin de compenser les variations hémodynamiques de la PIO. Plusieurs études ont démontré que le tonomètre de Pascal fournissait des mesures de la PIO indépendantes de l'épaisseur cornéenne à la fois dans des populations de sujets sains et de sujets glaucomateux, et que ces mesures n'étaient pas modifiées par l'amincissement de la cornée induit par la chirurgie réfractive [13]. En démontrant que les mesures données par le tonomètre de Pascal n'étaient pas significativement différentes des mesures réalisées directement en intracaméculaire [14], Boehm a mis en évidence que ce tonomètre était plus approprié pour mesurer la PIO sur des cornées opérées de chirurgie réfractive que le tonomètre de Goldmann.

5. Ocular Response Analyzer

L'*Ocular Response Analyzer* permet, en plus des paramètres biomécaniques de la cornée, de donner une mesure de la PIO s'affranchissant de leur influence, appelée *Intra Ocular Pressure corneal-compensated* (PIO compensée pour la cornée) [4]. Celle-ci dérive d'un algorithme découlant de l'analyse par régression des mesures de la PIO avant et après Lasik, fondé sur l'hypothèse que la PIO restait la même ($PIO_{cc} = P2 - 0.43 \times P1$). La PIO_{cc} n'est théoriquement pas corrélée à l'épaisseur cornéenne et est donc plus proche de la valeur réelle de la PIO que celle donnée par le tonomètre de Goldmann [15]. Cette nouvelle mesure présente un intérêt pour mesurer et suivre la PIO après chirurgie réfractive.

6. Corvis ST

Disponible depuis peu, le Corvis ST (*Corneal Visualisation Scheimpflug Technology*) est un tonomètre non-contact couplé à une caméra Scheimpflug, qui permet de voir et d'enregistrer les mouvements réactionnels de la cornée à un jet d'air continu (*fig. 3*) [5]. Il permet d'analyser de nouveaux paramètres biomécaniques de la cornée, dont la rigidité (*stiffness factor*), qui permettront de comprendre encore davantage le comportement de la cor-

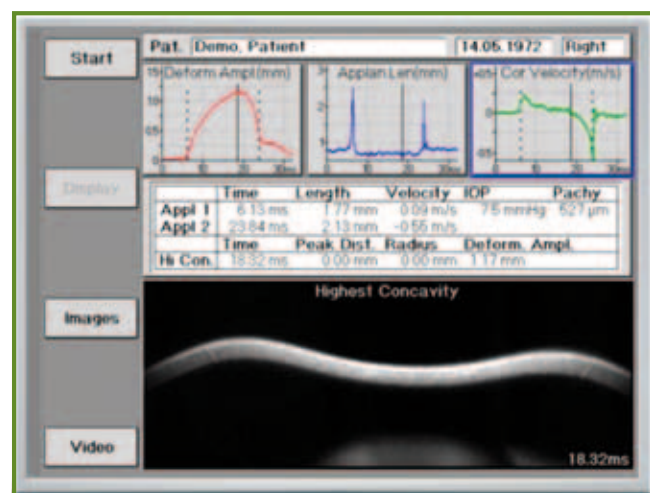


FIG. 3 : Image obtenue avec le Corvis ST montrant la déformation cornéenne et les différents paramètres biomécaniques (image Oculus).

REVUES GÉNÉRALES

Réfractive

née. Il fournit également une mesure de la PIO compensée par les paramètres cornéens. A ce jour, aucune étude n'a été publiée dans la littérature à ce sujet.

Conclusion

La réalisation d'un acte de chirurgie réfractive brouille les pistes traditionnelles de la mesure de la PIO. Les appareils de mesure récents prenant en compte les paramètres biomécaniques de la cornée et non influencés par l'épaisseur cornéenne donnent des valeurs plus proches de la PIO réelle dans ce contexte. Néanmoins, avant chirurgie réfractive, un examen préopératoire minutieux à la recherche de facteurs de risque de glaucome est impératif. En cas de découverte, un bilan complet comprenant pachymétrie, photographie et imagerie du nerf optique et du champ visuel est indispensable. Le choix de la technique opératoire s'orientera alors si possible vers le laser de surface, car, ne nécessitant pas de succion, il n'entraîne pas d'élévation de la PIO peropératoire.

Dans tous les cas, les patients opérés doivent être informés qu'un suivi ophtalmologique reste nécessaire afin de dépister au plus tôt l'apparition d'une éventuelle neuropathie optique glaucomateuse. Les analyses structurelles et fonctionnelles du nerf optique font partie intégrante de l'arsenal de suivi des hypertopies et glaucomes et ne sont pas modifiées par la chirurgie réfractive. La collaboration entre chirurgiens réfractifs et glaucomatologues est aujourd'hui indispensable, et le sera certainement encore plus dans le futur.

POINTS FORTS

- ➞ PIO Goldmann après chirurgie réfractive sous-estimée. Baisse corrélée à l'équivalent sphérique traité.
- ➞ PIO Pascal non modifiée par la chirurgie réfractive.
- ➞ PIOcc donnée par l'ORA peu modifiée après chirurgie réfractive.
- ➞ Intérêt des examens morphologiques et fonctionnels d'étude du nerf optique pour le dépistage et le suivi du glaucome (OCT, CV).

Bibliographie

1. DAVE HARMON. Market Scope's 2010 Comprehensive report on the global refractive surgery market. Market Scope, 2010.
2. GORDON MO, BEISER JA, BRANDT JD *et al.* The Ocular Hypertension Treatment Study: baseline factors that predict the onset of primary open-angle glaucoma. *Arch Ophthalmol*, 2002; 120: 714-720.
3. WOLFS RC, KLAVER CC, VINGERLING JR *et al.* Distribution of central corneal thickness and its association with intraocular pressure: The Rotterdam Study. *Am J Ophthalmol*, 1997; 123: 767-772.
4. LUCE DA. Determining in vivo biomechanical properties of the cornea with an ocular response analyzer. *J Cataract Refract Surg*, 2005; 31: 156-162.
5. AMBROSIO JR. Corneal biomechanical assessment using dynamic ultra high-speed scheimpflug technology non contact tonometry. Poster ASCRS, 2011.
6. PEPOSE JS, FEIGENBAUM SK, QAZI MA *et al.* Changes in corneal biomechanics and intraocular pressure following Lasik using static, dynamic, and noncontact tonometry. *Am J Ophthalmol*, 2007; 143: 39-47.
7. GATINEL D, CHAABOUNI S, ADAM PA *et al.* Corneal hysteresis, resistance factor, topography, and pachymetry after corneal lamellar flap. *J Refract Surg*, 2007; 23: 76-84.
8. EHLERS N, HANSEN FK, AASVED H. Biometric correlations of corneal thickness. *Acta Ophthalmol*, 1975; 53: 652-659.
9. WHITACRE MM, STEIN RA, HASSANEIN K. The effect of corneal thickness on aplanation tonometry. *Am J Ophthalmol*, 1993; 115: 592-596.
10. EMARA B, PROBST LE, TINGEY DP *et al.* Correlation of intraocular pressure and central corneal thickness in normal myopic eyes and after laser in situ keratomileusis. *J Cataract Refract Surg*, 1998; 24: 1320-1325.
11. SANCHEZ-NAVES J, FURFARO L, PIRO O *et al.* Impact and permanence of Lasik-induced structural changes in the cornea and pneumotonometer measurements: contributions of flap cutting and stromal ablation. *J Glaucoma*, 2008; 17: 611-618.
12. KANNIESSER HE, KNIESTEDT C, ROBERT YC. Dynamic contour tonometry: presentation of a new tonometer. *J Glaucoma*, 2005; 14: 344-350.
13. SIGANOS DS, PAPASTERGIOU GI, MOEDAS C. Assessment of the Pascal dynamic contour tonometer in monitoring intraocular pressure in unoperated eyes and eyes after Lasik. *J Cataract Refract Surg*, 2004; 30: 746-751.
14. BOEHM AG, WEBER A, PILLUNAT LE *et al.* Dynamic contour tonometry in comparison to intracameral IOP measurements. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2008; 49: 2472-2477.
15. TOUBOUL D, ROBERTS C, KERAUTRET J *et al.* Correlation between corneal hysteresis, intraocular pressure and corneal central pachymetry. *J Cataract Refract Surg*, 2008; 34: 616-622.

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