

Aberrations optiques.

2. Applications de l'aberrométrie

Jean-Christophe Gavrilo

L'aberrométrie est une discipline qui étudie les défauts du système optique oculaire, permet de les traiter et d'exploiter certaines propriétés des aberrations afin d'optimiser les performances visuelles. À ce jour, les aberromètres n'analysent que les aberrations monochromatiques dans l'infrarouge et la transposition des résultats à l'ensemble du domaine du visible reste une extrapolation.

L'aberrométrie s'exprime pleinement dans les domaines de la chirurgie réfractive, du design des implants intraoculaires et en contactologie.

Traitement des aberrations oculaires et chirurgie réfractive

En chirurgie réfractive, l'aberrométrie a permis le développement de traitements personnalisés, puis optimisés.

La photoablation personnalisée

La photoablation personnalisée en fonction de l'analyse aberrométrique préopératoire a pour principe de corriger, en plus des amétropies sphéro-cylindriques, les aberrations de haut degré (HOA) préexistantes. Il s'agit en théorie du meilleur traitement réfractif car il permet d'obtenir un système oculaire dépourvu d'aberrations. En pratique clinique, les résultats sont plus en rapport avec une diminution des aberrations chirurgicalement induites qu'un réel traitement des HOA préopératoires.

Les premiers résultats d'un traitement personnalisé ont été publiés par Seiler en 1999, suivi par plusieurs autres auteurs. Il a été rapporté une diminution des halos lumineux nocturnes, des éblouissements, et une meilleure sensibilité aux contrastes. Ces publications n'ont pas toujours respecté un protocole comparatif efficace et la supériorité clinique du traitement personnalisé aberrométrique n'a pas pu être formellement établi. Les traitements personnalisés ne seraient bénéfiques que pour les patients ayant un taux d'HOA préopératoire important, soit au mieux 17 % de la population.

Les traitements personnalisés nécessitent des plateformes de délivrance d'une grande précision. La fixation, le centrage et la compensation de la cyclotorsion sont

des points cruciaux. Le décentrement a pour conséquence une sous-corrrection de la composante sphéro-cylindrique et un traitement erroné des HOA. Un décentrement de 0,10 mm dans le cadre d'un traitement myopique aggraverait les HOA.

Par ailleurs, la précision et la reproductibilité de l'analyse aberrométrique préopératoire doivent être suffisamment élevées et il est important de rappeler qu'avec le temps les modifications cristalliniennes entraînent une variation des HOA oculaires.

La photoablation optimisée

En alternative aux traitements personnalisés, et afin de diminuer les gênes fonctionnelles postopératoires, de nouveaux profils photoablatifs ont été développés. La coma et les aberrations sphériques sont les aberrations qui dégradent le plus la qualité de vision après chirurgie réfractive. Le profil d'ablation asphérique a pour objectif de respecter un aspect cornéen prolata postopératoire afin de limiter les aberrations sphériques induites par rapport à un traitement conventionnel. Ces aberrations seraient une conséquence de la perte d'énergie des spots en périphérie, due à la courbure cornéenne. Les traitements optimisés compensent cet effet par une augmentation de l'énergie des spots périphériques.

La photoablation guidée par topographie

Dans certaines conditions difficiles où la cornée est très asymétrique (comme les astigmatismes irréguliers, les petites zones optiques, les reprises de décentrement), les traitements aberrométriques ne sont pas assez puissants pour rétablir une surface cornéenne régulière. Un

Paris

Optique

traitement guidé par la topographie cornéenne est alors recommandé.

Les limites cliniques de l'approche aberrométrique

La précision et la reproductibilité des examens aberrométriques préopératoires diminuent avec l'augmentation du taux d'HOA et le nombre de points analysés par les aberromètres reste modeste en regard de celui des topographes cornéens (pouvant aller jusqu'à 14 000 points). Les résultats sont dépendants de la qualité du film lacrymal. L'instillation d'un lubrifiant dans des yeux secs permet de diminuer significativement le taux initialement élevé d'HOA. Il est primordial de distinguer les aberrations cornéennes des aberrations intraoculaires cristalliniennes qui sont variables avec le temps.

Les traitements photoablatifs sont d'une précision remarquable, inférieure au micron. Néanmoins, la cicatrisation cornéenne et le remodelage épithélial va atténuer les effets de la photoablation stromale en « lissant » l'effet recherché. La prédiction du traitement personnalisé est dépendante de la réponse cornéenne individuelle.

En présence d'implants multifocaux diffractifs, l'analyse aberrométrique est difficilement exploitable.

Traitement des aberrations oculaires et implants intraoculaires

L'utilisation d'IOL asphériques afin de compenser les aberrations sphériques positives de la cornée a permis une amélioration de la sensibilité aux contrastes en conditions mésopiques. La mise au point d'un IOL personnalisable est un des enjeux futurs de la chirurgie de la cataracte. L'objectif est de définir le taux d'aberrations sphériques idéal de l'implant en fonction des aberrations cornéennes afin que la qualité optique soit optimale.

Pour les patients ayant bénéficié au préalable d'une chirurgie réfractive, le choix du design de l'implant est crucial. Un patient porteur d'aberrations sphériques cornéennes négatives consécutives à un lasik hypermétrope aura potentiellement une dégradation de sa qualité de vision après implantation d'un IOL asphérique pourvoyeur d'aberrations sphériques négatives.

Traitement des aberrations oculaires et lentilles de contact

La correction des HOA par lentille de contact est confrontée à plusieurs obstacles. Il faut en premier lieu corriger totalement les aberrations de bas degré sphéro-cylindriques et ne pas compenser l'astigmatisme par l'équivalent sphérique.

La stabilité de la lentille sur la surface cornéenne est un obstacle majeur à la correction des HOA alors que le décentrement moyen d'une lentille souple asphérique est de 0,17 mm horizontalement et 0,29 mm verticalement. Un décentrement de 0,5 mm d'une aberration sphérique de 0,2 μm entraînera une coma de 0,2 μm .

Parallèlement à la chirurgie réfractive, on distingue les lentilles personnalisées, qui corrigent les aberrations spécifiques du sujet, des lentilles optimisées qui corrigent les aberrations moyennes de la population. Les premières sont en cours de développement, tandis que pour les secondes, certains fabricants ont introduit un degré fixe d'aberrations sphériques.

Exploitation des propriétés des aberrations optiques

Optique adaptative

L'optique adaptative est une technologie utilisée pour améliorer les performances optiques d'un système en diminuant les effets de la distorsion du front d'onde. L'optique adaptative permet non seulement de mesurer les aberrations du front d'onde mais également de les corriger à l'aide de miroir déformable en temps réel (figure 1). Il existe trois programmes : mesure des aberrations et compensation par le miroir déformable afin d'obtenir un système dépourvu d'aberrations, mesure des aberrations puis compensation et génération d'une aberration choisie par l'examineur de façon statique ou de façon dynamique. Initialement réservé à un usage expérimental, un prototype clinique a pu être testé dès 2006.

L'optique adaptative permet ainsi d'étudier et d'exploiter les effets isolés des aberrations optiques sur l'acuité visuelle. Il est important de souligner que l'association de deux aberrations ne résulte pas de la somme des effets de ces deux aberrations. Les aberrations altérant le plus la vision sont l'aberration sphérique, le défocus et, dans une moindre mesure, la coma et le tréfoil.

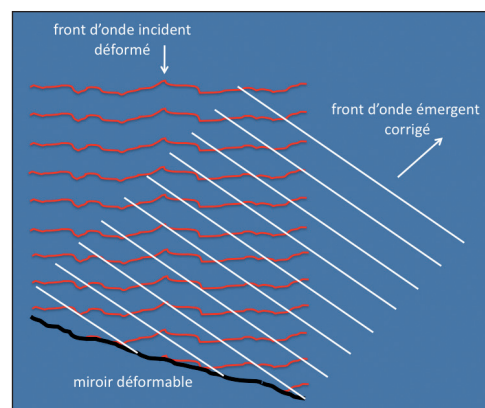


Figure 1.
Principe de l'optique adaptative.

Optique

Aberration sphérique et asphéricité

Dans un système optique parfait dépourvu d'aberration, l'ensemble des rayons lumineux focalisent en un point unique : le foyer image (*figure 2*). L'aberration sphérique correspond à la focalisation des rayons para-axiaux et périphériques sur l'axe optique en plusieurs foyers distincts (*figure 3*). Plus les rayons sont périphériques, plus ils focalisent à distance des rayons para-axiaux. Le foyer

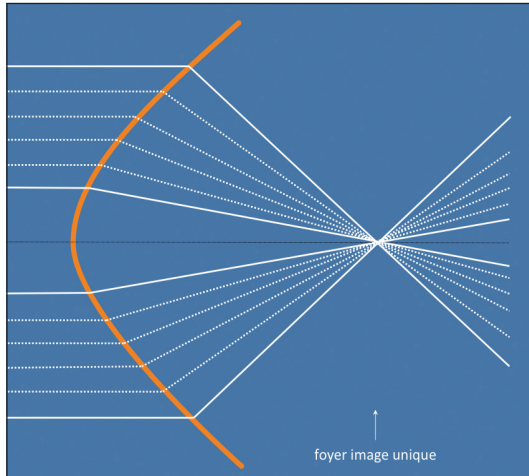


Figure 2.
Système optique
parfait dépourvu
d'aberration.

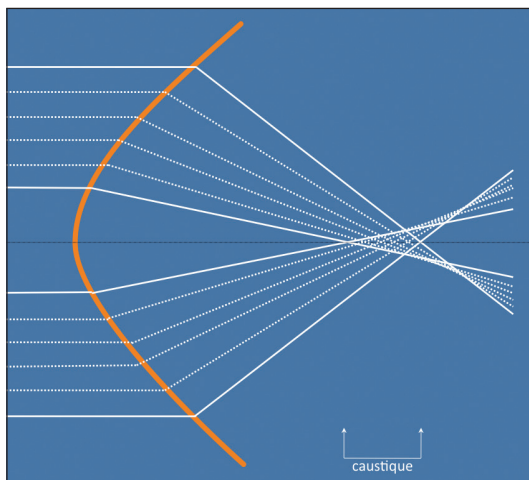


Figure 3.
Système optique
avec aberration
sphérique négative. Les rayons
périphériques
focalisent en
arrière des rayons
para-axiaux. Le
foyer image est
remplacé par la
caustique.

image est remplacé par une zone plus ou moins étendue appelée *caustique*. Une aberration sphérique est dite positive si les rayons périphériques convergent en avant des rayons para-axiaux, et négative dans le cas contraire. La caustique correspond à une augmentation de la profondeur de champ au détriment de la qualité de l'image. L'image d'un point ne sera plus ponctiforme mais une tache étalée composée de cercles concentriques.

Il est important de distinguer l'aberration sphérique, qui est une variable optique, de l'asphéricité, qui est une variable géométrique. Une surface asphérique est une surface dont le rayon de courbure est variable, à l'opposé

d'une sphère où il est constant. Les surfaces asphériques sont décrites par les sections coniques, et l'asphéricité cornéenne par l'excentricité ou le facteur Q. Dans la population, le facteur Q est estimé entre -0,21 et -0,26, alors que l'aberration sphérique cornéenne moyenne est légèrement positive à + 0,270 μm . Plus la surface est prolata, plus le facteur Q est petit et plus les aberrations sphériques deviennent négatives et importantes.

Augmentation de la profondeur de champ par modification des HOA

L'induction d'HOA spécifiques tels que les aberrations sphériques, la coma et les astigmatismes secondaires, permettent d'augmenter la profondeur de champ mais au détriment de la qualité de vision. La compensation de la presbytie par l'aberration sphérique est l'aberration la plus exploitée que ce soit en chirurgie réfractive ou en contactologie. Les enjeux de la compensation de la presbytie par les aberrations sphériques résident dans le compromis entre l'augmentation de la profondeur de champ et la conservation d'une qualité visuelle satisfaisante.

La majorité des profils d'ablation « presbylasik » des lasers ont pour objectif la création d'une cornée hyperprolate qui va induire des aberrations sphériques négatives (*figure 4*) et une myopisation centrale. Le réflexe du myosis accommodatif lors de la lecture sera exploité au mieux dans ces conditions. L'augmentation de la profondeur de champ peut atteindre jusqu'à 2 D pour 0,6 μm d'aberrations sphériques.

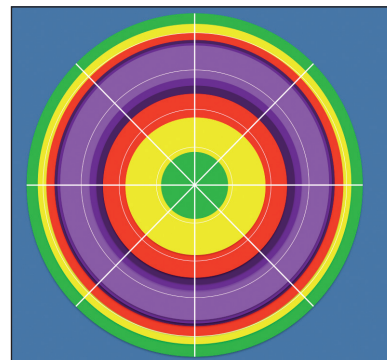


Figure 4. Profil
d'ablation asphérique
avec recherche d'une
hyperprolaticité. Le
volume tissulaire
photoablaté est majoré
en périphérie.

Pour en savoir plus

Mello GR, Rocha KM, Santiago MR *et al.* Applications of wavefront technology. J Cataract Refract Surg. 2012;38(9):1671-83.

Rocha KM, Vabre L, Harms F *et al.* Effects of Zernike wavefront aberrations on visual acuity measured using electromagnetic adaptive optics technology. J Refract Surg. 2007;23(9):953-9.

Lombardo M, Lombardo G. Wave aberration of human eyes and new descriptors of image optical quality and visual performance. J Cataract Refract Surg. 2010;36(2):313-31.