

LE DOSSIER Kératocône

Apport de l'imagerie dans le kératocône



→ D. GATINEL

Fondation A. de Rothschild, CEROC, PARIS.

Les manifestations du kératocône au stade avancé sont aisément détectables à l'examen biomicroscopique : l'amincissement paracentral inférieur, la présence d'opacités stromales sous-épithéliales, la constatation de stries descémétiques sont autant de signes classiques de la maladie, qui viendront étayer une suspicion née du recueil de l'anamnèse d'un jeune patient présentant une réduction de l'acuité visuelle et un astigmatisme évolutif. Ces anomalies peuvent être enregistrées en tant que clichés photographiques au moyen d'une simple lampe à fente équipée d'un appareil photographique numérique ; ces clichés constituent l'imagerie la plus directe d'un kératocône, mais requièrent que celui-ci ait atteint un stade particulièrement évolué ou compliqué. De plus, ils ne fournissent guère d'éléments quantitatifs ou fonctionnels pour le clinicien. Le recours à diverses tech-

niques d'imagerie plus sophistiquées permet cependant d'évoquer le diagnostic du kératocône dès les stades précoces de l'affection, et d'en quantifier le stade évolutif.

Certaines techniques d'imagerie comme la topographie cornéenne et l'imagerie par tomographie par cohérence optique (OCT) sont plutôt morphologiques et anatomiques. D'autres comme l'aberrométrie sont plus fonctionnelles et permettent l'étude de la qualité de l'image rétinienne grâce au recueil du front d'onde oculaire. Des techniques dynamiques destinées à l'évaluation des propriétés biomécaniques de la cornée fournissent une représentation plus ou moins directe du comportement de la cornée vis-à-vis d'un stress mécanique (jet d'air tonométrique). Les indications préférentielles de ces investigations dépendent du contexte clinique et de l'histoire naturelle du kératocône.

L'étude de la topographie cornéenne est un examen incontournable pour le dépistage et le suivi du kératocône. L'apport de la topographie postérieure et des variations spatiales de l'épaisseur cornéenne visent à accroître la sensibilité et la spécificité de la simple topographie spéculaire de courbure antérieure. Les explorations à visée biomécanique connaissent un essor légitime, les modifications topographiques étant d'un strict point de vue physiopathologique secondaires à la décompensation biomécanique du dôme cornéen. Pour objectiver l'effet des méthodes thérapeutiques (lentilles, chirurgie), une analyse plus fonctionnelle est indiquée ; c'est le rôle dévolu à l'aberrométrie.

Cet article a pour but de faire l'inventaire des outils d'imagerie indiqués

pour le dépistage et la prise en charge thérapeutique du kératocône ; seules les techniques ayant une portée clinique immédiate y seront exposées.

La topographie cornéenne

La topographie cornéenne est un examen indispensable à la détection et au suivi du kératocône. Fruit du couplage entre un système d'acquisition d'images (reflet spéculaire d'une mire, coupes en fente lumineuse) et une unité informatique permettant le calcul rapide d'un grand nombre de données, cet examen fut l'une des premières techniques modernes d'imagerie en ophtalmologie. Initialement limitée pour raisons techniques à l'étude de la face antérieure de la cornée (topographie spéculaire par projection et analyse de l'image reflétée d'un disque de Placido) (**fig. 1**), elle permet aujourd'hui d'accéder à la topographie de la face postérieure de la cornée grâce au développement de techniques comme l'imagerie Scheimpflug ou le balayage par fentes lumineuses. L'acquisition conjointe des données relatives à la face antérieure et à la face postérieure permet alors de réaliser une carte d'épaisseur en tout point de mesure : carte de tomographie cornéenne. Etant donné les dimensions relativement restreintes des déformations (5 microns) au regard du diamètre de la cornée (10 mm), l'utilisation d'une surface de référence est nécessaire pour représenter de manière intelligible les caractéristiques d'une cornée donnée. L'utilisation de surfaces de références non sphériques est intéressante pour extraire certaines caractéristiques de la surface analysée (**fig. 2**) [1].

LE DOSSIER Kératocône

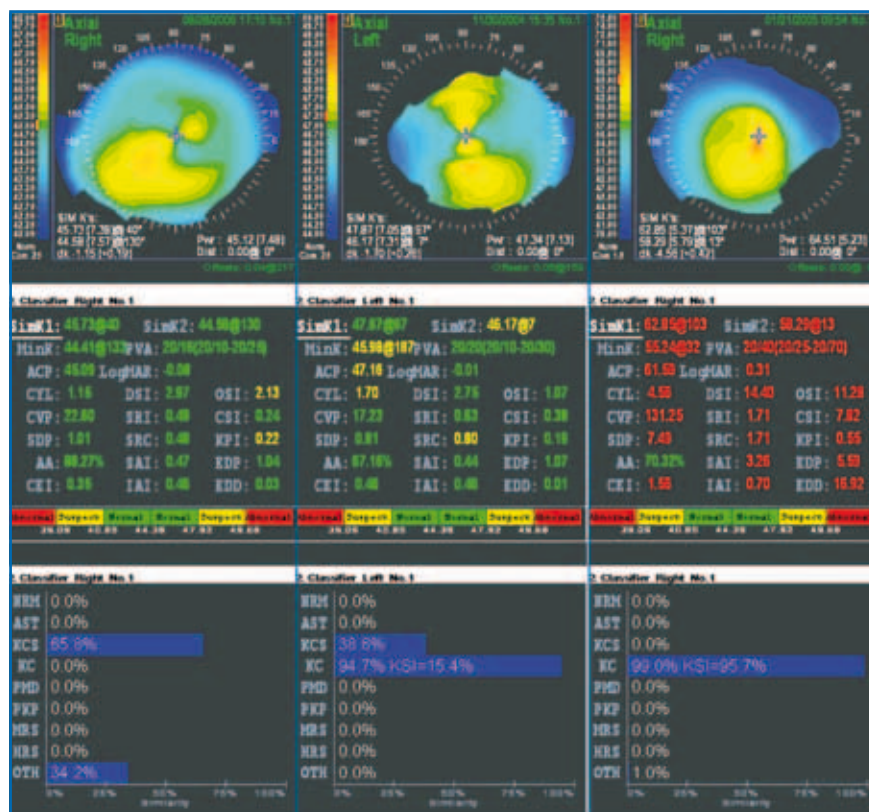


FIG. 1: Représentation en mode courbure axiale (en haut) avec calcul d'indices (au milieu) et utilisation d'un système d'intelligence artificielle (en bas: système Corneal Navigator, OPD SCAN, Nidek) de 3 cornées atteintes de kératocônes de stades différents (KCS: kératocône suspect, KC: kératocône avéré). La topographie spéculaire antérieure est, pour des raisons essentiellement historiques, une technique de référence pour l'imagerie du kératocône. Fondée sur l'analyse informatisée du reflet d'un disque de Placido, elle est particulièrement sensible pour mettre en évidence les variations secondaires à la déformation précoce infligée par le kératocône. Toutefois, elle ne doit pas aujourd'hui être utilisée seule pour le dépistage du kératocône infraclinique: l'utilisation de la topographie d'élévation et de l'étude tomographique (épaisseur) permet d'améliorer la sensibilité et la spécificité du diagnostic de kératocône débutant.

Combinées au recueil de données topographiques issues de la face antérieure de la cornée, la tomographie et l'élévation postérieure permettent la détection précoce des formes infracliniques de kératocône. Nous avons montré que la normalité d'un examen topographique Placido (analysé de manière objective selon les critères de Klyce Maeda) n'excluait en rien la possibilité d'une forme très précoce de kératocône infra-clinique, dénommée kératocône fruste, et construit un modèle d'analyse discriminante permettant d'effectuer un test de dépistage à partir de données conjointes d'élévation et d'épaisseur [2]. Ces résultats permettent de conclure à la nécessité de recourir à la cartographie complète de la cornée (incluant la face postérieure et les variations d'épaisseur) pour bénéficier d'une sensibilité et d'une spécificité accrues vis-à-vis de la seule topographie Placido pour le dépistage précoce du kératocône infra-clinique.

La réalisation de plusieurs examens topographiques différés dans le temps permet un suivi objectif du kératocône. L'utilisation des cartes différentielles est un élément clé pour attester de l'évolution (ou de la stabilité) de la maladie, en objectivant l'accentuation d'une cambrure inférieure et/ou d'un amincissement paracentral.

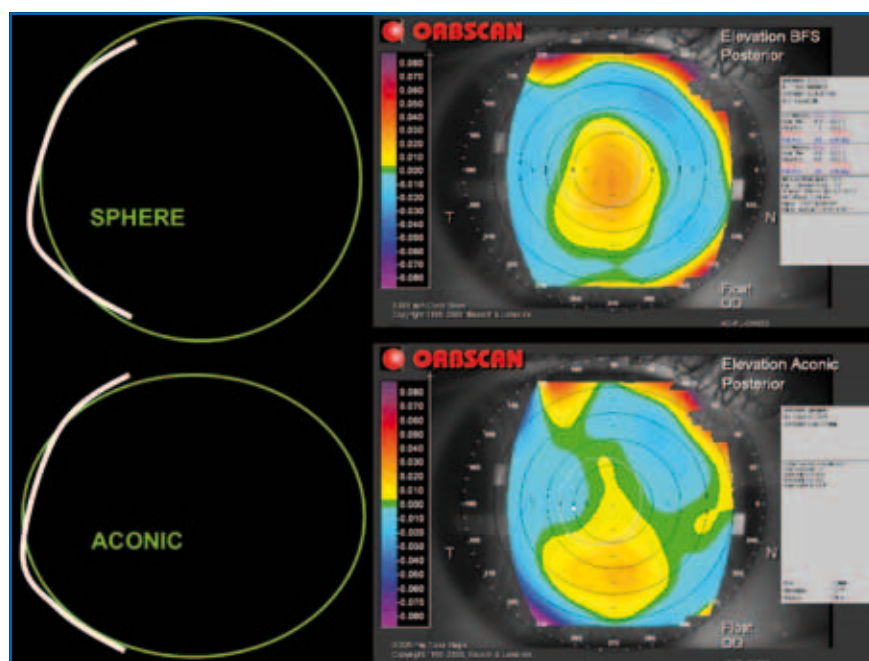


FIG. 2: La topographie d'élévation repose sur la représentation d'une surface cornéenne (ici postérieure) vis-à-vis d'une surface de référence. Celle-ci peut être sphérique (en haut), ou aconique, c'est-à-dire torique et asphérique (en bas). Le mode "aconic" permet de souligner la composante asymétrique de la surface étudiée.

Imagerie par tomographie par cohérence optique (OCT)

Outre la possibilité de réaliser une cartographie de l'épaisseur cornéenne (tomographie), l'utilisation de l'OCT possède des indications particulières : en cas d'hydrops, cette technique est utile pour visualiser l'existence d'une rupture de la membrane de Descemet et en suivre la cicatrisation. Au cours de la réalisation du cross-linking, l'obtention de coupes en OCT permet de visualiser une ligne de démarcation entre le stroma antérieur exposé à ce processus physico-chimique, et le stroma postérieur épargné. L'OCT est également utile pour contrôler le positionnement des segments d'anneau intracornéens (**fig. 3**). L'augmentation du pouvoir de résolution de cette technologie augure de nouvelles possibilités de diagnostic précoce, en permettant au clinicien d'étudier les caractéristiques du feuillet épithélial dont le remodelage au cours de l'évolution du kératocône pourrait expliquer certaines discordances entre topographie antérieure et postérieure. A terme, une cartographie tridimensionnelle précise des couches stromales et épithéliales pourra peut-être permettre aux cliniciens d'affiner la représentation et l'étude du volume cornéen.



FIG. 3 : Utilisation de l'OCT pour visualiser les rapports d'un segment d'anneau intracornéen vis-à-vis de l'épaisseur du stroma cornéen (OCT Visante, Zeiss). Les distances avec la surface épithéliale et l'endothélium peuvent être mesurées et évaluées dans le temps. On devine la présence d'un amincissement épithélial en regard de la saillie antérieure de l'anneau (flèche).

Recueil du front d'onde : étude aberrométrique

Le recueil du front d'onde oculaire n'est pas, à proprement parler, une représen-

tation anatomique de la cornée atteinte de kératocône, mais il permet d'établir la signature optique de l'altération de la courbure de l'interface entre l'air et le film lacrymal. L'étude aberrométrique est ainsi indispensable à la caractérisation précise et quasi exhaustive des conséquences optiques de la déformation cornéenne. Autrefois regroupées sous le vocable d'astigmatisme irrégulier, les aberrations optiques de haut degré sont responsables des symptômes visuels des patients comme la perception d'images fantômes (diplopie monoculaire), voire la perte de lignes de meilleure acuité visuelle corrigée. A partir du recueil du front d'onde, il est possible de simuler l'image rétinienne d'un point lumineux ou d'une mire d'optotype (**fig. 4**). Cette

image peut être confrontée avec les symptômes visuels décrits par le patient.

Certains appareils associant topographie antérieure et aberrométrie oculaire permettent de scinder les aberrations optiques en différents contingents : total, cornéen antérieur, et interne. Dans les formes avancées de kératocône, les aberrations de haut degré induites par la déformation de la face postérieure de la cornée (incluses dans le contingent des aberrations "internes") ne sont pas négligeables et expliquent la persistance d'une erreur du front d'onde significative malgré l'adaptation réussie en lentilles de contact rigides [3]. Enfin, nous avons récemment démontré l'intérêt de l'aberrométrie pour le diagnostic des formes précoces de kératocône infracili-

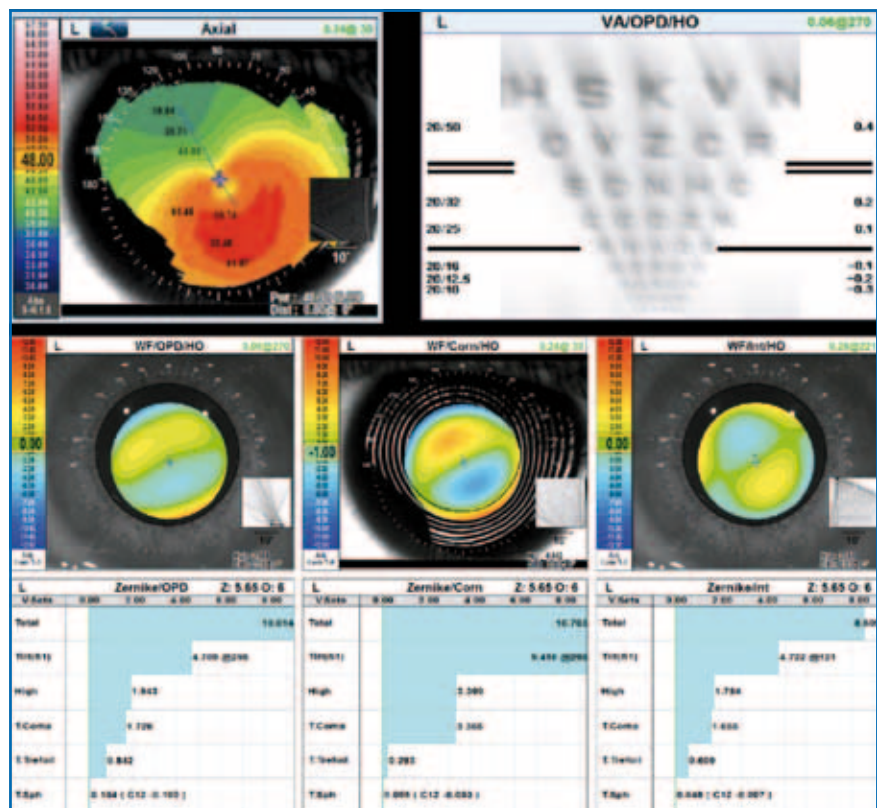


FIG. 4 : Chez un patient présentant un kératocône de l'œil gauche (carte de courbure axiale en haut à gauche) et une diplopie monoculaire oblique, l'étude du front d'onde oculaire, combinée au calcul des aberrations cornéennes (front d'onde cornéen antérieur), permet d'établir un relevé des aberrations optiques de haut degré, et de simuler une image rétinienne (en haut à droite) – examen topo-aberrométrique OPD SCAN III, Nidek, Japon. Les aberrations internes sont liées à la déformation cornéenne globale, et épousent logiquement un pattern opposé à celui de la face antérieure en raison du signe négatif du gradient d'indice de réfraction entre stroma cornéen et humeur aqueuse.

LE DOSSIER Kératocône

niques, au cours desquelles on retrouve une élévation combinée de certains termes comme le tilt, le coma vertical et le tréfoil [4]. Comme la topographie postérieure et la tomographie, le recueil du front d'onde oculaire accroît la sensibilité et la spécificité du diagnostic précoce du kératocône infraclinique.

Le maintien de la transparence cornéenne est un prérequis pour la réalisation d'une estimation fiable de la qualité de l'image rétinienne en aberrométrie. À l'inverse, la présence d'opacités cornéennes (séquelles d'hydrops) résulte en une diffusion lumineuse accrue qui est une indication à la réalisation d'un examen aberrométrique par double passage (OQAS, Visiometrics) pour une évaluation plus exhaustive de la qualité de l'image rétinienne.

Imagerie biomécanique du kératocône

La tonométrie par double aplanation (*Ocular Response Analyzer*, Reichert) permet de quantifier certaines paramètres biomécaniques dont l'hystérésis de la corne; un signal infrarouge est émis vers puis réfléchi par la corne alors que celle-ci est déprimée par un jet d'air calibré; la différence de pression mesurée entre l'aplanation aller et l'aplanation retour permet d'estimer une valeur d'hystérésis. Nous avons montré les corrélations significatives de l'hystérésis (CH) et du coefficient de résistance (CRF) biomécanique avec le stade du kératocône [5]. Toutefois, s'il est intéressant de noter l'existence de différences statistiquement significatives entre les différents stades de kératocône, l'importance de la déviation standard (répartition autour des valeurs moyennes) de ces paramètres en atténue leur portée clinique.

Pour améliorer le caractère discriminant de cette technologie, l'étude de la morphologie des signaux infrarouges d'aplanation semble une piste prometteuse (fig. 5), non seulement pour étayer un diagnostic précoce de kératocône infra-clinique,

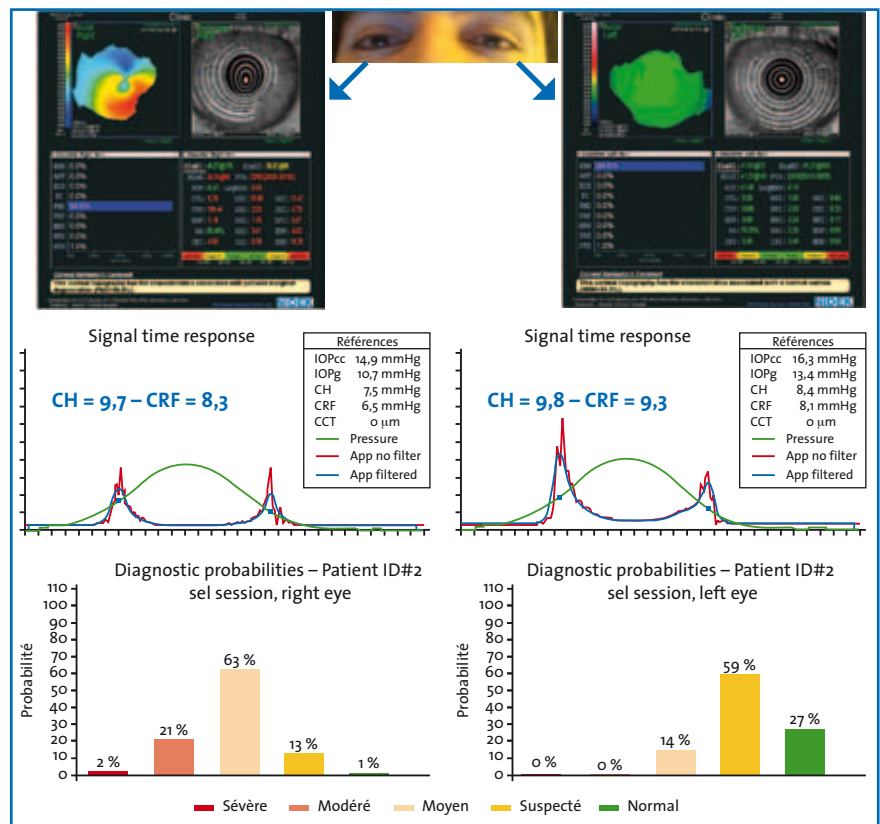


Fig. 5 : Etude de paramètres biomécaniques grâce à la tonométrie par double aplanation (*Ocular Response Analyzer*, Reichert, USA) pour l'œil droit et l'œil gauche d'un patient présentant une forme très asymétrique de kératocône : le dépistage fondé sur la seule topographie spéculaire de Placido et l'étude de 24 indices est en effet strictement négatif du côté gauche, mais très fortement positif du côté droit. En revanche, l'étude des paramètres biomécaniques (hystérésis : CH, coefficient de résistance cornéenne : CRF), ainsi que la morphologie des signaux, est assez peu différente entre les deux yeux. Ce cas suggère que les anomalies biomécaniques précèdent les anomalies topographiques détectables en topographie spéculaire pour les formes débutantes de kératocône infraclinique.

mais aussi asseoir le retentissement biomécanique de la maladie lors de son évolution. Une imagerie plus directe de la déformation du dôme cornéen par prise à haute fréquence d'images en coupe du profil cornéen (technique Scheimpflug) sous l'action d'un jet d'air est également possible grâce à l'instrument "CorVis" (Oculus, Allemagne). Des études cliniques devront être conduites pour préciser l'intérêt de ce type de mesures et leur apport en sensibilité et spécificité vis-à-vis des autres techniques prônées pour le dépistage précoce du kératocône infra-clinique.

Bibliographie

- SCHLEGEL Z, HOANG-XUAN T, GATINEL D. Comparison of and correlation between anterior and

- posterior corneal elevation maps in normal eyes and keratoconus-suspect eyes. *J Cataract Refract Surg*. 2008; 34 : 789-795.
- SAAD A, GATINEL D. Topographic and tomographic properties of forme fruste keratoconus corneas. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2010; 51 : 5546-5555.
- SCHLEGEL Z, LTEIF Y, BAINS HS *et al*. Total, corneal, and internal ocular optical aberrations in patients with keratoconus. *J Refract Surg*, 2009; 25 (10 Suppl.): S951-957.
- SAAD A, GATINEL D. Evaluation of Total and Corneal Wavefront High Order Aberrations for the detection of Forme Fruste Keratoconus. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2012. [Epub ahead of print].
- SAAD A, LTEIF Y, AZAN E *et al*. Biomechanical properties of keratoconus suspect eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2010; 51 : 2912-2916.

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