

Chirurgie réfractive : comment détecter les cornées à risque en 2023 ?

Louis Hoffart, Gaëlle Ho Wang Yin

Clinique Monticelli-Vélodrome, Marseille

À retenir

Actuellement, il n'existe toujours pas de méthode unique qui permette de détecter avec certitude un kératocône infraclinique. Cependant, une combinaison de différentes techniques d'analyse permet d'augmenter la sensibilité du dépistage en comparaison de l'utilisation exclusive de la topographie cornéenne.

Identifier un patient avec une « cornée à risque », c'est-à-dire qui présente un kératocône au stade le plus précoce, est un objectif difficile à atteindre pour un chirurgien réfractif. Considéré comme le principal facteur de risque d'ectasie cornéenne post-opératoire, le kératocône non détecté est une contre-indication à la chirurgie réfractive. Malheureusement, l'examen à la lampe à fente et la topographie cornéenne ne permettent pas d'identifier avec certitude ces patients ⁽¹⁾.

L'utilité diagnostique d'une constante cornéenne repose sur sa sensibilité (la capacité d'identifier correctement les yeux avec un kératocône), sa spécificité (la capacité d'identifier correctement les yeux sans kératocône) et le seuil au-delà duquel il serait considéré comme pathologique. Il est important de noter qu'il n'existe actuellement aucune mesure permettant de différencier sans équivoque une atteinte débutante, de sorte qu'un diagnostic de « cornée à risque » doit tenir compte d'une série d'évaluations cornéennes.

L'examen clinique

Les stades subcliniques d'un kératocône sont difficiles à identifier sur la base d'un seul examen. L'interrogatoire, orienté vers ce dépistage, s'attachera à rechercher particulièrement : des antécédents familiaux de kératocône, des

frottements oculaires, des difficultés en vision nocturne ou encore l'existence d'une atopie. L'examen biomicroscopique ne retrouvera aucun signe de kératocône mais permettra d'écarter des anomalies de la surface oculaire qui pourraient fausser les examens topographiques tels qu'un ménisque de larmes abondant, un syndrome sec ou une taie cornéenne. Sur le plan réfractif, une myopisation, éventuellement associée au développement et/ou à la progression d'un astigmatisme, est évocatrice du développement d'un kératocône. En raison de la progression habituellement asymétrique, cette modification réfractive est plus importante sur un œil, contrairement à une myopisation banale généralement symétrique.

Topographie cornéenne

La topographie cornéenne est encore aujourd'hui considérée comme l'examen de référence du diagnostic du kératocône. On parle de suspicion de kératocône pour les patients qui présentent une topographie cornéenne anormale, mais sans kératocône cliniquement détecté ⁽²⁾. Les anomalies « suspects » de la topographie cornéenne sont entre autres, une asymétrie selon le méridien horizontal avec une augmentation de la kératométrie inférieure ou un astigmatisme irrégulier. Les stades précoces, s'ils sont déjà visibles sur la face antérieure de la cornée, sont reconnaissables par un déplacement généralement temporal inférieur de l'apex et/ou à une perte d'alignement des héli-méridiens cornéens. Dans de nombreux cas, les premières modifications subcliniques d'un kératocône sont observées sur la face postérieure de la cornée et ne sont donc pas détectables sur la topographie spéculaire mais essentiellement par la topographie d'élévation. La plupart des appareils de topographie intègrent des indices de détection topographique du kératocône mais ces paramètres sont relativement peu utiles dans la détection du kératocône au stade infraclinique ⁽³⁾.

Tomographie du segment antérieur de l'œil
(Figure 1)

Les modifications de la surface cornéenne postérieure peuvent être l'un des premiers signes cliniquement détectables du kératocône et de nombreuses études ont rapporté l'utilité de l'évaluation de la face cornéenne postérieure. L'une des mesures les plus couramment utilisées est l'élévation cornéenne postérieure, c'est-à-dire la façon dont l'élévation de la cornée postérieure dévie par rapport à un corps de référence tel qu'une sphère ou une ellipse (4). Une tomographie du segment antérieur de l'œil par tomographie par cohérence optique (OCT) ou procédé Scheimpflug permet également l'analyse de la face cornéenne antérieure et d'établir une carte pachymétrique de l'ensemble de la surface cornéenne. L'analyse « Belin/Ambrósio Enhanced-Ectasia » du Pentacam (Oculus GmbH), un des indices topographiques les plus diffusés, prend en compte ces deux paramètres. L'indice BAD D est une valeur de déviation totale des données de hauteur de la face antérieure, postérieure et de la pachymétrie. Il est basé sur une analyse de régression linéaire et indique le risque d'ectasie en comparant les données à partir d'une base de données d'une population standard. Les valeurs > 1,6 l'écart type sont suspectes, les valeurs > 3 l'écart type présentent un risque d'ectasie très élevé (5).

Profil d'épaisseur de l'épithélium cornéen
(Figure 2)

Depuis l'avènement de l'imagerie par OCT du segment antérieur à haute résolution, de nombreuses études ont analysé le profil d'épaisseur des couches cornéennes dans le cas du kératocône. Les yeux kératocôniques présentent généralement un amincissement épithélial à l'apex du cône, entouré d'un anneau d'épaississement épithélial, lié à un remodelage afin de lisser la surface optique. Li *et al.* (6) ont rapporté qu'une mesure de l'épaisseur épithéliale présente une sensibilité de 96 % et une spécificité de 100 % pour distinguer le kératocône subclinique des yeux normaux. L'une des limites de la détection du kératocône à l'aide du profilage de l'épaisseur épithéliale est que la segmentation de l'image peut être délicate en présence d'altérations de la membrane basale et que les mesures d'épaisseur sont donc moins fiables dans les cornées kératocôniques que dans les cornées saines (7). Les mesures de l'épaisseur épithéliale doivent toujours être considérées en conjonction avec d'autres mesures cliniques dans le diagnostic du kératocône.

Aberrométrie oculaire

L'aberrométrie est aujourd'hui souvent utilisée en première intention comme méthode objective de détermination de la réfraction. Un kératocône doit notamment être suspecté lorsque les aberrations de haut grade (*High Order Aberrations*

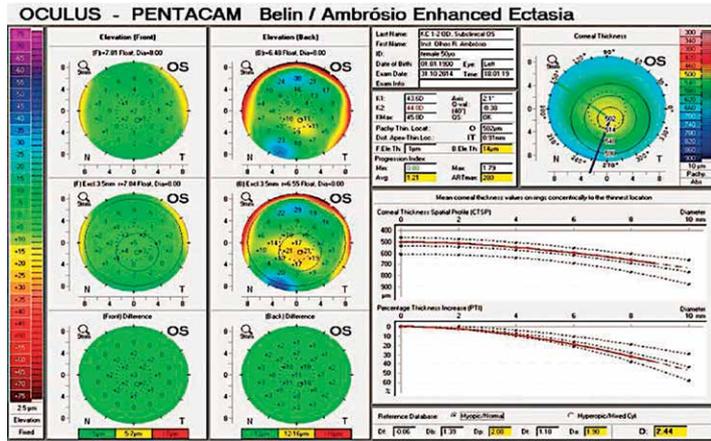


Figure 1 : Interface de l'analyse «Belin/Ambrósio Enhanced-Ectasia» du Pentacam (Oculus GmbH). L'indice BAD D est basé sur une analyse de régression linéaire et indique le risque d'ectasie en comparant les données à partir d'une base de données d'une population standard. Les valeurs > 1,6 l'écart type sont suspectes (dans cet exemple, la valeur de 2.44 est suspecte).

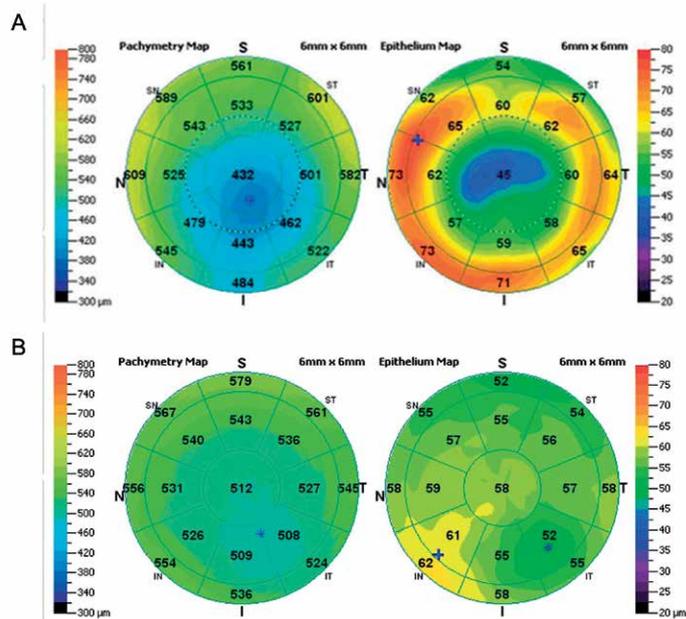


Figure 2 : Profil d'épaisseur de l'épithélium cornéen en OCT. A. Kératocône au stade clinique : amincissement de l'épithélium au sommet du cône associé à une hyperplasie de l'épithélium en forme de « donut ». B. Kératocône infraclinique : amincissement temporel inférieur de l'épithélium en regard de la zone pachymétrique la plus fine.

ou HOA) des deux yeux diffèrent fortement en axe et en amplitude. Néanmoins, il est nécessaire d'avoir écarté préalablement une instabilité du film lacrymal ainsi que les irrégularités cornéennes qui en résultent qui pourraient fausser les résultats.

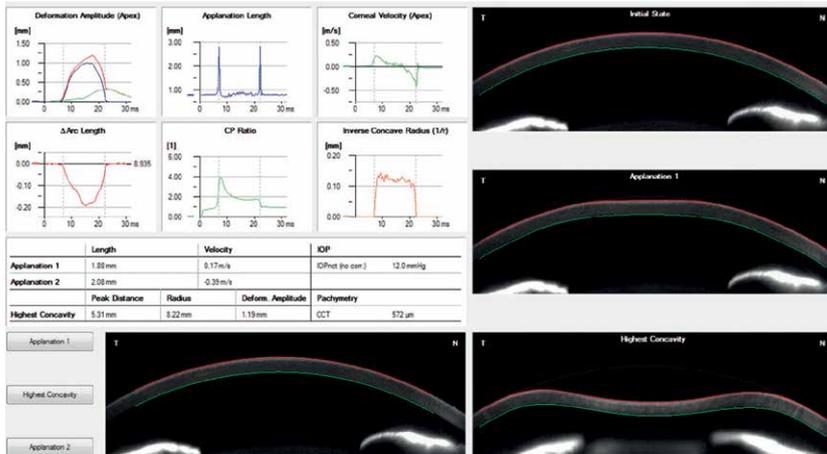


Figure 3 : Interface du Corvis ST (Oculus GmbH).

Le Corvis ST évalue les propriétés viscoélastiques de la cornée en se basant sur la réponse à une déformation par un jet d'air couplée à une analyse de la géométrie cornéenne par une caméra à haute vitesse. Un score biomécanique (CBI) est calculé à partir de ces valeurs.

La mesure des HOA de la face cornéenne antérieure, dérivées du profil d'élévation de la cornée, sont particulièrement utiles pour la détection du kératocône (en particulier pour différencier les yeux normaux des kératocônes subcliniques, de forme fruste ou émergents) et notamment la mesure du coma vertical. Une valeur élevée d'un œil sera un indicateur important de la présence éventuelle d'un kératocône. La capacité à discriminer entre les yeux sains et le kératocône infraclinique est améliorée lorsque les HOA cornéennes antérieures sont considérées avec d'autres paramètres tels que la pachymétrie et les aberrations cornéennes postérieures⁽⁸⁾.

Analyse de la biomécanique cornéenne

Les propriétés biomécaniques de la cornée peuvent être modifiées dès les premiers stades du kératocône. En raison d'un ancrage réduit des lamelles de collagène dans la membrane de Bowman, la stabilité et l'intégrité mécanique peuvent être réduites en cas de kératocône. Terai *et al.*⁽⁹⁾ ont montré qu'une modification de la composition et de la teneur en protéoglycanes et en glycosaminoglycanes de la cornée en cas de kératocône influence les propriétés viscoélastiques de la cornée.

Au cours de la dernière décennie, l'intérêt pour la biomécanique cornéenne dans le cadre de la détection du kératocône a considérablement augmenté en raison de la disponibilité d'appareils de mesure dont l'Ocular Response Analyzer (Reichert GmbH) et le CorVis ST (Oculus GmbH). Ces instruments permettent d'évaluer les propriétés viscoélastiques

de la cornée *in vivo* en se basant sur sa réponse à une déformation par un jet d'air⁽¹⁰⁾. Étant donné que les propriétés biomécaniques de la cornée sont altérées dans le cas du kératocône, il a été supposé que les mesures biomécaniques sont un marqueur avec une bonne sensibilité pour détecter un kératocône infraclinique. L'ORA déduit les constantes biomécaniques par la mesure de la déformation de la cornée (hystérésis) par la tonométrie, le Corvis ST y ajoute une analyse de la géométrie cornéenne par une caméra à haute vitesse (Figure 3). Shah *et al.*⁽¹¹⁾ avaient publié des valeurs d'hystérésis plus faibles avec l'ORA dans les yeux présentant un kératocône. Tannhoff *et al.* ont déterminé des valeurs seuils de rigidité avec le Corvis ST⁽¹²⁾. L'indice biomécanique proposé par le Corvis (CBI) combine différents paramètres biomécaniques afin de distinguer les yeux atteints de kératocône des yeux normaux. Dans une série, une anomalie biomécanique a été constatée bien qu'il n'y avait pas encore d'anomalies à la topographie et à la tomographie⁽¹³⁾.

Des techniques émergentes telles que l'élastographie par cohérence optique pourront aider à identifier les changements microstructuraux de la cornée, permettant ainsi une détection plus précoce du kératocône.

Intelligence artificielle (IA)

Au cours de la dernière décennie, différentes approches d'IA ont été utilisées pour tenter d'automatiser la détection et la classification du kératocône sur la base d'un large éventail de paramètres cornéens. Les algorithmes conçus pour différencier le kératocône au stade clinique des yeux sains basés sur la topographie ou la tomographie cornéenne ou encore par OCT sont fiables avec des scores de spécificité et de sensibilité supérieurs à 95 %. Plusieurs études ont démontré un excellent potentiel pour différencier et identifier un kératocône fruste⁽¹⁴⁾.

Basé sur l'intelligence artificielle (IA), l'indice biomécanique tomographique (TBI) a été développé comme le score global du Corvis ST en combinaison avec la tomographie optique du Pentacam (Figure 4). Il en résulte une précision nettement supérieure pour la détection d'un kératocône subclinique par rapport à l'examen individuel⁽¹⁵⁾. Le TBI gagne encore en précision du fait qu'il s'agit d'un algorithme « apprenant » qui devient de plus en plus précis au fur et à mesure que la quantité de données augmente. Ainsi, la combinaison des deux procédés s'avère être une solution d'avenir pour la détection précoce du kératocône dans la pratique.

Chirurgie réfractive : comment détecter les cornées à risque en 2023 ?

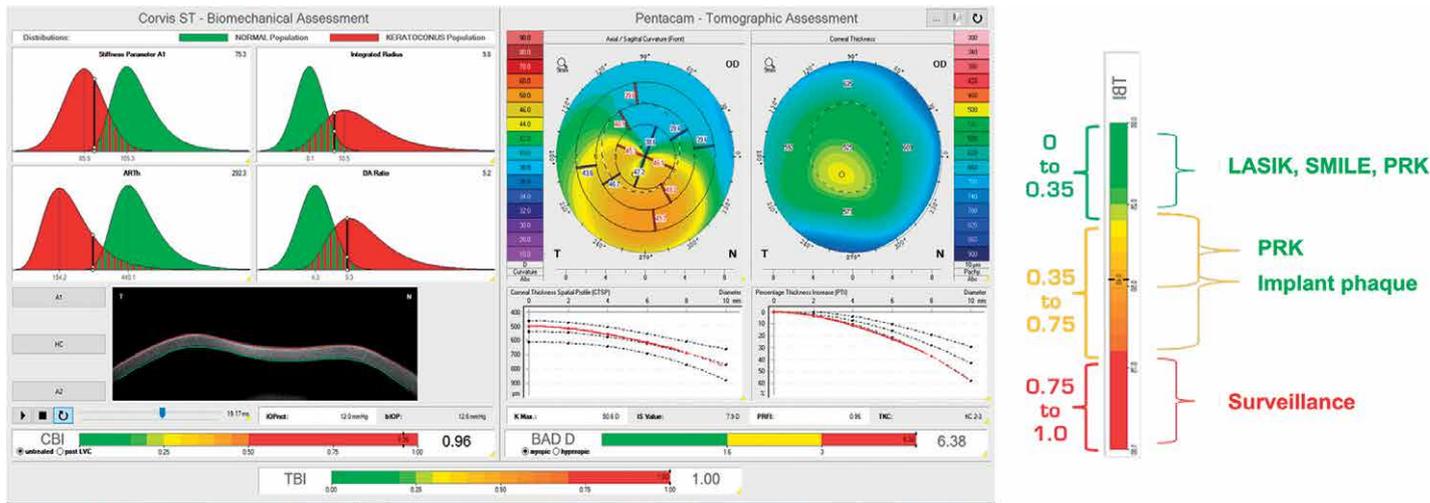


Figure 4 : Interface de l'indice biomécanique tomographique (TBI).

Le TBI consiste en un score combinant l'indice biomécanique CBI du Corvis ST avec la tomographie optique du Pentacam. Il en résulte une précision nettement supérieure pour la détection d'un kératocône subclinique par rapport à une simple tomographie ou topographie cornéenne.

Conclusion

Pour indiquer une intervention de chirurgie réfractive et pour éviter les conséquences possibles de la présence d'un kératocône infraclinique, il est indispensable de procéder à une analyse appropriée de l'épaisseur et de la surface cornéenne postérieure, en plus d'une anamnèse ciblée. La prise en compte exclusive des indices disponibles n'est pas suffisante, car elle ne permet pas de détecter les stades précoces. En cas de suspicion de cornée à risque, il est indispensable de

préciser le diagnostic en combinant plusieurs méthodes d'analyse. L'association de la tomographie et de la biomécanique avec des méthodes d'intelligence artificielle est une avancée majeure dans la détection précoce du kératocône. ■

Liens d'intérêts : L. Hoffart : orateur occasionnel pour Oculus
G. Ho Wang Yin : aucun

Références

1. Saad A, Gatinel D. Topographic and tomographic properties of forme fruste keratoconus corneas. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 51(11):5546-55.
2. Klyce SD. Chasing the suspect: Keratoconus. *Br J Ophthalmol* 2009;93(7):845-47.
3. Belin MW, Khachikian SS. An introduction to understanding elevation-based topography: how elevation data are displayed - a review. *Clin Exp Ophthalmol* 2009;37:14-29
4. Saad A, Gatinel D. Topographic and tomographic properties of forme fruste keratoconus corneas. *Investig Ophthalmol Vis Sci* 2010;51:5546-55.
5. Belin MW, Khachikian SS. An introduction to understanding elevation-based topography: How elevation data are displayed - A review. *Clin Exp Ophthalmol* 2009;37:14-29.
6. Reinstein DZ, Archer TJ, Gobbe M. Corneal epithelial thickness profile in the diagnosis of keratoconus. *J Refract Surg* 2009;25:604-10
7. Li Y, Chamberlain W, Tan O, Brass R, Weiss JL, Huang D. Subclinical keratoconus detection by pattern analysis of corneal and epithelial thickness maps with optical coherence tomography. *J Cataract Refract Surg* 2016;42:284-95. <https>
8. Vega-Estrada A, Mimouni M, Espla E, Ali'o del Barrio J, Alio JL. Corneal epithelial thickness intrasubject repeatability and its relation with visual limitation in keratoconus. *Am J Ophthalmol* 2019;200:255-62.
9. Terai N, Raiskup F, Hausteiner M et al. Identification of biomechanical properties of the cornea: the ocular response analyzer. *Curr Eye Res* 2012 ; 37 : 553-562
10. Vellara HR, Patel DV. Biomechanical properties of the keratoconic cornea: A review. *Clin Exp Optom* 2015;98:31-8.
11. Shah S, Laiqazzaman M, Bhojwani R et al. Assessment of the biomechanical properties of the cornea with the ocular response analyzer in normal and keratoconic eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2007 ; 48 : 3026-3031
12. Tannhoff H, Parasta AM, Eisenbarth W. Différences de la biomécanique cornéenne en cas de kératocône et de dégénérescence marginale pellucide - mesurées à l'aide du Corvis ST Munich ; 2017
13. Vinciguerra R, Ambrósio R jr, Elsheikh A et al. Detection of keratoconus with a new biomechanical index. *J Refract Surg* 2016; 32: 803-810
14. Smadja D, Touboul D, Cohen A, Doveh E, Santiago MR, Mello GR, et al. Detection of subclinical keratoconus using an automated decision tree classification. *Am J Ophthalmol* 2013;156:237-46
15. Ambrósio R jr, Lopes BT, Faria-Correia F et al. Integration of Scheimpflug-1 based corneal tomographic and biomechanical assessments for enhancing ectasia detection. *J Refract Surg* 2017 ; 33 : 266-273