Le dossier – Les nouvelles explorations en segment antérieur

Topographie cornéenne : actualités et indications

RÉSUMÉ: Au-delà de délivrer une topographie d'élévation antérieure et postérieure, ainsi que des images de qualité de la chambre antérieure, les topographes actuels permettent de s'ouvrir à énormément d'autres applications telles que l'analyse du film lacrymal et la visualisation des structures meibomiennes, l'aide à l'adaptation en lentilles de contact rigides et à l'orthokératologie, le dépistage du kératocône et les évaluations des ectasies postopératoires. Certains topographes permettent d'analyser l'ouverture de l'angle iridocornéen, de mesurer la longueur axiale et de faire le calcul d'implants intraoculaires pour la chirurgie de la cataracte.



S. KALLEL Centre Explore Vision, CHNO des Quinze-Vingts, PARIS.

out n'est pas comparable mais nous pouvons aujourd'hui classifier les différents topographes en trois catégories : les topographes d'élévation antérieure uniquement, les topographes d'élévation antéropostérieure et les topographes de dernière génération incluant un OCT de segment antérieur.

Les topographes d'élévation antérieure uniquement

Munis de disques de Placido, ils n'ont pas de caméra interne permettant d'analyser la face postérieure. Parmi ces topographes, nous trouvons l'Antares de chez CSO et le Keratograph d'Oculus. Ces appareils sont équipés de modules utiles au diagnostic de sécheresse oculaire et permettent une visualisation aisée des structures meibomiennes. Un logiciel permet ainsi de classer les images des structures meibomiennes par degrés d'atrophie [1]. Doté d'une source de lumière blanche, l'Antares permet aussi de capturer des photos et vidéos en couleurs. Ces topographes permettent surtout d'aider à l'adaptation des lentilles de contact et à dépister les kératocônes.

1. Adaptation des lentilles de contact

La source lumineuse bleu cobalt de l'Antares permet d'observer la position des lentilles de contact sous fluorescéine, permettant d'optimiser au mieux le centrage et le positionnement des lentilles rigides en fonction des critères cornéens du patient. De nombreuses lentilles de différents fabricants sont disponibles dans la base de données.

Avec le Keratograph d'Oculus, la première pose de la lentille de contact et le contrôle de son ajustement sont réalisés sans contact car ces étapes sont simulées par l'ordinateur, sur la base de la topographie et des données de la lentille [2]. Après positionnement de la lentille de contact virtuelle sur l'œil réel, la simulation de l'image fluorescente est recalculée et peut être comparée à des enregistrements dynamiques, statiques et réalistes (*fig. 1*).

Les lentilles de contact actuelles de tous les fabricants les plus courants sont répertoriées. Le Keratograph d'Oculus permet aussi la visualisation de la perméabilité à l'oxygène des lentilles souples, les classant par couleur en fonction de leur puissance dioptrique grâce au logiciel OxiMap (*fig. 2*).

2. Dépistage du kératocône

Cet outil fournit aux praticiens des informations importantes sur la structure cornéenne du patient, permettant le dépistage



Fig. 1: Simulation de l'image fluorescente calculée et comparée aux enregistrements réalistes.



Fig. 2: Perméabilité à l'oxygène avec une puissance dioptrique de -3,0 D (à gauche)/-6,0 D (à droite).

du kératocône. Cette analyse préopératoire est très utile en chirurgie réfractive afin d'éviter les complications postopératoires telles que l'ectasie cornéenne. En effet, en comparant les valeurs mesurées avec une base de données normative, il est possible de représenter les anomalies de topographie sous la forme d'un indice. À partir de l'indice des analyses de Fourier et de Zernike, le stade du kératocône est classifié, ce qui permet de détecter les anomalies dès le stade précoce.



Fig. 3: Easygraph installé sur la lampe à fente.

Le Keratograph d'Oculus permet en outre d'assurer un diagnostic de suivi par la réalisation régulière de contrôles de l'évolution [3]. Les examens peuvent être comparés directement les uns par rapport aux autres et les changements de la topographie cornéenne sont affichés avec un code couleur. En effet, les modifications réfractives de la cornée induites par le port de lentilles d'orthokératologie ou par une chirurgie réfractive peuvent être analysées et documentées [4].

Enfin, il existe un topographe cornéen compact qui peut être directement installé sur la lampe à fente. L'Easygraph associe à la fois un système de topographie et un kératomètre intégré (*fig. 3*).

Les topographes d'élévation antéropostérieure

Le topographe Sirius est un dispositif d'analyse du segment antérieur combinant la tomographie Scheimpflug avec la topographie par disque de Placido. En plus de ce que permet le topographe Antares, le Sirius fournit des informations pachymétriques, d'élévations, de courbure et de puissances réfractives sur un diamètre de 12 mm. Associées aux différentes cartes cornéennes, ces informations permettent aux chirurgiens d'optimiser la programmation de leur chirurgie réfractive topoguidée [5] et d'assurer un suivi fiable.

Le dossier – Les nouvelles explorations en segment antérieur

Le topographe permet aussi de visualiser des segments d'anneaux intracornéens, ce qui pourrait orienter le choix de longueur et d'épaisseur ainsi que de la position de ses dispositifs dans la prise en charge de certaines formes du kératocône [6]. L'analyse aberrométrique permet une visualisation complète des aberrations cornéennes. Il est possible de dissocier les aberrations antérieures et postérieures en fonction de différentes tailles pupillaires [7, 8]. Les cartes OPD/WTF ainsi que les simulations visuelles (PSF, MTF, Optotype) permettent une analyse approfondie des problèmes visuels.

Il fournit une mesure du diamètre pupillaire en conditions scotopiques (0,04 lx), mésopiques (4 lx), photopiques (50 lx) et dynamiques. En effet, la connaissance du centre et du diamètre de la pupille est essentielle dans certaines procédures cliniques cherchant à optimiser la qualité de vision (*fig. 4*).

Le deuxième appareil est le Pentacam AXL. Outre la tomographie du segment antérieur, il intègre la mesure de la longueur axiale qui permet de calculer les lentilles intraoculaires [9]. Muni du logiciel Indices, il permet le dépistage rapide et l'affichage du grade de la cataracte préopératoire. La mesure de la longueur axiale et le scan 3D sont effectués simultanément et sur le même axe, le patient n'a pas besoin de se déplacer.

Le Galilei G6 est un autre outil de diagnostic qui permet une topographie HD, une tomographie du segment antérieur et une biométrie optique. Il utilise la technologie Dual Scheimpflug et offre une mesure de la puissance cornéenne, de pachymétrie et de carte d'élévation postérieure en haute définition. Le calcul d'implant est possible grâce à la combinaison du Dual Scheimpflug, des données Placido et de la longueur axiale. Le calcul est fait en prenant en compte les données d'épaisseur du cristallin, la puissance cornéenne totale, l'astigmatisme et les aberrations de haut degré [10, 11]. Lors des mesures, il permet une compensation

des mouvements basés sur l'iris. Ainsi, la mesure des valeurs pachymétriques et d'élévation est réalisée indépendamment de l'alignement (*fig. 5*). Le TMS-5 est un topographe à caméra Scheimpflug et Placido. Il permet une analyse de la face antérieure et postérieure de la cornée avec une mesure



Fig. 4: Six cartes topographiques fournies par Sirius.



Fig. 5: Combinaison du Dual Scheimpflug et des données Placido.

ultra-rapide en moins de 0,5 s sur un diamètre de 14 mm [12]. Il est muni de modules de détection des ectasies cornéennes par Scheimpflug et de détection des kératocônes par Placido. En combinant les deux méthodes de mesure, le TMS-5 fournit des résultats aussi bien en topographie d'élévation qu'en topographie de courbure.

Les topographes de dernière génération incluant un OCT de segment antérieur

Ils sont au nombre de trois : le Casia-2 de Tomey, l'Anterion de Heidelberg Engineering et le MS-39 de CSO.

L'OCT swept source 3D Casia-2 de Tomey possède un système qui intègre toutes les fonctions nécessaires à l'analyse du segment antérieur [13, 14]. En plus de l'analyse de la face antérieure et postérieure de la cornée, cet appareil mesure 5 paramètres du cristallin permettant une meilleure prédiction des résultats postopératoires. Il détecte automatiquement les angles iridocornéens sur 360°. Les images OCT de segment antérieur permettent une visualisation des détails anatomiques. Un logiciel d'analyse de progression permet de visualiser l'évolution d'une pathologie cornéenne et la détection précoce des ectasies cornéennes (fig. 6).

L'Anterion de chez Heidelberg Engineering est un OCT swept source dédié et optimisé pour réaliser l'ensemble des examens du segment antérieur demandés en ophtalmologie. Il permet de combiner la topographie cornéenne, la biométrie du segment antérieur, la biométrie du cristallin ainsi que l'imagerie haute définition du segment antérieur [15]. L'examen de la cornée permet la réalisation de tous les mapping cornéens nécessaires : courbure axiale, antérieure et postérieure, tangentielle, puissance cornéenne et pachymétrie. Le contrôle des images s'effectue grâce à la visualisation du scan OCT swept source et de l'image de l'œil. Les paramètres mesurés avec le module biométrie du segment antérieur comprennent la profondeur et le volume de la chambre antérieure, l'ouverture des angles iridocornéens et l'épaisseur de la lentille (*fig. 7*). Le module polyvalent d'imagerie du segment antérieur permet de visualiser différentes pathologies cornéennes [16].

Le MS-39 est une évolution de la technologie Scheimpflug, disposant à la fois de l'analyse de la topographie, des disques de Placido et d'un OCT de



Fig. 6: Topographie de cornée et mesures biométriques du cristallin.



Fig. 7: Combinaison de topographie cornéenne et biométrie du segment antérieur.

Le dossier – Les nouvelles explorations en segment antérieur

Tableau I.

Mesure de la longueure axiale	Meibographie	Aide aux calculs IOLs	Aberrométrie cornéenne	Dépistage du kératocône	Pupillographie	Temps d'acquisition	Points de mesure	Anneaux Placido	Précision		de courbure	Plage de mesure pou ravon	Largeur de couverture	Méthode de mesur	Modèle	Compagnie
Non	Non	Oui		Oui		0,5 s	63 488 par les disques et 40 960 maximum par la Scheimpflug	31	± 0,02 mm			-	5,5 à 10 mm pour les disques et 13,6 mm par la caméra Scheimpflug	Disque Placido et caméra Scheimpflug	TMS-5	Tor
Non	Non	0 Li	Non	O ui	Non	De 0,3 à 2,4 s		,	Transversale : 30 µm	Axiale : 10 µm			16 mm	OCT swept source	Casia-2	ney
O _{ui}	Non	Oui (formule Haigis- Holladay I-Hoffer Q-SRK II-SRK/T)	Oui – Ray Tracing	Non	Oui	60 images/s		20	5 µm		4,5 à 13,5 mm (25 à 75 D)			Combinaison de A-Scan optique + caméra Dual Scheimpflug + Placido	Galilei	Ziemer
Non	Non	Qui	Oui	Oui	Non	50 images/s		/	± 0,1 D		0 6 6 - 6	3-38 mm		Caméra Scheimpflug	Pentacam AXL	Oculus
Non	Oui	O ui	Oui – Ray Tracing	Oui	Oui		21 632 (face avant) / 16 000 (face arrière)	22	± 0,25 D		1 à 100 D		12 mm	Disque Placido et caméra Scheimpflug	Sirius	Ω
Non	Non	Oui	Oui – Ray Tracing	Oui	Oui		31 232 (face avant) / 25 600 (face arrière)	22	Transversale : 35 μm	Axiale : 3,6 µm	1 à 100 D		16 x 8 mm	OCT-AS + disque Placido	MS-39	50
Oui	Non	0 ui	Oui	Oui	Oui			1						OCT swept source	Anterion	Heidelberg Eng.



Fig. 8: Cartographie épithéliale cornéenne.

segment antérieur. La reconstruction topographique par OCT, contrairement à ce qui arrive avec le Scheimpflug, n'est pas affectée par les artéfacts et permet une mesure précise de la surface postérieure, même en présence d'une opacité cornéenne [17]. Ce dispositif fournit des données pachymétriques, d'élévation, de courbure, de puissances réfringentes de la face antérieure mais aussi postérieure de la cornée sur une zone de 10 mm de diamètre ainsi qu'une carte de l'épithélium cornéen (fig. 8). L'analyse à 360° du segment antérieur met à disposition toutes les applications utiles dans la chirurgie réfractive et de cataracte mais aussi d'autres données nécessaires pour tous types de chirurgie cornéenne (opacité, déformation). Le module de calcul d'implants aphaques est basé sur le ray-tracing, indépendamment de l'état cornéen, ce qui permet le calcul de la toricité et sphéricité d'une lentille intraoculaire.

La grande différence des trois réside dans le type d'OCT [18-20]: *swept source* pour le Casia-2 et l'Anterion, et *spectral domain* pour le MS-39. Seul le MS-39 a gardé la technologie Placido, garantissant la fiabilité de la topographie d'élévation. Le Casia-2 et le MS-39 permettent le *mapping* épithélial. Il semble que Heidelberg Engineering est en train de le développer pour l'Anterion.

Conclusion

Les topographes d'élévation antéropostérieure et les topographes de dernière génération incluant un OCT de segment antérieur sont les plus utilisés et fournissent des informations de plus en plus utiles pour le dépistage, le diagnostic, le suivi et la prise en charge chirurgicale du segment antérieur (*tableau I*). Par ailleurs, le Topolyzer VARIO est une version du Keratograph d'Oculus totalement dédiée au traitement topoguidé par laser excimer WaveLight d'Alcon [19], de même que le Schwind Sirius pour le laser excimer Schwind [20].

BIBLIOGRAPHIE

- KIM J, KIM JY, SEO KY *et al.* Location and pattern of non-invasive keratographic tear film break-up according to dry eye disease subtypes. *Acta Ophthalmol*, 2019;97:e1089-e1097.
- 2. GARCÍA-MONTERO M, RICO-DEL-VIEJO L, LORENTE-VELÁZQUEZ A *et al.* Repeatability of noninvasive Keratograph 5M measurements associated with contact lens wear. *Eye Contact Lens*, 2019;45: 377-381.
- 3. ORTIZ-TOQUERO S, RODRIGUEZ G, DE JUAN V et al. Repeatability of placido-based corneal topography in keratoconus. *Optom Vis Sci*, 2014;91:1467-1473.
- 4. FERREIRA-MENDES J, LOPES BT, FARIA-CORREIA F *et al.* Enhanced ectasia detection using corneal tomography

and biomechanics. *Am J Ophthalmol*, 2019;197:7-16.

- 5. LIN DTC, HOLLAND SP, VERMA S et al. Postoperative corneal asphericity in low, moderate, and high myopic eyes after transepithelial PRK using a new pulse allocation. J Refract Surg, 2017;33:820-826.
- 6. VEGA-ESTRADA A, CHORRO E, SEWELAM A *et al.* Clinical outcomes of a new asymmetric intracorneal ring segment for the treatment of keratoconus. *Cornea*, 2019;38:1228-1232.
- 7. ANBAR M, MOHAMED MOSTAFA E, ELHAWARY AM *et al.* Evaluation of corneal higher-order aberrations by Scheimpflug-Placido topography in patients with different refractive errors: a retrospective observational study. *J Ophthalmol*, 2019;2019:5640356.
- ZHANG Y, CHEN YG, YANG HY et al. Analysis on the role of Sirius combined topography and tomography system in screening for suspect keratoconus. *Zhonghua Yan Ke Za Zhi*, 2018;54: 33-38.
- ALMORÍN-FERNÁNDEZ-VIGO I, SÁNCHEZ-GUILLÉN I, FERNÁNDEZ-VIGO JI et al. Normative Pentacam anterior and posterior corneal elevation measurements: effects of age, sex, axial length and white-to-white. Int Ophthalmol, 2019;39:1955-1963.
- 10. BESSA NM, SOUZA RA, SANTHIAGO MR et al. Dual Scheimpflug imaging as a screening method for occludable angles-a comparison with gonioscopy. Int J Ophthalmol, 2019;12:241-245.
- 11. MOSHIRFAR M, MOTLAGH MN, MURRI MS et al. Galilei corneal tomography for screening of refractive surgery candidates: a review of the literature, part II. Med Hypothesis Discov Innov Ophthalmol, 2019;8:204-218.
- 12. BAO F, SAVINI G, SHU B *et al.* Repeatability, reproducibility, and agreement of two Scheimpflug-Placido anterior corneal analyzers for posterior corneal surface measurement. *J Refract Surg*, 2017;33:524-530.
- 13. FUKUDA S, UENO Y, FUJITA A *et al.* Comparison of anterior segment and lens biometric measurements in patients with cataract. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2019 [Epub ahead of print].
- 14. KAMIYA K, AYATSUKA Y, KATO Y et al. Keratoconus detection using deep learning of colour-coded maps with anterior segment optical coherence tomography: a diagnostic accuracy study. BMJ Open, 2019;9:e031313.

- 15. LOPES FS, MATSUBARA I, ALMEIDA I *et al.* Structure-function relationships in glaucoma using enhanced depth imaging optical coherence tomography-derived parameters: a cross-sectional observational study. *BMC Ophthalmol*, 2019;19:52.
- 16. GIERS BC, TANDOGAN T, AUFFARTH GU et al. Hydrophilic intraocular lens opacification after posterior lamellar keratoplasty
 a material analysis with special reference to optical quality assessment. BMC Ophthalmol, 2017;17:150.
- 17. VEGA-ESTRADA A, MIMOUNI M, ESPLA E *et al.* Corneal epithelial thickness intrasubject repeatability and its relation with visual limitation in keratoconus. *Am J Ophthalmol*, 2019;200:255-262.
- 18. JUNG S, CHIN HS, KIM NR *et al.* Comparison of repeatability and agreement between swept-source optical biometry and Dual-Scheimpflug topography. *J Ophthalmol*, 2017;2017:1516395.
- OZULKEN K, YUKSEL E, TEKIN K et al. Comparison of wavefront-optimized ablation and topography-guided contoura ablation with LYRA protocol in LASIK. J Refract Surg, 2019;35:222-229.
- 20. LIN DTC, HOLLAND SP, VERMA S *et al.* Postoperative corneal asphericity in low, moderate, and high myopic eyes after transepithelial PRK using a new pulse allocation. *J Refract Surg*, 2017;33:820-826.

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