Le dossier – Les nouvelles explorations en segment antérieur

Actualités en OCT de segment antérieur

RÉSUMÉ : Les perfectionnements permanents des technologies font une place croissante à l'imagerie dans l'analyse du segment antérieur. L'OCT de segment antérieur (OCT-SA) a l'avantage d'être un examen non invasif, avec une bonne pénétration tissulaire, une excellente résolution axiale et un large champ d'examen. Les applications cliniques sont variées, l'OCT-SA présentant un intérêt aussi bien pour le diagnostic et le suivi que pour la thérapeutique.
L'OCT-SA a ainsi sa place dans le domaine des pathologies de la surface oculaire et cornéennes, du glaucome, de la chirurgie réfractive, de l'analyse des implants intraoculaires, de la biométrie ainsi que des pathologies tumorales.

V. CAILLAUX
Centre Explore Vision,
PARIS et RUEIL-MALMAISON,
Hôpital Lariboisière, PARIS.

L'*optical coherence tomography* (OCT), apparu il y a déjà plus de 25 ans, a révolutionné l'imagerie ophtalmologique. Après un développement initial principalement centré sur l'étude des pathologies rétiniennes maculaires et du glaucome (fibres optiques), l'OCT est aussi devenu un examen précieux pour l'analyse fine du segment antérieur, de la cornée, du cristallin et de l'angle iridocornéen [1, 2]. L'OCT de segment antérieur (OCT-SA) a l'avantage d'être un examen non invasif (non contact) et d'acquisition rapide permettant d'obtenir des mesures fiables et reproductibles. Les appareils sont compacts, intuitifs, faciles d'utilisation et délégables.

Les appareils disponibles

De nombreux appareils sont aujourd'hui disponibles pour explorer le segment antérieur en OCT, avec des évolutions technologiques permanentes permettant d'améliorer constamment la résolution des images, la profondeur de champ et la rapidité d'acquisition. La plupart des appareils de segment postérieur ont un module permettant de voir le segment antérieur : une lentille amovible est additionnée pour la focalisation sur le segment antérieur. À l'heure actuelle, seuls les appareils entièrement dédiés au segment antérieur peuvent donner une image en coupe de tout le segment antérieur.

L'OCT Visante (Carl Zeiss Meditec), commercialisé de 2005 à 2015, a été le premier appareil d'OCT entièrement dédié au segment antérieur et à l'analyse de l'angle iridocornéen. Il utilise une technologie *time domain* (TD) et un laser diode avec une longueur d'onde de 1 310 nm.

La technologie TD a été remplacée par le *spectral domain* (SD), de longueur d'onde allant de 830 à 880 nm, qui permet d'augmenter largement la vitesse d'acquisition et la résolution spatiale des images. La plupart des OCT-SD sont dédiés au segment postérieur et possèdent une lentille amovible permettant l'analyse complémentaire du segment antérieur : Spectralis OCT2 (Heidelberg Engineering), RS-3000 Advance (Nidek), Cirrus HD-OCT 5000 (Carl Zeiss Meditec), RTVue Avanti/Angiovue (Optovue), HS-100 (Canon), Revo NX (Optopol). Le MS-39 (CSO) est un OCT-SD uniquement dédié au segment antérieur, avec un champ d'examen augmenté à 16 mm permettant de visualiser la totalité du segment antérieur sur une même coupe. La résolution axiale est

Le dossier – Les nouvelles explorations en segment antérieur

excellente (3,5 µm) mais la pénétration tissulaire reste limitée.

Les nouveaux appareils qui fonctionnent en mode *swept source* (SS), avec un laser de 1 050 à 1 310 nm, ont l'avantage d'avoir une forte pénétration tissulaire (jusqu'à 13 mm de profondeur) avec une faible dispersion dans la sclère, une vitesse d'acquisition et de reconstruction très élevée, combinées à un large champ d'analyse avec des coupes de 16 mm de largeur, permettant d'obtenir des images en haute définition de tout le segment antérieur. La résolution axiale, de l'ordre de 10 µm, est néanmoins inférieure à celle des appareils SD. Le Casia-2 (Tomey) et l'Anterion (Heidelberg Engineering) sont des appareils SS dédiés au segment antérieur (***fig. 1***). L'OCT SS Triton (Topcon) est un appareil de segment postérieur permettant d'imager le segment antérieur grâce à une lentille amovible.

Cette pénétration améliorée est néanmoins limitée au niveau des tissus les plus pigmentés ou opaques, comme l'iris et la sclère, où l'absorption de la lumière ne permet pas d'obtenir une image en OCT. L'examen échographique de très haute fréquence (UBM) a une résolution inférieure à celle des appareils d'OCT. Il a en revanche un très haut pouvoir de pénétration tissulaire à travers des tissus opaques et conserve ainsi une place indispensable dans certaines indications. L'UBM reste la seule technique d'imagerie capable de visualiser les structures en arrière de l'iris et de la sclère (procès ciliaires, sulcus ciliaire, tumeurs, implants intraoculaires, etc.).

L'OCT-SA a également une place au bloc opératoire. Il peut être intégré aux machines réalisant la chirurgie réfractive (laser femtoseconde) pour visualiser la progression des découpes cornéennes. Certains lasers utilisés pour la femtocataracte ont également un module d'imagerie OCT pour positionner les incisions. Plus récemment, l'OCT a été intégré au microscope opératoire, apportant une assistance peropératoire pour le chirurgien, particulièrement utile pour les cornéoplasties [3]. Il donne en temps réel des informations pertinentes pour les décisions chirurgicales, améliorant la précision et la sécurité des gestes.

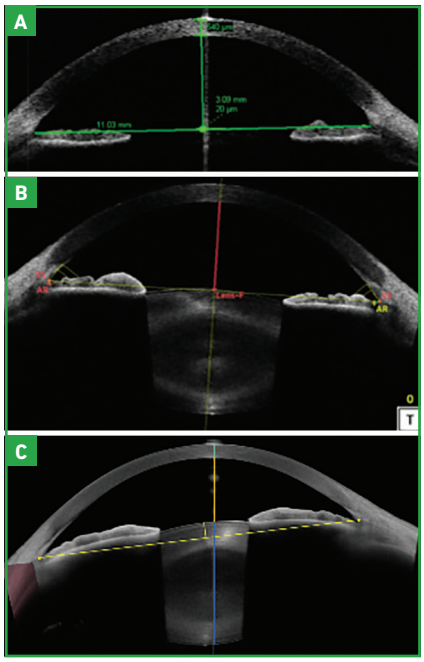

Fig. 1 : Coupe axiale du segment antérieur avec différents appareils d'OCT-SA. **A :** OCT Visante, Zeiss. **B :** Casia-2, Tomey. **C :** Anterion, Heidelberg Engineering. Notez la meilleure pénétration tissulaire avec les appareils *swept source* (**B et C**), permettant de visualiser toute l'épaisseur du cristallin.

Les appareils d'OCT-SA évoluent de plus en plus vers des plateformes multimodales, permettant non seulement d'effectuer un examen OCT du segment antérieur avec des mesures quantitatives diverses mais également d'autres explorations du segment antérieur, telles que la topographie cornéenne avec des cartes de courbure antérieure et postérieure de la cornée, kératométriques et pachymétriques (Casia-2 Tomey, Anterion Heidelberg Engineering, MS-39 CSO, HP-OCT Cylite) et la mesure de la longueur axiale (Anterion Heidelberg Engineering, HP-OCT Cylite). Il peut ainsi être réalisé une biométrie complète avec calcul d'implant intraoculaire avant chirurgie du cristallin.

Champs d'application de l'OCT de segment antérieur

1. Cornée

Grâce à l'excellente visualisation en coupe de la cornée, avec identification des différentes interfaces, l'OCT-SA est devenu un examen de routine pour les dystrophies cornéennes : dystrophies épithéliales, sous-épithéliales, stromales et endothéliales [4, 5]. L'OCT-SA permet de localiser précisément l'atteinte et de déterminer le stade de gravité (***fig. 2***).

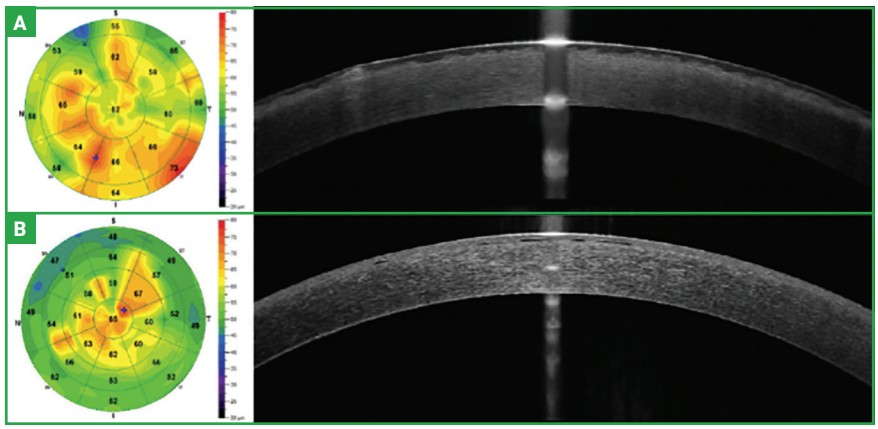

Fig. 2 : OCT de la cornée (Angiovue). **À gauche :** cartographies épithéliales ; **à droite :** images en coupes. **A :** dystrophie de Reis-Bücklers, épithélium très irrégulier avec dépôts hyperréflectifs sous-épithéliaux continus et crénelés. **B :** dystrophie de la membrane basale épithéliale (de Cogan), épithélium d'épaisseur irrégulière avec des espaces hyporéflectifs multiples et focaux entre l'épithélium et le stroma.

Dans le cadre des kératites (inflammatoires, infectieuses, neurotrophiques, traumatiques), l'OCT-SA permet d'imager le remodelage de la cornée (amincissement stromal, fibrose, épaississement, ulcère) et d'analyser les conséquences réfractives en résultant (aberrations optiques). Il permet également d'évaluer l'activité infectieuse ou inflammatoire (infiltrats, néovaisseaux). En cas de taie cornéenne, la profondeur et l'épaisseur de l'opacité stromale pourront être mesurées afin de guider la prise en charge thérapeutique (photokératectomie thérapeutique au laser excimer, kératoplastie lamellaire antérieure profonde ou encore kératoplastie transfixiante).

En chirurgie réfractive cornéenne, la visualisation de l'interface entre un capot de Lasik et le stroma sous-jacent permet d'obtenir des mesures précises du mur postérieur avant une éventuelle reprise chirurgicale. Les complications postopératoires peuvent aussi être analysées en OCT-SA : *haze* post-PKR, SOS syndrome, invasion épithéliale, traumatisme du volet…

En postopératoire de greffes de cornée, l'OCT-SA permet de détecter des complications précoces : détachement du greffon endothélial, défaut d'affrontement entre le greffon et la cornée receveuse, défaut d'adhérence entre un greffon lamellaire antérieur et la couche endothélio-descemétique du receveur [6]. L'OCT-SA est particulièrement utile en cas de trouble des milieux transparents (œdème cornéen) empêchant une bonne analyse clinique.

2. Glaucome

Le glaucome est un champ d'application très vaste pour l'OCT-SA. Outre l'analyse fine des angles iridocornéens étroits, il a également une place dans le suivi de la chirurgie filtrante, après traitements par laser ou encore dans certains glaucomes à angle ouvert.

Une des premières applications de l'OCT-SA dans le glaucome a été l'analyse de l'angle iridocornéen [7]. L'OCT-SA apporte des informations morphologiques sur le degré d'ouverture de l'angle, la position de l'iris, l'existence de synéchies et également des données biométriques (telles que la mesure de la profondeur de la chambre antérieure et de la flèche cristallinienne) pouvant guider la prise en charge dans les angles étroits ou fermés (***fig. 3 et 4***).

Il faut garder à l'esprit que la lumière émise par le faisceau infrarouge de l'OCT, bien que faible, ne permet pas d'obtenir une mydriase physiologique complète. De ce fait, il n'est pas rare que l'angle apparaisse plus fermé en UBM, réalisée en milieu scotopique sans source lumineuse parasite, qu'en OCT-SA. De plus, la visualisation des procès ciliaires, à la recherche notamment d'un iris plateau responsable de la fermeture d'un angle, ne pourra se faire qu'en UBM.

Après iridotomie périphérique au laser, l'OCT-SA permet d'imager l'iridotomie et de s'assurer de son caractère transfixiant et fonctionnel (disparition de la composante de blocage pupillaire avec disparition du bombement de l'iris vers l'avant). Elle permet de juger de l'efficacité du laser en évaluant la réouverture de l'angle (***fig. 5***).

Après chirurgie filtrante, l'OCT-SA permet de visualiser la bulle de filtration sous-conjonctivale. Les bulles fonctionnelles sont habituellement diffuses et microkystiques, avec une paroi faiblement réflective et de nombreux espaces hyporéflectifs dans la conjonctive

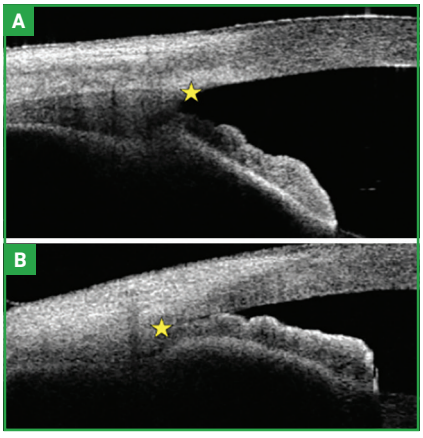

Fig. 3 : Analyse de l'angle iridocornéen en OCT-SA. L'**étoile jaune** localise l'éperon scléral. **A :** angle ouvert. **B :** angle fermé avec contact iridotrabéculaire.

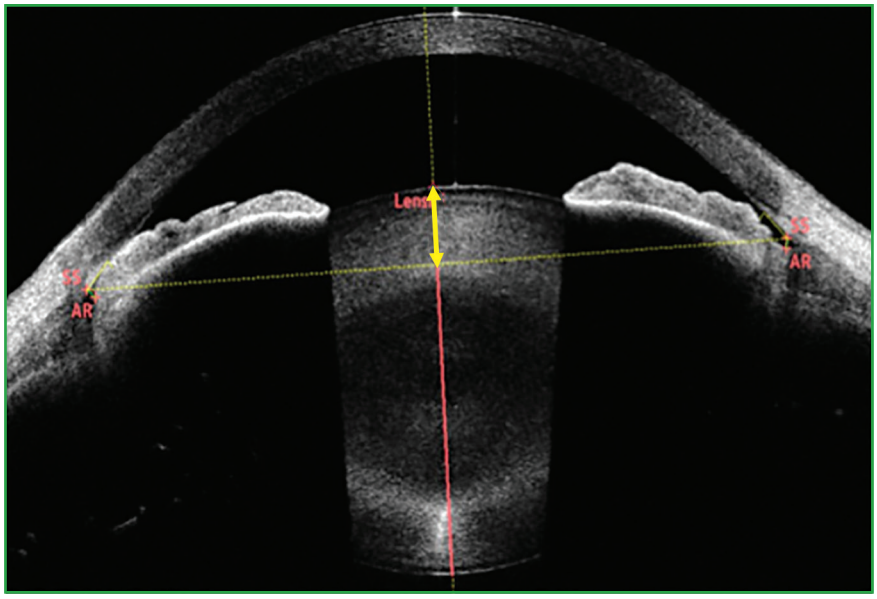

Fig. 4 : Coupe axiale du segment antérieure en OCT-SA Casia-2. Facteur cristallinien (**flèche jaune**) très marqué, associé à un bombement de l'iris vers l'avant avec fermeture de l'angle iridocornéen.

Le dossier – Les nouvelles explorations en segment antérieur

traduisant le passage intratissulaire de l'humeur aqueuse [8]. La présence d'un espace hyporéflectif sous le volet scléral confirme la présence d'un espace de décompression. À l'inverse, les bulles non fonctionnelles sont plates, encapsulées avec un tissu conjonctival hyperréflectif.

Dans les syndromes de dispersion pigmentaire et glaucomes pigmentaires, l'OCT-SA recherche une inversion de la courbure de l'iris, avec une concavité postérieure traduisant un blocage pupillaire inverse [9]. Une telle confirmation morphologique orientera la décision d'effectuer une iridotomie.

3. Cristallin

Les appareils les plus récents en mode *swept source* permettent d'imager le cristallin dans sa totalité jusqu'à la cristalloïde postérieure. Des mesures fiables peuvent être réalisées telles que l'épaisseur du cristallin, la flèche cristallinienne, les rayons de courbure du cristallin. La position anatomique du cristallin peut être étudiée, pouvant mettre en évidence une subluxation.

La visualisation du cristallin n'est possible qu'en regard de l'aire pupillaire (la portion localisée en arrière de l'iris étant masquée). L'examen de l'équateur et des fibres zonulaires n'est donc pas possible en OCT-SA.

4. Implants

Sur un œil opéré de cataracte, l'OCT-SA permet d'imager l'implant de chambre postérieure. Le centrage de l'implant par rapport à la pupille peut être apprécié. En cas de subluxation de l'implant, on recherchera une obliquité de l'optique par rapport à l'axe du segment antérieur et éventuellement une indentation irienne localisée (***fig. 6A***). Les parties de l'implant localisées en arrière de l'iris ne sont pas directement visibles. Ainsi, seule l'échographie par UBM permettra d'analyser les haptiques, leur position dans le sulcus ciliaire et leur éventuelle interaction avec les procès ciliaires ou la face postérieure de l'iris [10].

La capsule postérieure du cristallin peut être imagée, avec mise en évidence d'une opacification postérieure. Cette approche complète les données de l'examen clinique à la lampe à fente, avec des renseignements plus précis sur l'épaisseur et la nature de l'opacification.

L'OCT-SA apporte des renseignements très utiles dans le bilan préopératoire des implants phaques, en mesurant avec grande précision le diamètre interne de la chambre antérieure. Les implants phaques de chambre antérieure peuvent être visualisés entièrement en OCT-SA (***fig. 6B***). La mesure de la distance de sécurité entre la face antérieure de l'optique et l'endothélium cornéen est très utile dans le suivi postopératoire et permet d'évaluer le risque endothélio-cornéen [11].

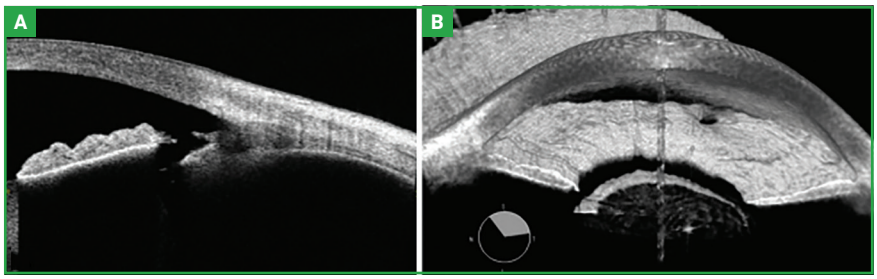

Fig. 5 : Iridotomie périphérique transfixiante en OCT-SA Casia-2. **A :** coupe radiaire. **B :** reconstruction en 3D de la chambre antérieure.

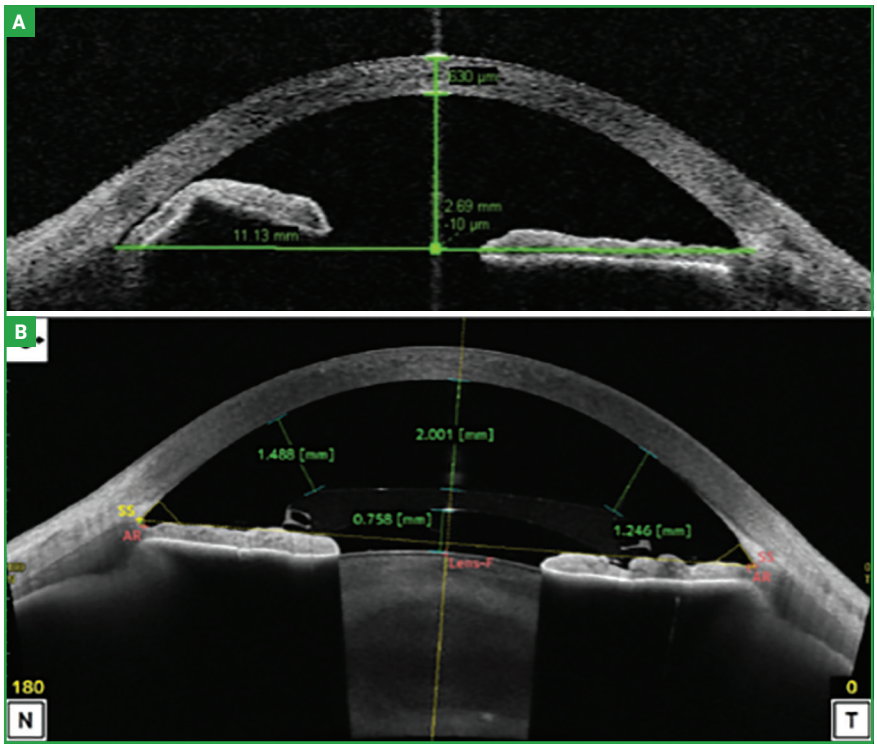

Fig. 6 : Implants intraoculaires. **A :** décentrement d'un implant de chambre postérieure en OCT Visante. On note une indentation irienne, responsable d'une fermeture localisée de l'angle iridocornéen. L'implant n'est pas visible en arrière de l'iris. **B :** OCT-SA Casia-2 montrant un implant phaque de chambre antérieure clippé à l'iris avec mesure des distances de sécurité entre les bords de l'implant et l'endothélium cornéen.

Les implants phaques de chambre postérieure ne sont visibles en OCT-SA qu'en regard de l'aire pupillaire. La distance entre la face postérieure de l'implant et la cristalloïde antérieure peut être appréciée. Cette distance se réduit avec l'épaississement progressif du cristallin et sa surveillance permettra de proposer un retrait en cas de risque de cataracte.

5. Tumeurs

L'OCT-SA peut visualiser certaines lésions tumorales superficielles. Les nævi iriens et conjonctivaux apparaissent sous la forme d'une hyperréflectivité bien délimitée. Des tumeurs malignes de l'iris (mélanome, métastase) sont responsables d'un épaississement irien plus marqué, avec des contours plus irréguliers. Les limites postérieures de la lésion ne sont parfois pas visibles en cas de tumeur très épaisse ou de forte pigmentation (***fig. 7***).

Une tumeur rétro-irienne sera habituellement non visible en OCT-SA, masquée par l'absorption du faisceau infrarouge par la pigmentation irienne. Des signes indirects peuvent néanmoins alerter, telle qu'une voussure localisée de l'iris ou une modification de réflectivité irienne. Les kystes iridociliaires sont fréquents et peuvent induire une fermeture localisée de l'angle iridocornéen (***fig. 8***). Certaines tumeurs malignes iridociliaires peuvent cependant avoir une présentation identique en OCT-SA, imposant de réaliser une UBM au moindre doute.

Place de l'OCT-angiographie dans l'exploration du segment antérieur

Après son développement pour la rétine et la choroïde, l'OCT-angiographie (OCT-A) apparaît comme une nouvelle technique prometteuse pour la cornée et la surface oculaire [12]. Son apport est en plein développement et des améliorations sont encore nécessaires, toutefois des applications cliniques émergent.

L'OCT-A peut ainsi être utilisé pour analyser une néovascularisation cornéenne compliquant une kératite infectieuse ou neurotrophique, un rejet de greffe de cornée. Il permet une meilleure visualisation des néovaisseaux profonds, notamment en cas de perte de

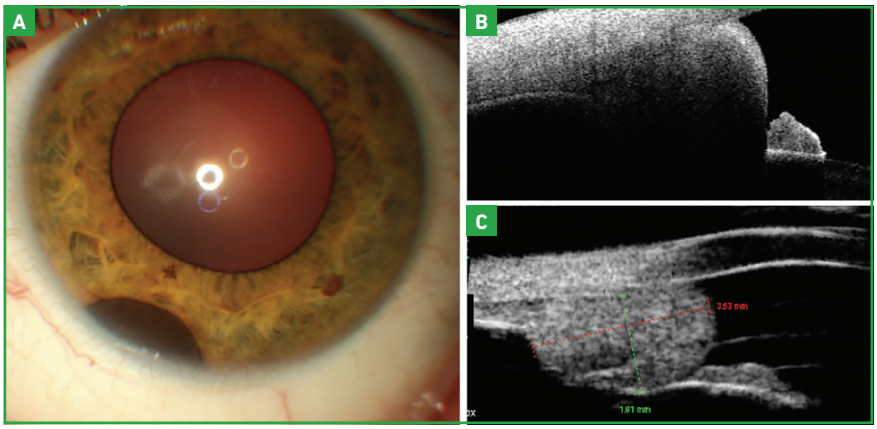

Fig. 7A : Cliché couleur d'une lésion pigmentée de l'angle iridocornéen en inféronasal. **B :** l'OCT-SA Casia-2 met en évidence une lésion hyperréflective tissulaire comblant l'angle iridocornéen. La pigmentation de la lésion entraîne une forte atténuation du signal avec ombrage postérieur. **C :** En UBM, la tumeur iridociliaire est visible dans sa globalité, avec des limites postérieures bien identifiables et dont l'aspect est évocateur d'adénome irien.

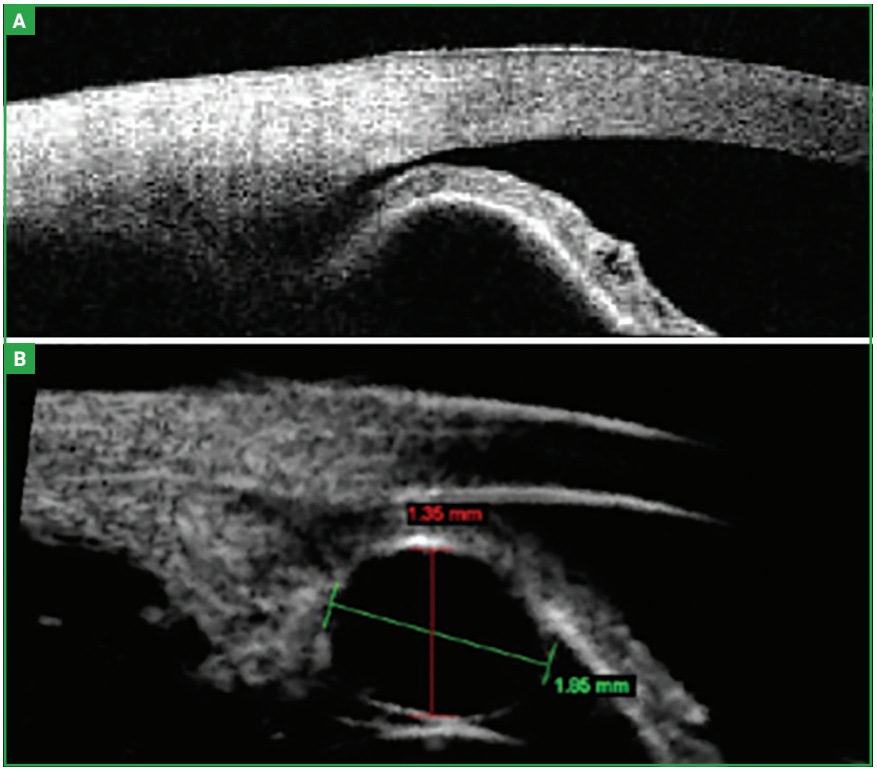

Fig. 8 : Kyste iridociliaire : comparaison OCT-SA Casia-2 (**A**) et échographie UBM (**B**). En OCT-SA, le kyste est suspecté devant une voussure irienne antérieure. En UBM, le diagnostic est confirmé par la visualisation complète de la lésion kystique rétro-irienne.

Le dossier – Les nouvelles explorations en segment antérieur

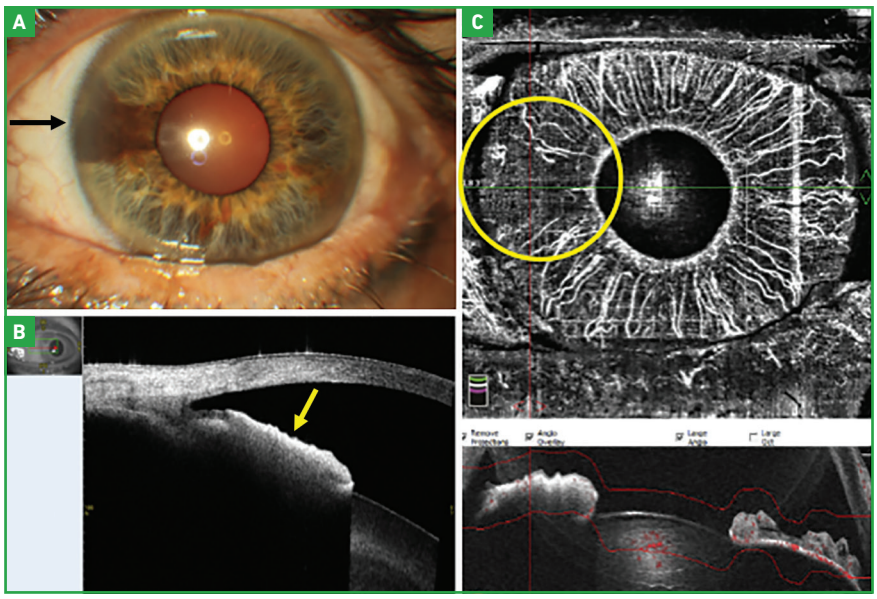

Fig. 9 : Nævus irien. **A :** cliché couleur du segment antérieur montrant une pigmentation irienne en nasal. **B :** coupe OCT-SA Casia-2 montrant une hyperréflectivité irienne avec ombrage postérieur. **C :** OCT-A Angiovue de l'iris montrant l'absence de flux au niveau du nævus en nasal.

transparence stromale masquant les néovaisseaux.

L'OCT-A peut aussi être utilisé pour imager le réseau vasculaire conjonctival, notamment en cas de tumeur, d'inflammation conjonctivale ou après chirurgie de glaucome (bulle de filtration).

L'analyse de l'iris en OCT-A permet de visualiser une rubéose irienne à un stade plus précoce qu'à l'examen clinique à la lampe à fente [13]. La vascularisation au sein d'une lésion tumorale irienne, telle qu'un hémangiome, un mélanome ou un nævus, peut aussi être imagée (***fig. 9***). L'analyse morphologique de la vascularisation ainsi que les mesures de la densité vasculaire pourraient être un outil supplémentaire pour l'orientation diagnostique et le suivi.

Conclusion

Les champs d'application de l'OCT pour le segment antérieur sont très variés. Il a un intérêt aussi bien pour le diagnostic que pour la thérapeutique et le suivi.

Les améliorations technologiques constantes permettent aujourd'hui d'avoir des images de très haute qualité, avec une bonne pénétration tissulaire, une excellente résolution axiale, un grand champ d'examen, couplés à une rapidité d'acquisition. Des perfectionnements sont encore nécessaires sur le plan technologique, notamment en OCT-A. La poursuite de la recherche sur les applications cliniques est également fondamentale pour optimiser l'utilisation des appareils et révéler tout leur potentiel.

BIBLIOGRAPHIE

1. Swanson EA, Izatt JA, Hee MR *et al.* In vivo retinal imaging by optical coherence tomography. *Opt Lett*, 1993;18:1864-1866.
2. Radhakrishnan S, Rollins AM, Roth JE *et al.* Real-time optical coherence tomography of the anterior segment at 1310 nm. *Arch Ophthalmol*, 2001;119:1179-1185.
3. Hallahan KM, Cost B, Goshe JM *et al.* Intraoperative interface fluid dynamics and clinical outcomes for intra-operative optical coherence tomography-assisted descemet stripping automated endothelial keratoplasty from the PIONEER study. *Am J Ophthalmol*, 2017;173:16-22.
4. El Sanharawi M, Sandali O, Basli E *et al.* Fourier-domain optical coherence tomography imaging in corneal epithelial basement membrane dystrophy: a structural analysis. *Am J Ophthalmol*, 2015;159:755-763.
5. Zhou W, Stojanovic A. Comparison of corneal epithelial and stromal thickness distributions between eyes with keratoconus and healthy eyes with corneal astigmatism ≥ 2.0 D. *PLoS One*, 2014;9:e85994.
6. Nesi TT, Leite DA, Rocha FM *et al.* Indications of optical coherence tomography in keratoplasties: literature review. *J Ophthalmol*, 2012;2012:989063.
7. Fénolland JR, Puech M, Baudouin C *et al.* [Imaging of the iridocorneal angle in glaucoma]. *J Fr Ophtalmol*, 2013;36:378-383.
8. Mastropasqua R, Fasanella V, Agnifili L *et al.* Anterior segment optical coherence tomography imaging of conjunctival filtering blebs after glaucoma surgery. *Biomed Res Int*, 2014;2014:610623.
9. Aptel F, Beccat S, Fortoul V *et al.* Biometric analysis of pigment dispersion syndrome using anterior segment optical coherence tomography. *Ophthalmology*, 2011;118:1563-1570.
10. Kumar DA, Agarwal A, Packialakshmi S *et al.* In vivo analysis of glued intraocular lens position with ultrasound biomicroscopy, *J Cataract Refract Surg*, 2013;39:1017-1022.
11. Ferreira TB, Portelinha J. Endothelial distance after phakic iris-fixated intraocular lens implantation: a new safety reference. *Clin Ophthalmol*, 2014;8:255-261.
12. Ang M, Cai Y, Shahipasand S *et al.* En face optical coherence tomography angiography for corneal neovascularisation. *Br J Ophthalmol*, 2016;100:616-621.
13. Roberts PK, Goldstein DA, Fawzi AA *et al.* Anterior segment optical coherence tomography angiography for identification of iris vasculature and staging of iris neovascularization: a pilot study. *Curr Eye Res*, 2017;42:1136-1142.

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