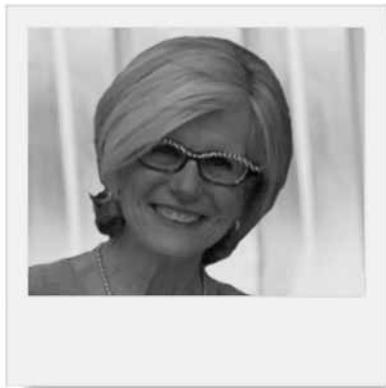


L'imagerie de la choroïde normale et pathologique par la technique d'“Enhanced Depth Imaging OCT”

RÉSUMÉ : L'imagerie choroïdienne en *Enhanced Depth Imaging OCT* (EDI-OCT) est d'utilisation récente. Richard Spaide l'a développée et fait connaître. Son intérêt est considérable. Elle rend possible une analyse in vivo d'excellente qualité de la choroïde. Elle a considérablement amélioré notre connaissance de la structure et de l'épaisseur de la choroïde normale et pathologique. Il faut un appareil OCT avec un *eye-tracking* et un moyennage des images.

L'EDI-OCT nous permet de mieux comprendre les signes cliniques, notamment de la choroïdite séreuse centrale, et nous offre une nouvelle approche diagnostique et thérapeutique. En effet, le suivi thérapeutique de certaines maladies se trouve nettement amélioré par les visualisations directes du tissu oculaire atteint et de sa réponse au traitement. L'obtention de l'image de la choroïde en EDI-OCT doit devenir systématique dans toutes les pathologies impliquant non seulement la choroïde mais aussi la rétine.



→ **M. MAUGET-FAÏSSE,
B. WOLFF**
Centre Ophtalmologique Rabelais,
LYON.
Fondation Ophtalmologique
A. de Rothschild, PARIS.

La choroïde, qui constitue la partie vasculaire de l'œil située entre la sclère et la rétine est restée très longtemps d'exploration difficile du fait de l'écran que représentait l'épithélium pigmentaire.

En effet, la choroïde était seulement explorée par l'angiographie au vert d'indocyanine qui permettait d'en voir la structure mais pas l'épaisseur, et par l'échographie B qui donnait le moyen d'en mesurer l'épaisseur mais sans donner de localisation très précise. L'OCT traditionnel n'était pas d'une qualité suffisante au niveau des couches situées derrière l'épithélium pigmentaire rétinien (EPR) pour en apprécier les détails.

Une technologie récente, non invasive, dérivée de l'OCT, l'EDI-OCT, a révolutionné littéralement notre exploration de la choroïde. Spaide *et al.* [1] ont été les pionniers de cette technique.

L'engouement pour cette méthode d'exploration a été spectaculaire et immédiat. L'EDI-OCT permet enfin une approche quasi histologique de l'anatomie choroïdienne normale et pathologique: la supra-choroïde, la couche des gros vaisseaux de Haller, la couche des moyens vaisseaux de Sattler et enfin la choriocapillaire peuvent être individualisées (**fig. 1**). Nous en sommes toujours à la phase de découverte. De plus, l'analyse de la choroïde en EDI-OCT couplée à l'ICG est très contributive (**fig. 2**).

C'est grâce à un logiciel spécial que les structures profondes, en dessous de l'EPR, qui normalement ne sont pas finement individualisées, sont placées pour être idéalement visibles (l'image avec presque *zero-delay*). L'appareil OCT doit impérativement avoir un système d'*eye-tracking* et la possibilité de faire un moyennage des images pour augmenter la définition des images

REVUES GÉNÉRALES

Imagerie

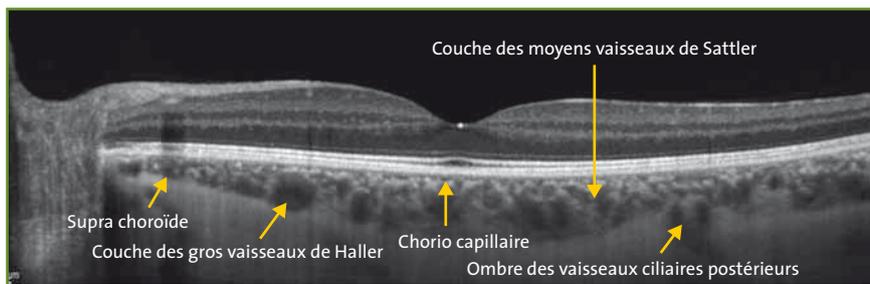


FIG. 1: l'EDI-OCT normal femme 25 ans.



FIG. 2: Cas d'un EDI-OCT dans une épithéliopathie rétinienne diffuse: l'hyperperméabilité choroïdienne (flèches jaunes) est visualisée sous forme d'espaces hyporéfléctifs dans la couche des gros vaisseaux de Haller (flèche blanche) et des moyens vaisseaux de Sattler (flèches rouges).

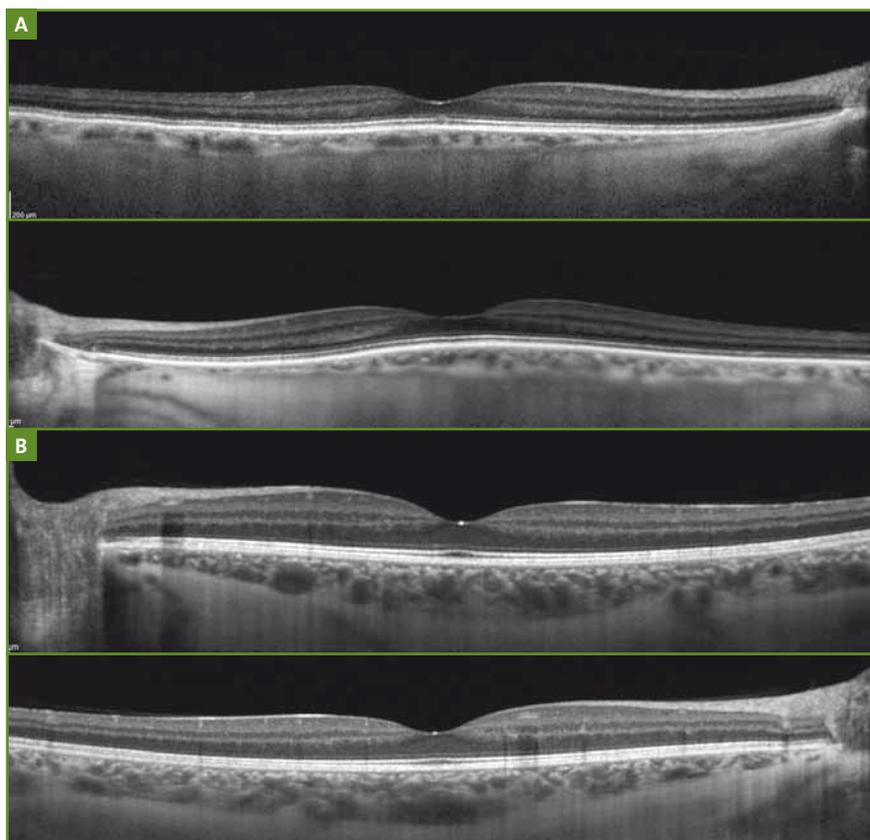


FIG. 3: Haute corrélation d'épaisseur entre les deux yeux avec perte de 1/3 de l'épaisseur initiale à 80 ans (A), à 20 ans (B).

obtenues. Les versions récentes de l'appareil Spectralis d'Heidelberg (Société Heidelberg Engineering) permettent de réaliser de telles images. L'épaisseur et la structures de la choroïde deviennent analysables et même, des mesures comparables et reproductibles dans le temps seraient possibles à 32 μm près [2] dans les limites d'une fixation stable du patient. Ces mesures peuvent se faire en mode automatique ou manuel.

Cette nouvelle utilisation de l'EDI-OCT a généré la parution de très nombreuses publications. De nouveaux signes cliniques sont nés grâce à cet outil, notamment dans la choroïdite séreuse centrale et les maladies inflammatoires de l'œil. Le suivi thérapeutique de ces affections est désormais transformé par l'apport de cette technique.

Les images de la choroïde normale en EDI-OCT

Deux études [3-4] ont été publiées sur la choroïde normale en EDI-OCT, apportant principalement des précisions concernant son épaisseur. Ces données sont essentielles à acquérir avant d'aborder l'analyse de la choroïde pathologique.

1. L'épaisseur choroïdienne

>>> Il existe des variations d'épaisseur entre des yeux normaux de personnes différentes, mais une grande similitude d'épaisseur choroïdienne entre les deux yeux normaux d'une même personne (fig. 3 A et B).

>>> L'épaisseur maximale de la choroïde se situe toujours au niveau fovéolaire. Cela est probablement lié à la très forte demande métabolique de cette zone.

La moyenne d'épaisseur sous la fovéa était trouvée dans la première étude à l'œil droit à 318 μm et à l'œil gauche à 335 μm ; et dans la deuxième étude à 287 μm (SD \pm 76 μm). Ces différences

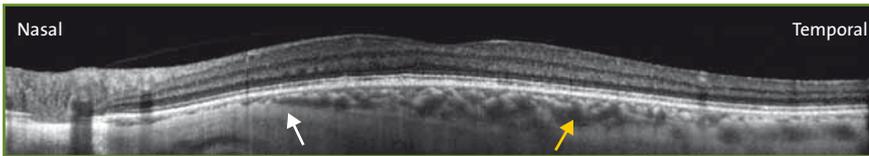


FIG. 4 : Décroissance rapide de l'épaisseur de la choroïde à 3 millimètres de la fovéa; en nasal (flèche blanche: $145 \pm 57 \mu\text{m}$), en temporal (flèche jaune: $261 \pm 77 \mu\text{m}$).

étaient probablement liées à l'âge moyen différent des patients dans les études.

>>> L'épaisseur choroïdienne est corrélée négativement avec l'âge avec une perte du tiers de l'épaisseur initiale à 80 ans. Pour la région sous-fovéolaire ($p = 0,001$), la perte d'épaisseur est de $1,56 \mu\text{m}/\text{an}$ alors qu'elle est de $1,34 \mu\text{m}/\text{an}$ à 3 mm en nasal de la fovéa ($p < 0,001$).

>>> La choroïde supéro-maculaire est toujours plus épaisse que l'inféro-maculaire.

>>> Il y a une décroissance rapide de l'épaisseur choroïdienne dès que l'on s'éloigne à 3 mm de la fovéa. Les mesures étaient en moyenne de $145 \pm 57 \mu\text{m}$ en nasal et de $261 \pm 77 \mu\text{m}$ en temporal (**fig. 4**).

>>> La partie la plus fine est toujours la partie péripapillaire, expliquant la fréquence de l'atrophie péripapillaire.

2. Structure choroïdienne

Il existe une nette perte de la densité vasculaire avec l'âge. Les gros vaisseaux restent toujours visibles alors que les vaisseaux intermédiaires et la choriocapillaire semblent disparaître avec l'âge.

Les images de la choroïde dans différentes pathologies oculaires en EDI-OCT

1. EDI-OCT dans la myopie forte [5]

La longueur axiale des yeux semble influencer négativement sur l'épaisseur choroïdienne. La choroïde apparaît beaucoup plus mince au fur et à mesure

de l'augmentation du chiffre de la myopie. La moyenne subfovéolaire n'est que de $93,2 \mu\text{m}$ ($\pm 62,5 \mu\text{m}$) pour les myopies > 6 dioptries. L'amincissement avec l'âge est identique à celui constaté chez l'emmetrope ($1,56 \mu\text{m}/\text{an}$) ainsi que l'épaisseur choroïdienne constatée plus épaisse en temporal qu'en nasal (**fig. 5**).

La choroïde est donc très nettement amincie chez les myopes, avec une raréfaction des larges vaisseaux choroïdiens et une perte de la choriocapillaire. Cela entraîne une diminution de perfusion tissulaire très préjudiciable pour la vitalité des photorécepteurs (moins d' O_2 et de nutriments).

L'EDI-OCT peut révéler aussi des anomalies sclérales avec des zones amincies ou épaissies et des zones de dissociation des fibres collagènes. Les vaisseaux ciliaires

postérieurs sont souvent visibles lors de leur traversée sclérale (**fig. 1**).

L'EDI-OCT met nettement en évidence la pathologie choroïdienne de la myopie forte. Pourquoi un tel amincissement? Est-ce la cause de l'allongement axial de l'œil ou la conséquence? La question n'est à ce jour pas encore résolue.

Chez les patients atteints de "maculas bombées" [6], l'EDI-OCT a montré une nette augmentation d'épaisseur sclérale sous-maculaire dans cette pathologie (**fig. 6**).

2. EDI-OCT dans la choroïdite séreuse centrale (CRSC) [7-8]

L'EDI-OCT a enrichi considérablement la connaissance, l'exploration et le suivi thérapeutique de cette affection.

● L'apport diagnostique de l'EDI-OCT

La choroïde apparaît très épaisse chez les patients atteints de CRSC.

Dans cette affection, la moyenne de l'épaisseur choroïdienne établie dans une étude sur 28 yeux éligibles de 19 patients était de $505 \mu\text{m}$ (dévi-



FIG. 5 : La choroïde de myope est très amincie, homme de 35 ans.

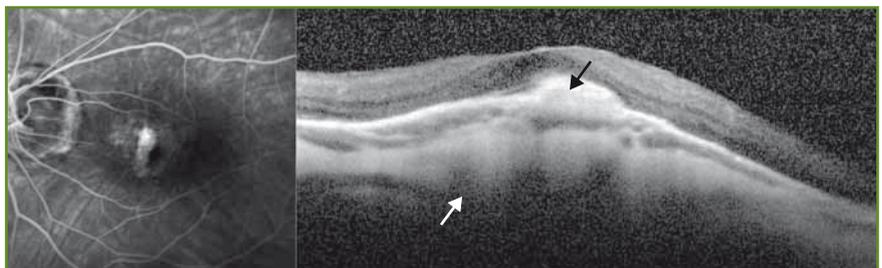


FIG. 6 : Macula bombée avec épaississement scléral (flèche blanche): patient avec cicatrice fibreuse de néovascularisation choroïdienne (flèche noire).

REVUES GÉNÉRALES

Imagerie

POINTS FORTS

- ➔ EDI-OCT ou enhanced depth imaging est une nouvelle technique qui permet d'analyser la choroïde.
- ➔ Cette imagerie est réalisée grâce à un logiciel et nécessite un appareil OCT équipé d'un eye-tracking et du moyennage des images.
- ➔ La choroïde diminue d'épaisseur avec l'âge.
- ➔ La choroïde du myope fort est très mince.
- ➔ La choroïde dans la choroiidite séreuse centrale (CRSC) est très épaisse.
- ➔ Le Viagra augmente l'épaisseur de la choroïde et devient un facteur de risque de CRSC.
- ➔ L'EDI-OCT permet le suivi thérapeutique des CRSC et de certaines maladies inflammatoires oculaires.

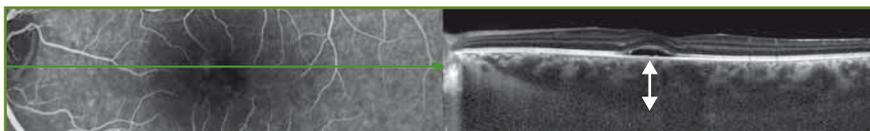


FIG. 7 : EDI-OCT d'un patient atteint de choroiidite séreuse centrale : l'épaisseur choroïdienne est toujours très épaisse en phase active ($\geq 500 \mu\text{m}$).

standard : $124 \mu\text{m}$), donc significativement plus importante que l'épaisseur choroïdienne des yeux normaux ($p \leq 0,001$). Nous n'avons pas noté de points hyperreflectifs dans la choroïde.

Cette constatation conforte l'idée que la CRSC peut être due à une hyperperméabilité choroïdienne avec une augmentation de la pression hydrostatique dans la choroïde. On a grâce à cette technique la visualisation directe de l'épaississement de la choroïde avec une dilatation très importante des gros vaisseaux choroïdiens très caractéristique de cette affection. Cette technique apporte un nouveau signe clinique important dans le diagnostic de cette maladie (fig. 7).

● L'apport thérapeutique de l'EDI-OCT [9]

Une autre étude sur 20 yeux de 20 patients a permis d'établir chez des patients atteints de CRSC active l'effet sur l'épaisseur choroïdienne et la hau-

teur du décollement séreux rétinien d'un traitement par photocoagulation au laser *versus* par photothérapie dynamique à la Visudyne (demi-dose). Seul le groupe PDT a montré une disparition des zones d'hyperperméabilité visualisées par angiographie au vert d'indocyanine et une diminution de l'épaisseur choroïdiennes à l'EDI-OCT, traduisant un mécanisme d'action différent des deux traitements.

L'EDI-OCT permet ainsi de contrôler si la maladie est active et nécessite un traitement par PDT. Cet examen apporte un signe clinique important de l'évolution de la maladie.

● EDI-OCT de la choroïde et sildénafil citrate [10]

Une petite étude a mis en évidence l'existence d'une augmentation de l'épaisseur choroïdienne après prise de sildénafil citrate. Cet effet secon-

daire du médicament représente ainsi un facteur de risque supplémentaire de CRSC.

3. EDI-OCT de la choroïde dans d'autres pathologies

De multiples publications apportent peu à peu des renseignements complémentaires dans de très nombreuses autres pathologies. Nous en donnons quelques exemples que d'autres publications sur plus grandes échelles pourront éventuellement contredire :

- EDI-OCT de la choroïde dans les yeux avec décollements de l'épithélium pigmentaires secondaires à la DMLA [11] : dans cette étude, Spaide a montré que les DEP étaient souvent remplis d'un "matériel" évoquant une néovascularisation.

- EDI-OCT de la choroïde et atrophie choroïdienne liée à l'âge [12] : Spaide a aussi montré dans une étude portant sur 28 patients d'une moyenne d'âge de 80,6 ans et dont 1/3 présentaient un glaucome et un autre tiers une forme tardive de DMLA, que la moyenne d'épaisseur subfovéolaire était de $69,8 \mu\text{m}$. La perte d'épaisseur choroïdienne était associée à la perte des vaisseaux visibles.

- EDI-OCT dans les vasculopathies poly-pyridales [13-15].

L'épaisseur choroïdienne serait plus importante dans les vasculopathies poly-pyridales par rapport aux DMLA.

- EDI-OCT de la choroïde et dystrophies rétiniennes [16].

L'EDI-OCT a été étudié dans différentes dystrophies choroïdiennes. Il y aurait une symétrie de l'évolution entre les deux yeux. L'étendue et l'aspect de l'amincissement choroïdien dépendent du stade de la maladie dans certains cas et du gène responsable pour d'autres cas. L'épaisseur choroïdienne n'est pas corrélée

lée à l'acuité visuelle, ni aux anomalies trouvées en électrophysiologie.

- EDI-OCT de la choroïde dans les maladies inflammatoires.

La choroïde des patients atteints de Vogt-Koyanagi-Harada [17] en phase active est très épaisse. On constate une diminution très rapide de l'épaisseur avec le traitement corticoïde, ce qui fait de l'EDI-OCT un outil important pour le suivi thérapeutique de la maladie. Nous avons observé un épaississement de la choroïde accompagné de points hyperreflectifs dans la choroïdite serpiginieuse (fig. 8).

- Trou maculaires [18-19]

L'épaisseur choroïdienne a été trouvée réduite dans les yeux à trou maculaire, ainsi que dans l'œil controlatéral. Cela suggère peut-être un rôle choroïdien dans la pathogénie du trou maculaire idiopathique.

- EDI-OCT de la choroïdite et tumeurs [20-21]

Cet examen permet de mesurer des structures visibles ou invisibles en échogra-

phie et en principe d'en suivre l'évolution avec plus de précision. Il permet aussi la surveillance des tumeurs, ou des hémangiomes avant et après traitement (fig. 9).

- Autres

L'examen de la choroïde en EDI-OCT a permis de démontrer qu'il y a un manque d'association entre le glaucome et l'épaisseur choroïdienne [22].

Conclusion

Cette jeune technique d'imagerie de la choroïde apparaît pleine d'avenir. Nous en sommes encore au début de l'exploration des possibilités de l'EDI-OCT dans les multiples pathologies oculaires impliquant le pôle postérieur de l'œil. Cet examen soulève encore parfois de nouvelles questions devant des images dont l'interprétation n'est pas claire. Les publications concernent des échantillons de patients souvent peu nombreux et de nouvelles études sont utiles pour confirmer ces premières approches, notamment en ce qui concerne la fiabilité des mesures.

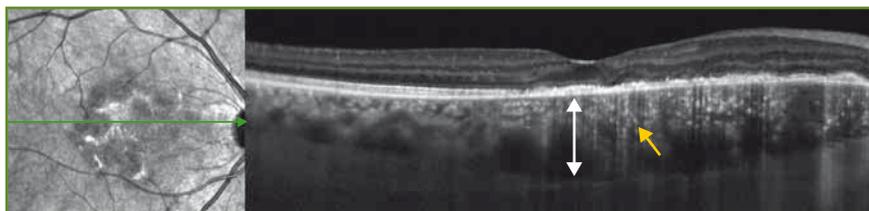


Fig. 8 : EDI-OCT de la choroïde dans les maladies inflammatoires. Cas d'un patient atteint de choroïdite serpiginieuse: la choroïde est épaissie ($\geq 500 \mu\text{m}$) et remplie de points hyperreflectifs (flèche jaune).

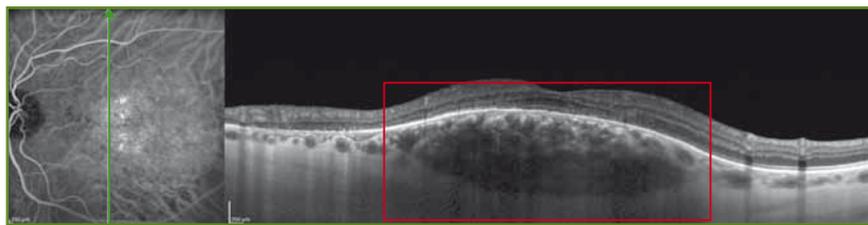


Fig. 9 : EDI-OCT d'un patient suivi pour hémangiome choroïdien traité par Visudyne. Il n'y a plus de décollement séreux, mais l'hémangiome reste visible sous forme d'une zone choroïdienne fuselée (dans le rectangle rouge) avec une réflectivité hétérogène reflet de la structure angiomateuse de la tumeur vasculaire.

L'apport en pratique clinique et dans le suivi thérapeutique des maladies inflammatoires et de la CRSC est immense. L'obtention de l'image de la choroïde en EDI-OCT devient déjà systématique dans ces maladies.

Bibliographie

1. SPAIDE RF, KOIZUMI H, POZZONI MC. Enhanced depth imaging spectral-domain optical coherence tomography. *Am J Ophthalmol*, 2008; 146: 496-500.
2. RAHMAN W, CHEN FK, YEOH J *et al*. Repeatability of manual subfoveal choroidal thickness measurements in healthy subjects using the technique of enhanced depth imaging spectral-domain optical coherence tomography. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2011; 52: 2267-2271.
3. SPAIDE RF *et al*. Enhanced depth imaging spectral-domain optical coherence tomography. *Am J Ophthalmol*, 2008; 146: 496-500.
4. MARGOLIS R, SPAIDE RF. A pilot study of enhanced depth imaging optical coherence tomography of the choroid in normal eyes. *Am J Ophthalmol*, 2009; 147: 811-815.
5. FUJIWARA T, IMAMURA Y, MARGOLIS R *et al*. *Am J Ophthalmol*, 2009; 148: 445-450.
6. IMAMURA Y, IIDA T, MARUKO I *et al*. Enhanced depth imaging optical coherence tomography of the sclera in dome-shaped macula. *Am J Ophthalmol*, 2011; 151: 297-302.
7. IMAMURA Y, FUJIWARA T, MARGOLIS R *et al*. Enhanced depth imaging optical coherence tomography of the choroid in central serous chorioretinopathy. *Retina*, 2009; 29: 1469-1473.
8. MARUKO I, IIDA T, SUGANO Y *et al*. subfoveal choroidal thickness in fellow eyes of patients with central serous chorioretinopathy. *Retina*, 2011. [Epub ahead of print.
9. MARUKO I, IIDA T, SUGANO Y *et al*. Subfoveal choroidal thickness after treatment of central serous chorioretinopathy. *Ophthalmology*, 2010; 117: 1792-1799.
10. VANCE SK, IMAMURA Y, FREUND KB. The effects of sildenafil citrate on choroidal thickness as determined by enhanced depth imaging optical coherence tomography. *Retina*, 2011; 31: 332-335.
11. SPAIDE RF. Enhanced depth imaging optical coherence tomography of retinal pigment epithelial detachment in age-related macular degeneration. *Am J Ophthalmol*, 2009; 147: 644-652.
12. SPAIDE RF. Age-related choroidal atrophy. *Am J Ophthalmol*, 2009; 147: 801-810.
13. KOIZUMI H, YAMAGISHI T, YAMAZAKI T *et al*. Subfoveal choroidal thickness in typical age-related macular degeneration and polypoidal choroidal vasculopathy. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2011 [Epub ahead of print.

REVUES GÉNÉRALES

Imagerie

14. MARUKO I, IDA T, SUGANO Y *et al.* Subfoveal retinal and choroidal thickness after verteporfin photodynamic therapy for polypoidal choroidal vasculopathy. *Am J Ophthalmol*, 2011 ; 151 : 594-603.
15. CHUNG SE, KANG SW, LEE JH *et al.* Choroidal thickness in polypoidal choroidal vasculopathy and exudative age-related macular degeneration. *Ophthalmology*, 2011 ; 118 : 840-845.
16. YEOH J, RAHMAN W, CHEN F *et al.* Choroidal imaging in inherited retinal disease using the technique of enhanced depth imaging optical coherence tomography. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2010 ; 248 : 1719-1728.
17. MARUKO I, IDA T, SUGANO Y *et al.* Subfoveal choroidal thickness after treatment of Vogt-Koyanagi-Harada disease. *Retina*, 2011 ; 31 : 510-517.
18. REIBALDI M, BOSCIA F, AVITABILE T *et al.* Enhanced depth imaging optical coherence tomography of the choroid in idiopathic macular hole: A cross-sectional prospective study. *Am J Ophthalmol*, 2011 ; 151 : 112-117.
19. BLACKBURN J, MCGWIN G JR. Enhanced depth imaging optical coherence tomography of the choroid in idiopathic macular hole. *Am J Ophthalmol*, 2011 ; 151 : 560-561.
20. TORRES VL, BRUGNONI N, KAISER PK *et al.* Optical coherence tomography enhanced depth. Imaging of choroidal tumors. *Am J Ophthalmol*, 2011 ; 151 : 586-593.
21. BASDEKIDOU C, WOLFF B, VASSEUR V *et al.* Flat choroidal nevus inaccessible to ultrasound sonography evaluated by enhanced depth imaging optical coherence tomography. *Case Rep Ophthalmol*, 2011 ; 2 : 185-188.
22. MWANZA JC, HOCHBERG JT, BANITT MR *et al.* Lack of association between glaucoma and macular choroidal thickness measured with enhanced depth imaging optical coherence tomography. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2011 ; 52 : 3430-3435.

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