



## Choroïde dans la population générale et dans la CRSC

Mathieu Lehmann

**L'**accessibilité de la choroïde aux nouveaux moyens d'imagerie a fait de l'EDI un examen incontournable dans la prise en charge des patients atteints de pathologies rétinienues, autant pour le diagnostic et le suivi que pour le traitement de ces affections. Il reste cependant quelques limitations dans l'interprétation de ces mesures : la définition précise de la limite postérieure de la choroïde, la variabilité interindividuelle et intra-individuelle des valeurs de l'épaisseur choroïdienne rétrofovolaire et leur corrélation à un certain nombre de facteurs anatomiques. Les nouveaux OCT de type swept source permettront sans doute de s'affranchir de certaines de ces contraintes.

Imager précisément la choroïde est un privilège récent. Ce tissu, difficile d'accès jusqu'à ces dernières années, avait connu son heure de gloire avec l'angiographie au vert d'indocyanine. Mais ce n'est que lors de l'apparition de l'OCT en 1991, combiné à l'EDI en 2008, qu'il a été possible d'évaluer son épaisseur, sa morphologie et ses différentes couches, in vivo.

Le rôle principal de la choroïde est d'apporter des éléments nutritifs et l'oxygène à la rétine externe (et donc aux photorécepteurs) de façon indirecte car elle ne possède pas de réseau capillaire nourricier. Elle a très probablement d'autres rôles : thermorégulation, absorption de la lumière, ajustement de la position de la rétine par des modifications de l'épaisseur choroïdienne et contrôle de la pression intraoculaire par un contrôle du flux sanguin. Contrairement à la rétine, la circulation choroïdienne est sous la dépendance d'une innervation autonome extrinsèque. Une diminution du flux sanguin est médiée par l'activation du système nerveux sympathique efférent (noradrénaline). À l'inverse, le système nerveux parasympathique efférent peut augmenter le flux sanguin dans la choroïde.

### Anatomie et épaisseur de la choroïde

La choroïde se situe entre la sclère à l'extérieur et le complexe épithélium pigmentaire/rétine au niveau de sa face interne [1]. Elle s'étend du nerf optique à la pars plana où elle se poursuit antérieurement pour donner le corps ciliaire. Ce tissu très vascularisé et pigmenté a le

flux sanguin le plus important de l'organisme. La choroïde est classiquement divisée en cinq couches : la membrane basale de la membrane de Bruch, la choriocapillaire, le stroma avec deux couches de vaisseaux : la couche de Sattler, la couche d'Haller et la suprachoroïde.

**La membrane de Bruch** se situe entre les cellules de l'épithélium pigmentaire rétinien (EPR) et la choriocapillaire. Elle est constituée de cinq couches : la lame basale de l'EPR, la zone collagène interne, la couche des fibres élastiques, épaisse et poreuse, la couche collagène externe et la lame basale de la choriocapillaire.

**La choriocapillaire** est une monocouche de capillaires immédiatement située sous la membrane de Bruch qui mesure 10 µm d'épaisseur en rétrofovolaire et 7 µm en périphérie. La paroi des vaisseaux est extrêmement mince et fenêtrée, avec la majorité des pores situés du côté de l'EPR.

**Le stroma** comporte des fibres de collagènes et élastiques, des fibroblastes, des cellules musculaires lisses non vasculaires et des mélanocytes apposés aux vaisseaux choroïdiens. Il existe également de nombreuses cellules inflammatoires : mastocytes, macrophages et lymphocytes.

**La suprachoroïde** est une zone de transition entre la choroïde et la sclère contenant des fibres de collagène, des fibroblastes et des mélanocytes.

### Mesure de l'épaisseur choroïdienne

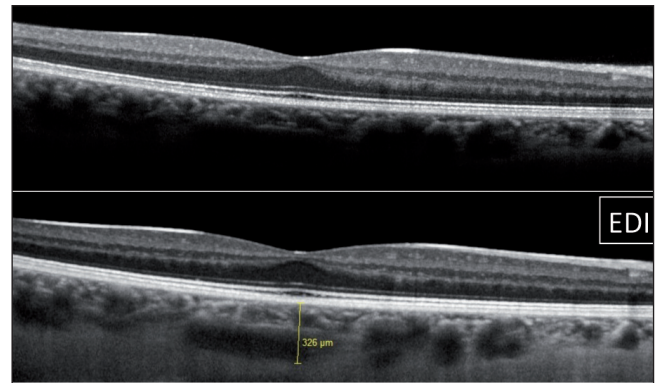
Jusqu'au début des années 2000, l'épaisseur de la choroïde n'avait été mesurée que sur des coupes histologiques post mortem. Elle variait de 200 µm environ à la naissance avec une diminution liée à l'âge jusqu'à environ 90 µm à 90 ans [2].

CCA service d'ophtalmologie, hôpital Hôtel-Dieu, Paris

En 2008, Spaide *et al.* ont été les premiers à mettre au point une mesure de l'épaisseur choroïdienne « fiable » grâce au mode EDI de l'OCT spectral domain (Heidelberg Engineering, Heidelberg, Germany) [3]. Ils positionnaient le module suffisamment proche de l'œil pour obtenir une image inversée et mesuraient l'épaisseur choroïdienne du bord interne de la sclère au bord externe de l'EPR, tous les 500  $\mu\text{m}$  entre les 3 mm nasal et les 3 mm temporal de la fovéa (figure 1). Dans cette série, 34 yeux de 17 patients sains (âgés de 19 à 54 ans) avaient été examinés et montraient une épaisseur choroïdienne rétrofovéolaire (ECSF) moyenne de 318  $\mu\text{m}$  à l'œil droit et de 335  $\mu\text{m}$  à l'œil gauche. D'après les auteurs, l'épaisseur choroïdienne la plus épaisse du pôle postérieur est en rétrofovéolaire car c'est en rétrofovéolaire que la demande métabolique est la plus forte. Depuis, un certain nombre d'études ont réévalué cette épaisseur moyenne rétrofovéolaire chez les patients sains, avec une variation de 191,5  $\mu\text{m}$  à 342  $\mu\text{m}$  (tableau I).

**Tableau I.** Revue bibliographique de l'épaisseur choroïdienne sous-fovéolaire chez les patients sains.

Auteurs	Journal	Yeux	ECSF ( $\mu\text{m} \pm \text{SD}$ )
Hirata <i>et al.</i> (2011)	Invest Ophthalmol Vis Sci.	31	191,5 $\pm$ 74
Shao <i>et al.</i> (2013)	Invest Ophthalmol Vis Sci.	3233	254,6 $\pm$ 107
Branchini <i>et al.</i> (2013)	Ophthalmology	42	256,8 $\pm$ 75
Chhablani <i>et al.</i> (2012)	Invest Ophthalmol Vis Sci.	64	264,15
Kim <i>et al.</i> (2011)	Eye (Lond).	30	266,8 $\pm$ 55
Manjunath <i>et al.</i> (2010)	Am J Ophthalmol.	34	272
Yamashita <i>et al.</i> (2012)	Invest Ophthalmol Vis Sci.	39	272,6 $\pm$ 63
Margolis & Spaide (2008)	Am J Ophthalmol.	54	287 $\pm$ 76
Yang <i>et al.</i> (2013)	Acta Ophthalmol.	15	289 $\pm$ 71
Ikuno <i>et al.</i> (2011)	Invest Ophthalmol Vis Sci.	24	292,7 $\pm$ 77
Ouyang <i>et al.</i> (2011)	Invest Ophthalmol Vis Sci.	55	297,8 $\pm$ 82
Spaide <i>et al.</i> (2008)	Am J Ophthalmol.	34	335
Tan <i>et al.</i> (2012)	Invest Ophthalmol Vis Sci.	24	340,6 $\pm$ 82,9
Qiang Li <i>et al.</i> (2011)	Invest Ophthalmol Vis Sci.	93	342 $\pm$ 118
Branchini <i>et al.</i> (2012)	Ophthalmology	28	347,4 $\pm$ 97
Ikuno <i>et al.</i> (2010)	Invest Ophthalmol Vis Sci.	79	354 $\pm$ 111



**Figure 1.** Apport de l'EDI dans la visualisation des structures au-delà de l'EPR. En EDI, il est plus facile de visualiser le bord postérieur de la choroïde et la sclère en arrière.

Les plus grandes séries d'évaluation de l'épaisseur choroïdienne demeurent les études chinoises de la Beijing Eye Study [4] qui a trouvé, chez 3233 sujets sains de 64,6 ans en moyenne (50-93 ans), une ECSF moyenne de 254,6  $\pm$  107,3  $\mu\text{m}$  versus 253,8  $\pm$  107,4  $\mu\text{m}$  par deux examinateurs différents.

#### Un certain nombre de facteurs font varier l'ECSF chez les patients sains :

- l'âge et la longueur axiale sont inversement corrélés au volume choroïdien, probablement en rapport avec un support métabolique modifié chez les personnes âgées et les myopes forts. En moyenne, la diminution d'ECSF est de 15,6  $\mu\text{m}$  par décennie [5] ;
- il existe une corrélation positive entre l'ECSF et l'erreur réfractive (certains auteurs retrouvent une diminution de 6-8  $\mu\text{m}$  par dioptrie de myopie) ;
- le nyctémère a également une influence sur la choroïde. Tan *et al.* [6] ont analysé la variation diurne de l'ECSF : la moyenne maximale était de 372,2  $\mu\text{m}$  le matin, et la minimale de 340,6  $\mu\text{m}$  le soir ( $p < 0,001$ ) ;
- la prise de sildénafil (Viagra®) fait augmenter l'épaisseur choroïdienne de 11,6 % entre 1 heure et 3 heures suivant la prise, par vasodilatation choroïdienne, au contraire de la nicotine qui provoque une vasoconstriction choroïdienne à une heure de la prise.

#### Cartographie de l'épaisseur choroïdienne

Le quadrant nasal présente le volume choroïdien le plus faible, alors que le quadrant supérieur présente le volume le plus élevé.

En OCT swept source, Hirata *et al.* [7] ont retrouvé une épaisseur moyenne choroïdienne et un volume respectivement de 191,5  $\pm$  74,2  $\mu\text{m}$  et 5,411  $\pm$  2,097  $\text{mm}^3$ . La choroïde de la région nasale était significativement plus fine que toutes les autres zones ( $p < 0,005$ ).

# Clinique

## Interprétation de l'épaisseur choroïdienne

Plusieurs études ont comparé la reproductibilité de cette mesure d'épaisseur choroïdienne par différents appareils sans retrouver de différence significative quel que soit l'appareil utilisé :

- SD-OCT (Heidelberg Spectralis-OCT (Spectralis®)), Cirrus HD-OCT (Cirrus®) et Topcon 3D OCT-1000 Mark II (Topcon®) [8],
- Zeiss Cirrus HD-OCT (Carl Zeiss Meditec), Heidelberg Spectralis (Heidelberg Engineering) et Optovue RTVue (Optovue Inc.) [9].

## Variation de l'épaisseur maculaire rétrofovéolaire en pathologie

Dans les *pathologies inflammatoires* comme le Vogt-Koyanagi-Harada, la choroïde est très épaissie en phase aiguë, par infiltration lymphocytaire et hyperperméabilité vasculaire. Lors de l'évolution, on peut suivre l'efficacité du traitement par la diminution de cette ECSF. Dans la maladie de Behçet et le syndrome des tâches blanches évanescences (MEWDS), le même aspect est retrouvé.

Dans la *maculopathie liée à l'âge*, la surface des drusen est inversement corrélée à l'épaisseur choroïdienne et les pseudo-drusen réticulés sont associés à une ECSF diminuée par fibrose. Dans la DMLA atrophique, ou en cas de néovaisseaux choroïdiens, il existe également une atrophie choroïdienne. En revanche, dans les vasculopathies polypoïdales, il existe une hyperperméabilité et une vasodilatation choroïdienne, augmentant l'ECSF.

## La choroïde dans la chorioretinite séreuse centrale (CRSC)

Jusqu'à présent, l'atteinte choroïdienne n'avait été imagée dans la CRSC que grâce à l'angiographie au vert d'indocyanine.

Au temps précoce, un retard de remplissage choroïdien évoque des troubles hémodynamiques choroïdiens. Au temps intermédiaire, une hyperfluorescence choroïdienne est ensuite présente au niveau des zones d'ischémie de l'angiographie à la fluorescéine (FA), par imprégnation de la paroi des vaisseaux et diffusion du colorant dans l'espace extravasculaire. Une dilatation des vaisseaux choroïdiens est également observée dans 61 % à 85 % des cas selon les études. Ces dilatations anormales sont habituellement plus étendues que la zone du point de fuite en FA, et également présentes dans l'œil controlatéral.

Au temps tardif, il existe des patchs hyperfluorescents par fuite du colorant dans les couches profondes, signe d'anomalies de la circulation choroïdienne qui pourraient être à l'origine de l'hyperperméabilité des vaisseaux choroïdiens et du décollement séreux rétinien. Parfois, on

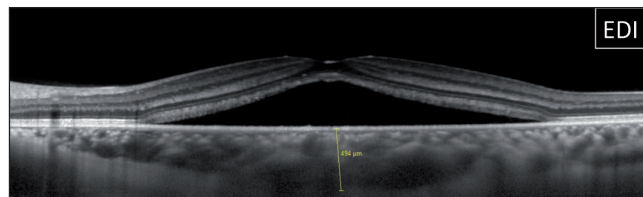
peut noter des zones d'hypofluorescence correspondant à des zones de non-perfusion de la choriocapillaire.

## Ce que disent les études

Dans une série de 30 patients atteints de CRSC, Kim *et al.* [10] ont montré que l'ECSF était augmentée de façon significative ( $p < 0,001$ ) dans les yeux atteints de CRSC ( $445,58 \pm 100,25 \mu\text{m}$ ) et dans les yeux adelphe ( $378,35 \pm 117,44 \mu\text{m}$ ), et significativement plus grande dans l'œil atteint que dans l'œil adelphe (*figure 2*). L'épaisseur choroïdienne dans le groupe contrôlé était de  $266,80 \pm 55,45 \mu\text{m}$ . Les auteurs confirment ainsi que la CRSC semble être une pathologie bilatérale, même en cas d'atteinte unilatérale.

De nombreuses études ont également évalué cette ECSF dans la CRSC (*tableau II*).

Dans une autre étude, Kang *et al.* [11] ont analysé l'épaisseur choroïdienne de 36 yeux (dont 20 ayant eu de la photothérapie dynamique (PDT)) avec une résolution de leur CRSC. L'ECSF moyenne était initialement de  $459,16$



**Figure 2.** Épaisseur choroïdienne au cours d'une chorioretinite séreuse centrale.

**Tableau II.** Revue bibliographique de l'épaisseur choroïdienne sous-fovéolaire chez les patients atteints de CRSC.

Auteurs	Journal	Traitement	Yeux	ECSF ( $\mu\text{m}$ )
Maruko <i>et al.</i> (2010)	Ophthalmology.	CRSC + Laser (4S)	12	345
Maruko <i>et al.</i> (2010)	Ophthalmology.	CRSC + PDT 1/2f	8	389
Maruko <i>et al.</i> (2011)	Retina.	1 an PDT unilatérale	13	397
Kang et Kim (2013)	Eye (Lond).	PDT 1/2f	20	416
Pryds <i>et al.</i> (2012)	Acta Ophthalmol.	CRSC + PDT 1/2f	16	421
Kim <i>et al.</i> (2011)	Eye (Lond).	CRSC unilatérale	30	445
Yang <i>et al.</i> (2013)	Acta Ophthalmol.	CRSC unilatérale	15	455
Kang et Kim (2013)	Eye (Lond).	Résolution spontanée	16	459
Yang <i>et al.</i> (2013)	Invest Ophthalmol Vis Sci.		68	478
Imamura <i>et al.</i> (2009)	Retina		28	505

$\pm 77,50 \mu\text{m}$ , avec une décroissance de  $40 \mu\text{m}$  après résolution spontanée, sans retour à la normale cependant. Dans le groupe ayant été traité par PDT, la diminution d'épaisseur au cours du suivi (de  $416,43 \mu\text{m}$  à  $349,50 \mu\text{m}$ ) était associée à des valeurs non significativement différentes du groupe contrôle (sans CRSC) en fin de suivi.

Maruko *et al.* [12] ont évalué l'évolution de l'ECSF après traitement de la CRSC. Ils ont trouvé alors que l'ECSF et l'hyperperméabilité étaient diminuées après PDT, suggérant que la PDT diminuait cette hyperperméabilité choroïdienne, au contraire du laser focal. Il serait alors possible de suivre l'activité de la maladie sur l'ECSF en EDI après PDT. Cette étude a été confirmée par d'autres par la suite.

#### Références bibliographiques

1. Nickla DL, Wallman J. The multifunctional choroid. *Prog Retin Eye Res.* 2010;29(2):144-68.
2. Ramrattan RS, van der Schaft TL, Mooy CM *et al.* Morphometric analysis of Bruch's membrane, the choriocapillaris, and the choroid in aging. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1994;35(6):2857-64.
3. Spaide RF, Koizumi H, Pozzoni MC. Enhanced depth imaging spectral-domain optical coherence tomography. *Am J Ophthalmol.* 2008;146(4):496-500.
4. Shao L, Xu L, Chen CX *et al.* Reproducibility of subfoveal choroidal thickness measurements with enhanced depth imaging by spectral-domain optical coherence tomography. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2013;54(1):230-3.
5. 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(5):811-5.
6. Tan CS, Ouyang Y, Ruiz H, Sadda SR. Diurnal variation of choroidal thickness in normal, healthy subjects measured by spectral domain optical coherence tomography. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2012;53(1):261-6.
7. Hirata M, Tsujikawa A, Matsumoto A *et al.* Macular choroidal thickness and volume in normal subjects measured by swept-source optical coherence tomography. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2011;52(8):4971-8.
8. Yamashita T, Yamashita T, Shirasawa M *et al.* Repeatability and reproducibility of subfoveal choroidal thickness in normal eyes of Japanese using different SD-OCT devices. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2012;53(3):1102-7.
9. Branchini L, Regatieri CV, Flores-Moreno I *et al.* Reproducibility of choroidal thickness measurements across three spectral domain optical coherence tomography systems. *Ophthalmology.* 2012;119(1): 119-23.
10. Kim YT, Kang SW, Bai KH. Choroidal thickness in both eyes of patients with unilaterally active central serous chorioretinopathy. *Eye (Lond).* 2011;25(12):1635-40.
11. Kang NH, Kim YT. Change in subfoveal choroidal thickness in central serous chorioretinopathy following spontaneous resolution and low-fluence photodynamic therapy. *Eye (Lond).* 2013;27(3):387-91.
12. Maruko I, Iida T, Sugano Y *et al.* Subfoveal choroidal thickness after treatment of central serous chorioretinopathy. *Ophthalmology.* 2010;117(9):1792-9.