

L'examen de la choroïde nous permet-il de mieux comprendre les mécanismes d'action des freinateurs de la myopie chez les enfants ?

RÉSUMÉ : De nombreuses études ont montré que la choroïde joue un rôle majeur dans la croissance de la sclère et les phénomènes d'emmétropisation. Les modifications de l'épaisseur de la choroïde semblent précéder les modifications réfractives. L'atropine, les verres défocalisants, l'orthokératologie et l'exposition à la lumière, qui ont montré leur efficacité dans la freination de la myopie, entraînent une augmentation rapide de l'épaisseur de la choroïde.

L'examen de la choroïde par tomographie en cohérence optique est donc un moyen d'évaluer les risques de progression de la myopie chez les enfants et d'améliorer notre compréhension des moyens pour en limiter la progression.

→ S. RAZAVI
TOURS.

La myopie augmente dans tous les pays du monde, en particulier en Asie du Sud où sa prévalence pose des problèmes de santé publique. À Séoul, 96 % des garçons de 19 ans sont myopes.

De nombreuses études ont montré que la choroïde, tissu situé entre la rétine et la sclère, joue un rôle majeur dans la croissance de la sclère et les phénomènes d'emmétropisation. Dans les modèles animaux expérimentaux, les modifications de l'épaisseur de la choroïde précèdent les modifications réfractives.

Les études chez les enfants ont montré que ceux qui ont une choroïde plus fine ont une tendance à avoir une progression plus importante de la myopie que ceux qui ont une choroïde épaisse. Les études chez l'homme ont montré une modifica-

tion rapide de l'épaisseur de la choroïde en réponse à des stimuli favorisant ou retardant l'augmentation de la myopie. La lumière, l'atropine ou la défocalisation myopique entraînent une augmentation rapide de l'épaisseur de la choroïde. Les stimuli favorisant l'augmentation de la myopie (accommodation, défocalisation hypermétropique) entraînent, au contraire, une diminution de l'épaisseur de la choroïde. Ces éléments suggèrent que la modification de l'épaisseur de la choroïde est le premier élément observable lors du développement des amétropies et elle pourrait être impliquée dans la cascade aboutissant à la régulation de la croissance du globe oculaire, en réponse aux stimuli de l'environnement oculaire.

Dans cet article, nous allons aborder les modifications de l'épaisseur de la choroïde secondaires aux différents stimuli et leur implication dans la mise au point de traitements pouvant éventuellement modifier l'évolution de la myopie.

Épaisseur de la choroïde chez les enfants

Chez les enfants, il y a une diminution de l'épaisseur de la choroïde corrélée à l'importance de la myopie [1, 2]. Plusieurs études ont montré une diminution de l'épaisseur de la choroïde de 10 à 19 µm par dioptrie de myopie. Il existe une diminution de l'épaisseur de la choroïde de 16 % chez les enfants myopes, alors que les modèles mathématiques estiment que l'amincissement de la choroïde secondaire à une élongation passive de celle-ci serait de 6 %. Plusieurs autres études ont montré que l'amincissement de la choroïde dès l'enfance serait un facteur favorisant l'apparition de la myopie et jouerait un rôle actif [3, 4] (fig. 1).

Atropine

Il est désormais établi que l'instillation quotidienne d'atropine chez les enfants, même à des doses faibles (0,01 %),

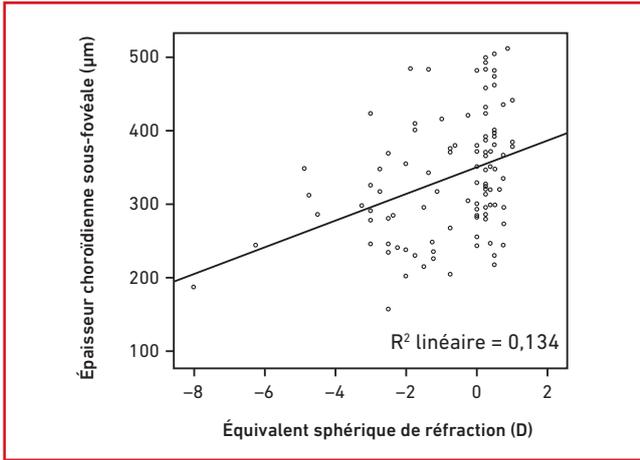


Fig. 1 : Épaisseur de la choroïde chez les enfants en fonction de la myopie. La choroïde est plus fine chez les enfants myopes (d'après [2]).

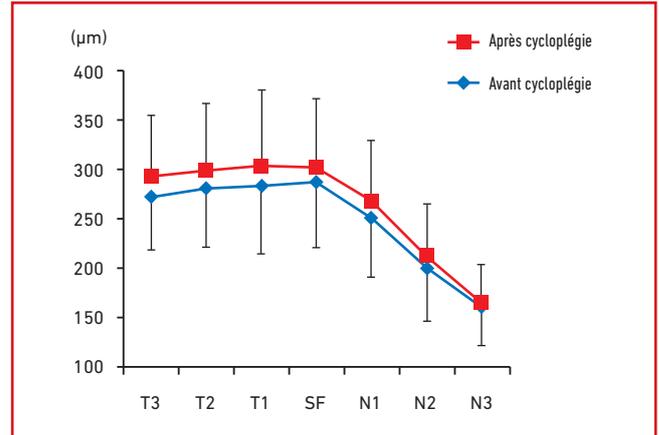


Fig. 2 : Épaisseur de la choroïde chez les enfants avant et une semaine après instillation quotidienne d'atropine à 1 %. Il existe une augmentation de l'épaisseur de la choroïde de 15 µm sous la fovéa (d'après [5]).

permet de freiner l'évolution de la myopie. L'atropine augmente l'épaisseur de la choroïde chez les enfants dès la 60^e minute. L'étude de Zhang retrouve une augmentation de l'épaisseur de la choroïde de 15 µm chez les enfants traités par de l'atropine à 1 % une semaine après le début du traitement [5]. Le mécanisme exact de l'augmentation de l'épaisseur de la choroïde chez les enfants n'est pas bien établi mais impliquerait des récepteurs cholinergiques au niveau des cellules musculaires lisses de la choroïde et/ou encore le monoxyde d'azote (NO; **fig. 2**).

Incorporated Multiple Segments (DIMS) qui comprend une zone centrale pour la vision de loin et une zone périphérique avec des centaines de petits segments de puissance convexe, en forme de nid d'abeille, assurant une défocalisation

myopique (**fig. 3**). Essilor a également développé un verre de même type assurant une défocalisation myopique (**fig. 4**). Ces verres semblent diminuer l'évolution de la myopie chez les enfants qui les portent (**fig. 5**).

■ Défocalisation

Le développement réfractif de l'œil est influencé par des facteurs environnementaux pour permettre à la rétine d'être au niveau de la focale de l'image. En cas de focalisation hypermétropique (image en arrière de la rétine), il existe une tendance à une augmentation de la longueur axiale, alors que la focalisation myopique (image en avant de la rétine) diminue la progression de la myopie.

La technique de défocalisation myopique périphérique par des verres est désormais proposée pour freiner la myopie. Hoya a mis au point un verre de défocalisation périphérique *Defocus*

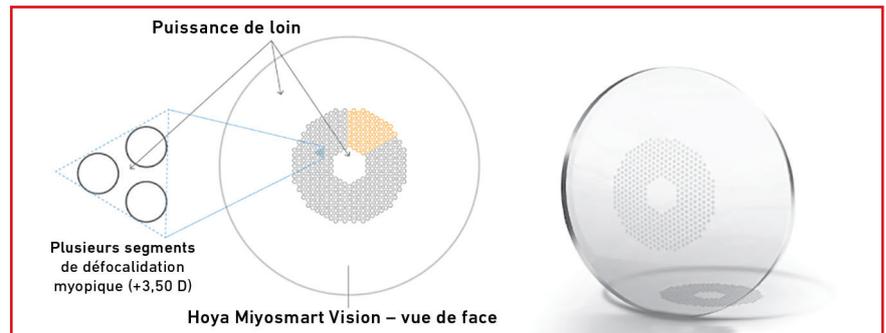


Fig. 3 : Verre de défocalisation périphérique *Defocus Incorporated Multiple Segments* (DIMS) de Hoya qui comprend une zone centrale pour la vision de loin et une zone périphérique avec des centaines de petits segments de puissance convexe, en forme de nid d'abeille, assurant une défocalisation myopique.

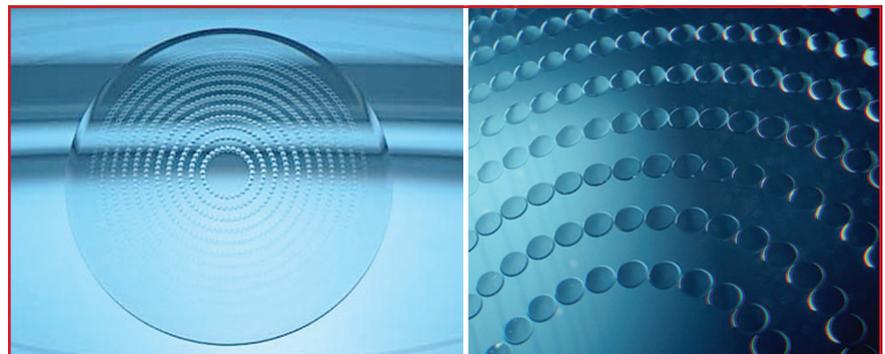


Fig. 4 : Verre de défocalisation périphérique d'Essilor. Il est constitué d'une constellation de 1021 microlentilles créant un volume de signal en avant de la rétine de l'enfant, agissant comme un frein à l'allongement de l'œil.

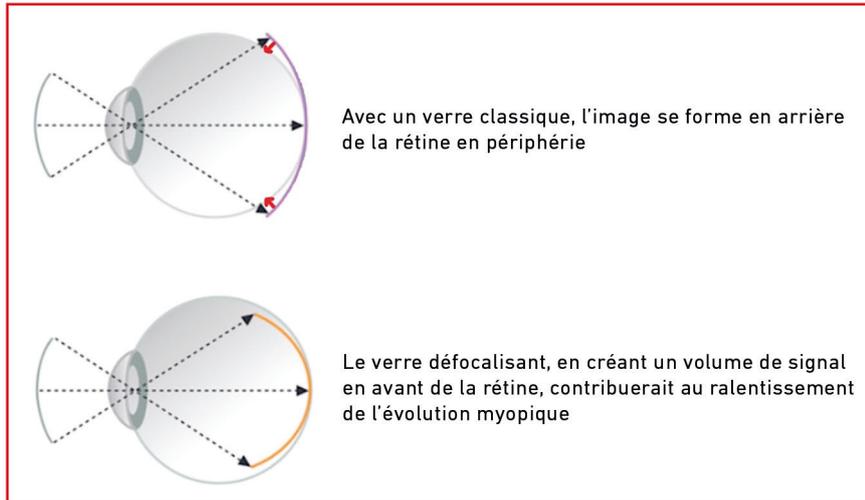


Fig. 5 : Avec les verres unifocaux, une partie de l'image se situe en arrière du plan de la rétine. Les verres avec défocalisation périphérique créent un volume de signal en avant de la rétine, assurant une défocalisation myopique et contribuant au ralentissement de l'évolution myopique.

L'épaisseur de la choroïde se modifie après défocalisation : il existe une augmentation de l'épaisseur après défocalisation myopique et une diminution de celle-ci après défocalisation hypermétropique [6] (**fig. 6**). Le mécanisme de la modification de la choroïde après défocalisation n'est pas encore connu mais cela pourrait être une modification du flux vasculaire ou encore la modification du tonus des muscles lisses choroïdiens. La modification de l'épaisseur de la choroïde est quasi immédiate et transitoire, et

sa mesure, facile par l'OCT, présente donc un intérêt dans la mise au point de verres défocalisants freinateurs de la myopie.

Une étude récente a montré que les enfants porteurs de verres défocalisants de type DIMS ont une augmentation de l'épaisseur de leur choroïde dès la première semaine, avec un effet maximal à un mois [7]. Il existe une corrélation entre l'amplitude de l'augmentation de l'épaisseur de la choroïde et l'effet freinateur de la myopie.

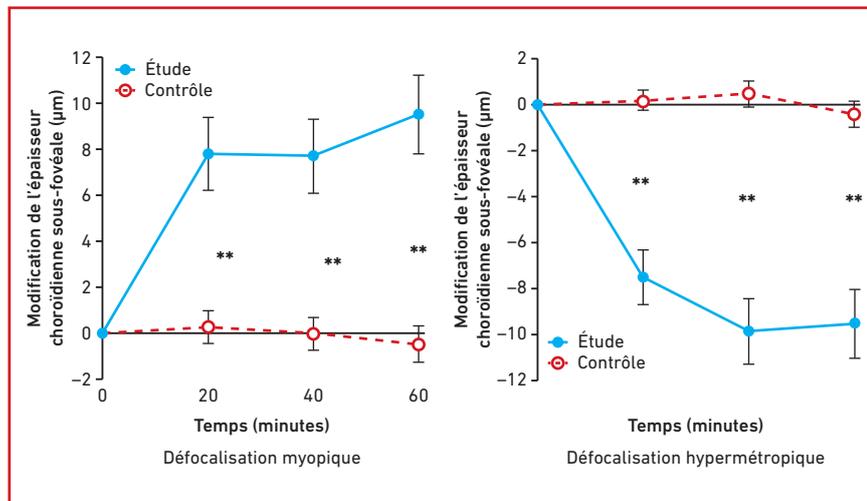


Fig. 6 : La défocalisation myopique (image en avant de la rétine) à l'aide d'un verre de +2 D entraîne une augmentation de l'épaisseur de la choroïde dès la 20^e minute, alors que la défocalisation hypermétropique due à un verre de -2 D diminue l'épaisseur choroïdienne (d'après [6]).

L'effet additif de l'atropine et de la défocalisation myopique sur l'épaisseur de la choroïde a été étudié chez des enfants de 6 à 14 ans [8]. La modification de l'épaisseur de la choroïde après défocalisation myopique et hypermétropique a d'abord été mesurée, puis un traitement par atropine à 0,3 % à la posologie d'une goutte le soir a été débuté. Avant le début du traitement par atropine, une défocalisation myopique entraîne une augmentation de l'épaisseur de la choroïde de 11 µm, mesurable dès la 20^e minute. Une défocalisation hypermétropique entraîne une diminution de l'épaisseur de la choroïde de 11 µm. Après une semaine de traitement par atropine, on note une augmentation de l'épaisseur de la choroïde de 21 µm en moyenne. La défocalisation myopique entraîne une augmentation supplémentaire de l'épaisseur de la choroïde de 13 µm chez les enfants traités, alors que la défocalisation hypermétropique n'a plus d'effet sur l'épaisseur de la choroïde. Il existe donc un effet additionnel de l'atropine et de la défocalisation myopique sur l'augmentation de l'épaisseur de la choroïde (**fig. 7**). L'effet de l'atropine et de la défocalisation ont été persistants lors des examens à 3 et 6 mois. Cette étude montre que l'augmentation de l'épaisseur de la choroïde secondaire à l'instillation d'atropine et celle secondaire à la défocalisation sont le fruit de mécanismes physiologiques complémentaires.

■ Orthokératologie

L'orthokératologie a montré son efficacité dans la diminution de la progression de la myopie chez les enfants. L'orthokératologie modifie la courbure de la cornée et entraînerait une défocalisation myopique périphérique. Plusieurs études ont montré que les enfants ainsi traités ont une augmentation de l'épaisseur de leur choroïde dès le premier mois et une moindre augmentation de la longueur axiale. L'étude de Chen a mis en évidence

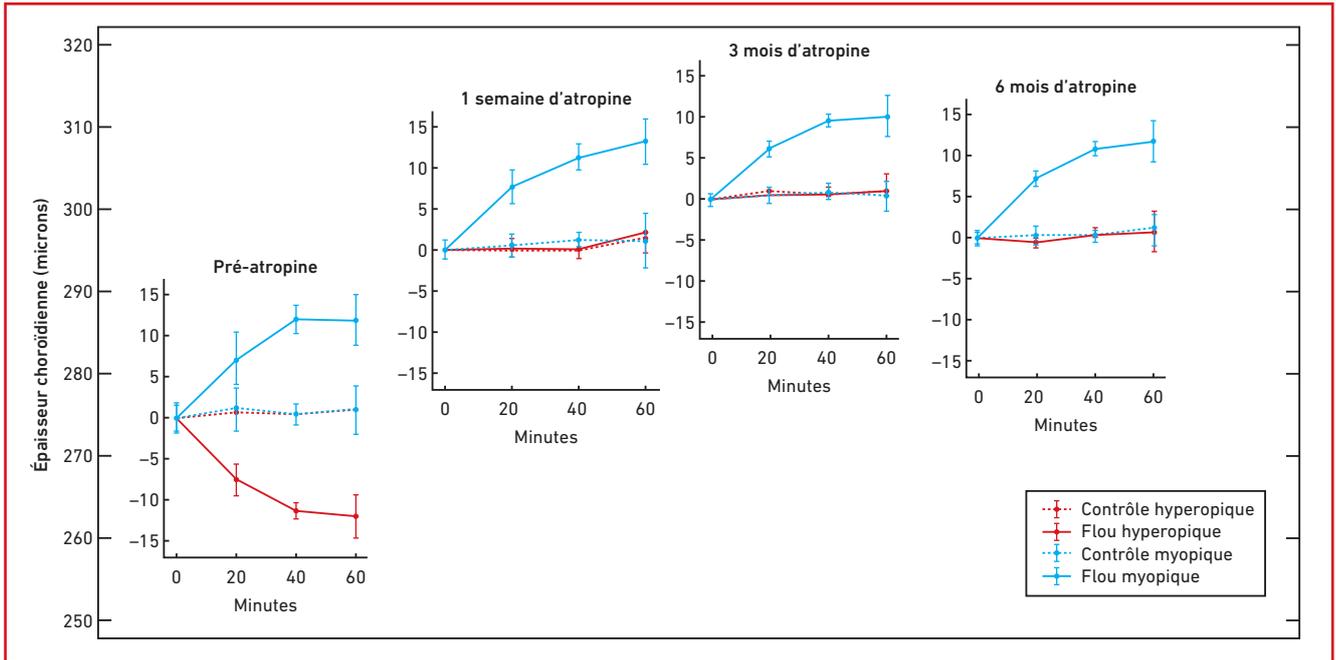


Fig. 7 : Effet combiné de la défocalisation myopique et hypermétropique avant et après instillation d'atropine chez les enfants. Il y a un effet combiné de l'atropine et de la défocalisation myopique sur l'augmentation de l'épaisseur de la choroïde (d'après [8]).

une vasodilatation de la couche de Haller dès le premier mois après le début du port nocturne de lentilles. Le monoxyde d'azote pourrait être un des médiateurs impliqués dans l'augmentation de l'épaisseur de la choroïde [9] (**fig. 8**).

■ Lumière

L'exposition à la lumière des enfants diminue la progression de la myopie. Une étude longitudinale de 18 mois évaluant la modification de la longueur axiale du globe en fonction de l'exposi-

tion à la lumière a montré que les enfants ayant une grande exposition à la lumière avaient une moins grande augmentation de la longueur axiale que ceux qui avaient une moins grande exposition [10] (**fig. 9**). Le confinement à la maison des enfants en début de l'année 2020 durant

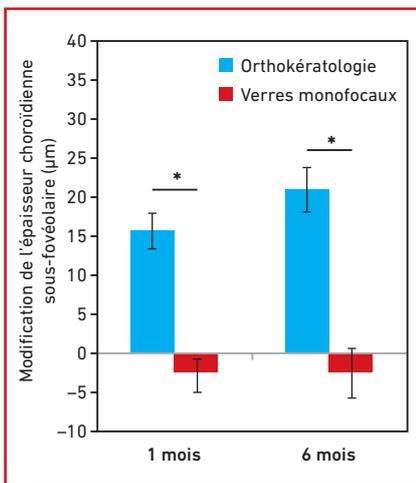


Fig. 8 : Modification de l'épaisseur de la choroïde après port de verres monofocaux ou d'orthokératologie. Il y a une augmentation de l'épaisseur de la choroïde chez les enfants traités par port nocturne de lentilles (d'après [9]).

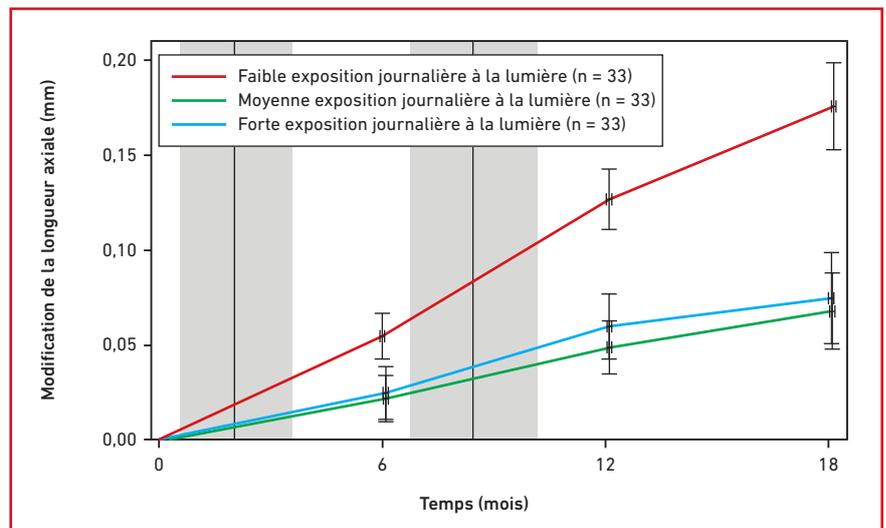


Fig. 9 : Évolution de la longueur axiale en fonction de l'exposition quotidienne des enfants à la lumière. Les enfants ayant une faible exposition à la lumière ont une augmentation de la longueur axiale plus importante que les autres (d'après [10]).

POINTS FORTS

- Chez les enfants, la choroïde est plus mince chez les myopes.
- L'amincissement de la choroïde précède l'augmentation de la myopie et a une valeur pronostique.
- Les verres défocalisants périphériques, l'atropine, l'exposition à la lumière et l'orthokératologie, qui limitent la progression de la myopie, entraînent une augmentation de l'épaisseur de la choroïde.
- L'examen de la choroïde pourrait être un moyen simple d'évaluer les traitements freinateurs de la myopie.

l'épidémie de COVID-19 a entraîné une augmentation de la prévalence de la myopie chez les enfants de 6 ans lors des examens de septembre 2020 [11] (**fig. 10**). L'exposition à la lumière grâce à un dispositif de luminothérapie pendant 30 minutes le matin entraîne une augmentation de l'épaisseur de la choroïde durant tout le nyctémère [12] (**fig. 11**). Ces éléments sont en faveur de l'intérêt de l'activité extérieure et de l'exposition à la lumière chez les enfants pour limiter la progression de la myopie.

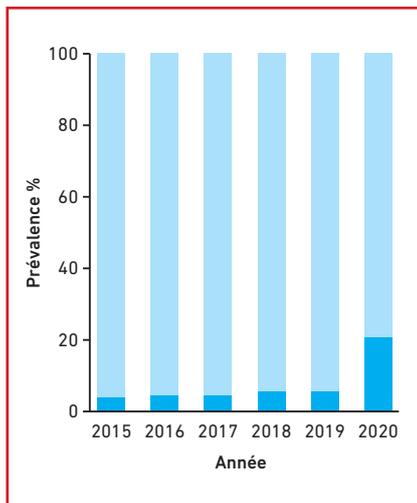


Fig. 10 : Prévalence de la myopie chez les enfants chinois de 6 ans. Il existe une très nette augmentation de la prévalence de la myopie notée lors de l'examen de septembre 2020 qui a suivi le confinement. Il est possible que la diminution de l'exposition à la lumière ou encore l'effort accommodatif en raison du temps passé devant les écrans expliquent l'augmentation de la fréquence de la myopie (d'après [11]).

Plusieurs hypothèses ont été évoquées pour expliquer le rôle de la choroïde dans la régulation de la croissance de l'œil [13]. La production de facteurs de croissance agissant sur la sclère par la choroïde ou encore la choroïde agissant comme une barrière à la diffusion de modulateurs produits par la rétine en direction de la sclère ont été évoquées. Il est certain que la choroïde, située entre la rétine et la sclère, participe à la modulation de la croissance de la sclère.

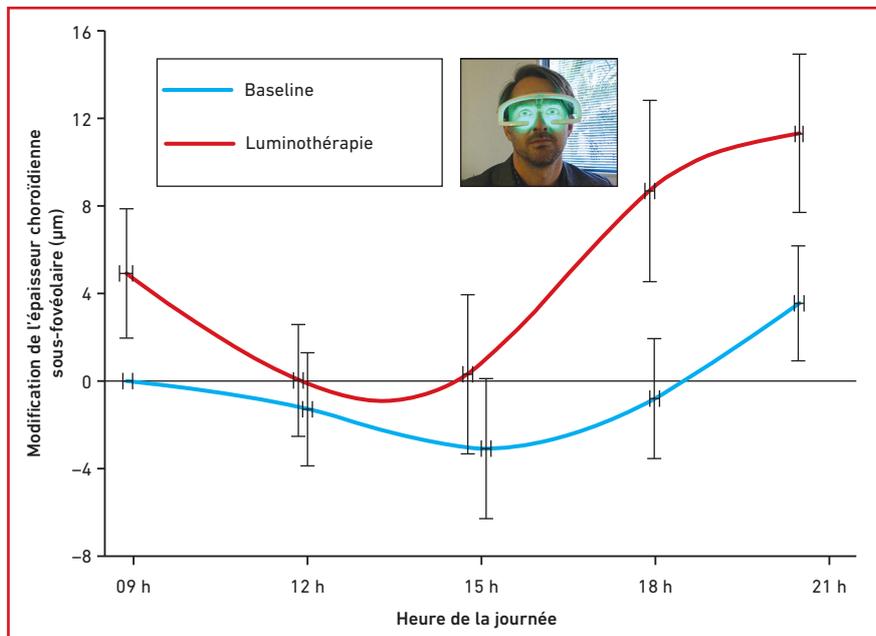


Fig. 11 : L'exposition à la lumière grâce à un dispositif de luminothérapie pendant 30 minutes le matin entraîne une augmentation de l'épaisseur de la choroïde durant tout le nyctémère (d'après [12]).

Conclusion

La choroïde des patients myopes est plus fine que celle des patients emmétropes. Les études récentes montrent que, chez les enfants, une choroïde mince est un facteur favorisant l'apparition et la progression de la myopie. L'atropine, les verres défocalisants, l'orthokératologie et l'exposition à la lumière, qui ont montré leur efficacité dans la freination de la myopie, entraînent une augmentation rapide de l'épaisseur de la choroïde. Il semble que l'augmentation de l'épaisseur de la choroïde précède le ralentissement de la myopie. Le mécanisme qui lie cette augmentation de l'épaisseur et son influence sur la myopie est mal connu (**fig. 12**).

L'augmentation de l'épaisseur de la choroïde secondaire à l'atropine et celle due à la défocalisation myopique sont additionnelles : l'instillation d'atropine et le port simultané de verres défocalisants pourraient avoir un effet conjugué, freinant la myopie de manière plus efficace.

L'examen de la choroïde par tomographie en cohérence optique est donc un

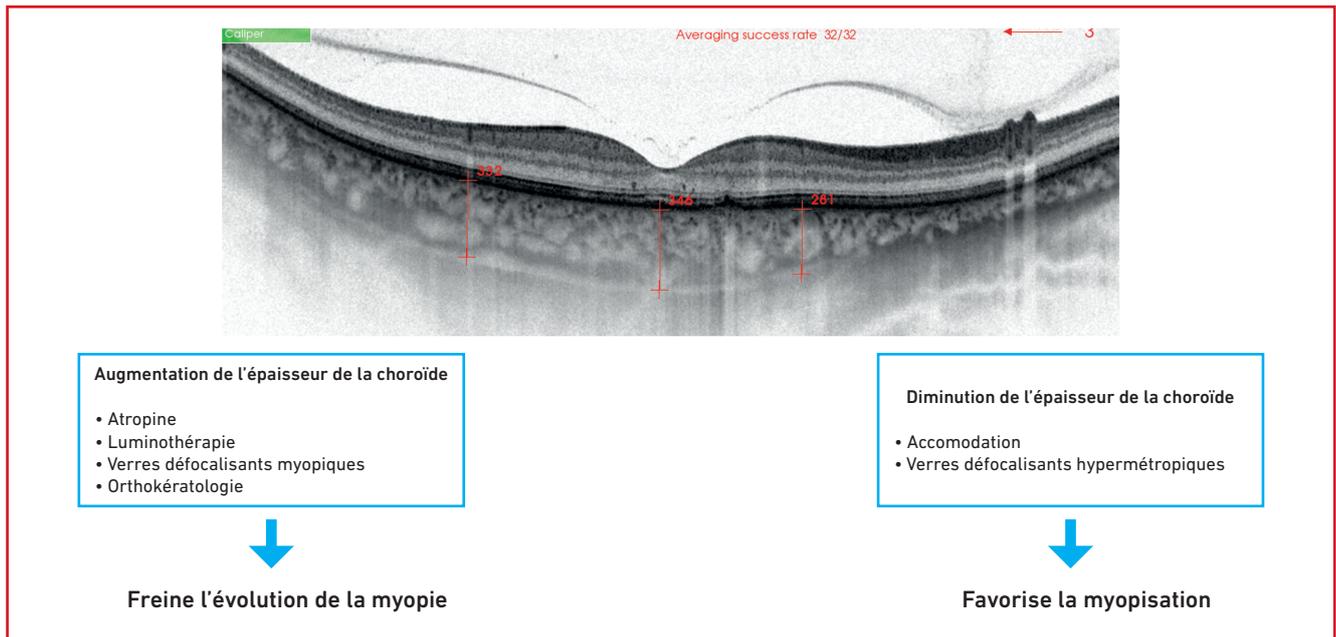


Fig. 12.

moyen d'évaluer les risques de progression de la myopie chez les enfants et d'améliorer notre compréhension des moyens pour en limiter la progression.

BIBLIOGRAPHIE

1. PROUSALI E, DASTIRIDOU A, ZIAKAS N *et al.* Choroidal thickness and ocular growth in childhood. *Surv Ophthalmol*, 2021; 66:261-275.
2. READ SA, COLLINS MJ, VINCENT SJ *et al.* Choroidal thickness in myopic and nonmyopic children assessed with enhanced depth imaging optical coherence tomography. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2013;54:7578-7586.
3. FONTAINE M, GAUCHER D, SAUER A *et al.* Choroidal thickness and ametropia in children: a longitudinal study. *Eur J Ophthalmol*, 2017;27:730-734.
4. READ SA, ALONSO-CANEIRO D, VINCENT SJ *et al.* Longitudinal changes in choroidal thickness and eye growth in childhood. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2015;56:3103-3112.
5. ZHANG Z, ZHOU Y, XIE Z *et al.* The effect of topical atropine on the choroidal thickness of healthy children. *Sci Rep*, 2016;6:34936.
6. CHIANG ST, CHEN TL, PHILLIPS JR. Effect of optical defocus on choroidal thickness in healthy adults with presbyopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2018;59: 5188-5193.
7. KA-MAN CHUN R, LIU Z, TANG WC *et al.* Choroidal thickening in response to DIMS spectacle lens wear. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2021;62:1389.
8. CHIANG ST, TURNBULL PRK, PHILLIPS JR. Additive effect of atropine eye drops and short-term retinal defocus on choroidal thickness in children with myopia. *Sci Rep*, 2020;10:18310.
9. CHEN Z, XUE F, ZHOU J *et al.* Effects of orthokeratology on choroidal thickness and axial length. *Optom Vis Sci*, 2016;93:1064-1071.
10. READ SA, COLLINS MJ, VINCENT SJ. Light exposure and eye growth in childhood. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2015; 56:6779-6787.
11. WANG J, LI Y, MUSCH DC *et al.* Progression of myopia in school-aged children after COVID-19 home confinement. *JAMA Ophthalmol*, 2021;139:293-300.
12. READ SA, PIETERSE EC, ALONSO-CANEIRO D *et al.* Daily morning light therapy is associated with an increase in choroidal thickness in healthy young adults. *Sci Rep*, 2018;8:8200.
13. SUMMERS JA. The choroid as a sclera growth regulator. *Exp Eye Res*, 2013; 114:120-127.



S. RAZAVI
TOURS.

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