

Glaucome primaire à angle fermé : un examen métahistorique complet – Partie 2

**Derek MacDonald, O.D., FAAO,
Dipl AAO**

Optométriste, Ilex Eyecare
Waterloo (Ontario), Canada

Résumé

Le glaucome primaire à angle fermé, bien qu'il soit moins commun que le glaucome primaire à angle ouvert, présente un risque 4 à 5 fois plus élevé de morbidité visuelle grave. L'identification des personnes présentant un risque élevé de maladie permet une intervention proactive plutôt que réactive, ce qui contribue à atténuer la possibilité de conséquences potentiellement graves. Elle est facilitée par une anamnèse minutieuse, un examen clinique et une imagerie auxiliaire, tandis que la prise en charge est un paradigme en évolution, éclairé par un certain nombre de recherches relativement récentes, qui peut impliquer des médicaments, des traitements au laser, une intervention chirurgicale ou une combinaison de ces éléments. Cette série d'articles, qui s'appuiera sur des documents pertinents évalués par les pairs, tentera de fournir une synthèse et un synopsis complets, mais ciblés du diagnostic et de la prise en charge actuels du glaucome primaire à angle fermé. Cette section portera sur les modalités d'imagerie auxiliaire, y compris la tomographie par cohérence optique du segment antérieur et les paramètres quantitatifs du segment antérieur.

Mots clés

glaucome primaire à angle fermé, gonioscopie, tomographie par cohérence optique du segment antérieur, bloc pupillaire, iris plateau, continuum angle fermé, iridotomie périphérique au laser, extraction de la cataracte

Modalités d'imagerie auxiliaire qualitative : photographie

La photographie peut faciliter la documentation de l'état de l'angle, tout comme la documentation de l'état de la tête du nerf optique. La photographie à la lampe à fente permet d'obtenir des images couleur

du segment antérieur d'une résolution extrêmement élevée, mais sa réalisation est techniquement complexe et prend beaucoup de temps.

La documentation photographique automatisée de l'angle à 360°, pilotée par logiciel, constitue un moyen de surmonter cet obstacle. Un instrument équipé d'une lentille de gonioscopie indirecte à 16 miroirs peut être utilisé pour capturer 16 photographies couleur haute résolution de 22,5° (2,0 × 2,36 mm). Chaque image est capturée dans 17 plans différents afin de tenir compte des variations de profondeur angulaire, la plus nette étant utilisée pour l'analyse. Ces images peuvent être examinées individuellement ou, comme elles

Citation suggérée

MacDonald D. Glaucome primaire à angle fermé : un examen métahistorique complet – Partie 2. *Can J Optom.* 2026;88(2):27-41.
<https://www.doi.org/10.65636/cjo.v88i2.6925>

Liste des sigles

AIT	angle irido-trabéculaire
BMU	biomicroscopie par ultrasons
CC	corps ciliaire
CI	courbure de l'iris
CIT	contact irido-trabéculaire
DOA	distance d'ouverture de l'angle
DOA _{LS}	distance d'ouverture de l'angle au niveau de la ligne de Schwalbe
ES	éperon scléral
FAP	fermeture de l'angle primaire
FC	flèche cristallinienne
FPAA	fermeture primaire aiguë de l'angle
GAF	glaucome à angle fermé
GPAF	glaucome primaire à angle fermé
GPAFS	glaucome primaire à angle fermé suspect
IPL	iridotomie périphérique au laser
LCA	largeur de la chambre antérieure
LS	ligne de Schwalbe
PCA	profondeur de la chambre antérieure
RT	réseau trabéculaire
SAP	synéchies antérieures périphériques
SCA	surface de la cavité angulaire
SIT	surface irido-trabéculaire
SIT _{LS}	surface irido-trabéculaire au niveau de la ligne de Schwalbe
TCO-DS	tomographie par cohérence optique à domaine spectral
TCO-SA	tomographie par cohérence optique du segment antérieur
VCA	volume de la chambre antérieure

se chevauchent légèrement, combinées en un montage circulaire ou linéaire¹. Bien qu'elle ne remplace pas la gonioscopie traditionnelle (étant statique, bidimensionnelle et ne permettant pas de techniques dynamiques ou de compression/indentation), cette approche standardisée peut faciliter la documentation, permettre la comparaison entre les quadrants, offrir une analyse hors ligne plutôt que strictement en temps réel, et permettre la détection des changements au fil du temps, y compris après le traitement, grâce à l'évaluation longitudinale d'images en série^{2,3}.

Modalités d'imagerie auxiliaire quantitative

De l'information quantitative hautement reproductible peut constituer un complément utile à l'évaluation gonioscopique qualitative, peut-être en particulier pour prédire le risque de progression⁴. Cependant, la gonioscopie reste essentielle pour identifier des caractéristiques importantes, notamment les synéchies antérieures périphériques (SAP), qui peuvent être difficiles à détecter avec les modalités d'imagerie actuelles^{5,6}.

Les procédures d'imagerie complémentaires — notamment la biomicroscopie par ultrasons, l'imagerie de Scheimpflug et, plus récemment, la tomographie par cohérence optique du segment antérieur — ont permis d'identifier de nombreux nouveaux paramètres biométriques qui constituent des facteurs de risque de fermeture de l'angle⁷⁻⁹. Tout comme en gonioscopie, le contrôle de la fixation, de l'éclairage, de l'accommodation et de la position des paupières est essentiel pour maintenir la position du globe oculaire et prévenir la constriction pupillaire, ce qui permet d'obtenir des images représentatives du segment antérieur^{5,10}.

Biomicroscopie par ultrasons

La biomicroscopie par ultrasons (BMU), introduite à la fin des années 1980, est une technique d'imagerie bidimensionnelle non invasive reposant sur la réflexion d'ondes sonores focalisées à haute fréquence (le plus souvent 50 MHz) par des tissus de différentes impédances¹¹.

La BMU offre une résolution axiale et latérale de 25 µm et 50 µm, respectivement, ainsi qu'une

pénétration tissulaire de 3 à 5 mm¹². La pénétration peut être améliorée en utilisant des fréquences plus basses, au prix toutefois d'une résolution moindre. En effet, l'un des principaux atouts de la BMU réside dans sa capacité à pénétrer l'épithélium pigmentaire de l'iris et à obtenir une image du corps ciliaire (CC), ce qui s'avère particulièrement utile dans les cas d'iris en plateau (ce sujet sera abordé plus en détail ultérieurement dans cette série)^{2,11,12}.

La BMU permet d'identifier avec précision les angles étroits et détecte le contact irido-trabéculaire (CIT) plus souvent que la gonioscopie^{13,14}.

La BMU a été la première modalité à quantifier des paramètres, notamment la profondeur de la chambre antérieure (PCA), la distance d'ouverture de l'angle (DOA) et la surface de la cavité angulaire (SCA), entre autres. Bon nombre de ces paramètres seront abordés en détail dans la revue consacrée à la tomographie par cohérence optique du segment antérieur (TCO-SA) qui suivra^{12,15}.

Grâce à sa capacité à visualiser les structures situées en arrière de l'iris, la BMU permet également de quantifier des paramètres impossibles à mesurer par TCO-SA, notamment la distance entre le processus trabéculaire et le processus ciliaire ainsi que l'angle entre ces deux processus, qui sont tous deux plus petits en présence d'un corps ciliaire (CC) situé antérieurement, caractéristique de l'iris en plateau¹⁶.

Les images par BMU avant et après iridotomie périphérique au laser (IPL) permettent de mettre en évidence une augmentation de la DOA et de la SCA, ainsi qu'une diminution de la convexité de l'iris grâce à l'élimination réussie du bloc pupillaire¹⁷. Cependant, les patients doivent être en décubitus dorsal afin de permettre l'immersion de la sonde ultrasonore dans un bain d'eau précornéen et doivent fixer une cible éloignée avec l'autre œil pour contrôler l'accommodation. L'éclairage ambiant doit être faible pour contrôler la taille de la pupille¹³. De plus, la répétabilité entre examinateurs peut poser problème en raison du manque d'uniformité dans le positionnement de la sonde et de l'identification manuelle des repères anatomiques importants, le plus souvent l'éperon scléral (ES)².

Imagerie Scheimpflug

En photographie conventionnelle, les plans de la lentille, du film et de la mise au point sont parallèles. En imagerie Scheimpflug, le fait d'incliner le plan de la lentille pour qu'il croise les 2 autres plans étend la profondeur de champ, permettant ainsi l'imagerie simultanée des structures situées entre la cornée antérieure et la face postérieure du cristallin¹⁸. L'instrument Pentacam de référence utilise une source lumineuse de 475 nm et une caméra Scheimpflug rotative pour acquérir de multiples photographies en coupe transversale et générer un modèle tridimensionnel du segment antérieur^{19,20}.

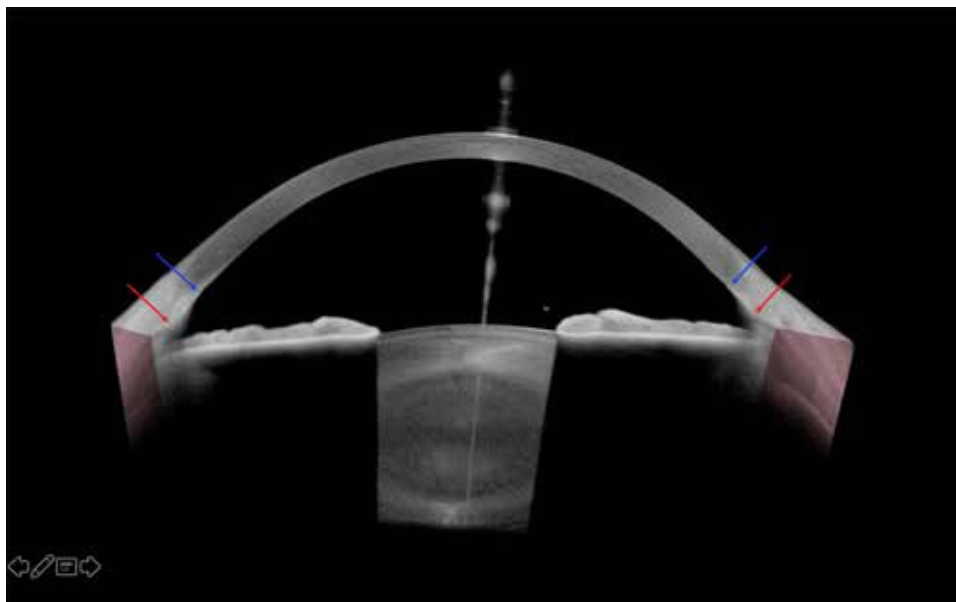
L'imagerie Scheimpflug permet de quantifier la PCA et le volume de la chambre antérieure (VCA), ainsi que leur évolution après une IPL ou une extraction du cristallin, mais ne permet pas la visualisation directe de l'angle et est sensible à l'influence de l'accommodation et de l'éclairage^{2,12}. De plus, elle présente généralement une faible corrélation avec la gonioscopie, en particulier dans les angles étroits. Contrairement à la BMU, elle ne permet pas de visualiser les structures situées en arrière de l'iris²¹.

Tomographie par cohérence optique du segment antérieur

La TCO-SA utilise l'interférométrie dans le proche infrarouge à faible cohérence pour produire des images transversales in vivo, permettant ainsi des analyses tant qualitatives que quantitatives²².

Tout comme la gonioscopie, cet examen est influencé par l'éclairage ambiant et l'accommodation²³. Contrairement à la gonioscopie, il n'y a que peu ou pas d'influence de pression mécanique involontaire, mais il n'est pas non plus possible d'effectuer facilement une compression/indentation^{24,25}. Cependant, l'angle fermé par synéchie et l'angle fermé par apposition peuvent être différenciés grâce à l'imagerie dynamique dans des conditions de lumière et d'obscurité (un angle présentant des SAP restera fermé, quelle que soit l'illumination ambiante), et la TCO-SA à source balayée permet de détecter les SAP avec un haut niveau de concordance avec la gonioscopie²⁶. Bien qu'un balayage horizontal soit le plus facile à obtenir et le plus fréquemment analysé, les cliniciens doivent garder à l'esprit que les balayages le long d'axes

Figure 1. Image obtenue par tomographie par cohérence optique du segment antérieur à source balayée, illustrant la localisation de l'éperon scléral nasal et temporal (flèches rouges) et de la ligne de Schwalbe nasale et temporale (flèches bleues)



L'éperon scléral se caractérise par un léger changement de courbure (ou une bosse) marquant l'insertion du muscle ciliaire à environ 500 μm en arrière du réseau trabéculaire. La ligne de Schwalbe marque la terminaison périphérique de la membrane de Descemet, entre l'antérieur réseau trabéculaire et l'endothélium cornéen.

verticaux ou obliques (semblables à l'examen gonioscopique de plusieurs quadrants) peuvent donner des résultats radicalement différents et plus représentatifs²⁷⁻²⁹.

Bien qu'elles offrent une résolution, une largeur et une profondeur de balayage déjà impressionnantes et en constante amélioration, aucune des modalités de TCO-SA ne permet actuellement de visualiser les structures situées en arrière de l'iris (ou à travers des opacités des milieux) aussi bien que la BMU^{12,30,31}. Cependant, la TCO-SA est plus conviviale pour l'utilisateur et le patient que la BMU et offre une meilleure répétabilité ainsi qu'une résolution plus élevée, en particulier lorsque plusieurs images font l'objet d'un échantillonnage et d'un calcul de moyenne^{12,32}. Cela permet une identification plus précise et plus exacte de l'ES, visualisé

sous la forme d'un changement subtil de courbure (ou d'une bosse) marquant l'extension de la sclère plus claire (visible en avant du muscle ciliaire plus sombre) dans la chambre antérieure, à sa jonction avec la cornée postérieure (voir la figure 1)³³. L'ES est un repère essentiel, étant donné que le réseau trabéculaire (RT) se trouve à environ 500 μm en avant de celui-ci^{10,32}.

La TCO-SA dans le domaine temporel Zeiss Visante de 1310 nm, modèle de référence, offre une largeur de balayage pouvant atteindre 16 mm (avec 256 A-scans), une profondeur de 8 mm, une vitesse d'environ 2000 A-scans par seconde, ainsi qu'une résolution axiale et transversale d'environ 18 μm et 60 μm , respectivement²⁰.

L'identification des ES peut s'avérer difficile avec la TCO-SA dans le domaine temporel, environ

1 cas sur 4 étant indéterminé, même lorsque des images de haute qualité sont évaluées par des spécialistes du glaucome s'intéressant à l'angle fermé^{10,34,35}. La difficulté peut être encore plus grande avec les longueurs d'onde (~840 nm) plus courtes et la pénétration (~2 mm) et la largeur (~3 mm) réduites de la TCO dans le domaine spectral (TCO-DS) (un appareil plus couramment utilisé en cabinet privé), en particulier chez les personnes âgées de plus de 65 ans, dans les quadrants supérieur et inférieur, et en présence d'une opacité limbique recouvrant un angle étroit^{32,36-38}. Cela peut s'avérer encore plus problématique si des images de moins bonne qualité sont évaluées par des praticiens moins expérimentés. De plus, l'écart-type inter-observateurs dans la localisation de l'ES peut avoisiner les 100 µm, ce qui introduit une variabilité significative². Cependant, la vitesse de balayage plus élevée (27 000 à 100 000 A-scans par seconde) et une résolution supérieure de la TCO-DS permettent d'identifier davantage de structures antérieures, notamment le RT, le canal de Schlemm et la ligne de Schwalbe (LS)^{12,39,40}.

La TCO-SA à source balayée utilisant un laser de balayage accordable à 1310 nm offre une largeur et une profondeur de balayage (respectivement 16 mm et 6 à 14 mm) qui rivalisent avec celles de la TCO-SA dans le domaine temporel dédié, ainsi qu'une vitesse (30 000 à 200 000 A-scans par seconde) et une résolution axiale et transversale (respectivement de 5 à 9 µm et de 15 à 30 µm) qui la surpassent⁴¹⁻⁴³. La pénétration accrue du balayage permet de visualiser la surface postérieure du cristallin et de calculer son épaisseur, bien que la BMU reste supérieure pour la visualisation de la chambre antérieure. L'acquisition d'images à grande vitesse (balayage à 360° en moins de 3 secondes) permet la localisation simultanée de l'ES et de la LS (représentant les limites postérieure et antérieure du RT), ainsi que la reconstruction d'une image tridimensionnelle d'une précision impressionnante de l'iris et des structures angulaires, ce qui permet de quantifier avec exactitude et précision la surface et l'angle des SAP, ce qui est pratiquement impossible avec la gonioscopie par compression/indentation^{35,46}.

TCO-SA et gonioscopie

Les premières comparaisons semblaient indiquer que la BMU et la TCO-SA présentaient une forte corrélation avec le grade angulaire gonioscopique³⁵. Cependant, d'autres études ont démontré que la TCO-SA détecte 50 % de cas supplémentaires de fermeture par apposition (définie comme tout CIT situé en avant de l'ES) par rapport à la gonioscopie, peut-être grâce à un meilleur contrôle de l'éclairage et à une manipulation physique moindre du globe oculaire^{47,48}. La TCO-SA pourrait également mieux caractériser les variations anatomiques entre les quadrants⁴⁹. Par la suite, il a été observé qu'environ 15 % des yeux pouvaient être classés à tort comme présentant une fermeture de l'angle (en utilisant la gonioscopie comme norme de référence) lorsqu'un CIT $\geq 180^\circ$ était détecté par TCO-SA à source balayée⁵⁰. Bon nombre de ces faux positifs présentaient un CIT court n'impliquant qu'une partie du RT. Cependant, les yeux présentant un CIT plus étendu, détecté par TCO-SA au départ, présentent un risque plus élevé de fermeture d'angle détecté par gonioscopie sur une période de suivi de 4 années⁵¹.

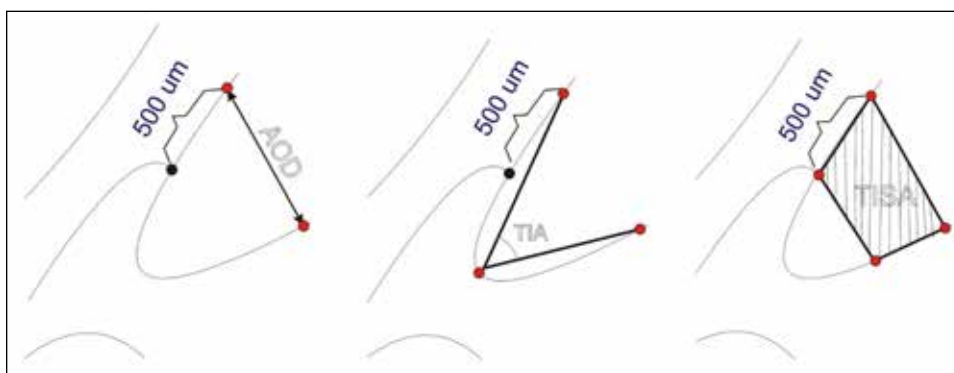
Une étude récente a démontré que seul 1 œil sur 3 présentant une fermeture de l'angle par gonioscopie (définie comme l'incapacité de visualiser le RT postérieur $\geq 180^\circ$) présentait un CIT $\geq 180^\circ$ à la TCO-SA à balayage, et 1 sur 6 ne présentait absolument aucun signe de CIT⁵². Cela suggère que la fermeture de l'angle détectée par gonioscopie ne correspond pas toujours à une véritable fermeture anatomique de l'angle (c'est-à-dire que le RT postérieur peut ne pas être visible, mais reste dégagé) et met en évidence le rôle potentiel de la TCO-SA dans la stratification du risque.

Comme cela s'est souvent avéré être le cas dans le domaine du glaucome (qu'il s'agisse de glaucome à angle ouvert ou à angle fermé), il ne s'agit pas de choisir entre une technique **ou** une autre, mais d'utiliser l'une **et** l'autre.

Paramètres quantifiés de la chambre antérieure par TCO-SA

La TCO-SA a permis d'identifier ou d'affiner de nombreux nouveaux paramètres quantitatifs associés à un risque accru de fermeture de l'angle, la

Figure 2. Schéma représentant la relation entre la distance d'ouverture de l'angle (DOA_{500} , à gauche), l'angle irido-trabéculaire (AIT_{500} , au centre) et la surface irido-trabéculaire (SIT_{500} , à droite)



La DOA (AOD en anglais), l'AIT (TIA en anglais) et la SIT (TISA en anglais) dépendent tous d'une localisation précise et exacte de l'éperon scléral.

plupart reposant encore sur une identification subjective précise de l'ES^{10,11,32,53}.

Une largeur réduite de la chambre antérieure (LCA) (définie comme la distance horizontale entre les ES, mesurée en millimètres) constitue un facteur de risque et un signe fréquent observé dans les yeux plus susceptibles de développer un glaucome primaire à angle fermé (GPAF), notamment chez les femmes, les personnes d'origine chinoise et les personnes de plus de 65 ans^{35,54}.

On a observé que la surface moyenne de la chambre antérieure et le volume moyen de la chambre antérieure (VCA) étaient plus faibles dans les yeux présentant des angles de chambre antérieure étroits et plus élevés après une IPL^{53,55}. La surface de la chambre antérieure est définie comme la surface de section transversale délimitée par l'endothélium cornéen, l'iris antérieur et le cristallin antérieur au niveau de la pupille, mesurée en millimètres carrés. Le VCA est calculé en effectuant mathématiquement une rotation complète de la surface de la chambre antérieure autour d'un axe passant par son centre, mesuré en millimètres cubes.

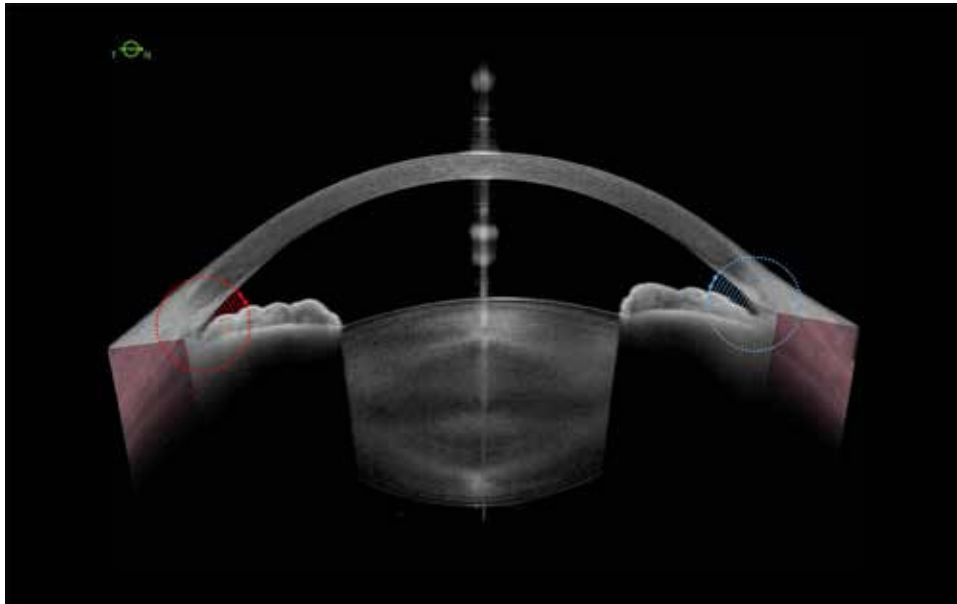
La PCA et le VCA diminuent tous deux avec l'âge, ce qui pourrait jouer un rôle dans la pathogenèse de la maladie de fermeture d'angle. Entre 20 et 80 ans, la PCA moyenne diminue de $3,2 \pm 0,3$ mm à $2,5 \pm 0,4$ mm, et le VCA de $2,32 \pm 0,46$ mm³ à

$1,52 \pm 0,45$ mm³^{56,57}. Cela dit, tous les yeux présentant une PCA centrale peu profonde ne présentent pas un risque équivalent de développer une maladie de l'angle fermé primaire. Dans certains yeux, l'anatomie de l'angle périphérique peut être plus normale que ne le suggère la PCA centrale, ce qui les expose à un risque relativement faible de fermeture de l'angle²⁹.

Une LCA, une surface de la chambre antérieure et un VCA plus petits contribuent à l'encombrement du segment antérieur et augmentent le risque de développer une fermeture de l'angle⁷. En effet, une surface de la chambre antérieure et un VCA plus petits multiplient par 40 à 50 le risque d'avoir un angle étroit^{55,57,58}.

Quantifiée pour la première fois par Pavlin dans des études par BMU, la DOA est définie comme la longueur d'une ligne entre la surface antérieure de l'iris et l'endothélium cornéen, perpendiculaire au plan du trabéculum, à une distance fixe (souvent 500 ou 750 µm) de l'ES qui est estimée correspondre à l'emplacement du RT¹¹. On sait que la DOA est plus petite chez les personnes dont le diagnostic passe de « glaucome primaire à angle fermé suspect » (GPAFS) à « fermeture de l'angle primaire » (FAP); elle permet de prédire une fermeture gonioscopique incidente de l'angle et augmente après une IPL^{6,53}. En effet, la DOA_{750} horizontale pourrait être

Figure 3. Malgré une distance d'ouverture de l'angle (DOA_{750}) relativement symétrique, l'angle temporal (à gauche sur cette image) présente une surface de la cavité angulaire (SCA_{750}) plus petite que l'angle nasal (à droite), ce qui l'expose à un risque plus élevé de fermeture



le meilleur paramètre unique pour détecter les angles étroits par gonioscopie. Une DOA_{750} de référence $\leq 300 \mu\text{m}$ a montré une sensibilité de près de 96 % et une spécificité de 65 % pour identifier les personnes à risque de fermeture d'angle incidente lors d'un suivi de 4 ans^{7,37,58}.

L'angle irido-trabéculaire, généralement défini à $500 \mu\text{m}$ de l'ES (AIT_{500}), est une mesure de l'angle en degrés entre les 2 lignes reliant la partie la plus profonde de la cavité angulaire et les extrémités de la ligne représentant la DOA_{500} . Plus la DOA_{500} est petite, plus l' AIT_{500} est étroit⁵⁹.

Défini comme la surface triangulaire entre la surface antérieure de l'iris, la surface postérieure cornéosclérale et la DOA, mesurée en μm , la SCA est plus petite chez les personnes présentant une fermeture de l'angle et augmente après une IPL^{5,53,60}.

Représentant effectivement une partie de la SCA, la surface irido-trabéculaire (SIT) est également plus petite chez les personnes passant d'un GPAFS à une FAP et augmente après une IPL^{4,5,53,58}. La SIT est définie comme la zone trapézoïdale délimitée

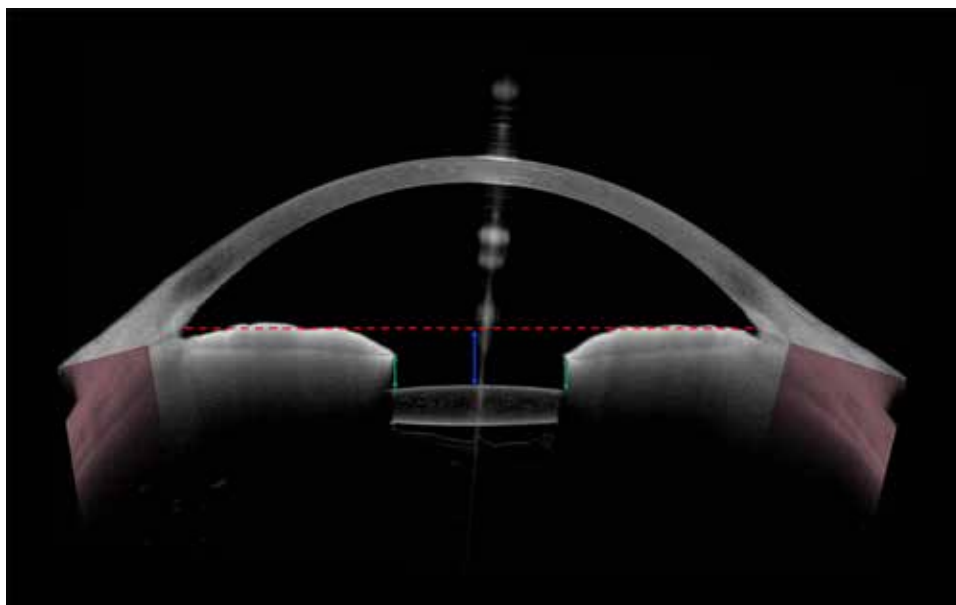
par la DOA (à 500 ou $750 \mu\text{m}$) en avant, une ligne entre l'ES et l'iris antérieur perpendiculaire à la paroi sclérale en arrière, la surface cornéosclérale en haut et la surface antérieure de l'iris en bas.

La relation entre la DOA_{500} , l' AIT_{500} et la SIT_{500} est représentée schématiquement à la figure 2⁶¹.

Veillez vous reporter à la figure 3 pour un exemple de l'influence du contour de l'iris périphérique sur le risque de fermeture de l'angle. Il convient de noter que malgré une DOA_{750} relativement symétrique, l'angle temporal (à gauche sur cette image) présente une SCA_{750} nettement plus petite, ce qui l'expose à un risque plus élevé de fermeture.

Étant donné que l'ES peut être difficile à visualiser dans près de 1 œil sur 4, la mesure de la DOA au niveau de la ligne de Schwalbe (DOA_{LS}) a été proposée comme solution de rechange aux mesures référencées par rapport à l'ES⁶². La DOA_{LS} correspond à la distance entre la ligne de Schwalbe (visible dans plus de 95 % des yeux comme jonction interne entre le stroma cornéen plus sombre et la sclère plus claire au niveau du limbe) (voir la figure 1) et

Figure 4. Après l'extraction d'une cataracte ou d'un cristallin clair



Notez la présence d'une flèche cristallinienne négative (flèche bleue) et l'absence de contact irido-lenticulaire/lentille intraoculaire implantée (flèches vertes), même si le bord de l'iris est plus postérieur que sa racine.

la surface de l'iris perpendiculaire à l'endothélium cornéen. En effet, étant donné que la longueur du RT présente une variabilité interindividuelle significative et peut être plus courte chez les personnes atteintes d'un GAF que chez celles qui ne le sont pas⁶³, la DOA_{LS} pourrait constituer un meilleur indicateur de la capacité de l'humeur aqueuse à accéder au RT que la DOA_{500} ou la DOA_{750} .

En utilisant la ligne de Schwalbe (LS) comme repère, la surface irido-trabéculaire au niveau de la ligne de Schwalbe (SIT_{LS}) peut être calculée comme la surface trapézoïdale délimitée par la DOA_{LS} à l'avant, une ligne entre la paroi sclérale et l'iris antérieur tracée perpendiculairement à la paroi sclérale à une distance arbitraire de 500 μm en arrière de la LS, la surface cornéosclérale en haut, et la surface antérieure de l'iris en bas⁶⁴. La capacité de la SIT_{LS} à identifier une fermeture de l'angle s'est avérée comparable à celle de la gonioscopie et à celle de la SIT_{500} et de la SIT_{750} , avec là encore l'avantage que la LS est plus facilement identifiable que l'ES sur la plupart des images TCO-DS. De plus, comme elle tient compte de la courbure de

l'iris postérieure au niveau de la LS (voir figure 3), la SIT_{LS} pourrait refléter l'anatomie de l'angle et le risque de fermeture qui y est associé avec plus de précision que la DOA_{LS} ⁶⁴.

La flèche cristallinienne (FC) correspond à la distance entre la face antérieure du cristallin et le plan de l'ES (un indicateur de la limite postérieure de l'angle)^{9,65}. La FC quantifie le volume du cristallin dans la partie antérieure de l'œil et constitue l'un des principaux facteurs contribuant à la réduction de la largeur de l'angle. Une FC de référence > 0,56 mm présentait une sensibilité de près de 65 % et une spécificité de 84 % pour identifier les personnes qui ont développé une fermeture de l'angle au bout de 4 ans de suivi⁵⁸.

Les yeux atteints de GPAF présentent une FC significativement plus élevée que les yeux sains (1,06 contre 0,36 mm)⁶⁶, et les individus se situant dans le quartile présentant la FC la plus élevée courent près de 50 fois plus de risques de souffrir de FAP que ceux du quartile présentant la FC la plus faible⁹. Sur le plan mécanistique, une FC plus importante repousse l'iris vers l'avant, ce qui peut renforcer le

bloc pupillaire et augmenter le risque de CIT et de fermeture de l'angle incidente, indépendamment de l'épaisseur du cristallin et de la PCA^{53,65}.

Sur les images par TCO-SA des yeux présentant une FC plus importante, l'iris semble recouvrir une grande partie de la surface antérieure du cristallin, ce que certains ont qualifié de configuration en « volcan »⁶⁷.

La FC a tendance à augmenter avec la progression de la cataracte, peut diminuer après une IPL (réduisant encore le risque de bloc pupillaire persistant) et diminue nettement après une extraction du cristallin (cataracte ou cristallin clair) (voir figure 4)^{9,28,68}. Sans surprise, les patients présentant une FC prononcée ont tendance à voir leur pression intraoculaire diminuer de manière significative après l'extraction du cristallin⁶⁷.

L'importance de la FC a été évoquée à la fin des années 1990, bien avant la mise au point de la TCO-SA, lorsque Salmon a estimé que « la caractéristique biométrique la plus importante prédisposant au glaucome à angle fermé est la position relativement avancée de la surface antérieure du cristallin par rapport à la racine de l'iris »⁶⁹.

La courbure de l'iris (CI) est accentuée en présence d'un bloc pupillaire (réflétant le bombé de l'iris) et s'aplatit après une IPL, contribuant à une augmentation de la surface de la chambre antérieure et du VCA^{6,53,70}. La CI est définie comme la distance perpendiculaire en millimètres entre la surface postérieure de l'iris à son point de courbure maximale et les 2 points marquant l'épithélium pigmentaire de l'iris le plus périphérique et le plus central.

Une CI, une surface de l'iris et une épaisseur de l'iris plus importantes, comme quantifié par TCO-SA, augmentent toutes l'encombrement de l'angle et se sont avérées multiplier indépendamment de 2,5 à 2,7 fois le risque d'un angle étroit^{7,9,71}. La surface de l'iris correspond à la section transversale cumulative de l'iris entre l'ES et le bord de la pupille. L'épaisseur de l'iris est mesurée à une distance fixe de l'ES (généralement 750 et 2000 μm) ou de la racine de l'iris (habituellement 500 et 1000 μm).

De plus, une épaisseur périphérique accrue de l'iris est plus fréquente chez les personnes de plus de

65 ans, les personnes d'origine asiatique et celles ayant des antécédents de GPAF^{4,72}.

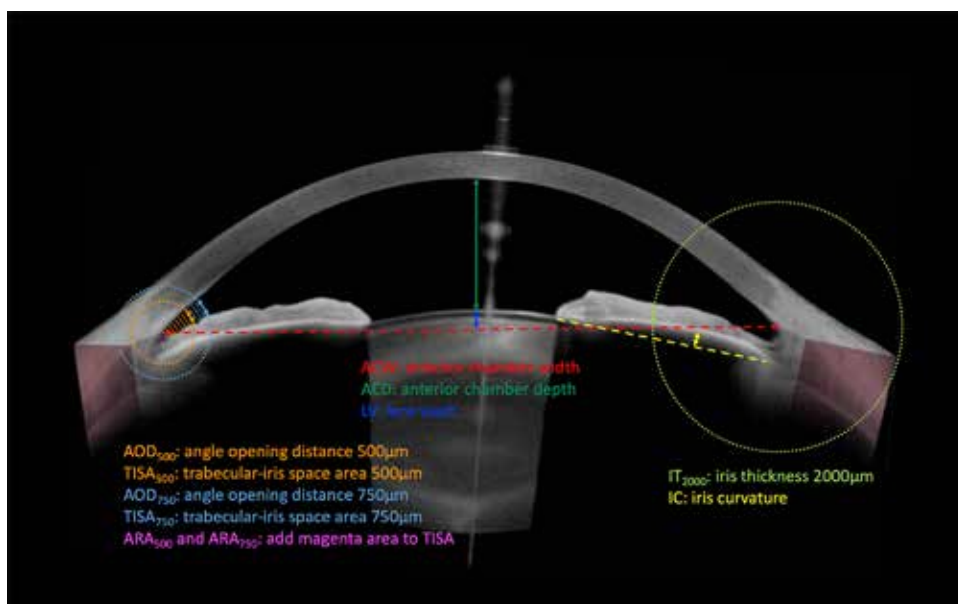
Une analyse rétrospective des données de l'essai Zhongshan Angle Closure Prevention Trial a identifié une largeur d'angle réduite (DOA_{500} horizontale étroite et SIT_{500} horizontale $\leq 0,05 \text{ mm}^2$) et un score gonioscopique cumulé ≤ 6 deux semaines après l'IPL comme facteurs de risque biométriques prédictifs de la progression des yeux atteints de GPAFS traités par IPL⁷³. Le score gonioscopique cumulé correspond à la somme des notes gonioscopiques des quatre quadrants, où la note 0 correspond à l'absence de structures visibles, la note 2 à la présence d'un RT postérieur et la note 4 à la présence d'un corps ciliaire (CC). Cela a confirmé que l'effet protecteur de l'IPL était fortement lié à l'élargissement de l'angle et suggère que la TCO-SA pourrait avoir une valeur prédictive plus importante pour les yeux présentant des angles plus étroits avant l'IPL, tandis que la gonioscopie pourrait être plus utile pour les yeux présentant des configurations plus larges (ou plus variables) après l'IPL. Ces données ont également souligné l'importance d'une évaluation minutieuse de l'angle après une IPL, en recourant idéalement à la fois à des tests quantitatifs (TCO-SA) et qualitatifs (gonioscopie), afin de mieux identifier les yeux présentant un risque plus élevé de progression après l'IPL et orienter un suivi individualisé⁷⁴.

Une image TCO-SA à source balayée représentative illustrant la LCA, la PCA, la FC, la DOA, la SIT, la SCA, la CI et l'épaisseur de l'iris est présentée à la figure 5.

Bien que les paramètres biométriques (ou anatomiques) statiques expliquent une grande partie de la variabilité de la largeur de l'angle, les changements dynamiques (ou physiologiques) dans l'iris et la choroïde jouent également un rôle important^{34,72}. Ceci est mis en évidence par le fait que, malgré une anatomie du segment antérieur comparable, les yeux des Asiatiques présentent un risque de GPAF 5 fois plus élevé que ceux des Européens⁷⁵.

À titre d'exemple, alors que le volume de l'iris tend à diminuer avec la mydriase chez les témoins, il a été démontré qu'il diminue moins (ou, dans certains cas, augmente) chez les personnes présentant une fermeture de l'angle, créant ainsi un CIT

Figure 5. Image de tomographie par cohérence optique du segment antérieur à source balayée illustrant de nombreux paramètres du segment antérieur



Les paramètres comprennent la largeur (LCA) et la profondeur (PCA) de la chambre antérieure, la flèche cristallinienne (FC), la distance d'ouverture de l'angle (DOA), la surface irido-trabéculaire (SIT), la surface de la cavité angulaire (SCA), la courbure de l'iris (CI) et l'épaisseur de l'iris (EI), dont beaucoup dépendent d'une localisation précise et exacte de l'éperon scléral. Il convient de noter que la surface de la chambre antérieure (SCA) est délimitée par la cornée postérieure, l'iris antérieur et la surface antérieure du cristallin. Le volume de la chambre antérieure (VCA) est calculé en faisant pivoter la SCA de 360° autour d'un axe vertical passant par son centre.

et obstruant physiquement le RT^{76, 77}. Une hypothèse veut que la densité de l'iris soit accrue et que la conductivité du liquide soit altérée chez les personnes de plus de 65 ans, celles ayant des antécédents de fermeture primaire aiguë de l'angle (FPAA) et celles présentant moins de cryptes radiales de l'iris et davantage de sillons concentriques de l'iris⁷². En effet, le risque de FPAA était près de 9 fois plus élevé chez les yeux sans cryptes de l'iris que chez ceux présentant de nombreuses cryptes⁷⁸.

Plus en arrière, l'expansion/l'épanchement choroïdien (accumulation anormale de liquide dans l'espace suprachoroïdien, mieux visualisée par BMU) dans l'enveloppe cornéosclérale relativement rigide

peut provoquer un déplacement vers l'avant du vitré, du cristallin et de l'iris. Cela peut rétrécir l'angle et précipiter la FPAA, en particulier dans les yeux hypermétropes de petite taille présentant déjà des angles étroits et une résistance accrue à l'écoulement du liquide à travers le vitré antérieur^{23,79-81}. Ce mécanisme pourrait contribuer à certaines formes de FPAA iatrogène (induite par des médicaments) examinées précédemment, y compris celle secondaire au topiramate⁸².

Conclusion

Le GPAF reste une cause importante, mais malheureusement et inutilement sous-diagnostiquée, de déficience visuelle liée au glaucome. Grâce à

la reconnaissance des facteurs de risque, à une évaluation clinique minutieuse et à l'utilisation judicieuse de modalités d'imagerie auxiliaire en évolution, les optométristes en soins primaires peuvent dépister cette maladie largement évitable de l'anatomie oculaire tôt dans le spectre du glaucome à angle fermé. Cela ouvre la voie à une intervention médicale, procédurale et chirurgicale efficace, permettant de prévenir la perte de vision et de préserver la qualité de vie liée à la vision.

Divulgations

Financement : Cette étude n'a reçu aucune subvention particulière d'organismes de financement des secteurs publics, commerciaux ou sans but lucratif.

Intérêts concurrents : Tous les auteurs ont rempli le formulaire de divulgation uniforme de l'ICMJE et n'ont déclaré aucun conflit d'intérêts.

Déclaration relative à l'intelligence artificielle :

Les auteurs confirment qu'aucune technologie génératrice d'IA ou assistée par l'IA n'a été utilisée pour créer du contenu.

Auteur pour la correspondance : Derek MacDonald, derek.macdonald.ilexeye@gmail.com

Références

1. Pinto LA. (2021). *Time to refine your glaucoma practice*. Nidek Experience Center.
2. Riva I, Micheletti E, Oddone F, et al. Anterior chamber angle assessment techniques: A review. *J Clin Med*. 2020;9(12):3814. <https://doi.org/10.3390/jcm9123814>
3. Teixeira F, Sousa DC, Leal I, Barata A, Neves CM, Pinto LA. Automated gonioscopy photography for iridocorneal angle grading. *Eur J Ophthalmol*. 2020;30(1):112-118. <https://doi.org/10.1177/1120672118806436>
4. Xu BY, Friedman DS, Foster PJ, et al. Ocular biometric risk factors for progression of primary angle closure disease. The Zhongshan Angle Closure Prevention Trial. *Ophthalmology*. 2022;129(3):267-275. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2021.10.003>
5. Radhakrishnan S, See J, Smith SD, et al. Reproducibility of anterior chamber angle measurements obtained with anterior segment optical coherence tomography. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2007;48(8):3683-3688. <https://doi.org/10.1167/iovs.06-1120>
6. Jiang Y, Chang DS, Zhu H, et al. Longitudinal changes of angle configuration in primary angle-closure suspects. The Zhongshan Angle-Closure Prevention Trial. *Ophthalmology*. 2014;121(9):1699-1705. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2014.03.039>
7. Nongpiur ME, Ku JY, Aung T. Angle closure glaucoma: A mechanistic review. *Curr Opin Ophthalmol*. 2011;22(2):96-101. <https://doi.org/10.1097/ICU.0b013e32834372b9>
8. He M, Foster PJ, Johnson GJ, Khaw PT. Angle-closure glaucoma in East Asian and European people: Different diseases? *Eye*. 2006;20(1):3-12. <https://doi.org/10.1038/sj.eye.6701797>
9. Nongpiur ME, He M, Amerasinghe N, et al. Lens vault, thickness and position in Chinese subjects with angle closure. *Ophthalmology*. 2011;118(3):474-479. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2010.07.025>
10. Leung CK-S, Weinreb RN. Anterior chamber imaging with optical coherence tomography. *Eye*. 2011;25(3):261-267. <https://doi.org/10.1038/eye.2010.201>
11. Pavlin CJ, Ritch R, Foster FS. Ultrasound biomicroscopy in plateau iris syndrome. *Am J Ophthalmol*. 1992;113(4):390-395. [https://doi.org/10.1016/s0002-9394\(14\)76160-4](https://doi.org/10.1016/s0002-9394(14)76160-4)
12. Smith SD, Singh K, Lin SC, et al. Evaluation of the anterior chamber angle in glaucoma: A report by the American Academy of Ophthalmology. *Ophthalmology*. 2013;120(10):1985-1997. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2013.05.034>
13. Barkana Y, Dorairaj SK, Gerber Y, Liebmann JM, Ritch R. Agreement between gonioscopy and ultrasound biomicroscopy in detecting iridotrabecular apposition. *Arch Ophthalmol*. 2007;125(10):1331-1335. <https://doi.org/10.1001/archophth.125.10.1331>
14. Kong X, Foster PJ, Huang Q, et al. Appositional closure identified by ultrasound biomicroscopy in population-based primary angle-closure glaucoma suspects: The Liwan Eye Study. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2011;52(7):3970-3975. <https://doi.org/10.1167/iovs.10-6412>

15. Radhakrishnan S, Chen L. Diagnosis and monitoring of primary angle closure. *Curr Ophthalmol Rep*. 2015;3:51-57.
<https://doi.org/10.1007/s40135-015-0063-y>
16. Xu Y, Tan Q, Li C, Liu D. The ocular biometry characteristics of young patients with primary angle-closure glaucoma. *BMC Ophthalmol*. 2022;22(1):150.
<https://doi.org/10.1186/s12886-022-02374-2>
17. Gazzard G, Friedman DS, Devereux JG, Chew P, Seah SK. A prospective ultrasound biomicroscopy evaluation of changes in anterior segment morphology after laser iridotomy in Asian eyes. *Ophthalmology*. 2003;110(3):630-638.
[https://doi.org/10.1016/S0161-6420\(02\)01893-6](https://doi.org/10.1016/S0161-6420(02)01893-6)
18. Jones LW, Srinivasan S, Ng A, Schulz Me. (2018). Diagnostic instruments. Dans N. Efron (dir.), *Contact Lens Practice* (3^e ed., 327-345). Elsevier.
19. Rabsilber TM, Khoramnia R, Auffarth GU. Anterior chamber measurements using Pentacam rotating Scheimpflug camera. *J Cataract Refract Surg*. 2006;32(3):456-459.
<https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2005.12.103>
20. Rodrigues EB, Johanson M, Penha FM. Anterior segment tomography with the Cirrus optical coherence tomography. *J Ophthalmol*. 2012;806989.
<https://doi.org/10.1155/2012/806989>
21. Kurita N, Mayama C, Tomidokoro A, Aihara M, Araie M. Potential of the Pentacam in screening for primary angle closure and primary angle closure suspect. *J Glaucoma*. 2009;18(7):506-512.
<https://doi.org/10.1097/IJG.0b013e318193c141>
22. Huang D, Swanson EA, Lin CP, et al. Optical coherence tomography. *Science*. 1991;254(5035):1178-1181.
<https://doi.org/10.1126/science.1957169>
23. Sun X, Dai Y, Chen Y, et al. Primary angle closure glaucoma: What we know and what we don't know. *Prog Ret Eye Res*. 2017;57:26-45.
<https://doi.org/10.1016/j.preteyeres.2016.12.003>
24. Prata TS, Dorairaj S, De Moraes CG, Tello C, Liebmann JM, Ritch R. Indentation slit lamp-adapted optical coherence tomography technique for anterior chamber angle assessment. *Arch Ophthalmol*. 2010;128(5):646-647.
<https://doi.org/10.1001/archophthalmol.2010.51>
25. Marion KM, Dastiridou A, Niemeyer M, Francis BA, Sadda SR, Chopra V. Anterior chamber angle morphometry measurement changes to ambient illumination scaling in Visante time domain optical coherence tomography. *Curr Eye Res*. 2017;42(3):386-393.
<https://doi.org/10.1080/02713683.2016.1190847>
26. Lai I, Mak H, Lai G, Yu M, Lam DS, Leung CK. Anterior chamber angle imaging with swept-source optical coherence tomography: Measuring peripheral anterior synechia in glaucoma. *Ophthalmology*. 2013;120(6):1144-1149.
<https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2012.12.006>
27. Tun TA, Baskaran M, Tan SS, Perera SA, Aung T, Husain R. Evaluation of the anterior segment angle-to-angle scan of Cirrus High-Definition Optical Coherence Tomography and comparison with gonioscopy and with the Visante OCT. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2017;58(1):59-64.
<https://doi.org/10.1167/iovs.16-20886>
28. Selvan H, Angmo D, Tomar AS, Yadav S, Sharma A, Dada T. Changes in intraocular pressure and angle status after phacoemulsification in primary angle closure hypertension. *J Glaucoma*. 2019;28(2):105-110.
<https://doi.org/10.1097/IJG.0000000000001137>
29. Xie Q, Ma P, Patlidanon J, et al. Anterior segment OCT in primary angle closure disease compared with normal subjects with similar shallow anterior chamber. *J Glaucoma*. 2022;31(2):84-90.
<https://doi.org/10.1097/IJG.0000000000001915>
30. Maslin JS, Barkana Y, Dorairaj SK. Anterior segment imaging in glaucoma: An updated review. *Indian J Ophthalmol*. 2015;63(8):630-640.
<https://doi.org/10.4103/0301-4738.169787>
31. Angmo D, Nongpiur ME, Sharma R, Sidhu T, Sihota R, Dada T. Clinical utility of anterior segment swept-source optical coherence tomography in glaucoma. *Oman J Ophthalmol*. 2016;9(1):3-10.
<https://doi.org/10.4103/0974-620X.176093>
32. Sakata LM, Lavanya R, Friedman DS, et al. Assessment of the scleral spur in anterior segment optical coherence tomography images. *Arch Ophthalmol*. 2008;126(2):181-185.
<https://doi.org/10.1001/archophthalmol.2007.46>
33. Seager FE, Wang J, Arora KS, Quigley HA. The effect of scleral spur identification methods on structural measurements by anterior segment optical coherence tomography. *J Glaucoma*.

- 2014;23(1):e29-e38.
<https://doi.org/10.1097/IJG.0b013e31829e55ae>
34. Foo LL, Nongpiur ME, Allen JC, et al. Determinants of angle width in Chinese Singaporeans. *Ophthalmology*. 2012;119(2):278-282.
<https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2011.07.049>
35. Porporato N, Baskaran M, Aung T. Role of anterior segment optical coherence tomography in angle-closure disease: A review. *Clin Exp Ophthalmol*. 2018;46(2):147-157.
<https://doi.org/10.1111/ceo.13120>
36. Console JW, Sakata LM, Aung T, Friedman DS, He M. Quantitative analysis of anterior segment optical coherence tomography images: the Zhongshan Angle Assessment Program. *Br J Ophthalmol*. 2008;92(12):1612-1616.
<https://doi.org/10.1136/bjo.2007.129932>
37. Narayanaswamy A, Sakata LM, He MG, et al. Diagnostic performance of anterior chamber angle measurements for detecting eyes with narrow angles: an anterior segment OCT study. *Arch Ophthalmol*. 2010;128(10):1321-1327.
<https://doi.org/10.1001/archophthalmol.2010.231>
38. Zhao Y, Chen J, Yu X, Xu J, Sun X, Hong J. Age-related changes in human Schlemm's canal: an in vivo optical coherence tomography-based study. *Front Physiol*. 2018;9:630.
<https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00630>
39. Wong HT, Lim MC, Sakata LM, et al. High-definition optical coherence tomography imaging of the iridocorneal angle of the eye. *Arch Ophthalmol*. 2009;127(3):256-260.
<https://doi.org/10.1001/archophthalmol.2009.22>
40. Crowell EL, Baker L, Chuang AZ, et al. Characterizing anterior segment OCT angle landmarks of the trabecular meshwork complex. *Ophthalmology*. 2018;125(7):994-1002.
<https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2018.01.018>
41. Fukuda S, Kawana K, Yasuno Y, Oshika T. Anterior ocular biometry using 3-dimensional optical coherence tomography. *Ophthalmology*. 2009;116(5):882-889.
<https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2008.12.022>
42. Gora M, Karnowski K, Szkulmowski M, et al. Ultra high-speed swept source OCT imaging of the anterior segment of the human eye at 200kHz with an adjustable image range. *Optics Express*. 2009;17(17):14880-14894.
<https://doi.org/10.1364/oe.17.014880>
43. Chan PP, Lai G, Chiu V, Chong A, Yu M, Leung CK. Anterior chamber angle imaging with swept-source optical coherence tomography: Comparison between CASIAII and ANTERION. *Sci Rep*. 2020;10(1):18771.
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-74813-3>
44. Chen X, Wang X, Tang Y, Sun X, Chen Y. Optical coherence tomography analysis of anterior segment parameters before and after laser peripheral iridotomy in primary angle-closure suspects using CASIA2. *BMC Ophthalmol*. 2022;22(1):144.
<https://doi.org/10.1186/s12886-022-02366-2>
45. Fernández-Vigo JI, Kudsieh B, Shi H, De-Pablo-Gómez-de-Liaño L, Fernández-Vigo JÁ, García-Feijóo J. Diagnostic imaging of the ciliary body: technologies, outcomes, and future perspectives. *Eur J Ophthalmol*. 2022;32(1):75-88.
<https://doi.org/10.1177/11206721211031409>
46. Lai I, Mak H, Lai G, Yu M, Lam DS, Leung CK. Anterior chamber angle imaging with swept-source optical coherence tomography: Measuring peripheral anterior synechia in glaucoma. *Ophthalmology*. 2013;120(6):1144-1149.
<https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2012.12.006>
47. Radhakrishnan S, Goldsmith J, Huang D, et al. Comparison of optical coherence tomography and ultrasound biomicroscopy for detection of narrow anterior chamber angles. *Arch Ophthalmol*. 2005;123(8):1053-1059.
<https://doi.org/10.1001/archophth.123.8.1053>
48. Nolan WP, See JL, Chew PT, et al. Detection of primary angle closure using anterior segment optical coherence tomography in Asian eyes. *Ophthalmology*. 2007;114(1):33-39.
<https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2006.05.073>
49. Xu BY, Pardeshi AA, Burkemper B, et al. Differences in anterior chamber angle assessment between gonioscopy, Eyecam, and anterior segment OCT: the Chinese American Eye Study. *Trans Vis Sci Technol*. 2019;8(2):5.
<https://doi.org/10.1167/tvst.8.2.5>
50. Porporato N, Baskaran M, Tun TA, et al. Understanding diagnostic disagreement in angle closure assessment between anterior segment optical coherence tomography and gonioscopy. *Br J Ophthalmol*. 2020;104(6):795-799.
<https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2019-314672>
51. Baskaran M, Iyer JV, Narayanaswamy AK, et al. Anterior segment imaging predicts incident

- gonioscopic angle closure. *Ophthalmology*. 2015;122(12):2380-2384.
<https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2015.07.030>
52. Zhang X, Guo PY, Lin C, et al. Assessment of iris trabecular contact in eyes with gonioscopic angle closure. *Ophthalmology*. 2022;130(1):111-119.
<https://doi.org/doi:10.1016/j.ophtha.2022.08.017>
 53. How AC, Baskaran M, Kumar RS, et al. Changes in anterior segment morphology after laser peripheral iridotomy: An anterior segment optical coherence tomography study. *Ophthalmology*. 2012;119(7):1383-1387.
<https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2012.01.019>
 54. Nongpiur ME, Sakata LM, Friedman DS, et al. Novel association of smaller anterior chamber width with angle closure in Singaporeans. *Ophthalmology*. 2010;117(10):1967-1973.
<https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2010.02.007>
 55. Wu RY, Nongpiur ME, He MG, et al. Association of narrow angles with anterior chamber area and volume measured with anterior segment optical coherence tomography. *Arch Ophthalmol*. 2011;129(5):569-574.
<https://doi.org/10.1001/archophthalmol.2011.68>
 56. Fontana ST, Brubaker FR. Volume and depth of the anterior chamber in the normal aging human eye. *Arch Ophthalmol*. 1980;98(10):1803-1808.
<https://doi.org/10.1001/archophth.1980.01020040655013>
 57. Sun JH, Sung KR, Yun SC, et al. Factors associated with anterior chamber narrowing with age: an optical coherence tomography study. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2012;53(6):2607-2610.
<https://doi.org/10.1167/iovs.11-9359>
 58. Nongpiur ME, Aboobakar IF, Baskaran M, et al. Association of baseline anterior segment parameters with the development of incident gonioscopic angle closure. *JAMA Ophthalmol*. 2017;135(3):252-258.
<https://doi.org/10.1001/jamaophthalmol.2016.5847>
 59. Ghadamzadeh M, Karimi F, Ghasemi Moghaddam S, Daneshvar R. Anterior chamber angle changes in primary angle-closure glaucoma following phacoemulsification versus phacotrabeculectomy: A prospective randomized clinical trial. *J Glaucoma*. 2022;31(3):147-155.
<https://doi.org/10.1097/IJG.0000000000001977>
 60. Ishikawa H, Esaki K, Liebmann JM, Uji Y, Ritch R. Ultrasound biomicroscopy dark room provocative testing: a quantitative method for estimating anterior chamber angle width. *Jpn J Ophthalmol*. 1999;43(6):526-534.
[https://doi.org/10.1016/s0021-5155\(99\)00139-2](https://doi.org/10.1016/s0021-5155(99)00139-2)
 61. Koprowski R, Wróbel Z. *Image Processing in Optical Coherence Tomography: Using Matlab*. Katowice (Pologne): University of Silesia; 2011.
 62. Qin B, Francis BA, Li Y, et al. Anterior chamber angle measurements using Schwalbe's line with high-resolution Fourier-domain optical coherence tomography. *J Glaucoma*. 2013;22(9):684-288.
<https://doi.org/10.1097/IJG.0b013e318264b921>
 63. Masis Solano M, Lin SC. Cataract, phacoemulsification and intraocular pressure: is the anterior segment anatomy the missing piece of the puzzle? *Prog Ret Eye Res*. 2018;64:77-83.
<https://doi.org/10.1016/j.preteyeres.2018.01.003>
 64. Cheung CY, Zheng C, Ho CL, et al. Novel anterior-chamber angle measurements by high-definition optical coherence tomography using the Schwalbe line as the landmark. *Br J Ophthalmol*. 2011;95(7):955-959.
<https://doi.org/10.1136/bjo.2010.189217>
 65. Ozaki M, Nongpiur ME, Aung T, He M, Mizoguchi T. Increased lens vault as a risk factor for angle closure: confirmation in a Japanese population. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2012;250(12):1863-1868.
<https://doi.org/10.1007/s00417-012-2011-y>
 66. Kim YK, Yoo BW, Kim HC, Aung T, Park KH. Relative lens vault in subjects with angle closure. *BMC Ophthalmol*. 2014;14:93.
<https://doi.org/10.1186/1471-2415-14-93>
 67. Song MK, Sung KR, Shin JW. Glaucoma progression after lens extraction in primary angle-closure glaucoma according to angle-closure mechanism. *J Glaucoma*. 2022;31(4):261-267.
<https://doi.org/10.1097/IJG.0000000000001992>
 68. Koh V, Keshtkaran MR, Hernstadt D, Aquino MCD, Chew PT, Sng C. Predicting the outcome of laser peripheral iridotomy for primary angle closure suspect eyes using anterior segment optical coherence tomography. *Acta Ophthalmol*. 2019;97(1):e57-e63.
<https://doi.org/10.1111/aos.13822>
 69. Salmon JF. Predisposing factors for chronic angle-closure glaucoma. *Prog Ret Eye Res*. 1999;18(1):121-132.
[https://doi.org/10.1016/s1350-9462\(98\)00007-x](https://doi.org/10.1016/s1350-9462(98)00007-x)

70. Xu BY, Friedman DS, Foster PJ, et al. Anatomic changes and predictors of angle widening after laser peripheral iridotomy. The Zhongshan Angle Closure Prevention Trial. *Ophthalmology*. 2021;128(8):1161-1168.
<https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2021.01.021>
71. Wang BS, Sakata LM, Friedman DS, et al. Quantitative iris parameters and association with narrow angles. *Ophthalmology*. 2010;117(1):11-17.
<https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2009.06.017>
72. Soh ZD, Thakur S, Majithia S, Nongpiur ME, Cheng CY. Iris and its relevance to angle closure disease: A review. *Br J Ophthalmol*. 2021;105(1):3-8.
<https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2020-316075>
73. Bao YK, Xu BY, Friedman DS, et al. Biometric risk factors for angle closure progression after laser peripheral iridotomy. *JAMA Ophthalmol*. 2023;141(6):516-524.
<https://doi.org/10.1001/jamaophthalmol.2023.0937>
74. Azuara-Blanco A. Use of biometric data after laser peripheral iridotomy – individualized monitoring strategy for angle closure prevention. *JAMA Ophthalmol*. 2023;141(6):524.
<https://doi.org/10.1001/jamaophthalmol.2023.1119>
75. Congdon NG, Youlin Q, Quigley H, et al. Biometry and primary angle-closure glaucoma among Chinese, white and black populations. *Ophthalmology*. 1997;104(9):1489-1495.
[https://doi.org/10.1016/s0161-6420\(97\)30112-2](https://doi.org/10.1016/s0161-6420(97)30112-2)
76. Quigley HA, Silver DM, Friedman DS, et al. Iris cross-sectional area decreases with pupil dilation and its dynamic behavior is a risk factor in angle closure. *J Glaucoma*. 2009;18(3):173-179.
<https://doi.org/10.1097/IJG.0b013e31818624ce>
77. Aptel F, Denis P. Optical coherence tomography quantitative analysis of iris volume changes after pharmacologic mydriasis. *Ophthalmology*. 2010;117(1):3-10.
<https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2009.10.030>
78. Koh V, Chua J, Shi Y, et al. Association of iris crypts with acute primary angle closure. *Br J Ophthalmol*. 2017;101(10):1318-1322.
<https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2016-309842>
79. Quigley HA, Friedman DS, Congdon NG. Possible mechanisms of primary angle-closure and malignant glaucoma. *J Glaucoma*. 2003;12(2):167-180.
<https://doi.org/10.1097/00061198-200304000-00013>
80. Sakai H, Morine-Shinjyo S, Shinzato M, Nakamura Y, Sakai M, Sawaguchi S. Uveal effusion in primary angle-closure glaucoma. *Ophthalmology*. 2005;112(3):413-419.
<https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2004.08.026>
81. Kumar RS, Baskaran M, Chew PT, et al. Prevalence of plateau iris in primary angle closure suspects: an ultrasound biomicroscopy study. *Ophthalmology*. 2008;115(3):430-434.
<https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2007.07.026>
82. Na KI, Park SP. Association of drugs with angle closure. *JAMA Ophthalmol*. 2022;140(11):1055-1063.
<https://doi.org/10.1001/jamaophthalmol.2022.3723>