

Numéro : MS 187

Année Universitaire : 2021

MEMOIRE

Pour l'obtention du Diplôme Médical de Spécialité en
ophtalmologie

**Etude des effets de l'iridotomie périphérique
prophylactique au laser sur la densité et la
morphologie des cellules endothéliales cornéennes
sur les yeux prédisposés de fermeture de l'angle.
(Etude prospective par microscopie spéculaire)**

PAR

DR. IMAD LIDYA

Encadré par

Professeur : **AMINA BERRAHO**

Professeur : **ABDALLAH EL HASSAN**

Service d'Ophtalmologie B, Hôpital des Spécialités CHU Avicenne

*Les auteurs n'ont aucun intérêt financier dans la
réalisation de ce travail*

Je dédie ce travail

A mes parents

*Qui n'ont ménagé aucun effort pour me soutenir durant tant d'années
d'études médicales, je vous serai éternellement reconnaissant.*

J'espère que vous êtes fier de moi

A ma femme

*Qui a toujours cru en moi. Je la remercie pour ses encouragements, ses
sacrifices qu'elle n'a cessé de me prodiguer.*

A mes sœurs Zineb et Hasna et mon frère Hamza,

Fière que vous soyez mes frères, j'espère que vous serez fières de moi aussi...

Ma famille et mes amis

*Aussi nombreux que vous soyez, chacun de vous a sa place dans mon cœur,
chacun de vous a participé de loin ou de près à me rendre la personne que je
suis aujourd'hui*



Remerciements



*A notre cher Maître, Mme le Professeur Amina Berraho,
Chef de service de l'ophtalmologie (B)*

*Vous nous avez assistés avec patience et dévouement pendant toutes ces années
d'études.*

*Vous avez toujours été disponibles et soucieux de nous inculquer les meilleures
bases de notre métier, du savoir-faire et même du savoir-être.*

*Qu'il nous soit permis aujourd'hui de vous rendre un grand hommage et de vous
reformuler notre profonde estime.*

*Nous resterons à jamais vos disciples dévoués, disponibles et sincèrement
respectueux.*

*Dieu seul sait que nous vous serons éternellement reconnaissants de nous avoir
prodigués tout au long de notre cursus le fruit de votre grande expérience.*

Vous nous avez appris le sens de la rigueur, du sérieux et de persévérance.

*Nous éprouvons un sentiment immense de fierté et de satisfaction d'appartenir
à cette famille ; et nous sommes certains de votre disponibilité à continuer à
nous prodiguer conseil et enseignement le restant de notre vie, tout en vous
assurant être, mes chers maîtres, à la hauteur de votre confiance.*

*A Nos chères Maitres Pr Abdallah Elhassan,
Pr Boulanoir Abdelkrim, Pr Ouazzani Bahia, Pr Hajji Zakia et
Pr Louaï Serghini*

*Pour l'aide et les conseils prodigués durant tout notre parcours,
pour nous avoir appris le sens de la rigueur, du sérieux et de la persévérance.
Vous nous avez assistés avec patience pendant toutes ces années d'études, avec
le souci de nous inculquer le savoir-faire de notre métier. Nous vous serons pour
toujours reconnaissants.*

A

*Monsieur le Professeur **Oubaaz Abdelbarre**, chef de service de l'UPR d'ophtalmologie, Madame le Professeur **Cherkaoui Ouafa**, chef de service de l'ophtalmologie(A), ainsi que Monsieur le Professeur **Reda Karim**, chef de service de l'ophtalmologie de l'HMIMV. Veuillez trouver ce travail, l'expression de mon respect le plus profond.*

Je tiens également à remercier tous les professeurs et enseignants d'ophtalmologie dans le service d'ophtalmologie (A), et dans le service de l'ophtalmologie de l'HMIMV.

Enfin, je remercie mes collègues médecins et l'ensemble du personnel paramédical du service et du bloc opératoire, grâce à qui j'ai pu travailler dans un cadre agréable et détendu.



Liste des abréviations



AIC	: Angle irido-cornéen
AVG	: Taille cellulaire moyenne analysée
CAFA	: Crise aigüe par fermeture de l'angle
CCT	: Pachymétrie cornéenne centrale
CD	: Densité des cellules endothéliales cornéennes centrale
HEX	: Pourcentage des cellules hexagonales
VC	: Coefficient de variation
DS	: Déviation standard
FPA	: fermeture primaire de l'angle
GFPA	: Glaucome par fermeture primaire de l'angle
GPAO	: Glaucome primitif à angle ouvert.
IP	: Iridotomie périphérique
IPL	: Iridotomie périphérique au laser
MS	: Microscopie spéculaire
PIO	: Pression intra oculaire
SFA	: suspicion de fermeture de l'angle
V3M	: Verre à 3 miroirs



Liste des illustrations



LISTE DES FIGURES

Figure 1 : microscopie spéculaire montrant un endothélium cornéen normal par. L'aspect en nid d'abeille [12]	29
Figure 2 : Les 6 couches de la corneé [45].....	31
Figure 3 : Schéma décrivant la formation d'un bloc pupillaire [48]	47
Figure 4 : Laser de l'angle, iridotomie périphérique [49]	56
Figure 5 : logiciel du microscope spéculaire (Hôpital des spécialités de Rabat)	59
Figure 6 : position de réalisation de la microscopie spéculaire.....	60
Figure 7 : Différents modes et sites de fixation	61
Figure 8 : Appareil de microscopie spéculaire relié au logiciel sur ordinateur	
Figure 9 : Résultats de l'analyse de l'endothélium cornéen sur logiciel. (Hôpital des spécialités de Rabat).....	62
Figure 10 : Résultats de l'analyse de l'endothélium cornéen sur l'écran de l'appareil. (Hôpital des spécialités de Rabat).....	63
Figure 11 : La répartition du nombre de patient par tranche d'âge est équilibrée dans notre étude	70
Figure 12: La repartition selon sexe.....	71
Figure 13 : Graphique montrant l'évolution trimestrielle de la densité des cellules endothéliales après l'IPL dans 3 régions différentes	73
Figure 14 : Graphique montrant l'évolution trimestrielle de l'hexagonalité des cellules endothéliales après l'IPL dans 3 régions différentes	74
Figure 15 : Graphique montrant l'évolution trimestrielle du Coefficient de variation moyen des cellules endothéliales après l'IPL dans 3 régions différentes.....	75

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Paramètres du laser Argon lors de l'IP.....	52
Tableau 2 : Fiche d'exploitation.....	69
Tableau 3 : Densité des cellules endothéliales au départ et lors des visites de suivi à 3 mois, 6 mois, 9 mois et 12 mois dans 3 régions différentes	73
Tableau 4 : Hexagonalité des cellules endothéliales (%) au départ et lors des visites de suivi à 3 mois, 6 mois, 9 mois et 12 mois dans 3 zones différentes	74
Tableau 5 : Coefficient de variation moyen des cellules endothéliales au départ et lors des visites de suivi à 3 mois, 6 mois, 9 mois et 12 mois dans 3 zones différentes	75



SOMMAIRE



Table des matières

MEMOIRE	1
Pour l'obtention du Diplôme Médical de Spécialité en ophtalmologie.....	1
LISTE DES FIGURES.....	11
I. ANATOMIE DE LA CORNEE.....	26
3. Rapports	27
4. Anatomie microscopique	28
5. Vascularisation	34
6. Innervation cornéenne.....	34
II. Physiologie de la cornée	35
1. Pouvoir optique	35
2. Transparence	35
III. Physiopathologie du glaucome par fermeture de l'angle	36
1. Physiopathologie des glaucomes par fermeture de l'angle consécutive à un bloc pupillaire	37
IV. IRIDOTOMIE PERIPHERIQUE :	40
1. Préparation et technique :.....	40
2. Critères de réussite :.....	45
3. Traitement et surveillance postopératoires.....	45
4. Complications	46
I. Microscopie spéculaire	49
1. Appareil de microscopie spéculaire	49
2. Réalisation de la Microscopie Spéculaire	49
II. Données épidémiologique.....	60

1. Effectif.....	60
2. Age	60
III. Données cliniques	61
1. Œil atteint de GFA	61
2. Délai entre la crise GFA et IP prophylactique de l'œil Adelphe :	61
3. Site de l'IP.....	61
4. Taille de l'iridotomie.....	61
5. L'impulsion totale moyenne	62
6. Complications	62
IV. RESULTATS DE LA MICROSCOPIE SPECULAIRE :	62
1. Densité des cellules endothéliales.....	63
2. Hexagonalité des cellules endothéliales.....	64
3. Epaisseur cornéenne centrale : CCT	66
4. Evolution et suivi :	66



RESUME :

Objectif :

Nous avons évalué les effets de l'iridotomie périphérique prophylactique au laser (Argon +Laser) sur la densité et la morphologie des cellules endothéliales de la cornée des yeux adelphe chez des sujets présentant une crise de fermeture de l'angle du premier œil au cours d'une période de suivi d'un an.

Méthodes :

Il s'agit d'une étude prospective sur une série homogène des yeux adelphe chez dix-neuf patients ayant fait une crise GFA du premier œil. Les yeux choisis délibérément ayant subi une iridotomie périphérique au laser (Argon+Yag) durant la période entre Septembre 2020 à Aout 2021 dans le service d'ophtalmologie B à l'hôpital des spécialités CHU Ibn Sina Rabat Maroc.

Après obtention du consentement éclairé, une microscopie spéculaire a été réalisée avant l'iridotomie périphérique au laser et après lors des visites de suivi à 3 mois, 6 mois, 9mois et 12 mois.

Le nombre de cellules endothéliales centrales, nasales et temporales ainsi que leur morphologie ont été évalués par une méthode sans contact.

Résultats :

L'âge moyen des sujets était de 55 ans, et la majorité des sujets étaient des femmes (79%).

Le nombre moyen de cellules endothéliales de la cornée centrale avant l'iridotomie périphérique au laser était de 2688 ± 119 , et cette valeur est passée à 2570 ± 175 , 2525 ± 150 , 2515 ± 111 et 2507 ± 169 lors des visites de suivi à 3, 6, 9 et 12 mois, respectivement ; ces différences n'étaient pas statistiquement significatives.

De plus, les changements dans le nombre de cellules, l'hexagonalité des cellules et le coefficient de variation dans les zones centrale, nasale et temporale n'étaient pas significatifs.

Conclusion :

Dans les yeux prédisposés, nous n'avons pas constaté de diminution de la densité des cellules endothéliales cornéennes ni de modification des caractéristiques morphologiques des cellules, notamment l'hexagonalité et le coefficient de variation des cellules, dans les régions centrale, nasale et temporale de la cornée chez aucun de nos sujets sur une période de suivi d'un an.

Mots-clés : Cellule endothéliale cornéenne ; Microscopie spéculaire ; Iridotomie périphérique au Laser ; Œil prédisposé de fermeture de l'angle.

SUMMARY

Objective:

We evaluated the effects of prophylactic peripheral laser iridotomy (Argon +Laser) on corneal endothelial cell density and morphology in adelpic eyes in subjects with angle closure crisis of the first eye during a 1-year follow-up period.

Methods:

This is a prospective study of a homogeneous series of adelpic eyes in nineteen patients with a first eye Angle closure glaucoma crisis. The deliberately selected eyes having undergone peripheral laser iridotomy (Argon+Yag) during the period between September 2020 to August 2021 in the ophthalmology department B at the hospital of specialties CHU Ibn Sina Rabat Morocco.

After obtaining informed consent, specular microscopy was performed before peripheral laser iridotomy and afterwards at the 3-month, 6-month, 9-month, and 12-month follow-up visits.

The number of central, nasal, and temporal endothelial cells and their morphology were assessed by a noncontact method.

Results:

The mean age of the subjects was 55 years, and the majority of the subjects were female (79%).

The mean number of central corneal endothelial cells before laser peripheral iridotomy was 2688 ± 119 , and this value increased to 2570 ± 175 , 2525 ± 150 , 2515 ± 111 and 2507 ± 169 at the 3-, 6, 9, and 12 months, respectively; these differences were not statistically significant.

In addition, changes in cell number, cell hexagonality, and coefficient of variation in the central, nasal, and temporal areas were not significant.

Conclusion:

In predisposed eyes, we found no decrease in corneal endothelial cell density or changes in cell morphologic characteristics, including cell hexagonality and coefficient of variation, in the central, nasal, and temporal regions of the cornea in any of our subjects over a one-year follow-up period.

Keywords: corneal endothelial cell; specular microscopy; peripheral laser iridotomy; angle closure predisposed eye.

ملخص

هدف:

قمنا بتقييم الآثار الجانبية للعلاج بالليزر الوقائي في قزحية العين على كثافة وتشكل الخلايا البطانية في قرنية العين الثانية الغير مصابة عند الأشخاص الذين يعانون من أزمة إغلاق زاوية العين الأولى خلال فترة المتابعة لمدة سنة كاملة.

أساليب:

هذه دراسة استباقية لسلسلة متجانسة من عيون معرضة للإصابة بإنسداد الزاوية الحاد لدى تسعة عشر مريضاً تعرضوا سابقاً لأزمة إنسداد الزاوية الحاد في العين الأولى. العيون المختارة خضعت لعملية بالليزر المحيطي في القزحية خلال الفترة مابين سبتمبر 2020 إلى أغسطس 2021 في قسم طب العيون ب في مستشفى التخصصات الجامعي ابن سينا بالرباط بالمغرب بعد الحصول على الموافقة المستنيرة من المرضى، تم إجراء الفحص المجهرى للقرنية قبل علاج الليزر الوقائي في القزحية وبعد ذلك خلال زيارات المتابعة بعد 3 أشهر و 6 أشهر و 9 أشهر و 12 شهراً.

تم تقييم عدد الخلايا البطانية في مركز القرنية وفي جهتها الأنفية وفي جهتها الخارجية وكذلك تقييم شكلها

نتائج:

كان متوسط عمر المفحوصين 55 سنة، وكانت غالبية المشاركين من الإناث (79%). كان متوسط عدد الخلايا البطانية للقرنية المركزية قبل بضع القزحية بالليزر المحيطي 2688 ± 119 ، وزادت هذه القيمة إلى 2570 ± 175 ، 2525 ± 150 ، 2515 ± 111 و 2507 ± 169 أثناء زيارات المتابعة إلى 3، 6، 9 و 12 شهراً على التوالي؛ وكانت هذه الاختلافات لم تكن ذات دلالة إحصائية. بالإضافة إلى ذلك، لم تكن التغييرات في رقم الخلية، سداسية الخلية، ومعامل الاختلاف في مناطق القرنية المركزية والأنفية والخارجية كبيرة

استنتاج:

في العيون المهددة بانسداد الزاوية الحاد ، لم نلاحظ انخفاضاً في كثافة الخلايا البطانية للقرنية أو تغييرات في الخصائص المورفولوجية للخلايا ، بما في ذلك السداسية ومعامل الاختلاف في الخلايا ، في المناطق المركزية والأنفية والخارجية من القرنية في أي من متابعاتنا على مدى سنة كاملة

الكلمات الرئيسية: الخلايا البطانية القرنية. الفحص المجهرى المرآوي، علاج القزحية بالليزر المحيطي. عين مهددة بإغلاق الزاوية الحاد



Introduction



Le glaucome est une neuropathie optique progressive, c'est la deuxième cause de cécité dans le monde (15%) après la cataracte, le glaucome primaire à angle ouvert (GPAO) représente 70% des glaucomes alors que le glaucome primaire à angle fermé (GPFA) ne représente que 10% à 20 % [1-3].

Des classifications du glaucome par fermeture de l'angle ont récemment été proposées sur la base des résultats de la gonioscopie et de l'évaluation clinique.

Il est sans surprise que le glaucome primaire à angle fermé (GPFA) est estimé causer la cécité chez deux à cinq fois plus de sujets que le glaucome primaire à angle ouvert (GPAO) [4,5].

Des études ont révélé que 22 % des sujets présentant une suspicion de fermeture de l'angle (SFA) peuvent évoluer vers une fermeture primaire de l'angle (FPA) et que 28,5 % des sujets prédisposés (SFA) peuvent développer un Glaucome par fermeture de l'angle dans les 5 ans si aucun traitement n'est prescrit [6].

L'iridotomie périphérique (IP) au laser est considérée comme la modalité de traitement standard des sujets prédisposés (SFA). Cette procédure peut être utilisée pour éliminer le bloc pupillaire et pour étendre l'angle de la chambre antérieure en équilibrant la pression entre les espaces postérieur et antérieur.

Cette technique a essentiellement remplacé l'iridectomie chirurgicale comme modalité de choix, car l'iridotomie périphérique au laser est considérée comme une technique simple et non invasive qui peut être réalisée en ambulatoire sans les risques et les complications graves associés à une chirurgie invasive [7-9].

Cependant, il existe une controverse concernant la sécurité de la procédure d'iridotomie périphérique au laser pour les cellules endothéliales en termes de densité et de morphologie des cellules.

Étant donné que cette procédure peut être utilisée pour prévenir une perte de vision supplémentaire chez les sujets atteints de glaucome par fermeture primaire de l'angle, il est important de déterminer si cette procédure est sans danger pour les cellules endothéliales afin de prévenir une morbidité supplémentaire.

Dans cette étude, nous avons évalué les effets de l'iridotomie périphérique prophylactique au laser sur la densité des cellules endothéliales cornéennes, l'hexagonalité des cellules et le coefficient de variation (CV) des sujets prédisposés sur une période de suivi de 12 mois.



Généralités et Rappels



I. ANATOMIE DE LA CORNEE

La cornée est un tissu avasculaire, transparent, composé de cellules qui n'ont pas la même origine embryologique. Elle est enchâssée antérieurement dans la sclère comme un verre de montre, dont elle rappelle la forme. Elle constitue la partie antérieure du globe oculaire. Sa face antérieure est lisse et convexe, exposée à l'environnement extérieur par l'intermédiaire du film lacrymal, protégée et couverte partiellement ou totalement par les paupières. Sa face postérieure concave forme la paroi antérieure de la chambre antérieure de l'œil et en rapport direct avec l'humeur aqueuse. En sa périphérie se trouve le limbe, qui est un tissu très vascularisé, et réservoir en cellules à haute capacité de prolifération [10].

1. Embryogenèse

La cornée est un organe épithélio-mésenchymateux et sa composition fait appel à un assemblage de différents éléments tissulaires ; pour l'épithélium à partir de l'ectoderme et pour le mésenchyme à partir du mésoderme. Au cours du développement. Après que la vésicule cristallinienne se soit détachée de l'ectoderme, la cornée se forme par la migration des cellules mésenchymateuses péri oculaires, issues des crêtes neurales.

L'ectoderme est constitué de trois structures principales : l'ectoderme de surface qui forme l'épiderme et les l'épithélium de surface ; le tube neural qui est à l'origine du cerveau et du système nerveux central et la rétine ; et les crêtes neurales, qui forment le système nerveux périphérique le derme, le stroma et l'endothélium cornéen.

2. Anatomie macroscopique

2.1. Forme

La face antérieure est ovoïde et convexe, son diamètre horizontal est de 11 à 12mm et le diamètre vertical est de 9 à 10mm. La face postérieure est circulaire et concave, mesurant 13mm de diamètre.

2.1.1. Epaisseur (pachymétrie) :

Au centre l'épaisseur est d'environ 520 μm et elle augmente progressivement vers la périphérie pour atteindre 700 μm au limbe.

2.1.2. Rayon de courbure

Face antérieure : 7,8mm pour le méridien horizontal et 7,7mm pour le vertical.

Face postérieure : 6,2mm pour le méridien horizontal et 6,6mm pour le vertical.

Cette différence entre les 2 méridiens est due à l'astigmatisme physiologique.

2.1.3. Surface

Elle est de 1,3cm² et représente 7% de la surface de la sphère oculaire.

3. Rapports

Face antérieure : est recouverte par le film lacrymal et répond à la face postérieure des paupières lors de la fermeture palpébrale.

Face postérieure : constitue la limite externe de la chambre antérieure et en contact direct avec l'humeur aqueuse. A l'extrême périphérie, elle forme la paroi antérieure de l'AIC et répond à ses éléments constitutifs.

Circonférence cornéenne : taillée en biseau, s'enfonce dans la rainure sclérale formant ainsi le limbe cornéo-scléral.

4. Anatomie microscopique

4.1. Le film lacrymal

C'est l'interface entre l'œil et l'environnement externe. Il est constitué d'eau, d'enzymes, de protéines, d'immunoglobulines, de lipides, de différents métabolites et de cellules multinuclées.

Le film lacrymal s'organise en trois phases : lipidique, aqueuse et mucineuse

La phase lipidique est une couche superficielle de 0,1 μm d'épaisseur, au contact de l'air directement, a pour rôle de limiter l'évaporation du film lacrymal. Elle est sécrétée par les glandes de Zeis et de Meibomius présentes au niveau palpébral.

- **La phase aqueuse** est une couche intermédiaire de 7 μm , sécrétée par les glandes lacrymales principales et accessoires de Krauss et Wolfring avec un débit d'environ 1,2 $\mu\text{L}/\text{min}$;
- **La phase mucineuse** est la couche profonde, sécrétée par les cellules caliciformes conjonctivales et les glandes de Henlé. Cette couche est étroitement adhérente a la couche des cellules épithéliales apicales par l'intermédiaire du glycocalyx présent dans le mucus.

4.2. Epithélium cornéen

C'est un épithélium pavimenteux stratifié constitué de 5 à 7 couches cellulaires dans sa partie centrale et 8 à 10 couches dans la périphérie. Son épaisseur est de 50 à 60µm, forme donc 10% de l'épaisseur totale de la cornée. Il est indissociable du film lacrymal.

Les cellules épithéliales sont organisées en 3 assises cellulaires :

- L'assise superficielle :

Contient 2 à 3 couches de cellules allongées et aplaties, les antérieures sont les plus minces. Ce sont les cellules les plus différenciées de l'épithélium qui finiront par la desquamation .

La membrane cytoplasmique, Au niveau apical, est hérissée de microvillosités et de microplis augmentant la surface d'échange avec le film lacrymal, et permettant son ancrage.

- L'assise intermédiaire :

- Contient 2 à 3 couches de cellules dans la partie centrale de l'épithélium et 5 à 6 couches en périphérie.
- Ce sont des cellules de transition entre les cellules basales et superficielles, elles ont une forme polygonale, dont le grand axe est parallèle à la surface cornéenne .

- L'assise basale :

- C'est la couche germinative de l'épithélium, unistratifiée, constituée de cellules cylindriques très hautes.
- Repose sur une membrane basale fibrillo-granuleuse, semi-perméable, synthétisée par les cellules épithéliales

4.3. Membrane de Bowman

- C'est une membrane acellulaire, formée de fibrilles de collagène, type I principalement,

orientées dans tous les sens au sein d'une substance fondamentale constituée de mucoprotéines et quelques fins expansions de cellules de Schwann qui entourent les terminaisons nerveuses.

- En avant, il existe un espace clair qui la sépare de la membrane basale épithéliale.
- En arrière, les fibrilles de collagène de la membrane de Bowman se confondent avec celles du stroma.
- Cette membrane est non régénérable, et sa rupture causant l'apparition d'opacité cicatricielle définitive. Prenant par exemple les opacités linéaires observées dans le cas du kératocône.

4.4. Stroma cornéen

C'est un tissu conjonctif d'une structure bien adaptée à la fonction de transparence cornéenne.

Mesurant environ 400µm d'épaisseur soit 90% de l'épaisseur totale de cornée il est composé de :

Les lamelles de collagène :

- Les lamelles au nombre de 200 à 250 sont empilées les unes sur les autres, parallèles entre elles et à la surface cornéenne. Chaque lamelle est composée de fibrilles de collagène, principalement de type I et V, parallèles entre elles, de taille et d'espacement réguliers.
- Ces lamelles ont un double rôle : assurer la transparence cornéenne et la résistance mécanique à la PIO.

La substance fondamentale :

- Composée de glycoprotéines et de protéoglycanes
- Remplit les espaces entre les lamelles de collagène et maintient une organisation régulière des fibrilles de collagène.

Les éléments cellulaires :

- ❖ Kératocytes :

Sont des fibrocytes, plates et étoilées, disposées entre les lamelles de collagène parallèlement à la surface cornéenne, elles ont la capacité de migrer lors des phénomènes de cicatrisation et de se transformer en fibroblastes

Leur principal rôle est de synthétiser le collagène et les protéoglycanes.

- ❖ Autres cellules : cellules de Schwann, lymphocytes B et T, monocytes et cellules de Langerhans.

4.5. Couche Dua [11]

Les travaux récents de H. Dua en 2013 prouvent l'existence d'une nouvelle couche cornéenne : la couche Dua. Qu'on a pu être mise en évidence lors de l'introduction d'air entre le stroma et la membrane de Descemet. Il s'agit d'une tunique acellulaire, entre le stroma et la membrane de Descemet, son épaisseur est de 10-15 μm , formée de 5 à 8 lamelles de collagène de type I disposées d'une façon transversale, longitudinale et oblique.

4.6. Membrane de Descemet

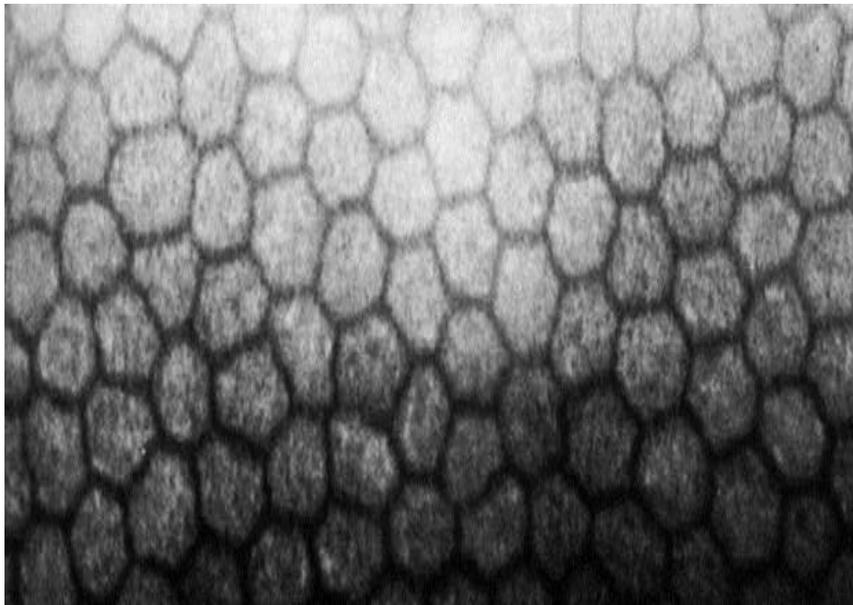
C'est une couche acellulaire synthétisée par les cellules endothéliales et assurant la fonction de membrane basale. Elle mesure 3 μm à la naissance et 8 à 12 μm à l'âge adulte, sa constitution est plus fibreuse et provoquant des anomalies fonctionnelles.

4.7. Endothélium

L'endothélium cornéen représente la couche cornéenne la plus profonde. C'est une structure unicellulaire composée de cellules plates, régulières et hexagonales, se disposant en nid d'abeille.

Il s'agit d'un épithélium pavimenteux simple, très fin et qui se trouve en contact direct avec l'humeur aqueuse.

La forme des cellules est régulière en exprimant la paire des kératines 8 et 18.



**Figure 1 : Microscopie spéculaire montrant un endothélium cornéen normal.
L'aspect en nid d'abeille [12].**

Cette régularité change au niveau de la périphérie et de la membrane de Descemet, où on observe des interdigitations fines afin de permettre une meilleure cohésion intercellulaire.

Une grande partie de la cellule est occupée par le noyau.

Le cytoplasme est clair, dans sa partie apicale on retrouve de nombreuses vacuoles et de fins granules, ce qui montre une importante activité métabolique.

La membrane plasmique comporte

- Une face basale en contact direct avec la membrane de Descemet,
- Une face apicale en rapport avec l'humeur aqueuse qui contient de courtes microvillosités
- Une face latérale où siègent les mécanismes jonctionnels intercellulaires (jonctions serrées et de type gap).

L'endothélium cornéen joue un rôle primordial dans l'hydratation, la transparence et l'épaisseur de la cornée.

En effet, en cas d'absence totale de l'endothélium ou d'une faible densité cellulaire, l'eau de l'humeur aqueuse va s'infiltrer dans le stroma et provoquer un œdème. Le maintien du taux d'hydratation cornéen s'effectue grâce à des pompes actives Na/K/ATPase. Une fois l'organogenèse de l'oeil accomplie, l'endothélium ne change plus durant toute la vie de l'individu. Ses cellules ne sont donc pas renouvelables mais elles sont capables de changer de forme et de migrer vers des zones de rupture tissulaire. Leur densité diminue avec l'âge (4000 cellules/mm² à la naissance contre 2500 à 80 ans).

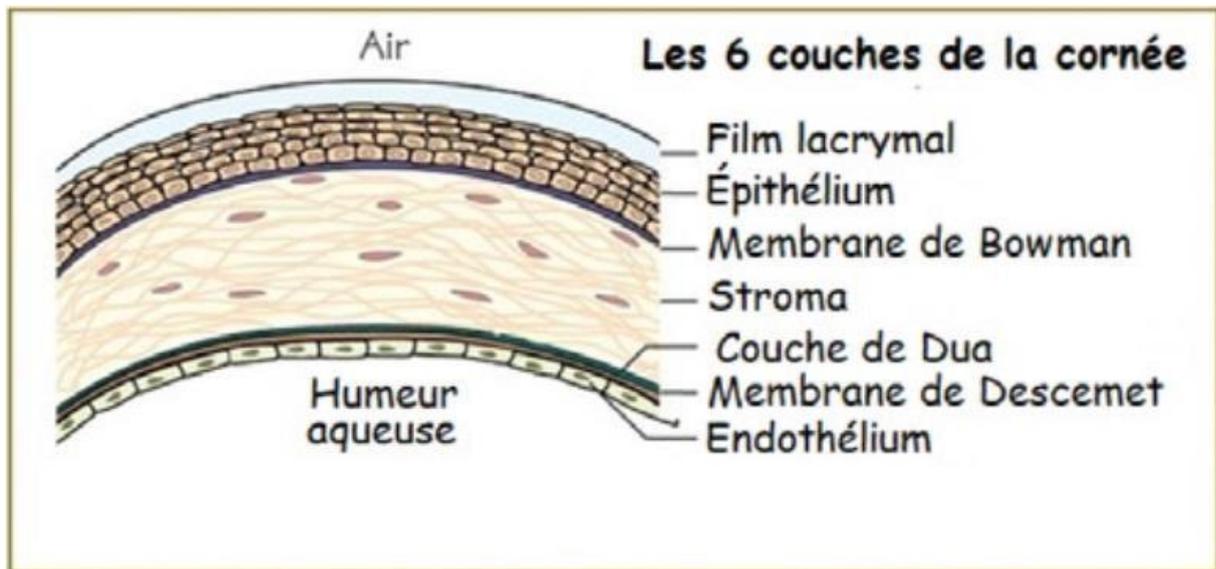


Figure 2 : Les 6 couches de la cornée [45].

5. Vascularisation

La cornée est dépourvue de vascularisation propre. Les cellules qu'elle contient sont nourries par deux voies principales, l'une vasculaire au limbe et l'autre par les larmes en avant et par l'humeur aqueuse en arrière

La cornée est dépourvue de système lymphatique propre, Elle contient des cellules immunologiquement compétentes au sein de son épithélium (cellules de Langerhans), en particulier à sa périphérie.

6. Innervation cornéenne

La cornée est le tissu le plus innervé du corps. A titre de comparaison, la cornée présente une densité sensorielle 300 à 600 fois supérieure à celle de l'innervation de la peau. Le segment antérieur de l'œil reçoit son innervation de trois ganglions : le ganglion trigéminé, le ganglion cervical supérieur et le ganglion ciliaire. La cornée quant à elle dépend principalement de la branche ophtalmique afférente du ganglion trigéminé par l'intermédiaire des nerfs ciliaires longs pour son innervation sensitive et du ganglion cervical supérieur pour son innervation sympathique.

II. Physiologie de la cornée

1. Pouvoir optique

- La cornée procure plus des 2/3 du pouvoir réfractif de l'œil, elle transmet 85% de la lumière incidente, une partie est perdue par phénomène de diffusion et une autre partie est réfléchi permettant l'étude en microscopie spéculaire.
- La puissance de réfraction est égale à la somme de la réfraction des différentes couches qui constituent les interfaces air/larme, larme/tissu cornéen, tissu cornéen/HA soit environ 43D. La cornée est d'autant plus puissante qu'elle est courbe

2. Transparence

- La transparence de la cornée dépend de l'agencement des fibres collagène dans le stroma, constance du diamètre moyen de chaque fibre et de la distance entre chaque fibre qui font que le rayon lumineux n'est pas totalement réfléchi.
- L'hydratation du stroma dépend de la pompe endothéliale, la barrière épithéliale, la pression intraoculaire et de la pression stromale de gonflement.
- La pompe endothéliale implique un mécanisme actif qui dépend de la pompe Na^+K^+ -ATPase située dans la membrane plasmique latérale de l'endothélium, elle permet les mouvements ioniques du stroma vers l'humeur aqueuse créant ainsi un gradient osmotique qui aboutit à expulser le Na^+ dans l'humeur aqueuse et libérer le K^+ dans la cellule endothéliale.
- Et de l'absence de vaisseaux et d'une faible densité cellulaire

III. Physiopathologie du glaucome par fermeture de l'angle

En 1856, **Albert von Graefe** pratique la première iridectomie. En 1900, **Trantas** invente la gonioscopie. En 1936, **Barkan** démontre que l'angle de l'œil atteint est fermé lors de la crise aiguë et que l'angle de l'œil adelphe est étroit. En 1938, il classe les glaucomes en glaucomes à angle étroit et à angle ouvert [26].

Les glaucomes par fermeture de l'angle peuvent se présenter sous formes de tableaux très divers. Si le glaucome aigu par fermeture de l'angle est une urgence ophtalmologique, la forme chronique de glaucome par fermeture de l'angle, moins bruyante, est en réalité plus fréquente.

Il existe différents stades entre l'angle étroit à risque et la véritable fermeture de l'angle.

→ **L'angle étroit « suspect de fermeture »** représente la prédisposition anatomique de l'œil. Il est présent dans 5% de la population occidentale. Il est soupçonné sur une chambre antérieure étroite et visible en gonioscopie. Des stigmates d'une apposition de la périphérie de l'iris au trabéculum postérieur comme la présence de synéchies antérieures périphériques peuvent faire penser, lors de l'examen gonioscopique, à un angle « suspect de fermeture » [26].

→ La fermeture de l'angle est définie par l'apposition de l'iris périphérique au trabéculum.

Les mécanismes de fermeture de l'angle sont de deux types [27] :

– Plus de 90% des fermetures primitives de l'angle sont consécutives à une poussée de l'iris en avant conduisant à une situation de bloc pupillaire relatif ou absolu.

– Beaucoup plus rarement, le mécanisme est celui d'une rétractation en avant de l'iris contre le trabéculum : c'est l'iris plateau.

1. Physiopathologie des glaucomes par fermeture de l'angle consécutive à un bloc pupillaire

Le flux d'humeur aqueuse de la chambre postérieure au travers de la pupille vers la chambre antérieure est entravé. Cette obstruction crée un gradient de pression entre la chambre antérieure et la chambre postérieure, qui fait bomber l'iris périphérique vers l'avant contre le trabéculum. L'iris s'accroche à l'extrême périphérie de la cornée et empêche l'évacuation trabéculaire.

A l'état normal, l'iris repose sur le cristallin, simplement par son bord pupillaire. Deux conditions biométriques essentielles doivent s'associer pour que se produise un bloc pupillaire [28] :

- L'existence d'un segment antérieur étroit : le risque de bloc pupillaire est de 100% pour une profondeur de la chambre antérieure inférieure à 1,3 millimètre contre 1% pour une profondeur supérieure à 2,2 millimètres ;
- Une augmentation du volume cristallinien (modification physiologique avec l'âge).

Le bloc pupillaire est :

- Relatif quand les mouvements aqueux au travers de la pupille sont réduits à cause d'un contact irien avec le cristallin ;
- Absolu lorsqu'il n'y a aucun passage aqueux au travers de la pupille à cause de la présence de synéchies postérieures, ou irido-cristalliniennes (sécclusion pupillaire). Le bloc pupillaire est maximal lorsque la pupille est en semi-dilatation [27].

Certains facteurs peuvent déclencher un bloc pupillaire chez les sujets prédisposés :

- Le stress aigu ou chronique, accompagné de sa décharge adrénérgique dilatant la pupille ;
- L'obscuration ;
- Le froid ;
- Les exercices physiques ;
- De nombreux médicaments à action systémique ou locale par leur action mydriatique (par exemple, les médicaments à action atropinique ou encore les symptomimétiques).

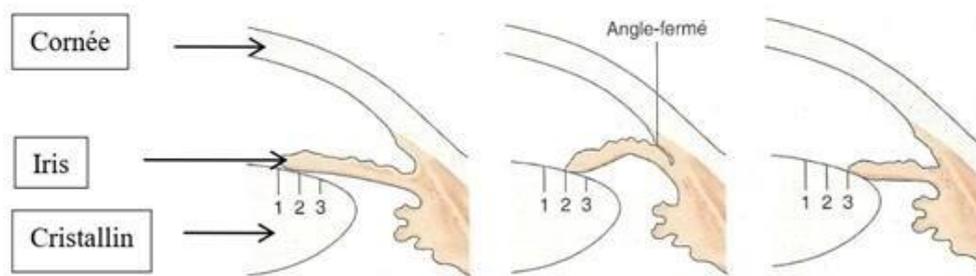


Schéma décrivant la formation d'un bloc pupillaire

En 1, la pupille est contractée et l'angle est ouvert. En 2, la pupille est en semi-dilatation. Le bloc pupillaire est maximal dans cette position, entraînant le bombement de l'iris vers l'avant, et l'angle se rétrécit. En 3, la pupille est complètement dilatée et le bloc pupillaire relatif diminue, avec un retour à un aplatissement de l'iris.

Si une fermeture complète de l'angle survient, l'iris peut rester en semi-dilatation jusqu'à ce que la crise de fermeture soit levée.

Figure 3 : Schéma décrivant la formation d'un bloc pupillaire [48]

1. Les glaucomes par fermeture de l'angle sans bloc pupillaire

Une fermeture de l'angle peut se produire sans bloc pupillaire. Une apposition ou une synéchie iridotrabéculaire peut être la conséquence de la poussée, de la traction ou de la rotation vers l'avant de l'iris et/ou du cristallin [29].

De nombreux patients peuvent présenter simultanément plusieurs mécanismes à l'origine de la fermeture de l'angle.

2. L'iris plateau

Le terme d'iris plateau a été décrit et utilisé pour la première fois en 1958 par R.Törnquist.

L'iris plateau est une configuration atypique de l'angle de la chambre antérieure pouvant aboutir à un glaucome par fermeture de l'angle, aigu ou chronique. La fermeture de l'angle dans l'iris plateau est le plus souvent provoquée par des procès ciliaires situés antérieurement, ce qui rétrécit de façon critique le fond de l'angle iridocornéen en poussant vers l'avant la périphérie irienne [29]. L'ancrage anormalement antérieur d'un corps ciliaire souvent très épais, avec des procès ciliaires eux-mêmes basculés vers l'avant, entraîne cette configuration souvent bilatérale.

Une composante de bloc pupillaire peut être présente. La position antérieure du corps ciliaire pouvant entraîner celle du cristallin peut faciliter le développement d'un blocage pupillaire qui, même léger et en raison de l'anatomie, peut aggraver la fermeture de l'angle. Le diagnostic d'iris-plateau est fait par gonioscopie.

Les yeux avec un iris-plateau restent prédisposés à la fermeture de l'angle malgré une iridectomie patente à cause de l'anatomie particulière de l'iris périphérique.

Une classification distingue : – la configuration d'iris plateau due à une anomalie anatomique d'une ou plusieurs structures du segment antérieur, où l'iridectomie est suffisante pour ouvrir l'angle le syndrome d'iris plateau avec fermeture de l'angle irido-cornéen en présence d'une iridectomie fonctionnelle - soit spontanément ; - soit après une mydriase : à la suite d'une dilatation pupillaire, l'angle risque de se fermer, car la périphérie de l'iris peut s'accoler au trabéculum et l'obstruer.

Dans le cas du syndrome d'iris plateau, une iridoplastie périphérique au laser à l'argon peut être proposée, permettant d'aplatir et d'amincir la périphérie irienne.

Suivant la hauteur du plateau et donc le degré de fermeture de l'angle, on parlera d'iris plateau complet ou incomplet [30].

L'iris plateau complet est plutôt rare, c'est une situation classique avec élévation de la tension oculaire, dans laquelle l'iris masque complètement ou presque le trabéculum jusqu'à l'anneau de Schwalbe.

L'iris plateau incomplet est plus fréquent, avec une fermeture partielle de l'angle.

Plus la hauteur du plateau est basse par rapport au trabéculum, plus le risque d'une augmentation de tension oculaire est faible.

Le patient peut être asymptomatique ou peut présenter des signes et des symptômes de crise aiguë ou subaiguë par fermeture de l'angle

Le syndrome d'iris plateau est souvent évoqué devant la survenue de manifestations d'hypertonie aiguë sur un œil qui a bénéficié d'une iridotomie qui était censée prévenir les poussées d'hypertonie aiguë.

IV. IRIDOTOMIE PERIPHERIQUE :

Il repose sur la réalisation d'une iridotomie au laser. C'est une technique qui remplace souvent l'iridectomie chirurgicale en raison de sa simplicité, son efficacité et sa fiabilité.

Elle nécessite cependant une technique rigoureuse afin d'éviter les complications inhérentes à toute manipulation d'un laser.

Actuellement, les recommandations de la Société Européenne de Glaucome [31] proposent de réaliser une IP au laser chez les patients présentant un AIC étroit avec contact irido-trabéculaire sur 2 quadrants ou plus, en l'absence de synéchies antérieures périphériques.

Un large essai randomisé chinois a récemment remis en cause ce dogme, sur les yeux d'une population asiatique, du fait de la rareté de survenue de CAFA au cours du suivi.

L'iridotomie périphérique au laser a eu un effet prophylactique modeste, quoique significatif.

Les résultats de cette étude sont à pondérer car les auteurs ont exclus les patients ayant une augmentation de PIO à la dilatation de plus de 15 mmHg. Ces patients-là doivent avoir une IP. [32]

1. Préparation et technique :

1.1. Traitement préopératoire

La réalisation d'une IP au laser nécessite un traitement préopératoire afin :

– De tendre et amincir l'iris pour faciliter sa perforation : myotique type pilocarpine 2 ou 3 %, une goutte toutes les 15 minutes pendant l'heure qui précède l'opération .

- De prévenir inflammation et hypertonie post-laser : acétazolamide per os + apraclonidine, anti-inflammatoire non stéroïdien (AINS), collyre.

1.2. Installation du patient

Le patient, prévenu de l'intervention, des risques de vision floue dans les heures qui suivent le traitement et de la nécessité d'un traitement postopératoire, doit être confortablement assis à la lampe à fente (col de chemise ouvert afin d'éviter un malaise vagal).

1.3. Examen à la lampe à fente

Il permet tout d'abord d'éliminer **les contre-indications à l'IP laser** :

- Réouverture incomplète de l'angle après une crise de GFA ;
- Mauvaise transparence cornéenne ;
- Athalémie ;
- Mauvaise coopération du patient ;
- Sécluse pupillaire ;
- SAP sur 360°.

Une IP doit se pratiquer sur un angle ouvert ou réouvert par un traitement médical approprié. Une IP pratiquée sur un angle fermé totalement ou en grande partie est le plus souvent inutile et dangereuse. Une gonioscopie, au mieux avec indentation (gonioscopie dynamique), doit donc être pratiquée avant toute IP.

Le site opératoire est ensuite choisi comme un compromis entre sa localisation, qui doit être la plus basale possible, et les contraintes liées au terrain :

- cornée : œdème, gérontoxon ;
- profondeur de la chambre antérieure ;
- iris : pigmentation, vascularisation.

1.4. Site de la perforation

Méridien

On évite les méridiens de 3 heures et 9 heures (nerfs) en raison des douleurs, et celui de midi car les bulles de vaporisation peuvent gêner la poursuite de l'intervention.

Site

Sur le méridien, on choisira le site le plus basal possible. En cas de difficulté technique, on ne doit cependant pas dépasser l'union du tiers externe et des deux tiers internes afin d'éviter de léser le cristallin ou de créer des synéchies irido-cristalliniennes postopératoires.

Le choix se porte ainsi sur une crypte libre de tout vaisseau sur le méridien de 10-11 heures ou 1-2 heures, et suffisamment pigmentée si l'on réalise l'IP à l'argon.

1.5. Verre de contact focalisateur

Son utilisation est impérative car il permet :

- D'améliorer la précision de la focalisation (diminue la taille effective du spot de 50 %) ;
- De fixer le globe oculaire ;
- D'augmenter la densité d'énergie délivrée au site de perforation ($\times 4$).

Les principaux verres sont :

- Le verre d'Abraham (lentille plan convexe de + 66 dioptries) ;
- Le verre de Wise (+ 103 dioptries) ;
- Le verre CGI monobloc (Fankhauser).

Le réglage de la focalisation est également capital : le spot doit être perçu aussi petit et précis que possible. L'utilisation du fort grossissement du microscope est donc souhaitable.

Tableau 1 : Paramètres du laser Argon lors de l'IP

Paramètres	Taille (µm)	Puissance (mW)	Durée (secondes)
Phase 1	200-500	200-500	0,2-0,4
Phase 2	50	600-1 500	0,1-0,2
Phase 3	50	600-1 200	0,01-0,1

f. Lasers

Argon + YAG

C'est la technique utilisée dans notre série, et la technique de choix car la préparation du site à argon permet :

- de rétracter l'iris et l'éloigner de la cornée ;
- de rendre la zone à perforer exsangue, limitant ainsi le risque de saignement .
- d'amincir l'iris, facilitant l'utilisation du laser Nd-YAG pour perforer, en limitant le risque inflammatoire et cicatriciel

ARGON

Mécanisme d'action

Le réglage des paramètres (réduction du temps d'exposition et augmentation de la puissance) permet d'obtenir un effet explosif associé à un effet thermique. L'obtention de cet effet nécessite un convertisseur d'énergie : le pigment irien. Ainsi l'IP est difficile et iatrogène (c'est-à-dire à ne pas faire) si l'iris est clair en raison de l'absence de convertisseur d'énergie ou si l'iris est épais.

Le laser argon permet une coagulation des tissus minimisant le risque de saignement, mais augmente le risque de réactions inflammatoire et cicatricielle qui sont plus fréquentes qu'avec le laser Nd-YAG.

Technique :

- *Phase 1* : une série préliminaire d'impacts superficiels est effectuée de façon circulaire ou en ligne afin de tendre, amincir et décoller l'iris du cristallin.

– **Phase 2** : la phase de perforation est obtenue en superposant les impacts et en choisissant la puissance minimale pour obtenir une efficacité.

Une réaction normale d'efficacité se traduit par la création d'une bulle de vaporisation avec apparition d'un cratère dans le stroma. Si cette bulle de vaporisation est trop importante, il faut diminuer la puissance car il existe alors un risque de lésion endothéliale qui se traduit par un flou cornéen. Si la réaction est en revanche insuffisante, il faut augmenter la puissance, puis le temps d'exposition.

La perforation se traduit par un flot d'humeur aqueuse et de pigment qui fait irruption dans la chambre antérieure.

– **Phase 3** : une phase d'agrandissement et de nettoyage du site est enfin réalisée par des impacts de puissance réduite afin de ne pas léser le cristallin. Il faut viser alors les berges et attendre à chaque impact que le site soit nettoyé (*tableau 1*).

YAG

Mécanisme d'action

Le laser Nd-YAG permet la photodisruption tissulaire froide sans effet thermique. Il permet donc de réaliser plus facilement les IP sur des iris claires.

Le risque de saignement est cependant plus important, le plus souvent sous forme d'un petit filet hémorragique contrôlé par l'application d'une pression sur le verre de contact.

Technique

Les impacts sont effectués avec un angle de cône de 13°, une énergie de 2 à 4 mJ/coup, en mode coup/coup. En effet, en mode rafale, les premiers impacts déplacent l'iris et défocalisent les impacts suivants.

2. Critères de réussite :

Dimension

L'iridotomie doit être perforante, de taille suffisante, avec visualisation de la capsule antérieure du cristallin et approfondissement de la chambre antérieure. La transillumination n'est pas un critère de perméabilité car elle peut être faussement positive, du fait de la persistance d'un voile de tissu irien. La dimension de l'iridotomie doit être comprise entre 250 et 500 μm . Les IP trop petites ($< 100 \mu\text{m}$) risquent d'être prises dans les plis de l'iris en cas de mydriase et donc de se fermer.

Les IP trop grandes impliquent une libération trop importante de matériel irien et exposent au risque de glaucome secondaire. L'acte réalisé est en effet une iridotomie et non pas une iridectomie. Le matériel libéré reste dans l'œil et peut être responsable de pathologie iatrogène. Il ne faut donc pas chercher à réaliser de « belles IP » comparables aux iridectomies chirurgicales.

3. Traitement et surveillance postopératoires

Des anti-inflammatoires stéroïdiens et des AINS en collyre quatre fois par jour pendant 4 à 7 jours sont associés à un mydriatique doux (tropicamide) afin de lutter contre l'inflammation post laser et d'éviter les synéchies. Un traitement hypotonisant doit être systématiquement associé par : brizolamide 1% collyre ou acétazolamide, un comprimé trois fois par jour pendant 48 heures.

La patient doit ensuite être revu régulièrement, au moins deux fois le premier mois, puis tous les trimestres, avec notamment prise du tonus oculaire et examen en gonioscopie avant et après mydriase afin de dépister les fermetures secondaires et les glaucomes secondaires.

4. Complications

– Hypertonie oculaire, quasi constante, précoce, parfois importante (70 mmHg) imposant un traitement préventif systématique. Une évaluation précise du tonus oculaire et de l'état du nerf optique est impérative en préopératoire, afin d'adapter un protocole précis de surveillance postopératoire.

– Défocalisation du faisceau avec risque de :

brûlures cornéennes épithéliales ou endothéliales ; marquage cristallinien (opacité localisée qui s'atténue avec le temps) ; brûlures rétinienne exceptionnelles, prévenues en faisant regarder le patient en haut et en dedans.– Synéchies irido-cristalliniennes, inflammation persistante.

– Fermetures secondaires.

– Atrophie irienne, ectopie pupillaire.

L'iridotomie au laser est une intervention simple, mais qui nécessite de prendre le temps nécessaire pour prévenir les complications pour s'assurer d'une bonne installation du patient, d'une bonne focalisation du laser et d'un bon choix du site.

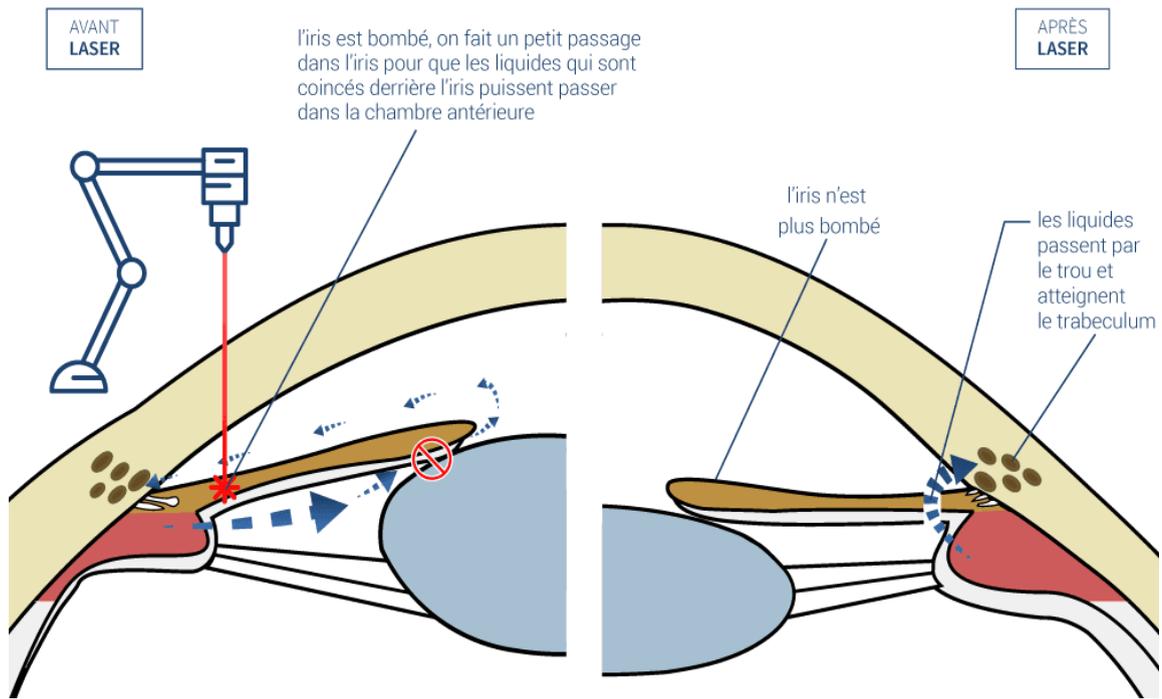


Figure 4 : Laser de l'angle, iridotomie périphérique [49]



I. Microscopie spéculaire

1. Appareil de microscopie spéculaire

Le microscope spéculaire SP-1P TOPCON fournit in vivo une évaluation et une analyse des cellules endothéliales et de la pachymétrie avec des fonctions fiables et faciles d'utilisation et un large éventail d'options. C'est un modèle parmi la dernière génération.

Le système de mesure sans contact rend son fonctionnement sûr et simple avec un besoin minimal de connaissances techniques.

2. Réalisation de la Microscopie Spéculaire

2.1. Enregistrement des données du malade sur ordinateur

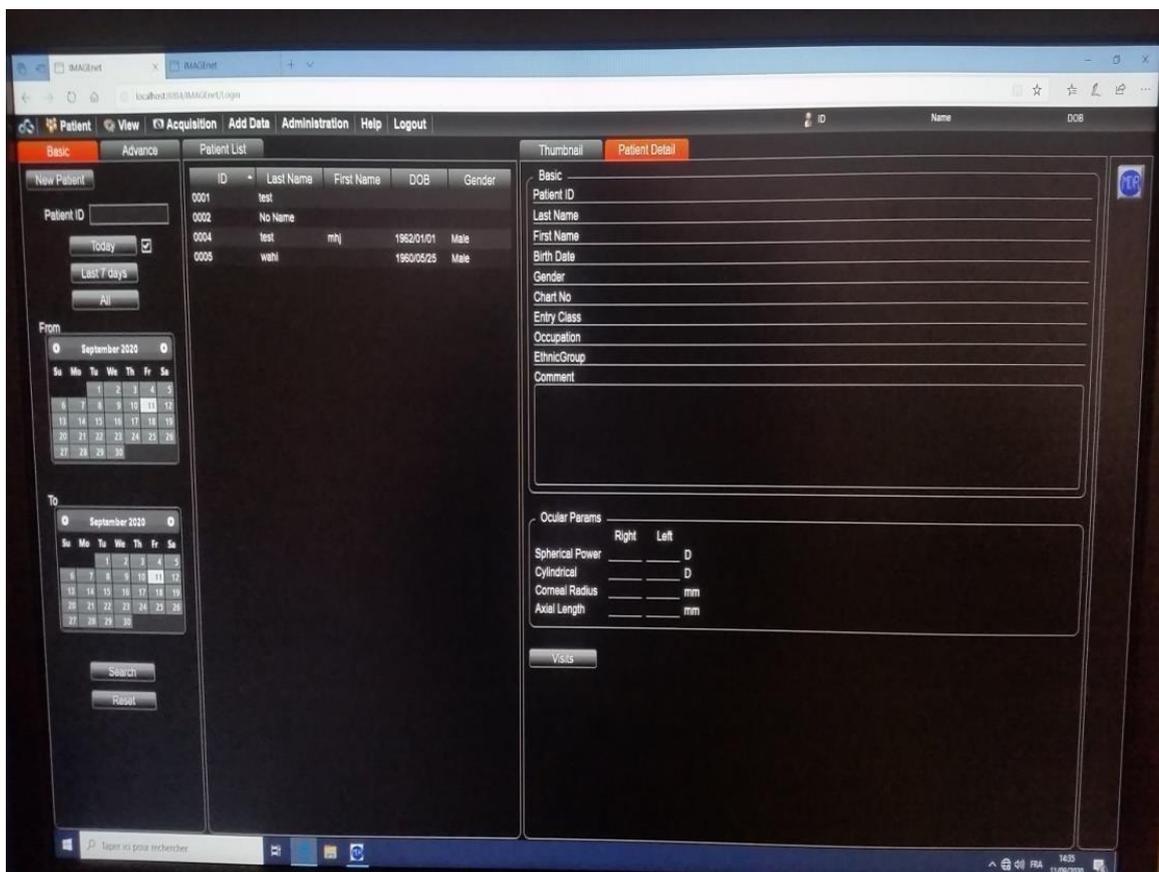


Figure 5 : logiciel du microscope spéculaire (Hôpital des spécialités de Rabat)

1.1. Installation des patients

L'examen peut être effectué sans anesthésie, et ne nécessitent pas de contact cornéen donc d'où aucun risque de traumatisme ou d'infection

Avec une mentonnière améliorant le confort des patients.



**Figure 6 : position de réalisation de la microscopie spéculaire
(Hôpital des spécialités de Rabat)**

Aucun conflit d'intérêt

1.2. Alignement 3D automatique et cibles de fixation

L'écran couleur affiche des images vives de la cornée permettant une évaluation visuelle immédiate de l'état de l'oeil du patient.

Les cibles de fixations permettent des analyses centrale, nasale supérieure et inférieure, temporale supérieure et inférieure, supérieure et inférieure ainsi que sur différents angles de la cornée : 45°, 90°, 180.... Trois modes de capture d'images : automatique, semi-automatique et manuel

Doté d'un écran tactile pratique sans recours à la manipulation manuelle par manette

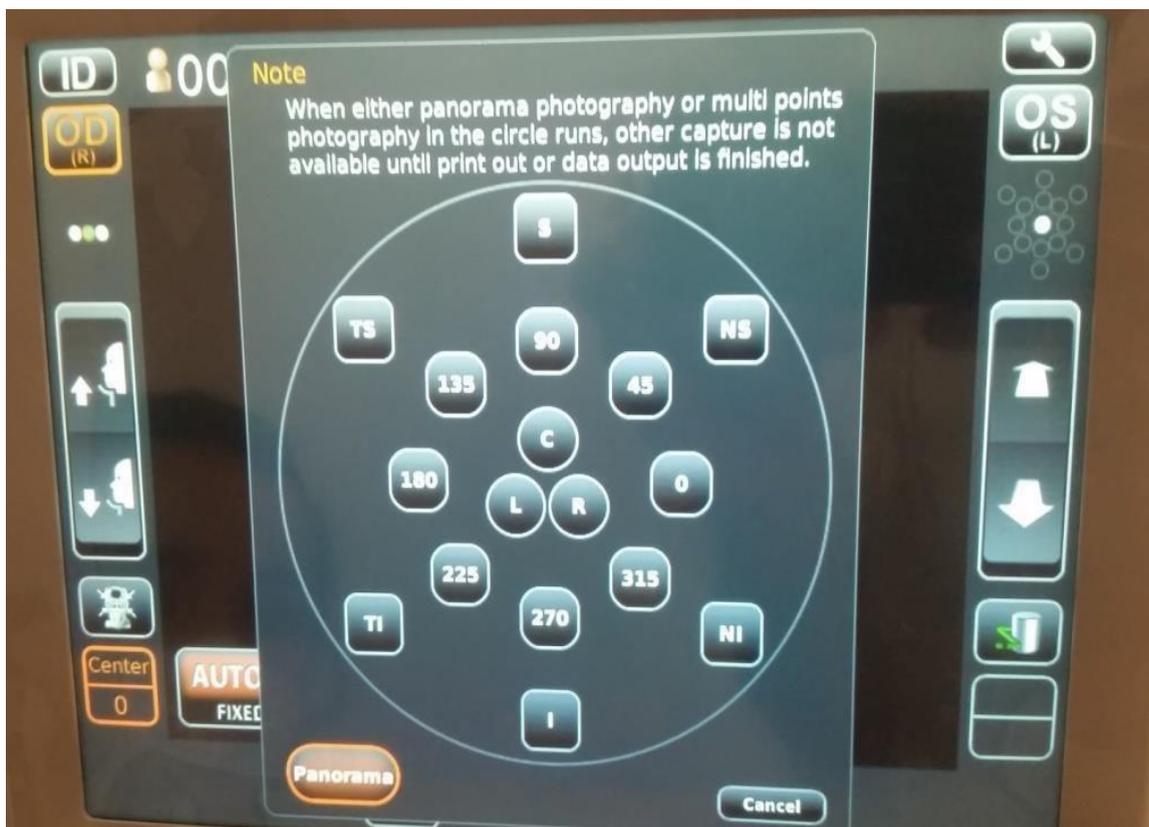


Figure 7 : Différents modes et sites de fixation(Hôpital des spécialités de Rabat)

1.3. Analyse des cellules endothéliales par le logiciel

Le logiciel fournit une analyse très précise de la couche des cellules endothéliales.



Figure 8 : Appareil de microscopie spéculaire relié au logiciel sur ordinateur
(Hôpital des spécialités de Rabat)

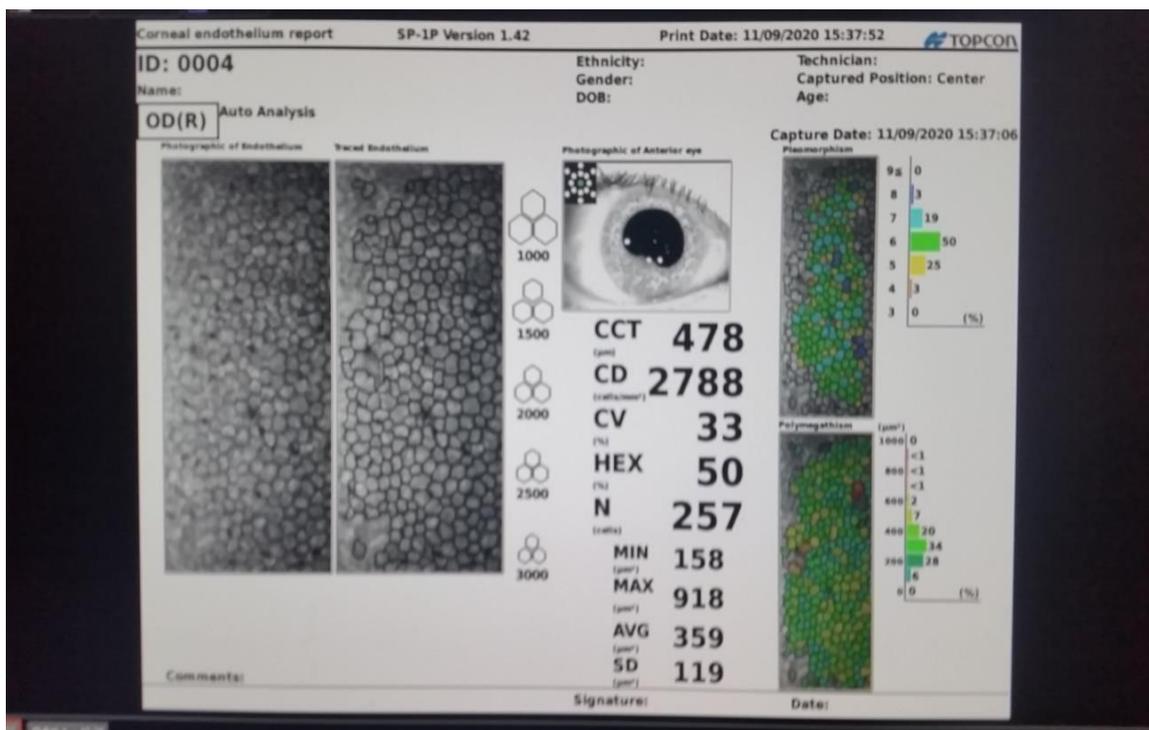


Figure 9 : Résultats de l'analyse de l'endothélium cornéen sur logiciel
(Hôpital des spécialités de Rabat)

1.4. Analyse direct des cellules endothéliales sur le microscope spéculaire

Possibilité d'analyser directement les cellules endothéliales sur le microscope sans passer par le logiciel installé sur ordinateur



Figure 10 : Résultats de l'analyse de l'endothélium cornéen sur l'écran de l'appareil. (Hôpital des spécialités de Rabat)

Paramètres évalués

- CCT : Epaisseur cornéenne centrale
- CD : Densité des cellules endothéliales cornéennes centrale
- HEX : Pourcentage des cellules hexagonales
- VC : Coefficient de Variation de la taille des Cellules
- N : Nombre de cellules analysées
- MIN : Nombre minimum de cellules analysées
- MAX : Nombre maximum de cellules analysées
- AVG : Taille moyenne analysée
- SD : Déviation de la taille standard des cellules

L'ensemble de ces paramètres évalués à partir de la partie centrale de la cornée.



Type d'étude :

Il s'agissait d'une étude prospective sur une période de 12 mois (Septembre 2020 – Juillet 2021) réalisée au service d'ophtalmologie B de l'Hôpital des spécialités CHU Ibn Sina de Rabat et porte sur 19 patients qui présentaient une crise GFA 1^{er} œil, admis pour iridotomie périphérique prophylactique au laser (Argon + Yag) de l'œil Adelphe.

Objectif d'étude :

Évaluer les effets de l'iridotomie périphérique prophylactique au laser (Argon + Yag) sur la densité et la morphologie des cellules endothéliales de la cornée de l'œil adelphe des sujets présentant une crise GFA du 1^{er} œil au cours d'une période de suivi de 12 mois.

Critères d'exclusion :

Ont été exclus de l'étude les patients ayant :

- Des antécédents d'un épisode antérieur d'augmentation de la PIO dans l'œil prédisposé.
- Des antécédents de chirurgie intraoculaire.
- Des antécédents d'utilisation de médicaments anti-glaucomeux.
- Des antécédents de maladies acquises ou génétiques de la cornée.
- Toute anomalie à la microscopie spéculaire avant l'iridotomie au laser.
- Des antécédents de traumatisme oculaire ou toute pathologie rétinienne.
- La présence d'une maladie systémique telle que le diabète sucré.

Evaluation globale des patients :

Chaque patient a subi un examen à la lampe à fente, une mesure de la pression intraoculaire (PIO) par tonométrie d'aplanation de Goldmann et une gonioscopie à l'aide d'un gonioscope à trois miroirs de Goldmann pour détecter les

fermetures appositionnelles ou synéchiqes, ainsi une évaluation de l'excavation de la papille optique à l'aide d'une lentille sans contact de + 90 dioptrie.

Tous les examens ophtalmologiques et les procédures d'iridotomie au laser ont été effectués par un ophtalmologiste.

Basé sur la description standard, un œil prédisposé présentait un contact appositionnel entre le niveau de surface de l'iris et la partie postérieure du trabéculum s'étendant au moins 180° selon l'évaluation gonioscopique et présentant une PIO ≤ 21 mmHg telle que mesurée par le Goldmann [7].

Tous les sujets ont subi une microscopie spéculaire à l'aide d'un microscope spéculaire automatisé sans contact Topcon SP-1P (Topcon Corporation, Tokyo, Japon). Cet appareil se focalise automatiquement sur la surface de l'endothélium cornéen et offre un fort grossissement, une qualité d'image bénéfique et la possibilité de mesurer la densité cellulaire et d'effectuer une évaluation morphométrique. C'est un modèle de la dernière génération.

Nous avons évalué la taille des cellules en fonction de divers facteurs, tels que la densité cellulaire, le Coefficient de variation de la surface cellulaire (DS/moyenne) et la proportion de cellules hexagonales, sur la base de méthodes standard [10-12]. Ensuite, une goutte de pilocarpine à 2% et une goutte de tétracaïne à 0,5% ont été instillées dans l'œil. Une iridotomie périphérique au laser conventionnel a été réalisée sur la région temporale supérieure périphérique de l'iris de l'œil prédisposé (Adelphe) à l'aide d'un laser ARGON et YAG et d'une lentille Abraham.

La procédure d'iridotomie au laser a commencé par la préparation du site (généralement sur le méridien de 10-11 heures ou 1-2 heures) à Argon (50 μm -0.1sec-200mw) pour rétracter l'iris et l'éloigner de la cornée, et de rendre la zone à perforer exsangue, en limitant ainsi le risque de saignement et d'amincir l'iris, facilitant l'utilisation du laser Nd-YAG pour perforer, en limitant le risque inflammatoire et cicatriciel. Puis une impulsion de la laser YAG de 4-7 mJ, et la

puissance du laser a augmenté jusqu'à ce que la perméabilité soit obtenue ; la dimension de l'iridotomie est en general comprise entre 250um-500 um.

Si la PIO augmentait significativement de plus de 5 mmHg, les sujets étaient traités avec des médicaments anti-glaucome en conséquence.

En outre, tous les sujets se sont vus prescrire des gouttes ophtalmiques d'AINS (diclofed) trois fois par jour et un collyre d'un inhibiteur de l'anhydrase carbonique (brizolamide 1%) 1goutte trois fois par jour pendant 10 jours.

Le patient doit ensuite être revu régulièrement, au moins deux fois le premier mois, puis tous les trimestres, avec notamment prise du tonus oculaire et examen en gonioscopie avant et après mydriase afin de dépister les fermetures secondaires et les glaucomes secondaires.

Toutes les mesures de microscopie spéculaire ont été documentées par un seul technicien, et les régions centrales, nasales supérieures et temporale supérieure ont été examinées au début de l'étude ainsi qu'à lors des visites de suivi à 3 mois, 6 mois , 9 mois et 12 mois.

La taille de l'échantillon a été calculée selon la formule simple de la taille de l'échantillon.



RESULTATS



Tableau 2 : Fiche d'exploitation

Patients	Age	Sexe	Œil Etudié (œil adelphe post GFA)	Délai post- GFA (jours)	Complications post-IP
1	50	F	OG	10	-
2	44	H	OD	10	-
3	60	H	OD	15	-
4	39	F	OG	11	Hémorragie minime
5	56	F	OD	14	-
6	51	F	OG	20	-
7	55	F	OD	23	Hémorragie minime
8	62	F	OD	25	-
9	69	F	OG	30	-
10	61	F	OD	17	-
11	62	F	OD	32	PIO ↑
12	56	H	OD	12	-
13	69	F	OG	16	-
14	48	F	OG	10	-
15	57	F	OG	22	-
16	54	F	OD	22	-
17	43	H	OD	14	Hémorragie minime
18	47	F	OG	17	-
19	60	F	OG	29	-

II. Données épidémiologique

1. Effectif

Notre étude est portée sur un échantillon de 19 yeux adelphe chez 19 patients ayant présentés une crise de GFA du 1^{er} œil.

Un patient a été exclu car sa PIO a augmenté pendant la période de suivi

2. Age

L'âge moyen de nos patients a été de 55 ans avec des extrêmes entre 39 ans et 69 ans

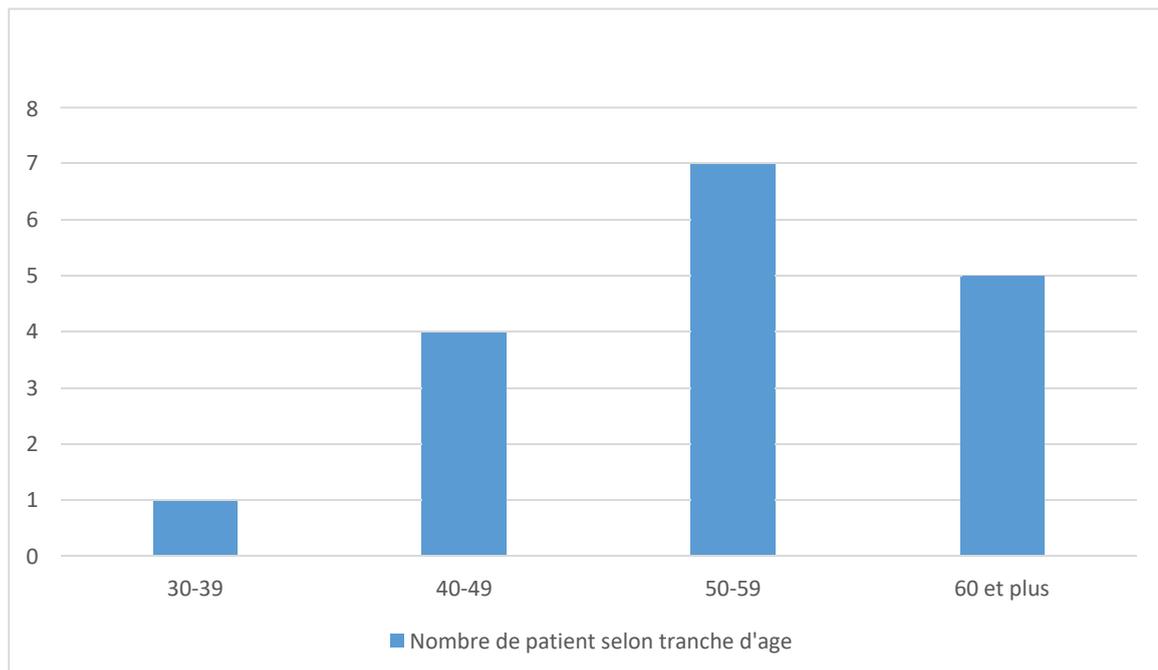


Figure 11 : La répartition du nombre de patient par tranche d'âge est équilibrée dans notre étude

Sexe

15 sujets (78.9 %) étaient des femmes et seulement 4 hommes.

Le sexe ratio est de 0.26

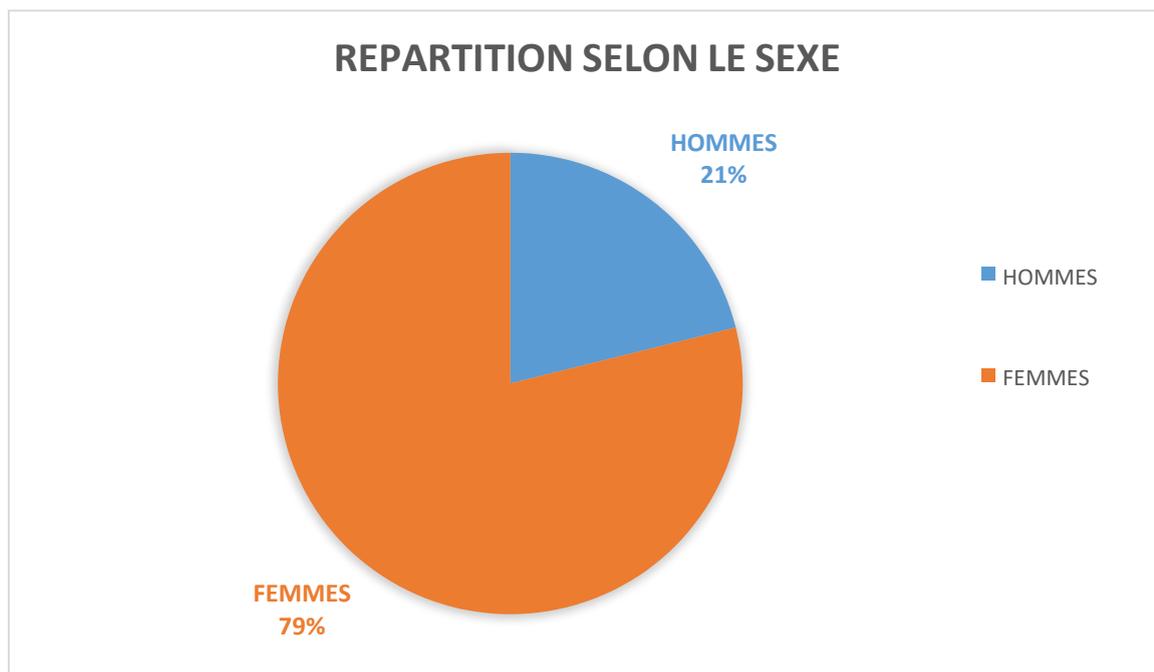


Figure 12 : La repartition selon sexe.

III. Données cliniques

1. Œil atteint de GFA

Dans notre série 10 patients ont subi une crise de GFA dans l'œil droit et 9 patients dans leur œil gauche, il n'y a pas franchement une préférence de côté par rapport à l'autre

2. Délai entre la crise GFA et IP prophylactique de l'œil Adelphe :

Varie dans notre étude entre 10 jours jusqu'à 30 jours.

3. Site de l'IP

Le site de l'IP est appliqué chez 9 de nos patients au niveau temporal supérieur sur le méridien 10-11h et chez 10 patients en nasal supérieur sur le méridien 1-2h.

4. Taille de l'iridotomie

La dimension de l'iridotomie est comprise entre 250 et 500 μm .

Nous avons évité les IP trop petites car risquent d'être prises dans les plis de

l'iris en cas de mydriase et donc de se fermer ; et les IP trop grandes impliquent une libération trop importante de matériel irien et exposent au risque de glaucome secondaire.

5. L'impulsion totale moyenne

Les paramètres utilisés de la préparation au laser Argon sont : 50 μm -0.1sec-200mw.

L'impulsion totale moyenne au laser Yag pour chaque sujet était de $49,9 \pm 12,6$ mJ.

6. Complications

Dans 3 cas, une hémorragie minime de l'iris a été observée, et cette complication a été gérée en conséquence.

IV. RESULTATS DE LA MICROSCOPIE SPECULAIRE :

La densité des cellules endothéliales, leur hexagonalité et Coefficient de variation au début de l'étude et lors des visites de suivi à 3 mois, 6 mois, 9 mois et plus de 12 mois de suivi ont été enregistrées.

La numération moyenne des cellules endothéliales de la cornée centrale avant l'iridotomie au laser était de 2688 ± 119 , et cette valeur est passée à 2570 ± 175 , 2525 ± 150 , 2515 ± 111 et 2507 ± 690 .

1. Densité des cellules endothéliales

Tableau 3 : Densité des cellules endothéliales au départ et lors des visites de suivi à 3 mois, 6 mois, 9 mois et 12 mois dans 3 régions différentes

Zone évaluée	Numération cellulaire avant IPL (moyenne± DS)	Nombre de cellules à 3 mois après IPL (moyenne± DS)	Nombre de cellules à 6 mois après IPL (moyenne± DS)	Nombre de cellules à 9 mois après IPL (moyenne± DS)	Nombre de cellules à 12 mois après IPL (moyenne± DS)
Centrale	2688±119	2570±175	2525±150	2515±111	2507±690
Nasale	2714±263	2690±176	2628±145	2622±95	2618±29
Temporale	2886±275	2871±240	2850±177	2830±182	2811±254

IPL : Iridotomie peripherique au laser ;

DS : déviation standard.

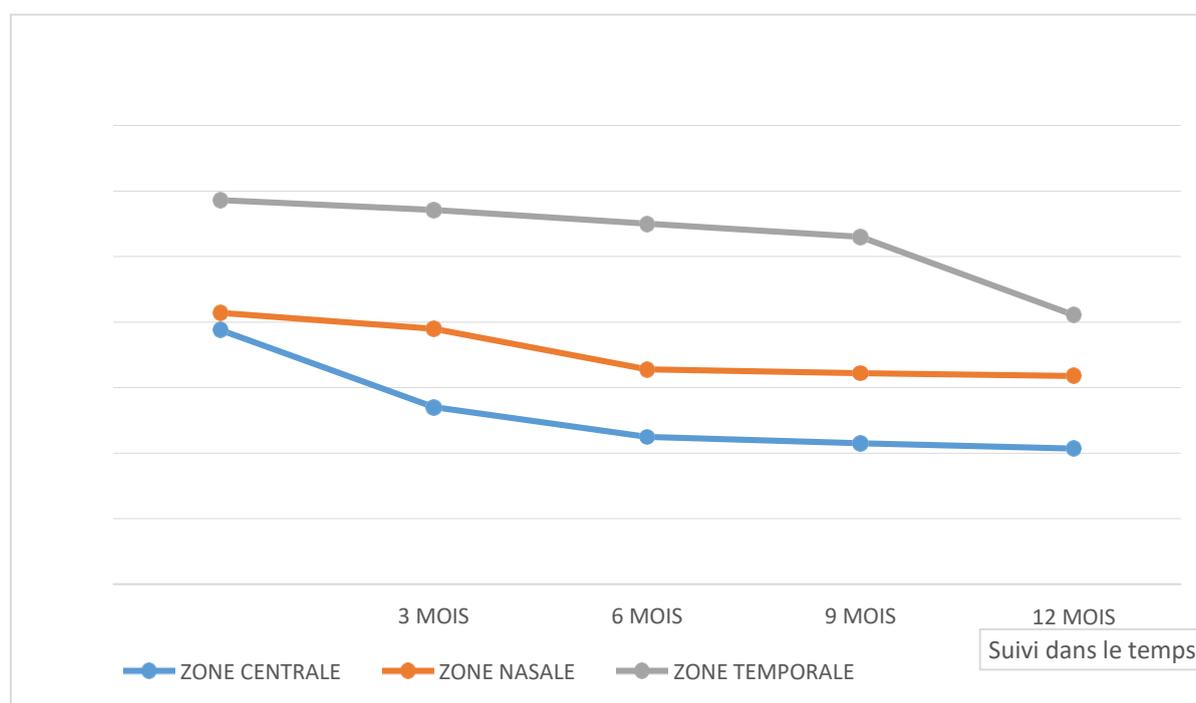


Figure 13 : Graphique montrant l'évolution trimestrielle de la densité des cellules endothéliales après l'IPL dans 3 régions différentes.

2. Hexagonalité des cellules endothéliales

Tableau 4 : Hexagonalité des cellules endothéliales (%) au départ et lors des visites de suivi à 3 mois, 6 mois, 9 mois et 12 mois dans 3 zones différentes

Zone évaluée	Hexagonalité avant IPL (%)	Hexagonalité à 3 mois après LPI (%)	Hexagonalité à 6 mois après LPI (%)	Hexagonalité à 9 mois après LPI (%)	Hexagonalité à 12 mois après LPI (%)
Centrale	58	55	54	53	52
Nasale	58	57	56	55	54
Temporale	57	56	55	54	53

IPL : Iridotomie périphérique au laser

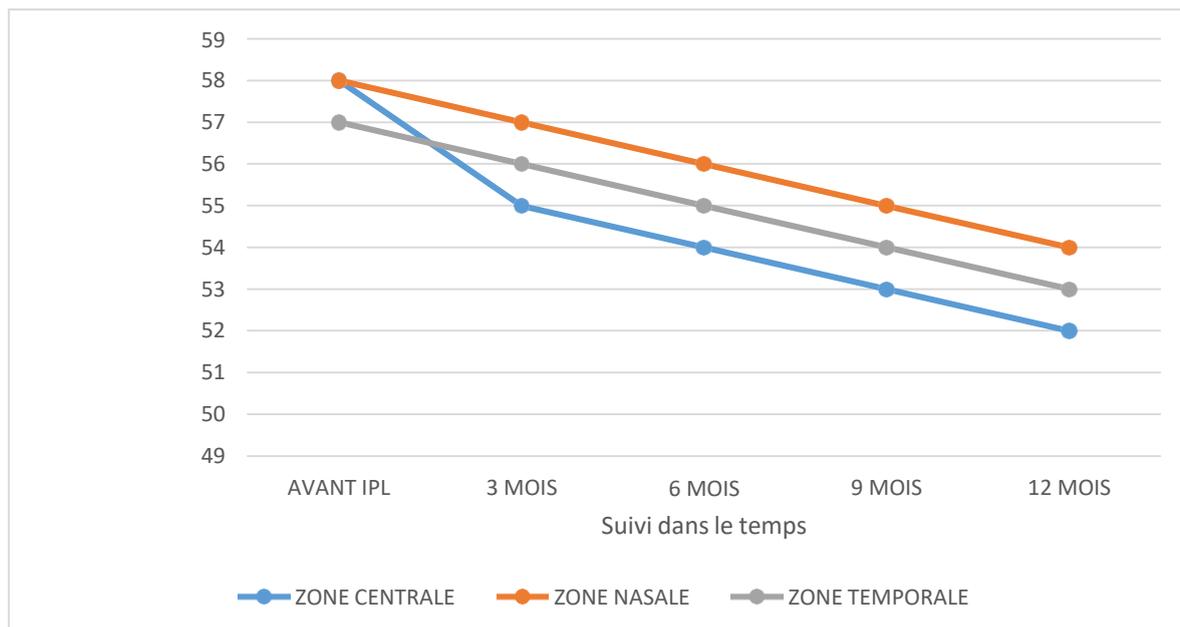


Figure 14 : Graphique montrant l'évolution trimestrielle de l'hexagonalité des cellules endothéliales après l'IPL dans 3 régions différentes.

1. Coefficient de variation

Tableau 5 : Coefficient de variation moyen des cellules endothéliales au départ et lors des visites de suivi à 3 mois, 6 mois, 9 mois et 12 mois dans 3 zones différentes.

Zone évaluée	VC moyen avant le IPL	VC moyen à 3 mois après IPL.	VC moyen à 6 mois après IPL.	VC moyen à 9 mois après IPL.	VC moyen à 12 mois après IPL.
Centrale	34	35	36	37	39
Nasale	34	38	39	41	43
Temporale	35	37	40	41	43

IPL : Iridotomie périphérique au laser ;

VC : coefficient de variation

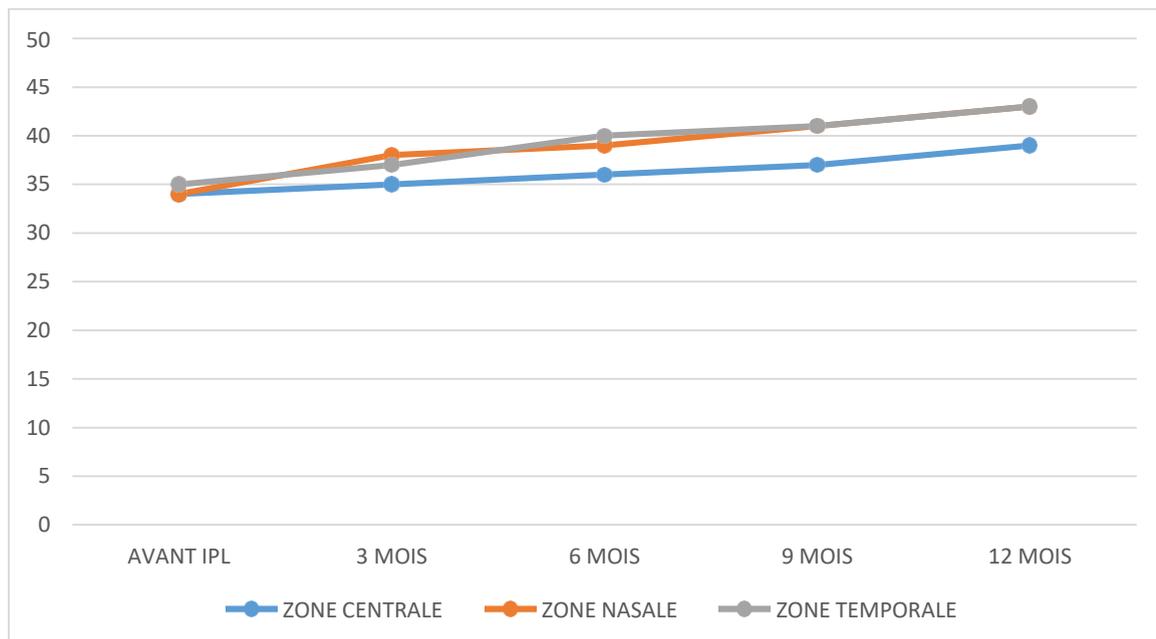


Figure 15: Graphique montrant l'évolution trimestrielle du Coefficient de variation moyen des cellules endothéliales après l'IPL dans 3 régions différentes.

3. Epaisseur cornéen centrale : CCT

Le microscope spéculaire SP-1P TOPCON utilisé dans notre étude fournit aussi une pachymétrie afin de faciliter la mesure de l'épaisseur cornéen centrale en plus de ses fonctions analytiques des cellules endothéliales cornéenne.

Dans notre série homogène, tout nous patients sont des Marocains, l'épaisseur cornéen moyen est de 514 um (min 467 max 536) avec un écart-type de 22.9.

4. Evolution et suivi :

Lors des visites de suivi à 3 mois, 6 mois, 9 mois et 12 mois, Ces différences n'étaient pas statistiquement significatives (Voire les graphiques). En outre, la modification du de cellules, du CV et de l'hexagonalité des cellules dans les zones centrale, nasale et temporale n'étaient pas significatives [tableaux 3-5].



Discussion



Plusieurs rapports ont mis en évidence des complications après une iridotomie périphérique au laser, notamment une inflammation de l'iris, une élévation de la PIO, une décompensation cornéenne, une hémorragie et des synéchies postérieures.

Il y a donc controverse concernant la sécurité de cette procédure pour l'endothélium de la cornée, notamment en ce qui concerne la relation entre l'iridotomie périphérique au laser et décompensation cornéenne [32-35].

Nous avons évalué les effets de l'iridotomie périphérique prophylactique au laser sur la densité des cellules endothéliales cornéennes, l'hexagonalité et le coefficient de variation dans les yeux prédisposés sur une période de suivi de 12 mois.

Nos résultats n'ont révélé aucun déclin de la densité des cellules endothéliales de la cornée ni aucune d'altération de la morphologie cellulaire dans les régions centrale, nasale et temporale au cours de la période de suivi d'un an.

D'autres études ont montré que l'iridotomie au laser peut affecter l'endothélium cornéen, ce qui entraîne des résultats variables.

Bien que la procédure se soit avérée relativement sûre, le risque de décompensation cornéenne demeure, car une transplantation de cornée peut s'avérer nécessaire à terme.

Le délai entre l'iridotomie au laser et la décompensation cornéenne a été déclaré comme pouvant aller jusqu'à huit ans [35,36].

Cependant, étant donné que nos résultats n'ont été obtenus que sur une période de 12 mois, nous ne pouvons pas conclure que cette procédure est sans danger pour l'endothélium cornéen, et nous devrions suivre nos sujets sur une plus longue durée.

Marruffa et al ont constaté une diminution importante de la densité des cellules après une iridotomie au Nd:YAG dans les cas de glaucome par fermeture de l'angle [36].

Parmi les résultats dans lesquels l'iridotomie au laser Nd:YAG a été administrée en prophylaxie, **Wu et al** dans une étude ont révélé une diminution significative de la densité cellulaire à 1 an de durée, alors qu'aucune corrélation statistique n'a été trouvée entre le changement de la densité cellulaire endothéliale et la puissance énergétique totale utilisée tout au long de la procédure de traitement [37]

Canning et al ont constaté qu'une majorité de sujets présentaient une grave atteinte endothéliale focale après une iridotomie au laser Nd:YAG, bien qu'il n'y ait pas de preuve de lésion persistante d'après les examens de suivi à court terme [38].

En utilisant une iridotomie séquentielle prophylactique au laser, **Kumar et al** ont révélé une diminution de la densité des cellules endothéliales cornéennes et de l'épaisseur centrale de la cornée sur 3 ans, bien que ces changements étaient comparables à ceux observés dans l'autre œil, qui n'avait pas été traité [20].

Kumar et al ont établi une étude de suivi pour une durée de 3 ans de la zone centrale de la cornée, [39] cependant nous rapportons nos cas pour un suivi de 12 mois dans 3 zones différentes de la cornée.

Panek et al ont révélé une diminution légère mais substantielle de la densité des cellules endothéliales cornéennes après iridotomie périphérique au laser Nd:YAG [40].

De même, **Wu et al** ont constaté un déclin significatif de la densité des cellules endothéliales cornéennes après 1 an ; [37] mais pas **Schwenn et al** [41].

Notre étude n'a pas non plus démontré de changements significatifs dans la densité des cellules endothéliales cornéennes dans l'année qui suit l'iridotomie périphérique au laser.

Dans les études menées sur des sujets indiens par **Ramani et al** et sur des individus iraniens par **Faramarzi et al**, aucun changement significatif de l'épaisseur de la cornée centrale n'a été observé après une iridotomie périphérique au laser [41-43].

Bien que nous n'ayons pas mesuré ce paramètre, il pourrait être intéressant d'évaluer les effets de l'iridotomie périphérique sur l'épaisseur de la cornée centrale et d'autres paramètres tels que la profondeur de la chambre antérieure, l'angle de la chambre antérieure, la longueur axiale, l'épaisseur du cristallin, la position relative du cristallin, la distance entre l'iris et l'apophyse ciliaire et l'épaisseur de l'iris, notamment à des fins de comparaison entre les races, car ces paramètres anatomiques peuvent varier en fonction de l'origine ethnique.

Kumar et al ont rapporté que le polymégathisme a diminué tandis que le pléomorphisme augmentait pendant 3 ans après iridotomie prophylactique au laser [39].

Cependant, notre étude n'a montré aucun changement dans l'hexagonalité des cellules ou dans le coefficient de variation dans l'année qui suit cette procédure.

LIMITES :

Les principales limites de notre étude étaient sa courte durée de suivi, l'absence d'un groupe témoin dans la conception de l'étude et la taille de l'échantillon.

Par conséquent, l'absence de constatation ne permet pas d'établir que l'iridotomie prophylactique au laser est totalement sûre.

POINTS FORTS :

Malgré ces limites, nous pensons que les points forts de cette étude, qui incluent sa nature prospective, l'examen d'une population homogène et l'utilisation d'une mesure sans contact pour évaluer les zones nasale, centrale et temporale de la cornée, rendent ses résultats particulièrement significatifs.

D'autres études impliquant des échantillons de plus grande taille nécessaires afin de montrer les changements dans l'endothélium cornéen après une iridotomie au laser.

Comme elle peut présenter des opportunités en termes de stratégies préventives, elle peut nous permettre de garantir que l'iridotomie au laser n'entraîne pas de morbidité supplémentaire pour les patients.



Conclusion



L'iridotomie périphérique au laser une technique qui remplace

souvent l'iridectomie chirurgicale en raison de sa simplicité, son efficacité et sa fiabilité. Elle nécessite cependant une technique rigoureuse afin d'éviter les complications inhérentes à toute manipulation d'un laser.

Actuellement, les recommandations de la Société Européenne de Glaucome [31] proposent de réaliser une IP au laser chez les patients présentant un AIC étroit avec contact irido-trabéculaire sur 2 quadrants ou plus, en l'absence de synéchies antérieures périphériques.

La microscopie spéculaire est un examen qui consiste à analyser l'endothélium de la cornée ; elle permet d'évaluer la quantité et la qualité de l'endothélium. Les résultats obtenus dans notre étude, ont démontré la sécurité de l'iridotomie au laser sur une courte durée de suivi.

Dans les yeux prédisposés, nous n'avons pas détecté de diminution de la densité des cellules endothéliales cornéennes ni d'altération des caractéristiques morphologiques des cellules, notamment l'hexagonalité et le coefficient de variation des cellules, dans les zones centrale, nasale et temporale de la cornée chez aucun de nos sujets sur une période de suivi d'un an.



Bibliographies



- [1]. Roy Chowdhury U, P Fautsch M. Intracranial pressure and its relationship to glaucoma: Current understanding and future directions. *Med Hypothesis Discov Innov Ophthalmol* 2015; 4:71-80.
- [2]. Heidary F, Heidary R, Jamali H, Gharebaghi R. Afraid of the dark; raising awareness of societies each year during world glaucoma week. *Iran J Public Health* 2015; 44:716-717.
- [3]. Sosa I, Culina K, Bosnar A. Review on hypothetical implementing TGF- β family members in glaucoma therapy. *Med Hypothesis Discov Innov Ophthalmol* 2012; 1:57-62.
- [4]. Foster PJ, Oen FT, Machin D, Ng TP, Devereux JG, Johnson GJ, et al. The prevalence of glaucoma in Chinese residents of Singapore: A cross-sectional population survey of the Tanjong Pagar district. *Arch Ophthalmol* 2000; 118:1105-1111.
- [5]. Razeghinejad MR, Banifatemi M. Ocular biometry in angle closure. *J Ophthalmic Vis Res* 2013; 8:17-24.
- [6]. Thomas R, Parikh R, Muliyl J, Kumar RS. Five-year risk of progression of primary angle closure to primary angle closure glaucoma: A population-based study. *Acta Ophthalmol Scand* 2003;81:480-485.
- [7]. Lee JR, Choi JY, Kim YD, Choi J. Laser peripheral iridotomy with iridoplasty in primary angle closure suspect: Anterior chamber analysis by pentacam. *Korean J Ophthalmol* 2011; 25:252-256.
- [8]. Boey PY, Singhal S, Perera SA, Aung T. Conventional and emerging treatments in the management of acute primary angle closure. *Clin Ophthalmol* 2012; 6:417-424.
- [9]. Ang LP, Higashihara H, Sotozono C, Shanmuganathan VA, Dua H, Tan DT, et al. Argon laser iridotomy-induced bullous keratopathy a growing problem in Japan. *Br J Ophthalmol* 2007 ;91 :1613-1615.
- [10]. Allouch-Nahmias C., Goldschmit P., Borderie V., Touzeau O., Gaujoux T., Laroche L., Goemaere I., Rault J. Anatomie de la cornée. EMC (Elsevier Masson SAS, Paris), Ophtalmologie, 21-003-A-10, 2011.

[11]. Lupasco T. Thèse Etude comparative du programme de différenciation terminale de l'épithélium de la cornée normale et des patients atteints de kératocône Université Toulouse 3-2019

[12] **Jay H. Krachmer and David A. Palay.** Cornea Atlas. EMC (Elsevier Masson SAS, Paris), 3rd edition. 2014; 9781455740604

[13]. Kaufman, P. L., Levin, L. A., Adler, F. H., & Alm 2011

[14]. Mouillon M, Bru MM. Anatomie de l'angle iridocornéen. EMC (Elsevier Masson SAS, Paris), Ophtalmologie, 21-003-C-10, 2000

[15]. R.R Allingham, Shield's book of glaucoma, Lipincott, Williams & Wilkins, 2005

[16]. Alward W., Color Atlas of gonioscopy, 2nd edition, AAO, 2008

[17]. Lachkar Y, Cohn H. Chapitre 9 Méthode d'examen, gonioscopie. Dans : Renard JP, Sellem E. Glaucome chronique à angle ouvert. Rapport SFO. Paris, Elsevier- Masson SAS ; 2014.

[18]. Buller C, Johnson D. Segmental variability of the trabecular meshwork in normal and glaucomatous eyes. Invest Ophthalmol Vis Sci. 1994; 35:3841-3851

[19]. Inomata H, Tawara. An Anterior and posterior parts of human trabecular meshwork. Jpn J Ophthalmol. 1984 ; 28 :339-348

[20]. Toris CB, Yablonski, Wang YL, Camras CB. Aqueous humour dynamics in the aging

[21]. Grant WM. Experimental aqueous perfusion in enucleated eyes. Arch Ophthalmol. 1963; 69:783-801 human eye. Am J Ophthalmol. 1999; 127:407-12

[22]. Inomata H, Billa, Smelser GK. Aqueous humeur pathways trough the trabecular meshwork and into Schlemm's canal in the cynomolgus monkey. Am J Ophthalmol. 1972; 73:760-89

[23]. Armaly MF. Studies on intraocular of the orbital parasympathics. AMA Arch Ophthalmol. 1959; 62:117-24

[24]. Alvarado JA, Yeh RF, Franse-Carman L, Marcellino G, Brownstein MJ. Interactions between endothelia of the trabecular meshwork and of Schlemm's canal: a new insight into the regulation of aqueous outflow in the eye. Trans Am Ophthalmol Soc. 2005; 103:148-62

- [25]. Alvarado JA, Katz LJ, Trivedi S, Shifera AS. Monocyte modulation of aqueous outflow and recruitment to the trabecular meshwork following selective laser trabeculoplasty. *Arch Ophthalmol*. 2010 Jun; 128(6):731-7.
- [26] Achache F. *Glaucome par fermeture de l'angle*. Paris, Elsevier Masson, 2005.
- [27] American Academy of Ophthalmology. *Glaucome*. Paris, ed. Elsevier, 2010.
- [28] Quigley HA, Friedman DS, Congdon NG. Possible mechanisms of primary angle-closure and malignant glaucoma. *J Glaucoma*, 2003.
- [29] American Academy of Ophthalmology. *Glaucome*. Paris, ed. Elsevier, 2010.
- [30] Ravinet E. Iris plateau. *Glaucome*, chapitre 19. Paris, Elsevier Masson, 2005
- [31] Lachkar Y. Glaucomes primitifs par fermeture de l'angle. *Encycl Méd Chir (Editions Scientifiques et Médicales Elsevier SAS, Paris, tous droits réservés), Ophtalmologie*, 21-280-A-10, 2000, 11 p.
- [32] Kataoka T, Zako M, Takeyama M, Ohno-Jinno A, Sugenoja J, Iwaki M. Cooling prevents induction of corneal damage by argon laser peripheral iridotomy. *Jpn J Ophthalmol* 2007;51:317-324.
- [33]. Liang YB, Wang NL, Rong SS, Thomas R. Initial treatment for primary angle-closure glaucoma in China. *J Glaucoma* 2015;24:469-473.
- [34]. Golan S, Levkovitch-Verbin H, Shemesh G, Kurtz S. Anterior chamber bleeding after laser peripheral iridotomy. *JAMA Ophthalmol* 2013;131:626-629.
- [35]. Wang PX, Koh VT, Loon SC. Laser iridotomy and the corneal endothelium: A systemic review. *Acta Ophthalmol* **2014;92:604-616**.
- [36]. Marraffa M, Marchini G, Pagliarusco A, Perfetti S, Toscano A, Brunelli C, et al. Ultrasound biomicroscopy and corneal endothelium in Nd: YAG-laser iridotomy. *Ophthalmic Surg Lasers* 1995;26:519-523.
- [37]. Wu SC, Jeng S, Huang SC, Lin SM. Corneal endothelial damage after neodymium: YAG laser iridotomy. *Ophthalmic Surg Lasers* 2000;31:411-416.

- [38]. Canning CR, Capon MR, Sherrard ES, Kerr Muir MG, Pearson R, Cooling RJ. Neodymium: YAG laser iridotomies – Short-term comparison with capsulotomies and long-term follow-up. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol 1988;226:49-54.
- [39]. Kumar RS, Baskaran M, Friedman DS, Xu Y, Wong HT, Lavanya Ret al. Effect of prophylactic laser iridotomy on corneal endothelial cell density over 3 years in primary angle closure suspects. Br J Ophthalmol 2013;97:258-261.
- [40]. Panek WC, Lee DA, Christensen RE. The effects of Nd: YAG laser iridotomy on the corneal endothelium. Am J Ophthalmol 1991;111:505-507.
- [41]. Schwenn O, Sell F, Pfeiffer N, Grehn F. Prophylactic Nd: YAG-laser iridotomy versus surgical iridectomy: a randomized, prospective study. Ger J Ophthalmol 1995;4:374-379.
- [42]. Ramani KK, Mani B, George RJ, Lingam V. Follow-up of primary angle closure suspects after laser peripheral iridotomy using ultrasound biomicroscopy and A-scan biometry for a period of 2 years. J Glaucoma 2009;18:521-527.
- [44]. Faramarzi A, Yazdani S, Pakravan M. Central anterior chamber depth changes after prophylactic laser iridotomy. Optom Vis Sci 2013;90:707-710.
- [45]. Source : <https://orlandoeyeinstitute.com/storage/app/media/cornealayers-2.jpg>
- [46]. D'après Alward W., Color Atlas of gonioscopy, Mosby 1994.
- [47]. D'après F.Aptel, Glaucome primitif à angle ouvert, chapitre 7, Rapport SFO Voie trabéculocanaliculaire.
- [48] Sellem E. Le glaucome, de la clinique au traitement. Paris, Med'Com, 2008.
- [49] Laser de l'angle, iridotomie périphérique - Institut du glaucome Nantes (institutglaucomenantes.fr)