



PAR LE DOCTEUR JEAN-PIERRE LAGACÉ
OPTOMÉTRISTE, M.Sc.

ARTICLE 1

.....

Médication soutenue, MIGS, MIBS et implants • Partie III

Pontage du réseau trabéculaire par excision tissulaire

A. Goniotomie à la lame double Kahook Dual Blade (KDB)

La lame double Kahook (New World Medical, Rancho Cucamonga, CA) est une lame de goniotomie spécialisée qui a été introduite aux États-Unis en 2015. Elle a été conçue pour améliorer l'excision du réseau trabéculaire lors de la goniotomie. Il s'agit d'une lame jetable à usage unique dotée d'une pointe acérée qui sert à percer le réseau trabéculaire, d'une rampe qui étire le réseau trabéculaire et de deux lames parallèles qui créent des incisions parallèles jumelées dans le réseau trabéculaire. Cette conception permet une excision complète du réseau trabéculaire et réduit le potentiel de cicatrisation des feuillets de tissu résiduels. La technique chirurgicale implique une approche *ab interno* par des incisions cornéennes claires avec visualisation de l'angle par gonioscopie directe et une approche perpendiculaire du réseau trabéculaire (RT). Le traitement dure de trois à cinq heures.

La deuxième génération de KDB GLIDE est disponible depuis octobre 2020. Bien que la conception de la double lame parallèle et de la rampe reste la même, les nouvelles caractéristiques comprennent un talon arrondi, des côtés effilés et une plaque de pied plus petite. Ces changements améliorent la facilité d'utilisation et optimisent l'ajustement dans le canal.

La goniotomie à la lame double de Kahook peut être pratiquée chez les patients atteints de glaucome à angle ouvert, d'hypertension oculaire et chez certains patients atteints de glaucome par fermeture de l'angle. La goniotomie KDB peut être pratiquée soit au moment de la chirurgie de la cataracte, soit en tant que procédure autonome chez les patients phiques, aphaques ou pseudophiques.

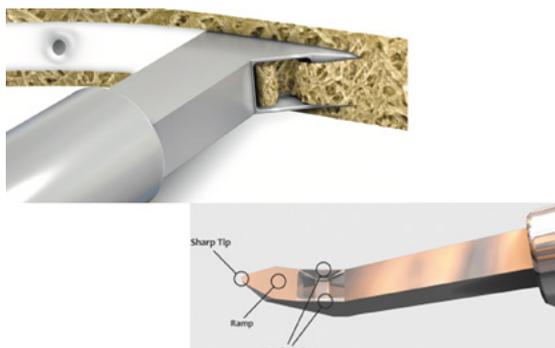


Plusieurs études ont démontré l'efficacité clinique de la goniectomie à la lame double de Kahook pour la réduction de la PIO chez les patients atteints de glaucome. L'une de ces études, réalisée par Greenwood *et al.*, s'est penchée sur les résultats à un an de la KDB par rapport à la phacoémulsification. L'étude a porté sur 71 yeux d'une population mixte de patients atteints de glaucome léger à sévère de différents types, y compris le glaucome primaire à angle ouvert, le glaucome pigmentaire, la pseudoexfoliation, le glaucome à tension normale et le glaucome par fermeture de l'angle. Les critères de jugement primaires étaient la réduction de la PIO et la proportion de patients ayant obtenu une réduction de la PIO de plus de 20% par rapport à la valeur initiale. Les critères de jugement secondaires comprenaient la réduction du nombre de collyres hypotenseurs⁹¹.

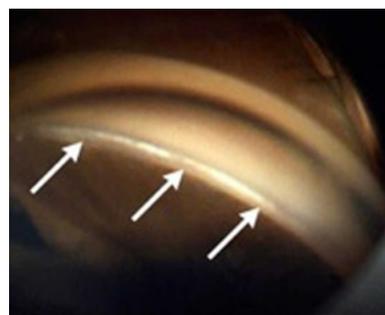
Après 6 mois, la PIO moyenne a diminué de $17,4 \pm 5,2$ mm Hg à $12,8 \pm 2,6$ mm Hg, et 58,3% des patients avaient une réduction de la PIO de $\geq 20\%$ par rapport à la ligne de base. Le nombre de gouttes oculaires hypotenseurs a diminué de $1,6 \pm 1,3$ à $0,9 \pm 1,0$ goutte oculaire⁹². Une autre étude a porté sur 52 yeux de patients atteints de glaucome à angle ouvert et de cataractes visuellement significatives qui ont subi une phacoémulsification avec goniectomie KDB. Les mesures des résultats étaient la réduction moyenne de la PIO, la proportion de patients avec une réduction $\geq 20\%$ de la PIO et la réduction du nombre de gouttes ophtalmiques réduisant la PIO.

Un an après l'opération, les yeux ayant subi une phacoémulsification avec goniectomie KDB ont connu une réduction significative de la PIO moyenne de $16,8 \pm 0,6$ mm Hg au départ à $12,4 \pm 0,3$ mm Hg, 57,7% des yeux ont connu une réduction de 20% de la PIO et le nombre de médicaments a diminué de $1,6 \pm 0,2$ à $0,8 \pm 0,1$ collyre⁹³. Une autre étude a évalué les résultats à 12 mois de la phaco-KDB par rapport à la KDB seule. Le succès a été défini comme une réduction $\geq 20\%$ de la PIO et/ou une réduction d'au moins un médicament contre le glaucome. La phaco-KDB a eu un taux de réussite de 71,8% et la KDB seule de 68,8%⁹⁴.

La goniectomie à lame double de Kahook est le plus souvent pratiquée sous anesthésie topique. Chez les enfants ou les adultes moins coopératifs, elle peut être pratiquée sous anesthésie générale. Pour les patients nécessitant une anesthésie générale, il est important de rappeler à l'équipe d'anesthésie que la rotation de la tête du patient sera nécessaire avant d'effectuer ces manœuvres. La pilocarpine préopératoire et/ou les agents miotiques intracaméraux peuvent être utilisés chez les patients subissant l'intervention sans phacoémulsification pour faciliter la visualisation de l'angle, mais ce n'est pas nécessaire⁹⁵.



Une paracentèse cornéenne est d'abord créée, puis la chambre antérieure et l'angle sont approfondis avec du viscoélastique. De la lidocaïne non conservée peut être instillée par voie intracaméculaire avant le viscoélastique pour renforcer l'anesthésie. Une incision temporale de la cornée claire d'au moins 1,5 mm est ensuite pratiquée. Du viscoélastique est ajouté si nécessaire pour approfondir l'angle nasal. Il faut veiller à ne pas trop gonfler l'œil, car cela peut entraîner un affaissement et une difficulté à pénétrer dans le canal. De même, un sous-gonflage de la chambre antérieure peut entraîner des stries cornéennes à la gonioscopie. Ensuite, la tête du patient est inclinée d'environ 30 à 45 degrés par rapport au chirurgien et le microscope est incliné de 45 degrés vers le chirurgien.



Du viscoélastique est placé sur la face inférieure d'un gonioprisme direct et le dispositif est inséré par l'incision cornéenne sur le côté avec la main dominante du chirurgien tandis que le gonioprisme est placé sur la surface oculaire avec la main non dominante de façon à ce que le trabé-

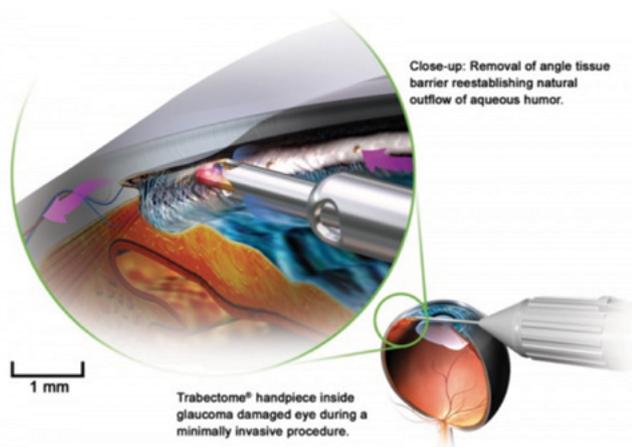
culum nasal soit en vue directe. Si les structures anatomiques sont difficiles à identifier, du bleu trypan peut être utilisé pour colorer le trabéculum, ou la PIO peut être abaissée temporairement pour produire un reflux sanguin dans le CS. La pointe acérée de la lame est insérée à travers le RT et dans le CS. Une fois le RT percé, le talon du dispositif est placé contre la paroi du CS et avancé dans le sens des aiguilles d'une montre ou dans le sens inverse jusqu'à 3 à 5 heures environ, selon la préférence du chirurgien. Au fur et à mesure que le dispositif est avancé, la rampe étire doucement le RT tandis que les doubles lames créent des incisions parallèles pour générer une bande de RT^{91, 97}.

En présence d'une large bande trabéculaire, celle-ci peut être retirée à l'aide d'une pince intraoculaire. Les petites bandes et/ou les bandes périphériques peuvent toutefois être laissées en place. Le viscoélastique est ensuite irrigué de la chambre antérieure et une solution intraoculaire de carbachol peut être injectée par voie intracaméculaire pour produire un myosis pupillaire. Toutes les plaies sont hydratées et vérifiées pour assurer une fermeture étanche et un nylon 10-0 est placé dans la plaie principale si nécessaire. Il est recommandé de maintenir une PIO légèrement élevée, de l'ordre de 20 à 25 mm Hg, à la fin de l'intervention afin d'éviter un nouveau reflux sanguin, bien que cela dépende du patient et du chirurgien.

Lorsqu'elle est pratiquée en même temps que la chirurgie de la cataracte, la goniectomie peut être effectuée avant ou après la phacoémulsification, selon les préférences du chirurgien, car une étude n'a montré aucune différence dans la visualisation évaluée par les chirurgiens, que l'intervention soit effectuée avant ou après la phacoémulsification. Lors de l'enquête, 98% des chirurgiens ont reconnu que l'utilisation de la lame était simple et 98 à 99% ont reconnu que l'avancement de la lame dans le CS était efficace⁹⁸.

B. Trabectome

Le Trabectome est un système chirurgical développé par NeoMedix (Tustin, CA). Il a été approuvé par la FDA en 2004 et est utilisé pour réaliser une trabéculotomie *ab interno*. Le système fonctionne en retirant une bande du réseau trabéculaire et la paroi interne du canal de Schlemm afin de créer un chemin pour le drainage de l'humeur aqueuse⁹⁹⁻¹⁰¹. Le dispositif consiste en une pièce à main jetable à usage unique qui effectue l'électrocautérisation, l'irrigation et l'aspiration. Il est relié à un générateur d'une fréquence de 550 kHz qui permet des réglages par incréments de 0,1 watt et est commandé par une pédale à trois niveaux qui déclenche l'irrigation, l'aspiration et l'électrocautérisation dans l'ordre. L'irrigation et l'aspiration continues permettent d'éliminer les débris et de réguler la température. En outre, l'extrémité du Trabectome est pliée à un angle de 90° pour créer une plaque triangulaire protectrice et faciliter l'insertion dans le canal de Schlemm; elle est recouverte d'un revêtement pour faciliter le mouvement à l'intérieur du canal. L'ablation peut être appliquée sur 60°-120° du réseau trabéculaire pour permettre le rétablissement de la voie de drainage.



Le dispositif Trabectome a été inventé par George Baerveldt, de l'Université de Californie à Irvine, et Roy S. Chuck, du Montefiore Medical Center, le brevet associé ayant été déposé en 2002¹⁰². Le dispositif commercial est fabriqué par NeoMedix Corporation (Tustin, CA) et est commercialisé pour la « gestion microchirurgicale du glaucome de l'adulte et de l'enfant ». Le dispositif a été homologué par la Food and Drug Administration (FDA) des États-Unis en avril 2004. Les premiers cas ont été réalisés au Mexique et les premières procédures aux États-Unis ont eu lieu en janvier 2006 pour le traitement du glaucome à angle ouvert¹⁰³.

L'instrument Trabectome utilise une électrode bipolaire de 550 kHz, à puissance réglable, pour ablater le RT¹⁰⁴⁻⁶. Contrairement à la cautérisation, le plasma généré ici a un cône de dissipation de chaleur très confiné avec un transfert thermique minimal vers la paroi externe (environ 1,2 C). Le dispositif est équipé d'une plaque de base qui aide à guider la pointe électrochirurgicale et à protéger les tissus adjacents. Une perfusion constante permet de maintenir la chambre et les débris tissulaires sont éliminés par aspiration à travers la tige du dispositif¹⁰⁴.

Avec plus de 50 000 cas documentés au cours de la décennie qui a suivi l'approbation initiale de la FDA, l'utilisation du Trabectome a été plus largement acceptée et ses indications se sont élargies pour inclure le Trabectome après une trabéculotomie ratée¹⁰⁵ et dans les angles étroits¹⁰⁶. Le reste de cet article traite des indications de la procédure, des contre-indications, de la technique chirurgicale, des résultats et des complications potentielles.

Le Trabectome est indiqué pour les patients souffrant de divers types de glaucome à angle ouvert, d'hypertension oculaire et peut être utilisé chez certains patients souffrant de glaucome par fermeture de l'angle. Le Trabectome peut être réalisé en conjonction avec une opération de la cataracte ou en tant que procédure autonome. Il peut être pratiqué sur des patients phiques, pseudophiques ou aphaques.

Maeda *et al.*¹⁰⁰ ont évalué les résultats du Trabectome autonome sur 80 yeux de 69 patients avec ou sans chirurgie intraoculaire ou laser préalable. Une PIO préopératoire moyenne de 26,6 ± 8,1 mm Hg a été réduite à une moyenne de 17,4 ± 3,4 mm Hg six mois après l'opération. Le nombre moyen de médicaments a également diminué, passant de 4,0 ± 1,4 à 2,3 ± 1,2 gouttes à 6 mois. L'étude n'a fait état d'aucune complication grave, notamment d'épanchement choroïdien, d'hémorragie choroïdienne ou d'infection. Treize yeux ont nécessité des interventions chirurgicales ultérieures en raison d'une PIO non contrôlée, 10 patients ayant subi une trabéculotomie et 3 patients ayant subi un nouveau Trabectome¹⁰⁰. Dans une étude achevée en 2008 et portant sur 304 yeux de patients atteints de glaucome à angle ouvert, des résultats similaires ont été obtenus en combinant phacoémulsification et Trabectome⁹¹. La PIO moyenne est passée de 20,0 ± 6,3 mm Hg à 15,5 ± 2,9 mm Hg un an après l'opération et le nombre moyen de médicaments topiques a été réduit de 2,65 ± 1,13 à 1,44 ± 1,29 gouttes. Les complications comprenaient une lésion de l'iris chez 4 patients et un pic de PIO chez 26 patients.

C. TRAB 360/OMNI/Visco 360/OMNI

Le système chirurgical OMNI® est une technologie de nouvelle génération qui combine les fonctions distinctes de ses deux dispositifs prédécesseurs TRAB® 360 pour la trabéculotomie et VISCO360® pour l'administration transluminale de viscoélastique en un seul dispositif de sorte que les trois sources de résistance dans la voie d'écoulement conventionnelle (réseau trabéculaire, canal de Schlemm et canaux collecteurs) peuvent être ciblées avec un seul dispositif et une seule intervention chirurgicale.

Le système OMNI (Sight Sciences, Menlo Park, Californie) est une pièce à main à usage unique qui permet au chirurgien d'effectuer une trabéculotomie au moyen d'une incision cornéenne claire. L'extrémité de la pièce à main est utilisée pour percer le réseau trabéculaire et le microcathéter est avancé à partir de l'extrémité du dispositif et enfilé à travers 180 degrés du canal de Schlemm. Le microcathéter étant toujours dans le canal de Schlemm, le dispositif est rétracté de l'œil en déchirant le microcathéter à travers le réseau trabéculaire sur 180 degrés. Le dispositif est ensuite tourné et réinséré et la procédure est répétée pour les 180 degrés restants de l'angle afin de réaliser un traitement complet de 360 degrés.

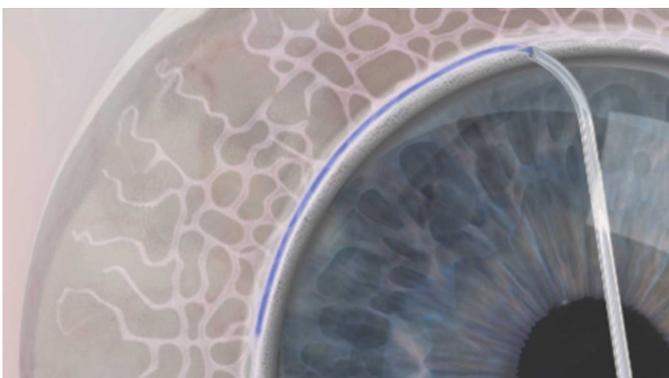
Cette intervention peut être pratiquée sur des patients adultes ou pédiatriques atteints de glaucome à angle ouvert et dont la cornée est claire. Les patients peuvent être phiques, pseudophiques ou aphaques. Cette opération peut être réalisée seule ou en conjonction avec une opération de la cataracte.

Cette approche *ab interno* est utilisée pour canuler et viscodilater le canal de Schlemm en utilisant le même type de microcathéter que pour une procédure de canaloplastie standard, mais sans laisser la suture au Prolene à l'intérieur du canal. Outre la baisse de la PIO, un autre avantage de la canaloplastie *ab interno* est qu'elle laisse la conjonctive intacte et prête pour d'autres interventions chirurgicales, y compris les procédures MIGS¹⁰⁷.

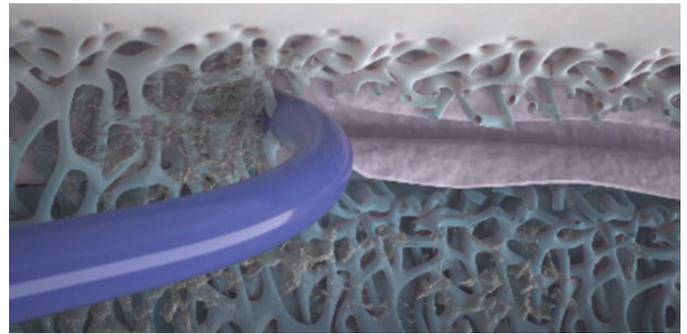
Le dispositif OMNI est facilement inséré dans la chambre antérieure, par une incision cornéenne claire de 1 mm (Figure 1), avec un embout de canule courbé rempli d'un OVD de haut poids moléculaire tel que Healon GV (Johnson & Johnson Vision) ou similaire. Une lentille gonio avec ou sans poignée est placée sur la cornée pour permettre une visualisation correcte de l'angle. L'extrémité de la canule est ensuite déplacée à travers la pupille, vers l'angle iridocornéen, et l'extrémité de la canule est pressée contre le réseau trabéculaire (RT) pour créer une petite ouverture dans le canal de Schlemm. Le microcathéter est ensuite inséré en tournant la petite roue située sur la poignée du dispositif (Figure 2). Une fois le microcathéter rétracté, l'OVD est injecté en quantité constante et mesurée pour dilater le canal de Schlemm et traiter les éventuelles hernies ou blocages des canaux collecteurs distaux¹⁰⁷.



Le dispositif injecte une substance viscoélastique.



Viscodilatation du canal de Schlemm



Trabéculotomie à la suite de la viscodilatation.



La nouvelle série Ergo optimise l'ergonomie et la facilité d'utilisation chirurgicale tout en permettant aux chirurgiens d'effectuer des procédures de glaucome peu invasives et sans implant¹⁰⁸.

Une étude de Sarkisian *et al.* a évalué l'innocuité et l'efficacité de TRAB360 chez des patients atteints de glaucome primaire à angle ouvert réfractaire. Quarante-vingt-un yeux de 57 patients atteints de divers types de glaucome (fermeture de l'angle, congénital, inflammatoire, néovasculaire, induit par les stéroïdes et à angle ouvert) ont subi l'intervention TRAB360 en tant que procédure autonome. Les mesures des résultats comprenaient la réduction de la PIO après l'opération, la proportion d'yeux atteignant une réduction $\geq 20\%$ de la PIO à 12 mois et le nombre de gouttes ophtalmiques nécessaires pour abaisser la PIO. Un an après l'opération, seuls 41 yeux (51%) étaient disponibles pour l'analyse. La réduction moyenne de la PIO était de $7,3 \pm 6,7$ mm Hg et 59% des yeux ont connu une réduction $\geq 20\%$ de la PIO. Le nombre de médicaments pour réduire la PIO a diminué de $1,7 \pm 1,3$ goutte oculaire avant l'opération à $1,1 \pm 1,0$ goutte oculaire à 12 mois. En outre, 37% des yeux n'ont pas eu besoin de médicaments pour abaisser la PIO à 1 an¹⁰⁹.

Trabéculotomie autonome et viscodilatation du canal de Schlemm et des canaux collecteurs dans le glaucome à angle ouvert à l'aide du système chirurgical OMNI : résultats à 24 mois

Objectif : Pression intraoculaire (PIO), résultats de la médication à 24 mois après trabéculotomie/viscodilatation à l'aide du système chirurgical OMNI® en tant que procédure autonome dans le glaucome à angle ouvert (GAO) léger à modéré non contrôlé médicalement¹¹⁰.

Cadre de l'étude : Centre chirurgical (Düsseldorf, Allemagne).

Conception: Analyse rétrospective. Les données relatives à la PIO et aux médicaments ont été recueillies avant l'opération et pendant 24 mois. Les données de sécurité comprenaient les événements indésirables et la nécessité d'une intervention chirurgicale supplémentaire.

Méthodes: Élimination des médicaments avant l'opération. Tonométrie de Goldmann. Nombre de médicaments et d'événements indésirables à chaque point dans le temps.

Résultats primaires: Changements dans la PIO et les médicaments. Des tests t bilatéraux par paires comparent les valeurs à chaque suivi avec la ligne de base, signification $p = 0,05$. Résultats secondaires: proportion d'yeux avec une réduction de la PIO de $\geq 20\%$, avec moins de médicaments et sans médicaments à chaque point dans le temps.

Résultats: Cette analyse a porté sur les données de 38 yeux de 27 sujets. La PIO initiale moyenne (écart-type) était de 24,6 (3,0) mm Hg et, après 24 mois, elle variait de 12,6 à 14,9 mm Hg ($p < 0,0001$), ce qui représente des réductions de 10,0 à 12,0 mm Hg. La moyenne des médicaments était de 1,9 (au départ) et, au cours des 24 mois, elle a varié de 0,0 à 0,5 (réduction de 70,6 à 100 %) ($p < 0,0001$). Au 24^e mois, la PIO moyenne était de 14,9 mm Hg (-10,0 mm Hg), et 100% des yeux avaient obtenu une réduction de la PIO de $> 20\%$ par rapport à la valeur initiale; la consommation moyenne de médicaments était de 0,5 (-1,4 médicaments, $p < 0,0001$), 84,6% des yeux utilisaient > 1 médicament de moins, et 57,7% n'utilisaient aucun médicament. L'événement indésirable le plus fréquent était l'hyphème peropératoire (44,7%), qui s'est résolu spontanément. Il y a eu deux procédures secondaires pour le contrôle de la PIO.

Conclusion: Le système chirurgical OMNI permet des réductions cliniquement pertinentes et statistiquement significatives de la PIO et des médicaments avec un excellent profil de sécurité et devrait être envisagé dans les yeux phatiques ou pseudophaques avec un GAO léger à modéré nécessitant une réduction de la PIO ou des médicaments, ou les deux.

Amélioration de l'écoulement aqueux par le canal de Schlemm

A. Visco 360/OMNI

Nous en avons parlé dans la rubrique précédente.

B. Canaloplastie *Ab interno* (ABiC)

L'ABiC offre une approche complète de la chirurgie micro-invasive du glaucome (MIGS) grâce à l'accès, la cathétérisation et la viscodilatation de tous les aspects de la résistance à l'écoulement, le réseau trabéculaire, le canal de Schlemm et le système d'écoulement distal, en commençant par les canaux collecteurs. L'ABiC est un moyen innovant d'utiliser une technique et une technologie éprouvées plus tôt dans le processus de la maladie, et la procédure peut être réalisée pendant la chirurgie de la cataracte ainsi que sur des patients pseudophaques¹¹¹.

Les premiers cas ont confirmé que la procédure offrait une efficacité de réduction de la PIO équivalente à celle de la chirurgie filtrante traditionnelle, mais sans les complications liées aux bulles qui empêchent les chirurgiens du glaucome de dormir la nuit¹¹².

De nombreuses études cliniques évaluées par des pairs ont depuis confirmé que la canaloplastie est aussi efficace que la trabéculéctomie pour réduire la PIO et la dépendance des patients à l'égard des médicaments, mais avec un profil de sécurité bien meilleur¹¹³⁻¹¹⁸.

En tant que chirurgien, je pense que l'excellence n'est pas une destination, mais un voyage. Pour moi, la dernière avancée est la canaloplastie *ab interno* (ABiC), un raffinement subtil, mais significatif de la canaloplastie *ab externo* traditionnelle qui peut abaisser la PIO de manière similaire chez les patients atteints de glaucome primaire à angle ouvert (GPAO) léger à modéré.

L'ABiC offre une approche complète de la chirurgie micro-invasive du glaucome (MIGS) grâce à l'accès, la cathétérisation et la viscodilatation de tous les aspects de la résistance à l'écoulement, le réseau trabéculaire, le canal de Schlemm et le système d'écoulement distal, en commençant par les canaux collecteurs. L'ABiC est un moyen innovant d'utiliser une technique et une technologie éprouvées plus tôt dans le processus de la maladie, et la procédure peut être réalisée pendant la chirurgie de la cataracte ainsi que sur des patients pseudophaques.

La principale différence entre l'ABiC et la canaloplastie traditionnelle est que, dans le premier cas, aucune suture de tension n'est nécessaire pour maintenir la réduction de la PIO. Bien que certains chirurgiens, dont moi-même, aient noté de manière anecdotique que l'absence de suture de tension ne compromettait pas la réduction de la PIO chez certains patients après des procédures de canaloplastie traditionnelle, des preuves plus solides ont été apportées par une étude des données à 3 ans de Lewis *et al.* qui a indiqué que la viscodilatation à 360° seule (c'est-à-dire la canaloplastie sans suture) réduisait avec succès la PIO¹¹³⁻². La mise en correspondance des résultats de la viscodilatation avec la tension de la suture a également montré que la viscodilatation était le moteur de la réduction de la PIO plus que la tension de la suture.

Avec l'ABiC, l'algorithme de traitement chirurgical du glaucome s'est élargi. Les chirurgiens peuvent désormais intervenir plus tôt dans le glaucome qu'avec les procédures de filtrage conventionnelles, et les médecins et les patients bénéficient en outre d'un suivi postopératoire simplifié et d'une réduction des effets secondaires et des complications par rapport à la trabéculéctomie.

Étant donné que l'ABiC est recommandée à un stade précoce de la maladie, l'indication principale est pour les patients atteints de glaucome léger à modéré qui suivent un traitement médical. La procédure peut également être considérée comme un traitement de première intention, et c'est une option pour les patients qui ont subi une trabéculoplastie au laser et ceux pour qui l'adhésion au traitement médical du glaucome est problématique. Les patients atteints de glaucome exfoliatif et ceux chez qui la chirurgie du glaucome dans l'autre œil a échoué peuvent également être pris en considération pour l'ABiC. Les critères d'exclusion sont similaires à ceux de la canaloplastie traditionnelle, et l'ABiC ne doit pas être pratiquée sur des patients atteints de glaucome néovasculaire ou de glaucome chronique à angle fermé.

L'ABiC est le plus souvent réalisée en association avec la phacoémulsification. Elle n'est cependant pas limitée à une procédure combinée, mais peut être réalisée seule. En outre, l'ABiC préserve le tissu conjonctival en vue d'interventions ultérieures, le cas échéant.

L'expérience clinique de l'ABiC est conforme aux conclusions de Lewis *et al.* Pour ce qui est de la sécurité et de l'efficacité de la procédure¹³. Sur 106 patients traités dans une série de cas récente, il y a eu une diminution moyenne totale de la PIO de 35% et des médicaments contre le glaucome de 100% 6 mois après l'opération par rapport à la ligne de base (M.A.K., données non publiées, 2014-2015). La valeur initiale médiane maximale de la PIO enregistrée pour 106 patients était de 21 mm Hg (\pm 5,4 écart-type [ET] sous 2 médicaments \pm 1 ET); à 1 mois, 100 patients ont enregistré une PIO médiane de 16 mm Hg (\pm 5,2 ET sous aucun médicament \pm 0,6 SD); à 3 mois, 48 patients avaient une PIO médiane maximale enregistrée de 15 mm Hg (\pm 4,5 SD sur aucun médicament \pm 1 SD); et à 6 mois, 20 patients avaient une PIO médiane maximale de 14,5 mm Hg (\pm 2,7 SD sur aucun médicament \pm 1 SD).

Pour les patients ayant subi une phacoémulsification et une ABiC combinées, la diminution moyenne totale de la PIO était de 38,4% à 6 mois. Pour les patients qui n'utilisaient pas de médicaments contre le glaucome avant l'opération, la diminution moyenne totale de la PIO a été de 36,4% après 6 mois. Pour les patients qui n'avaient pas subi de chirurgie du glaucome auparavant, la diminution moyenne totale de la PIO était de 38,1% et de 100% des médicaments à 6 mois. La diminution totale à 6 mois était de 33,3% pour ceux qui avaient déjà subi une chirurgie du glaucome.

Bien qu'un suivi plus long soit clairement nécessaire pour confirmer ces premiers résultats, je suis convaincu que l'ABiC s'appuiera sur la réputation éprouvée de la canaloplastie en tant que procédure peu invasive et maximale efficace pour traiter le GPAO léger à modéré.

.....

Plus récemment, les approches *ab interno* du canal de Schlemm qui épargnent les incisions conjonctivales et sclérales ont gagné en popularité, y compris de nombreuses chirurgies micro-invasives du glaucome (MIGS).

.....

La technique *ab interno* implique la création d'au moins deux incisions cornéennes claires et la création d'une goniotomie limitée. Après la création de la goniotomie, le cathéter iTrack (Nova Eye Medical Limited, Adélaïde, Australie) est enfilé à travers le site de goniotomie jusqu'à 360 degrés *ab interno*. Le chirurgien peut visualiser l'extrémité illuminée pendant l'enfilage pour s'assurer que le dispositif est placé avec précision dans le canal de Schlemm. Après l'enfilage, le chirurgien retire lentement le segment externe du cathéter afin de «sortir» du canal de Schlemm pendant que l'assistant chirurgical injecte du viscoélastique à travers l'extrémité du cathéter afin de dilater et de distendre le canal de Schlemm et les orifices du canal collecteur¹⁸.

L'ABiC est réalisée à l'aide du système de microcathéter iTrack (EllexiScience, Fremont, CA), un microcathéter de 250 microns doté d'une fibre optique permettant de visualiser le cathéter lorsqu'il se trouve dans le canal de Schlemm. Après avoir pratiqué une goniotomie nasale, on avance le cathéter de 360 degrés dans le canal de Schlemm, puis on le retire lentement tout en effectuant une viscodilatation du canal et du système d'écoulement distal. Cette approche permet d'améliorer le système d'écoulement naturel sans destruction des tissus. En outre, on pense qu'elle diminue la hernie de la paroi interne du canal de Schlemm dans les canaux collecteurs distaux afin d'améliorer l'écoulement.

L'ABiC peut être pratiquée en conjonction avec l'extraction de la cataracte ou en tant que procédure autonome. Elle est indiquée pour le traitement du glaucome léger-modéré ainsi que pour le traitement du glaucome plus avancé et réfractaire.

Gallardo *et al.* ont évalué l'efficacité de l'ABiC dans le cadre d'une étude de 12 mois sur un seul site. 75 yeux de 68 patients atteints de GPAO ont subi une ABiC: 41 yeux ont subi une ABiC autonome et 34 yeux ont subi une ABiC/phacoémulsification combinée. La PIO préopératoire moyenne dans les deux groupes était de 20,4 \pm 4,7 mm Hg et a diminué à 13,3 \pm 1,9 mm Hg 12 mois après l'opération. Il n'y avait pas de différence significative entre la réduction de la PIO dans les yeux ayant subi une ABiC autonome et dans les yeux ayant subi une ABiC/phacoémulsification combinée. La réduction moyenne de la PIO 12 mois après l'opération était de 32,3% dans les deux groupes; 32,8% dans le groupe ABiC autonome et 31,7% dans le groupe ABiC/phacoémulsification. 84,9% des yeux ont connu une réduction de la PIO de plus de 20% par rapport à la valeur initiale. En outre, le nombre moyen de gouttes pour abaisser la PIO est passé de 2,8 \pm 0,9 gouttes à 1,1 \pm 1,1 goutte, ce qui représente une réduction de 60,0% en moyenne. Un an après l'opération, 40% des yeux n'avaient plus besoin de gouttes pour réduire la PIO¹⁹.

Efficacité à 36 mois de la canaloplastie *Ab interno* seule ou associée à une chirurgie de la cataracte pour le traitement du glaucome à angle ouvert

Objectif: Rendre compte de l'efficacité à 36 mois de la canaloplastie *ab interno* réalisée avec le microcathéter iTrack (Nova Eye Medical) en tant que procédure autonome ou combinée à une chirurgie de la cataracte²⁰.

Conception: Série de cas rétrospectifs d'un seul centre.

Participants: Yeux diagnostiqués avec un glaucome primaire à angle ouvert (GPAO).

Méthodes: Les yeux atteints de GPAO ont été traités soit par canaloplastie *ab interno* en tant que procédure autonome (iTrack seul), soit en conjonction avec une phacoémulsification (iTrack+phaco).

Principaux résultats: Les principaux résultats étaient les réductions moyennes de la pression intraoculaire (PIO) et le nombre de médicaments contre le glaucome à 12, 24 et 36 mois après l'intervention. Les critères d'évaluation secondaires étaient l'acuité visuelle et le taux de complications.

Quarante-quatre yeux de 44 patients atteints de glaucome à angle ouvert ont été inclus : 23 yeux dans le groupe iTrack seul et 21 yeux dans le groupe iTrack+phaco. Lorsque les deux groupes ont été analysés ensemble, les PIO et le nombre de médicaments ont été réduits de manière significative à 12 mois ($P < 0,0001$) et sont restés stables à 24 et 36 mois. Les PIO sont passées de $20,5 \pm 5,1$ mm Hg en préopératoire à $13,3 \pm 2,1$, $13,1 \pm 2,4$ et $13,3 \pm 2,1$ mm Hg à 12, 24 et 36 mois, respectivement; le nombre de médicaments est passé de $2,8 \pm 0,9$ en préopératoire à $1,1 \pm 1,1$, $1,0 \pm 1,1$ et $1,3 \pm 1,3$ à 12, 24 et 36 mois après l'opération, respectivement. Des résultats comparables de PIO ont été observés dans les groupes iTrack seul et iTrack+phaco, des valeurs de base $20,9 \pm 6,1$ et $20,0 \pm 3,9$ mm Hg, respectivement, à $13,2 \pm 2,1$ et $13,5 \pm 2,2$ mm Hg à 36 mois, respectivement. À 36 mois, 95,5% des yeux avaient une PIO ≤ 17 mm Hg et 68,2% des yeux prenaient ≤ 1 médicament. Aucune complication peropératoire ou postopératoire grave n'a été rapportée.

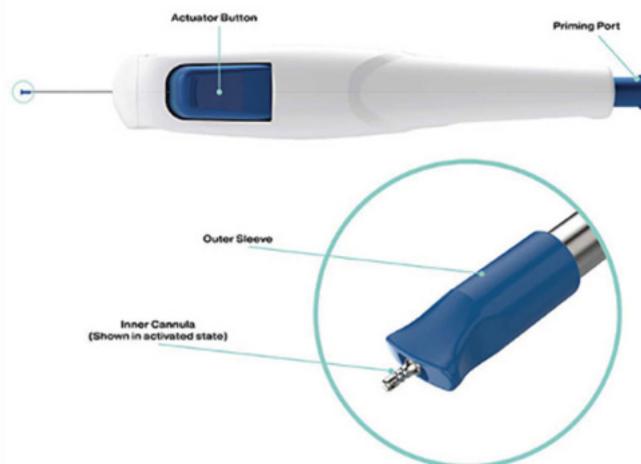
Conclusions : La canaloplastie *ab interno* réalisée avec le microcathéter iTrack s'est avérée efficace pour réduire la PIO et la dépendance aux médicaments. Des résultats comparables ont été observés lorsqu'elle est utilisée comme procédure autonome ou lorsqu'elle est combinée à une chirurgie de la cataracte.

C. STREAMLINE Surgical System

Le système chirurgical Streamline est un dispositif à usage unique conçu pour créer des goniotomies titrables et des canaloplasties localisées en une seule étape unifiée. Son utilisation a été approuvée par la Food and Drug Administration des États-Unis en octobre 2021 pour traiter les patients souffrant d'hypertension oculaire ou de glaucome à angle ouvert. Le dispositif offre aux chirurgiens une grande polyvalence, car il peut être utilisé chez les patients phaqes ou pseudophaques, et en combinaison avec la chirurgie de la cataracte ou en tant que traitement indépendant. La pièce à main du système Streamline contient une canule en acier inoxydable, logée dans un manchon extérieur en polymère, tous deux situés en aval d'un réservoir de dispositif de viscosité ophtalmique (OVD). La partie supérieure de la pièce à main contient un bouton d'actionnement qui, lorsqu'il est enfoncé, rétracte le manchon extérieur. Cela permet d'exposer la canule interne tout en réalisant une injection bidirectionnelle d'OVD par ses deux orifices latéraux¹²¹.



Système chirurgical Streamline de New World Medical¹²¹.



Deux orifices latéraux dans la canule interne de Streamline facilitent l'administration d'un agent viscoélastique dans le canal de Schlemm après une goniotomie avec le dispositif¹²².

En peropératoire, le dispositif est utilisé sous visualisation directe avec l'aide d'une lentille gonioscopique. Le manchon extérieur est aplani contre le réseau trabéculaire (RT) et le bouton d'actionnement est enfoncé, ce qui permet à la canule de coupe de créer une goniotomie de 150 μ m tout en injectant environ 7 μ l d'OVD de manière bidirectionnelle dans le canal de Schlemm. Le bouton d'actionnement est ensuite relâché et la pièce à main rétractée, de sorte que le dispositif peut être déplacé vers une zone adjacente non traitée du RT, où la procédure peut être répétée. Le dispositif contient suffisamment d'OVD pour effectuer 8 applications, injectant un total de 56 μ l d'OVD dans le canal de Schlemm sur plusieurs degrés de l'angle. Pour tirer la taille de la goniotomie formée par la ponction initiale dans le RT, le bouton de l'actionneur est maintenu enfoncé pour garder le manchon extérieur rétracté, et la canule est avancée de chaque côté dans une capacité de coupe le long du RT, avec pour objectif d'atteindre plus de 90° ou 3 heures d'horloge de goniotomie.

Avant l'insertion dans l'œil, le dispositif Streamline doit être amorcé juste à l'extérieur de l'incision cornéenne en appuyant sur le bouton de l'actionneur pour injecter l'OVD à travers la canule et débarrasser le manchon de toutes les bulles d'air retenues. Cette opération peut également être effectuée à l'intérieur de l'œil, juste à l'intérieur de la plaie, de part et d'autre de la vue. Le chirurgien doit également s'assurer d'avoir une prise confortable, mais stable sur la pièce à main, l'index ou le troisième doigt pouvant être manipulé, afin de permettre l'enfoncement du bouton d'actionnement.

La surface du bouton du Streamline est légèrement plus grande que celle de la plupart des autres dispositifs MIGS et, par conséquent, la force nécessaire pour appuyer sur le bouton peut être légèrement supérieure à celle à laquelle le chirurgien s'attend. Il est impératif d'avoir une prise ferme sur le dispositif pour s'assurer qu'il n'y a pas de glissement ou de mouvement vers le bas de la pièce à main lorsque le bouton d'actionnement est enfoncé. Si un gonioprisme mains libres est utilisé, la main supplémentaire peut être utilisée pour aider à soutenir la main dominante qui tient le dispositif lorsque le bouton est enfoncé.

Il est essentiel de s'exercer à l'utilisation du dispositif dans le laboratoire humide pour garantir une prise en main sûre et confortable du dispositif avant de se rendre dans la salle d'opération.

Il y a également quelques différences dans l'administration du traitement lui-même avec Streamline. Tout d'abord, le manchon bleu extérieur peut servir de guide pour un positionnement correct de la hauteur dans l'angle. Les évasements latéraux du manchon peuvent être alignés avec le RT et le manchon peut être doucement aplani contre le maillage avant l'activation du bouton. Une pression trop forte vers l'extérieur peut provoquer des stries cornéennes ou l'effondrement du RT dans le canal, tandis qu'une pression insuffisante vers l'extérieur empêchera l'entrée appropriée de la canule dans le canal. Lorsque l'on appuie sur le bouton d'actionnement, la pièce à main doit être maintenue en place pendant 2 secondes avant de passer à autre chose, afin de laisser le temps à l'OVD de s'écouler des deux côtés du canal de Schlemm.

Enfin, le chirurgien doit savoir que la goniotomie et l'injection d'OVD réalisées par le système Streamline peuvent avoir peu ou pas de repères visuels pendant la procédure. Cela est dû en grande partie à la perturbation minimale des tissus que la procédure entraîne avec des microgoniotomies qui sont souvent trop petites pour être visualisées directement. Cependant, il existe plusieurs indices visuels qui peuvent confirmer le positionnement correct du dispositif et le traitement. Ces indices comprennent le reflux sanguin à travers les incisions de goniotomie lorsque la PIO tombe en dessous de la pression veineuse épisclérale, le blanchiment ou le déplacement du sang résidant dans le canal de Schlemm, la sortie de l'OVD à travers les goniotomies voisines et le blanchiment des vaisseaux épiscléraux en aval des degrés traités. Le chirurgien doit surveiller ces indices pour s'assurer que le dispositif est correctement placé et traité, tout en sachant qu'ils peuvent ne pas être évidents chez tous les patients malgré une utilisation correcte du dispositif¹²².

Compte tenu de son développement relativement récent, les données des études rapportant les résultats du système chirurgical Streamline chez les patients atteints de glaucome sont jusqu'à présent limitées. L'une des premières études réalisées a été une série de cas prospective à un seul bras portant sur la réduction de la PIO et l'utilisation de médicaments à 6 mois chez des patients ayant subi une chirurgie de la cataracte avec le Streamline. La population étudiée était composée de 20 yeux atteints de glaucome primaire à angle ouvert (GPAO) léger à sévère. Après 6 mois de suivi, 89,5% des patients ont obtenu une réduction moyenne de la PIO de 20% ou plus, 42,1% ne prenaient plus de médicaments et aucun événement indésirable n'a été signalé¹²³.

Un autre groupe a réalisé une série de cas rétrospectifs d'yeux atteints de glaucome à angle ouvert léger à sévère ayant subi une chirurgie de la cataracte avec Streamline. Après 6 mois de suivi, le taux de réussite chirurgicale, défini comme une réduction de la PIO de 20% ou plus et/ou une réduction d'un médicament topique contre le glaucome, était de 66,7%. Une complication a été signalée, à savoir un pic de PIO après l'opération, qui a été traité médicalement¹²⁴.

Analyse intérimaire des résultats cliniques du système chirurgical STREAMLINE® dans les yeux atteints de glaucome

Objectif: Caractériser les résultats cliniques d'une nouvelle procédure mini-invasive *ab interno* avec le système chirurgical STREAMLINE® pour la création de goniotomies incisionnelles et la viscodilatation du canal de Schlemm dans les yeux atteints de glaucome primaire à angle ouvert (GPAO) léger à sévère¹²⁵.

Méthodes: Dans le cadre d'une série de cas prospective, à bras unique, première chez l'homme, 20 yeux de 20 sujets atteints de GPAO léger à sévère ont subi des goniotomies incisionnelles et une viscodilatation du canal de Schlemm à la suite d'une extraction de la cataracte par phacoémulsification après l'élimination de tous les médicaments qui abaissent la pression intraoculaire (PIO). La partie chirurgie de l'angle a été réalisée avec une pièce à main à usage unique munie d'une microcanule qui crée des goniotomies précises à travers le réseau trabéculaire jusqu'au canal de Schlemm et injecte un petit volume de matériau viscochirurgical ophtalmique directement dans le canal grâce à un cathétérisme précis. Les résultats de cette analyse intermédiaire comprenaient la réduction moyenne de la PIO et des médicaments au cours des 6 mois de suivi, ainsi que la proportion d'yeux ayant atteint une réduction de la PIO $\geq 20\%$ par rapport à la ligne de base.

Résultats: Au mois 6, une réduction moyenne de la PIO de $\geq 20\%$ par rapport à la ligne de base a été obtenue dans 89,5% des yeux (17/19). La PIO médicamenteuse moyenne (écart-type) au moment de la sélection était de 16,3 ($\pm 3,6$) mm Hg et la PIO de base non médicamenteuse (après le lavage) était de 23,5 ($\pm 2,5$) mm Hg. La PIO moyenne a été réduite de manière significative depuis le début jusqu'à 6 mois de suivi à 14,7 (2,4) mm Hg ($p < 0,001$), ce qui représente une réduction de la PIO de 8,8 mm Hg (36,9%). Dans l'ensemble, 57,9% (11/19) des yeux ont réduit leur dépendance aux médicaments abaissant la PIO d'au moins un médicament, et 42,1% (8/19) n'avaient plus besoin de médicaments. La consommation moyenne de médicaments a été réduite de 2,0 ($\pm 0,8$) au moment du dépistage à 1,1 ($\pm 1,1$) à 6 mois ($p < 0,001$). Trois yeux ont eu des pics de PIO transitoires traités avec des médicaments topiques.

Conclusion: La création de goniotomies incisionnelles et la viscodilatation du canal de Schlemm ont réduit de façon sûre et efficace la PIO et le besoin de médicaments abaissant la PIO de façon cliniquement et statistiquement significative dans les yeux atteints de GPAO léger à sévère subissant une extraction de cataracte par phacoémulsification concomitante au cours des 6 premiers mois de suivi.

Espace suprachoroïdien

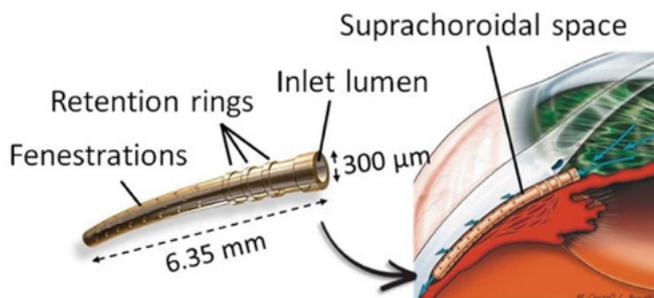
Amélioration de l'écoulement aqueux à travers l'espace suprachoroïdien

Contrairement aux MIGS basés sur le canal de Schlemm qui visent à améliorer la voie d'écoulement trabéculaire, les dispositifs MIGS suprachoroïdiens visent à tirer parti de la voie uvéosclérale pour réduire la PIO¹²⁶. Ces dispositifs, illustrés à la figure 5, comprennent le micro-stent CyPass®, l'iStent SUPRA®, le shunt en or SOLX®, l'implant STARflo^{MC} pour le glaucome et le MINInject^{MC 127-130}.

- L'espace suprachoroïdien a été exploré en tant que cible pour la réduction de la PIO au cours des 100 dernières années, et la capacité de l'exploiter de manière fiable et sûre pour abaisser la PIO semble désormais à portée de main.
- L'innovation en matière de soins oculaires au cours des prochaines années impliquera très certainement l'utilisation de l'espace suprachoroïdien pour traiter un éventail de plus en plus large de maladies.

Micro-stent CyPass

CyPass® Micro-Stent



Le micro-stent CyPass® montrant ses fenestrations par lesquelles l'humeur aqueuse s'écoule dans l'espace suprachoroïdien, ses anneaux de rétention qui aident à ancrer le dispositif, et sa mise en place dans l'œil (figure ci-haut)¹²⁶.

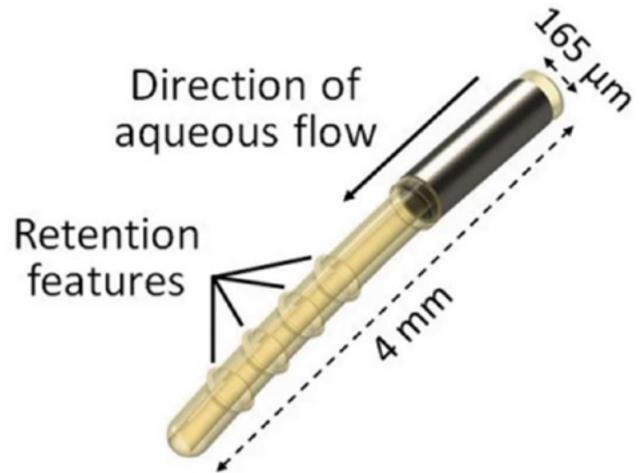
Le micro-stent CyPass (Alcon Laboratories, inc., Texas, États-Unis) est un dispositif en polyimide biocompatible⁵². Il est fenêtré sur toute sa longueur, comme le montre la figure ci-bas, avec des pores de 76 µm de diamètre qui permettent l'écoulement de l'eau^{52, 56}. L'endoprothèse est introduite par un fil-guide et un applicateur dans l'espace supraciliaire (par une procédure *ab interno*), où elle est ensuite ancrée passivement avec des anneaux de rétention moulés^{54, 56}. Bien que les premières études cliniques aient montré que l'implantation de ce dispositif entraîne une légère réduction de la PIO et des médicaments contre le glaucome, en août 2018, le CyPass a été retiré du marché mondial en raison de problèmes de sécurité liés à la perte de cellules endothéliales résultant de dispositifs mal positionnés^{34, 52, 131, 132}.



Le CyPass Micro-Stent

A. iStent SUPRA®

iStent SUPRA®



L'iStent SUPRA®, avec ses anneaux de rétention; image reproduite avec l'autorisation de Healio, may 6, 2023¹².

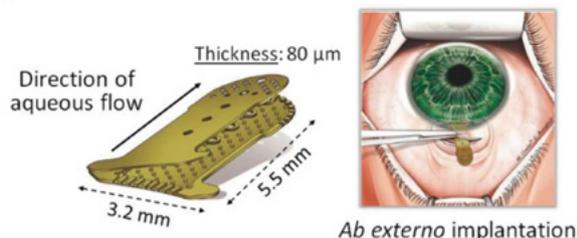
L'iStent SUPRA (Glaukos Corporation, Californie, États-Unis) est une itération différente des deux dispositifs iStent MIGS pour le canal de Schlemm dont il a été question précédemment. Il s'agit d'un petit dispositif recouvert d'héparine, composé de polyéthersulfone et de titane, légèrement incurvé pour suivre la courbure de la sclérotique et doté de crêtes pour améliorer la rétention de l'implant^{52, 124}. Comme le microstent CyPass, l'iStent SUPRA est inséré par une incision *ab interno*⁵⁶.

Après des décennies sans avancées significatives dans cet espace, James Gills, MD, a développé en 1966 un implant en téflon qui a été placé *ab externo* dans la fente pour empêcher la fermeture spontanée. Cependant, ce dispositif a finalement échoué en raison de la difficulté d'implantation, de l'inflammation profonde et des pics de PIO^{133, 134}. Une fois de plus, l'intérêt pour cet espace a diminué en faveur d'approches sous-conjonctivales plus traditionnelles de la chirurgie du glaucome.

L'iStent Supra mesurait 4 mm de long et est fabriqué en polyéthersulfone et en titane, avec une lumière de 165 µm recouverte d'héparine¹³⁵⁼¹⁴. Les premiers rapports ont utilisé le travoprost postopératoire et ont démontré une réduction de la PIO de 30 à 50% à 12 mois. Aucun événement indésirable majeur n'a été signalé. Les effets indésirables les plus fréquents étaient une hypotonie transitoire et des épanchements choroïdiens autolimités^{136, 137}. L'iStent Supra avait reçu le marquage CE en 2010 et était évalué dans le cadre d'un essai clinique randomisé en vue d'obtenir l'approbation de la FDA¹³⁸.

Shunt en or SOLX

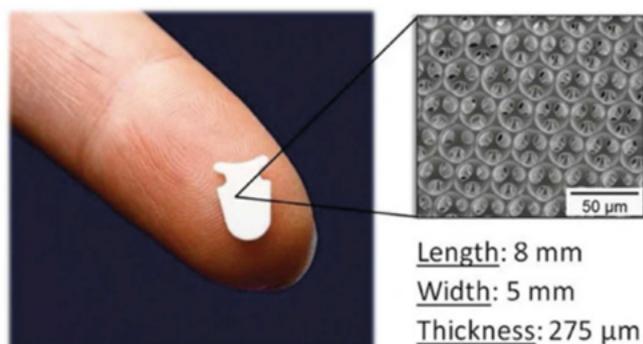
SOLX® gold shunt



La dérivation SOLX® gold, montrant ses deux plaques d'or et sa procédure d'implantation réalisée par une incision *ab externo*.

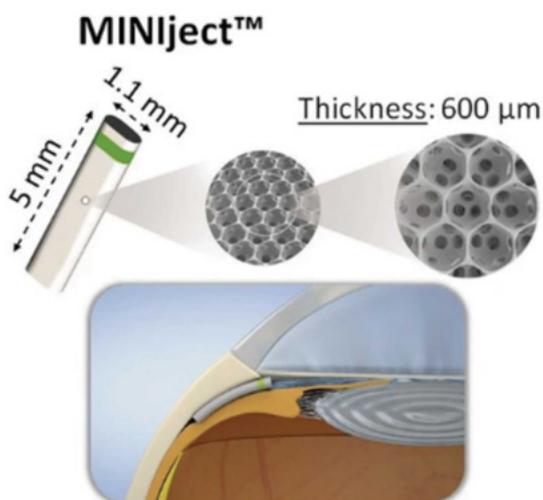
Implant STARflo^{MC} pour le glaucome

STARflo™ Glaucoma Implant



L'implant STARflo^{MC} pour le glaucome montrant sa tête en forme d'enclume conçue pour empêcher l'extrusion de la chambre antérieure, et sa géométrie multiporeuse caractérisée par des sphères creuses disposées en réseau régulier^{112, 129, 139}.

Miniject



Le dispositif MINIJect^{MC} montrant sa structure multiporeuse et son positionnement dans l'œil¹²⁸.

Ce dispositif est fabriqué à partir du matériau Star, propriété de la société, un silicium biocompatible contenant une microstructure géométrique poreuse qui favoriserait l'intégration avec les tissus environnants et réduirait la fibrose afin de préserver le flux. Le Miniject est implanté par une approche *ab interno* et seule une très petite partie du dispositif est exposée à la chambre antérieure afin de réduire les lésions des cellules endothéliales cornéennes¹⁴⁰.

La structure poreuse distinctive, souple et flexible de MINIJect® offre de multiples avantages :

- Le matériau STAR®, propriété d'iSTAR Medical, présente des propriétés anti-fibrotiques et anti-inflammatoires exceptionnelles;
- L'implant poreux permet un écoulement naturel de l'humeur aqueuse, ce qui contribue à réduire la fibrose, à réduire les cicatrices et à augmenter la durabilité;
- Il se conforme à l'anatomie de l'œil et s'intègre aux tissus environnants pour assurer l'efficacité du drainage à long terme.

L'essai STAR-I a porté sur 25 patients atteints d'un glaucome primaire à angle ouvert d'intensité légère à modérée, qui ont subi l'implantation de Miniject. Après un an, le dispositif a montré une réduction moyenne de la PIO de 32,6 %, 75% des patients n'ayant plus besoin de médicaments. Il est important de noter qu'aucun événement indésirable oculaire grave n'a été signalé¹⁴¹.

iSTAR Medical a annoncé en mai 2023, que plus de 1000 patients ont été traités commercialement avec MINIJect®, son implant de chirurgie mini-invasive du glaucome (MIGS). MINIJect® est commercialisé en Allemagne, au Royaume-Uni, en Suisse, en Autriche et dans les pays nordiques. iSTAR Medical prévoit une nouvelle expansion du marché dans d'autres régions géographiques en 2023¹⁴².

iSTAR Medical a annoncé en septembre 2023 des résultats positifs à trois ans de l'étude STAR-GLOBAL sur MINIJect®. Ces données ont été présentées lors du symposium d'iSTAR Medical qui s'est déroulé en juin dans le cadre du Congrès mondial du glaucome (WGC) à Rome, en Italie.

STAR-GLOBAL est un essai de prolongation portant sur la sécurité et l'efficacité à long terme pour les patients jusqu'à cinq ans de suivi. Les patients ayant reçu le dispositif MIGS supraciliaire MINIJect® sont invités à s'inscrire à l'étude STAR-GLOBAL à l'issue d'un essai iSTAR Medical d'une durée de deux ans, afin de poursuivre le suivi de deux à cinq ans.

Données de STAR-GLOBAL

Le Dr Inder Paul Singh (The Eye Centers of Racine & Kenosha, WI, É.-U.) a présenté les données intermédiaires de 48 patients de l'essai STAR-GLOBAL qui ont achevé le suivi à trois ans, lors du symposium d'iSTAR Medical au WGC. Les résultats d'efficacité indiquent une réduction durable et significative de 36% de la pression oculaire à trois ans, 42% des patients n'ayant plus besoin de médicaments.

Un profil d'innocuité favorable, y compris la santé de la cornée, a été confirmé après trois ans de suivi, sans aucun événement indésirable grave lié au dispositif ou à la procédure au cours de la période de suivi de STAR-GLOBAL.

MIGS *Ab externo*

La trabéculéctomie et la chirurgie de dérivation tubulaire restent les interventions incisionnelles les plus couramment pratiquées pour abaisser la pression intraoculaire (PIO) dans le traitement du glaucome modéré à sévère et réfractaire¹⁴³. Ces méthodes chirurgicales permettent de remédier à l'adhésion sous-optimale associée aux traitements pharmacologiques¹⁴⁴. Cependant, bien qu'elles soient efficaces pour abaisser la PIO, les techniques de chirurgie incisionnelle sont associées à la nécessité d'une prise en charge postopératoire importante^{143, 145}.

Certains chirurgiens préfèrent utiliser une approche *ab externo* parce qu'elle leur donne plus de liberté dans le positionnement et l'application de la mitomycine C¹⁴⁶.

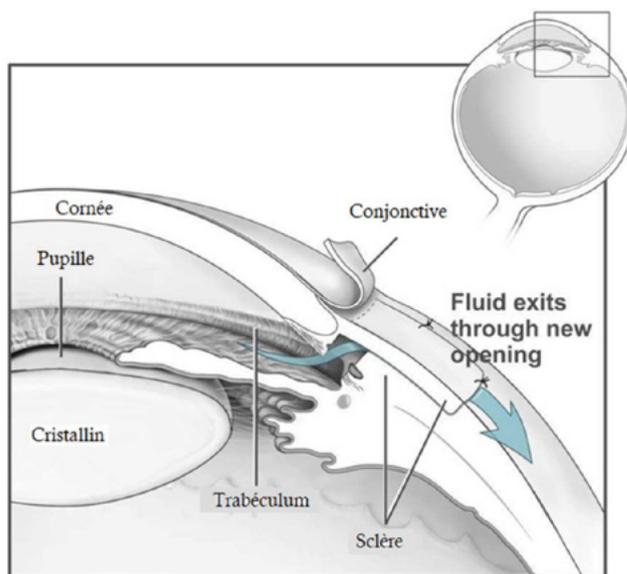
Déviations de l'écoulement aqueux dans l'espace sous-conjonctival

A. Trabéculéctomie/sclérectomie profonde

Depuis sa description par Cairns en 1968 et malgré quelques variantes décrites ultérieurement, la technique de trabéculéctomie a peu changé et reste une chirurgie de référence dans le traitement du glaucome¹⁴¹. Le principe de fonctionnement de la trabéculéctomie est basé sur l'évacuation de l'humeur aqueuse dans l'espace sous-conjonctival avec la création d'une bulle de filtration qui permettra ensuite de drainer l'humeur aqueuse dans les vaisseaux lymphatiques et veineux. Après désinsertion conjonctivale au limbe ou au fornix, un volet scléral mesurant environ 4 mm sur 5 mm est réalisé jusqu'à atteindre le trabéculum et l'ouvrir soit manuellement au couteau soit avec des instruments assistés. Ensuite le volet scléral est suturé afin de rétablir une contre-pression et éviter une hyperfiltration de l'humeur aqueuse en postopératoire immédiat.

Une suture ajustable au niveau du volet scléral peut être mise en place également pour réguler le débit de filtration au cours du suivi postopératoire et limiter les risques d'hypotonies précoces notamment. Enfin, une suture conjonctivale est réalisée afin d'obtenir une bulle de filtration. La baisse pressionnelle attendue est de l'ordre de 48% par rapport à la PIO sans traitement préopératoire.

Cette baisse de PIO est supérieure à la baisse observée avec un traitement médical. Enfin, le risque d'échec chirurgical est de l'ordre de 17,9 à 20,7% à cinq ans lors d'une première ou d'une deuxième trabéculéctomie¹⁴². L'efficacité pressionnelle de cette intervention est très étroitement liée aux phénomènes de fibrose de la bulle de filtration. Afin d'améliorer le pronostic pressionnel de la chirurgie, des antimétabolites de type mitomycine ou 5-fluorouracile peuvent être appliqués en sous-ténonien et en regard de la sclère pour inhiber l'activité fibroblastique dans l'espace sous-conjonctival et limiter les phénomènes d'adhérence de la bulle de filtration. Par ailleurs ces produits peuvent également induire un cyclo-affaiblissement chimique en regard du site chirurgical et potentialiser la baisse de PIO.



La chirurgie conventionnelle pour traiter le glaucome crée une nouvelle ouverture dans le réseau. Cette nouvelle ouverture permet au liquide de s'écouler de l'œil et d'abaisser la pression intraoculaire¹⁴⁷.

Des antimétabolites sont généralement utilisés au cours de la trabéculéctomie pour prévenir l'échec de l'hémostase dû à la cicatrisation de la plaie. Les antimétabolites les plus couramment utilisés sont le 5-fluorouracile (5-FU) ou la mitomycine C (MMC)¹⁴⁸. Le 5-fluorouracile est un analogue de la pyrimidine qui bloque la synthèse de l'ADN. Il peut être appliqué sur le site chirurgical en imbibant une éponge chirurgicale et en la plaçant sur le site chirurgical scléral avant la création de la stomie, avant ou après la création d'un lambeau scléral¹⁴⁹. L'éponge est retirée après un temps variable (en fonction des caractéristiques sous-jacentes du patient ou des préférences du chirurgien, l'éponge peut être retirée après 30 secondes à 5 minutes).

Le mmC peut également être injecté en préopératoire dans l'espace sous-conjonctival, puis irrigué. La trabéculéctomie crée une bulle de filtration sous la conjonctive de l'œil, que l'on peut parfois apercevoir sous la paupière supérieure. Cette bulle est en quelque sorte la chambre de résorption de l'humeur aqueuse. Néanmoins, son évolution peut être marquée de complications imprévisibles et dont certaines sont potentiellement dévastatrices¹⁵⁰.

La trabéculéctomie peut être envisagée lorsque les risques chirurgicaux sont supérieurs aux bénéfices potentiels. Les patients sont candidats à la trabéculéctomie si leur pression intraoculaire les expose à un risque important de lésions glaucomeuses progressives entraînant un handicap visuel. Bien que l'étude CIGTS ait montré que le pronostic visuel était comparable chez les patients traités initialement par des médicaments et par la chirurgie, la plupart des médecins essaient un traitement médical avant de procéder à une intervention chirurgicale.

Toutefois, si la pression intraoculaire n'est pas correctement contrôlée par les médicaments ou si des obstacles importants s'opposent à l'utilisation régulière des médicaments (coût, observance, effets secondaires oculaires ou systémiques, inconvenients, handicap physique ou autres problèmes psychosociaux), il convient d'envisager une intervention chirurgicale.

La chirurgie au laser peut être pratiquée si une baisse modeste de la PIO est nécessaire, en particulier si les lésions du glaucome ne sont pas avancées. Cependant, la trabéculotomie est indiquée si le glaucome est modéré ou avancé, si le taux de progression est rapide, si l'intervention au laser a échoué ou s'il existe un risque important de progression future qui entraînera une incapacité symptomatique¹⁵¹.

Technique chirurgicale

- La trabéculotomie peut être pratiquée sous anesthésie locale ou générale. Une suture de traction (placée sur une épaisseur partielle à travers la cornée claire périphérique) est souvent utilisée pour une exposition adéquate du site chirurgical (quadrants supérieurs de l'œil). Une péritomie conjonctivale est créée pour exposer la sclérotique supérieure nue. Cette péritomie peut être basée sur le limbe ou sur le fornix¹⁵¹.
- Un lambeau scléral d'épaisseur partielle est créé dans la sclérotique supérieure, articulé au limbe. Il existe de nombreuses variations dans la forme (rectangulaire, triangulaire, trapézoïdale) et la taille de ce lambeau. Le volet scléral est disséqué vers l'avant jusqu'à ce que la zone gris bleuté du limbe soit exposée.
- Une dissection de l'espace sous-conjonctival est ensuite effectuée afin de créer une voie d'écoulement aqueux. Une paracentèse est créée dans la cornée claire périphérique avant de créer une stomie dans la chambre antérieure par le dessous du volet scléral. Un matériau viscoélastique peut être injecté pour stabiliser la pression intraoculaire lors de la création de la stomie afin d'éviter un affaissement de la chambre antérieure. Il existe plusieurs façons de créer la stomie sous le volet scléral. Une lame est d'abord utilisée pour pénétrer dans la chambre antérieure juste derrière la charnière du volet scléral. L'entrée dans la chambre antérieure est ensuite élargie à l'aide de la lame, de ciseaux de Vannas et/ou d'un poinçon de Kelly.
- Souvent, une iridectomie périphérique est créée à ce stade, en utilisant des pinces pour tirer l'iris périphérique à travers le site de stomie, et des ciseaux pour créer l'iridectomie. Dans les yeux pseudophaques, certains chirurgiens omettent cette étape chirurgicale. Des sutures (généralement en nylon 9-0 ou 10-0) sont ensuite utilisées pour fermer le volet scléral. Les sutures peuvent être placées de manière interrompue, ou des sutures libérables peuvent être placées. Le volet doit être fermé de manière suffisamment serrée pour que la chambre antérieure reste formée, mais de manière suffisamment lâche pour permettre un drainage aqueux sur les bords du volet scléral. La péritomie conjonctivale est ensuite refermée à l'aide de sutures résorbables ou en nylon.
- Une injection sous-conjonctivale de corticostéroïdes peut être effectuée à la fin de l'intervention chirurgicale.

La sclérectomie profonde est l'autre chirurgie filtrante de référence¹⁵². Cette technique est basée sur un principe de fonctionnement similaire à la trabéculotomie avec pour objectif également de créer une bulle de filtration.

Cependant, cette technique chirurgicale se différencie de la trabéculotomie quant à la méthode d'évacuation de l'humeur aqueuse. En effet, la technique consiste à ouvrir le canal de Schlemm selon la même voie d'abord que la trabéculotomie et ensuite de retirer la paroi interne du canal de Schlemm.

Cette paroi interne correspond au trabéculum juxtacanaliculaire qui est responsable de 75% des résistances à l'écoulement de l'humeur aqueuse, son ablation se traduit ainsi par une amélioration du flux d'évacuation sans pénétrer le globe oculaire. Le flux d'humeur aqueuse est ainsi mieux contrôlé, ce qui limite le risque de complications peropératoires et postopératoires. Cette technique chirurgicale peut éventuellement être suivie par une goniopuncture au laser nd:YAG du site opératoire pour améliorer le débit de filtration.

Une méta-analyse comparant ces deux techniques chirurgicales de référence montrait que la baisse de PIO était supérieure dans le groupe de patients traités par trabéculotomie que dans le groupe de patients traités par sclérectomie profonde et cette différence devenait non significative lorsque la mitomycine était utilisée en peropératoire dans les 2 groupes¹⁵³. En revanche, le risque de développer une complication de type hypotonie oculaire, décollement choroïdien, effacement de chambre antérieure ou cataracte était significativement plus bas dans le groupe sclérectomie. Cependant, cette méta-analyse ne pouvait pas non plus analyser l'effet pressionnel et les complications sur le long terme.

NPGS (chirurgie non pénétrante du glaucome)

La chirurgie non pénétrante du glaucome (NPGS) est utilisée de manière sélective sur les structures altérées responsables de l'hypertension oculaire. Elle est réalisée sans pénétrer dans le bulbe de l'œil et, contrairement à d'autres techniques largement utilisées, il s'agit essentiellement d'une chirurgie extraoculaire. Le chirurgien évite ainsi les complications possibles associées à la chirurgie pénétrante, comme la trabéculotomie, toujours considérée comme le traitement chirurgical de référence du glaucome à angle ouvert. Dans le glaucome primaire à angle ouvert et dans certains cas de glaucome secondaire, la résistance au drainage de l'humeur aqueuse est principalement produite par le trabéculum juxtacanaliculaire et la paroi interne du canal de Schlemm : ce sont les deux structures cibles du NPGS¹⁵⁴.

Le choix de la procédure à utiliser chez un patient atteint de glaucome doit être fait au cas par cas et il est extrêmement difficile de proposer un protocole de traitement standard. Trois types de procédures sont inclus dans ce groupe : la viscocanalostomie, la sclérectomie et, plus récemment, la canaloplastie. La canaloplastie est l'intervention qui, ces derniers temps, fait l'objet d'un plus grand consensus parmi les spécialistes de la chirurgie du glaucome. De plus en plus, ce type de chirurgie est pratiqué en combinaison avec la procédure de la cataracte (phacoémulsification).

Chirurgie non pénétrante du glaucome : la chirurgie du glaucome peut être divisée en deux grandes catégories : les techniques pénétrantes (PGS), trabéculotomie, et les techniques non pénétrantes (NPGS).

Les techniques non pénétrantes évitent de pénétrer dans la chambre antérieure, réduisant ainsi l'incidence des complications liées à l'hypotonie, des problèmes associés aux saignées, ainsi que des complications graves telles que l'endophtalmie. La résistance à l'écoulement aqueux est assurée par le réseau trabéculaire et la membrane de Descemet, ce qui permet de mieux contrôler le drainage aqueux. Les deux principales catégories de NPGS sont la sclérectomie profonde (SP) et la viscocanalostomie (VC). Dans le premier cas, l'eau est destinée à s'écouler par voie sous-conjonctivale, tandis que la viscocanalostomie vise à éliminer les bulles, l'eau s'écoulant par le canal de Schlemm. Outre le risque de complications graves, la NPGS peut induire une inflammation postopératoire moindre, nécessitant un suivi moins intensif que la PGS. Les inconvénients de la NPGS sont qu'elle peut être moins efficace pour abaisser la pression intraoculaire que la PGS, et qu'elle présente une courbe d'apprentissage abrupte¹⁵⁵.

Efficacité et sécurité de la chirurgie du glaucome non pénétrante avec phacoémulsification par rapport à la chirurgie du glaucome non pénétrante : une méta-analyse

Objectif : Comparer l'efficacité clinique et la sécurité de la chirurgie non pénétrante du glaucome (NPGS) associée à la phacoémulsification (Phaco-NPGS) et de la NPGS seule¹⁵⁶.

Méthodes : Nous avons effectué une recherche systématique dans diverses bases de données et examiné les études qui avaient évalué les effets de la Phaco-NPGS ou de la NPGS seule pour les patients atteints de glaucome. Les résultats primaires comprenaient la pression intraoculaire (PIO) postopératoire et le nombre de médicaments anti-glaucomeux postopératoires. Les résultats secondaires étaient la prévalence des complications, l'incidence de l'aiguilletage ou de la goniopuncture et le taux de réussite chirurgicale.

Résultats : Au total, 380 et 424 yeux ont été inclus dans les groupes NPGS seuls et Phaco-NPGS respectivement. La PIO postopératoire et le nombre de médicaments ont été significativement plus faibles dans le groupe Phaco-NPGS que dans le groupe NPGS seul [différence moyenne pondérée (DMP) = -1,12, intervalle de confiance (IC) à 95% : -2,11 à -0,12, P = 0,03; DMP = -0,31, IC à 95% : -0,53 à -0,09, P = 0,006]. De plus, la prévalence des complications et des procédures postopératoires était significativement plus faible dans l'étude Phaco-NPGS que dans l'étude NPGS seule, alors qu'il n'y avait pas de différence significative quant au succès chirurgical.

Conclusion : La phaco-NPGS est supérieur à la seule NPGS dans la réduction de la PIO et des médicaments. Le Phaco-NPGS peut être recommandé pour les patients atteints de glaucome avec des cataractes coexistantes en raison de son efficacité supérieure, de la diminution des complications et des procédures postopératoires. 

RÉFÉRENCES

- Greenwood MD, Seibold LK, Radcliffe NM, Dorairaj SK, Aref AA, Román JJ, Lazcano-Gomez GS, Darlington JK, Abdullah S, Jasek MC, Bahiri KA, Berdahl JP. Goniotomy with a single-use dual blade: Short-term results. *J Cataract Refract Surg*. 2017 Sep;43(9):1197-1201. doi: 10.1016/j.jcrs.2017.06.046. PMID: 28991617.
- Seibold L. K., Soohoo J. R., Ammar D. A., Kahook M. Y. Preclinical investigation of *ab interno* trabeculectomy using a novel dual-blade device. *American Journal of Ophthalmology*. 2013;155(3):524-529.e2.
- SooHoo, J.R., L.K. Seibold, and M.Y. Kahook, *Ab interno* trabeculectomy in the adult patient. *Middle East Afr J Ophthalmol*. 2015;22(1):25-9.
- Allingham RR, Damji KF, Freedman SF, Moroi SE, Rhee DJ, Shields MB. *Shields textbook of glaucoma*. Lippincott Williams & Wilkins; 2012 Mar 28.
- https://eyewiki.aao.org/Kahook_Dual_Blade:_Ab_Interno_Trabeculectomy
- <https://vijayanethralaya.com/micro-invasive-glaucoma-surgeries-in-glaucoma-treatment/>
- Dorairaj S, Seibold LK, Radcliffe N, Aref A, Jimenez-Roman J, Lazcano-Gomez G, Darlington J, Mansouri K, Berdahl J. 12-Month Outcomes of Goniotomy Performed Using the Kahook Dual Blade Combined with Cataract Surgery in Eyes with Medically Treated Glaucoma. *Adv Ther* 2018; 35:1460-1469.
- Maeda M, Watanabe M, Ichikawa K. Evaluation of trabectome in open-angle glaucoma. *J Glaucoma*. 2013;22(3):205-8.
- Brian A. Francis, Kuldev Singh, Shan C. Lin, Elizabeth Hodapp, Henry D. Jampel, John R. Samples, Scott D. Smith, *Novel Glaucoma Procedures: A Report by the American Academy of Ophthalmology*. *Ophthalmology*, Volume 118, Issue 7, July 2011, Pages 1466-1480.
- Maeda M, Watanabe M, Ichikawa K. Evaluation of trabectome in open-angle glaucoma. *J Glaucoma*. 2013;22(3):205-8.
- Francis BA, Minckler D, Dustin L, *et al*. Combined cataract extraction and trabeculectomy by the internal approach for coexisting cataract and open-angle glaucoma: Initial results. *J Cataract Refract Surg*; 34(7). 1096-1103.
- Baerveldt, G. and Chuck, R. "Minimally Invasive Glaucoma Surgical Instrument and Method" US Patent (2005): Available at <https://www.google.com/patents/US6979328>
- Minckler D., Baerveldt G., Ramirez M. A., Mosaed S., Wilson R., Shaarawy T., Zack B., Dustin L. and Francis B. "Clinical Results with the Trabectome, a Novel Surgical Device for Treatment of Open-Angle Glaucoma" *Transactions of the American Ophthalmological Society* 104, (2006): 40-50.
- Kaplowitz K, Schuman J. S., and Loewen N. A. "Techniques and Outcomes of Minimally Invasive Trabecular Ablation and Bypass Surgery" *The British journal of ophthalmology* 98, no. 5 (2014): 579-585.
- Bussell I. I., Kaplowitz K., Schuman J. S., Loewen N. A., and Trabectome Study Group. "Outcomes of *Ab interno* Trabeculectomy with the Trabectome after Failed Trabeculectomy" *The British journal of ophthalmology* 99, no. 2 (2015): 258-262.
- Tojo N., Abe S., Miyakoshi M., and Hayashi A. "Comparison of Intraocular Pressure Fluctuations before and after *Ab interno* Trabeculectomy in Pseudoexfoliation Glaucoma Patients" *Clinical ophthalmology* 11, (2017): 1667-1675.
- <https://crstodayeurope.com/articles/omni-surgical-system/early-experience-with-the-omni-surgical-system/>
- <https://www.sightsciences.com/us/sight-sciences-launches-the-ergo-series-of-the-omni-surgical-system/>
- Sarkisian S, Mathews B, Ding K, Patel A, Nicek Z. 360o *ab-interno* trabeculectomy in refractory open-angle glaucoma. *Clinical Ophthalmology* 2019; 13: 161-168.
- <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8313377/>
- <https://glaucomatoday.com/articles/2015-nov-dec-ab-interno-canaloplasty>
- Klink T, Panidou E, Kanzow-Terai B, *et al*. Are there filtering blebs after canaloplasty? *J Glaucoma*. 2012;21(2):89-94.

113. Lewis RA, von Wolff K, Tetz M, *et al.* Canaloplasty: three-year results of circumferential viscodilation and tensioning of Schlemm's canal using a microcatheter to treat open-angle glaucoma. *J Cataract Refract Surg.* 2011;37:682-690.
114. Bull H, von Wolff K, Korger N, Tetz M. Three-year canaloplasty outcomes for the treatment of open-angle glaucoma: European study results. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2011;249:1537-1545.
115. Grieshaber MC, Fraenkl S, Schoetzau A, *et al.* Circumferential viscocanalostomy and suture canal distension (canaloplasty) for whites with open-angle glaucoma. *J Glaucoma.* 2011;20:298-302.
116. Peckar CO, Körber N. Canaloplasty for open angle glaucoma: a three years critical evaluation and comparison with viscocanalostomy [in German]. *Spektrum der Augenheilkunde.* 2008;22(4):240-246.
117. Brüggemann A, Despouy JT, Wegent A, Müller M. Intraindividual comparison of canaloplasty versus trabeculectomy with mitomycin C in a single-surgeon series. *J Glaucoma.* 2013;22(7):577-583.
118. Klink T, Sauer J, Körber NJ, *et al.* Quality of life following glaucoma surgery: canaloplasty versus trabeculectomy. *Clin Ophthalmol.* 2014;18:9:7-16.
119. Gallardo M, Supnet R, Ahmed II. Viscodilation of Schlemm's Canal for the Reduction of IOP Via an Ab-interno Approach. *ClinicalOphthalmology* 2018; 12: 2149-2155.
120. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589419622000254>
121. New World Medical. New World Medical announces launch details for the Streamline Surgical System. News release. March 1, 2022. Accessed June 20, 2023. <https://www.newworldmedical.com/new-world-medical-announces-launch-details-for-the-streamline-surgical-system/>
122. <https://www.glaucomapphysician.net/issues/2023/september-2023/surgical-pearls-for-the-streamline-surgical-system>
123. Lazcano-Gomez G, Garg SJ, Yeu E, Kahook MY. Interim analysis of Streamline surgical system clinical outcomes in eyes with glaucoma. *Clin Ophthalmol.* 2022;16:1313-1320. doi:10.2147/OPTH.S358871
124. Temple H, Grove N, Patnaik J, Kahook M, Seibold L. Clinical outcomes with the Streamline Surgical System in mild to severe open angle glaucoma. Presented at: the American Glaucoma Society Meeting; Austin, TX; March 2023.
125. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9058234/>
126. Shah M. Micro-invasive glaucomasurgery an interventional glaucoma revolution. *Eye Vis.* 2019;6:29.
127. Samples JR, Ahmed IJK. *Surgical innovations in glaucoma.* New York, NY: Springer; 2014.
128. Denis P, Hirneiß C, Reddy KP, Kamarthy A, Calvo E, Hussain Z, *et al.* A first-in-human study of the efficacy and safety of MINject in patients with medically uncontrolled open-angle glaucoma (STAR-I). *Ophthalmol Glaucoma.* 2019;2:290-7.
129. Caretti L, Buratto L. *Glaucoma surgery: Treatment and Techniques.* Cham, Switzerland: Springer International Publishing; 2018.
130. Kammer JA, Mundy KM. Suprachoroidal devices in glaucomasurgery. *Middle East Afr J Ophthalmol.* 2015;22:45-52.
131. García-Feijoo J, Rau M, Grisanti S, Grisanti S, Höh H, Erb C, *et al.* Supraciliary micro-stent implantation for open-angle glaucoma failing topical therapy: 1-year results of a multicenter study. *Am J Ophthalmol.* 2015;159:1075-e1.
132. Hoeh H, Vold SD, Ahmed IK, Anton A, Rau M, Singh K, *et al.* Initial clinical experience with the CyPass micro-stent: Safety and surgical outcomes of a novel supraciliary microstent. *J Glaucoma.* 2016;25:106-12.
133. Gills JP, Jr., Paterson CA, Paterson ME. Mode of action of cyclodialysis implants in man. *Invest Ophthalmol.* 1967;6(2):141-144.
134. Gills JP. Cyclodialysis implants in human eyes. *Am J Ophthalmol.* 1966;61(5):841-846.
135. Figus M, Posarelli C, Passani A, *et al.* The supraciliary space as a suitable pathway for glaucoma surgery: ho-hum or home run? *Surv Ophthalmol.* 2017;62(6):828-837.
136. Myers JS. Three-year follow-up outcomes after MIGS with two trabecular micro-bypass stents, one suprachoroidal stent and travoprost in patients with refractory OAG and prior trabeculectomy. Paper presented at: AGS Annual Meeting; March 3, 2016; Fort Lauderdale, FL.
137. Junemann A. Twelve-month outcomes following *ab interno* implantation of suprachoroidal stent and postoperative administration of travoprost to treat open angle glaucoma. Paper presented at: ESCRS Annual Meeting; 2013; Amsterdam, Netherlands.
138. Multicenter investigation of the Glaukos suprachoroidal stent model G3 in conjunction with cataract surgery. <https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT01461278?term=glaukos&rank=2>. Accessed May 1, 2019.
139. Fili S, Wölfelschneider P, Kohlhaas M. The STARflo glaucoma implant: preliminary 12 months results. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2018;256:773-81.
140. <https://www.istar-medical.com/treatments/miniject-migs/>
141. iStar Medical. iStar Medical's Miniject maintains exceptional results in first-in-human trial one year post-surgery (STAR-I) [press release]. December 19, 2018. www.istarmed.com/wp-content/uploads/2018/12/iSTAR_MINiject-FIH-trial-1-year-results-EN.pdf.
142. <https://www.istar-medical.com/1000-patients-benefiting-from-miniject/?categorieSource=63>
143. Gedde SJ, Feuer WJ, Shi W, Lim KS, Barton K, Goyal S, *et al.* Treatment outcomes in the primary tube versus trabeculectomy study after 1 year of follow-up. *Ophthalmology.* 2018;125(5):650-63.
144. Jones JP, Fong DS, Fang EN, Mesirov CA, Patel V. Characterization of glaucoma medication adherence in Kaiser Permanente Southern California. *J Glaucoma.* 2016;25(1):22-6.
145. Gedde SJ, Schiffman JC, Feuer WJ, Herndon LW, Brandt JD, Budenz DL. Treatment outcomes in the Tube Versus Trabeculectomy (TVT) study after five years of follow-up. *Am J Ophthalmol.* 2012;153(5):789-803.e2.
146. Tan NE, Tracer N, Terraciano A, Parikh HA, Panarelli JF, Radcliffe NM. Comparison of safety and efficacy between *ab interno* and *ab externo* approaches to Xen Gel Stent placement. *Clin Ophthalmol.* 2021;15:299-305.
147. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Conventional_surgery_to_treat_glaucoma_EDA11.JPG
148. Cairns JE. Trabeculectomy. Preliminary report of a new method. *Am J Ophthalmol.* 1968;66:673-9.
149. AGIS Investigators. The Advanced Glaucoma Intervention Study (AGIS): 11. Risk factors for failure of trabeculectomy and argon laser trabeculectomy. *Am J Ophthalmol.* 2002;134:481-98.
150. <https://www.associationfranceglaucome.fr/le-traitement-chirurgical-du-glaucome-en-2020/>
151. <https://eyewiki.aao.org/Trabeculectomy>
152. Mendrinós E, Mermoud A, Shaarawy T. Nonpenetrating glaucomasurgery. *Surv Ophthalmol.* 2008;53:592-630.
153. Rulli E, Biagioli E, Riva I *et al.* Efficacy and safety of trabeculectomy vs nonpenetrating surgical procedures: a systematic review and meta-analysis. *JAMA Ophthalmol.* 2013;131:1573-82
154. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-64855-2_4
155. <https://www.college-optometrists.org/professional-development/college-journals/optometry-in-practice/all-oip-articles/volume-16-issue-4/2015-11-non-penetratingglaucomasurgery>
156. Xiao JY, Liang AY, Wang YL, Cheng GW, Zhang MF. Efficacy and safety of non-penetrating glaucoma surgery with phacoemulsification versus non-penetrating glaucoma surgery: a Meta-analysis. *Int J Ophthalmol.* 2021 Dec 18;14(12):1970-1978. doi: 10.18240/ijo.2021.12.24. PMID: 34926216; PMCID: PMC8640778.