



Médication soutenue, MIGS, MIBS et implants • Partie IV

Implant XEN *ab externo*

Même si l'utilisation de l'approche *ab externo* diminue de plus en plus depuis l'avènement de l'approche *ab interno* ($\pm 4\%$), certains chirurgiens l'utilisent encore¹⁴⁹.

Au fil du temps, les chirurgiens ont développé une approche *ab externo* de l'implantation du Xen qui élimine les incisions cornéennes pendant l'opération tout en permettant de choisir le meilleur emplacement et même de retirer l'endoprothèse et de la placer une seconde fois si nécessaire. Comme nous ouvrons la conjonctive, nous pouvons appliquer de la mitomycine C (MMC) directement sur la sclérotique, cautériser les vaisseaux, effectuer une ténonectomie si nécessaire et repositionner directement l'endoprothèse si besoin est. L'aiguillage postopératoire de l'hémorragie est moins fréquent¹⁵⁰.

Après réalisation de l'anesthésie topique, le chirurgien réalise une boutonnière conjonctivale en nasal supérieur. Il imbibe ensuite des petites éponges d'antimitotique (antimétabolite), et les positionne en sous-conjonctival, par la boutonnière, au niveau de la future bulle de filtration. Après 1 à 2 minutes, il lave abondamment la surface oculaire de façon à éliminer le maximum d'antimitotique. Il injecte ensuite le XEN® Gel Stent à 3 mm du limbe, vers la chambre antérieure. Un contrôle gonioscopique permet ensuite de vérifier le bon positionnement du XEN® Gel Stent. La conjonctive est ensuite suturée par deux points de Vicryl 8.0¹⁴⁹.

Technique *ab externo*

Voici les étapes de base de l'implantation *ab externo*.

1. Réaliser une péritomie sous-conjonctivale, en interrompant l'insertion de l'endoprothèse de Tenon 1 à 2 mm derrière le limbe pour éviter qu'elle n'enserme l'endoprothèse et n'obstrue le flux postérieur.



2. Créer une poche conjonctivale. Envisager une cautérisation sclérale si cela s'avère utile. Envisager une ténonectomie si le fascia de Tenon semble exceptionnellement épais. Placez deux éponges imbibées de mitomycine dans la poche et retirez-les après 1 à 2 minutes. Les éponges placées directement sur la sclérotique sont bien adaptées pour arrêter la fibrose près de l'endoprothèse et du site d'incision.
3. Utiliser une solution saline équilibrée pour effectuer une hydrodissection de la poche conjonctivale tout en rinçant l'aMMC. Cela favorise la formation de grandes bulles.
4. En utilisant le système d'insertion Xen (le même que celui utilisé pour la mise en place *ab interno*), injecter l'endoprothèse environ 2 à 3 mm derrière le limbe, en pénétrant dans la chambre antérieure. Veiller à placer l'endoprothèse près de l'iris et suffisamment loin de la cornée pour éviter tout risque de décompensation cornéenne. Une fois l'endoprothèse placée, on peut facilement l'ajuster à l'aide d'une pince.
5. Fermer l'incision avec deux sutures interrompues en nylon 10-0, en veillant à obtenir une fermeture étanche. Le flux est dirigé vers l'arrière et une fuite de l'hématome est possible, mais peu probable.
6. Injecter un antibiotique et un stéroïde¹⁵⁰.

Potentiel d'une technique transconjonctivale

Une deuxième approche *ab externo* du Xen se dessine : l'injection transconjonctivale. Elle ne prend que quelques instants et l'injecteur est le seul outil. Avec cette technique, l'aMMC est injectée et l'endoprothèse est placée à travers la conjonctive (en entrant dans la conjonctive 8 mm en arrière du limbe) et entre ensuite dans la sclérotique 2 à 3 mm en arrière du limbe, comme avec la technique *ab externo* précédente. Si les chirurgiens obtiennent des données montrant que cette technique est viable, sa rapidité et sa simplicité pourraient en faire une bonne option pour les urgences ou pour les patients moins susceptibles de cicatriser, en particulier si elle peut être réalisée au cabinet.

Comparaison des résultats d'une endoprothèse en gélatine de 45 µm placée *ab externo* avec une conjonctive ouverte et *ab externo* avec une conjonctive fermée

Objectif : Comparer les résultats d'une endoprothèse en gélatine (XEN45 Gel Stent [XGS]) placée soit *ab externo* avec conjonctive ouverte (AEO), soit *ab externo* avec conjonctive fermée (AEF) avec ou sans chirurgie de la cataracte chez des patients atteints de glaucome¹⁵¹.

Conception : Étude comparative rétrospective non randomisée.

Participants : Un total de 86 yeux de 86 patients atteints de glaucome qui ont reçu XGS placée soit AEO (N = 49) ou AEF (N = 37) avec ou sans chirurgie de la cataracte entre mai 2019 et avril 2022 au Massachusetts Eye and Ear.

Méthodes : Revue et analyse de 809 visites à partir des dossiers patients d'un centre de triage de niveau 3.

Principaux indicateurs de résultats : Pression intraoculaire (PIO), charge médicamenteuse, taux de réussite de Kaplan-Meier (KM), impact du 5-fluorouracile (5-FU) et complications.

Résultats : Les données démographiques de base étaient similaires dans les deux groupes, à l'exception de la PIO de base et du type de glaucome. Les procédures AEO et AEF ont toutes deux entraîné des schémas significatifs de réduction de la PIO et de la médication depuis le début jusqu'à un an. La procédure AEO a eu des taux de réussite qualifiée (QS) de KM significativement plus élevés que la procédure AEF, mais des taux de réussite complète (CS) similaires. Selon la méthode QS, la probabilité cumulative de survie était de 73 % dans le groupe AEO et de 51 % dans le groupe AEF au mois 6, et de 62 % dans le groupe AEO et de 20 % dans le groupe AEF à l'année 1. Sous CS, la probabilité cumulative de survie était de 41 % dans le groupe AEO et de 37 % dans le groupe AEF au 6^e mois, de 29 % dans le groupe AEO et de 14 % dans le groupe AEF à l'année 1.

La procédure AEO a permis une réduction de la PIO significativement plus importante que la procédure AEF à tous les moments postopératoires au-delà de la semaine 2, mais une réduction similaire de la charge médicamenteuse. À la première année postopératoire (POY1), la PIO moyenne a été réduite à 10,72 ± 5,71 mm Hg avec 1,16 ± 1,68 médicament après l'OEA et à 17,03 ± 2,37 mm Hg avec 1,59 ± 1,21 médicament après l'AEF. La phacoémulsification (phaco) n'était pas un facteur significatif, tandis que l'utilisation du 5-FU tendait à devenir significative. La durée de l'intervention était plus longue pour l'OEA XGS autonome.

Conclusions : Nous avons démontré que les deux placements réduisent la médication et la PIO par rapport à la ligne de base, le placement AEO ayant des taux de réussite XGS et un contrôle de la PIO plus favorables aux dépens d'une durée de procédure plus longue et d'une utilisation plus importante de 5-FU.

Drain Ex-PRESS

Drain miniature pour glaucome Ex-PRESS

Le drain pour glaucome Ex-PRESS (fabriquée par Alcon) est un implant miniature biocompatible en acier inoxydable. Il est placé sous un rabat scléral dans la chambre antérieure pour faciliter le drainage et former une bulle, comme dans le cas d'une trabéculéctomie traditionnelle. Une aiguille de calibre 25 est utilisée pour pénétrer dans la chambre antérieure au niveau de la ligne grise sous le rabat scléral, suivie de l'insertion de ce dispositif. Comme il n'y a pas de sclérectomie ou d'iridectomie, l'inflammation postopératoire est moindre. Cette trabéculéctomie modifiée peut être combinée à une opération de la cataracte. Dans une série de cas comparatifs portant sur 345 yeux, la réussite chirurgicale a été de 94,8 % dans le groupe Ex-PRESS seul (suivi moyen : 25,7 mois, intervalle 1-46 mois) et de 95,6 % dans le groupe Ex-PRESS combiné à l'extraction de la cataracte (suivi moyen : 21,9 mois (intervalle 1,9 -46 mois)). Une autre étude rétrospective a révélé des profils d'efficacité et de sécurité similaires entre la dérivation Ex-PRESS et la trabéculéctomie standard, bien que le coût de la dérivation Ex-PRESS soit considérablement plus élevé¹⁵².

Dispositif de filtration du glaucome EX-PRESS : efficacité, sécurité et prévisibilité

L'implantation de l'EX-PRESS est techniquement plus simple que la trabéculéctomie, avec moins d'étapes chirurgicales. La récupération de la vision a été plus rapide après l'implantation de l'EX-PRESS qu'après la trabéculéctomie¹⁵².

La variation de la pression intraoculaire est plus faible pendant la période postopératoire précoce, ce qui indique une procédure plus prévisible. Bien que l'efficacité de l'implant EX-PRESS soit comparable à celle de la trabéculéctomie, les complications postopératoires semblent moins fréquentes après l'implantation de l'EX-PRESS qu'après la trabéculéctomie. Le dispositif de filtration du glaucome EX-PRESS semble être sûr et efficace dans le traitement chirurgical du glaucome à angle ouvert¹⁵³.

Le dispositif de filtration EX-PRESS pour le glaucome (Alcon Laboratories, Fort Worth, TX, É.-U.) a été approuvé en 2002 par la Food and Drug Administration des États-Unis. Il s'agit d'un dispositif de filtration en acier inoxydable, sans valve, conçu pour dériver l'humeur aqueuse de la chambre antérieure vers une bulle de filtration sous-conjonctivale. La biocompatibilité du dispositif a été démontrée pour la première fois sur des yeux de lapin, l'examen histopathologique n'ayant révélé que peu ou pas d'inflammation¹⁵⁴. Le dispositif mesure 2,64 mm de long et est disponible avec une lumière interne de 50 ou 200 µm. Conçu à l'origine pour être placé directement sous la conjonctive, le dispositif a d'abord été associée à des complications telles que l'érosion conjonctivale, l'extrusion, l'hypotonie et d'autres effets indésirables¹⁵⁵⁻¹⁵⁷. On a modifié le procédé pour placer le dispositif sous un lambeau scléral d'épaisseur partielle, ce qui a largement éliminé le risque d'hypotonie, d'érosion et d'extrusion¹⁵⁸. Le placement du dispositif EX-PRESS sous un lambeau scléral d'épaisseur partielle a été largement adopté et est désormais la technique recommandée pour la mise en place du dispositif.

Le dispositif de filtration du glaucome EX-PRESS a été approuvé pour abaisser la pression intraoculaire chez les patients souffrant d'un glaucome non contrôlé, y compris ceux chez qui les traitements médicaux et chirurgicaux conventionnels ont échoué. Le dispositif étant placé dans l'angle de la chambre antérieure, son utilisation est contre-indiquée chez les patients atteints de glaucome aigu à angle fermé. La prudence est de mise chez les patients présentant des angles étroits, à moins que la procédure ne soit combinée à une opération de la cataracte. Cependant, le risque d'occlusion du dispositif est faible en utilisant la version actuelle du dispositif, qui est plus courte que la version originale. Les patients dont l'uvéïte est bien contrôlée peuvent être traités, bien que les patients atteints d'uvéïte active puissent développer une occlusion du dispositif. Une utilisation prudente du dispositif est recommandée chez les jeunes patients, en raison du peu d'informations sur le suivi à long terme de l'implant¹⁵⁹.

L'étude initiale de l'implantation de l'EX-PRESS sous un lambeau scléral était une étude non comparative de 24 yeux de patients atteints de glaucome à angle ouvert dont le traitement médical et le traitement chirurgical antérieur avaient échoué¹⁵⁸⁼⁶. Dans cette étude, la pression intraoculaire a été réduite d'une moyenne de $27,2 \pm 7,1$ mm Hg en préopératoire à $14,5 \pm 5,0$ mm Hg à 12 mois ($n = 21$), et $14,2 \pm 4,2$ mm Hg à 24 mois ($n = 8$) en postopératoire, avec $P < 0,05$ sur tous les points temporels.

Plus récemment, Lankaranian et coll.¹⁶⁰ ont réalisé une étude non comparative sur les résultats de l'implant EX-PRESS chez 100 patients atteints de glaucome et ayant des antécédents de chirurgie de la cataracte ou d'échec de chirurgie du glaucome.

Le succès a été défini comme complet si la pression intraoculaire était comprise entre 5 et 21 mm Hg sans médication ni intervention chirurgicale, et qualifié si la pression intraoculaire se situait dans la même fourchette, mais avec un médicament contre le glaucome. Une réussite complète a été constatée chez 60 % des patients et 24 % étaient des réussites qualifiées, avec une baisse de la pression intraoculaire d'une pression intraoculaire préopératoire moyenne de $27,7 \pm 9,2$ mm Hg à $14,02 \pm 5,1$ mm Hg lors du dernier suivi.

Les résultats à long terme après l'implantation du dispositif EX-PRESS ont été rapportés dans une étude rétrospective des dossiers de 248 patients traités avec l'implant EX-PRESS¹⁶¹. Cent trente-six yeux (55 %) ont subi une implantation EX-PRESS seule, tandis que 112 yeux (45 %) ont subi une extraction de la cataracte combinée à une implantation EX-PRESS, les résultats des deux groupes étant regroupés. La pression intraoculaire préopératoire moyenne a diminué de $27,63 \pm 8,26$ mm Hg ($n = 248$) à $13,95 \pm 2,70$ mm Hg ($n = 95$) à 5 ans. Avec une définition du succès complet comme une pression intraoculaire postopératoire de 5-18 mm Hg sans médication contre le glaucome, et un succès qualifié comme la même plage de pression intraoculaire, mais avec ou sans médication, les taux de succès complet et qualifié étaient 83 % et 85 %, respectivement, à 1 an, et 57 % et 63 %, respectivement, à 5 ans de suivi.

Une étude prospective comparative menée par de Jong¹¹ a examiné les résultats de l'EX-PRESS sur 40 yeux par rapport à la trabéculéctomie sur 40 yeux. Les patients du groupe EX-PRESS présentaient une réduction de 42,0 % de la pression intraoculaire à 12 mois, tandis que les patients du groupe trabéculéctomie présentaient une réduction de 29,3 % ($P = 0,05$). Le succès complet a été défini comme une pression intraoculaire de 4 à 18 mm Hg sans utilisation de médicaments antiglaucomeux, ce qui a été atteint chez 81,8 % des patients du groupe EX-PRESS et 47,5 % des patients du groupe trabéculéctomie ($P = 0,002$). Les résultats de ces patients après une période de suivi plus longue ont été publiés dans un article ultérieur par de Jong et coll.¹⁶².

Trente-neuf yeux de chaque groupe de l'étude originale ont été inclus. La tendance à une meilleure réduction de la pression intraoculaire dans le groupe EX-PRESS par rapport au groupe trabéculéctomie s'est maintenue jusqu'à l'année 3. Après la troisième année et jusqu'à la cinquième année, la différence de pression intraoculaire entre les deux groupes n'était pas significative. De même, plus de patients ont obtenu un succès complet dans le groupe EX-PRESS que dans le groupe trabéculéctomie à 3 ans (66,7 % contre 41,0 %, $P = 0,02$), mais cette différence n'était plus statistiquement significative à 5 ans (59,0 % contre 46,2 %, $P = 0,25$). Dans l'ensemble, ces études suggèrent que le contrôle de la pression intraoculaire avec l'implant EX-PRESS est comparable à celui de la trabéculéctomie.

Une série rétrospective a comparé 35 procédures EX-PRESS consécutives à 35 procédures de trabéculéctomie standard consécutives¹⁶³. La pression intraoculaire dans le groupe EX-PRESS était plus élevée que dans le groupe trabéculéctomie à un an et lors du dernier suivi ($P = 0,004$ et $P = 0,008$, respectivement). Cependant, les réductions globales de la pression intraoculaire au dernier suivi étaient similaires, avec une réduction de 45 % dans le groupe EX-PRESS et de 48,45 % dans le groupe trabéculéctomie ($P = 0,209$).

En outre, les taux de réussite n'étaient pas significativement différents entre les groupes. Le succès non qualifié a été défini comme une pression intraoculaire de 5-18 mm Hg et une réduction d'au moins 30 % de la pression intraoculaire sans l'utilisation de médicaments contre le glaucome et un succès qualifié comme la même chose, mais avec médication. Un succès non qualifié a été obtenu dans 77,14 % des procédures EX-PRESS et 74,29 % des trabéculotomies lors du dernier suivi (P = 1,00), et des succès qualifiés ont été constatés dans 5,71 % des yeux EX-PRESS et 8,57 % des yeux trabéculotomisés (P = 0,99).

D'autres études ont révélé des taux de réussite comparables entre les yeux traités par EX-PRESS et ceux traités par trabéculotomie standard. Marzette et Herndon¹⁶⁴ ont comparé rétrospectivement 77 yeux traités par trabéculotomie à 76 yeux traités par implants EX-PRESS, et ont inclus les patients qui avaient également subi une phacoémulsification au moment de l'opération. Le succès complet a été défini comme une pression intraoculaire de 5 à 21 mm Hg sans médication supplémentaire ou chirurgie du glaucome, et le succès qualifié comme la même chose, mais avec un médicament contre le glaucome. Le taux de succès global (total et qualifié) n'était pas statistiquement différent entre les deux groupes, avec des taux de succès de 82 % et 71 % dans les groupes EX-PRESS et trabéculotomie, respectivement. Il n'y avait pas de différence statistiquement significative dans le pourcentage de réduction de la pression intraoculaire, avec une réduction moyenne de 42 % dans les deux groupes.

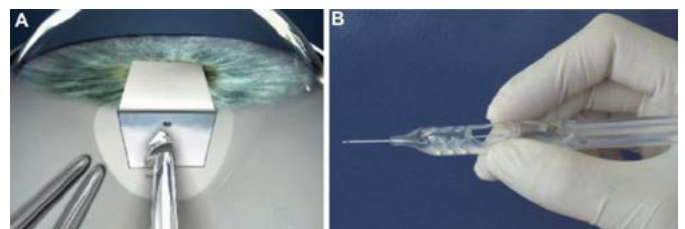
Moisseiev et coll.¹⁶⁵ ont également réalisé une étude rétrospective comparant l'EX-PRESS dans 39 yeux à la trabéculotomie dans 61 yeux. Dans cette étude, il n'y avait pas de différence significative dans la réduction de la pression intraoculaire ou dans les taux de réussite entre les deux groupes. Le succès a été défini comme une réduction de 20 % de la pression intraoculaire par rapport à la valeur préopératoire ou une pression intraoculaire inférieure à 20 mm Hg, avec 86,9 % du groupe trabéculotomie et 84,6 % du groupe EX-PRESS ayant obtenu un succès chirurgical.

Les preuves les plus solides de l'efficacité du dispositif EX-PRESS sont rapportées dans des essais cliniques prospectifs randomisés. Un vaste essai prospectif randomisé multicentrique mené par Netland et coll.¹⁶⁶ a porté sur 59 yeux traités par l'implant EX-PRESS et 61 yeux traités par trabéculotomie. La pression intraoculaire moyenne était similaire dans les deux groupes au cours du suivi postopératoire, avec une pression intraoculaire moyenne de $14,7 \pm 4,6$ mm Hg dans le groupe EX-PRESS et de $14,6 \pm 7,1$ mm Hg dans le groupe trabéculotomie deux ans après l'opération (P = 0,927). Avec un succès défini comme une pression intraoculaire de 5-18 mm Hg avec ou sans médication, et sans autre chirurgie du glaucome, les taux de succès étaient de 90 % et 87 % à 1 an, et 83 % et 79 % à 2 ans dans les groupes EX-PRESS et trabéculotomie, respectivement (P = 0.563).

Une étude prospective randomisée menée par Wagschal et coll.¹⁶⁷ a inclus 33 sujets recevant le dispositif EX-PRESS et 31 subissant une trabéculotomie. Après un an, la réduction de la pression intraoculaire était similaire dans les deux groupes, avec une réduction de 47 % dans le groupe trabéculotomie et de 50 % dans le groupe EX-PRESS. La pression intraoculaire moyenne n'était pas significativement différente entre les groupes à toutes les visites.

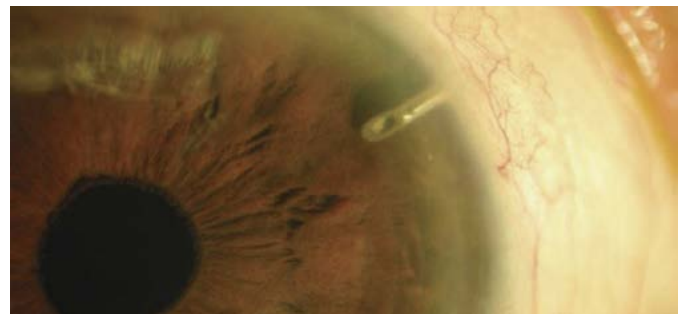
Un succès complet, défini par une pression intraoculaire comprise entre 5 et 18 mm Hg et une réduction de 20 % de la pression intraoculaire par rapport à la valeur de référence sans médication, a été constaté dans 57 % du groupe trabéculotomie et 70 % du groupe EX-PRESS (P = 0,28), tandis qu'un succès qualifié (même définition, mais avec des médicaments hypotenseurs) a été obtenu par 77 % des patients des deux groupes.

Dans une étude prospective randomisée portant sur 15 patients, Dahan et coll.¹⁶⁸ ont comparé la trabéculotomie et l'implantation d'EX-PRESS dans les yeux d'un même patient. Dans cette étude, les yeux traités par implantation d'EX-PRESS présentaient une pression intraoculaire moyenne postopératoire et un nombre de médicaments significativement inférieurs à ceux du groupe trabéculotomie. Les taux de réussite complète (pression intraoculaire de 5 à 18 mm Hg sans médication) étaient plus élevés après l'implantation de l'EX-PRESS qu'après la trabéculotomie (P = 0,0024).



Le dispositif de filtration du glaucome EX-PRESS est placé sous un lambeau scléral d'épaisseur partielle par une aiguille de calibre 25 au niveau du limbe. Remarques : (A) Le dispositif modèle P-50 a un diamètre interne de 50 µm, un diamètre externe de 0,4 mm et une longueur de 2,64 mm. (B) Le dispositif EX-PRESS est préchargé pour l'implantation sur un système de livraison manuel. Images fournies avec l'aimable autorisation d'Alcon inc.

L'un de ces dispositifs, la mini dérivation Ex-Press pour le glaucome, est disponible au niveau international depuis près de 20 ans et a été implanté chez près de 100 000 patients dans le monde. Ce dispositif est conçu pour dériver l'eau de la chambre antérieure vers un réservoir sous-conjonctival. Une trabéculotomie crée un réservoir conjonctival ou une bulle filtrante¹⁶⁹.



L'implant Ex-Press est un tube en acier inoxydable sans valve qui a été conçu pour améliorer la trabéculotomie standard. La technique chirurgicale ne nécessite pas de sclérostomie ni d'iridectomie. Le dispositif est inséré dans la chambre antérieure sous un volet scléral. Pour que le patient puisse bénéficier de l'implant Ex-Press, il faut qu'il y ait suffisamment d'espace dans l'angle de la chambre antérieure pour que le dispositif puisse être mis en place. Ex-Press est donc contre-indiqué en cas de fermeture aiguë ou chronique de l'angle, d'angle étroit, de microphthalmie et de nanophthalmie.

Drain Ex-Press modèle R-50 Pointe biseautée pour une insertion facile



Drain Ex-PRESS modèle P50/200 Canal vertical pour l'écoulement postérieur



Après l'implantation du dispositif Ex-Press, l'eau est dirigée vers un réservoir sous-conjonctival, de manière similaire aux résultats de la trabéculéctomie, sans ablation de la sclérotique ou de l'iris, selon des études publiées récemment dans l'*International Journal Ophthalmology*¹⁷⁰ et le *Journal of Ophthalmology*¹⁷¹.

Une revue systématique et une méta-analyse publiées récemment dans l'*International Journal of Ophthalmology*¹⁷⁰ ont montré que la trabéculéctomie et le dispositif Ex-Press présentaient une efficacité équivalente dans la réduction de la PIO. Cependant, l'Ex-Press était associé à un risque plus faible d'hypotonie et d'hyphéma que la trabéculéctomie.

Cette analyse a porté sur 11 études comparant l'efficacité de l'Ex-Press à celle de la trabéculéctomie. L'efficacité de l'Ex-Press s'est avérée similaire à celle de la trabéculéctomie en ce qui concerne la réduction de la PIO à un an et à deux ans de suivi. (P = 0,50 et différence moyenne pondérée [DMP] : 2,89; intervalle de confiance à 95 % [IC] : -8,05-13,83; P = 0,60, respectivement).

L'implantation du dispositif Ex-Press a été associée à un taux de succès complet et qualifié significativement plus élevé (odds ratio [OR] : 1,59; IC à 95 % : 1,07-2,35; P = 0,02 et OR : 1,74; IC à 95 % : 1,06-2,86; P = 0,03, respectivement). La fréquence de l'hypotonie et de l'hyphéma était significativement plus faible après la procédure d'implantation d'Ex-Press qu'après la trabéculéctomie (OR : 0,39; IC à 95 % : 0,21-0,72; P = 0,003 et OR : 0,27; IC à 95 % : 0,10-0,69; P = 0,003, respectivement).

Cibler le canal de Schlemm Viscocanalostomie

La viscocanalostomie est une procédure non pénétrante visant à augmenter la facilité d'écoulement en créant des changements morphologiques significatifs au niveau du réseau trabéculaire. Il s'agit d'une procédure efficace pour abaisser la pression intraoculaire (PIO) dans les yeux glaucomateux à angle ouvert. Par rapport à la trabéculéctomie, les études de méta-analyse ont montré que les PIO finales sont significativement plus élevées. Néanmoins, la viscocanalostomie est une technique plus sûre qui présente beaucoup moins de complications que la trabéculéctomie.

La viscocanalostomie est donc une meilleure option dans les yeux où les PIO cibles se situent dans la moyenne haute, ou dans les yeux présentant un risque élevé de complications avec la trabéculéctomie¹⁷².

Technique opératoire

La viscocanalostomie est une technique chirurgicale exigeante qui nécessite une longue courbe d'apprentissage¹⁷³. Tout d'abord, un lambeau conjonctival basé sur le fornix est créé. Ensuite, un lambeau parabolique externe de 5 x 5 mm, d'une épaisseur d'environ 200 µm, est disséqué, suivi d'un lambeau scléral interne concentrique de 4 x 4 mm sculpté sous le précédent. Le lambeau interne doit être disséqué assez profondément pour avoir un réflexe sombre de la choroïde sous-jacente. Pendant que la coupe est avancée vers l'avant, le canal de Schlemm est désobstrué. Les deux ostia du canal de Schlemm sont ensuite canulés avec la canule spécifique de 190 µm et le canal de Schlemm est dilaté par des injections lentes et répétées de hyaluronate de sodium de haut poids moléculaire. Lors d'une canaloplastie, la dilatation du canal de Schlemm se fait par cathétérisme de toute la longueur du canal à l'aide d'un microcathéter et par libération contrôlée de hyaluronate de sodium de poids moléculaire élevé à l'intérieur de tout le canal. Une suture en polypropylène 10-0 est ensuite passée à l'intérieur du canal et, à travers une boucle de suture, serrée pour distendre le réseau trabéculaire vers l'intérieur en mettant le tissu en tension.

En tirant doucement le volet scléral interne vers le haut et en appuyant délicatement sur le fond du canal et la membrane de Descemet avec la pointe d'un coton-tige, la membrane elle-même est alors séparée de la cornée et le clivage est avancé dans la cornée claire sur environ 1 mm, créant ainsi ce que l'on appelle la «fenêtre trabéculo-descémétique». Dès que la fenêtre est terminée, le volet scléral interne est excisé. L'étape suivante consiste à sceller le lac en suturant fermement le volet scléral externe à l'aide de sept points de nylon 10-0. Du hyaluronate de sodium de haut poids moléculaire est ensuite injecté sous le rabat pour remplir temporairement l'espace intrascléral et éviter qu'il ne s'effondre et ne se cicatrise au début de la période postopératoire. Enfin, la conjonctive est suturée en place.

La viscocanalostomie augmente l'écoulement aqueux par différentes voies. L'injection de viscoélastique dans le canal dilate non seulement le canal et les collecteurs associés, mais perturbe également les parois internes et externes du canal de Schlemm et les couches trabéculaires adjacentes, augmentant ainsi la facilité d'écoulement trabéculaire et faisant en sorte que la procédure agisse comme une «micro-trabéculotomie»¹⁷⁴. La facilité d'écoulement de l'eau est également augmentée par la lésion de la paroi interne du canal de Schlemm et du trabéculum adjacent sur le site de l'opération, ce qui favorise l'écoulement de l'eau dans le lac scléral. À partir de là, l'eau peut quitter l'œil par trois voies différentes :

- par les extrémités coupées et les secteurs précédemment non fonctionnels du canal de Schlemm vers les canaux collecteurs;
- par filtration externe dans l'espace sous-conjonctival;
- par absorption dans l'espace sous-choroïdien.

La filtration externe et les saignées filtrantes sont rares dans la viscocanalostomie et ne peuvent être détectées que par biomicroscopie ou par biomicroscopie ultrasonique dans un tiers des yeux¹⁷⁵. Une zone hypoéchogène supraciliaire, suggérant un drainage aqueux dans l'espace sous-choroïdien, a été mise en évidence par biomicroscopie ultrasonore¹⁷⁶. Dans les yeux présentant une PIO élevée après une intervention chirurgicale, une petite ouverture de la membrane trabéculo-descemetique peut être réalisée à l'aide d'un laser à grenat d'yttrium et d'aluminium dopé au néodyme (Nd:YAG). Cette procédure, appelée «goniopuncture au laser», améliore la filtration externe, modifiant ainsi le mécanisme d'action de base de la viscocanalostomie, et est indiquée dans les yeux où la dilatation du canal de Schlemm n'a pas suffi à augmenter de manière significative la facilité d'écoulement trabéculaire. Le taux de goniopuncture au laser varie selon les études sur la viscocanalostomie de 45 à 33 %¹⁷⁷. Dans une étude plus large sur la canaloplastie (une procédure avec une dilatation bien contrôlée du canal de Schlemm), la nécessité d'une goniopuncture n'était que de 4,7 %¹⁷⁸.

Résultats : La viscocanalostomie est une procédure efficace pour abaisser la PIO avec un bon profil de sécurité. Elle présente peu de complications, une gestion postopératoire facile et induit beaucoup moins de gêne oculaire que la trabéculéctomie, comme on peut s'y attendre compte tenu de l'absence de la bulle filtrante dans la majorité des cas.

Par rapport à la trabéculéctomie, même si de nombreuses études ne parviennent pas à trouver des différences significatives entre les procédures, les PIO finales semblent être plus élevées après la viscocanalostomie. Contrairement à la trabéculéctomie (qui entraîne généralement des PIO dans les dizaines inférieures), les PIO après la viscocanalostomie se situent dans la plage normale (c'est-à-dire dans les dizaines supérieures). Cela peut s'expliquer par le mécanisme d'action de la viscocanalostomie, qui repose sur l'augmentation de la facilité d'écoulement à travers le réseau trabéculaire.

Une comparaison directe entre les différentes études visant à comparer la viscocanalostomie à la trabéculéctomie est difficile, car les critères de réussite, la durée du suivi et les techniques sont différents. De nombreux articles traitent également de la viscocanalostomie et de la chirurgie de la cataracte combinées. En 2001, Jonescu-Cuipers et coll.¹⁷⁹, ont montré à six mois un taux de succès complet (PIO <20 mm Hg) de 0 % après viscocanalostomie et de 50 % après trabéculéctomie sur 20 yeux. En 2002, le même groupe de recherche⁹ a réalisé une étude sur 60 patients et a constaté qu'un an après la viscocanalostomie ou la trabéculéctomie, 30 % des patients ayant subi une viscocanalostomie présentaient une PIO <22 mm Hg sans médication, contre 56,7 % des patients ayant subi une trabéculéctomie¹⁸⁰.

La viscocanalostomie a montré beaucoup moins de complications que la trabéculéctomie. O'Brart et coll.¹⁸¹⁻¹⁸³ ont montré un taux de réussite à un an (PIO ≤ 21 mm Hg sans médication) de 100 % après trabéculéctomie avec antimétabolites et de 64 % après viscocanalostomie. Toutes les viscocanalostomies n'ont pas été réalisées selon le protocole standard, car le canal de Schlemm n'a été dilaté à l'aide d'un viscoélastique que dans la moitié des cas. Dans un essai contrôlé randomisé de 24 mois comparant la viscocanalostomie à la trabéculéctomie, Carassa et coll.¹⁷⁵ ont rapporté des niveaux de PIO finaux similaires de 16,3 ± 5,1 mm Hg après la viscocanalostomie et de 14,0 ± 4,6 mm Hg après la trabéculéctomie.

De plus, aucune différence significative n'a été trouvée entre les deux procédures avec des objectifs de PIO de ≤ 21 mm Hg (76 contre 80 %) ou < 16 mm Hg (56 contre 72 %) sans médication. Le groupe trabéculéctomie a eu plus de complications, a nécessité un nombre significativement plus élevé de visites postopératoires avec plus d'interventions supplémentaires (comme des aiguilles ou des injections de 5-fluorouracil). À 12 mois, les patients ayant subi une viscocanalostomie ont rapporté moins de gêne oculaire que les patients ayant subi une trabéculéctomie.¹⁸¹

Canaloplastie

La canaloplastie est une procédure non pénétrante qui utilise la technologie des microcathéters. Pour réaliser une canaloplastie, une incision est pratiquée dans l'œil afin d'accéder au canal de Schlemm de la même manière qu'une viscocanalostomie. Un microcathéter contourne le canal autour de l'iris, élargissant le canal de drainage principal et ses petits canaux collecteurs grâce à l'injection d'un matériau stérile, semblable à un gel, appelé viscoélastique. Le cathéter est ensuite retiré et une suture est placée dans le canal et serrée. L'ouverture du canal permet de réduire la pression à l'intérieur de l'œil. La canaloplastie présente deux avantages principaux par rapport aux chirurgies traditionnelles du glaucome. Le premier de ces avantages est un profil de sécurité amélioré par rapport à la trabéculéctomie. Comme la canaloplastie ne nécessite pas la création d'un saignement, les risques importants à long terme tels que l'infection et l'hypotonie (pression oculaire extrêmement basse) sont évités. Le deuxième avantage principal est que lorsque la canaloplastie est combinée à une opération de la cataracte, la PIO est encore plus réduite que lorsqu'elle est effectuée seule¹⁸². Des résultats à long terme (trois ans) ont été publiés aux États-Unis¹⁸² et en Europe¹⁸³, démontrant une réduction significative et durable de la pression oculaire et du nombre de médicaments nécessaires au contrôle du glaucome.

La canaloplastie est une modification de la viscocanalostomie, une forme de chirurgie non pénétrante du glaucome. Dans cette technique plus ancienne, introduite pour la première fois par Stegman et ses collègues¹⁸⁴, l'OVD était injecté dans le CS de part et d'autre d'un site de dissection sclérale externe à l'aide d'une canule métallique. La canule, parce qu'elle n'était pas flexible, ne pouvait être étendue dans le CS que sur une distance limitée et ne pouvait donc dilater qu'une partie limitée du canal, de part et d'autre du site de dissection. L'injection d'OVD provoquait une augmentation des dimensions du CS, entraînant des microruptures dans la paroi interne du canal, ainsi que dans la MT adjacente. Cela créait une connexion directe entre la chambre antérieure et la lumière du canal. Les volets scléraux créés pour découvrir le CS étaient suturés de manière étanche afin d'éviter la formation d'une bulle filtrante. Comparée à la trabéculéctomie, la viscocanalostomie s'est avérée être une procédure très sûre avec moins de complications, mais sa réduction de la PIO était inférieure¹⁸⁵. Son efficacité à long terme a été décevante, probablement en raison d'une éventuelle fermeture du CS dans la période postopératoire¹⁸⁶.

La canaloplastie présente l'avantage de pouvoir dilater le CS sur toute sa longueur à l'aide d'un microcathéter flexible¹⁸⁷. Elle présente également l'avantage d'utiliser une suture de tension permanente qui reste dans le CS pour maintenir sa dilatation au fil du temps. Koerber a rapporté une comparaison entre une canaloplastie réalisée dans un œil et une viscocanalostomie dans l'œil controlatéral.

Les yeux ayant subi une viscocanalostomie avaient une PIO postopératoire de $16,1 \pm 3,9$ sous $0,4 \pm 0,5$ médicament, avec 35,7 % de succès complet et 50 % de succès non qualifié. En revanche, les yeux ayant subi une canaloplastie avaient une PIO de $14,5 \pm 2,6$ sous $0,3 \pm 0,5$ médicament avec 60 % de succès complet et 86,7 % de succès qualifié¹⁸⁸.

La canaloplastie présente plusieurs avantages par rapport à la trabéculéctomie. Dans la plupart des cas, tant que la goniopuncture n'est pas pratiquée, il n'y a pas de saignée et les complications liées à la saignée sont donc évitées. L'hypotonie et toutes les complications qui y sont liées peuvent également être évitées dans la plupart des cas puisque l'aqueux est autorisé à s'écouler via le système d'écoulement naturel, de sorte que la PIO ne devrait pas pouvoir tomber en dessous de la pression veineuse épisclérale. Les soins postopératoires et le suivi sont également plus simples et moins rigoureux, et la récupération visuelle est généralement plus rapide. Cependant, la canaloplastie est également une opération plus difficile sur le plan technique que la trabéculéctomie et ne permet généralement pas d'obtenir une PIO aussi basse. Elle laisse également une cicatrice sur la conjonctive, ce qui peut augmenter le risque d'échec de la trabéculéctomie dans le futur, si elle s'avérait nécessaire.

Résultats : Lewis et ses collègues ont rapporté les résultats à 3 ans d'un essai multicentrique portant sur 157 yeux ayant bénéficié d'une canaloplastie *ab externo*. La PIO préopératoire était de $23,8 \pm 5$ sous $1,8 \pm 0,9$ médicament. La PIO postopératoire globale à 3 ans était de $15,2 \pm 3,5$ sous $0,8 \pm 0,9$ médicament, ce qui représente une réduction de 36,1 % de la PIO. Un sous-ensemble de 36 yeux ayant subi une chirurgie de la cataracte en même temps qu'une canaloplastie a obtenu des résultats significativement meilleurs avec une PIO de $13,6 \pm 3,6$ (une réduction de 42 %) sous $0,3 \pm 0,5$ médicaments¹⁸⁹.

La canaloplastie est considérée comme plus sûre que la trabéculéctomie, mais elle est aussi généralement considérée comme moins efficace en ce qui concerne la réduction de la PIO. Tam et ses collègues ont remis en question cette notion, en montrant que dans certaines circonstances, la canaloplastie peut donner des résultats tout à fait comparables à ceux de la trabéculéctomie. Dans leur comparaison rétrospective de 101 yeux, 50 recevant une canaloplastie et 51 recevant une trabéculéctomie, ils ont rapporté des résultats égaux en matière de PIO et d'utilisation de médicaments. La cohorte de canaloplastie est passée d'une PIO préopératoire de $26,4 \pm 6,5$ avec $3,6 \pm 0,9$ médicaments à une PIO postopératoire de $13,4 \pm 2,7$ avec $0,6 \pm 1,1$ médicament. La cohorte de trabéculéctomie est passée d'une PIO préopératoire de $26,8 \pm 8,1$ sous $3,6 \pm 1,1$ médicaments à une PIO postopératoire de $12,3 \pm 3,5$ sous $0,7 \pm 1,3$ médicament¹⁹⁰.

Les résultats chirurgicaux de la technique *ab interno* ont été rapportés par Gallardo en 2021¹⁹¹. Dans cette série de cas rétrospective, comparative et consécutive de 53 patients ayant subi une canaloplastie iTrack en tant que procédure autonome ou en combinaison avec une chirurgie de la cataracte, la pression intraoculaire a été réduite de $20 \pm 4,9$ mm Hg au départ à $13,6 \pm 1,9$ mm Hg après 24 mois de suivi, respectivement ($P < 0,001$). Cela s'est traduit par une réduction significative de l'utilisation de médicaments topiques à la fois dans le groupe de traitement autonome et dans le groupe de traitement combiné. Cette technique *ab interno* n'a donné lieu à aucun événement indésirable grave ni à aucune complication.

Canaloplastie *ab externo*

La canaloplastie nécessite l'utilisation d'un microcathéter flexible de 200 μ m de diamètre avec une pointe sans traumatisme émoussée de 250 μ m (iTrack, Nova Eye Medical Limited, Adelaide, Australie). Ce microcathéter possède une lumière interne pour l'injection de l'OVD. L'OVD est injecté via une seringue à vis qui permet d'injecter des aliquotes précises. Le microcathéter est également doté d'une fibre optique pour transmettre la lumière et est généralement utilisé avec l'illuminateur à fibre optique iLumen (Nova Eye Medical Limited, Adelaide, Australie) qui fonctionne sur batterie et qui permet à l'extrémité du microcathéter de briller en rouge ou de clignoter pour indiquer sa position dans le CS au cours de la procédure.

1. La canaloplastie peut être réalisée sous anesthésie sous-conjonctivale, sous-ténonienne ou rétrobulbaire.
2. Une péritomie conjonctivale basée sur le fornix est réalisée.
3. Un lambeau scléral superficiel d'environ 5 mm sur 5 mm est créé.
4. Un lambeau scléral profond de 4 mm sur 4 mm est ensuite créé dans les limites du lambeau superficiel, en disséquant jusqu'à 50 microns de la choroïde. Cette dissection est poursuivie jusqu'à la cornée claire. La ligne de Schwalbe est soigneusement détachée. Le lambeau interne est ensuite amputé et une large fenêtre trabéculo-descemetique de 500 microns est créée.
5. Le CS est localisé et désoperculé. Une paracentèse est créée. Le microcathéter est avancé à 360° autour du CS. La fibre optique qui éclaire l'extrémité du microcathéter permet de guider la trajectoire du cathéter au fur et à mesure de son avancement.
6. Lorsque l'extrémité distale du cathéter réapparaît au niveau du site chirurgical, une suture en polypropylène 9-0 (Prolène) y est attachée et le microcathéter est retiré à travers le canal. Toutes les deux heures d'horloge, une quantité précise d'OVD est injectée dans le CS via l'injecteur à vis. Il faut veiller à ce que le cathéter soit en mouvement perpétuel dans le CS lorsque l'OVD est injecté afin d'éviter la création d'un décollement de Descemet. Le microcathéter tire la suture Prolene autour du canal après lui.
7. Lorsque le microcathéter a complètement dégagé le canal, la suture Prolene est détachée du cathéter. La suture est ensuite serrée pour appliquer une tension modérée à long terme sur les tissus de la paroi interne du canal de Schlemm. Certains chirurgiens peuvent choisir de fixer un greffon d'espacement dans l'espace du volet scléral, comme cela se fait dans la sclérectomie profonde, pour permettre la formation d'un lac aqueux intrascléral.
8. Le volet scléral est ensuite fermé hermétiquement avec une suture en nylon 10-0 si on ne souhaite pas la formation d'une bulle. Sinon, le volet peut être laissé libre pour permettre une filtration sous-conjonctivale douce, comme lors d'une sclérectomie profonde.
9. La conjonctive est ensuite fermée¹⁹².

Cibler le corps ciliaire CW-TSCPC (cyclophotocoagulation transsclérale à ondes continues) MP-TSCPC (traitement au laser transscléral à micropulsations)

Le traitement du glaucome réfractaire comprend une variété de procédures cyclodestructrices. La première procédure cyclodestructrice au laser a été réalisée par Beckman et ses collègues en 1972, et depuis lors, plusieurs autres procédures cyclodestructrices ont été mises en œuvre (voir le tableau ci-dessous).

An	Auteur	Type de Laser
1989	Brancato et coll. ¹⁹³	Neodymium:yttrium-aluminum-garnet (Nd:TAG) laser (1064 nm)
1992	Gaasterland et coll. ¹⁹⁴	Laser à diode semi-conductrice (810 nm)
1992	Uram ¹⁹⁵	Cytophotocoagulation endoscopique
2010	Tan et coll. ¹⁹⁶	Laser à diode à micropulsations

La cyclophotocoagulation transsclérale traditionnelle par diode (TSCPC), ou cyclophotocoagulation transsclérale par diode à onde continue (CW-TSCPC), a été largement utilisée depuis qu'elle a été mise au point dans les années 1990. Dans ces procédures, un laser à diode cible et détruit l'épithélium pigmenté du corps ciliaire, diminuant ainsi la production d'humeur aqueuse. Cependant, le laser délivré à une dose continue entraîne souvent des dommages collatéraux importants aux tissus, contribuant à de graves complications, telles que l'uvéïte, la perte de vision, l'hypotonie chronique, le décollement de la choroïde et, plus rarement, la phtisie bulbeuse et l'ophtalmie sympathique.

La cyclophotocoagulation transsclérale à diode par micro-impulsions (MP-TSCPC) a donc été mise au point ces dernières années comme une approche de rechange, potentiellement plus sûre, de la cyclodestruction.

La principale différence entre la MP-TSCPC et la TSCPC traditionnelle est que la MP-TSCPC délivre une série d'impulsions courtes et répétitives d'énergie alternant avec des périodes de repos entre les impulsions. On pense que cela permet une « période de refroidissement » avec une dissipation thermique entre les impulsions, ce qui réduit potentiellement les dommages collatéraux aux tissus.

Indications

La MP-TSCPC a été principalement utilisée pour abaisser la pression intraoculaire dans les cas de glaucome réfractaire. Alors que la TSCPC traditionnelle n'est généralement utilisée que dans les cas réfractaires avec un faible potentiel visuel, la MP-TSCPC peut également être utilisée dans les yeux qui voient et qui ont un bon potentiel visuel.

La MP-TSCPC peut être pratiquée sur des yeux qui ont déjà subi une chirurgie incisionnelle du glaucome, telle qu'une trabéculéctomie, une chirurgie de dérivation tubulaire, une dérivation de régulation de pression excessive, une dérivation de glaucome miniature (Alcon, Fort Worth, TX), ou une combinaison de ces interventions¹⁹⁷. La procédure convient bien aux jeunes (plus de 45 ans) et aux personnes plus âgées (plus de 65 ans).

Aucune conclusion définitive n'a été tirée concernant l'adéquation ou l'efficacité par rapport à d'autres facteurs démographiques tels que l'appartenance ethnique du patient.

Diverses études ont démontré que la MP-TSCPC est à la fois sûre et efficace dans le traitement de divers sous-types de glaucome, y compris le glaucome primaire à angle ouvert (POAG), le glaucome par pseudo-exfoliation, le glaucome néovasculaire, le glaucome chronique par fermeture de l'angle, le glaucome à tension normale, le glaucome uvéitique et d'autres glaucomes secondaires¹⁹⁸⁻²⁰⁰.

En outre, la MP-TSCPC est de plus en plus considérée comme une thérapie précoce pour les yeux glaucomateux, ou même chez les personnes chez qui on soupçonne un glaucome²⁰⁰⁻⁸, comme un complément potentiel ou un traitement de rechange à la trabéculoplastie au laser, ou pour les patients qui ne sont pas de bons candidats pour une chirurgie incisionnelle du glaucome. La MP-TSCPC peut également être répétée dans les yeux qui n'ont pas obtenu de résultats satisfaisants après le traitement initial, bien qu'il y ait peu de preuves disponibles sur les résultats du retraitement²⁰¹.

Technique chirurgicale

La MP-TSCPC est généralement réalisée sous anesthésie surveillée et avec un bloc rétrobulbaire ou péribulbaire de 3 à 5 ml de lidocaïne à 2 %. L'instrument couramment utilisé est le système laser Cyclo G6® Glaucoma avec le dispositif MicroPulse P3® Glaucoma (Iridex Corporation, Mountain View, CA). Plus de vingt articles évalués par des pairs ont fait état de données concernant l'utilisation de ce dispositif.

Après l'anesthésie, la sonde laser à diode de 810 nm est placée perpendiculairement au limbe, tout en maintenant un contact ferme à tout moment. La sonde est réglée sur le mode d'émission de micropulsations avec des temps d'activation et de désactivation spécifiés. Le rapport cyclique est de 31,3 %, soit un temps d'activation de 0,5 ms et un temps de désactivation de 1,1 ms par cycle. Bien que 2000 mW soit la puissance la plus couramment utilisée, diverses études ont fait état de réglages allant de 1600 mW à 2500 mW.

Jusqu'à présent, il n'existe pas de protocole normalisé pour les paramètres de cette technique chirurgicale, et les réglages et la technique varient généralement en fonction des préférences du chirurgien^{201,202}. Cinq paramètres modifiables, la durée totale du traitement et la puissance, la zone traitée, la position de la sonde et la vitesse du mouvement de balayage, peuvent influencer le résultat clinique de cette technique. En règle générale, le chirurgien déplace la sonde d'un mouvement continu de balayage, ou rapide, de glissement ou de « peinture » ou lent sur le limbe supérieur et/ou inférieur (180 ou 360) de l'œil, en évitant les positions 3 et 9 heures afin de protéger les structures neurovasculaires ciliaires d'une lésion. Les bulles kystiques et autres zones de conjonctive fine doivent être évitées. La durée totale du traitement a varié entre 100 et 360 secondes par séance dans les études rapportées et, dans de nombreux cas, elle est choisie en fonction des préférences du chirurgien. Il n'existe pas de consensus sur la durée idéale du traitement, bien qu'une durée plus longue puisse être associée à une plus grande probabilité d'événements indésirables¹⁹⁷. Preda et ses collègues²⁰³ ont effectué la technique avec différentes durées de traitement au laser en fonction de la gravité des pressions intraoculaires des patients :

Groupe 1 : pression intraoculaire < 26 mm Hg pendant 80 secondes;

Groupe 2 : pression intraoculaire entre 26 et 30 mm Hg pendant 100 secondes;

Groupe 3 : pression intraoculaire entre 31 et 49 mm Hg pendant 120 secondes;

Groupe 4 : pression intraoculaire > 50 mm Hg pendant 130 secondes.

Bien que le taux de réussite varie d'un groupe à l'autre, au moins 60 % des patients ont obtenu une réduction de la pression intraoculaire postopératoire. À la fin de l'intervention, un stéroïde sous conjonctival peut être administré¹⁹⁹. Si un bloc rétrobulbaire a été réalisé, une occlusion doit être appliquée sur l'œil en postopératoire.

Soins postopératoires

En postopératoire, les patients reçoivent généralement de l'acétate de prednisolone topique à 1 % avec ou sans agent anti-inflammatoire non stéroïdien tel que le kétorolac 0,4 % ou 0,5 % pendant au moins une semaine¹⁹⁷. Un médicament cycloplégique topique peut également être ajouté[11]. Ces médicaments peuvent ensuite être diminués en fonction du niveau d'inflammation et du confort du patient²⁰⁴. Les antibiotiques topiques ne sont généralement pas nécessaires pour cette procédure non incisionnelle. Les médicaments contre le glaucome peuvent être diminués, généralement un à la fois, si la pression intraoculaire cible est atteinte après l'opération.



Cyclophotocoagulation à l'aide de la sonde MP3 chez un enfant atteint de glaucome réfractaire (avec l'aimable autorisation de l'auteur). Dr Albert S. Khouri

Résultats

La majorité des données indiquent que la MP-TSCPC a une efficacité similaire à celle de la TSCPC classique dans le traitement du glaucome réfractaire, mais avec des résultats plus cohérents et plus prévisibles. Deux principales mesures de résultats similaires à la TSCPC traditionnelle ont été rapportées. Il s'agit de **1)** la réduction de la pression intraoculaire après l'intervention et **2)** la réduction du nombre de médicaments préopératoires. Une revue systématique de la littérature a observé que, 18 mois après le traitement, 52 % des patients traités par MP-TSCPC et 30 % des patients traités par CW-TSCPC avaient réussi à maintenir une pression intraoculaire comprise entre 6 et 21 mm Hg, ce qui correspond à une réduction d'environ 30 % par rapport à leur pression intraoculaire préopératoire²⁰².

Une réduction postopératoire des médicaments a été observée à 18 mois, bien que les médicaments aient été réduits progressivement dès trois mois après l'intervention.

Les yeux ayant des antécédents de chirurgie incisionnelle du glaucome semblent avoir une probabilité plus élevée de réussite après la MP-TSCPC par rapport à ceux qui n'ont pas de voie d'écoulement chirurgicale aqueuse préexistante¹⁹⁷.

La réduction postopératoire de la pression intraoculaire est également liée aux pressions intraoculaires de base, des pressions de base plus faibles entraînant une plus grande amélioration²⁰³. En outre, une étude dans laquelle la MP-TSCPC a été réalisée avec différents réglages de puissance tout en maintenant l'application du laser constante a révélé que des réglages de puissance plus élevés étaient corrélés à une réduction accrue de la pression intraoculaire, 2000 mW entraînant une réduction de 30 % et 2500 mW entraînant une réduction de 57 %²⁰⁴.

Le taux de retraitement a également été utilisé comme mesure des résultats. Une étude a rapporté que 12 mois après la MP-TSCPC, 12 % des patients atteints de glaucome primaire à angle ouvert, 16 % des patients atteints de glaucome par pseudo-exfoliation et 41,2 % des patients atteints de glaucome secondaire ont dû subir un retraitement¹⁹⁸⁼⁶. De même, une autre étude a rapporté un taux de réussite du traitement de 73,7 % si l'on considère uniquement le traitement initial, et de 89,5 % si l'on tient compte des patients qui ont subi un retraitement²⁰⁵.

Certaines données indiquent que l'efficacité de la MP-TSCPC peut varier en fonction de l'âge du patient. Une étude comparant l'efficacité chez les adultes par rapport aux patients pédiatriques a rapporté un taux de réussite chez les adultes de 72,22 % contre 22,22 % chez les enfants²⁰⁶.

Réduction de la production aqueuse par ablation du corps ciliaire Endocyclophotocoagulation (ECP)

La cyclophotocoagulation endoscopique (ECP) est une procédure cyclodestructrice mise au point par Martin Uram en 1992. Elle vise à réduire au minimum les inconvénients des procédures cyclodestructrices plus traditionnelles tout en maximisant l'avantage de l'ablation de l'épithélium du corps ciliaire pour réduire la pression intraoculaire (PIO). Elle utilise un endoscope laser contenant trois groupes de fibres : un guide d'image, une source de lumière et un laser à diode semi-conductrice. Cette technologie permet de visualiser directement l'épithélium ciliaire. L'énergie laser peut ainsi être envoyée avec précision aux processus ciliaires, ce qui limite les dommages causés au corps ciliaire sous-jacent et aux tissus environnants²⁰⁷.

La cyclodestruction comme méthode de traitement du glaucome a été observée pour la première fois par Heine lorsqu'il a découvert que les détachements du corps ciliaire entraînaient des diminutions de la pression intraoculaire²⁰⁸. Dans les années 1960, Purnell a préconisé un rayonnement ultrasonique transscléral pour produire la destruction souhaitée²⁰⁹. Depuis lors, la cyclophotocoagulation par voie transpupillaire ou par voie transsclérale avec ou sans contact a été popularisée en utilisant une multitude de lasers différents²¹⁰.

Les diverses tentatives de diminution de la pression intraoculaire par cyclodestruction présentent un ensemble commun d'inconvénients et de complications. Avant l'ECP, les procédures de cyclodestruction impliquaient que le chirurgien tente d'ablater le tissu ciliaire avec une capacité limitée d'évaluer la précision anatomique ou l'effet qualitatif. Les complications comprennent l'hypotonie prolongée, la douleur, l'uvéite, l'hémorragie, l'épanchement choroïdien, l'ischémie du segment antérieur, la scléromalacie, l'échec et la nécessité de retraiter, ainsi que la perte visuelle postopératoire associée à l'œdème maculaire cystoïde chronique. Traditionnellement, ces procédures étaient limitées aux patients atteints de glaucome réfractaire, généralement en dernier recours après l'échec d'autres procédures chirurgicales.

.....

L'ECP permet d'appliquer la cyclodestruction de manière plus ciblée, directement sur le tissu cible, l'épithélium ciliaire, tout en réduisant au minimum les dommages collatéraux.

.....

Les études histologiques confirment qu'il y a moins de perturbations tissulaires avec l'ECP qu'avec la cyclophotocoagulation transsclérale (TSCPC)²¹¹. Lin et ses collègues²¹² ont montré que la cyclophotocoagulation transsclérale causait une grave perturbation de l'apophyse ciliaire et de la racine de l'iris et provoquait une vasculopathie occlusive jusqu'à un mois. En revanche, l'ECP n'a provoqué qu'un rétrécissement localisé de l'apophyse ciliaire. L'ECP a également provoqué une vasculopathie occlusive, mais il y a eu une reperfusion partielle à un mois. Ils ont émis l'hypothèse que le retour partiel de la circulation sanguine pouvait expliquer en partie l'absence d'hypotonie et de phtisie avec l'ECP par rapport à la TSCPC.

L'un des grands avantages de l'ECP par rapport aux techniques de cyclophotocoagulation transsclérale est la possibilité d'envoyer de l'énergie laser de manière hautement titrable sur le processus ciliaire. L'effet tissulaire optimal est de blanchir le processus ciliaire et de provoquer un rétrécissement visible du tissu. La photocoagulation est appliquée avec l'endoscope à 1,0-3,0 mm des procès ciliaires. Kahook, Noecker et leurs collègues recommandent d'utiliser le laser à une distance d'environ 2 mm de l'apophyse ciliaire. À cette distance, on peut généralement voir 6 procès ciliaires dans le champ de vision de l'endoscope. Cette distance est idéale pour réduire le plus possible la perte de transmission de l'énergie laser tout en réduisant le risque de surtraitement²¹³.

Les niveaux de puissance du laser à diode semi-conductrice de 810 nm sont augmentés à partir de niveaux de puissance inférieurs pour obtenir un blanchiment et un rétrécissement des processus ciliaires. En général, 100 à 300 mW suffisent pour obtenir l'effet désiré sur les tissus. Une application lente et continue du traitement laser permet aux chirurgiens de «peindre» méthodiquement l'ensemble de chaque processus ciliaire de manière lisse et bien contrôlée. Un traitement d'au moins 270° est souvent nécessaire pour obtenir une réduction optimale de la pression intraoculaire avec l'ECP²¹⁴.

Si l'ECP est administrée par une seule incision, la sonde endoscopique incurvée permet au chirurgien d'étendre la zone de traitement de l'apophyse ciliaire au-delà de ce qu'il peut faire avec un endoscope droit. Kahook et ses collègues ont montré qu'un traitement à 360 degrés par ECP à travers deux incisions est supérieur à un traitement partiel à travers une incision. Le traitement à 360 degrés a permis d'abaisser la PIO, de réduire davantage la charge médicamenteuse du glaucome et de réduire le nombre d'échecs thérapeutiques par rapport au traitement partiel²¹⁴.

Indications

Les indications pour la réalisation de l'ECP restent quelque peu controversées et continuent d'être débattues. À la lumière des complications potentielles associées à cette procédure, une sélection prudente des patients a été conseillée. L'ECP a été utilisée dans une grande variété de types de glaucomes, y compris le glaucome primaire à angle ouvert, le glaucome à angle fermé, le glaucome pigmentaire, le glaucome néovasculaire, le glaucome traumatique, le glaucome pédiatrique et d'autres glaucomes réfractaires²¹⁵.

Avec l'amélioration des technologies laser, l'utilisation de la transillumination sclérale, les techniques endoscopiques et la précision de la localisation du traitement ont remis en question les idées préconçues sur la place de la cyclophotocoagulation dans l'arsenal thérapeutique du glaucome. Des preuves de plus en plus nombreuses confirment que la cyclophotocoagulation est un traitement viable chez les patients atteints de glaucomes légers à modérés et contrôlés médicalement avec un bon potentiel de vision²¹⁶. À l'heure actuelle, il n'existe cependant aucune étude prospective randomisée à long terme comparant l'ECP à la cyclophotocoagulation transsclérale et à la trabéculéctomie.

Plus récemment, l'ECP a été utilisée de façon routinière en conjonction avec l'extraction de la cataracte comme chirurgie initiale du glaucome. Les premières études semblent confirmer que l'ECP est efficace pour abaisser la PIO et suggèrent un excellent profil de sécurité dans ce contexte²¹⁷. Fort d'une grande expérience avec l'ECP, Berke suggère de la pratiquer en association avec une chirurgie de la cataracte par petite incision chez les patients atteints de cataracte et de glaucome modéré sous deux ou plusieurs médicaments²¹⁸. Une cataracte visuellement significative est souvent le moteur de la décision de procéder à une phaco-ECP chez les patients souffrant à la fois de cataracte et de glaucome.

Malgré de nombreuses expériences anecdotiques positives, des études à long terme plus prospectives et bien contrôlées sont nécessaires pour déterminer avec plus de précision les avantages et les indications réels de l'ECP²¹⁹. Les pics de pression intraoculaire, l'augmentation de l'inflammation postopératoire, la dislocation de la lentille intraoculaire et l'efficacité à long terme restent des préoccupations légitimes. L'efficacité à long terme et les implications potentielles sur les maladies oculaires concomitantes restent largement inconnues, bien qu'une étude de Siegel et coll. examine rétrospectivement la durée de suivi de 72 mois de la phaco-ECP combinée avec une réduction de la thérapie hypertensive oculaire combinée à la phaco seule²²⁰.

Soins postopératoires

L'évolution postopératoire limitée après l'ECP est l'une des caractéristiques les plus souhaitables de cette procédure.

Chez la plupart des patients, la gestion postopératoire de l'ECP seule et de l'ECP combinée à une chirurgie de la cataracte est similaire à celle rencontrée lors d'une chirurgie de la cataracte seule. L'utilisation périopératoire d'un antibiotique topique à large spectre, d'acétate de prednisolone topique à 1 % ou de difluprednate topique, et d'un anti-inflammatoire non stéroïdien topique est généralement recommandée. Dans la période postopératoire immédiate, l'utilisation d'un médicament topique ou systémique contre le glaucome peut être utile pour prévenir les pics de pression intraoculaire postopératoires précoces. Avec une prise en charge précoce et agressive de l'inflammation, les complications telles que les synéchies postérieures et antérieures, l'opacification de la capsule postérieure et l'œdème maculaire cystoïde reflètent celles rencontrées chez les patients subissant une chirurgie de la cataracte seule²²¹.

.....

**Les médicaments contre le glaucome
sont souvent diminués lentement au cours
du premier ou du deuxième mois,
en fonction du niveau de la PIO
et de l'objectif du traitement.**

.....


Résultats

Berke et ses collègues²²² ont montré que dans un essai contrôlé randomisé portant sur 626 patients atteints de glaucome sous contrôle médical, la phacoémulsification combinée à l'ECP était supérieure à la phacoémulsification seule en termes de réduction de la PIO et de diminution de la charge médicamenteuse liée au glaucome. Le groupe phaco-ECP est passé d'une PIO préopératoire de 19,08 mm Hg \pm 4,14 avec 1,53 \pm 0,89 médicament à une PIO postopératoire de 15,73 mm Hg \pm 3,00 avec 0,65 \pm 0,95 médicament. Le groupe phaco seul n'a pas montré de baisse soutenue de la PIO ni de diminution de la charge médicamenteuse, passant d'une PIO préopératoire de 18,16 mm Hg \pm 3,38 avec 1,20 \pm 0,83 médicament à une PIO postopératoire de 18,93 mm Hg \pm 4,12 avec 1,20 \pm 0,87 médicament. Ils n'ont signalé aucune complication grave dans les deux groupes et les taux d'œdème maculaire cystoïde étaient les mêmes dans les deux groupes.

Chen et ses collègues²²³ ont montré que l'ECP peut être efficace dans le cas d'un glaucome réfractaire ayant échoué à une chirurgie filtrante du glaucome et à une cyclophoto-coagulation transsclérale. Ils ont rapporté une réduction de la PIO d'une valeur préopératoire de 27,7 mm Hg \pm 10,3 à une PIO postopératoire de 17,0 \pm 6,7 mm Hg lors de la dernière visite (diminution de 34 %). Ils ont rapporté un taux de réussite de 90 %, défini comme une PIO \leq 21 mm Hg. Ils ont également rapporté une réduction des médicaments contre le glaucome de 3,0 \pm 1,3 avant l'opération à 2,0 \pm 1,3 après l'opération. Seulement 6 % des patients ont subi une perte d'acuité visuelle de 2 lignes ou plus. Un exsudat de fibrine a été observé dans 24 % des cas, un hyphéma dans 12 % des cas, un EMC dans 10 % des cas et un décollement de la choroïde dans 4 % des cas. Il n'y a pas eu de complications graves telles que l'hypotonie ou la phtisie.

L'ECP se compare également favorablement à d'autres chirurgies du glaucome. Lima et ses collègues ont rapporté que dans 68 yeux pseudophaques avec des antécédents de trabéculéctomie ratée, de manière prospective, l'ECP avait un taux de réussite équivalent à celui des valves de glaucome d'Ahmed avec moins de complications²²⁴. Gayton et ses collègues, dans un essai prospectif randomisé portant sur 58 patients, ont comparé la phaco avec ECP à la phaco avec trabéculéctomie, et ont rapporté que les deux groupes avaient des taux de réussite similaires. Le groupe phaco avec trabéculéctomie avait cependant un taux de réussite plus élevé sans médicaments supplémentaires contre le glaucome²²⁵.

Tan, Noecker, Francis et leurs collègues ont rapporté de bons résultats avec l'ECP plus phaco dans une analyse rétrospective de 53 patients qui avaient un glaucome non contrôlé malgré une chirurgie antérieure du glaucome et un traitement médical maximal. Ils ont rapporté une baisse de la PIO de 27,9 mm Hg \pm 7,5 en préopératoire à 11,1 mm Hg \pm 6,5 deux ans après l'opération, avec une réduction significative de la charge médicamenteuse de 3,4 \pm 1,2 en préopératoire à 0,6 \pm 1,3 en postopératoire. En raison de la nature agressive de l'ECP plus phaco, un taux relativement élevé d'hypotonie a été signalé, environ 7,5 %, ce qui est très rare avec l'ECP standard. Un patient a souffert d'un échec de greffe de cornée en postopératoire, mais il n'y a pas eu d'autres complications graves²²⁶.

En ce qui concerne les résultats à long terme, Yap et ses collègues ont évalué les résultats à trois ans de la phaco-ECP dans des yeux présentant un POAG naïf sur le plan chirurgical. L'échec a été défini comme une PIO > 21 mm Hg, (2) une réduction < 20 % lors de deux visites consécutives ou (3) une nouvelle intervention chirurgicale visant à abaisser la PIO. Les taux de réussite aux années 1, 2 et 3 étaient respectivement de 70 %, 54 % et 45 %. La PIO moyenne avant l'opération était de 18,4 \pm 5,2 mm Hg et a été réduite de manière statistiquement significative après l'opération à 14,3 \pm 4,7 mm Hg à 1 an, 14,1 \pm 4,0 mm Hg à 2 ans et 13,6 \pm 3,7 mm Hg à 3 ans. Le nombre moyen de médicaments topiques a été réduit de manière statistiquement significative, passant de 2,7 \pm 0,9 à 1,3 \pm 1,2 à 1 an, 1,7 \pm 1,2 à 2 ans et 1,8 \pm 1,3 à 3 ans²²⁷. Dans une autre étude menée par Lindfield et ses collègues, la phaco-ECP a entraîné une diminution statistiquement significative de la PIO à tous les points temporels postopératoires lorsqu'elle a été étudiée jusqu'à 24 mois, avec une diminution moyenne de 7,1 mm Hg²²⁸. 

.....

Dispositifs conventionnels de drainage du glaucome, dispositif EX-PRESS® modifiant la trabéculéctomie et nouveaux dispositifs MIGS, résumé du statut réglementaire actuel, avantages et inconvénients de chaque groupe de dispositifs (shunts aqueux, avec ou sans valve; dispositifs MIGS, dispositifs du canal de Schlemm, suprachoroïdiens et sous-conjonctivaux) et efficacité de chaque dispositif dans la réduction de la PIO, telle que rapportée dans des études sélectionnées.

Implants conventionnels pour le glaucome et nouveaux dispositifs MIGS : un examen complet des options actuelles et des orientations futures²²⁹

Type de dispositif	Site de l'intervention anatomique	Appareil (fabricant)	Statut réglementaire	Avantages	Désavantages	% de réduction de la PIO au cours du suivi (type d'étude)
Trabéculéctomie – dispositif de modification	Espace sous-conjonctival	Dispositif de filtration EX-PRESS® pour le glaucome (Alcon Laboratories inc.)	Marquage CE, approuvé par la FDA depuis 2002	Efficacité élevée dans la réduction de la PIO; plus prévisible que la trabéculéctomie, avec moins de fluctuations de la PIO au cours de la période postopératoire précoce; les complications sont moins fréquentes par rapport à la trabéculéctomie.	Risque d'échec en raison de la fibrose sous-conjonctivale et des complications liées à l'hématome; L'hypotonie est fréquemment signalée, ainsi que l'érosion, le déplacement et le blocage de l'implant.	41,4 % à 2 ans (essai clinique prospectif et randomisé) [29]
Dispositifs de chirurgie mini invasive du glaucome (MIGS)	Canal de Schlemm	iStent® (Glaukos Corporation)	Marquage CE accordé en 2004, approbation de la FDA depuis 2012	Risque réduit d'hypotonie et de complications liées à l'hypotonie; profil de sécurité favorable.	Risque élevé de fibrose pouvant conduire à l'obstruction du dispositif; réduction modeste de la PIO, ce qui fait que ces dispositifs ne conviennent qu'aux patients atteints de glaucome léger à modéré; ne convient pas aux patients ayant une pression veineuse épiscérale élevée.	33,7 % à 1 an (essai clinique prospectif et randomisé) [30]
		iStentinject® (Glaukos Corporation)	Marquage CE délivré en 2010			31,0 % à 2 ans (essai clinique prospectif et randomisé) [31]
		iStentinject® W (Glaukos Corporation)	Approbation de la FDA depuis 2020			Aucune étude publiée
		Hydrus® Microstent (Ivantis inc.)	Marquage CE accordé en 2011, approbation de la FDA depuis 2018			37,1 % à 1 an (essai clinique prospectif et randomisé) [30]
	Espace suprachoroïdien	CyPass® Micro-Stent (Alcon Laboratories inc.)	Retiré du marché mondial en 2018	Plus efficace pour réduire la PIO que les dispositifs MIGS pour le canal de Schlemm.	Risque élevé de fibrose pouvant conduire à l'obstruction du dispositif; pics de PIO imprévisibles; risque plus élevé d'hypotonie (transitoire).	34,3 % à 5 ans a (essai clinique prospectif et randomisé) [32]
		iStent SUPRA® (Glaukos Corporation)	Marquage CE accordé en 2010, en cours d'examen par la FDA			Aucune étude publiée
		SOLX® gold shunt (SOLX inc.)	Marquage CE accordé, approuvé au Canada			35,8 % à 5 ans (essai clinique prospectif et randomisé) [33]
		STARflo ^{MC} Glaucoma Implant (iSTAR Medical)	Marquage CE délivré en 2012			38,5 % à 2 ans (étude prospective) [34]
		MINIjec ^{MC} (iSTAR Medical)	Marquage CE délivré en 2021			39,1 % à 6 mois (essai clinique prospectif à un seul groupe) [35]
	Espace sous-conjonctival	XEN® Gel Stent (Allergan inc.)	Marquage CE accordé en 2013, approbation de la FDA depuis 2016	Grande efficacité dans la réduction de la PIO, ce qui rend ces dispositifs adaptés aux patients atteints de glaucome plus sévère; la possibilité d'appliquer des agents antifibrotiques dans l'espace sous-conjonctival optimise la réponse fibrotique; la modulation de l'encapsulation des blebs est possible grâce à des techniques telles que le massage des blebs ou l'aiguilletage des blebs.	Risque d'échec dû à la fibrose sous-conjonctivale et aux complications liées à l'hémorragie.	36,3 % à 1 an (essai clinique prospectif à un seul groupe) [36]
PRESERFLO ^{MC} MicroShunt (Santen)		Marquage CE accordé en 2012, approbation de la FDA depuis 2020	46,7 % à 5 ans (essai clinique prospectif, non randomisé, à un seul groupe) [101]			

149. <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03369514/document>
150. <https://www.healio.com/news/ophthalmology/20210707/ab-externo-technique-eases-implantation-of-xen-gel-stent>
151. El Helwe H, Ingram Z, Falah H, Trzcinski J, Solá-Del Valle DA. Comparing Outcomes of 45 µm Gelatin Stent Placed *ab externo* with Open Conjunctiva to *ab externo* with Closed Conjunctiva. *Ophthalmol Glaucoma*. 2023 Aug 2:S2589-4196(23)00136-9. doi: 10.1016/j.ogla.2023.07.009. Epub ahead of print. PMID: 37536395.
152. https://eyewiki.aao.org/Techniques_for_Combined_Cataract_and_Filtering_Glaucoma_Surgery
153. Chan JE, Netland PA. EX-PRESS Glaucoma Filtration Device: efficacy, safety, and predictability. *Med Devices (Auckl)*. 2015 Sep 2;8:381-8. doi: 10.2147/MDER.S63350. PMID: 26366105; PMCID: PMC4562650.
154. Nyska A, Glovinsky Y, Belkin M, Epstein Y. Biocompatibility of the Ex-PRESS miniature glaucoma drainage implant. *J Glaucoma*. 2003;12:275-280.
155. Wamsley S, Moster MR, Rai S, Alvim HS, Fontanarosa J. Results of the use of the Ex-PRESS miniature glaucoma implant in technically challenging, advanced glaucoma cases: a clinical pilot study. *Am J Ophthalmol*. 2004;138:1049-1051. [PubMed] [Google Scholar]
156. Stewart RM, Diamond JG, Ashmore ED, Ayyala RS. Complications following Ex-Press glaucoma shunt implantation. *Am J Ophthalmol*. 2005;140:340-341. [PubMed] [Google Scholar]
157. Traverso CE, de Feo F, Messas-Kaplan A, et al. Long term effect on IOP of a stainless steel glaucoma drainage implant (Ex-PRESS) in combined surgery with phacoemulsification. *Br J Ophthalmol*. 2005;89:425-429. [PMC free article] [PubMed] [Google Scholar]
158. Dahan E, Carmichael TR. Implantation of a miniature glaucoma device under a scleral flap. *J Glaucoma*. 2005;14:98-102.
159. Salim S. The role of the Ex-PRESS glaucoma filtration device in glaucoma surgery. *Semin Ophthalmol*. 2013;28:180-184.
160. Lankaranian D, Razeghinejad MR, Prasad A, et al. Intermediate-term results of the Ex-PRESS miniature glaucoma implant under a scleral flap in previously operated eyes. *Clin Experiment Ophthalmol*. 2011;39:421-428.
161. Mariotti C, Dahan E, Nicolai M, Levitz L, Bouee S. Long-term outcomes and risk factors for failure with the EX-press glaucoma drainage device. *Eye (Lond)* 2014;28:1-8.
162. de Jong L, Lafuma A, Aguadg AS, Berdeaux G. Five-year extension of a clinical trial comparing the EX-PRESS glaucoma filtration device and trabeculectomy in primary open-angle glaucoma. *Clin Ophthalmol*. 2011;5:527-533.
163. Good TJ, Kahook MY. Assessment of bleb morphologic features and postoperative outcomes after Ex-PRESS drainage device implantation versus trabeculectomy. *Am J Ophthalmol*. 2011;151:507-513.
164. Marzette L, Herndon LW. A comparison of the Ex-PRESS™ mini glaucoma shunt with standard trabeculectomy in the surgical treatment of glaucoma. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging*. 2011;42:453-459.
165. Moisseiev E, Zunz E, Tzur R, Kurtz S, Shemesh G. Standard trabeculectomy and Ex-PRESS miniature glaucoma shunt: a comparative study and literature review. *J Glaucoma*. 2014 Mar 13; Epub.
166. Netland PA, Sarkisian SR, Jr, Moster MR, et al. Randomized, prospective, comparative trial of EX-PRESS glaucoma filtration device versus trabeculectomy (XVT study) *Am J Ophthalmol*. 2014;157:433-440.
167. Wagschal LD, Trope GE, Jinapriya D, Jin YP, Buys YM. Prospective randomized study comparing Ex-PRESS to trabeculectomy: 1-year results. *J Glaucoma*. 2013 Nov 16; Epub.
168. Dahan E, Ben Simon GJ, Lafuma A. Comparison of trabeculectomy and EX-PRESS implantation in fellow eyes of the same patient: a prospective, randomized study. *Eye (Lond)* 2012;26:703-710.
169. <https://www.mdalert.com/article/longterm-data-on-express-shunt-for-uncontrolled-glaucoma-are-very-promising>
170. Wang L, Sha F, Guo DD, Bi HS, Si JK, Du YX, Tang K. Efficacy and economic analysis of Ex-PRESS implantation versus trabeculectomy in uncontrolled glaucoma: a systematic review and Meta-analysis. *Int J Ophthalmol*. 2016 Jan 18;9(1):124-31. doi: 10.18240/ijo.2016.01.21. PMID: 26949622; PMCID: PMC4768498.
171. Konopińska J, Denizak M, Saeed E, Bartczak A, Zalewska R, Mariak Z, Rękas M. Prospective Randomized Study Comparing Combined Phaco-ExPress and Phacotrabeculectomy in Open Angle Glaucoma Treatment: 12-Month Follow-Up. *J Ophthalmol*. 2015;2015:720109. doi: 10.1155/2015/720109. Epub 2015 Jun 7. PMID: 26137318; PMCID: PMC4475547.
172. <https://www.touchophthalmology.com/anterior-segment/journal-articles/comparing-viscocanalostomy-with-trabeculectomy/>
173. Stegmann R, Pienaar A, Miller D. Viscocanalostomy for open-angle glaucoma in black African patients. *J Cataract Refract Surg*. 1999;25:316-22.
174. Tamm ER, Carassa RG, Albert DM, et al. Viscocanalostomy in Rhesusmonkeys. *Arch Ophthalmol*. 2004;122:1826-38.
175. Carassa R, Bettin P, Fiori M, Brancato R. Viscocanalostomy: a pilot study. *Eur J Ophthalmol*. 1998;8:57-61.
176. Negri-Aranguren I, Croxatto O, Grigera DE. Midterm ultrasound biomicroscopy findings in eyes with successful viscocanalostomy. *J Cataract Refract Surg*. 2002;28:752-7.
177. Alp MN, Yarungumeli A, Koz OG, Kural G, Nd;YAG laser goniotomy in viscocanalostomy: penetration in nonpenetrating glaucoma surgery. *Int Ophthalmol*. 2010;30:245-52.
178. Lewis RA, von Wolff K, Tetz M, et al., Canaloplasty: circumferential viscodilation and tensioning of Schlemm canal using flexible microcatheter for the treatment of open-angle glaucoma in adults. Two-year interim clinical study results. *J Cataract Refract Surg*. 2009;35:814-24.
179. Jonescu-Cuypers C, Jacobi P, Konen W, Krieglstein G. Primary viscocanalostomy versus trabeculectomy in white patients with open-angle glaucoma: arandomized clinical trial. *Ophthalmology*. 2001;108:254-8.
180. Luke C, Dietlein TS, Jacobi PC, et al., A prospective randomized trial of viscocanalostomy versus trabeculectomy in open-angle glaucoma: a 1-year follow-up study. *J Glaucoma*. 2002;11:294-9.
181. O'Brart DSP, Rowlands E, Islam N, Noury AMS. A randomised, prospective study comparing trabeculectomy augmented with antimetabolites with a viscocanalostomy technique for the management of open angle glaucoma uncontrolled by medical therapy. *Br J Ophthalmol*. 2002;86:748-54.
182. Lewis, Richard A.; Kurt von Wolff; Manfred Tetz; Norbert Koerber; John R. Kearney; Bradford J. Shingleton; Thomas W. Samuelson (April 2011). "Canaloplasty: Three-year results of circumferential viscodilation and tensioning of Schlemm canal using a microcatheter to treat open-angle glaucoma". *Journal of Cataract and Refractive Surgery*. 37 (4): 682-690.
183. Bull, Holger; Kurt von Wolf; Norbert Körber; Manfred Tetz (October 2011). "Three-year canaloplasty outcomes for the treatment of open-angle glaucoma: European study results". *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 249 (10): 1537-45.
184. Stegmann R, Pienaar A, Miller D. Viscocanalostomy for open-angle glaucoma in black African patients. *J Cataract Refract Surg*. 1999;25:316Y322.
185. Yalvac IC, Sahin M, Eksioğlu U, et al. Primary viscocanalostomy versus trabeculectomy for primary open-angle glaucoma: three-year prospective randomized clinical trial. *J Cataract Refract Surg*. 2004;30:2050-2057.
186. Sunaric-Megevand G, Leuenberger PM. Results of viscocanalostomy for primary open-angle glaucoma. *Am J Ophthalmol* 2001 Aug;132(2):221-8.
187. Kearney JR, Ball SF, Field MW, et al. Circumferential viscodilation of Schlemm's canal with a flexible microcannula during non-penetrating glaucoma surgery. *DJO*.

188. Koerber NJ. Canaloplasty in one eye compared with viscocanalostomy in the contralateral eye in patients with bilateral open angle glaucoma. *J Glaucoma*. 2012;21:129-134.
189. 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 of open-angle glaucoma *J Cataract Refract Surg*. 2011;37:682-690.
190. Tam DY, Calafati J, Ahmed I. Non-penetrating Schlemm's Canaloplasty vs Trabeculectomy. Presented at the American Glaucoma Society meeting, Naples, FL, March, 2010.
191. Gallardo MJ. *Clinical Ophthalmology* 2021;15:1591-1599.
192. Koerber, NJ. Canaloplasty New Approach to Nonpenetrating Glaucoma Surgery. *Techniques in Ophthalmology* 5(3):102-106, 2007.
193. Brancato R, Giovanni L, Trabucchi G, Pietroni C. Contact Transscleral Cyclophotocoagulation With Nd:YAG Laser in Uncontrolled Glaucoma. *Ophthalmic Surg*. 1989;20(8):547-51
194. Gaasterland DE, Pollack IP, Spaeth GL, Coleman DJ, Wilensky JT. Initial experience with a new method of laser transscleral cyclophotocoagulation for ciliary ablation in severe glaucoma. *Transactions of the American Ophthalmological Society* 1992;90:225-46
195. Uram M. Endoscopic cyclophotocoagulation in glaucoma management. *Curr Opin Ophthalmol*. 1995;6:19-29
196. Tan AM, Chockalingam M, Aquino MC, Lim ZI, See JL, Chew PT. Micropulse transscleral diode laser cyclophotocoagulation in the treatment of refractory glaucoma. *Clin Exp Ophthalmol*. 2010;38(3):266-272
197. Garcia, Giancarlo A. et al. Micropulse Transscleral Diode Laser Cyclophotocoagulation in Refractory Glaucoma. *Ophthalmology Glaucoma*, Volume 2, Issue 6, 402 - 412
198. Tekeli O, Köse HC. Outcomes of micropulse transscleral cyclophotocoagulation in primary open-angle glaucoma, pseudoexfoliation glaucoma, and secondary glaucoma [published online ahead of print, 2020 Mar 31]. *Eur J Ophthalmol*. 2020;1120672120914231
199. Al Habash A, AlAhmadi AS. Outcome Of MicroPulse® Transscleral Photocoagulation In Different Types Of Glaucoma. *Clin Ophthalmol*. 2019;13:2353-2360
200. Kaba Q, Somani S, Tam E, Yuen D. The Effectiveness and Safety of Micropulse Cyclophotocoagulation in the Treatment of Ocular Hypertension and Glaucoma 2020;3(3):181-189. doi: 10.1016/j.ogla.2020.02.005
201. Sanchez FG, Peirano-Bonomi JC, Grippo TM. Micropulse Transscleral Cyclophotocoagulation: A Hypothesis for the Ideal Parameters. *Med Hypothesis Discov Innov Ophthalmol*. 2018;7(3):94-100
202. Ma A, Yu SWY, Wong JKW. Micropulse laser for the treatment of glaucoma: A literature review. *Surv Ophthalmol*. 2019;64(4):486-497. doi:10.1016/j.survophthal.2019.01.001
203. Preda MA, Karancsi OL, Munteanu M, Stanca HT. Clinical outcomes of micropulse transscleral cyclophotocoagulation in refractory glaucoma—18 months follow-up. *Lasers Med Sci*. 2020. DOI: 10.1007/s10103-019-02934-x
204. Sarrafpour S, Saleh D, Ayoub S, Radcliffe nm (2019) Micropulse transscleral cyclophotocoagulation a look at long-term effectiveness and outcomes. *Ophthalmol Glaucoma* 2(3):167-171
205. Kuchar S, Moster MR, Reamer CB, Waisbourd M. Treatment outcomes of micropulse transscleral cyclophotocoagulation in advanced glaucoma. *Lasers Med Sci*. 2016;31:393-396
206. Lee JH, Shi Y, Amoozgar B, Aderman C, De Alba CA, Lin S, Han Y. Outcomes of MicroPulse laser TSCPC on pediatric vs adult glaucoma patients. *J Glaucoma*. 2017;26(10):936-939
207. Uram M. Endoscopic cyclophotocoagulation in glaucoma management. *Curr Opin Ophthalmol*. 1995;6(2):19-29.
208. Heine L. Die Zyklodialyse, eine neue glaucomoperation. *Deutsche Med Wochenschr*. 1905;31:824-825.
209. Purnell EW, Sokollu A, Torchia R, et al. Focal chorioretinitis produced by ultrasound. *Invest Ophthalmol*. 1964;3:657-664.
210. Pastor SA, Singh K, Lee DA, et al. Cyclophotocoagulation: a report by the American Academy of Ophthalmology. *Ophthalmology*. 2001;108(11):2130-2138.
211. Pantcheva MB, Kahook MK, Schuman JS, Noecker RJ. Comparison of acute structural and histopathological changes in human autopsy eyes after endoscopic cyclophotocoagulation and trans-scleral cyclophotocoagulation. *Br J Ophthalmol*. 2007;91:248-52
212. Lin SC, Chen MJ, Lin MS, Howes E, Stamper RL. Vascular effects of ciliary tissue from endoscopic versus trans-scleral cyclophotocoagulation. *Br J Ophthalmol*. 2006;90:496-500.
213. Yu JY, Kahook MY, Lathrop KL, Noecker RJ. The effect of probe placement and type of viscoelastic material on ECP laser energy transmission. *Ophthalmic Surgery, Lasers & Imaging*. March/April 2008. Vol. 39. No.2
214. Kahook MY, Lathrop KL, Noecker RJ. One-site versus two-site endoscopic cyclophotocoagulation. *J Glaucoma*. 2007;16: 527-530.
215. Lin S. Perspective: endoscopic cyclophotocoagulation. *Br J Ophthalmol*. 2002;86:1434-1438.
216. Wilensky JT, Kammer J. Long-term visual outcome of transscleral laser cyclotherapy in eyes with ambulatory vision. *Ophthalmology*. 2004;111:1389-1392.
217. Uram M. Combined phacoemulsification, endoscopic ciliary process photocoagulation, and intraocular lens implantation in glaucoma management. *Ophthalmic Surg*. 1995;26(4): 346-352.
218. Berke SJ, Cohen AJ, Sturm RT, et al. Endoscopic cyclophotocoagulation (ECP) and phacoemulsification in the treatment of medically controlled primary open-angle glaucoma. *J Glaucoma*. 2000;9(1):2000.
219. Netland PA, Mansberger SL, Lin S. Uncontrolled intraocular pressure after endoscopic cyclophotocoagulation. *J Glaucoma*. 2007;16:165-167.
220. Siegel MJ, Faridi O, et al. The Long-term Efficacy Of Combined Endoscopic Cyclophotocoagulation (ECP) And Phacoemulsification In The Treatment Of Mild-moderate Gl
221. Berke SJ, Cohen AJ, Sturm RT, et al. Endoscopic cyclophotocoagulation (ECP) and phacoemulsification in the treatment of medically controlled primary open-angle glaucoma. *J Glaucoma*. 2000;9(1):2000.
222. Berke SJ. Endoscopic cyclophotocoagulation and phacoemulsification in glaucoma management. *Techniques in Ophthalmology* 4(2):74-81, 2006
223. Chen J, Cohn RA, Lin SC, Cortes AE, Alvarado JA. Endoscopic photocoagulation of the ciliary body for treatment of refractory glaucomas. *Am J Ophthalmol* 1997;124:787-796.
224. Lima FE et al. A Prospective, Comparative Study between Endoscopic Cyclophotocoagulation and the Ahmed Drainage Implant in Refractory Glaucoma. *J Glaucoma* 2004;13:233-237.
225. Gayton JL, VanDer Karr M, Sanders V. Combined cataract and glaucoma surgery: trabeculectomy versus endoscopic laser cycloablation. *J Cataract Refract Surg*. 2000;26:330-336.
226. Tan, JC, Vakili, G, Noecker R, Francis, B. "ECP-Plus" to Treat Refractory Glaucoma. Poster 21st Annual AGS meeting.
227. Bechrakis NE, Muller-Stolzenburg NW, Helbig H, et al. Sympathetic ophthalmia following laser cyclophotocoagulation. *Arch Ophthalmol*. 1994;112:80-84.
228. Lindfield D, Ritchie RW, Griffiths MF. 'Phaco-ECP': combined endoscopic cyclophotocoagulation and cataract surgery to augment medical control of glaucoma. *BMJ Open*. 2012 May 30;2(3):e000578. doi: 10.1136/bmjopen-2011-000578. PMID: 22649172; PMCID: PMC3367146.
229. <https://www.nature.com/articles/s41433-021-01595-x/tables/1>