

■ Revues générales

Place du micro-pontage trabéculaire iStent® dans la prise en charge du glaucome primitif à angle ouvert

RÉSUMÉ : Les chirurgies mini-invasives du glaucome (MIGS) se sont considérablement développées au cours de la dernière décennie. L'iStent®, approuvé par la FDA et la HAS, est le chef de file de ces techniques. Il s'agit d'un micro-pontage trabéculaire qui, combiné à la phacoémulsification du cristallin, permet d'abaisser la pression intraoculaire de manière cliniquement significative et de diminuer la charge médicamenteuse des patients glaucomeux, avec des effets indésirables minimes. Dans l'algorithme de traitement du glaucome, il se place actuellement entre traitement médical/laser et chirurgie filtrante classique dans le glaucome débutant à modéré.



A. BASTELICA
Atrium Vision, TOULOUSE.

■ En préambule

Le glaucome est une neuropathie optique progressive comprenant des modifications structurelles caractéristiques de la tête du nerf optique pouvant conduire à des déficits du champ visuel et une perte fonctionnelle importante (deuxième cause de cécité dans le monde) [1]. Du fait de l'allongement de l'espérance de vie, la prévalence mondiale du glaucome chez les personnes âgées de 40 à 80 ans est en constante augmentation : le nombre de personnes atteintes dans le monde était de 64,3 millions en 2013, il est estimé à 76,0 millions en 2020 [1] et il pourrait atteindre 111,8 millions en 2040 [2].

Les conséquences sociales du glaucome sévère comprennent des difficultés à effectuer les activités quotidiennes, un risque accru de chutes [3], de blessures, de dépression [4] et de fractures de la hanche [5]. Par rapport aux personnes ayant une vision normale, les personnes malvoyantes sont admises prématurément dans des maisons de retraite [6]. En termes de coût, le glaucome représente un fardeau pour la santé publique avec

un impact financier important pour les patients, les soignants et pour la société dans son ensemble [7].

Bien que toutes les personnes atteintes de glaucome ne présentent pas une pression intraoculaire (PIO) élevée, l'hypertonie oculaire (HTO) est le facteur de risque principal d'apparition et de progression du glaucome. La PIO étant le seul facteur de risque modifiable associé à la maladie, de nombreuses études ont montré qu'abaisser la PIO permettait d'éviter l'apparition et de ralentir la progression du glaucome [8, 9]. Le traitement du glaucome, qu'il soit médical ou chirurgical, repose principalement sur l'abaissement de la PIO à un niveau suffisant pour prévenir l'apparition ou ralentir la progression de la maladie [10-12].

Le concept de pression cible est aujourd'hui largement accepté et utilisé dans la pratique clinique. Il s'agit d'une approche personnalisée de la gestion du glaucome. L'*European Glaucoma Society* (ESG) définit la pression cible comme "la limite supérieure de la PIO estimée compatible avec une vitesse de progression suffisamment lente pour

Revue générale

maintenir la qualité de vie liée à la vision au cours de la vie espérée pour un patient donné [12]. Des évaluations prospectives ont démontré que la réduction de la PIO conduit à une épargne visuelle significative, à savoir : chaque réduction de 1 mmHg de la PIO est corrélée à une diminution d'environ 10 % du risque de progression glaucomateuse [13, 14].

La réduction de la PIO est obtenue grâce à un traitement médical, laser ou à des interventions chirurgicales, généralement mis en œuvre par étapes [10-12]. La trabéculotomie demeure l'intervention chirurgicale de référence. Bien que très efficace pour réduire la PIO, elle comporte un risque non négligeable de complications, dont certaines peuvent menacer la vue [15]. Cela a stimulé de nombreuses recherches visant à développer de nouvelles procédures plus sûres que la chirurgie filtrante classique.

Au cours de la dernière décennie, la chirurgie mini-invasive du glaucome (MIGS) a été proposée comme une alternative chez les personnes atteintes de formes légères à modérées de glaucome primitif à angle ouvert (GPAO). L'iStent® (Glaukos, Laguna Hills, Californie), premier dispositif approuvé par la *Food and Drug Administration* (FDA) en 2012, est le chef de file de ces nouvelles procédures.

Définition des MIGS

Dans le glaucome primitif à angle ouvert, le trabéculum juxtacanaliculaire et la paroi interne du canal de Schlemm sont considérés comme le site de résistance à l'écoulement de l'humeur aqueuse. Depuis le début des années 2000, plusieurs procédures ont été proposées pour éliminer ou contourner ce tissu et permettre un accès direct de l'humeur aqueuse aux canaux collecteurs, canaux à faible résistance situés dans la paroi externe du canal Schlemm, et ainsi abaisser la PIO en réduisant la résistance à l'écoulement. Pour ce faire, le chirurgien peut dilater, ouvrir ou

contourner le maillage trabéculaire, ou il peut insérer un dispositif dans une structure ou un espace d'écoulement pour améliorer le drainage de l'humeur aqueuse [16].

Initialement, les MIGS ont été définies comme des chirurgies ciblant l'angle iridocornéen, pratiquées *ab interno*, épargnant ainsi la conjonctive et la sclère. Au fur et à mesure que le nombre et les types de dispositifs augmentent et bien que leur caractère "mini-invasif" varie de minime à substantiel, différentes techniques ont été incluses dans les MIGS. Même si toutes ces techniques sont considérées comme étant moins invasives et ayant un profil de sécurité plus élevé que les chirurgies filtrantes traditionnelles, avec une récupération plus rapide, la position de la Société américaine du glaucome a été précisée récemment : seuls sont qualifiés de MIGS les dispositifs *ab interno*, dont les dispositifs canaux sans bulle de filtration [17]. De même, l'EGS ne considère comme MIGS que les chirurgies *ab interno* [12].

Par conséquent, il s'agit d'un groupe de procédures chirurgicales qui partagent cinq qualités [18] :

- une approche *ab interno* par une incision cornéenne claire qui épargne la conjonctive ;
- une procédure peu traumatisante pour le tissu cible ;
- une efficacité pour réduire la PIO ;
- un profil de sécurité élevé évitant les complications graves par rapport aux autres chirurgies du glaucome ;

– une récupération rapide avec un impact minimal sur la qualité de vie du patient.

Les dispositifs sous-conjonctivaux *ab externo* sont exclus de cette définition et sont classés dans l'organigramme sous la colonne de "chirurgie de filtration traditionnelle du glaucome". Cette distinction semble logique car, bien que moins invasifs que la trabéculotomie, ces dispositifs nécessitent une surveillance postopératoire rigoureuse et l'usage de mitomycine C (*needling* fréquemment nécessaire). Leur efficacité est conditionnée à la formation d'une bulle de filtration, avec ses complications potentielles [19-22].

iStent®

L'iStent® est le premier dispositif de MIGS à avoir reçu l'approbation de la FDA en 2012 pour une utilisation en association à la chirurgie de la cataracte chez les personnes atteintes de GPAO léger à modéré. Il fait partie de la catégorie des micro-pontages trabéculaires : il améliore l'écoulement par la voie conventionnelle pression-dépendante en contournant le maillage trabéculaire, ce qui peut diminuer la PIO (**fig. 1**). L'avantage théorique d'un stent de dérivation trabéculaire est qu'il ouvre une voie de drainage de l'humeur directement de la chambre antérieure au canal de Schlemm et maintient sa perméabilité. Les inconvénients possibles sont que l'ouverture est limitée à la taille du (des) stent(s) et que l'accès

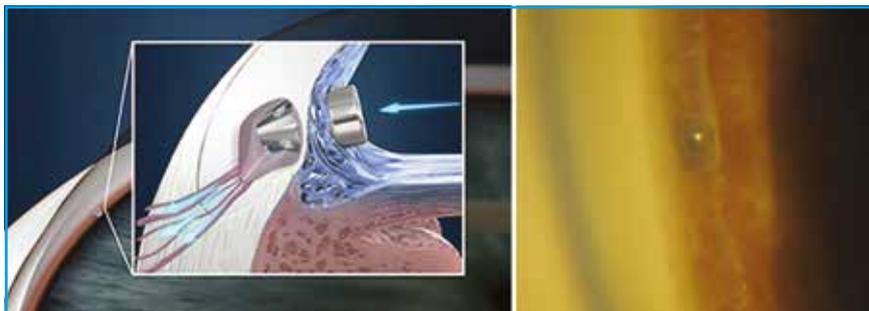


Fig. 1 : Micro-pontage trabéculaire.

au canal de Schlemm est limité circonférentiellement.

L'iStent® inject représente la deuxième génération d'iStent®. En forme de champignon (**fig. 2**), il a une longueur de 360 µm et une collerette de 230 µm. Son canal central a une section interne de 80 µm et sa tête, conique, est pourvue de quatre orifices de sortie de 50 µm, régulièrement espacés. L'iStent inject a reçu en 2018 une ASA (amélioration du service rendu) de niveau III délivrée par la Haute Autorité de santé (HAS) et a été inscrit sur la liste des produits et prestations prévue à l'article L.165-1 du code de la sécurité sociale [23].

Le système injecteur G2-M-IS® pré-chargé contient deux stents permettant ainsi au chirurgien d'implanter deux dispositifs en un temps.

La dernière version (iStent® inject W) présente une collerette plus large afin de prévenir une injection trop profonde [24]. Ce troisième modèle a obtenu en 2019 une ASA de niveau V délivrée par la HAS et a été inscrit sur la liste des produits et prestations prévue à l'article L.165-1 du code de la sécurité sociale [25].

Mécanisme de fonctionnement des micro-pontages trabéculaires

La PIO normale est maintenue grâce à un équilibre dynamique entre la quantité d'humeur aqueuse produite et son drainage. La majorité de l'humeur aqueuse (50 à 80 %) est éliminée par la voie d'écoulement trabéculaire [26], et le site principal de résistance à l'écoulement est le trabéculum juxtacanaliculaire et l'endothélium de la paroi interne du canal de Schlemm [27]. Les études expérimentales ont montré que, selon la PIO, 30 à 50 % de la résistance à l'écoulement sont situés après le mur interne du canal de Schlemm, au niveau des canaux collecteurs et des veines épisclé-

rale [28]. Par ailleurs, il a été clairement démontré, tant chez l'animal que chez l'homme, que l'écoulement à l'intérieur du trabéculum et le long du mur interne du canal de Schlemm est segmentaire plutôt qu'uniforme. L'écoulement se fait préférentiellement dans les quadrants nasaux et inférieurs (**fig. 3**) et est associé à la fois à un trabéculum plus étendu

et à un nombre plus élevé de canaux collecteurs [26, 29-34].

Les modèles mathématiques, les études expérimentales et les études cliniques ont montré que l'iStent® augmentait la facilité d'écoulement [35-38]. Une conception plus récente de la physiopathologie du GPAO veut que l'élévation



Fig. 2: iStent® inject, iStent® inject W et injecteur G2-M-IS®.

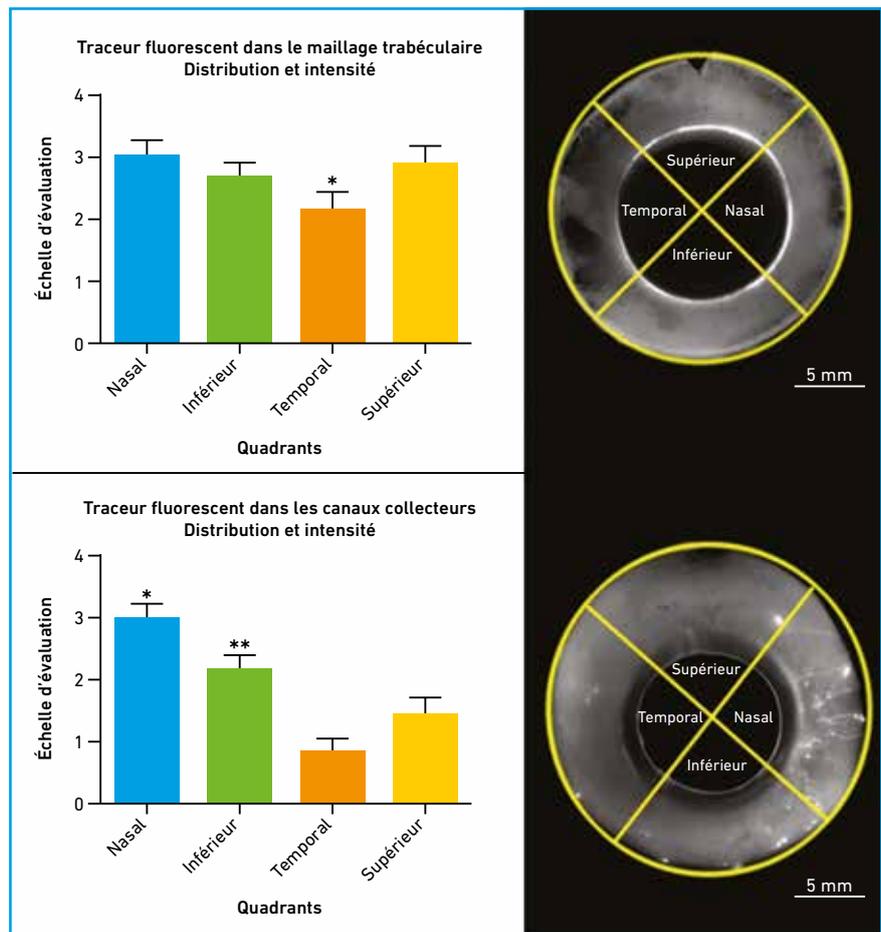


Fig. 3: Analyse des quadrants de la distribution et de l'intensité du traceur fluorescent. L'écoulement actif dans le maillage trabéculaire, comme le montre la distribution du traceur fluorescent, n'est pas uniforme dans tous les quadrants. Il est significativement plus élevé dans le quadrant nasal et dans le quadrant inférieur ($p = 0,05$; d'après [39]).

I Revues générales

POINTS FORTS

- Les MIGS regroupent des chirurgies du glaucome pratiquées *ab interno*, sans incision conjonctivale.
- L'iStent®, combiné à la phacoexérèse, est indiqué dans le glaucome débutant à modéré traité médicalement.
- Son implantation permet de réduire la PIO et de diminuer le nombre de traitement topique, dans le but d'améliorer l'observance thérapeutique et de préserver la surface oculaire.
- L'utilisation de ce dispositif en dehors de la chirurgie de la cataracte n'est pas validée à ce jour.

de la PIO soit plus précisément causée par une combinaison de 3 facteurs également déterminants dans l'augmentation de la résistance à l'écoulement [39-41] :

- la perte de la perméabilité de toute l'épaisseur du maillage trabéculaire ;
- l'effondrement du canal Schlemm et la réduction de son volume ;
- la résistance en aval, notamment avec la fermeture des entrées des canaux collecteurs du fait de la protrusion du trabéculum juxtacanaliculaire et de la paroi interne du canal de Schlemm dans les orifices des canaux collecteurs.

L'effet d'abaissement de la PIO de l'iStent® pourrait reposer sur un triple mécanisme :

- le maintien d'une voie de sortie permanente à travers le maillage trabéculaire [42] ;
- la dilatation significative du canal de Schlemm comme ce qui a été observé dans les techniques de canaloplastie, sur le dispositif lui-même mais peut être également à distance du site d'implantation [43, 44] ;
- le recrutement de nouveau canaux collecteurs [45].

Le canal de Schlemm étant discontinu et cloisonné, l'écoulement n'est pas circumférentiel [29]. Avec un seul stent, les segments de sortie peuvent être accessibles sur environ 60°, bien que l'anatomie individuelle varie [28, 34]. Il est

donc possible que, même si un iStent® est correctement positionné dans le canal de Schlemm, le flux d'humeur aqueuse vers un canal collecteur soit restreint. Cela pourrait expliquer pourquoi certaines études ne rapportent pas de baisse de PIO [46].

Des stents supplémentaires, en augmentant la probabilité d'entrée près d'un canal collecteur perméable, semblent entraîner une baisse supplémentaire de la PIO [42, 44]. Cependant, la PIO obtenue dépendra toujours de la capacité d'évacuation distale au-delà du canal de Schlemm et de la pression veineuse épisclérale, entraînant un effet de plancher dans la réduction de la PIO.

Procédure chirurgicale avec l'iStent® inject

Un examen préopératoire attentif de l'angle iridocornéen est d'une importance capitale. L'examen, en gonioscopie statique voire dynamique, est essentiel pour déterminer la candidature chirurgicale d'un patient à l'implantation d'iStent®. Cet examen devra préciser si l'angle est ouvert ou fermé et, dans ce dernier cas, s'il existe une fermeture appositionnelle ou synéchiaie. Il est important également de noter le degré de pigmentation du trabéculum.

En général, la chirurgie intraoculaire est une tâche complexe car elle implique de travailler dans de très petits espaces, où les faux pas peuvent avoir de graves conséquences. L'iStent® nécessite des compétences fondamentalement différentes de la chirurgie traditionnelle du glaucome et peut présenter, même pour les chirurgiens du segment antérieur expérimentés, une courbe d'apprentissage substantielle. Il faut en effet une instrumentation spécifique, d'excellentes compétences en gonioscopie, un microscope chirurgical avec une très bonne optique pouvant s'incliner pour visualiser correctement le trabéculum. Le placement ciblé des micro-stents doit être dirigé dans les zones de plus grande pigmentation du maillage trabéculaire qui sont associées à une proximité étroite des canaux collecteurs, optimisant l'écoulement aqueux *via* les veines aqueuses vers les veines épisclérales.

Actuellement, la mise en place de l'iStent® est combinée à l'extraction du cristallin. L'intervention est habituellement pratiquée sous anesthésie topique, potentialisée si besoin. La phacoémulsification est pratiquée de manière classique, par une incision cornéenne temporale. Une fois l'implant intraoculaire mis en place dans le sac capsulaire, un produit viscoélastique cohésif est injecté afin de pressuriser la chambre antérieure sans excès (afin d'éviter un iris concave). On effectue ensuite une rotation de la tête du patient de 30° à l'opposé du chirurgien, tandis que le microscope opératoire est basculé de 30° vers le chirurgien. Le verre à gonioscopie direct est positionné sur la cornée et le trabéculum nasal visualisé sous fort grossissement. Le système d'injecteur G2-M-IS® est alors introduit dans la chambre antérieure *via* l'incision.

Le bon placement de ces dispositifs dans le canal de Schlemm est essentiel à leur efficacité. Une fois le manchon d'insertion rétracté, le premier stent est inséré perpendiculairement au trabéculum, dans une zone de reflux sanguin ou une

zone de trabéculum pigmentée [47], avec une légère pression et est libéré de l'inserteur en appuyant sur le bouton d'insertion. En cas de faible pigmentation, le trabéculum peut être difficile à identifier. Une astuce consiste à déprimer légèrement la berge postérieure de l'incision cornéenne pour provoquer la sortie d'une petite quantité de produit viscoélastique. L'hypotonie relative ainsi créée provoque un reflux sanguin dans le canal de Schlemm.

Souvent, après l'implantation du premier stent, un petit reflux sanguin est observé à travers le stent, ce qui indique un positionnement correct de l'implant dans le canal de Schlemm. Le deuxième stent est ensuite placé à une distance de 30 à 60°, à une à deux heures du premier, pour augmenter les chances d'accéder à un segment de drainage différent. Le produit viscoélastique est ensuite retiré à l'aide de la sonde I/A en mode irrigation continue. Après hydrosuture, une injection de BSS par l'incision de service permet de pressuriser l'œil et de tamponner toute hémorragie postopératoire potentielle au site d'insertion de l'iStent®.

■ Profil de sécurité de l'iStent®

Le profil d'innocuité de l'iStent® est excellent. La période postopératoire est

généralement beaucoup plus agréable pour les patients que celle des chirurgies filtrantes traditionnelles. La récupération visuelle est rapide et l'inconfort minime. Cependant, une surveillance postopératoire plus stricte est nécessaire par rapport aux patients qui subissent une chirurgie de la cataracte seule. Pics de PIO, obstructions temporaires de l'iStent®, hyphéma et élévation de la PIO induite par les corticostéroïdes peuvent survenir et nécessiter une prise en charge rapide (traitement hypotonisant, laser Yag) [20, 48, 49].

La tolérance à long terme est excellente : aucun événement indésirable tel que ceux observés avec les procédures de filtration – hypotonie, décollement choroïdien ou endophtalmie – n'a été décrit. Il n'a pas été constaté non plus de perte endothéliale [50, 51].

■ Efficacité de l'iStent®

L'iStent® a reçu une attention particulière pour plusieurs raisons : il s'agissait du premier dispositif sur le marché, et sa relative facilité d'implantation et l'absence de formation de bulles l'ont rendu attrayant pour les ophtalmologistes généralistes et les spécialistes du glaucome. De nombreuses études cliniques, même si elles sont parfois

contestables dans leur méthodologie et peuvent présenter un certain nombre de biais [46], ont montré que l'implantation de l'iStent® combinée à la phacoémulsification du cristallin permet d'abaisser la PIO à un degré plus modeste que les chirurgies filtrantes traditionnelles (trabéculéctomie ou implantation de tube) et de diminuer la charge médicamenteuse. La qualité des preuves s'améliore au fil du temps, avec la publication récente de 3 méta-analyses qui confirment que, par rapport à la phacoexérèse seule, l'implantation de l'iStent® associée à la phacoémulsification permet un abaissement supplémentaire de la PIO de 1 à 3 mmHg ainsi qu'une diminution de la charge médicamenteuse (**fig. 4**) [48, 52, 53].

En ce qui concerne l'iStent® inject, un essai contrôlé randomisé prospectif de 2 ans a retrouvé une baisse de PIO plus importante de 2,6 mmHg chez les patients recevant l'iStent® ($7,0 \pm 4,0$ vs $5,4 \pm 3,7$ mmHg, $p < 0,001$), avec 63,2 % des yeux ayant obtenu une PIO ≤ 18 mmHg sans médicaments contre seulement 50 % après phacoémulsification seule et également une diminution de la charge médicamenteuse (-1,2 goutte) par rapport à la phacoémulsification seule (-0,8 goutte) (**fig. 5**) [51]. Ces effets sont modestes mais cliniquement significatifs.

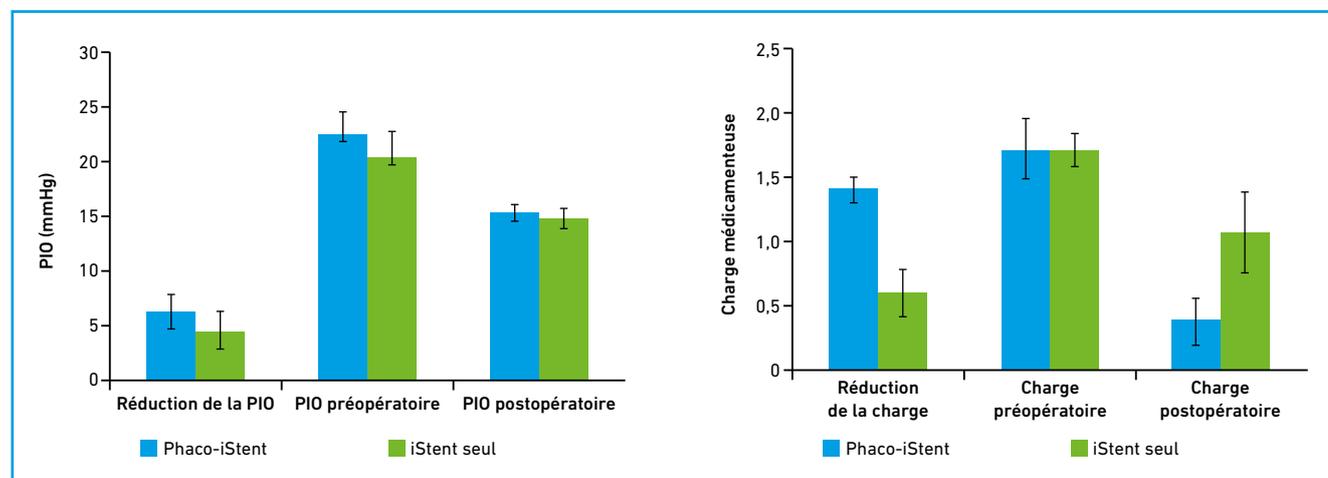


Fig. 4 : Phaco-stent vs phaco, efficacité pressioonelle et charge médicamenteuse (d'après [48]).

I Revues générales

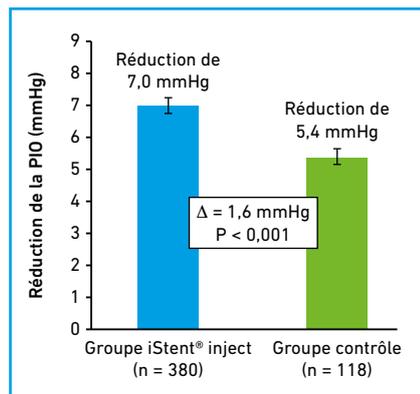


Fig. 5 : Phaco-iStent® inject vs phaco, différence significative d'efficacité pressionnelle (d'après [51]).

Rappelons que chaque réduction de 1 mmHg est associée à une diminution de 10 % du risque de progression du glaucome [13-14]. De plus, la réduction des médicaments permet d'une part d'améliorer l'observance et d'autre part de préserver la surface oculaire dans les cas où une chirurgie de filtration ultérieure serait nécessaire. C'est un avantage particulièrement important si le nombre de gouttes peut être réduit à un. Il est prouvé que le niveau d'observance chute considérablement lorsque plus d'un médicament est prescrit [54, 55]. Cela est particulièrement pertinent pour environ 40 à 50 % des patients atteints de glaucome qui prennent plusieurs médicaments. En parallèle, la réduction de l'exposition aux médicaments et aux conservateurs peut préserver la santé conjonctivale, réduisant ainsi le risque d'échec d'une future trabéculéctomie [56, 57].

Positionnement de l'iStent® dans l'algorithme de traitement du glaucome

Le processus d'indication de la chirurgie du glaucome et de choix de la technique la plus appropriée est complexe et implique une multitude de facteurs, notamment l'expérience du chirurgien, la sécurité et l'efficacité perçues de la procédure et la préférence du patient. La réduction de la PIO est obtenue grâce à

un traitement médical, laser et des interventions chirurgicales, généralement mis en œuvre par étapes [10-12].

Tous ces traitements ont leur limite : il est bien connu que le traitement médical pose des problèmes de tolérance (effets secondaires locaux et systémiques importants) et d'observance (30 à 80 % des patients) [54-59]. La trabéculoplastie au laser représente une procédure intermédiaire entre les traitements topiques et la chirurgie ou peut être utilisée en première intention comme une alternative aux gouttes. Cependant, son intérêt est limité car son efficacité décroît au fil du temps et la plupart des patients ont finalement recours à une chirurgie [60-62]. Les chirurgies filtrantes classiques (trabéculéctomie, tubes), bien que très efficaces pour abaisser la PIO, présentent un profil de risque plus élevé avec un taux de complications tardives de plus de 30 % dans certains rapports [15]. De ce fait, elles ne sont habituellement envisagées que lorsque les thérapies pharmaceutiques topiques et les traitements au laser ont échoué.

De moins en moins de patients et de médecins sont prêts à accepter les risques importants des chirurgies traditionnelles du glaucome, notamment quand le glaucome est débutant ou peu sévère [63]. Les MIGS procurent une baisse pressionnelle moindre par rapport à la chirurgie incisionnelle classique mais présentent un excellent profil de sécurité. Par opposition aux procédures chirurgicales traditionnelles, qui sont indiquées dans le glaucome avancé ou non contrôlé médicalement, les dispositifs MIGS sont destinés à une utilisation plus précoce dans l'algorithme de traitement du glaucome.

L'iStent® est approuvé par la FDA et plus récemment par la HAS lorsqu'il est associé à la chirurgie de la cataracte pour réduire la PIO chez les patients adultes atteints de glaucome à angle ouvert léger à modéré actuellement traités avec des hypotenseurs oculaires. Son implan-

tation permet dans nombre de cas de résoudre les problèmes d'observance, minimise les effets secondaires et améliore les problèmes de qualité de vie liés aux médicaments topiques.

Développements futurs

Bien que le succès de l'iStent® dans la réduction de la PIO semble établi, il serait utile de déterminer les caractéristiques des patients permettant de prédire le succès de ces stents [63]. Pour optimiser l'emplacement des implants, il faudra s'appuyer sur les progrès récents des technologies d'imagerie qui peuvent être utilisées pour l'identification des emplacements du canal de Schlemm et des ostia des canaux collecteurs perméables [24, 64-66] (fig. 6). Enfin, il existe un intérêt croissant pour l'expansion

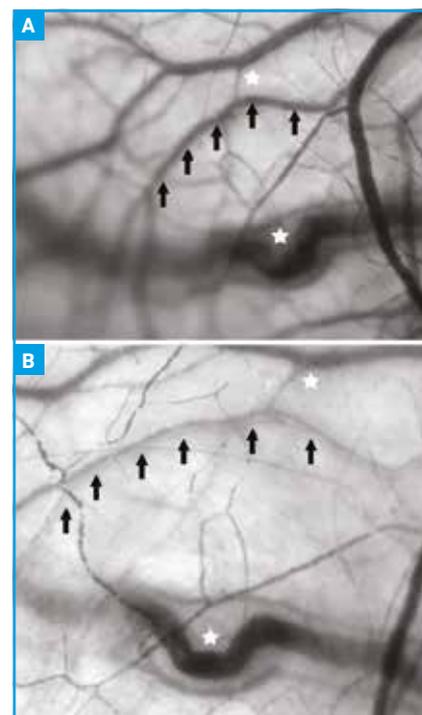


Fig. 6 : Blanchiment d'une grosse veine épisclérale dû à la reprise du flux aqueux après un pontage trabéculaire. A : veine épisclérale gorgée de sang en préopératoire. B : le vaisseau épiscléral disparaît presque complètement en raison du remplissage aqueux et de la dilution ou du déplacement des globules rouges (les flèches noires identifient le vaisseau; d'après [66]).

future des indications du dispositif, y compris dans les glaucomes par fermeture d'angle [67] et les glaucomes au stade avancé [68]. L'iStent® implanté chez les sujets phaques ou pseudophaques, dit autonome ou solo, semble également prometteur [69-71].

■ Conclusion

Les MIGS, chirurgies mini-invasives du glaucome *ab interno*, suscitent un intérêt international. Indiqué chez les patients atteints de glaucome léger à modéré devant être opérés de la cataracte, l'iStent® permet d'obtenir une baisse pressionnelle cliniquement significative et d'améliorer la qualité de vie des patients (diminution du traitement topique essentiellement) avec un excellent profil de sécurité (effets secondaires rares). Toutefois, l'utilisation de ce dispositif en dehors de la chirurgie de la cataracte n'est pas validée aujourd'hui. De nouvelles études semblent nécessaires afin d'évaluer la balance bénéfices/risques de cette procédure pratiquée isolément et d'en préciser les indications.

BIBLIOGRAPHIE

1. QUIGLEY HA, BROMAN AT. The number of people with glaucoma worldwide in 2010 and 2020. *Br J Ophthalmol*, 2006; 90:262-267.
2. THAM YC, LI X, WONG TY *et al*. Global prevalence of glaucoma and projections of glaucoma burden through 2040: a systematic review and meta-analysis. *Ophthalmology*, 2014;121:2081-2090.
3. WOOD JM, LACHEREZ P, BLACK AA *et al*. Risk of falls, injurious falls, and other injuries resulting from visual impairment among older adults with Age-related Macular Degeneration. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2011;52:5088-5092.
4. ROVNER BW, GANGULI M. Depression and disability associated with impaired vision: The MoVies Project. *J Am Geriatr Soc*, 1998;46:617-619.
5. GRUE EV, KIRKEVOLD M, RANHOFF AH. Prevalence of vision, hearing, and combined vision and hearing impairments in patients with hip fractures. *J Clin Nurs*, 2009;18:3037-3049.
6. Canadian National Institute for the Blind (CNIB). *Fast Facts about Vision Loss*. 2014, Toronto, ON, Canada.
7. JORDANOUS Y, KENT JS, HUTNIK CM *et al*. Projected in the Ontario Health Insurance Plan. *J Glaucoma*, 2014;23:112-118.
8. KASS MA, HEUER D, HIGGINBOTTAM E *et al*. for the Ocular Hypertension Treatment Study Group. The Ocular Hypertension Treatment Study A randomized trial determines that topical ocular hypotensive medication delays or prevents the onset of primary open-angle glaucoma. *Arch Ophthalmol*, 2002;120:701-713.
9. DEMIREL S, DE MORAES CG, GARDINER SK *et al*. Ocular Hypertension Treatment Study Group. The rate of visual field change in the ocular hypertension treatment study. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2012;53:224-227.
10. PRUM BE JR, ROSENBERG LF, GEDDE SJ *et al*. Primary open-angle glaucoma preferred practice pattern® guidelines. *Ophthalmology*, 2016;123:41-111.
11. LI T, LINDSLEY K, ROUSE B *et al*. Comparative effectiveness of first-line medications for primary open-angle glaucoma: a systematic review and network meta-analysis. *Ophthalmology*, 2016;123:129-140.
12. European Glaucoma Society. *Terminology and Guidelines for Glaucoma*. 5th Edition. Savona: PubliComm, 2020.
13. HEIJL A, LESKE MC, BENGTTSSON B *et al*. Reduction of intraocular pressure and glaucoma progression: results from the early manifest glaucoma trial. *Arch Ophthalmol*, 2002;120:1268-1279.
14. CHAUHAN B, MIKELBERG F, BALASZI A *et al*. Canadian Glaucoma Study: 2. Risk factors for the progression of open-angle glaucoma. *Arch Ophthalmol*, 2008;126:1030-1036.
15. GEDDE SJ, HERNDON LW, BRANDT JD *et al*. Postoperative complications in the Tube Versus Trabeculectomy (TVT) study during five years of follow-up. *Am J Ophthalmol*, 2012;153:804-814.
16. SCHEHLEIN EM, KALEEM MA, SWAMY R *et al*. Microinvasive glaucoma surgery: an evidence-based assessment. *Expert Rev Ophthalmol*, 2017;12:331-343.
17. FELLMAN RL, MATTOX C, SINGH K *et al*. American Glaucoma Society Position Paper: Microinvasive Glaucoma Surgery. *Ophthalmol Glaucoma*, 2020;3:1-6.
18. SAHEB H, AHMED II. Micro-invasive glaucoma surgery: current perspectives and future directions. *Curr Opin Ophthalmol*, 2012;23:96-104.
19. SCHLENKER MB, GULAMHUSEIN H, CONRAD-HENGERER I *et al*. Efficacy, safety, and risk factors for failure of stand-alone *ab interno* gelatin microstent implantation versus stand-alone trabeculectomy. *Ophthalmology*, 2017;124:1579-1588.
20. YOON E, KATEKI V, PANARELLI JF. Complications of micro-invasive glaucoma surgery. *Curr Opin Ophthalmol*, 2018;29:147-154.
21. BUFFAUT J, BAUDOIN C, LABBÉ A. Is the Xen Gel stent really minimally invasive? *Am J Ophthalmol Case Rep*, 2020; 19:100850.
22. BUNOD R, ROBIN M, BUFFAUT J *et al*. Preserflo MicroShunt exposure: a case series. *BMC Ophthalmol*, 2021;21: 273-279.
23. www.has-sante.fr/jcms/c_2862291/fr/istent-inject
24. GILLMANN K, BRAVETTI GE, MERMOUD A *et al*. A prospective analysis of iStent Inject microstent positioning: Schlemm canal dilatation and intraocular pressure correlations. *J Glaucoma*, 2019;28: 613-621.
25. HAS. Commission nationale d'évaluation des dispositifs médicaux: iStent inject W micro-stent de pontage trabéculaire. 2019.
26. TORIS CB, YABLONSKI ME, WANG YL *et al*. Humor dynamics in the aging human eye. *Am J Ophthalmol*, 1999;127:407-412.
27. GRANT WM. Further studies on facility of flow through the trabecular meshwork. *AMA Arch Ophthalmol*, 1958;60:523-533.
28. ROSENQUIST R, EPSTEIN D, MELAMED S *et al*. Outflow resistance of enucleated human eyes at two different perfusion pressures and different extents of trabeculectomy. *Curr Eye Res*, 1989;8: 1233-1240.
29. HANN CR, BAHLER CK, JOHNSON DH. Cationic ferritin and segmental flow through the trabecular meshwork. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2005;46:1-7.
30. HANN CR, FAUTSCH MP. Preferential fluid flow in the human trabecular meshwork near collector channels. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2009;50: 1692-1697.
31. HANN CR, VERCNOCKE AJ, BENTLEY MD *et al*. Anatomic changes in Schlemm's canal and collector channels in normal and primary open-angle glaucoma eyes using low and high perfusion pressures. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2014;55:5834-5841.
32. YANG CY, LIU Y, LU Z *et al*. Effects of y27632 on aqueous humor outflow facility with changes in hydrodynamic pattern and morphology in human eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2013;54:5859-5870.
33. KAGEMANN L, WOLLSTEIN G, ISHIKAWA H *et al*. Identification and assessment of Schlemm's canal by spectral-domain optical coherence tomography. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2010;51:4054-4059.
34. KAGEMANN L, WOLLSTEIN G, ISHIKAWA H *et al*. Visualization of the conventional outflow pathway in the living human eye. *Ophthalmology*, 2012;119: 1563-1568.

Revue générale

35. ZHOU J, SMEDLEY G. A trabecular bypass flow hypothesis. *J Glaucoma*, 2005; 14:74-83.
36. BAHLER CK, SMEDLEY GT, ZHOU J *et al.* Trabecular bypass stents decrease intraocular pressure in cultured human anterior segments. *Am J Ophthalmol*, 2004;138:988-994.
37. BAHLER CK, HANN CR, FJELD T *et al.* Second-generation trabecular meshwork bypass stent (iStent inject) increases outflow facility in cultured human anterior segments. *Am J Ophthalmol*, 2012;153:1206-1213.
38. FERNANDEZ-BARRIENTOS Y, GARCIA-FEIJOO J, MARTINEZ-DE-LA-CASA JM *et al.* Fluorophotometric study of the effect of the glaucoma trabecular microbypass stent on aqueous humor dynamics. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2010;51:3327-3332.
39. CHA ED, XU J, GONG L. Variations in active outflow along the trabecular outflow pathway. *Exp Eye Res*, 2016; 146:354-360.
40. ANDREW NH, AKKACH S, CASSON RJ. A review of aqueous outflow resistance and its relevance to micro-invasive glaucoma surgery. *Surv Ophthalmol*, 2020;65:18-31.
41. BATTISTA SA, LU Z, HOFMANN S *et al.* Reduction of the available area for aqueous humor outflow and increase in meshwork herniations into collector channels following acute IOP elevation in bovine eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2008;49:5346-5352.
42. FRANCIS BA, SINGH K, LIN SC *et al.* Novel glaucoma procedures: a report by the American Academy of Ophthalmology. *Ophthalmology*, 2011;118:1466-1480.
43. KUERTEN D, PLANGE N, BECKER J *et al.* Evaluation of long-term anatomic changes following canaloplasty with anterior segment spectral-domain optical coherence tomography and ultrasound biomicroscopy. *J Glaucoma*, 2018;27:87-93.
44. GILLMANN K, BRAVETTI GE, MERMOUND A *et al.* A prospective analysis of iStent inject microstent positioning: Schlemm canal dilatation and intraocular pressure correlations. *J Glaucoma*, 2019;28:613-621.
45. HUANG A, PENTEADO R, PAPOYAN V *et al.* Aqueous angiographic outflow improvement after trabecular microbypass in glaucoma patients. *Ophthalmol Glaucoma*, 2019;2:11-21.
46. BELOVAY GW, NAQI A, CHAN B *et al.* Using multiple trabecular microbypass stents in cataract patients to treat open-angle glaucoma. *J Cataract Refract Surg*, 2012;38:1911-1917.
47. ROSENBERG E, NATTIS A, NATTIS R. *Operative Dictations in Ophthalmology*. Springer Nature, Switzerland, 2017: 207-213.
48. POPOVIC M, CAMPOS-MOLLER X, SAHEB H *et al.* Efficacy and adverse event profile of the iStent and iStent Inject trabecular micro-bypass for open-angle glaucoma: A meta-analysis. *J Curr Glaucoma Pract*, 2018;12:67-84.
49. LE JT, BICKET AK, WANG L *et al.* Ab interno trabecular bypass surgery with iStent for open-angle glaucoma. *Cochrane Database of Syst Rev*, 2019;3:CD012743.
50. SAHEB H, DONNENFELD E, SOLOMON K *et al.* Five-year outcomes prospective study of two first-generation trabecular micro-bypass stents (iStent®) in open-angle glaucoma. *Curr Eye Res*, 2021;46:224-231.
51. SAMUELSON TW, SARKISIAN JR, LUBECK DM *et al.* Prospective, randomized, controlled pivotal trial of iStent inject trabecular micro-bypass in primary open-angle glaucoma and cataract: two-year results. *Ophthalmology*, 2019; 126:811-821.
52. LAVIA C, DALLORTO L, MAULE M *et al.* Minimally-invasive glaucoma surgeries (MIGS) for open angle glaucoma: a systematic review and meta-analysis. *PLoS One*, 2017;12:e0183142.
53. MALVANKAR-MEHTA MS, IORDANOUS Y, CHEN YN *et al.* iStent with phacoemulsification versus phacoemulsification alone for patients with glaucoma and cataract: a meta-analysis. *PLoS One*, 2015;10:0131770.
54. ROBIN AL, COVERT D. Does adjunctive glaucoma therapy affect adherence to the initial primary therapy? *Ophthalmology*, 2005;112:863-868.
55. SIANI SD, SCHOENFELD P, KAULBACK K *et al.* Effect of dosing frequency on adherence in chronic diseases. *Am J Manag Care*, 2009;15:22-33.
56. BROADWAY D, HITCHINGS R, GRIERSON I. Topical antiglaucomatous therapy: Adverse effects on the conjunctiva and implications for filtration surgery. *J Glaucoma*, 1995;4:136.
57. JOHNSON DH, YOSHIKAWA K, BRUBAKER RF *et al.* The effect of long-term medical therapy on the outcome of filtration surgery. *Am J Ophthalmol*, 1994;117: 139-148.
58. PRUM BE JR, ROSENBERG LF, GEDDE SJ *et al.* Primary open-angle glaucoma preferred practice pattern® guidelines. *Ophthalmology*, 2016;123:41-111.
59. OKEKE CO, QUIGLEY HA, JAMPPEL HD *et al.* Adherence with topical glaucoma medications monitored electronically the Travatan Dosing Aid study. *Ophthalmology*, 2009;116:191-199.
60. ROLIM DE MOURA C, PARANHOS A JR, WORMALD R. Laser trabeculoplasty for open angle glaucoma. *Cochrane Database Syst Rev*, 2007;17:CD003919.
61. PATEL V, EL HAWY E, WAISBOURD M *et al.* Long-term outcomes in patients initially responsive to selective laser trabeculoplasty. *Int J Ophthalmol*, 2015;8: 9640-9644.
62. WOO DM, HEALEY PR, GRAHAM SL *et al.* Intraocular pressure-lowering medications and long-term outcomes of selective laser trabeculoplasty. *Clin Exp Ophthalmol*, 2015;43:320-327.
63. SPAETH GL, CVINTAL V, FIGUEIREDO A. Is there a need for new surgical procedures for glaucoma? Yes! *Open Ophthalmol J*, 2015;9:101-103.
64. CROWELL EL, BAKER L, CHUANG AZ *et al.* Characterizing anterior segment OCT angle landmarks of the trabecular meshwork complex. *Ophthalmology*, 2018;125:994-1002.
65. ROTHSCHILD P, KOMZAK K, HOOSHMAND J *et al.* Predictors of success of iStent and iStent inject, when combined with cataract surgery. *Clin Exp Ophthalmol*, 2020;48:848-851.
66. LUSTHAUS JA, MEYER P, KHATIB T *et al.* The effects of trabecular bypass surgery on conventional aqueous outflow, visualized by hemoglobin video imaging. *J Glaucoma*, 2020;29:656-665.
67. SALIMI A, ABU-NADA M, HARASYMOWYCZ P. Matched cohort study of cataract surgery with and without trabecular microbypass stent implantation in primary angle-closure glaucoma. *Am J Ophthalmol*, 2021;24:310-320.
68. NEUHANN TH. Trabecular micro-bypass stent implantation during small incision cataract surgery for open angle glaucoma or ocular hypertension: long term results. *J Cataract Refract Surg*, 2015;41:2664-2671.
69. FEA AM, BELDA JI, REKAS M *et al.* Prospective unmasked randomized evaluation of the iStent inject versus two ocular hypotensive agents in patients with primary open-angle glaucoma. *Clin Ophthalmol*, 2014;8:875-882.
70. VOSKANYAN L, GARCIA-FEIJOO J, BELDA JI *et al.* Prospective, unmasked evaluation of the iStent inject system for open angle glaucoma: synergy trial Synergy Study Group. *Adv Ther*, 2014;31:189-201.
71. KATZ LJ, ERB C, CARCELLER-GUILLAMET A *et al.* Long-term titrated IOP control with one, two, or three trabecular micro-bypass stents in open-angle glaucoma subjects on topical hypotensive medication: 42 months outcomes. *Clin Ophthalmol*, 2018;12:255-262.

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