

# Traitement actuel du glaucome pseudo-exfoliatif et options thérapeutiques

Alexander Hynes, OD

Département d'ophtalmologie  
de l'Université de l'Illinois  
à Chicago (Illinois Eye & Ear)

## Sommaire

Le glaucome pseudo-exfoliatif (GPEX) est le glaucome *secondaire* à angle ouvert le plus courant. On pense que l'accumulation de débris exfoliants dans l'angle et l'élévation subséquente de la pression intraoculaire contribuent à rendre le GPEX plus récalcitrant au traitement topique que le glaucome primaire à angle ouvert. Cet examen porte sur le traitement au laser sous la forme d'une trabéculoplastie sélective pour le GPEX à angle ouvert, ainsi que sur le risque d'un composant de fermeture d'angle dans les yeux atteints de GPEX et de plusieurs mécanismes sous-jacents possibles. Il est suivi d'une revue de la littérature sur les risques et les avantages de l'iridotomie périphérique au laser ou de la chirurgie de la cataracte pour ouvrir l'angle iridocornéen. La littérature sur les nombreuses options proposées pour la chirurgie micro-invasive du glaucome (CMIG) pour le GPEX est également examinée. Cet examen donne une vue d'ensemble des sous-types de CMIG et résume les données d'études concernant plusieurs des options les mieux étudiées en matière de GPEX. Enfin, l'efficacité et les risques des procédures de filtrage, y compris la trabéculéctomie et les dérivations tubulaires pour GPEX, sont examinés.

## MOTS CLÉS :

Pseudo-exfoliatif, glaucome, trabéculoplastie sélective au laser, fermeture d'angle, chirurgie microinvasive du glaucome, trabéculéctomie

## INTRODUCTION

Le syndrome pseudo-exfoliatif (PEX) est une microfibrilopathie systémique liée à l'âge. Plusieurs gènes ont été associés à la pseudo-exfoliation (PEX), le plus souvent la LOXLI, qui fait partie d'une famille d'enzymes lysyl oxydase<sup>1</sup>. Ces enzymes jouent un rôle important dans la création de fibres élastiques. On pense que le dérèglement de la production de fibres d'élastine entraîne la formation de tissu d'exfoliation élastosique dans tout l'organisme<sup>2</sup>. La PEX a toujours été associée à la Scandinavie, en raison de son incidence élevée dans ce pays. Par exemple, parmi les personnes âgées de 66 ans dans une municipalité du nord de la Suède, environ une sur quatre était atteinte de PEX, et les femmes étaient deux fois plus susceptibles d'être touchées que les hommes<sup>3</sup>. Des études épidémiologiques plus récentes ont confirmé un risque accru de PEX en fonction de l'éloignement de l'équateur. Plus précisément, l'exposition à des températures ambiantes plus froides et à des surfaces telles que la neige et l'eau, qui offrent une réflectivité solaire accrue, a été associée au risque de PEX dans le monde entier, et pas seulement chez les personnes d'origine scandinave. Les personnes qui ont un mode de vie urbain et qui portent plus souvent des lunettes de soleil peuvent avoir un risque plus faible de glaucome pseudo-exfoliatif (GPEX). Les rayons ultraviolets peuvent déclencher l'expression génétique liée à la formation du tissu exfoliant, tandis que des températures extérieures plus basses peuvent augmenter la précipitation du tissu exfoliant hors de son milieu aqueux<sup>4</sup>.

Le GPEX est souvent décrit comme la cause identifiable la plus courante (c.-à-d. secondaire) du glaucome à angle *ouvert* et n'est généralement pas

diagnostiqué jusqu'à ce qu'il soit assez avancé. Comparativement au glaucome primitif à angle ouvert (GPAO), les yeux atteints de GPEX présentent souvent une pression intraoculaire (PIO) maximale plus élevée, plus de fluctuations de la PIO, une détérioration plus rapide du champ de vision, des taux élevés d'échec des médicaments topiques et un besoin plus fréquent de recourir à une chirurgie du glaucome. Cette nature agressive du GPEX contribue à des taux significativement plus élevés de visites chez le médecin, de chirurgie de la cataracte, de chirurgie du glaucome et de coûts globaux des soins oculaires par rapport au GPAO<sup>5</sup>. Les patients atteints de GPEX ont souvent besoin d'un traitement médical maximal (TMM); bien souvent, celui-ci n'est cependant pas suffisant pour ralentir la progression de la maladie de manière adéquate<sup>6</sup>.

Le mécanisme le plus couramment décrit pour le développement du GPEX implique une hausse de la pression intraoculaire causée par des dépôts exfoliatifs et pigmentaires dans le réseau trabéculaire (RT) qui entravent le drainage aqueux. Dans les yeux phaqes en particulier, l'iris postérieur et la capsule antérieure du cristallin sont plus proches. Le mouvement de la pupille permet à l'iris de racler le tissu exfoliant de la capsule antérieure et de le libérer. Le tissu PEX présent sur la capsule du cristallin contribue probablement aussi à la rupture des cellules épithéliales de l'iris postérieur, libérant du pigment<sup>7</sup>. Dans le cas d'un GPEX cliniquement unilatéral, l'œil *concerné* présente une pression intraoculaire et une variation diurne plus élevées que l'autre œil. Ce phénomène est probablement imputable à l'augmentation de la résistance à l'écoulement aqueux à travers le réseau trabéculaire dans la PEX<sup>8</sup>. À l'aide d'une lentille de contact à capteur SENSIMED Triggerfish, Tojo a montré que l'amplitude des fluctuations de la pression intraoculaire durant 24 heures dans les yeux atteints de PEX était nettement plus importante que dans les yeux du groupe témoin<sup>9</sup>. Konstas a montré que la pression intraoculaire était supérieure à 15 mm Hg dans 35 % des yeux atteints de GPEX nouvellement diagnostiqués/non traités, contre seulement 7,5 % des yeux atteints de GPAO. La *plage* moyenne de fluctuation de la PIO dans les yeux avec GPEX était de 13,5 mm Hg, ce qui est considérablement plus élevé que la plage de 8,5 mm Hg observée dans le GPAO. Ces fluctuations peuvent expliquer la réponse plus faible à la thérapie médicale et la progression plus agressive du champ et du nerf optique dans le GPEX<sup>10</sup>. Koz a proposé les fluctuations de la PIO comme principal facteur de GPEX avec des pressions oculaires « normales » en clinique<sup>11</sup>.

#### PRISE EN CHARGE MÉDICALE (TOPIQUE) DU GPEX

En raison de la fluctuation PIO plus élevée et de la nature plus agressive de la perte de champ dans le GPEX, un suivi étroit peut être prudent. Une PIO cible plus basse (par rapport à un patient atteint de GPAO ayant la même PIO maximale et le même niveau actuel de perte de champ) peut être envisagée<sup>12</sup>. Bien que cela ne soit pas toujours réaliste ou faisable, il a été recommandé aux cliniciens de prendre au moins 2 ou 3 mesures de la PIO (à différents moments de la journée) afin d'avoir les meilleures conditions pour observer la valeur maximale de la PIO à partir de laquelle une PIO cible peut être calculée<sup>13</sup>.

Les analogues de prostaglandine sont habituellement les premiers agents topiques réduisant la PIO que les patients atteints de GPEX à angle ouvert utilisent à une dose quotidienne<sup>6</sup>. Les analogues de prostaglandine semblent permettre une réduction de 30 à 35 % de la PIO dans les yeux atteints de GPEX à angle ouvert et ils diminuent la PIO en augmentant l'écoulement par la voie de l'écoulement uvéoscléral. Dans le cadre du GPEX, il a été démontré que le latanoprost à 0,005 % permettait de mieux contrôler la pression intraoculaire au cours de la journée que le timolol à 0,5 % administré deux fois par jour<sup>14</sup>. Il a été démontré que le travoprost 0,004 % et le bimatoprost 0,03 % permettaient un contrôle de la PIO légèrement supérieur à celui du latanoprost<sup>15,16</sup>. Malgré la bonne réponse typique à ces analogues, une thérapie médicale *combinée* est souvent nécessaire dans les yeux atteints de GPEX, en raison des taux de progression importants et du fait que de nombreux yeux sont déjà à un stade très avancé lors du diagnostic<sup>17</sup>.

Chez les patients atteints de GPEX qui ne peuvent pas tolérer les prostaglandines ou qui n'y répondent pas, l'ajout de dorzolamide à 2 % deux fois par jour à un régime posologique comportant déjà 0,5 % de timolol a réduit de façon marquée la PIO à tout moment, tout en réduisant la plage de PIO diurne<sup>18</sup>. La combinaison quotidienne de brinzolamide à 1 % et de brimonidine à 0,2 % a réduit la PIO d'un autre 19 % (4,02±3,17 mm Hg) chez 35 patients atteints de GPEX qui étaient déjà traités par une prostaglandine quotidienne *avec ou sans* timolol à 0,5 %<sup>18</sup>. Les inhibiteurs des rho-kinases, à savoir le netarsadil, diminuent la résistance du débit de réseau trabéculaire sortant. On a constaté que le netarsadil exerce un effet important de réduction de la pression intraoculaire (PIO), même chez les patients atteints de GPAO qui utilisent au moins trois médicaments contre le glaucome<sup>19</sup>. Le netarsadil n'a pas encore fait l'objet d'études approfondies chez les patients atteints de GPEX, mais une petite étude rétrospective portant sur des patients atteints de GPEX ou d'hypertension oculaire sans pression intraoculaire normale non sévères qui prenaient déjà au moins un médicament a montré des réductions statistiquement et cliniquement importantes de la pression

intraoculaire moyenne par rapport à la valeur de départ (PIO moyenne de base  $25 \pm 2,4$  mm Hg; PIO moyenne finale de  $21,3 \pm 5,3$  mm Hg à la semaine 25) sur cet agent<sup>7</sup>. Des études ciblant spécifiquement le GPEX sont nécessaires pour évaluer les résultats du latanoprostène-bunod, un nouvel agent hypotenseur de la PIO très performant qui se décompose en acide de latanoprost et en mononitrate de butanediol donneur de nitrogène. Étant donné que le tissu exfoliatif augmente la résistance à l'écoulement à travers le réseau trabéculaire et que le monoxyde d'azote favorise la relaxation du réseau trabéculaire et, par la suite, l'augmentation du débit sortant, il peut théoriquement bien fonctionner dans le traitement du GPEX<sup>20</sup>.

La pilocarpine était couramment utilisée dans le passé pour traiter le GPEX, mais elle risque de contribuer à la formation de synéchies postérieures et/ou d'exacerber une subluxation antérieure préexistante secondaire à une zonulopathie. Le risque de fermeture de l'angle du bloc pupillaire s'en trouve accru<sup>6</sup>. Cependant, Angelilli et Ritch affirment que la pilocarpine à 2 % à une fréquence de dosage réduite peut atténuer les pointes de pression intraoculaire tôt le matin dans les yeux atteints de GPEX tout en ouvrant davantage l'angle et en augmentant l'écoulement par la voie cornéosclérale<sup>21</sup>. Lorsque le traitement médical le mieux toléré ne parvient pas à contrôler la PIO et sa progression, il est impératif de procéder à une approche laser ou chirurgicale dans le GPEX à angle ouvert, comme dans le GPAO, pour tenter de réduire davantage la PIO et les fluctuations de la PIO<sup>6</sup>.

### GESTION LASER DU GPEX

#### Trabeculoplastie sélective au laser (TSL)

La TSL utilise la fréquence pulsée doublée d'un laser au néodyme-YAG pour cibler de façon sélective la mélanine dans le réseau trabéculaire. On pense qu'elle exerce un effet de diminution de la PIO par la stimulation de l'activité des cellules phagocytaires dans le réseau trabéculaire afin de nettoyer les « débris obstruants »<sup>22</sup>. Sur une période de suivi d'un an, Goldenfeld a montré que la TSL à 180° a abaissé la PIO moyenne de  $26,01$  mm Hg  $\pm 2,5$  à  $17,8$  mm Hg  $\pm 2,8$  mm Hg (réduction de 31,5 %) et a réduit le nombre moyen de médicaments topiques, les faisant passer de 2,8 à 2,3 à 12 mois dans 57 yeux atteints de GPEX qui n'avaient pas été contrôlés auparavant par un traitement médical maximal<sup>23</sup>. Le nombre d'études publiées sur le TSL en tant que thérapie principale dans le cas du GPEX ne semble pas être aussi élevé, même s'il semble raisonnable d'envisager cette option chez les patients susceptibles de ne pas bien respecter le traitement topique. Shazly a étudié la TSL à 180° comme thérapie principale dans 18 yeux atteints de GPEX avec une PIO préopératoire moyenne de 25 mm Hg; 74 % de ces yeux présentaient une diminution de la PIO d'au moins 3 mm Hg à 1 an sans nécessiter d'intervention ultérieure après une observation de 20 mois en moyenne<sup>24</sup>. Même lorsque le traitement est réussi, les effets de réduction de la pression intraoculaire (PIO) du TSL diminuent après quelques années, la procédure peut toutefois être répétée même sur des portions d'angle déjà lasérisées<sup>25</sup>. Après les procédures de CMIG avec iStent et par Trabectome discutées ci-dessous, la TSL peut être utilisée si nécessaire, avec des attentes prudentes en matière de réduction de la PIO et en informant le patient qu'il est probable qu'une procédure de filtrage soit nécessaire ultérieurement<sup>26,27</sup>.

Certaines publications ont utilisé des traitements TSL à 360° en une seule séance pour le traiter le GPEX<sup>28-30</sup>. Cependant, le TSL à 360° peut ne pas être prudent en raison du degré relativement plus élevé de pigmentation d'angle dans les yeux atteints du PEX. Par conséquent, les yeux atteints du PEX souffrent d'une absorption d'énergie plus importante et d'une inflammation qui en résulte pour un réglage d'énergie laser donnée<sup>31</sup>. Les yeux atteints du PEX eux-mêmes sont également prédisposés à une plus grande inflammation après toute intervention en général, et pas seulement en TSL. Bettis a documenté une série de cas de cinq patients atteints de GPEX post-TSL qui présentaient des pointes persistantes de pression intraoculaire avec un œdème cornéen associé. Les trois pointes les plus élevées étaient supérieures de 17, 18 et 24 mm Hg à la PIO avant le TSL. Il a fallu procéder à des trabéculotomies ultérieures pour tous les yeux. On a recommandé à 3 d'entre eux de recevoir une greffe de cornée<sup>32</sup>. Lorsqu'un TSL de 180° est effectué, l'autre 180° peut être complété plus tard, si nécessaire, après avoir évalué l'effet du traitement 6 à 12 semaines après le traitement initial<sup>24,33</sup>. Pour réduire le risque de complications telles que les poussées transitoires de pression intraoculaire postopératoire dans les yeux atteints du PEX, il est également prudent d'utiliser le réglage d'énergie le plus bas possible. Cette valeur peut être inférieure de 0,1 mJ à l'énergie qui forme en moyenne les bulles de cavitation, où les réseaux trabéculaires à pigmentation plus élevée nécessitent moins d'énergie<sup>31</sup>. Les pointes de PIO post-TSL chez les patients à haut risque tels que ceux atteints de PEX ont tendance à se produire dans les 24 heures. Il peut donc être prudent de pratiquer l'intervention le matin, puis de procéder à un contrôle de 45 à 60 minutes après l'intervention et une nouvelle fois dans l'après-midi, comme le font certains chirurgiens qui opèrent la cataracte sur des yeux présentant un risque élevé<sup>33</sup>. Les  $\alpha$ 2-agonistes, comme la brimonidine à 0,2 % ou l'apraclonidine à 0,5 %, peuvent être administrés avant et après l'intervention afin d'atténuer une éventuelle hausse de la PIO<sup>32</sup>.

Dans le cas d'une kératoconjonctivite sèche (sécheresse oculaire) modérée ou sévère

## Découvrez une production de larmes accrue grâce à CEQUA<sup>MC</sup>

PrCEQUA<sup>MC</sup> (solution ophtalmique de cyclosporine à 0,09 % p/v) est indiqué pour augmenter la production de larmes chez les patients atteints de kératoconjonctivite sèche (sécheresse oculaire) modérée ou sévère.



CEQUA est une préparation fondée sur la technologie des nanomicelles\*

\* La signification clinique n'est pas connue.

 **Cequa**<sup>MC</sup>  
solution ophtalmique de cyclosporine 0,09 % p/v

  
**SUN**  
PHARMA

**Usage clinique :**

**Enfants (< 18 ans) :** L'efficacité et l'innocuité de CEQUA n'ont pas été établies chez les enfants. Santé Canada n'a donc pas autorisé d'indication pour cette population.

**Personnes âgées (> 65 ans) :** Dans l'ensemble, aucune différence n'a été observée sur le plan de l'innocuité ou de l'efficacité entre les patients âgés et les patients adultes plus jeunes.

**Contre-indications :**

- Patients qui présentent une hypersensibilité à ce médicament ou à l'un des composants du produit (y compris les ingrédients non médicinaux) ou du contenant
- Patients atteints d'infections oculaires ou périoculaires évolutives ou soupçonnées
- Patients atteints d'affections oculaires ou périoculaires malignes ou précancéreuses

**Mises en garde et précautions pertinentes :**

- Destiné à un usage ophtalmique topique seulement
- Il convient de résoudre les infections oculaires ou périoculaires existantes ou soupçonnées avant l'instauration d'un traitement par CEQUA. Si une infection se produit pendant le traitement, l'administration de CEQUA doit être interrompue jusqu'à ce que l'infection ait été enrayerée.
- Il faut déconseiller aux patients de conduire un véhicule et d'utiliser des machines jusqu'à ce que leur vision soit redevenue normale après l'administration de CEQUA.
- CEQUA n'a pas été étudié chez des patients ayant des antécédents de kératite herpétique, de maladie des glandes lacrymales en phase terminale, de kératoconjonctivite sèche (KCS) causée par la destruction des cellules caliciformes conjonctivales comme dans le cas d'une carence en vitamine A, ou de tissu cicatriciel comme dans le cas d'une pemphigoïde cicatricielle, de brûlures causées par des produits alcalins, du syndrome de Stevens-Johnson, d'un trachome ou d'une exposition au rayonnement.
- Il faut surveiller de près les patients atteints d'une kératite grave.
- Risque de blessure et de contamination oculaires
- CEQUA ne doit pas être administré pendant que le patient porte des lentilles cornéennes.
- Infections et tumeurs locales : Une surveillance régulière est recommandée lorsque CEQUA est utilisé à long terme.
- Réactions d'hypersensibilité
- Les effets de CEQUA n'ont pas été étudiés chez des patients atteints d'insuffisance rénale ou hépatique.
- CEQUA est déconseillé pendant une grossesse, sauf si les avantages l'emportent sur les risques.
- Il faut faire preuve de prudence lors de l'administration de CEQUA aux femmes qui allaitent.

**Pour de plus amples renseignements :**

Veillez consulter la monographie de CEQUA à l'adresse [https://pdf.hres.ca/dpd\\_pm/00060038.PDF](https://pdf.hres.ca/dpd_pm/00060038.PDF) pour des renseignements importants non abordés ici concernant les effets indésirables, les interactions médicamenteuses et la posologie. Vous pouvez aussi obtenir la monographie du produit en communiquant avec notre Service médical au numéro sans frais 1 844 924-0656.

**RÉFÉRENCE :** Monographie de CEQUA<sup>MC</sup> actuelle, Sun Pharma Global FZE.

© 2022 Sun Pharma Canada Inc. Tous droits réservés.

CEQUA est une marque de commerce de Sun Pharma Global FZE. Utilisée sous licence.



La TSL est contre-indiquée dans les angles où le réseau trabéculaire ne peut être visualisé en toute sécurité<sup>34</sup>. En outre, la TSL peut elle-même entraîner la formation d'une synéchie antérieure périphérique (SAP); bien que son incidence globale soit généralement estimée chez 0 à 3 % des patients<sup>35</sup>. Il a été démontré qu'une profondeur de chambre antérieure (CA) inférieure à 2,57 mm prédit une faible efficacité de la TSL<sup>36</sup>. De plus, une CA moins profonde est associée à un risque plus élevé de lésions de l'endothélium cornéen après la TSL<sup>37</sup>. Il est intéressant de noter que le PEX lui-même peut prédisposer à l'endothéliopathie cornéenne<sup>38</sup>. Ornek et Ornek ont constaté une baisse statistiquement notable de la densité et une augmentation du coefficient de variation des cellules endothéliales une semaine après la TSL chez les patients atteints de PEX; cet effet s'est toutefois inversé à un mois. D'autres études sont requises pour confirmer que cet effet n'est que temporaire<sup>39</sup>.

**Iridotomie périphérique au laser (IPL)**

La fermeture de l'angle qui obstrue l'écoulement aqueux, provoquant une pression intraoculaire élevée, s'est avérée plus fréquente dans les yeux atteints du PEX que dans les yeux qui n'en sont pas atteints<sup>40-42</sup>. Dans l'ensemble, les yeux atteints du syndrome d'exfoliation peuvent être plus enclins à la fermeture de l'angle chronique, qui tend à être moins symptomatique que la fermeture aiguë de l'angle<sup>40</sup>. Le risque de fermeture de l'angle en cas de PEX n'est peut-être pas aussi dépendant de la longueur axiale qu'en cas de fermeture primaire de l'angle<sup>41,42</sup>. L'iris en PEX est plus rigide en raison de l'infiltration du tissu du PEX et de l'atrophie ou la fibrose de l'iris. L'iris présent dans les cas de PEX est donc relativement plus plat et moins convexe que les iris présents dans le glaucome primaire à angle fermé (GPAF)<sup>40</sup>. La pression induite par la production continue de liquide dans la chambre postérieure peut inciter l'iris rigide à se bomber vers l'avant à son point le plus fin et le plus faible, à savoir la racine de l'iris<sup>43</sup>. Cette situation peut à son tour créer un rétrécissement localisé de l'angle, ressemblant à une configuration en plateau lors d'une gonioscopie. La preuve que les yeux atteints de PEX ne présentent pas un véritable syndrome de l'iris en plateau (SIP) est établie par le fait que l'IPL réussit à élargir l'angle dans les cas de PED avec fermeture de l'angle<sup>40</sup>. L'IPL est en mesure d'ouvrir l'angle parce que la cause du rétrécissement n'est pas un corps ciliaire en rotation antérieure, comme dans le cas du SIP, mais plutôt un bloc pupillaire relatif<sup>40, 44,45</sup>. On a constaté que la distance de contact entre l'iris et la lentille était plus grande dans les yeux atteints du PEX, ce qui augmente probablement le risque de bloc pupillaire<sup>7</sup>. Ce contact est également susceptible d'augmenter la friction entre les deux tissus, ce qui accroît l'inflammation et la rupture des cellules épithéliales pigmentaires de l'iris<sup>7</sup>. Cette inflammation ainsi que le tissu « collant » du PEX peuvent augmenter la prédisposition à la formation de synéchies postérieures, ce qui accroît encore le risque de bloc pupillaire<sup>40</sup>. Les patients souffrant de PEX ont tendance à développer des cataractes à un âge précoce et sont susceptibles de développer des cataractes plus denses<sup>46,47</sup>. Par conséquent, les yeux

PM-CA-CQA-0031F

atteints du PEX sont plus enclins au rétrécissement de l'angle parce que l'augmentation de l'épaisseur du cristallin dans les yeux PEX aggrave le blocage pupillaire et/ou prédispose à la fermeture de l'angle<sup>42</sup>. Enfin, une dernière théorie veut que la faiblesse zonulaire dans les yeux atteints du PEX entraîne une subluxation antérieure qui, à son tour, réduit la profondeur de la CA et la largeur de l'angle<sup>48</sup>. On peut suspecter une zonulopathie pour tout œil atteint de PEX et présentant une profondeur antérieure asymétrique<sup>49</sup>. La phacododésie ou l'iridododésie sont des signes cliniquement observables d'une réduction de la fonction zonulaire. Il est toutefois important de noter que la faiblesse zonulaire est en fait plus souvent détectée en cours d'opération, c'est-à-dire lors d'une opération de la cataracte<sup>50</sup>. Il est important d'identifier les angles occlusifs dans les yeux atteints de GPEX, étant donné la réponse particulièrement faible de ceux-ci au traitement médical seul; il convient d'envisager une iridotomie ou une chirurgie de la cataracte<sup>1,6</sup>.

La procédure IPL « est généralement jugée sûre » à condition qu'une énergie raisonnable soit utilisée, que la cornée ne soit pas œdémateuse et que la CA ne soit pas trop superficielle ou enflammée<sup>51</sup>. Cependant, il faut au moins reconnaître le risque de lésions des zonules induites par l'IPL<sup>52-54</sup>. Cette constatation est potentiellement pertinente dans les yeux atteints du PEX, qui sont déjà prédisposés à la zonulopathie<sup>49</sup>.

Il est rassurant de constater que, dans une étude rétrospective portant sur 40 yeux présentant une zonulopathie constatée en cours d'opération de la cataracte, l'IPL n'a pas été associée à un risque accru de zonulopathie. Cependant, cette étude a porté sur des yeux atteints du GPAF et non du PEX, qui sont déjà prédisposés à la zonulopathie<sup>55</sup>. Il convient d'approfondir les preuves/études dans les yeux atteints du PEX. Un autre argument potentiel contre le recours à l'IPL avant l'opération de la cataracte est le risque que l'IPL elle-même endommage l'endothélium cornéen ou la membrane de Descemet chez un patient dont les chambres antérieures sont peu profondes<sup>56,57</sup>; de plus, les yeux atteints du PEX sont déjà prédisposés à l'endothéliopathie<sup>38</sup>.

La synécholyse en cas de fermeture chronique de l'angle peut être combinée à la chirurgie de la cataracte et menée à l'aide d'instruments chirurgicaux tels qu'une spatule de cyclodialyse ou une spatule de goniotomie de Mori en appuyant sur les bords périphériques de l'iris antérieur à côté des points de la SAP<sup>58</sup>. Certains chirurgiens privilégient l'injection de viscoélastiques de haut poids moléculaire (visco-synécholyse) près de l'angle pour résoudre la SAP, en évitant tout traumatisme chirurgical de l'angle et de l'iris<sup>59</sup>. Nous n'avons pas été en mesure de trouver des études dans lesquelles la synécholyse a été utilisée pour les yeux atteints du PEX présentant des synéchies en particulier.

### Chirurgie de la cataracte pour le GPEX

Il a été établi que la chirurgie de la cataracte réduit la PIO d'une moyenne de 1 à 3 mm Hg dans les yeux en santé ou atteints d'un GPAO, environ 80 % des patients maintenant cette réduction au bout de 5 ans<sup>60</sup>. Il est possible que la pression intraoculaire diminue en moyenne un peu plus dans les yeux atteints du PEX après l'opération de la cataracte<sup>61-64</sup>. Une méta-analyse a montré une réduction de la pression intraoculaire de -5,8 mm Hg (intervalle de confiance de 95 % : -9,5 à -2,0) dans les yeux atteints de GPEX contre -2,7 mm Hg (intervalle de confiance de 95 %, de -3,7 à -1,7) dans les yeux atteints de GPAO après une opération de la cataracte<sup>64</sup>. Une autre méta-analyse a montré que dans 5 études sur le GPEX avec un suivi moyen de 34 mois, la pression intraoculaire est passée d'une moyenne de 20,7 mm Hg avant l'opération avec 1,7 médicament à 16,6 mm Hg avec 1 médicament<sup>65</sup>. Ces patients avaient une PIO contrôlée médicalement avant l'opération de la cataracte et les auteurs ont conclu qu'il s'agissait d'une réduction modérée de la PIO par rapport à celle des patients atteints de GPAF qui ont eu une réduction « marquée » et à celle des patients atteints de GPAO qui eux, ont eu une réduction « légère »<sup>66</sup>. Il a également été démontré que la chirurgie de la cataracte pouvait ralentir la progression des cellules ganglionnaires<sup>63</sup>. L'irrigation minutieuse de la chambre antérieure et de l'angle après l'implantation de la LIO pourrait également contribuer à cette diminution importante de la PIO dans les yeux atteints du PEX (GPEX) dans la mesure où elle élimine les débris exfoliants, diminuant ainsi la résistance à l'écoulement du réseau trabéculaire<sup>63</sup>.

La pression intraoculaire dans les yeux atteints du PEX peut également être améliorée en augmentant l'accès au réseau trabéculaire grâce à un angle de CA plus large. Il a été démontré que la chirurgie de la cataracte augmente considérablement la largeur de l'angle ainsi que d'autres marqueurs, soit la profondeur et le volume de la CA. En fait, cet élargissement et cette augmentation de volume semblent être plus importants dans les yeux atteints de GPEX que dans les yeux non atteints de GPEX<sup>67</sup>. Il y a également plus d'espace entre l'iris postérieur et la lentille intraoculaire antérieure. Il en résulte une réduction attendue du frottement entre l'iris et le lenticule et, à son tour, une réduction de la libération des pigments et des tissus exfoliants qui peuvent réduire l'écoulement du réseau trabéculaire<sup>68</sup>. L'une des sources de tissu exfoliant, la capsule antérieure du cristallin, est également partiellement retirée lors de l'opération de la cataracte<sup>68</sup>. Rao a rapporté que 33 yeux atteints de GPEX et présentant des angles

occlusifs ont montré une réduction statistiquement importante de la fluctuation de la PIO, mesurée par la différence PIO maximale-minimale sur la courbe diurne, après l'ablation de la cataracte<sup>69</sup>. Compte tenu de ce qui précède, les chirurgiens spécialistes en glaucome semblent ouverts à la possibilité d'une chirurgie (précoce) de la cataracte chez les patients atteints de GPEX présentant une légère opacité du cristallin<sup>70</sup>.

Les arguments habituels en faveur d'un report de l'opération de la cataracte incluent une inflammation postopératoire plus importante et un risque plus élevé de pression intraoculaire postopératoire dans le cas du PEX<sup>6,71</sup>. Les patients atteints de PEX ont souvent besoin d'un traitement postopératoire à base de stéroïdes plus intensif et plus long<sup>6</sup>. Des caractéristiques telles que la laxité/faiblesse zonulaire, une faible dilatation de la pupille, des synéchies postérieures et une profondeur de CA inférieure à la moyenne augmentent les risques de complications liées à la chirurgie de la cataracte dans les yeux atteints du PEX. Ces risques/complications comprennent, sans s'y limiter, le décentrement ultérieur de la LIO, la rupture capsulaire, la pseudophakodonèse postopératoire, la contraction de la capsule antérieure, la dystrophie cornéenne endothéliale, l'hémorragie choroïdienne et le décollement du vitré/prolapsus antérieur<sup>71,72</sup>. Une LIO monofocale plutôt que torique ou multifocale peut être envisagée dans le cas du PEX en raison du risque de décentrement ultérieur de la LIO dans le sac capsulaire du fait d'une zonulopathie progressive<sup>73</sup>. Il est important d'évaluer les degrés de sensibilité au contraste actuels et prévus, qui diminueront à mesure que le glaucome progresse, lorsque l'on conseille à un patient atteint de GPEX d'opter pour une LIO multifocale<sup>74</sup>.

Le risque de complications lors de la chirurgie de la cataracte avec PXE peut être réduit en fonction de l'expérience chirurgicale, des modifications de techniques telles que la technique viscoélastique à coquille molle et un capsulorhexis plus large, et le recours à des dispositifs auxiliaires tels qu'un anneau de tension capsulaire<sup>49,75</sup>. Grâce à une technique et une préparation perfectionnées, Shingleton n'a pas constaté de différences dans le risque de complications liées à la chirurgie de la cataracte dans 100 yeux atteints du PEX de manière unilatérale par rapport aux autres yeux<sup>49</sup>. En outre, il peut être avantageux de procéder à une opération de la cataracte plus tôt chez les patients atteints de PEX afin d'éviter un risque accru de complications liées à une zonulopathie plus progressivement avancée, à une dilatation pupillaire altérée et à la densité de la cataracte<sup>49,76</sup>. Le GPEX à un stade très avancé est également associé à un risque élevé de hausse considérable de la PIO après l'opération, même si la PIO est relativement contrôlée en phase préopératoire et que l'opération de la cataracte se déroule sans complication<sup>77</sup>.

La chirurgie de la cataracte chez des patients souffrant de GPEX peut être combinée à une aspiration trabéculaire ou à une irrigation de la CA et de l'angle nettement plus importante que celle utilisée pour des yeux sains. L'aspiration trabéculaire après l'implantation d'une LIO permet d'aspirer les débris exfoliants dans le réseau trabéculaire à l'aide d'une sonde d'irrigation-aspiration, ce qui est censé débloquer les pores filtrants. Il a été démontré que l'aspiration peut réduire la PIO et diminuer le besoin de recourir aux médicaments contre le glaucome plus que la chirurgie de la cataracte seule, à court terme<sup>78,79</sup>; mais il n'y a pas eu suffisamment d'études avec un échantillon adéquat. L'effet de l'aspiration peut s'estomper après 2 à 3 ans avec l'accumulation progressive de tissu exfoliant dans le réseau trabéculaire ou l'angle<sup>80</sup>. Récemment, Tran a rapporté une approche faisant appel à une nouvelle technique de lavage sous pression pour le tissu du PEX dans la CA et le réseau trabéculaire, qui a permis de réduire de manière considérable la pression intraoculaire (PIO) et le nombre de médicaments topiques nécessaires après l'opération<sup>81,82</sup>. D'autres études avec un échantillon plus important et un modèle prospectif, et réalisées par des auteurs différents, seront nécessaires.

### **Chirurgie micro-invasive du glaucome pour le GPEX**

La chirurgie micro-invasive du glaucome (CMIG) est réputée présenter moins de complications graves, moins de risques, une durée d'opération plus courte et une récupération plus rapide que la trabéculotomie et la pose de dispositifs de drainage du glaucome (DDG)<sup>83</sup>. L'effet de réduction de la PIO de la CMIG est plus faible que celui de la trabéculotomie. La CMIG a été conçue pour combler le vide dans les options de traitement entre la thérapie médicale et les options chirurgicales traditionnelles plus agressives<sup>84</sup>. La CMIG peut également réduire le nombre de médicaments topiques nécessaires à long terme pour atténuer les symptômes de la sécheresse oculaire et réduire le risque de non-respect du traitement<sup>85</sup>.

Des essais contrôlés randomisés plus efficaces et d'autres études prospectives sont nécessaires avant que nous puissions recommander l'utilisation d'une CMIG plutôt qu'une autre dans les cas de GPEX, puisque de nombreuses options sont maintenant disponibles. Les CMIG peuvent être catégorisées en fonction de l'approche *ab externo* ou *interno* utilisée, ainsi que du tissu qu'elles ciblent. La plupart des études portant sur des yeux atteints de GPEX portent sur des dispositifs de CMIG qui contournent le réseau trabéculaire, ceux qui traversent le réseau trabéculaire.

laire et ceux qui évacuent directement le liquide dans l'espace sous-conjonctival. Les deux premiers, ou la CMIG de *réseau trabéculaire*, ne sont pas idéaux dans les cas de glaucome avancé où le fait de ne pas obtenir un contrôle PIO maximum avec la première procédure est élevé. Cependant, les cas moins urgents/avancés préservent la conjonctive, laissent la possibilité d'une chirurgie de filtration ultérieure et ne nécessitent qu'une seule incision de la cornée (bien que la trabéculéctomie transluminale assistée par gonioscopie puisse nécessiter deux incisions)<sup>86</sup>.

Les dispositifs CMIG à *pontage de réseau trabéculaire* comprennent les endoprothèses iStent, iStent inject, iStent Infinite (tous fabriqués par Glaukos Corp., à Aliso Viejo, en Californie) et le Microstent d'Hydrus (Alcon, à Genève, en Suisse)<sup>86</sup>. L'iStent Infinite, plus récent, implique l'implantation de 3 endoprothèses et peut être réalisé en tant que procédure autonome, tandis que les autres, y compris *iStent inject* à 2 endoprothèses, sont indiqués pour une intervention *pendant* une chirurgie de la cataracte<sup>87</sup>. Les endoprothèses iStent (Glaukos) sont implantées *ab interno* et relient la CA et le canal de Schlemm, en contournant le réseau trabéculaire et en facilitant l'accès de l'humeur aqueuse aux plexus scléraux et aux veines épisclérales de la voie d'écoulement conventionnelle<sup>86</sup>. Hengerer a observé une baisse moyenne de 32 % de la pression intraoculaire et une diminution de 64 % du recours aux médicaments 12 mois après l'implantation de 2 endoprothèses iStent (inject) de deuxième génération combinée à une chirurgie de la cataracte dans un sous-groupe de 15 yeux souffrant de GPEX et se trouvant à différents stades de la maladie<sup>85</sup>. Ferguson a montré que l'implantation d'une endoprothèse combinée à une chirurgie de la cataracte permettait une réduction moyenne de 27 % de la PIO et une réduction moyenne de 50 % de la prise de médicaments abaissant la PIO à 6 mois dans 115 yeux atteints de GPEX à différents stades. Des réductions moyennes de la PIO et de la consommation de médicaments de 4,71/0,9, 5,23/0,5 et 9,54/0,67 ont été observées chez les patients qui avaient un GPEX léger (n = 49), modéré (n = 54) et sévère (n = 12), respectivement<sup>88</sup>. Bien que les deux études décrites ci-dessus soient très prometteuses, les deux auteurs ont révélé avoir des liens financiers avec Glaukos, la première était de très petite taille et la seconde était rétrospective et comportait un biais de sélection possible<sup>85,87</sup>. Dans l'étude de Ferguson, 7 yeux atteints de GPEX (6 %) ont présenté une poussée de PIO  $\geq 15$  mm Hg à un moment donné au cours de la période de suivi de 24 mois après l'intervention, la plupart survenant au cours de la première semaine postopératoire<sup>88</sup>. Il est déconseillé d'utiliser l'iStent dans les yeux dont l'angle est toujours occlusif ou étroit, puisque l'endoprothèse risque de s'obstruer avec l'iris. En outre, dans les yeux ayant subi une fermeture chronique de l'angle, le système d'écoulement du réseau trabéculaire peut présenter des lésions anciennes et irréversibles<sup>86</sup>.

Les CMIG étudiées chez les patients atteints de GPEX qui *retiennent* (plutôt que de mettre en place une endoprothèse) le RT comprennent la procédure Trabectome, la lame double Kahook (New World Medical, à Cucamonga, en Californie) et la trabéculéctomie transluminale assistée par gonioscopie<sup>86</sup>. La procédure par Trabectome ou la trabéculéctomie *ab interno* permet, en environ 3 à 4 heures, une microélectrocautérisation à haute fréquence du RT et du canal de Schlemm, ainsi qu'une irrigation simultanée et continue pour éliminer les débris exfoliants<sup>89</sup>. Dans une étude prospective non randomisée, Ting a examiné l'effet de la chirurgie de la cataracte combinée à une procédure par Trabectome dans 45 yeux atteints de GPEX avec une PIO moyenne préopératoire de  $21,7 \pm 8,4$ . Après un an, la diminution moyenne de la pression intraoculaire était de  $-7,2 \pm 7,7$  mm Hg, et 6,7 % des patients ont dû subir une deuxième intervention<sup>90</sup>. Jordan a également étudié de manière prospective les effets d'une procédure par Trabectome dans 173 yeux atteints de GPEX, dont 40 % ont subi la procédure combinée à une chirurgie de la cataracte. Après un suivi moyen de  $200 \pm 278$  jours, la pression intraoculaire des 173 yeux a été en moyenne réduite de  $25 \pm 5,9$  mm Hg à  $18 \pm 8,2$  mm Hg, et le nombre de médicaments a été réduit de  $2,0 \pm 1,2$  à  $1,1 \pm 1,1$ <sup>91</sup>. Il est important de noter qu'un effet notable de réduction de la PIO a été observé dans les yeux atteints de GPEX qui n'ont été traités que par Trabectome même, ce qui rassure sur le fait que la chirurgie de la cataracte n'est pas la seule source d'un bénéfice en termes de réduction de la PIO. Le groupe de 67 yeux atteints de GPEX traité uniquement par trabéctomie de Ting avait une PIO moyenne préopératoire de 29,0 mm Hg  $\pm$  7,5 (intervalle de confiance), et a montré une diminution moyenne de la PIO de  $-12,3 \pm 8,0$  mm Hg à 1 an, avec un taux de procédure secondaire de 20 %<sup>90</sup>. Une étude à plus long terme, quoique petite, a montré que 28 patients atteints de GPEX qui recevaient un traitement avec procédure Trabectome seul avaient une réduction moyenne de la PIO de 26 % ( $23,1 \pm 5,1$  mm Hg à  $17,2 \pm 6,1$  mm Hg) et une réduction de 29 % ( $2,4 \pm 1,0$  à  $1,7 \pm 1,3$ ) de la prise de médicaments topiques, après un suivi moyen d'environ 3,5 ans<sup>89</sup>. Néanmoins, Jordan et Okeke ont constaté que la chirurgie de la cataracte par rapport à la trabéctomie seule était associée à une diminution des risques d'échec, peut-être en raison des effets bénéfiques de l'augmentation de la largeur d'angles<sup>91,92</sup>. Selon Okeke, un trabectome peut en fait être utilisé de manière non officielle dans les yeux en phase avancée de GPEX en raison de son faible profil d'effets secondaires et de son efficacité, en particulier lorsqu'il est associé à une chirurgie de la cataracte<sup>92</sup>. Bien que la chirurgie du trabéctome soit en fait couramment pratiquée avant la chirurgie de la cataracte<sup>92</sup>, elle peut également être réalisée après l'implantation d'une LIO ouvrant l'angle pour améliorer l'accès au réseau trabéculaire chez les patients à angle étroit ne présentant pas de synéchies significatives<sup>93-94</sup>.

Ting a rapporté que 4 patients sur 45 atteints de GPEX, soit 9 %, présentaient une poussée de PIO de 10 mm Hg après une chirurgie combinée de la cataracte et par Trabectome<sup>90</sup>. L'hyphéma, causé par le reflux du sang des canaux collecteurs, survient dans presque tous les cas de chirurgie par Trabectome, y compris dans les yeux atteints de GPEX, mais se résout généralement sans intervention chirurgicale supplémentaire. La SAP peut se former chez 14 % des patients, et elle est plus probable chez les jeunes patients. De nombreuses études ont montré une meilleure réduction de la PIO et une meilleure réponse à long terme à la chirurgie par Trabectome dans les cas de GPEX (par rapport aux cas de GPAO), ce qui serait attribuable à l'élimination des débris exfoliants<sup>89-90</sup>.

La lame double Kahook (Kahook Dual Blade ou KDB, New World Medical) permet d'exciser une bande du réseau trabéculaire et de la paroi du canal de Schlemm en 3 à 4 heures<sup>86</sup>. La lame double Kahook n'exige qu'une incision cornéenne unique et enlève le réseau trabéculaire de façon plus complète qu'un couteau goniotomique traditionnel, laissant beaucoup moins de résidus et causant moins de dommages collatéraux. Une étude rétrospective sans lien financier divulgué avec New World Medical a porté sur 38 yeux atteints de GPEX avec une pression intraoculaire moyenne de  $22,4 \pm 7,4$  mm Hg en phase préopératoire traitée avec  $2,7 \pm 1,5$  médicament en phase postopératoire<sup>95</sup>. Trente-six mois après l'utilisation de la lame double Kahook combinée à la chirurgie de la cataracte, la PIO était nettement plus basse à  $13,4 \pm 2,3$  mm Hg en prenant  $2,1 \pm 1,4$  médicament. Cette étude portait également sur un groupe de 110 yeux atteints de GPAO. Ce groupe (9 %) présentait nettement moins de pointes de pression intraoculaire de plus de 10 mm Hg et présentait moins de chirurgies subséquentes que le groupe du GPEX (24 %), bien que le groupe du GPEX ait compté une plus grande proportion de patients atteints d'un glaucome préexistant à un stade sévère. Un hyphéma est apparu dans 14,2 % des cas *au total*, mais il a disparu spontanément sans intervention dans tous les cas. D'autres études rétrospectives portant sur de petits échantillons (dont les auteurs ont divulgué leurs relations avec New World Medical) ont montré une réduction réussie de la pression intraoculaire dans le cas du GPEX avec utilisation de la lame double Kahook seulement<sup>96-97</sup>. L'effet de réduction de la PIO peut encore être meilleur lorsque la lame double Kahook est combinée à une chirurgie de la cataracte, mais des études prospectives à long terme sur cette méthode dans le cas de la GPEX sont les bienvenues.

La trabéculotomie transluminale assistée par gonioscopie (TTAG) consiste à faire passer *ab interno* un cathéter illuminé ou à utiliser un fil suture à pointe thermoémoussée 5-0 ou 6-0 sur 360 degrés de circonférence à l'intérieur du canal de Schlemm. Son extrémité proximale est ensuite tirée pour amener le cathéter ou la suture dans la chambre antérieure, créant ainsi une trabéculotomie (ablation du réseau trabéculaire et de la paroi interne du canal de Schlemm). L'étude prospective de Sharkawi portant sur 103 yeux atteints de GPEX a montré une PIO initiale moyenne de 27,1 mm Hg (intervalle de confiance de 95 %, de 25,5 à 28,7) utilisant 2,9 (écart-type de 1,1) médicaments contre le glaucome, respectivement, qui a diminué après l'opération à 13,0 mm Hg (intervalle de confiance de 95 %, de 11,5 à 14,4) et à 1,0 (écart-type de 1,1) médicament à 24 mois. Environ la moitié des yeux ont subi une opération de la cataracte suivie immédiatement d'une TTAG; l'autre moitié n'a subi qu'une TTAG, sans qu'il y ait de différence d'effet entre les deux groupes<sup>98</sup>. L'étude rétrospective et non randomisée d'Ozkart portant sur 66 yeux atteints de GPEX a fait état d'une pression intraoculaire moyenne de  $25,35 \pm 8,52$  mm Hg avant l'opération, diminuant à  $14,65 \pm 5,21$  mm Hg après l'opération, avec un suivi moyen de  $19 \pm 6,12$  mois<sup>99</sup>. L'étude rétrospective d'Aktas portant sur 111 yeux atteints de GPEX a montré une PIO de base préopératoire de 26,1 mm Hg (écart-type de 7,4) et une PIO postopératoire de 12,3 mm Hg (écart-type de 3,2) à 12 mois et de 13,2 mm Hg (écart-type de 3,1) à 36 mois<sup>100</sup>. Bozkart et Aktas ont également constitué des groupes de patients atteints de GPAO, sans qu'il y ait de différence en ce qui concerne l'effet ou la réussite du traitement entre le GPEX et le GPAO. Aktas a noté un effet plus important du traitement dans les cas de GPEX (par rapport aux cas de GPAO) au cours de la première année postopératoire, peut-être en raison de l'élimination des débris exfoliants du reste du segment antérieur en plus de l'élimination du site d'obstruction trabéculaire-exfoliante. Ces auteurs ont également observé que la chirurgie de la cataracte n'avait pas d'effet de réduction supplémentaire de la PIO par rapport à la TTAG seulement. Les taux de complications et de réopération pour une réduction supplémentaire nécessaire de la PIO n'étaient pas significativement différents entre les yeux atteints de GPAO et de GPEX<sup>99-100</sup>. L'hyphéma est la complication la plus fréquente de la TTAG; il est apparu dans environ un tiers des yeux atteints de GPEX l'étude d'Aktas. En revanche, il n'est généralement pas nécessaire de procéder à un lavage de la chambre antérieure<sup>100</sup>.

L'implant Xen 45 Gel (Allergan, à Dublin, en Irlande) est un tube de gélatine porcine de 6 mm de long et de 45  $\mu$ m de diamètre inséré *ab interno* à partir de la chambre antérieure jusqu'à l'espace sous-conjonctival. Cette opération est censée être plus sûre que la trabéculéctomie, étant donné qu'elle ne requiert pas de dissection conjonctivale, de découpe d'un lambeau scléral, ni d'iridectomie. De plus, son diamètre de 45  $\mu$ m a été expressément choisi pour réduire le risque d'hypotonie<sup>101</sup>. Une revue systématique de 2022 (incluant 3 études portant sur 118 yeux atteints

de GPEX) a montré un effet thérapeutique notable à la fois dans le GPAO et le GPEX, sans différence importante entre les deux groupes<sup>102</sup>. Dans une étude prospective portant sur 53 yeux atteints de GPEX sans liens divulgués avec Allergan, Mansouri a montré que la pression intraoculaire moyenne de départ était passée de  $19,7 \pm 8,2$  mm Hg à  $13,6 \pm 4,3$  mm Hg après 12 mois. Le nombre moyen de médicaments utilisés a été réduit de manière conséquente, passant de  $2,0 \pm 1,3$  en phase préopératoire à  $0,5 \pm 0,8$ . Trente-huit pour cent des yeux atteints de GPEX ont dû subir au moins un remaillage de la bulle pour éliminer les adhérences du dispositif de filtration. Malheureusement, l'absence d'incision conjonctivale signifie que le lumen de l'implant XEN peut être facilement bloqué par la capsule de Tenon, ce qui peut expliquer en partie la fréquence plus élevée de révision de l'obturateur par rapport à la trabéculéctomie<sup>103</sup>. L'effet de réduction de la pression intraoculaire du GPEX semble diminuer avec le temps, tandis que Gillmann a constaté que les yeux atteints de GPEX nécessitent une révision plus tôt (135 jours en moyenne) que les yeux atteints de GPAO (163 jours), bien que cette différence ne soit pas statistiquement importante. Les auteurs ont émis l'hypothèse qu'une plus grande inflammation et une perturbation de la barrière aqueuse associée au PEX entraînent une augmentation de la cicatrisation post-chirurgicale<sup>104</sup>.

### Trabéculéctomie et dérivations tubulaires pour GPEX

La trabéculéctomie est une chirurgie filtrante qui consiste à créer un passage entre la sclérotique (sclérostomie) et la chambre antérieure. Un lambeau scléral d'une demi-épaisseur est suturé de manière lâche au-dessus de ce passage afin d'éviter une perte aqueuse excessive qui pourrait entraîner une hypotonie. L'humeur aqueuse s'écoule à travers ce lambeau scléral dans l'espace sous-conjonctival, ce qui entraîne une élévation de la conjonctive remplie d'humeur aqueuse, appelée « bulle filtrante ». La mitomycine C est un antimétabolite utilisé lors de la trabéculéctomie pour empêcher la multiplication des cellules qui produisent du tissu cicatriciel, lequel peut à son tour retarder le drainage aqueux<sup>105</sup>. En cas de GPEX récalcitrant à angle ouvert ou fermé, la trabéculéctomie peut être réalisée seule ou associée à une chirurgie de la cataracte lorsque la fonctionnalité physiologique du réseau trabéculaire, le respect des règles par le patient et/ou sa capacité à payer les médicaments sont suffisamment remis en question pour justifier les complications/risques<sup>10</sup>. Deux études prospectives portant sur plus de 70 yeux atteints de GPEX et ayant subi une trabéculéctomie ont montré une réduction moyenne combinée de la pression intraoculaire (PIO) d'un peu plus de 14 mmHg pour une durée de suivi d'environ 26 mois<sup>106,107</sup>. Une plus grande dégradation de la barrière hématoaqueuse est observée après la trabéculéctomie dans les yeux atteints du PEX (par rapport au GPAO), les cytokines inflammatoires et le tissu exfoliant qui en résultent contribuant théoriquement à la formation accrue de cicatrices sur la bulle filtrante. Les yeux atteints de GPEX peuvent donc présenter un risque plus élevé de complications et d'échec à long terme après la trabéculéctomie que les yeux atteints de GPAO<sup>107,108</sup>. Dans une étude rétrospective portant sur environ 50 yeux atteints de GPEX et 75 yeux atteints de GPAO, Li a constaté que le succès de la réduction de la pression intraoculaire à 3 et 5 ans était nettement plus faible dans le groupe GPEX<sup>109</sup>. Il est intéressant de noter que Rao a obtenu des résultats comparables dans les yeux atteints de GPEX ayant subi une chirurgie de la cataracte *seulement* en ce qui concerne l'acuité finale, le profil de la PIO à long terme et la progression du champ visuel par rapport à l'association cataracte/trabéculéctomie. Malheureusement, la taille de l'échantillon de Rao était petite et l'étude était rétrospective, ce qui aurait pu entraîner un biais de sélection<sup>110</sup>.

Les dispositifs de drainage du glaucome (DDG), également connus sous le nom de dérivations tubulaires, transportent l'humeur aqueuse de la chambre antérieure vers un réservoir conjonctival externe, où une capsule fibreuse se forme environ 4 à 6 semaines après l'opération et régule ensuite le débit<sup>111</sup>. L'étude *Primary Tube Versus Trabeculectomy* a montré que les dérivations tubulaires avaient une pression intraoculaire et utilisaient un nombre de médicaments similaires au bout de 3 ans, avec un risque d'échec et de complications postopératoires nettement inférieur à celui de la trabéculéctomie. Par rapport à 7 % dans le groupe traité par trabéculéctomie, seulement 1 % des patients ayant subi une dérivation tubulaire ont souffert de complications graves après un an de suivi, entraînant la perte de deux lignes de Snellen ou la nécessité d'une nouvelle intervention chirurgicale. Toutefois, les atteints de GPEX ne représentaient que 4 % de la cohorte dans cet essai et une analyse de sous-groupe n'était pas disponible<sup>112</sup>. Ainsi, à l'heure actuelle, il existe peu de preuves de l'existence d'un GPEX propre à une grande cohorte pour la DDG<sup>108</sup>. Une vaste série de cas rétrospectifs a classé le GPEX comme facteur de risque d'érosion tubaire<sup>113</sup>. La santé de l'endothélium cornéen est un autre sujet d'étude potentiel pertinent dans le cas du DDG, puisque le DDG et le PEX ont tous deux été associés de manière indépendante à une réduction de la densité des cellules endothéliales<sup>114-116</sup>. Fait prometteur, Nobl a constaté que l'implantation du MicroShunt<sup>MP</sup> DDG (Glaukos) avait une efficacité similaire dans les yeux atteints de GPAO et de GPEX, qui ont montré des réductions de la PIO de  $21,5 \pm 5,8$  mm Hg à  $12,8 \pm 3,0$  mm Hg et des réductions du nombre de médicaments de  $2,8 \pm 1,3$  à  $0,3 \pm 0,8$  à 12 mois. Cependant, il s'agissait d'une petite étude. Des taux plus élevés d'hypotonie transitoire et de décollement de la choroïde ont également été observés dans les yeux atteints de GPEX. Apparemment, aucun test de comptage des cellules endothéliales cornéennes n'a été effectué<sup>117</sup>.

**CONCLUSION**

Le glaucome pseudo-exfoliatif se caractérise par des fluctuations plus importantes de la PIO et il est plus réfractaire au traitement topique que le glaucome primitif à angle ouvert. Sur la base de la littérature examinée dans le présent document, des agents peuvent être ajoutés à la monothérapie de première ligne par prostaglandine afin de mieux contrôler l'augmentation de la pression intraoculaire (PIO) et la tendance à la perte glaucomateuse progressive. En outre, la littérature encourage le recours opportun à la trabeculoplastie sélective au laser et/ou à diverses procédures micro-invasives de traitement du glaucome dans les cas de GPEX, lorsque le respect du traitement, sa tolérance et/ou sa progression signifient que le traitement topique seul n'est peut-être pas approprié. Des études ont montré que la chirurgie de la cataracte dans les cas de GPEX est très efficace pour réduire la PIO, probablement en raison de l'élimination du tissu exfoliant de la chambre antérieure et du réseau trabéculaire. La chirurgie de la cataracte peut également réduire la libération de pigments et de tissus exfoliants en réduisant le frottement de la capsule antérieure du cristallin contre l'iris postérieur. En outre, comme de nombreux patients atteints de PEX présentent des angles occlusifs, une chirurgie de la cataracte plus précoce ou une iridotomie périphérique au laser peuvent s'avérer utiles pour éliminer une composante de fermeture de l'angle, même s'il est vrai que ces deux procédures présentent des risques qui sont amplifiés dans le cas de PEX, notamment la zonulopathie, la perte de cellules endothéliales et l'inflammation. D'autres études prospectives impartiales, à long terme et portant sur un large échantillon sont nécessaires pour révéler quels sont les CMIG et les dispositifs de drainage du glaucome les plus efficaces et les plus sûrs dans le cas du GPEX. En particulier, des études sont à réaliser sur les dispositifs de drainage/tubes dans les cas de GPEX. Jusqu'à présent, la littérature montre que la sécurité relative et l'efficacité toujours impressionnante des CMIG pour l'ablation du réseau trabéculaire, y compris la chirurgie par Trabectome, et en particulier la TTAG, pourraient inciter un clinicien à recommander cette méthode plutôt que la trabéculotomie, du moins dans un premier temps. Il a été démontré que la trabéculotomie transluminale assistée par gonioscopie, en particulier, donne de bons résultats dans les cas de GPEX, à la fois seule et combinée à la chirurgie de la cataracte, bien que d'autres études soient nécessaires pour toutes ces procédures dans ce sous-type de glaucome agressif. ●

**AUTEUR CORRESPONDANT :** Alexander Hynes – hynesal7@gmail.com

**optomap<sup>®</sup> Improves Efficiency**

The **ONLY** single-capture ultra-widefield retinal image, **optomap** improves practice flow and supports patient engagement.

[www.optos.com](http://www.optos.com)

 **Decrease patient visit time 33%<sup>1</sup>**

**66%** **Pathology captured outside FOV of traditional fundus cameras<sup>2</sup>**

 **See 7% more patients<sup>3</sup>**





<sup>1</sup> Successful interventions to improve efficiency and reduce patient visit duration in a retina practice. Retina. 2011. <sup>2</sup> Widefield Patient Care. EAOO. 2016. <sup>3</sup> The Impact of Ultra-widefield Retinal Imaging on Practice Efficiency. US Ophthalmic Review. 2017.

© 2023 Optos. All rights reserved. Optos®, optos® and optomap® are registered trademarks of Optos plc.

RÉFÉRENCES

1. Plateroti P, Plateroti AM, Abdolrahimzadeh S, Scuderi G. Pseudoexfoliation Syndrome and Pseudoexfoliation Glaucoma: A Review of the Literature with Updates on Surgical Management. *J Ophthalmol*. 2015;2015:370371. doi:10.1155/2015/370371
2. Li X, He J, Sun J. LOXL1 gene polymorphisms are associated with exfoliation syndrome/exfoliation glaucoma risk: An updated meta-analysis. *PLoS One*. 2021;16(4):e0250772. Published 2021 Apr 28. doi:10.1371/journal.pone.0250772
3. Aström S, Lindén C. Incidence and prevalence of pseudoexfoliation and open-angle glaucoma in northern Sweden: I. Baseline report. *Acta Ophthalmol Scand*. 2007;85(8):828-831. doi:10.1111/j.1600-0420.2007.00992.x
4. Jiwani AZ, Pasquale LR. Exfoliation Syndrome and Solar Exposure: New Epidemiological Insights Into the Pathophysiology of the Disease. *Int Ophthalmol Clin*. 2015;55(4):13-22. doi:10.1097/IIO.0000000000000092
5. Rathi S, Andrews C, Greenfield DS, Stein JD. A Comparison of Resource Use and Costs of Caring for Patients With Exfoliation Syndrome Glaucoma Versus Primary Open-Angle Glaucoma. *Am J Ophthalmol*. 2019;200:100-109. doi:10.1016/j.ajo.2018.12.024
6. Desai MA, Lee RK. The medical and surgical management of pseudoexfoliation glaucoma. *Int Ophthalmol Clin*. 2008;48(4):95-113. doi:10.1097/IIO.0b013e318187e902
7. Skaat A, Jasien JV, Ritch R. Efficacy of Topically Administered Rho-Kinase Inhibitor AR-12286 in Patients With Exfoliation Syndrome and Ocular Hypertension or Glaucoma. *J Glaucoma*. 2016;25(9):e807-e814. doi:10.1097/IJG.0000000000000508
8. Vesti E, Kivelä T. Exfoliation syndrome and exfoliation glaucoma. *Prog Retin Eye Res*. 2000;19(3):345-368. doi:10.1016/s1350-9462(99)00019-1
9. Tojo N, Abe S, Miyakoshi M, Hayashi A. Comparison of intraocular pressure fluctuations before and after ab interno trabeculectomy in pseudoexfoliation glaucoma patients. *Clin Ophthalmol*. 2017;11:1667-1675. Published 2017 Sep 14. doi:10.2147/OPTH.S143061
10. Konstas AG, Mantziris DA, Stewart WC. Diurnal intraocular pressure in untreated exfoliation and primary open-angle glaucoma. *Arch Ophthalmol*. 1997;115(2):182-185. doi:10.1001/archophth.1997.01100150184006
11. Koz OG, Turkcu MF, Yarangumeli A, Koz C, Kural G. Normotensive glaucoma and risk factors in normotensive eyes with pseudoexfoliation syndrome. *J Glaucoma*. 2009;18(9):684-688. doi:10.1097/IJG.0b013e31819c4311
12. Tuteja S, Zepieri M, Chawla H. Pseudoexfoliation Syndrome and Glaucoma. [Updated 2023 May 31]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023 Jan. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK574522/>
13. Sihota R, Angmo D, Ramaswamy D, Dada T. Simplifying “target” intraocular pressure for different stages of primary open-angle glaucoma and primary angle-closure glaucoma. *Indian J Ophthalmol*. 2018;66(4):495-505. doi:10.4103/ijo.IJO\_1130\_17
14. Konstas AGP, Kozobolis VP, Katsimpris IE, et al. Efficacy and safety of latanoprost versus travoprost in exfoliative glaucoma patients. *Ophthalmology*. 2007;114:653-657.
15. Konstas AG, Kozobolis VP, Katsimpris IE, et al. Efficacy and safety of latanoprost versus travoprost in exfoliative glaucoma patients. *Ophthalmology*. 2007;114(4):653-657. doi:10.1016/j.ophtha.2006.07.064
16. Konstas AG, Holló G, Irkec M, et al. Diurnal IOP control with bimatoprost versus latanoprost in exfoliative glaucoma: a crossover, observer-masked, three-centre study. *Br J Ophthalmol*. 2007;91(6):757-760. doi:10.1136/bjo.2006.106690
17. Tekeli O, Köse HC. Evaluation of the Use of Brinzolamide-Brimonidine Fixed Combination in Maximum Medical Therapy. *Turk J Ophthalmol*. 2022;52(4):262-269. doi:10.4274/tjo.galenos.2021.25488
18. Konstas AG, Maltezos A, Bufidis T, Hudgins AG, Stewart WC. Twenty-four hour control of intraocular pressure with dorzolamide and timolol maleate in exfoliation and primary open-angle glaucoma. *Eye (Lond)*. 2000;14:73-77. doi:10.1038/eye.2000.16
19. Shiuey EJ, Mehran NA, Ustaoglu M, et al. The effectiveness and safety profile of netarsudil 0.02% in glaucoma treatment: real-world 6-month outcomes. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2022;260:967-74
20. Garcia GA, Ngai P, Mosaed S, Lin KY. Critical evaluation of latanoprostene bunod in the treatment of glaucoma. *Clin Ophthalmol*. 2016;10:2035-2050. Published 2016 Oct 18. doi:10.2147/OPTH.S103985
21. Angelilli A, Ritch R. Directed Therapy: An Approach to the Improved Treatment of Exfoliation syndrome. *Middle East Afr J Ophthalmol*. 2009;16(1):35-40. doi:10.4103/0974-9233.48866
22. Jha B, Bhartiya S, Sharma R, Arora T, Dada T. Selective Laser Trabeculectomy: An Overview. *J Curr Glaucoma Pract*. 2012;6(2):79-90. doi:10.5005/jp-journals-10008-1111
23. Goldenfeld M, Geyer O, Segev E, Kaplan-Messas A, Melamed S. Selective laser trabeculectomy in uncontrolled pseudoexfoliation glaucoma. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging*. 2011;42(5):390-393. doi:10.3928/15428877-20110630-01
24. Shazly TA, Smith J, Latina MA. Long-term safety and efficacy of selective laser trabeculectomy as primary therapy for the treatment of pseudoexfoliation glaucoma compared with primary open-angle glaucoma. *Clin Ophthalmol*. 2010;5:5-10. Published 2010 Dec 16. doi:10.2147/OPTH.S15952
25. Wang P, Akkach S, Andrew NH, Wells AP. Selective Laser Trabeculectomy: Outcomes of Multiple Repeat Treatments. *Ophthalmol Glaucoma*. 2021;4(5):482-489. doi:10.1016/j.ogla.2020.12.013
26. Siedlecki AR, Hicks PM, Haaland B, DeAngelis MM, Sieminski SF. Efficacy of Selective Laser Trabeculectomy after iStent Implantation in Primary Open-Angle Glaucoma. *J Pers Med*. 2021;11(8):797. Published 2021 Aug 16. doi:10.3390/jpm11080797
27. Töteberg-Harms M, Rhee DJ. Selective laser trabeculectomy following failed combined phacoemulsification cataract extraction and ab interno trabeculectomy. *Am J Ophthalmol*. 2013;156(5):936-940. e2. doi:10.1016/j.ajo.2013.05.044
28. Kouchehi B, Hashemi H. Selective laser trabeculectomy in the treatment of open-angle glaucoma. *J Glaucoma*. 2012;21:65-70. 333.
29. Realini T, Gazzard G, Latina M, Kass M. Low-energy Selective Laser Trabeculectomy Repeated Annually: Rationale for the COAST Trial. *J Glaucoma*. 2021;30(7):545-551.
30. Mahdy MA. Efficacy and safety of selective laser trabeculectomy as a primary procedure for controlling intraocular pressure in primary open angle glaucoma and ocular hypertensive patients. *Sultan Qaboos Univ Med J*. 2008;8(1):53-58
31. Bettis DI, Whitehead JJ, Farhi P, Zabriskie NA. Intraocular pressure spike and corneal decompensation following selective laser trabeculectomy in patients with exfoliation glaucoma. *J Glaucoma*. 2016;25:e433-7s
32. Johnson PB, Katz LJ, Rhee DJ. Selective laser trabeculectomy: predictive value of early intraocular pressure measurements for success at 3 months. *Br J Ophthalmol*. 2006;90(6):741-743. doi:10.1136/bjo.2005.086363
33. O'Brien PD, Ho SL, Fitzpatrick P, Power W. Risk factors for a post-operative intraocular pressure spike after phacoemulsification. *Can J Ophthalmol*. 2007;42(1):51-55.
34. Sarenac T, Bečić Turkanović A, Ferme P, Gračner T. A Review of Selective Laser Trabeculectomy: “The Hype Is Real”. *J Clin Med*. 2022;11(13):3879. Published 2022 Jul 4. doi:10.3390/jcm11133879
35. Chan JC, Cheung RK, Wong PW, Lai JS. Peripheral anterior synechiae after selective laser trabeculectomy among Chinese patients. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2022;260(11):3577-3585. doi:10.1007/s00417-022-05685-8
36. Kuryshva NI, Lepeshkina LV, Shatalova EO. Predictors of Outcome in Selective Laser Trabeculectomy: A Long-term Observation Study in Primary Angle-closure Glaucoma After Laser Peripheral Iridotomy Compared With Primary Open-angle Glaucoma. *J Glaucoma*. 2018;27(10):880-886. doi:10.1097/IJG.0000000000001048
37. Kuryshva NI, Lepeshkina LV, Kapkova SG. Factors affecting the corneal endothelium after selective laser trabeculectomy in primary open angle and angle closure glaucoma. *BMJ Open Ophthalmol*. 2021;6(1):e000638. Published 2021 Apr 27. doi:10.1136/bmjophth-2020-000638
38. Tomaszewski BT, Zalewska R, Mariak Z. Evaluation of the endothelial cell density and the central corneal thickness in pseudoexfoliation syndrome and pseudoexfoliation glaucoma. *J Ophthalmol*. 2014;2014:123683. doi:10.1155/2014/123683

39. Örnek N, Örnek K. Corneal endothelial changes following a single session of selective laser trabeculoplasty for pseudoexfoliative glaucoma. *Int Ophthalmol*. 2018;38(6):2327-2333. doi:10.1007/s10792-017-0730-0
40. Ritch R. Exfoliation syndrome and occludable angles. *Trans Am Ophthalmol Soc*. 1994;92:845-944.
41. Gross FJ, Tingey D, Epstein DL. Increased prevalence of occludable angles and angle-closure glaucoma in patients with pseudoexfoliation. *Am J Ophthalmol*. 1994;117:333-36. 87 80.
42. Al Owaifeer AM, Al Obaida I, Alzuhairy S, Raheman SJ, Aljasim L, Edward DP. Frequency and risk factors of narrow angles in patients with pseudoexfoliation: a case-control study. *Int Ophthalmol*. 2022;42(4):1085-1091. doi:10.1007/s10792-021-02094-4.
43. Bartholomew RS. Pseudoexfoliation and angle-closure glaucoma. *Glaucoma* 1981;3:213-16.
44. Ritch R. Plateau Iris Is Caused by Abnormally Positioned Ciliary Processes. *J Glaucoma*. 1992;1:23-26.
45. Herbst RW. Angle closure glaucoma in a patient with pseudoexfoliation of the lens capsule. *Ann Ophthalmol*. 1976;8:853-856.
46. Kanthan GL, Mitchell P, Burlutsky G, Rohtchina E, Wang JJ. Pseudoexfoliation syndrome and the long-term incidence of cataract and cataract surgery: the blue mountains eye study. *Am J Ophthalmol*. 2013;155(1):83-88.e1. doi:10.1016/j.ajo.2012.07.002
47. Hiller R, Sperduto RD, Krueger DE. Pseudoexfoliation, intraocular pressure, and senile lens changes in a population-based survey. *Arch Ophthalmol*. 1982;100(7):1080-1082. doi:10.1001/archophth.1982.01030040058007
48. Desai MA, Moon CS, Bretana ME, Ehlihs F, Winnick M, Lee RK. Pupillary Block Glaucoma Secondary to Phacodonesis in Pseudoexfoliation. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging*. Published online March 9, 2010. doi:10.3928/15428877-20100215-80
49. Shingleton BJ, Neo YN, Cvintal V, Shaikh AM, Liberman P, O'Donoghue MW. Outcome of phacoemulsification and intraocular lens implantation in eyes with pseudoexfoliation and weak zonules. *Acta Ophthalmol*. 2017;95(2):182-187. doi:10.1111/aos.13110
50. Qiao CY, Zhang H, Zhang Y, et al. *Chinese J Ophthalmol*. 2022;58(11):872-881. doi:10.3760/cma.j.cn112142-20211226-00608
51. Radhakrishnan S, Chen PP, Junk AK, Nouri-Mahdavi K, Chen TC. Laser Peripheral Iridotomy in Primary Angle Closure: A Report by the American Academy of Ophthalmology. *Ophthalmology*. 2018;125(7):1110-1120. doi:10.1016/j.ophtha.2018.01.015
52. Hu R, Wang X, Wang Y, Sun Y. Occult lens subluxation related to laser peripheral iridotomy: A case report and literature review. *Medicine*. 2017;96:e6255.
53. Melamed S, Barraquer E, Epstein DL. Neodymium:YAG laser iridotomy as a possible contribution to lens dislocation. *Ann Ophthalmol*. 1986;18:281-82.
54. Seong M, Kim MJ, Tehah H. Argon laser iridotomy as a possible cause of anterior dislocation of a crystalline lens. *J Cataract Refract Surg*. 2009;35:190-92.
55. Zhang H, Zhang Y, Zhang S, et al. Zonulopathy Identified During Cataract Extraction in Patients With Primary Angle Closure Disease. *J Glaucoma*. 2023;10.1097
56. Turaga K, Kalary J, Velamala IP. Descemet's membrane detachment after Nd:YAG laser iridotomy in a patient with pseudoexfoliation. *BMJ Case Rep*. 2022;15:e246071.
57. Liu DT, Lai JS, Lam DS. Descemet membrane detachment after sequential argon-neodymium:YAG laser peripheral iridotomy. *Am J Ophthalmol*. 2002;134:621-22
58. Ong EL, Ng J, Yong V, et al. Efficacy and safety of phacoemulsification with goniosynechialysis compared to phacoemulsification with viscosynechialysis in primary angle closure glaucoma-12 month results. *Clin Exp Ophthalmol*. 2016;44:51
59. Varma D, Baylis O, Wride N, Phelan PS, Fraser SG. Viscogonioplasty: an effective procedure for lowering intraocular pressure in primary angle closure glaucoma. *Eye (Lond)*. 2007 Apr;21(4):472-475. DOI: 10.1038/sj.eye.6702224.
60. Shingleton BJ, Pasternack JJ, Hung JW, O'Donoghue MW. Three and five year changes in intraocular pressures after clear corneal phacoemulsification in open angle glaucoma patients, glaucoma suspects, and normal patients. *J Glaucoma*. 2006;15:494-498.
61. Ramezani F, Nazarian M, Rezaei L. Intraocular pressure changes after phacoemulsification in pseudoexfoliation versus healthy eyes. *BMC Ophthalmol*. 2021;21:198
62. Abdelghany AA, Sallam MA, Ellabban AA. Assessment of Ganglion Cell Complex and Peripapillary Retinal Nerve Fiber Layer Changes following Cataract Surgery in Patients with Pseudoexfoliation Glaucoma. *J Ophthalmol*. 2019;2019:8162825. 114 357.
63. Damji KF, Konstas AG, Liebmann JM, et al. Intraocular pressure following phacoemulsification in patients with and without exfoliation syndrome: a 2 year prospective study. *Br J Ophthalmol*. 2006;90:1014-18.
64. Masis M, Mineault PJ, Phan E, Lin SC. The role of phacoemulsification in glaucoma therapy: A systematic review and meta-analysis. *Surv Ophthalmol*. 2018;63(5):700-710. doi:10.1016/j.survophtha.2017.08.006
65. Chen PP, Lin SC, Junk AK, Radhakrishnan S, Singh K, Chen TC. The Effect of Phacoemulsification on Intraocular Pressure in Glaucoma Patients: A Report by the American Academy of Ophthalmology. *Ophthalmology*. 2015;122(7):1294-1307. doi:10.1016/j.ophtha.2015.03.021
66. Atik SS, Ugurlu S, Egrilmez ED, Ekin MA. The Effect of Uneventful Phacoemulsification on Intraocular Pressure and Anterior Segment Parameters in Pseudoexfoliation Syndrome. *Beyoglu Eye J*. 2020;5(3):163-168. Published 2020 Oct 28. doi:10.14744/bej.2020.08860
67. Holló G, Katsanos A, Konstas AG. Management of exfoliative glaucoma: challenges and solutions. *Clin Ophthalmol*. 2015;9:907-919. Published 2015 May 22. doi:10.2147/OPTH.S77570
68. Merkur A, Damji KF, Mintsoulis G, Hodge WG. Intraocular pressure decrease after phacoemulsification in patients with pseudoexfoliation syndrome. *J Cataract Refract Surg*. 2001;27(4):528-532. doi:10.1016/s0886-3350(00)00753-7
69. Rao A. Diurnal curve after phacoemulsification in patients with pseudoexfoliation syndrome and cataract. *Semin Ophthalmol*. 2012;27(1-2):1-5. doi:10.3109/08820538.2011.626356
70. Pose-Bazarrá S, López-Valladares MJ, López-de-Ullibarri I, Azuara-Blanco A. Feasibility, efficacy and safety of early lens extraction in patients with pseudoexfoliation glaucoma: a feasibility and pilot study. *Eye (Lond)*. 2023;37(9):1878-1884. doi:10.1038/s41433-022-02271-4
71. Vazquez-Ferreiro P, Carrera-Hueso FJ, Rodríguez LB, Diaz-Rey M, Barrios MAR, Jornet JEP. Determinants of the risk of intraoperative complications in phacoemulsification among patients with pseudoexfoliation. *Saudi J Ophthalmol*. 2021;35(1):5-8. Published 2021 Sep 9. doi:10.4103/1319-4534.325774
72. Fontana L, Coassin M, Iovieno A, Moramarco A, Cimino L. Cataract surgery in patients with pseudoexfoliation syndrome: current updates. *Clin Ophthalmol*. 2017;11:1377-1383. doi:10.2147/OPTH.S142870
73. Borkenstein AF, Borkenstein EM. Surgical experience with a redesigned, fully preloaded, hydrophobic acrylic intraocular lens in challenging cases of pseudoexfoliation syndrome, phacodonesis, and small pupils. *Clin Ophthalmol*. 2019;13:199-06.
74. Ichhpujani P, Bhartiya S, Sharma A. Premium IOLs in Glaucoma. *J Curr Glaucoma Pract*. 2013;7(2):54-57. doi:10.5005/jp-journals-10008-1138
75. Arshinoff SA. Dispersive-cohesive viscoelastic soft shell technique. *J Cataract Refract Surg*. 1999;25(2):167-173. doi:10.1016/s0886-3350(99)80121-7
76. Conway RM, Schlötzer-Schrehardt U, Kühle M, Naumann GO. Pseudoexfoliation syndrome: pathological manifestations of relevance to intraocular surgery. *Clin Exp Ophthalmol*. 2004;32(2):199-210. doi:10.1111/j.1442-9071.2004.00806.x
77. Dietlein TS, Jordan J, Dinslage S, Lücke C, Krieglstein GK. Early postoperative spikes of the intraocular pressure (IOP) following phacoemulsification in late-stage glaucoma. *Klin Monbl Augenheilkd*. 2006;223(3):225-229. doi:10.1055/s-2005-858728
78. Jacobi PC, Dietlein TS, Krieglstein GK. Comparative study of trabecular aspiration vs trabeculectomy in glaucoma triple procedure to treat pseudoexfoliation glaucoma. *Arch Ophthalmol*. 1999;117:1311-18.
79. Georgopoulos GT, Chalkiadakis J, Livir-Rallatos G et al. Combined clear cornea phacoemulsification and trabecular aspiration in the treatment of pseudoexfoliative glaucoma associated with cataract. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2000;238:816-21.
80. Gedde SJ, Vinod K, Wright MM, et al. Primary Open-Angle Glaucoma Preferred Practice Pattern. *Ophthalmology*. 2021;128(1):P71-P150. doi:10.1016/j.ophtha.2020.10.022

81. Tran VT. Washout of pseudoexfoliation material combined with cataract surgery: a new surgical approach to lower intraocular pressure in pseudoexfoliation syndrome. *Int Ophthalmol*. 2015;35(2):209-214. doi:10.1007/s10792-014-9934-8
82. Tran VT, Mansouri K, Mermoud A. Goniowash: a new surgical approach combined with cataract surgery to lower intraocular pressure in pseudoexfoliation syndrome. *Int Ophthalmol*. 2021;41(5):1563-1571. doi:10.1007/s10792-020-01459-5
83. Mathew DJ, Buys YM. Minimally Invasive Glaucoma Surgery: A Critical Appraisal of the Literature. *Annu Rev Vis Sci*. 2020;6:47-89. doi:10.1146/annurev-vision-121219-081737
84. Bloom P, Au L. "Minimally Invasive Glaucoma Surgery (MIGS) Is a Poor Substitute for Trabeculectomy"-The Great Debate. *Ophthalmol Ther*. 2018;7(2):203-210. doi:10.1007/s40123-018-0135-9
85. Hengerer FH, Auffarth GU, Riffel C, Conrad-Hengerer I. Prospective, Non-randomized, 36-Month Study of Second-Generation Trabecular Micro-Bypass Stents with Phacoemulsification in Eyes with Various Types of Glaucoma. *Ophthalmol Ther*. 2018;7(2):405-415. doi:10.1007/s40123-018-0152-8
86. Wang J, Barton K. Chapter 1- Overview of MIGS. In Sng CA, Barton K, eds. *Minimally Invasive Glaucoma Surgery*. Singapore: Springer; 2021:1-7.
87. Sarkisian SR Jr, Grover DS, Gallardo MJ, et al. Effectiveness and Safety of iStent Infinite Trabecular Micro-Bypass for Uncontrolled Glaucoma. *J Glaucoma*. 2023;32(1):9-18. doi:10.1097/IJG.0000000000002141
88. Ferguson TJ, Swan R, Ibach M, Schweitzer J, Sudhagoni R, Berdahl JP. Trabecular microbypass stent implantation with cataract extraction in pseudoexfoliation glaucoma. *J Cataract Refract Surg*. 2017;43(5):622-626. doi:10.1016/j.jcrs.2017.02.029
89. Avar M, Jordan JF, Neuburger M, et al. Long-term follow-up of intraocular pressure and pressure-lowering medication in patients after ab-interno trabeculectomy with the Trabectome. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2019;257(5):997-1003. doi:10.1007/s00417-019-04259-5
90. Ting JL, Damji KF, Stiles MC; Trabectome Study Group. Ab interno trabeculectomy: outcomes in exfoliation versus primary open-angle glaucoma. *J Cataract Refract Surg*. 2012;38(2):315-323. doi:10.1016/j.jcrs.2011.08.043
91. Jordan JF, Wecker T, van Oterendorp C, et al. Trabectome surgery for primary and secondary open angle glaucomas. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2013;251(12):2753-2760. doi:10.1007/s00417-013-2500-7
92. Okeke CO, Miller-Ellis E, Rojas M; Trabectome Study Group. Trabectome success factors. *Medicine (Baltimore)*. 2017;96(24):e7061. doi:10.1097/MD.00000000000007061
93. Kinoshita-Nakano E, Nakanishi H, Ohashi-Ikeda H, Morooka S, Akagi T. Comparative outcomes of trabeculectomy ab externo versus trabecular ablation ab interno for open angle glaucoma. *Jpn J Ophthalmol*. 2018;62(2):201-208. doi:10.1007/s10384-017-0559-0
94. Bussell H, Kaplowitz K, Schuman JS, Loewen NA; Trabectome Study Group. Outcomes of ab interno trabeculectomy with the trabectome by degree of angle opening. *Br J Ophthalmol*. 2015;99(7):914-919. doi:10.1136/bjophthalmol-2014-305577
95. Iwasaki K, Kakimoto H, Orii Y, Arimura S, Takamura Y, Inatani M. Long-Term Outcomes of a Kahook Dual Blade Procedure Combined with Phacoemulsification in Japanese Patients with Open-Angle Glaucoma. *J Clin Med*. 2022;11(5):1354. Published 2022 Mar 1. doi:10.3390/jcm11051354
96. Barkander A, Economou MA, Jóhannesson G. Kahook Dual-Blade Goniotomy with and without Phacoemulsification in Medically Uncontrolled Glaucoma. *Clin Ophthalmol*. 2023;17:1385-1394. Published 2023 May 12. doi:10.2147/OPTH.S409375
97. Sieck EG, Epstein RS, Kennedy JB, et al. Outcomes of Kahook Dual Blade Goniotomy with and without Phacoemulsification Cataract Extraction. *Ophthalmol Glaucoma*. 2018;1(1):75-81. doi:10.1016/j.ogla.2018.06.006
98. Sharkawi E, Lindegger DJ, Artes PH, et al. Outcomes of gonioscopy-assisted transluminal trabeculectomy in pseudoexfoliative glaucoma: 24-month follow-up. *Br J Ophthalmol*. 2021;105(7):977-982. doi:10.1136/bjophthalmol-2020-315954
99. Bozkurt E, Yenihayat F, Olgun A, Yazıcı AT, Şahbaz İ. The efficacy of gonioscopy-assisted transluminal trabeculectomy combined with phacoemulsification. *Int Ophthalmol*. 2021;41(1):35-43. doi:10.1007/s10792-020-01550-x
100. Aktas Z, Ozdemir Zeydanli E, Uysal BS, Yigiter A. Outcomes of Prolene Gonioscopy Assisted Transluminal Trabeculectomy in Primary Open Angle Glaucoma and Pseudoexfoliation Glaucoma: A Comparative Study. *J Glaucoma*. 2022;31(9):751-756. doi:10.1097/IJG.0000000000002063
101. Schlenker MB, Gulamhusein H, Conrad-Hengerer I, et al. Efficacy, Safety, and Risk Factors for Failure of Standalone Ab Interno Gelatin Microstent Implantation versus Standalone Trabeculectomy [published correction appears in *Ophthalmology*. 2018 Mar;125(3):463]. *Ophthalmology*. 2017;124(11):1579-1588. doi:10.1016/j.ophtha.2017.05.004
102. Yang X, Zhao Y, Zhong Y, Duan X. The efficacy of XEN gel stent implantation in glaucoma: a systematic review and meta-analysis. *BMC Ophthalmol*. 2022;22(1):305. Published 2022 Jul 15. doi:10.1186/s12886-022-02502-y
103. Mansouri K, Gillmann K, Rao HL, Guidotti J, Mermoud A. Prospective Evaluation of XEN Gel Implant in Eyes With Pseudoexfoliative Glaucoma. *J Glaucoma*. 2018;27(10):869-873. doi:10.1097/IJG.0000000000001045
104. Gillmann K, Bravetti GE, Mermoud A, Rao HL, Mansouri K. XEN Gel Stent in Pseudoexfoliative Glaucoma: 2-Year Results of a Prospective Evaluation. *J Glaucoma*. 2019;28(8):676-684. doi:10.1097/IJG.0000000000001295
105. Wilkins M, Indar A, Wormald R. Intra-operative mitomycin C for glaucoma surgery. *Cochrane Database Syst Rev*. 2005;2005(4):CD002897. Published 2005 Oct 19. doi:10.1002/14651858.CD002897.pub2
106. Jerndal T, Kriisa V. Results of trabeculectomy for pseudo-exfoliative glaucoma. A study of 52 cases. *Br J Ophthalmol*. 1974;58(11):927-930. doi:10.1136/bjo.58.11.927
107. Popovic V, Sjöstrand J. Course of exfoliation and simplex glaucoma after primary trabeculectomy. *Br J Ophthalmol*. 1999;83(3):305-310. doi:10.1136/bjo.83.3.305
108. Gillmann K, Meduri E, Niegowski LJ, Mermoud A. Surgical Management of Pseudoexfoliative Glaucoma: A Review of Current Clinical Considerations and Surgical Outcomes. *J Glaucoma*. 2021;30(3):e32-e39. doi:10.1097/IJG.0000000000001724
109. Li F, Tang G, Zhang H, Yan X, Ma L, Geng Y. The Effects of Trabeculectomy on Pseudoexfoliation Glaucoma and Primary Open-Angle Glaucoma. *J Ophthalmol*. 2020;2020:1723691. Published 2020 Mar 23. doi:10.1155/2020/1723691
110. Rao A, Cruz RD. Cataract versus combined surgery in pseudoexfoliation glaucoma. *Indian J Ophthalmol*. 2023;71(3):797-802. doi:10.4103/ijoo.IJO\_1669\_22
111. Gupta S, Jeria S. A Review on Glaucoma Drainage Devices and its Complications. *Cureus*. 2022;14(9):e29072. Published 2022 Sep 12. doi:10.7759/cureus.29072
112. Gedde SJ, Schiffman JC, Feuer WJ, et al. Three-year follow-up of the tube versus trabeculectomy study. *Am J Ophthalmol*. 2009;148(5):670-684. doi:10.1016/j.ajo.2009.06.018
113. Trubnik V, Zangalli C, Moster MR, et al. Evaluation of Risk Factors for Glaucoma Drainage Device-related Erosions: A Retrospective Case-Control Study. *J Glaucoma*. 2015;24(7):498-502. doi:10.1097/IJG.0000000000000034
114. Lee EK, Yun YJ, Lee JE, Yim JH, Kim CS. Changes in corneal endothelial cells after Ahmed glaucoma valve implantation: 2-year follow-up. *Am J Ophthalmol*. 2009;148(3):361-367. doi:10.1016/j.ajo.2009.04.016
115. Kim CS, Yim JH, Lee EK, Lee NH. Changes in corneal endothelial cell density and morphology after Ahmed glaucoma valve implantation during the first year of follow up. *Clin Exp Ophthalmol*. 2008;36(2):142-147. doi:10.1111/j.1442-9071.2008.01683.x
116. Palko JR, Qi O, Sheybani A. Corneal Alterations Associated with Pseudoexfoliation Syndrome and Glaucoma: A Literature Review. *J Ophthalmic Vis Res*. 2017;12(3):312-324. doi:10.4103/jovr.jovr\_28\_17
117. Nobl M, Freisinger S, Kassumeh S, Priglinger S, Mackert MJ. One-year outcomes of microshunt implantation in pseudoexfoliation glaucoma. *PLoS One*. 2021;16(8):e0256670. Published 2021 Aug 27. doi:10.1371/journal.pone.0256670