

À PROPOS DES AUTEURES



CRISTINA BOSTAN, M.D., MSc, FRCSC , DABO : La D^{re} Bostan est titulaire d'une bourse de recherche en chirurgie réfractive, pathologies de la cornée et maladies externes au Cole Eye Institute – Cleveland Clinic. Elle a combiné une maîtrise en sciences, un diplôme de médecine et un programme de résidence en ophtalmologie sur le volet clinicien-chercheur de l'Université de Montréal. Les travaux de recherche de la D^{re} Bostan sont centrés sur l'accélération de la transposition des nouveaux traitements de la cornée et de la surface oculaire à la pratique clinique.



JULIA TALAJIC, M.D., MPH, FRCSC : La D^{re} Talajic est spécialiste de la cornée et de la chirurgie réfractive au centre universitaire d'ophtalmologie (CUO) de l'hôpital Maisonneuve-Rosemont et professeure adjointe d'ophtalmologie à l'Université de Montréal. Après avoir terminé sa résidence en ophtalmologie à l'Université de Montréal, elle a bénéficié d'une bourse de recherche accordée par le Devers Eye Institute à Portland. Elle est également titulaire d'une maîtrise en santé publique de l'Université John's Hopkins.



JOHANNA CHOREMIS, M.D., FRCSC : La D^{re} Choremis est spécialiste de la cornée et de la chirurgie réfractive au centre universitaire d'ophtalmologie (CUO) de l'hôpital Maisonneuve-Rosemont et professeure adjointe d'ophtalmologie à l'Université de Montréal et à l'Université McGill. Elle a effectué sa résidence en ophtalmologie à l'Université McGill et a bénéficié d'une bourse de recherche accordée par l'Université Tufts de Boston.

Chirurgie réfractive de la myopie : revue des options et du processus décisionnel

Cristina Bostan, M.D., MSc, FRCSC, DABO ; Julia Talajic, M.D., MPH, FRCSC et Johanna Choremis, M.D., FRCSC

Il existe aujourd'hui de nombreuses options pour les patients souhaitant une correction chirurgicale de la myopie. Le défi consiste à choisir la bonne procédure pour le bon patient. Cet article présente un aperçu des options actuelles de la chirurgie réfractive et traite des considérations cliniques et d'imagerie dans la prise de décision.

OPTIONS ACTUELLES DE CHIRURGIE RÉFRACTIVE DE LA MYOPIE

Parmi les techniques réfractives actuellement utilisées pour la myopie (**Figure 1**), la *photokératectomie réfractive (PKR)* est la plus ancienne. La PKR consiste à enlever l'épithélium cornéen et à procéder à l'ablation du stroma à l'aide d'un laser à excimère, tout en respectant la membrane de Bowman. Le *kératomileusis in situ au laser (LASIK – Laser-Assisted In-Situ Keratomileusis)*, popularisé dans les années 1990, a depuis remplacé la PKR pour devenir la norme de référence pour la correction de la myopie. Des études comparatives ne montrent aucune différence entre les résultats des deux techniques (**Tableau 1**), mais le LASIK est privilégié en raison de l'inconfort minimal pour le patient et de la récupération visuelle plus rapide.¹⁻³ Au cours de cette chirurgie, le chirurgien crée et élève un lambeau au niveau de la partie antérieure de la cornée, sans retrait de l'épithélium, et applique le laser à excimère directement sur le stroma. Les résultats de cette technique sont aujourd'hui très prédictibles grâce aux améliorations apportées, notamment l'utilisation du laser femtoseconde pour sculpter le lambeau, la préparation de lambeaux de forme elliptique pour améliorer leur adaptation, et l'enregistrement de l'iris pour assurer le centrage. L'utilisation de profils d'ablation personnalisés et optimisés en fonction du front d'onde (ablation guidée par le front d'onde et ablation guidée par la topographie) permet d'améliorer la préservation des tissus et la précision du traitement.⁴⁻⁶

L'*extraction lenticulaire par petite incision* (appelée **SMILE – Small Incision Lenticule Extraction**) consiste à utiliser un laser femtoseconde pour découper un noyau lenticulaire stromal de forme convexe correspondant à la correction myopique. Le noyau lenticulaire est ensuite extrait au travers d'une petite incision de 2 à 4 mm. Les résultats d'efficacité de SMILE sont comparables à ceux du LASIK.⁷⁻¹⁰ La procédure élimine les problèmes liés à la création d'un lambeau, mais comporte elle-même des

risques de complications, notamment un risque plus élevé d'ablation décentrée et d'extraction incomplète du noyau lenticulaire.¹⁰ Les avantages prétendus sont une meilleure stabilité biomécanique¹¹ et la préservation du nerf cornéen¹²; cependant, une baisse correspondante de l'incidence de la sécheresse oculaire postopératoire¹³ et de la kératectasie ne s'est pas reproduite d'une étude clinique à l'autre.^{14,15} De plus, SMILE n'offre pas de profils personnalisés, et la récupération visuelle s'avère plus faible et plus lente par comparaison avec le LASIK personnalisé.¹⁶⁻¹⁸ Ces limitations, auxquelles s'ajoute un manque d'études sur les possibilités de retraitement après une chirurgie SMILE,¹⁹ ont ralenti l'adoption de cette intervention au Canada.

Les *segments d'anneau cornéen intrastromal (SACI)* sont indiqués en cas de myopie faible et de kératocône. Implantés dans le stroma aux deux tiers de la profondeur de la cornée, ils ajoutent du « tissu » en mi-périphérie et ont pour effet de raccourcir et d'aplatir l'arc au niveau de la cornée centrale.²⁰ L'ajout de « tissu » améliore ainsi la stabilité biomécanique. Un aplatissement plus important et une meilleure correction de la myopie sont obtenus avec des implants proportionnellement plus épais et de plus petit diamètre.²¹ Les implants Intacs® (Addition Technology Inc.) sont les seuls SACI approuvés au Canada et sont proposés dans des épaisseurs allant de 0,21 à 0,45 mm.²² Compte tenu des excellents résultats obtenus par LASIK dans la myopie faible, les chirurgiens réservent les SACI aux patients atteints de kératocône.

Les *lentilles intraoculaires phaqes (LIO-p)* actuelles sont conçues pour être fixées à l'iris dans la chambre antérieure (Verisyse/Artisan, Ophtec B.V.) ou placées dans la chambre postérieure (lentille implantable en Collamer Visian, STAAR Surgical). Les lentilles Visian nécessitent une incision cornéenne de 3,2 mm pour être implantées dans l'œil et comportent une ouverture centrale afin de prévenir un blocage pupillaire et éviter les iridotomies. Les LIO-p sont contre-indiquées dans le cas de chambres antérieures peu profondes, d'angles étroits et d'un nombre trop faible de cellules endothéliales cornéennes. Elles sont efficaces, prédictibles et sûres.²³ Quoique les LIO-p produisent des résultats moins favorables dans les yeux fortement myopes que dans les cas de faibles erreurs de

réfraction, ces lentilles surpassent les chirurgies cornéennes soustractives dans ces yeux.²³

L'échange de lentilles réfractives (ELR) est une procédure hors indication qui consiste à remplacer le cristallin transparent par une LIO afin de corriger les erreurs sphériques ou dues à un astigmatisme de toute nature. Bien que l'approche soit similaire à la chirurgie de la cataracte, l'analyse de la correction simultanée de la presbytie et le déploiement d'efforts pour minimiser la manipulation peropératoire revêtent une importance accrue dans cette procédure purement réfractive. Dans ce groupe particulier de patients, le risque de décollement de la rétine lié aux techniques actuelles est de 0 à 4 % – similaire à celui de la population myope générale,²⁴ mais il est plus élevé chez les jeunes patients, dans les yeux fortement myopes et de grande longueur axiale, ou touchés par une dégénérescence en palissade.^{24, 25}

CHOISIR LA MEILLEURE OPTION

En l'absence de contre-indications – telles que grossesse, vision monoculaire et facteurs de risque de mauvaise cicatrisation²⁶ – les principaux éléments dont il faut tenir compte pour identifier les bons candidats à une chirurgie réfractive au laser sont la forme et l'épaisseur de la cornée, la réfraction manifeste et la réfraction cible, l'épaisseur du lit stromal (ELSR) estimée, l'âge, le cristallin et l'état d'accommodation. Le chirurgien doit distinguer les bons candidats des patients qui (1) ont besoin d'une pose de lentilles pour un résultat visuel optimal, (2) risquent de développer une kératectasie après l'intervention, ou (3) présentent une ectasie cornéenne franche avant l'intervention (**Figure 2**). L'ablation des tissus durant la chirurgie réfractive au laser compromet la stabilité biomécanique et, dans une cornée sensible, peut déclencher ou exacerber une ectasie.

Bons candidats pour la chirurgie cornéenne

Les patients jeunes dont les cornées sont saines, de forme normale et dont l'ELSR est estimée entre 275 µm et 300 µm sont des candidats idéaux pour le LASIK (**Figure 3**). La PKR est une meilleure option lorsque le LASIK est moins sûr du point de vue de la biomécanique, c'est-à-dire dans les cas où une erreur réfractive plus élevée est associée à une cornée mince et, par conséquent, une ELSR < 275 µm avec le LASIK (**Figure 4**). En dessous de ce seuil, le risque de kératectasie postopératoire est plus élevé, même en l'absence d'ectasie avant l'intervention. Par rapport au LASIK, la PKR ne nécessite aucune création de lambeau et permet d'obtenir une ELSR plus importante pour la même épaisseur cornéenne et la même réfraction manifeste.²⁷

La PKR est également un meilleur choix dans les pathologies touchant la cornée antérieure, telles que la dystrophie de la membrane basale antérieure, les dystrophies stromales antérieures ou la présence de cicatrices. Sans traitement, ces pathologies peuvent limiter les résultats visuels après un LASIK et être à l'origine de défauts épithéliaux ou de coupes d'interface incomplètes lors de la création du lambeau.²⁷ Dans ces cas, la PKR élimine les problèmes liés aux lambeaux et peut également

offrir une valeur thérapeutique. La tomographie par cohérence optique du segment antérieur est utile pour évaluer la profondeur et l'étendue des cicatrices ou des dystrophies stromales (**Figure 5**), ainsi que pour estimer la probabilité d'interférence avec la création d'un lambeau durant le LASIK ou la probabilité de réussite de l'ablation durant la PKR²⁷. Les autres cas dans lesquels la PKR est privilégiée sont (1) les patients présentant un risque professionnel de luxation traumatique du lambeau, (2) les irrégularités cornéennes après une kératotomie radiale ou des greffes de cornée, et (3) les cornées exposées à un risque de complications telles que la survenue d'un capot libre ou d'une boutonnière pendant la création du lambeau.²⁷

SMILE comporte les mêmes contre-indications que le LASIK.²⁸ Dans la plupart des cas, le choix entre les deux interventions relève de la préférence du patient et de l'expérience du chirurgien. Dans la mesure où aucun lambeau n'est nécessaire et l'inconfort postopératoire est moindre par rapport à la PKR, SMILE pourrait être privilégiée chez les patients présentant un risque de luxation traumatique du lambeau.²⁸ Le LASIK pourrait être préférable à SMILE dans les cas d'astigmatisme plus important, d'aberrations d'ordre supérieur ou d'irrégularités topographiques significatives, car l'enregistrement de l'iris et l'ablation personnalisée peuvent alors être utilisés pour améliorer les résultats.^{16-18, 28}

Patients âgés presbytes ou présentant des modifications précoces du cristallin

L'échange de lentilles réfractives (ELR) peut être le meilleur choix chez les patients âgés presbytes ou présentant des modifications précoces du cristallin, même en l'absence de contre-indications aux chirurgies cornéennes. L'ELR offre l'avantage d'être une solution permanente, car elle cible la variable instable – le cristallin – alors que les chirurgies cornéennes n'offrent qu'une solution temporaire. Néanmoins, certains patients optent pour une chirurgie cornéenne lorsqu'ils savent qu'une chirurgie de la cataracte pourrait être nécessaire peu de temps après. La technique de monovision peut être utilisée pour traiter la presbytie de ces patients si une chirurgie cornéenne est choisie.

Cornées « limites » à risque de kératectasie postopératoire

Les facteurs de risque sont notamment un âge plus jeune, des erreurs réfractives importantes, une épaisseur plus fine évaluée par pachymétrie, une faible ELSR (< 275 µm) même en cas de PKR, des antécédents familiaux de kératocône et des antécédents personnels de réflexe de frottement des yeux.²⁹ Le chirurgien peut tenter de réduire le risque par une réticulation prophylactique du collagène cornéen (CXL) au cours d'une chirurgie LASIK, PKR ou SMILE – une combinaison de procédures que l'on désigne par « Xtra ». Les procédures « Xtra » permettraient de préserver la rigidité de la cornée et de diminuer la probabilité de kératectasie postopératoire et de régression myopique.³⁰ D'autres études sont toutefois nécessaires pour justifier leur utilisation systématique chez les patients présentant un risque élevé.³⁰ Ces patients subissent plus souvent une intervention faisant intervenir une lentille afin d'éviter un affaiblissement de la cornée. Si les LIO-p sont

préférables chez les patients plus jeunes, l'ELR est une meilleure option pour ceux qui ont plus 40 ans. Le chirurgien peut également décider d'observer le patient pour surveiller la façon dont les caractéristiques suspectes évoluent avant de procéder à la chirurgie.

Patients présentant une ectasie

La topographie cornéenne, la cartographie de l'épaisseur épithéliale et le logiciel Belin-Ambrosio Enhanced Ectasia Display (Pentacam, Oculus) sont essentiels pour détecter efficacement une ectasie cornéenne préopératoire. Face à des caractéristiques topographiques suspectes (**Figure 6**), la première étape consiste à exclure la présence d'un pseudo-kératocône résultant d'une acquisition d'image inadéquate, une sécheresse oculaire, une dystrophie de la membrane basale antérieure, une déformation de la cornée, un traumatisme ou la présence de cicatrices.³¹ Une nouvelle topographie, un examen minutieux à la lampe à fente et une vérification des mires lors d'une kératoscopie peuvent faciliter le processus. La cartographie de l'épaisseur épithéliale est particulièrement utile (**Figure 7**). En cas de déformation, de traumatisme, de cicatrices et de dystrophie de la membrane basale antérieure, la cartographie épithéliale révèle une hyperplasie correspondant aux zones touchées. Toutefois, en présence d'un véritable kératocône, elle montre un amincissement épithélial au niveau du cône et un épaississement périphérique, même dans les cas précoces.³² Cette caractéristique résulte d'un remodelage compensatoire de l'épithélium pour minimiser les modifications de la courbure cornéenne antérieure au fur et à mesure que le stroma fait saillie.³²

L'introduction de la CXL a suscité un regain d'intérêt pour le rôle des chirurgies réfractives cornéennes dans la réadaptation visuelle des patients atteints de kératectasie. Les procédures appelées CXL-« Plus »,³³ associant la CXL

thérapeutique à la photokératectomie thérapeutique (**PKT**), à la PKT guidée par la topographie ou aux SACI, sont devenues des approches prometteuses pour réduire les irrégularités cornéennes, les aberrations visuelles et l'intolérance aux lentilles de contact chez ces patients.

L'ablation de l'épithélium par PKT transépithéliale jusqu'à une profondeur de 50 µm pendant la CXL offre de meilleurs résultats visuels dans le kératocône que le débridement mécanique.^{34,35} Ce fait est attribué à la pénétration du laser à excimère à travers l'épithélium jusqu'à la membrane de Bowman dans les zones où l'épithélium est le plus fin.³⁴ L'ablation différentielle de 10 µm de la membrane de Bowman au niveau de l'apex du cône permet ainsi d'obtenir une meilleure régularité de la cornée antérieure.³³ Le but de la CXL-PKR guidée par la topographie est d'aplatir la zone la plus cambrée (généralement inférieure) de la cornée par ablation myopique et de cambrer la zone la plus plate (supérieure) par ablation hypermétropique,³⁶ ce qui « égalise » la surface. Bien que les résultats de l'association CXL-PKR guidée par la topographie soient encourageants, il existe une controverse quant à son avantage sur la CXL seule, à sa prédictibilité, au calendrier des interventions, à l'utilisation de la mitomycine C et à son innocuité à long terme.^{33, 37} Les SACI sont utilisés depuis longtemps dans le traitement du kératocône pour déplacer le cône vers le centre de la cornée et l'aplatir. Le calendrier et le protocole d'implantation optimaux des SACI en complément à la CXL font encore l'objet de débats. La réalisation simultanée de la CXL et de l'implantation des SACI semble offrir le plus grand avantage.³³

Le degré d'astigmatisme et l'acuité visuelle sont des éléments importants intervenant dans le choix des procédures CXL-« Plus ».³⁸ Une CLX associée à une PKT peut être envisagée en cas d'astigmatisme léger lorsque l'ablation superficielle est jugée suffisante pour régulariser

Procédure	Plage de la sphère	Plage du cylindre	Efficacité (AVNC)	Prédictibilité (ES atteint par rapport à ES cible)
LASIK	≤ -10 D	≤ 4 D	84 à 94 % ≥ 20/20 ⁴⁻⁶	76 à 95 % ≤ 0,50 D ⁴⁻⁶
PRK	≤ -10 D	≤ 4 D	82 à 94 % ≥ 20/20 ^{39, 40}	83 à 98 % ≤ 0,50 D ^{39, 40}
SMILE	≤ -10 D	≤ 3 D	50 à 96 % ≥ 20/20 ⁷⁻¹⁰	80 à 100 % ≤ 0,50 D ⁷⁻¹⁰
SACI (Intacs®)	≤ -3 D	-	69 % ≥ 20/20, 96 % ≥ 20/40 ⁴¹	6 9% ≤ 0,5 D ⁴¹
LIO-p	≤ -20 D	≤ 6 D		
Artisan/Verisyse®			31 % ≥ 20/20; 84 % ≥ 20/40 ⁴²	76,7 ≤ 0,5 D ⁴²
Visian ICL®			≤ -7 D : 72,4 % ≥ 20/20; 98,3 % ≥ 20/40 ⁴³	84,7 ≤ 0,5 D ⁴³
			-7 D à -10 D : 62,7 % ≥ 20/20; 92,8 % ≥ 20/40 ⁴³	71 % ≤ 0,5 D ⁴³
			>-10 D à -20 D : 37,5 % ≥ 20/20; 93,8 % ≥ 20/40 ⁴³	56,9 % ≤ 0,5 D ⁴³
ELR	Toutes les plages	≤ 3 D	71,4 % à 83,7% avec une vision meilleure qu'avant l'intervention ²⁵	70,8 à 86,5 % ≤ 1,0 D ²⁵

Tableau 1: Résumé de la plage de correction de la sphère et du cylindre, de l'efficacité et de la prédictibilité des options de chirurgie réfractive pour la myopie. LASIK, kératomileusis in situ par laser; PKR, photokératectomie réfractive; SMILE, extraction lenticulaire par petite incision; SACI, segments d'anneau cornéen intrastromal; LIO-p, lentille intraoculaire phaque; LIC, lentille de contact implantable en Collamer; ELR, échange de lentilles réfractives; AVNC, acuité visuelle non corrigée; ES, équivalent sphérique

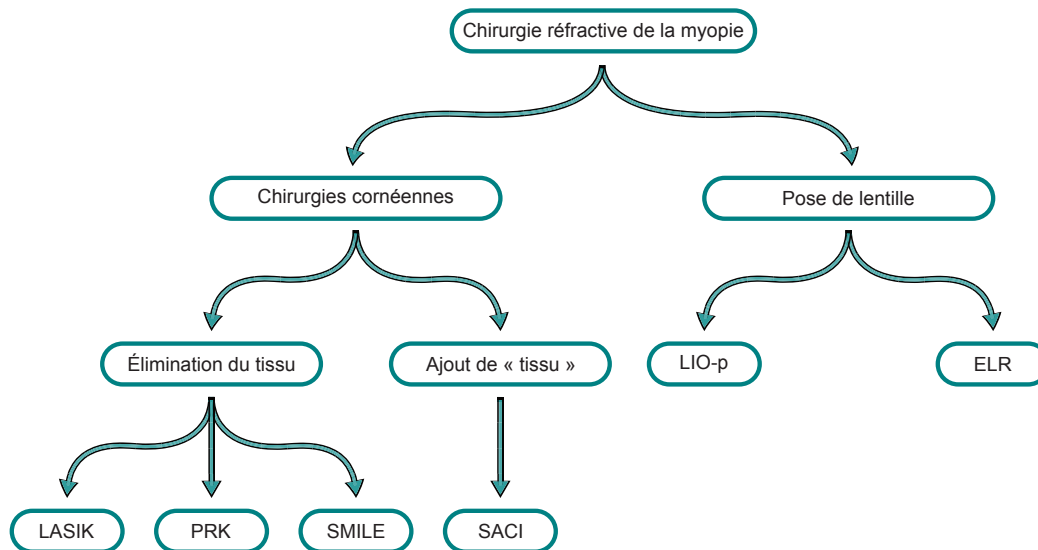


Figure 1 : Classification des options de chirurgie réfractive de la myopie. LASIK, kératomileusis in situ par laser; PRK, photokératectomie réfractive; SMILE, extraction lenticulaire par petite incision; SACI, segments d'anneau cornéen intrastromal; LIO-p, lentille intraoculaire phaïque; ELR, échange de lentilles réfractives.

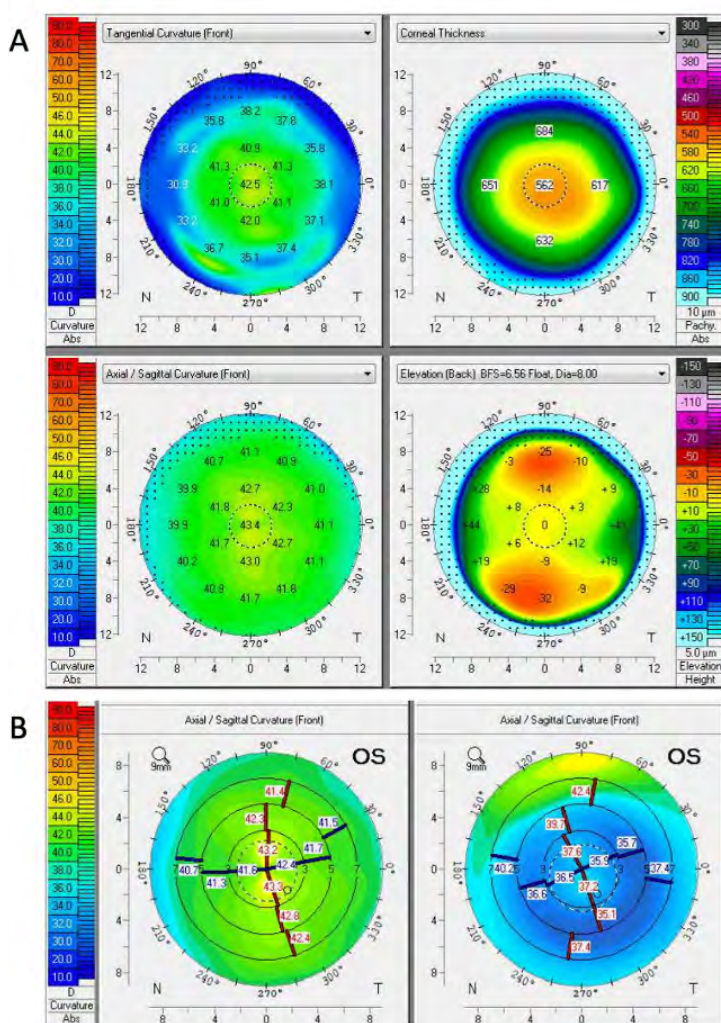


Figure 3 : (A) Image Pentacam composite de quatre cartes de la cornée gauche normale d'un homme de 24 ans présentant une réfraction manifeste de $-5,75 +0,50 \times 95$. Le Pentacam montre une épaisseur cornéenne normale et aucun signe d'ectasie cornéenne sur les cartes de courbure antérieure et d'élévation postérieure. Avec un lit stromal résiduel estimé à $322 \mu\text{m}$ et sans autre contre-indication, ce patient est un bon candidat pour la chirurgie LASIK. (B) Les cartes de courbure préopératoire (à gauche) et postopératoire (à droite) montrent un aplatissement de la surface centrale antérieure après une chirurgie LASIK de la myopie.

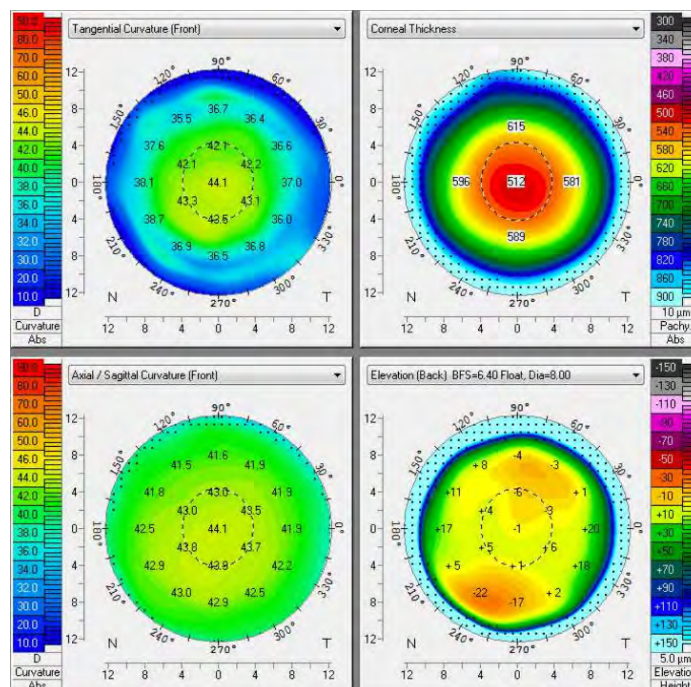


Figure 4 : Image Pentacam composite de quatre cartes de la cornée gauche d'une femme de 22 ans présentant une réfraction manifeste de $-10,75 +1,00 \times 15$. Il n'y a aucun signe d'ectasie, mais la cornée est assez mince et présente une épaisseur centrale de $512 \mu\text{m}$. Compte tenu de l'erreur réfractive élevée et de la minceur de la cornée, le lit stromal résiduel estimé pour une chirurgie LASIK est inférieur à $250 \mu\text{m}$. La PKR autorisant une ELSR de $313 \mu\text{m}$, elle représente donc une meilleure option.

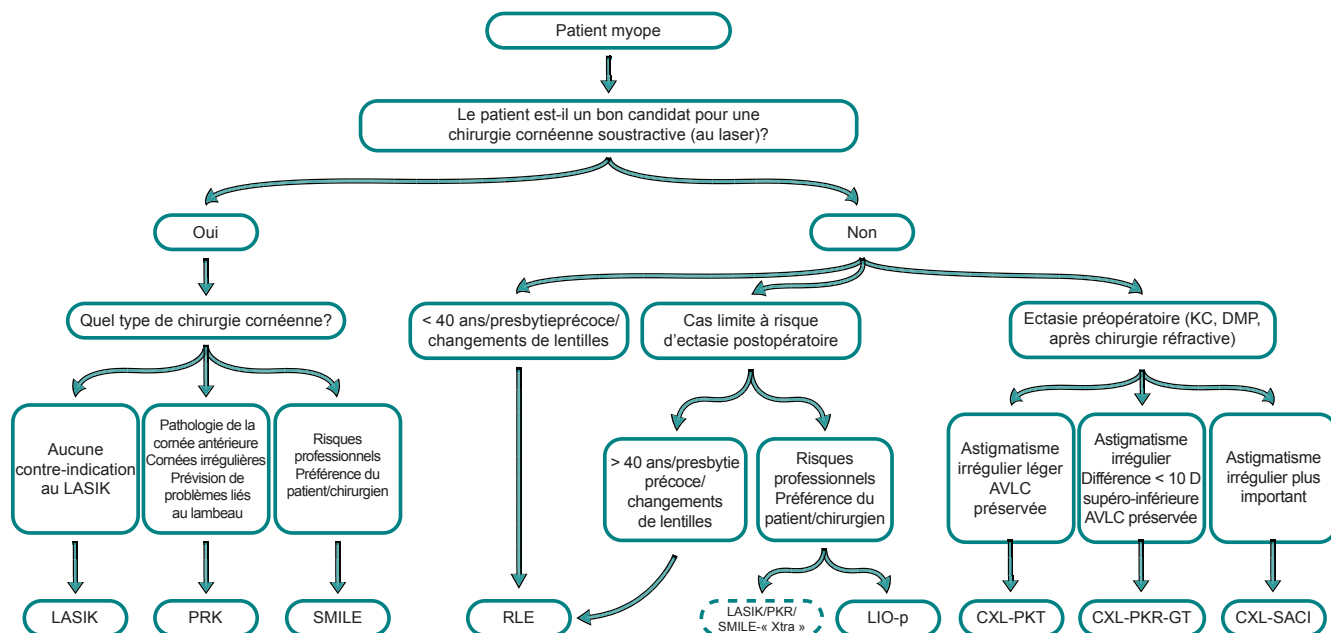


Figure 2 : Schéma simplifié du processus décisionnel dans la correction réfractive de la myopie. KC, kératocône; DMP, dégénérescence marginale pellucide; AVLC, acuité visuelle de loin corrigée; LASIK, laser in situ keratomileusis; PKR, photokératectomie réfractive; SMILE, extraction lenticulaire par petite incision; ELR, échange de lentilles réfractives; LIO-p, lentille intraoculaire phaque; CXL, réticulation du collagène cornéen; PKT, photokératectomie thérapeutique; GT, guidé par la topographie; SACI, segments d'anneau cornéen intrastromal.

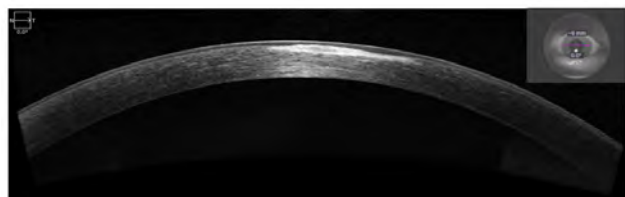


Figure 5 : Tomographie par cohérence optique du segment antérieur montrant une hyperréflexivité focale au niveau d'une cicatrice stromale antérieure due à un ulcère causé par une lentille de contact. Il convient de noter l'hyperplasie épithéliale compensatoire sus-jacente. Compte tenu de sa profondeur et de sa localisation, cette cicatrice poserait un problème pour la création du lambeau durant la chirurgie LASIK. Une PKR est plus adaptée à ce cas et permet d'éviter les problèmes liés au lambeau ainsi que d'éliminer complètement la cicatrice pour obtenir un meilleur résultat visuel.

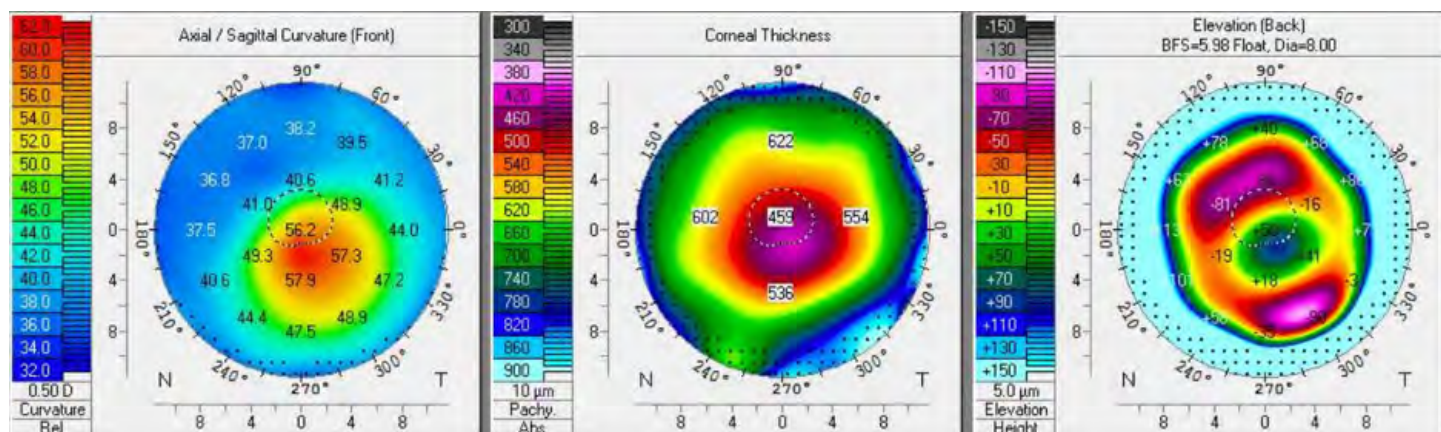


Figure 6 : Image Pentacam composite de trois cartes d'une cornée présentant un kératocône. La carte de courbure (gauche) montre une cambrure inféro-temporale allant jusqu'à 57,9 D et un aplatissement de la partie supérieure. Certains cas peuvent présenter un astigmatisme asymétrique avec une inclinaison des axes radiaux et un motif en « pince de crabe ». La carte de pachymétrie (au milieu) montre un amincissement de la cornée, le point le plus mince étant légèrement excentré et correspondant à l'emplacement de la cambrure maximale. La carte d'élévation postérieure (à droite) montre un îlot excentrique correspondant à une protrusion de la surface postérieure, et coïncidant avec les points de cambrure et d'amincissement maximaux.

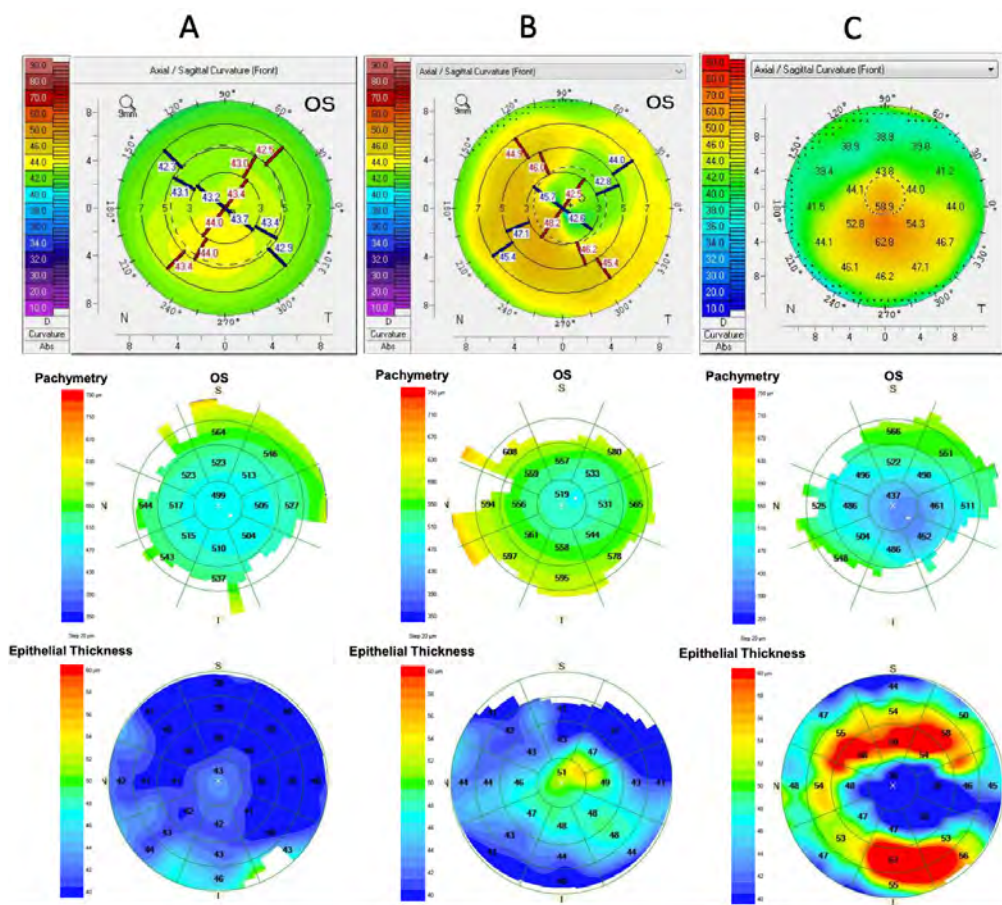


Figure 7 : Image composite de cartes de courbure sagittale Pentacam (rangée du haut), de pachymétrie par tomographie par cohérence optique du segment antérieur (rangée du milieu) et de cartes d'épaisseur épithéliale (rangée du bas). (A) La carte de courbure montre une légère cambrure inférieure. La carte de l'épaisseur épithéliale est toutefois normale (43 µm dans la cornée centrale et environ 2 à 3 µm dans la périphérie cornéenne) et ne montre aucun amincissement dans la zone légèrement plus cambrée. Il ne s'agit donc pas d'une ectasie cornéenne. (B) La carte de courbure montre un astigmatisme asymétrique avec un aplatissement supéro-temporal et une cambrure inféro-nasale adjacente. La carte de l'épaisseur épithéliale montre un épaissement épithélial focal atteignant 55 µm et recouvrant la zone aplatie. Il s'agit du même patient que celui de la Figure 3 : l'aplatissement et l'épaississement épithélial compensatoire recouvrent la cicatrice stromale antérieure. (C) La carte de courbure montre un astigmatisme irrégulier prononcé avec une cambrure inférieure allant jusqu'à 62,8 D. La carte de l'épaisseur épithéliale montre un amincissement de l'épithélium allant jusqu'à 32 µm sur la zone saillante et un épaissement allant jusqu'à 66 µm autour du cône en forme de « beignet », ce qui évoque un kératocône.

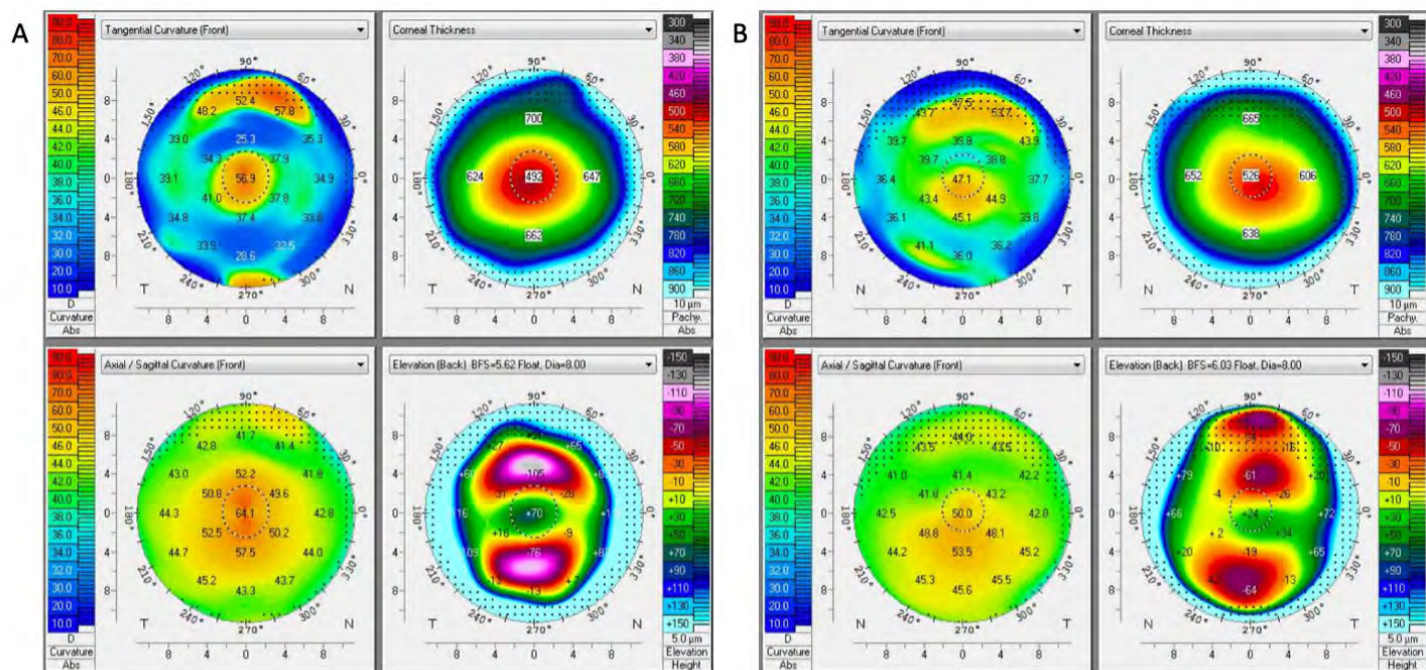


Figure 8 : Homme de 20 ans présentant un kératocône. La réfraction manifeste est de -10,25 D et l'acuité visuelle de loin corrigée de 20/100 dans l'œil droit. Elle est de -5,25 +6,00 x 35, ce qui équivaut à 20/25 dans l'œil gauche. Les images de l'œil droit montrent la présence d'un cône central proéminent, avec un aplatissement important des bords et une différence de courbure entre le centre et la périphérie de plus de 20 D. Bien qu'une procédure combinée CXL-PKR puisse être envisagée pour cet œil, une CXL-SACI est susceptible d'offrir de meilleurs résultats. Les images de l'œil gauche montrent une asymétrie supéro-inférieure, avec une cambrure inférieure relative et une différence d'environ 10 D dans la courbure de la cornée. Compte tenu de l'acuité visuelle préservée, une procédure combinée CXL-PKR pourrait représenter une bonne option pour arrêter la progression du kératocône et accroître la régularité de la cornée dans cet œil.

la cornée antérieure. Une étude menée récemment a suggéré que l'association CXL-SACI était plus efficace pour réduire l'astigmatisme et améliorer la vision que l'association CLX-PKR guidée par la topographie, et a recommandé son utilisation dans les yeux présentant un astigmatisme important et une moins bonne vision corrigée.³⁸ En ce qui concerne l'association CXL-PKR guidée par la topographie, les meilleurs candidats sont les patients dont la vision corrigée est préservée et qui présentent une différence < 10 D dans la courbure de la cornée, c'est-à-dire entre les zones les plus cambrées et les zones les plus plates (**Figure 8**).^{36, 38}

CONCLUSION

Diverses options sont aujourd'hui disponibles pour corriger chirurgicalement la myopie, même pour les cornées traditionnellement considérées comme inadmissibles aux chirurgies réfractives cornéennes. Bien que des études menées sur un plus long terme soient nécessaires, les procédures « Xtra » et CXL-« Plus » s'avèrent prometteuses pour la réadaptation visuelle des cornées à risque et atteintes d'ectasie, respectivement. Les innovations apportées à l'imagerie diagnostique, telles que la cartographie de l'épaisseur épithéliale, représentent un ajout précieux pour guider le choix de la meilleure approche chirurgicale.

Références

- Hersh PS, Steinert RF, Brint SF. Photorefractive keratectomy versus laser in situ keratomileusis: comparison of optical side effects. Summit PRK-LASIK Study Group. *Ophthalmology*. 2000;107(5):925-33.
- Tole DM, McCarty DJ, Couper T, Taylor HR. Comparison of laser in situ keratomileusis and photorefractive keratectomy for the correction of myopia of -6.00 diopters or less. Melbourne Excimer Laser Group. *J Refract Surg*. 2001;17(1):46-54.
- Van Gelder RN, Steger-May K, Yang SH, Rattanamat T, Pepose JS. Comparison of photorefractive keratectomy, astigmatic PRK, laser in situ keratomileusis, and astigmatic LASIK in the treatment of myopia. *J Cataract Refract Surg*. 2002;28(3):462-76.
- Schallhorn SC, Farjo AA, Huang D, Boxer Wachler BS, Trattler WB, Tanzer DJ, et al. Wavefront-guided LASIK for the correction of primary myopia and astigmatism: a report by the American Academy of Ophthalmology. *Ophthalmology*. 2008;115(7):1249-61.
- Stonecipher KG, Kezirian GM. Wavefront-optimized versus wavefront-guided LASIK for myopic astigmatism with the ALLEGRETTO WAVE: three-month results of a prospective FDA trial. *J Refract Surg*. 2008;24(4):S424-30.
- Stulting RD, Fant BS, Bond W, Chotiner B, Durrie D, Gordon M, et al. Results of topography-guided laser in situ keratomileusis custom ablation treatment with a refractive excimer laser. *J Cataract Refract Surg*. 2016;42(1):11-8.
- Vestergaard A, Ivarsen AR, Asp S, Hjortdal J. Small-incision lenticule extraction for moderate to high myopia: Predictability, safety, and patient satisfaction. *J Cataract Refract Surg*. 2012;38(11):2003-10.
- Lin F, Xu Y, Yang Y. Comparison of the visual results after SMILE and femtosecond laser-assisted LASIK for myopia. *J Refract Surg*. 2014;30(4):248-54.
- Sekundo W, Kunert KS, Blum M. Small incision corneal refractive surgery using the small incision lenticule extraction (SMILE) procedure for the correction of myopia and myopic astigmatism: results of a 6 month prospective study. *Br J Ophthalmol*. 2011;95(3):335-9.
- Ang M, Farook M, Htoon HM, Mehta JS. Randomized Clinical Trial Comparing Femtosecond LASIK and Small-Incision Lenticule Extraction. *Ophthalmology*. 2020;127(6):724-30.
- Reinstein DZ, Archer TJ, Randleman JB. Mathematical model to compare the relative tensile strength of the cornea after PRK, LASIK, and small incision lenticule extraction. *J Refract Surg*. 2013;29(7):454-60.
- Li M, Niu L, Qin B, Zhou Z, Ni K, Le Q, et al. Confocal comparison of corneal reinnervation after small incision lenticule extraction (SMILE) and femtosecond laser in situ keratomileusis (FS-LASIK). *PLoS One*. 2013;8(12):e81435.
- Ma KK, Manche EE. Corneal Sensitivity and Patient-Reported Dry Eye Symptoms in a Prospective Randomized Contralateral-Eye Trial Comparing LASIK and SMILE. *Am J Ophthalmol*. 2022.
- Brar S, Roopashree CR, Ganesh S. Incidence of Ectasia After SMILE From a High-Volume Refractive Surgery Center in India. *J Refract Surg*. 2021;37(12):800-8.
- Randleman JB. Ectasia After SMILE, Revisited. *J Refract Surg*. 2021;37(12):798-9.
- Khalifa MA, Ghoneim A, Shafik Shaheen M, Aly MG, Piñero DP. Comparative Analysis of the Clinical Outcomes of SMILE and Wavefront-Guided LASIK in Low and Moderate Myopia. *J Refract Surg*. 2017;33(5):298-304.
- Kanellopoulos AJ. Topography-Guided LASIK versus Small Incision Lenticule Extraction: Long-term Refractive and Quality of Vision Outcomes. *Ophthalmology*. 2018;125(10):1658-9.
- Chiang B, Valerio GS, Manche EE. Prospective, Randomized Contralateral Eye Comparison of Wavefront-Guided Laser In Situ Keratomileusis and Small Incision Lenticule Extraction Refractive Surgeries. *Am J Ophthalmol*. 2022;237:211-20.
- Siedlecki J, Luft N, Priglinger SG, Dirisamer M. Enhancement Options After Myopic Small-Incision Lenticule Extraction (SMILE): A Review. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)*. 2019;8(5):406-11.
- Barraquer JJ. Modification of refraction by means of intracorneal inclusions. *Int Ophthalmol Clin*. 1966;6(1):53-78.
- Fleming JF, Wan WL, Schanzlin DJ. The theory of corneal curvature change with the Intrastromal Corneal Ring. *Claio J*. 1989;15(2):146-50.
- Addition Technology, Inc. Professional Use Information Manual for Correction of Myopia with Intacs(R) Corneal Implants: Physician Booklet. 2005.
- Huang D, Schallhorn SC, Sugar A, Farjo AA, Majmudar PA, Trattler WB, et al. Phakic intraocular lens implantation for the correction of myopia: a report by the American Academy of Ophthalmology. *Ophthalmology*. 2009;116(11):2244-58.
- Srinivasan B, Leung HY, Cao H, Liu S, Chen L, Fan AH. Modern Phacoemulsification and Intraocular Lens Implantation (Refractive Lens Exchange) Is Safe and Effective in Treating High Myopia. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)*. 2016;5(6):438-44.
- Alió JL, Grzybowski A, Romaniuk D. Refractive lens exchange in modern practice: when and when not to do it? *Eye Vis (Lond)*. 2014;1:10.
- Salz J, Trattler WB. Patient Evaluation and Selection in Refractive Surgery. In: Mannis MJ, Holland EJ, editors. *Cornea*. 2. 5th ed. Canada: Elsevier; 2021. p. 1666-73.
- Sorkin N, Perez Velasquez MA, Rootman DS. Excimer Laser Surface Treatment: Photorefractive Keratectomy. In: Mannis MJ, Holland EJ, editors. *Cornea*. 2. 5th ed. Canada: Elsevier; 2021. p. 1682-94.
- Shah R. History and Results; Indications and Contraindications of SMILE Compared With LASIK. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)*. 2019;8(5):371-6.
- Brar S, Gautam M, Sute SS, Ganesh S. Refractive surgery with simultaneous collagen cross-linking for borderline corneas - A review of different techniques, their protocols and clinical outcomes. *Indian J Ophthalmol*. 2020;68(12):2744-56.
- Lim EWL, Lim L. Review of Laser Vision Correction (LASIK, PRK and SMILE) with Simultaneous Accelerated Corneal Crosslinking - Long-term Results. *Curr Eye Res*. 2019;44(11):1171-80.
- Piñero DP. Misdiagnosing Keratoconus. *Expert Review of Ophthalmology*. 2016;11(1):29-39.
- Hwang ES, Schallhorn JM, Randleman JB. Utility of regional epithelial thickness measurements in corneal evaluations. *Surv Ophthalmol*. 2020;65(2):187-204.
- Zhu AY, Jun AS, Soiberman US. Combined Protocols for Corneal Collagen Cross-Linking with Photorefractive Surgery for Refractive Management of Keratoconus: Update on Techniques and Review of Literature. *Ophthalmol Ther*. 2019;8(Suppl 1):15-31.
- Kymionis GD, Grentzelos MA, Kounis GA, Diakonis VF, Limnopoulou AN, Panagopoulou SI. Combined transepithelial photorefractive keratectomy and corneal collagen cross-linking for progressive keratoconus. *Ophthalmology*. 2012;119(9):1777-84.
- Kapasi M, Dhaliwal A, Mintsoulis G, Jackson WB, Baig K. Long-Term Results of Photorefractive Keratectomy Versus Mechanical Epithelial Removal Followed by Corneal Collagen Cross-Linking for Keratoconus. *Cornea*. 2016;35(2):157-61.
- Stein R. Topography-Guided Photorefractive Keratectomy. In: Mannis MJ, Holland EJ, editors. *Cornea*. 5th ed. Canada: Elsevier; 2021. p. 1757-64.
- Iqbal M, Elmassy A, Tawfik A, Elgharib M, Nagy K, Soliman A, et al. Standard cross-linking versus photorefractive keratectomy combined with accelerated cross-linking for keratoconus management: a comparative study. *Acta Ophthalmol*. 2019;97(4):e623-e31.
- Singal N, Ong Tone S, Stein R, Bujak MC, Chan CC, Chew HF, et al. Comparison of accelerated CXL alone, accelerated CXL-ICRS, and accelerated CXL-TG-PRK in progressive keratoconus and other corneal ectasias. *J Cataract Refract Surg*. 2020;46(2):276-86.
- Adib-Moghaddam S, Soleymann-Jahi S, Salமான B, Omidvari AH, Adili-Aghdam F, Noorzadeh F, et al. Single-step transepithelial photorefractive keratectomy in myopia and astigmatism: 18-month follow-up. *J Cataract Refract Surg*. 2016;42(11):1570-8.
- Luger MH, Ewering T, Arba-Mosquera S. Myopia correction with transepithelial photorefractive keratectomy versus femtosecond-assisted laser in situ keratomileusis: One-year case-matched analysis. *J Cataract Refract Surg*. 2016;42(11):1579-87.
- Rapuan C, Sugar A, Koch DD, Agapitos PJ, Culbertson WW, de Luise VP, et al. Intrastromal corneal ring segments for low myopia: a report by the American Academy of Ophthalmology. *Ophthalmology*. 2001;108(10):1922-8.
- Stulting RD, John ME, Maloney RK, Assil KK, Arrowsmith PN, Thompson VM. Three-year results of Artisan/Verisyse phakic intraocular lens implantation. Results of the United States Food and Drug Administration clinical trial. *Ophthalmology*. 2008;115(3):464-72.e1.
- Sanders DR, Doney K, Poco M. United States Food and Drug Administration clinical trial of the Implantable Collamer Lens (ICL) for moderate to high myopia: three-year follow-up. *Ophthalmology*. 2004;111(9):1683-92.