

LASIK pour forte hypermétropie : état des lieux et perspectives en 2026

Damien Gatinel

Service de Chirurgie du Segment Antérieur et de Chirurgie Réfractive
Hôpital Fondation Adolphe-de-Rothschild, Paris
CEROV- Centre d'Expertise et de Recherche en Optique Visuelle, Paris

Introduction

La correction chirurgicale de l'hypermétropie par LASIK a longtemps souffert d'une prédictibilité inférieure à celle obtenue dans les traitements myopiques, principalement en raison de la régression réfractive, de l'induction d'aberrations optiques de haut degré (en particulier l'aberration sphérique négative) et des difficultés liées au centrage du traitement sur des yeux présentant fréquemment un angle kappa élevé ⁽¹⁻⁵⁾.

Plusieurs études antérieures ont ainsi rapporté des résultats décevants chez les hypermétropes forts, avec des taux de régression élevés et une altération significative de la qualité de la vision nocturne ⁽³⁻⁵⁾. Ces problèmes étaient en grande partie imputables à l'absence de profils d'ablation tenant compte de la modification de l'asphéricité cornéenne induite par la chirurgie ^(6,7).

Les avancées récentes dans la compréhension des profils d'ablation asphériques, de la stratégie de centrage et de la réponse épithéliale ont permis de repousser les limites de cette chirurgie. L'objectif de cet article est de faire le point sur les principes qui sous-tendent notre approche actuelle et sur les résultats de notre étude prospective récente publiée dans le *Journal of Cataract and Refractive Surgery* en 2024 ⁽⁸⁾.

La prévalence du strabisme et de l'amblyopie est plus élevée chez les patients hypermétropes, et les motivations en faveur de la chirurgie réfractive exprimées par certains d'entre eux ne sont pas toujours réalistes. Certains terrains sont particulièrement exposés à la survenue d'une sécheresse oculaire postopératoire et la prudence est de mise en cas de sécheresse oculaire préexistante. Cet article concerne principalement les particularités chirurgicales du LASIK hypermétropique lorsqu'il est indiqué, et les explications relatives aux suites postopératoires propres à cette chirurgie ont été fournies (risque de régression et besoin de retouches à distance).

Contraintes spécifiques du traitement hypermétropique

Volume d'ablation et zone de transition

Le traitement de l'hypermétropie repose sur un cambrage du centre cornéen par ablation annulaire périphérique, ce qui constitue une inversion géométrique par rapport au traitement myopique (**Figure 1a et b**). En raison de la réalisation d'une large zone de transition, cette configuration entraîne un volume d'ablation plus important pour une même correction dioptrique (environ +40 %). Nous avons montré que le volume de tissu cornéen ablaté pour la seule zone optique est approximativement proportionnel à la magnitude du traitement (D) et à la puissance quatrième du diamètre de la zone optique (S^4), selon la formule simplifiée $V \approx D \cdot (S/9)^4$.⁹ Cette relation met en évidence le rôle déterminant du diamètre de traitement sur la consommation tissulaire, particulièrement critique en chirurgie hypermétropique où la zone de transition périphérique ajoute un volume d'ablation supplémentaire conséquent. La plupart des lasers excimeres imposent une limite de 7 mm au diamètre de la zone optique programmée. Les patients dont le diamètre pupillaire mésopique est plus faible sont avantagés, car la réduction du diamètre de la zone optique permet de réduire significativement la profondeur et le volume d'ablation.

L'analyse tridimensionnelle des profils d'ablation pour les corrections sphéro-cylindriques a confirmé que les stratégies évitant l'utilisation du cylindre négatif permettent de minimiser le volume de tissu retiré, un paramètre pertinent pour la préservation de la stabilité biomécanique cornéenne⁽¹⁰⁾. Or les premières corrections de l'astigmatisme composé hypermétropique validées par la FDA dans les années 2000 étaient délivrées avec une correction cylindrique négative, ce qui augmentait inutilement le volume photoablaté et concourait à une moindre efficacité en raison de l'induction de suites postopératoires plus lourdes en termes de cicatrisation et de régression épithéliale. Cette séquence malheu-

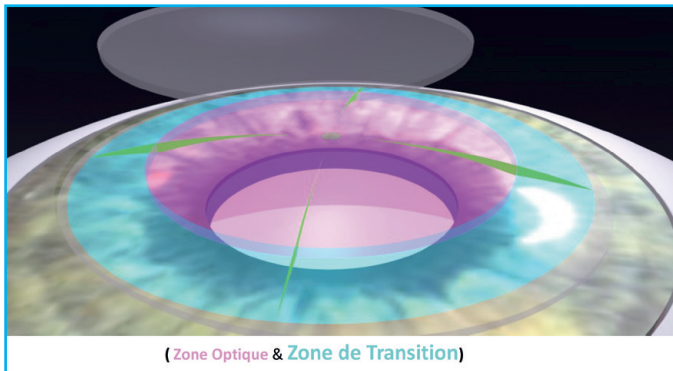


Figure 1a : Lors de la correction de l'hypermétropie, le volume de tissu retiré est à dioptrie égale plus important que pour la myopie en raison de la large zone de transition, destinée à effectuer un raccord harmonieux avec la périphérie non traitée. Le volume de cornée retiré pour la réalisation de la zone de transition est supérieur à celui retiré pour la correction au sein de la zone optique programmée.

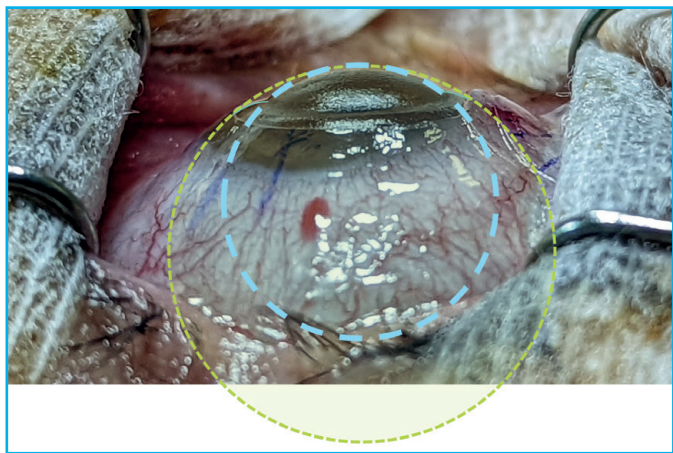


Figure 1b : Vue de profil après que la photoablation LASIK a été réalisée pour une forte hypermétropie, avant de remettre le capot en place. Nous pouvons superposer une représentation schématique des profils pré- et postopératoires. Cela souligne la nécessité d'une grande zone de transition.

reuse n'a pas contribué à populariser l'indication du LASIK pour les corrections positives.

Aujourd'hui, tous les lasers sont programmés pour minimiser le volume photoablaté, ce qui implique que la profondeur de photoablation centrale d'une correction hypermétropique, simple ou composée, est nulle et augmente progressivement vers la périphérie. La profondeur maximale d'ablation est atteinte en périphérie, où la cornée est physiologiquement plus épaisse, le long d'un cercle ou d'une ellipse délimitant la jonction entre la zone optique et la zone de transition. Ainsi, l'éligibilité à la correction hypermétropique est théoriquement accrue pour les patients dont les cornées sont fines, car la photoablation épargne le centre et se concentre sur une zone annulaire plus épaisse. Dans le cadre de la cor-

rection de la myopie, nous avons proposé le concept de *Percent Volume Altered* (PVA) comme métrique tridimensionnelle complémentaire au *Percent Tissue Altered* (PTA) pour évaluer l'impact biomécanique de la chirurgie réfractive, le diamètre du capot et la correction laser s'avérant les déterminants principaux du PVA^(11,12). Cela pourrait s'appliquer à l'hypermétropie, mais des études complémentaires sont nécessaires pour en confirmer la pertinence clinique.

Centrage : enjeux optiques et stratégie

Les yeux hypermétropes présentent souvent un angle kappa important, c'est-à-dire un écart significatif entre l'axe pupillaire et l'axe visuel⁽¹³⁾. En pratique clinique, cette caractéristique se traduit, lors de la fixation, par un décalage nasal du reflet cornéen (vertex) par rapport au centre de la pupille d'entrée, d'autant plus marqué que la longueur axiale est réduite⁽¹⁴⁾. Un centrage de la photoablation sur le centre pupillaire induirait alors un décentrement temporel fonctionnel de la zone optique, générant une aberration de type coma.

L'axe visuel n'étant pas directement mesurable en clinique, le reflet cornéen (image de Purkinje I) constitue le repère le plus accessible et le plus proche de l'intercept cornéen de l'axe visuel^(14,15). Dans notre pratique, nous avons adopté un centrage systématique à 75 % de la distance entre le centre pupillaire et le vertex cornéen, en direction de ce dernier^(8,16). Cette stratégie, détaillée pour l'utilisation du laser EX500 (Alcon/Wavelight) et du topographe Topolyzer Vario, permet d'aligner la zone optique au plus près de l'axe visuel réel tout en tenant compte de l'incertitude sur la position exacte de cet axe⁽¹⁶⁾.

Modulation de l'asphéricité cornéenne : bases théoriques et validation clinique

Relation entre asphéricité et aberration sphérique

Nous avons établi que la modification de l'asphéricité cornéenne antérieure (ΔQ) constitue le principal levier de contrôle de l'aberration sphérique de Zernike de quatrième ordre (C_4^0) après une chirurgie réfractive⁽¹⁷⁾. Pour les corrections hypermétropiques, un traitement conventionnel sans modulation asphérique induit une augmentation de la prolativité cornéenne (valeur de Q plus négative), générant une aberration sphérique négative proportionnelle à l'amplitude de la correction^(17,18).

L'analyse théorique des modifications d'asphéricité après une chirurgie hypermétropique a montré que la variation de Q induite dépend principalement de la correction dioptrique

et du diamètre de la zone optique, mais est relativement peu sensible à l'asphéricité initiale pour des corrections hypermétropiques modérées⁽¹⁸⁾. Cette propriété permet d'envisager une modulation standardisée de l'asphéricité cible, applicable indépendamment de la valeur préopératoire de Q.

Principe de la stratégie Custom-Q ($\Delta Q = +0,2$)

Les algorithmes de photoablation hypermétropique conventionnels tendent à rendre la cornée excessivement prolate ($Q < -1,0$) pour les fortes corrections, ce qui induit deux conséquences délétères. D'une part, l'aberration sphérique négative induite dégrade la qualité de la vision (halos, perte de contraste). La profondeur de champ induite est fonctionnellement inutile pour un œil rendu emmétrope en paraxial, et progressivement plus hypermétrope vers la périphérie du disque pupillaire ! D'autre part, l'hyper-prolativité, entretenue par un épaissement épithélial réactionnel dans le sillon d'ablation périphérique, est également responsable d'une régression progressive de la correction⁽⁶⁻⁸⁾.

Pour contrer cet effet, nous avons programmé un changement d'asphéricité cible de $\Delta Q = +0,2$ en utilisant le mode F-CAT (Custom-Q) de la plateforme WaveLight Refractive Suite (Alcon). Ce décalage positif vise à réduire la prolaticité postopératoire immédiate, de manière à compenser l'hyperplasie épithéliale ultérieure (**Figure 2**). En termes de profondeur d'ablation, cette modulation n'ajoute qu'environ 7 μm de profondeur maximale supplémentaire en périphérie, quel que soit le niveau de correction sphérique et la valeur de Q initiale^(8,17) (**Figure 3**).

Ce principe s'inscrit dans la continuité de nos travaux sur la modulation de l'aberration sphérique à visée presbytique, où des profils asphériques opposés sont appliqués bilatéralement pour augmenter la profondeur de champ de l'œil non dominant tout en préservant l'acuité de loin de l'œil dominant⁽¹⁹⁻²¹⁾.

Résultats de l'étude prospective (JCRS 2024)

Notre étude⁽⁸⁾ a porté sur 117 yeux de 63 patients (moyenne d'âge : $30,1 \pm 5,6$ ans) présentant une hypermétropie supérieure ou égale à +3,00 D d'équivalent sphérique (moyenne : $+5,1 \pm 1,1$ D ; maximum : +8,1 D). Le traitement a été réalisé avec la plateforme WaveLight FS200/EX500, avec un profil asphérique ($\Delta Q = +0,2$) centré proche du vertex cornéen (75 %) sur une zone optique $\geq 6,5$ mm.

Aberration sphérique

Le résultat principal porte sur l'évolution de l'aberration sphérique (SA_4). À J1, une induction significative d'une aber-

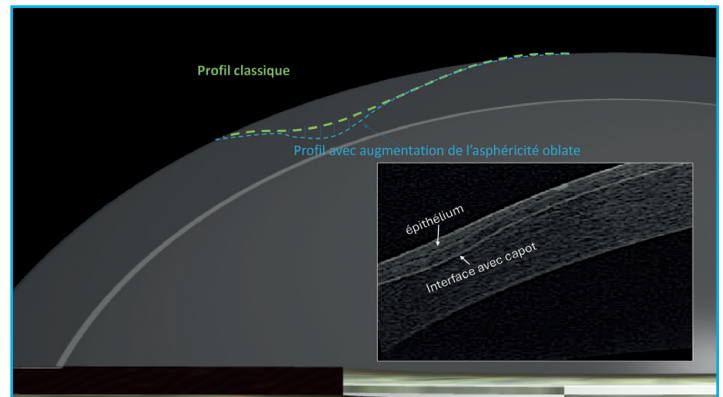


Figure 2 : En augmentant la profondeur de l'ablation vers la périphérie (qui fonctionne comme une « surcorrection périphérique »), nous anticipons un remodelage épithélial, conduisant à un profil final moins plat en périphérie. Cette modification de l'asphéricité précompense le remodelage postopératoire de l'épithélium cornéen.

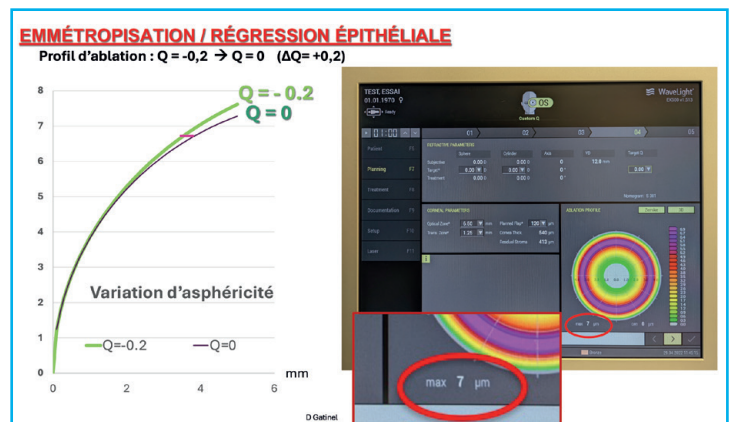


Figure 3 : Il est intéressant de noter qu'une variation isolée de +0,2 dans la valeur Q induit une différence de profondeur de 7 microns sur une aire optique de 6,5 mm de diamètre. Le profil d'ablation visant à réduire la prolaticité cornéenne de -0,2 à 0 concerne essentiellement la périphérie de la cornée. Il ne modifie pas significativement la courbure cornéenne centrale mais augmente la cambrure cornéenne périphérique, et offre ainsi la possibilité de prévenir les effets de la régression épithéliale périphérique.

ration sphérique positive a été observée ($SA_4 = 0,30 \pm 0,32 \mu\text{m}$), correspondant à l'oblitération immédiate induite par le profil Custom-Q. Cette aberration positive a diminué progressivement au cours du suivi, ce qui reflète le remodelage épithélial attendu (**Figure 4**). À 12 mois, la valeur de SA_4 ($0,08 \pm 0,21 \mu\text{m}$) ne différait plus significativement de la valeur préopératoire ($0,09 \pm 0,11 \mu\text{m}$, $p = 0,056$). Cette neutralisation progressive confirme que la modulation initiale de l'asphéricité a effectivement anticipé et compensé l'hyperplasie épithéliale périphérique⁽⁸⁾.

Résultats réfractifs et acuité visuelle

L'équivalent sphérique moyen à 12 mois était de $0,00 \pm 0,7$ D. La stabilisation réfractive a été obtenue dès le troisième mois.

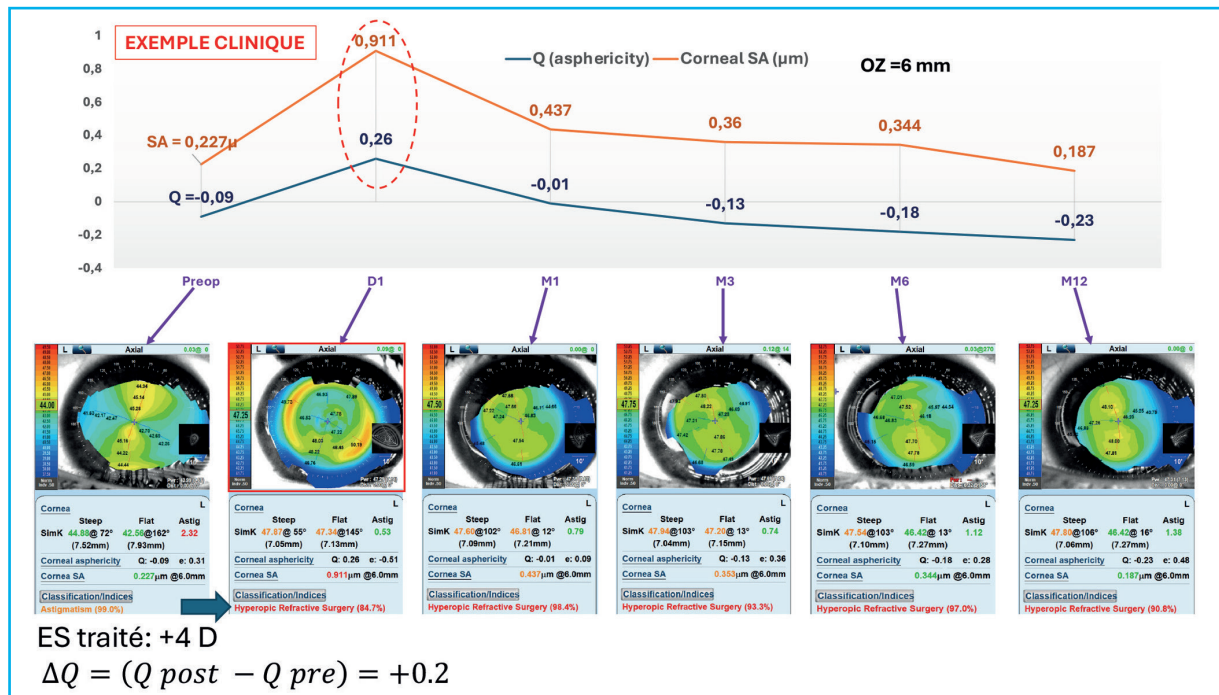


Figure 4 : Dans cet exemple de correction hypermétropique asphérique de 4 D, nous observons l'induction d'une cornée initialement oblate et l'apparition d'une aberration sphérique positive, progressivement neutralisée au fil des mois par une régression épithéliale. À 12 mois, l'asphéricité est légèrement prolata et l'aberration sphérique reste faiblement positive.

À 1 an, 88 % des yeux présentaient une acuité visuelle non corrigée de 0 LogMAR (10/10), ou mieux. Seuls 2 yeux (1,7 %) ont nécessité une reprise à 12 mois, un taux remarquablement bas pour des hypermétropies de cette amplitude⁽⁸⁾.

Limites du traitement et critères de sélection

Limite dioptrique

Dans notre cohorte, 32 % des yeux traités présentaient une sphère supérieure à +6,00 D, avec des résultats stables. La zone de +4,00 à +6,00 D peut désormais être considérée comme une indication fiable sous réserve du respect du triptyque centrage vertex/zone optique large/modulation Q. Au-delà de +6,00 D, le traitement reste techniquement réalisable (nous avons traité jusqu'à +8 D en correction lunettes, ce qui représente une correction supérieure à 9 D dans le plan cornéen), mais la sélection des patients doit être particulièrement rigoureuse. Il est important de fournir au patient une information claire, en insistant sur le risque de régression d'une partie de la correction réfractive avec le temps et la possibilité d'une retouche ultérieure, ou sur le recours ponctuel à des lunettes pour certaines activités. Certains patients, intolérants aux lentilles et complexés par le port de verres fortement convexes et grossissants, sont prêts à accepter,

en postopératoire, une sous-correction et le port de lunettes complémentaires, mais moins inesthétiques. Lorsque l'épaisseur cornéenne est insuffisante ou que le diamètre cornéen est trop petit pour accueillir la zone de traitement totale, l'échange de cristallin clair (PRELEX) demeure préférable.

Limite anatomique : dimensions du capot

Pour une correction de +6,00 D chez un patient dont le diamètre pupillaire mésopique est proche de 6 mm, une zone optique d'au moins 6,5 mm est requise, ce qui, avec la zone de transition, implique un diamètre total de traitement d'environ 9 mm et nécessite un capot de 9,5 à 9,8 mm de diamètre, centré sur une pupille souvent décalée nasalement. L'utilisation du laser femtoseconde est vivement recommandée pour atteindre cet objectif. Il n'est pas rare qu'un saignement limbique survienne en nasal lors de la dissection du bord du volet. Il est recommandé d'effectuer cette dissection de manière isolée, juste après la réalisation de la procédure femtoseconde, l'hémostase survenant alors, le plus souvent spontanément, dans l'intervalle séparant ce moment opératoire du soulèvement du volet et de la délivrance de la photocoagulation. Si le diamètre blanc à blanc est particulièrement étroit et ne permet pas de réaliser un capot de cette taille sans compromettre l'intégrité du pourtour limbique, le LASIK

doit être reconsidéré. Une ablation débordant du capot, notamment au niveau de la charnière, peut entraîner des aberrations de haut degré. Un diamètre pupillaire mésopique plus étroit constitue un avantage dans ce contexte.

Qualité de vision et considérations biomécaniques

Grâce au contrôle de l'aberration sphérique par la modulation $\Delta Q = +0,2$, la qualité de vision postopératoire n'est plus le facteur limitant principal. La question se déplace vers la stabilité biomécanique à long terme, notamment pour les fortes corrections où le volume de tissu déplacé en périphérie est élevé. Nous n'avons pas observé de complications imputables à la réalisation d'une photoablation périphérique profonde chez nos patients. L'utilisation conjointe des métriques PTA et PVA et de la topographie cornéenne pourrait aider à évaluer l'impact potentiel sur la biomécanique cornéenne^(11,12). Ce domaine est rendu plus complexe par l'importance de la régression épithéliale qui tend à relisser le profil cornéen antérieur. Néanmoins, chez le patient exigeant en vision nocturne avec un grand diamètre pupillaire mésopique, la prudence reste de mise au-delà de +5,00 D, et une information ciblée doit être délivrée.

Perspectives : lien avec la correction de la presbytie hypermétropique

La stratégie de modulation asphérique développée pour l'hypermétropie forte s'inscrit dans un cadre conceptuel plus large, celui de la correction de la presbytie hypermétropique par modulation de la profondeur de champ cornéenne. Nous avons montré que l'utilisation de profils asphériques bilatéraux opposés — induction d'aberration sphérique positive sur l'œil dominant ($\Delta Q = +0,2$) et négative sur l'œil non dominant myopisé ($\Delta Q \approx -0,6$) — permet d'obtenir une indépendance aux lunettes pour la quasi-totalité des activités quotidiennes chez les patients hypermétropes presbytes^(19,20).

Dans cette approche, dénommée READ et disponible avec le laser excimer EX500 (Alcon Wavelight), l'œil non dominant

reçoit une légère surcorrection myopique associée à une augmentation de la prolaticité cornéenne, générant un gradient de réfraction du centre vers la périphérie de la pupille favorable à la vision intermédiaire et de près⁽²¹⁾. La supériorité de cette méthode par rapport à la monovision conventionnelle a été démontrée en termes de performance visuelle binoculaire et de satisfaction des patients⁽¹⁹⁾.

L'expérience acquise dans la gestion de la prolaticité pour la presbytie a directement alimenté la stratégie Custom-Q utilisée dans le traitement des hypermétropies fortes du sujet jeune, bien que les objectifs soient inversés : dans le traitement de l'hypermétropie pure du sujet jeune, la modulation positive vise à limiter la prolaticité excessive ; dans le traitement presbytique de l'œil non dominant, la modulation négative vise au contraire à l'augmenter pour induire de la multifocalité.

Conclusion

Le LASIK pour hypermétropie forte constitue désormais une procédure codifiée lorsque trois conditions sont réunies : un centrage décalé vers le vertex cornéen (au moins 75 % de la corde pupille-vertex), un capot de diamètre suffisant pour loger une zone de transition large ($> 9,0$ mm), et une modulation positive de l'asphéricité cornéenne ($\Delta Q = +0,2$) permettant d'anticiper le remodelage épithélial et de neutraliser un excès d'induction d'aberration sphérique négative à 1 an.

Sous réserve d'une sélection rigoureuse des patients, il est aujourd'hui possible d'opérer en routine grâce au LASIK des hypermétropies de +5,00 à +6,00 D avec une prédictibilité et une sécurité satisfaisante. Au-delà de ce seuil, l'indication doit être pesée au cas par cas, en tenant compte de l'anatomie cornéenne et du volume d'ablation impliqué, du diamètre pupillaire, ainsi que des attentes visuelles du patient. ■

Liens d'intérêts : consultant pour Alcon/WaveLight, Tracey, Nidek et BVI.

Références

1. Jaycock PD, O'Brart DP, Rajan MS, Marshall J. 5-year follow-up of LASIK for hyperopia. *Ophthalmology*. 2005;112:191-199.
2. Göker S, Er H, Kahvecioglu C. Laser in situ keratomileusis to correct hyperopia from +4.25 to +8.00 diopters. *J Refract Surg*. 1998;14:26-30.
3. Zadok D, Maskaleris G, Montes M, et al. Hyperopic laser in situ keratomileusis with the Nidek EC-5000 excimer laser. *Ophthalmology*. 2000;107:1132-1137.
4. Llovet F, Galal A, Benitez-del-Castillo J, et al. One-year results of excimer laser in situ keratomileusis for hyperopia. *J Cataract Refract Surg*. 2009;35:1156-1165.
5. Biscevic A, et al. Results of LASIK in patients with hyperopia between 3.00 D and 7.00 D. (référéncé dans 8).
6. Romito N, Trinh L, Drouglazet-Moalic G, et al. Regression and ablation profiles in corneal refractive surgery. *J Fr Ophtalmol*. 2021;44:1059-1075.
7. Reinstein DZ, Archer TJ, Gobbe M, Silverman RH, Coleman DJ. Epithelial thickness after hyperopic LASIK: three-dimensional display with Artemis very high-frequency digital ultrasound. *J Refract Surg*. 2010;26:555-564.
8. Salah-Mabed I, Debellemainière G, Rampat R, Dubois M, Gatinel D. High hyperopic LASIK with reduction of corneal prolateness to control induced spherical aberration. *J Cataract Refract Surg*. 2024;50(9):919-925.

LASIK pour forte hypermétropie : état des lieux et perspectives en 2026

9. Gatinel D, Hoang-Xuan T, Azar DT. Volume estimation of excimer laser tissue ablation for correction of spherical myopia and hyperopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2002;43(5):1445-1449.
10. Gatinel D, Hoang-Xuan T, Azar DT. Three-dimensional representation and qualitative comparisons of the amount of tissue ablation to treat mixed and compound astigmatism. *J Cataract Refract Surg.* 2002;28(11):2026-2034.
11. Gatinel D, Saad A, Binder PS. Comparison of the effect of LASIK parameters on the percent tissue altered (1-dimensional metric) versus percent volume altered (3-dimensional metric). *J Cataract Refract Surg.* 2018;44(7):897-904.
12. Gatinel D, Weyhausen A, Bischoff M. The Percent Volume Altered in Correction of Myopia and Myopic Astigmatism With PRK, LASIK, and SMILE. *J Refract Surg.* 2020;36(12):844-850.
13. Moshirfar M, Hoggan RN, Muthappan V. Angle Kappa and its importance in refractive surgery. *Oman J Ophthalmol.* 2013;6(3):151-158.
14. Gatinel D. Centering corneal based refractive surgery. *gatinel.com.* 2014. [Disponible en ligne].
15. Gatinel D. Pupillary axis, kappa angle. *gatinel.com.* 2015. [Disponible en ligne].
16. Gatinel D. Centering corneal laser surgery (LASIK/PRK) with the Alcon/Wavelight EX500 laser and Topolyzer Vario. *gatinel.com.* 2013. [Disponible en ligne].
17. Gatinel D, Azar DT, Dumas L, Malet J. Effect of anterior corneal surface asphericity modification on fourth-order Zernike spherical aberrations. *J Refract Surg.* 2014;30(11):785-791.
18. Gatinel D, Malet J, Hoang-Xuan T, Azar DT. Corneal asphericity change after excimer laser hyperopic surgery: theoretical effects on corneal profiles and corresponding Zernike expansions. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2004;45(5):1349-1359.
19. Rahmania N, Salah I, Rampat R, Gatinel D. Clinical effectiveness of laser-induced increased depth of field for the simultaneous correction of hyperopia and presbyopia. *J Refract Surg.* 2021;37(1):16-24.
20. Courtin R, Saad A, Grise-Dulac A, Guilbert E, Gatinel D. Changes to corneal aberrations and vision after monovision in patients with hyperopia after using a customized aspheric ablation profile to increase corneal asphericity (Q-factor). *J Refract Surg.* 2016;32(11):734-741.
21. Gatinel D. Presbyopia & hyperopia correction using corneal asphericity (Q value) and multifocality: the READ approach. *gatinel.com.* 2023. [Disponible en ligne].
22. Gatinel D, Malet J, Hoang-Xuan T, Azar DT. Analysis of customized corneal ablations: theoretical limitations of increasing negative asphericity. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2002;43(4):941-948.
23. Gatinel D, Malet J, Dumas L, Azar DT. Comparison of low degree/high degree and Zernike expansions for evaluating simulation outcomes after customized aspheric laser corrections. *Transl Vis Sci Technol.* 2021;10(3):21.
24. Ang M, Gatinel D, Reinstein D, et al. Refractive surgery beyond 2020. *Eye.* 2021;35(2):362-382.