

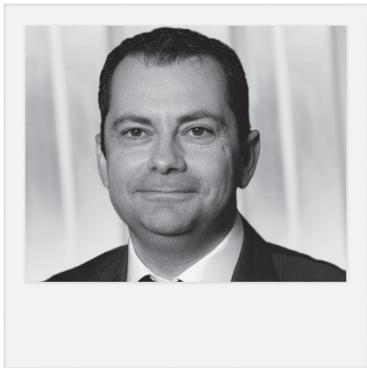
LE DOSSIER Laser femtoseconde

Les différentes possibilités du laser femtoseconde

RÉSUMÉ : Initialement développé pour la chirurgie réfractive, le laser femtoseconde a été appliqué plus récemment à la greffe de cornée, et a ainsi facilité la réalisation de gestes chirurgicaux jusque-là complexes à pratiquer. Il trouve en particulier une place de choix dans le domaine des kératoplasties.

Cette technologie a d'ores et déjà démontré d'excellents résultats dans la chirurgie de la cataracte pour la réalisation d'incisions auto-étanches, de capsulotomies de dimensions précises et parfaitement centrées. Elle permet également une réduction de l'énergie ultrasonique délivrée au cours de la phacoémulsification.

Le choix entre un laser combinant l'ensemble des modalités thérapeutiques, au contraire avec un dispositif de taille réduite ou itinérant, doit intégrer des éléments tels qu'activité, organisation du bloc opératoire et coûts d'exploitation.



→ L. HOFFART

Service d'Ophthalmologie.
Hôpital de la Timone, MARSEILLE.

Depuis l'apparition en 2002 du premier laser femtoseconde (FS) appliqué à la chirurgie ophtalmologique par *Advanced Medical Optics* (IntraLase FS), les évolutions successives de cette technologie permettent aujourd'hui de réaliser de nombreuses procédures chirurgicales. Actuellement, le laser femtoseconde peut être appliqué aussi bien à la chirurgie réfractive, aux procédures de thérapeutiques cornéennes et plus récemment la chirurgie de la cataracte.

Chirurgie réfractive

Les premiers modèles de lasers FS disponibles étaient destinés à la dissection du capot cornéen au cours des procédures de LASIK (dénommées alors Femto-LASIK) ainsi qu'à la création de tunnels pour l'implantation d'anneaux intracornéens dans le traitement du kératocône.

Les nombreux avantages présentés par le laser FS comparés aux micro-

kératomes pour la création de capots cornéens – notamment en termes de sécurité opératoire, de prédictibilité de profondeur de découpe [1] et de réduction d'induction d'aberrations de haut degré – sont incontestables [2]. Par la suite, des procédures de chirurgie réfractive intrastromale ont été développées. Ces techniques permettent d'exploiter les caractéristiques des interactions des impulsions femtosecondes avec le tissu cornéen, et ne nécessitent plus l'utilisation d'un laser Excimer pour la correction des amétropies.

La technique IntraCor® a été proposée en 2009 par Technolas® pour la correction intrastromale de la presbytie. Les indications ne concernaient que les presbytes emmétropes, ou faiblement hypermétropes. Zeiss a proposé le FLEx® (*Femtosecond lenticule extraction*), technique consistant à disséquer un lenticule intracornéen qui, ensuite, était ôté après réalisation d'un capot cornéen.

Les résultats réfractifs étaient cependant inférieurs à ceux obtenus avec un

LE DOSSIER

Laser femtoseconde

laser Excimer [3]. Une modification de cette technique, dénommée SMILE® (*Small incision lenticule extraction*), permet l'extraction du lenticule intracornéen au travers d'une incision de taille réduite avec des résultats comparables à la technique FLEx® [4]. Cependant, peu de résultats sont disponibles pour la correction de l'hypermétropie avec ces techniques purement intrastromales.

Chirurgie incisionnelle

La correction incisionnelle de l'astigmatisme est une procédure efficace pour corriger des niveaux importants d'astigmatismes cornéens congénitaux, ou après kératoplastie. L'application du laser femtoseconde à la réalisation des kératotomies arciformes (**fig. 1**) présente de nombreux avantages du fait de sa grande précision, permettant ainsi de réduire les déviations entre les paramètres chirurgicaux prédéterminés (profondeur, ouverture d'arc, centrage)

et les paramètres des incisions effectivement réalisées [5].

Kératoplasties transfixiantes

Les greffes transfixiantes présentent des inconvénients majeurs sur le plan mécanique tels qu'une faible résistance au stress mécanique avec des complications potentiellement sévères en cas de traumatisme oculaire, et l'importance de l'astigmatisme postopératoire. Il est donc logique de viser à limiter ces inconvénients en créant une incision transfixiante combinant plusieurs plans de dissections. Le laser femtoseconde est donc apparu rapidement comme l'outil idéal pour s'affranchir de cette gestuelle complexe.

Le premier laser femtoseconde avec la capacité de réaliser une incision cornéenne transfixiante a été le laser IntraLase® en 2005 (IntraLase femtosecond laser, AMO, Irvine, CA, États-Unis). Les modalités de kérato-

plasties réalisables à l'aide de ce laser étaient regroupées sous l'acronyme IEK (*IntraLase-enabled keratoplasty*).

La deuxième plateforme femtoseconde adaptée à la chirurgie cornéenne a été le laser FEMTEC® (Technolas 20/10 Perfect Vision, Heidelberg, Allemagne), qui présentait des capacités équivalentes avec néanmoins un dispositif d'aplantation courbe original. Actuellement, les lasers femtoseconde des firmes Zeiss (VisuMax, Zeiss, Jena, Suisse) et Ziemer (Femto LDV, Ziemer Ophthalmic Systems AG, Port, Suisse) sont également dotés de modules de chirurgie cornéenne.

De nombreux profils de dissection sont actuellement disponibles dont : *top-hat*, *half-top-hat*, *mushroom*, *zig-zag*, *Z-square*, ou *Christmas tree* (**fig. 2**). Toutes ces configurations d'incisions permettent d'augmenter la surface de contact des berges tissulaires, donc la surface de cicatrisation, et présentent une stabilité accrue en comparaison

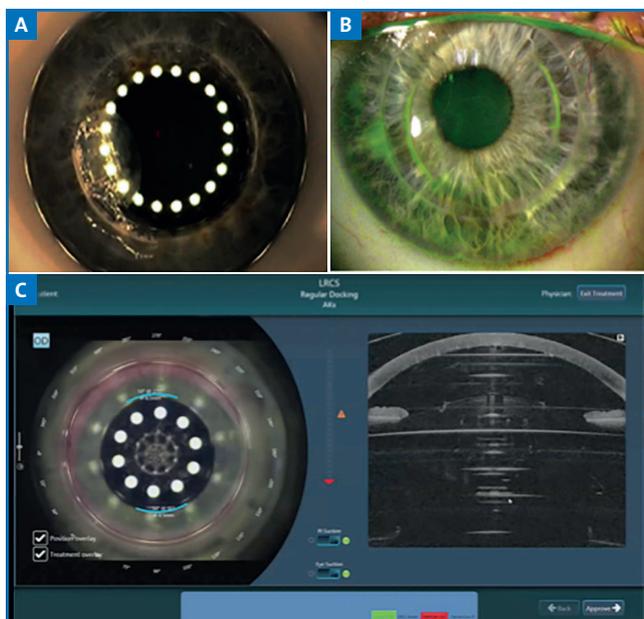


FIG. 1 : Correction de l'astigmatisme par kératotomies arciformes. **A :** visualisation peropératoire de la dissection cornéenne au travers de l'interface d'aplantation du laser femtoseconde. **B :** aspect postopératoire. **C :** interface de programmation du laser VICTUS (Bausch + Lomb).

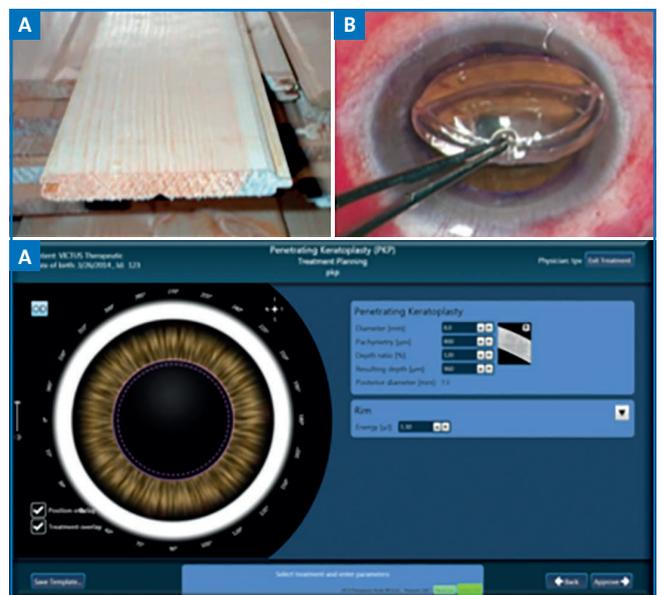


FIG. 2 : Femto-kératoplasties. **A :** principe de l'emboîtement similaire à une latte de parquet d'une kératoplastie transfixiante en profil *top-hat*, réalisée à l'aide du laser VICTUS. **B :** aspect peropératoire du greffon illustrant le profil *top-hat*. **C :** interface de programmation du module kératoplastie du laser VICTUS (Bausch + Lomb).

aux profils de trépanation conventionnels.

Kératoplasties lamellaires assistées

Des dissections lamellaires profondes sont réalisables avec le laser femtoseconde. Cependant, la qualité de dissection dans le stroma profond n'est pas optimale et la récupération visuelle limitée. D'autre part, la précision du guidage du faisceau laser n'est pas suffisante pour assurer une dissection à une distance de quelques microns de la membrane de Descemet.

Une nouvelle approche consiste en l'utilisation du laser femtoseconde en tant qu'outil permettant de faciliter la réalisation de la procédure délicate de dissection prédescémétique par *big bubble*. La combinaison d'une dissection lamellaire associée à la création d'un chenal dans le stroma postérieur, 50 mm au-dessus du point cornéen le plus fin, permet ainsi une injection d'air à une profondeur optimale pour la création du clivage du plan descémétique par la bulle d'air [6].

Kératoplasties endothéliales

L'application du laser femtoseconde à la kératoplastie endothéliale a été rapportée avec des résultats mitigés. La technique actuelle consiste à utiliser la technologie laser uniquement pour préparer un greffon lamellaire endothélial d'une centaine de microns d'épaisseur, le reste de la procédure étant en tous points similaires à la technique de DSAEK (*Descemet's stripping automated endothelial keratoplasty*).

Une étude randomisée, comparant la kératoplastie endothéliale assistée par femtoseconde à la kératoplastie transfixiante [7], a rapporté une acuité visuelle corrigée significativement

inférieure à celle obtenue après kératoplastie transfixiante. Ce fait pouvant être lié à une mauvaise qualité optique de l'interface liée à la dissection lamellaire profonde au sein du greffon (profondeur de 400 à 500 mm en fonction de l'épaisseur souhaitée pour le greffon endothélial). Une perte cellulaire endothéliale majorée après préparation assistée par laser femtoseconde du greffon a également été constatée.

Chirurgie de la cataracte

Une nouvelle évolution d'un laser femtoseconde dédié à la chirurgie intraoculaire (LenSx Lasers) avait reçu l'autorisation de la FDA (*Food and Drug Administration*) en 2009 pour réaliser uniquement la capsulotomie antérieure au cours d'une chirurgie de la cataracte. Cela a été le point de départ d'une nouvelle ère de développement du laser FS (*Full spectrum*). Actuellement, cinq dispositifs sont commercialisés, et offrent divers niveaux d'agréments FDA ou CE pour la réalisation des incisions cornéennes, du capsulorhexis et de la nucléo-fragmentation.

L'intérêt de l'utilisation du laser FS pour la chirurgie intraoculaire réside dans la réalisation précise de certaines étapes. Néanmoins, une adaptation à ce nouveau mode de procédure chirurgicale sera nécessaire, car certaines étapes seront effectuées dans un ordre inverse de la procédure classique de phacémulsification avec une préfragmentation initiale du noyau cristallinien suivie d'une capsulotomie antérieure, puis de la réalisation des incisions cornéennes et des kératotomies arciformes.

Le laser FS aide à réaliser des incisions avec une géométrie carrée permettant d'accroître l'étanchéité des incisions [8]. De même, il donne la possibilité de réaliser des incisions limbiques relaxantes en fin de procédure d'une précision également accrue en termes

de dimensions en comparaison aux techniques manuelles. De nombreuses études ont démontré que la réalisation du capsulorhexis est l'étape la plus délicate techniquement de la chirurgie de la cataracte, notamment pour les chirurgiens en formation.

Le laser FS permet de réaliser une capsulotomie parfaitement circulaire, résistante et d'un diamètre correspondant à la programmation préopératoire, qui facilite l'obtention des résultats réfractifs reproductibles. La réduction de l'énergie ultrasonique associée à la nucléo-fragmentation par le laser FS doit permettre de diminuer l'altération cellulaire endothéliale au cours de la chirurgie de la cataracte.

Conclusion

La technologie laser femtoseconde n'est plus seulement destinée à la réalisation des capots de LASIK pour la chirurgie réfractive et de nombreuses applications en chirurgie du segment antérieur, lesquelles ont été validées en pratique clinique. Ces lasers peuvent être utilisés pour les procédures de greffes de cornées lamellaires, transfixiantes et la chirurgie cristallinienne.

Cependant, malgré l'engouement initial pour cette technologie, plusieurs difficultés sont toujours présentes. Le coût d'acquisition et de fonctionnement de ces dispositifs reste élevé, et l'accessibilité est un facteur limitant pour de nombreux ophtalmologistes. Le transfert des patients de la salle de laser au bloc opératoire ophtalmologique peut présenter des difficultés logistiques et potentiellement exposer le patient à des complications, notamment dans le cas des procédures de kératoplasties (ouverture spontanée de l'incision par exemple). La surface nécessaire au positionnement du laser au sein du bloc opératoire est également un point important, et les prochaines évolutions

LE DOSSIER

Laser femtoseconde

– notamment pour la chirurgie de la cataracte – devront pouvoir s'intégrer dans des locaux chirurgicaux de taille réduite.

Le choix peut se poser entre un laser combinant l'ensemble des modalités thérapeutiques ou au contraire un dispositif de taille réduite mais dévolu seulement à la chirurgie de la cataracte, ou encore une station mobile pouvant être déplacée au sein d'un bloc opératoire. Ce choix doit donc intégrer ses éléments de réflexion : activité, organisation du bloc opératoire et coûts d'exploitation.

Bibliographie

1. KRUEGER RR, DUPPS WJ JR. Biomechanical effects of femtosecond and microkeratome-based flap creation: prospective contralateral examination of two patients. *J Refract Surg*, 2007;23:800-807.
2. MEDEIROS FW, STAPLETON WM, HAMMEL J *et al*. Wavefront analysis comparison of LASIK outcomes with the femtosecond laser and mechanical microkeratomes. *J Refract Surg*, 2007;23:880-887
3. SEKUNDO W, KUNERT K, RUSSMANN C *et al*. First efficacy and safety study of femtosecond lenticule extraction for the correction of myopia. Six-month results. *J Cataract Refract Surg*, 2008;34:1513-1520
4. 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;95:335-339.
5. HARISSI-DAGHER M, AZAR DT. Femtosecond laser astigmatic keratotomy for postkeratoplasty astigmatism. *Can J Ophthalmol*, 2008;43:367-369.
6. BUZZONETTI L, LABORANTE A, PETROCELLI G. Standardized big-bubble technique in deep anterior lamellar keratoplasty assisted by the femtosecond laser. *J Cataract Refract Surg*, 2010;36:1631-1636.
7. CHENG YY, SCHOUTEN JS, TAHZIB NG *et al*. Efficacy and safety of femtosecond laser-assisted corneal endothelial keratoplasty: a randomized multicenter clinical trial. *Transplantation*, 2009;88:1294-1302.
8. ERNEST PH, KIESSLING LA, LAVERY KT. Relative strength of cataract incisions in cadaver eyes. *J Cataract Refract Surg*, 1991;17:668-671.

L'auteur a déclaré être consultant pour les laboratoires Bausch + Lomb et Alcon.