

Ophthalmologie^{MD}

Conférences scientifiques



2013
Volume 10, numéro 1

COMPTE RENDU DES CONFÉRENCES
SCIENTIFIQUES DU DÉPARTEMENT
D'OPHTALMOLOGIE ET
DES SCIENCES DE LA VISION,
FACULTÉ DE MÉDECINE,
UNIVERSITÉ DE TORONTO

La chirurgie de la cataracte au laser femtoseconde : amélioration de la précision et des résultats

PAR RAYMOND STEIN, M.D., FRCSC ET REBECCA STEIN, B.Sc., MBChB (CANDIDAT)

La chirurgie de la cataracte au laser femtoseconde est considérée comme l'un des progrès les plus importants réalisés dans la chirurgie de la cataracte depuis les 50 dernières années. La chirurgie de la cataracte au laser a montré d'excellents résultats pour les incisions cornéennes précises auto-étanches, les incisions arciformes visant à réduire l'astigmatisme, le capsulorhexis parfaitement circulaire, stable et bien positionné et l'extraction de la cataracte de façon plus sûre et techniquement moins difficile avec l'élimination presque complète de la phacoémulsification. La technologie laser permet aux ophtalmologistes de répondre aux exigences des patients atteints de la cataracte en obtenant les mêmes excellents résultats que pour la correction de la vision par le laser. Dans le présent numéro d'*Ophthalmologie – Conférences scientifiques*, nous examinons les caractéristiques de cette intervention qui peuvent significativement améliorer la chirurgie de la cataracte, le mécanisme d'action des lasers et les facteurs à prendre en considération pour une utilisation optimale.

La chirurgie de la cataracte est l'intervention chirurgicale la plus pratiquée au monde, et l'on estime que 15 millions d'interventions par année sont réalisées au niveau mondial et plus de 250 000 au Canada^{1,2}. La chirurgie de la cataracte moderne a évolué de l'extraction extracapsulaire par une grande incision et l'utilisation de lentilles intraoculaires monofocales de base à la chirurgie micro-incisionnelle utilisant une technologie de lentilles avancée. L'innocuité et la précision améliorées de l'intervention a réduit en général l'âge auquel la plupart des patients subissent l'opération. Étant donné que de nombreux patients sont encore professionnellement actifs et ont des activités de loisirs, il y a eu une augmentation des attentes de leur part et une importance accrue accordée aux résultats réfractifs et à la sûreté de l'opération. L'introduction des lasers femtosecondes dans la chirurgie de la cataracte représente un progrès potentiellement important dans la technologie de la cataracte³.

Le Dr Charles Kelman a introduit la phacoémulsification micro-incisionnelle en 1967. Avec le temps, la taille incisionnelle a été progressivement réduite à 2,2 mm⁴. Bien que la technique actuelle de la phacoémulsification soit largement considérée comme sûre et efficace, les résultats obtenus dépendent de l'expérience et des compétences du chirurgien. L'étape logique suivante de l'évolution de la chirurgie de la cataracte était l'utilisation du laser pour améliorer la précision et l'innocuité de l'intervention. Au début de la phacoémulsification, la communauté des ophtalmologistes doutait non seulement de l'innocuité, mais également de l'efficacité de la procédure. À son stade actuel de développement, il y a peu de raison de mettre en doute l'innocuité de l'utilisation du laser femtoseconde dans la chirurgie de la cataracte. L'efficacité de l'intervention a été rapidement établie dans des études et dans la littérature révisée par les pairs.

Les lasers femtosecondes sont utilisés en chirurgie ophtalmologique depuis un certain nombre d'années⁵⁻⁷. Cette technologie est la plus fréquemment utilisée dans la chirurgie laser réfractive avec la création de volets cornéens. Les lasers femtosecondes ont amélioré la précision et l'innocuité comparativement aux microkératomes mécaniques qui utilisent une lame.

Les progrès cliniques et techniques réalisés dans le keratomileusis *in situ* assisté par laser (LASIK) ont amélioré les résultats au point où l'on obtient actuellement une acuité visuelle non corrigée de 20/20 dans pratiquement 90 % des cas⁸. Une amélioration équivalente n'a été obtenue que dans 50 à 60% des cas lorsqu'on combinait la phacoémulsification moderne, utilisant des petites incisions, à des mesures plus sophistiquées de la puissance des lentilles intraoculaires (LIO)⁹. Pour augmenter ce pourcentage de 60 à 90 %, l'écart-type dans les résultats réfractifs doit être environ deux fois moins élevé. Dans l'examen des facteurs qui affectent les résultats réfractifs, on note que deux des principaux facteurs responsables sont la position effective de la lentille et l'astigmatisme non corrigé. Une amélioration significative de ces facteurs pourrait donc augmenter la probabilité d'améliorer la vision non corrigée.

À l'instar de la chirurgie réfractive au laser, la technologie du laser femtoseconde pourrait permettre d'améliorer la reproductibilité et l'innocuité de la chirurgie de la cataracte¹⁰. Les lasers femtosecondes peuvent améliorer plusieurs aspects de la chirurgie traditionnelle de la cataracte ou même les changer, notamment la réalisation d'une incision en cornée claire, la correction ou la réduction de l'astigmatisme



Ophthalmology & Vision Sciences
UNIVERSITY OF TORONTO

Département d'ophtalmologie et des sciences de la vision

Sherif El-Defrawy, M.D.

Professeur et président

Jeffrey Jay Hurwitz, M.D.

Rédacteur,

Ophthalmologie – Conférences scientifiques

Martin Steinbach, Ph.D.

Directeur de la recherche

The Hospital for Sick Children

Elise Heon, M.D.

Ophtalmologiste en chef

Mount Sinai Hospital

Jeffrey J. Hurwitz, M.D.

Ophtalmologiste en chef

Princess Margaret Hospital (Clinique des tumeurs oculaires)

E. Rand Simpson, M.D.

Directeur, Service d'oncologie oculaire

St. Michael's Hospital

Alan Berger, M.D.

Ophtalmologiste en chef

Sunnybrook Health Sciences Centre

Peter J. Kertes, M.D.

Ophtalmologiste en chef

University Health Network

Toronto Western Hospital Division

Robert G. Devenyi, M.D.

Ophtalmologiste en chef

Kensington Eye Institute

Sherif El-Defrawy, M.D.

Ophtalmologiste en chef

Département d'ophtalmologie et des sciences de la vision

Faculté de médecine

Université de Toronto

60 Murray St.

Bureau 1-003

Toronto (Ontario) M5G 1X5

Le contenu rédactionnel d'*Ophthalmologie – Conférences scientifiques* est déterminé exclusivement par le Département d'ophtalmologie et des sciences de la vision, Faculté de médecine, Université de Toronto.

Disponible sur Internet à : www.ophtalmologieconferences.ca

par des incisions cornéennes arciformes, la réalisation d'une capsulotomie antérieure et la fragmentation du cristallin.

Incisions en cornée claire

Les incisions en cornée claire sont la méthode de choix des chirurgiens en Amérique du Nord¹¹. Les avantages des incisions en cornée claire sont leur bonne tolérance par les patients. Elles permettent une récupération rapide de la vision³, préservent l'espace sous-conjonctival pour des interventions filtrantes futures et offrent une meilleure visibilité pendant la phacoémulsification grâce au tunnel cornéen plus court. Il existe des rapports d'incidence accrue d'endophtalmie pouvant être liée à l'utilisation d'incisions en cornée claire¹². Bien que l'incidence de l'endophtalmie ne soit que de 0,13 %¹², elle demeure la complication la plus redoutée de la chirurgie de la cataracte ayant un impact potentiellement dévastateur. La survenue d'une endophtalmie après la chirurgie de la cataracte avec une baisse permanente de la vision peut avoir un impact sur la qualité de vie du sujet, y compris sur sa productivité.

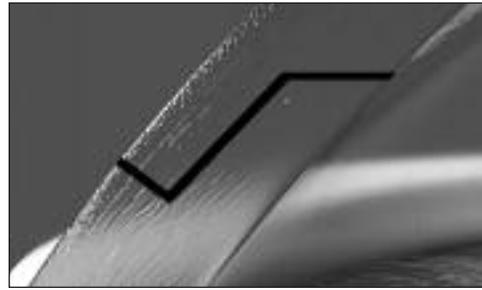
Les incisions manuelles peuvent générer des fuites en raison de la difficulté à réaliser une incision d'une longueur et d'une architecture optimales. Les chirurgiens utilisent habituellement un angle d'incision variable selon l'ergonomie de la situation. D'autres causes potentielles de fuites incluent l'épaississement du site de l'incision et le décollement de la membrane de Descemet. Masket et ses collaborateurs¹³ ont pu démontrer dans des yeux cadavériques les avantages de l'incision en cornée claire au moyen d'un laser femtoseconde permettant une architecture incisionnelle carrée plus reproductible et une configuration multiplanaire de la plaie cornéenne.

Une incision en cornée claire mal réalisée peut entraîner des fuites, une hypotonie, un prolapsus iridien ou une endophtalmie. Les incisions cornéennes de cataracte réalisées avec une lame auront généralement une configuration uniplanaire simple, avec une construction sous-optimale, et des fuites potentielles de fluides peuvent survenir à l'intérieur et à l'extérieur des yeux. Ces fuites augmentent le risque d'endophtalmie, étant donné que les bactéries provenant du film lacrymal peuvent pénétrer dans la chambre antérieure des yeux. Des études futures traiteront de l'architecture idéale de l'incision cornéenne pour prévenir les fuites et minimiser l'apparition d'un astigmatisme. Le laser femtoseconde peut créer une architecture incisionnelle plus carrée au moyen d'incisions multiplanaires complexes (Figure 1), telles qu'une découpe rainurée ou en zigzag, qui pourrait offrir une configuration de l'incision plus stable et plus résistante aux fuites.

Une étude utilisant la tomographie par cohérence optique (TCO) du segment antérieur après une chirurgie de la cataracte conventionnelle a démontré que la majorité des yeux présentait une plaie cornéenne ouverte intérieurement et un décollement de la membrane de Descemet¹⁴. On suppose que ces anomalies de la plaie en cornée claire peuvent jouer un rôle dans le risque accru d'endophtalmie postopératoire. Palanker et ses collaborateurs¹⁵ ont démontré qu'un laser femtoseconde peut créer une incision qui agit comme un clapet imperméable auto-étanche dans des conditions de pression intraoculaire (PIO) normale. Une étude non publiée de 75 yeux menée par Steinert et Nagy¹⁶ a montré que 30 des 33 yeux dans lesquels une incision manuelle avait été réalisée ont nécessité une hydratation de la plaie. Par opposition, les 42 yeux sur lesquels on a pratiqué une incision assistée par laser sur deux plans ont été résistants à la pression externe et aucun n'a nécessité une hydratation de la plaie.

Il est important d'examiner les différences dans les taux d'endophtalmie postopératoire après une incision cornéenne assistée par laser. C'est une question essentielle, car l'endophtalmie postopératoire est le critère qui justifiera finalement

Figure 1 : Architecture de la plaie cornéenne individualisée avec une configuration multiplanaire pour réduire les fuites et l'astigmatisme induit.



d'opter pour des incisions au laser comme la méthode de choix de construction de l'incision cornéenne. Ces recherches nécessiteront l'étude de populations de patients très importantes en raison de l'incidence relativement faible de l'endophtalmie.

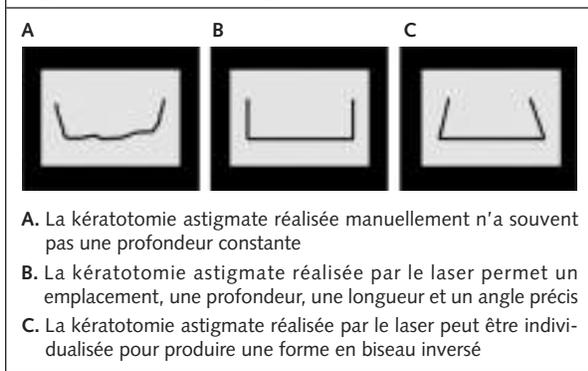
Correction de l'astigmatisme

La capacité du laser femtoseconde à réaliser des incisions relaxantes intrastromales pour réduire un astigmatisme préexistant¹⁷ est un avantage potentiellement important. Près de 70 % des patients atteints de la cataracte présentent un astigmatisme $\geq 0,5$ D avant l'intervention. Relativement peu de chirurgiens en tiennent compte et corrigent un astigmatisme préexistant¹⁷. Les chirurgiens qui utilisent un laser à excimère peuvent corriger un astigmatisme aussi faible que 0,25 D. Afin d'obtenir des résultats réfractifs après l'opération de la cataracte identiques à ceux obtenus avec la kératectomie photoréfractive (KPR) ou au LASIK, il est important pour les chirurgiens de corriger tous les degrés d'astigmatisme.

Les incisions relaxantes périphériques qui sont réalisées manuellement manquent souvent de constance, étant donné que leur profondeur, leur longueur, leur position et leur forme peuvent être imprécises (Figure 2). La plupart des chirurgiens utilisent une lame pour réaliser la découpe à une profondeur fixe de 600 μ m au lieu de modifier la profondeur sur la base de la pachymétrie. Même si l'on utilise une profondeur de lame personnalisée, les résultats dépendent des compétences du chirurgien, de la qualité de la lame, de la résistance du tissu cornéen et de la collaboration du patient.

Les incisions au laser précises et reproductibles permettent d'obtenir de meilleurs résultats comparativement aux incisions réalisées manuellement. Les systèmes de laser femtoseconde permettent de réaliser des découpes reproductibles précises quant au site, à la profondeur, à l'orientation angulaire et à la longueur¹⁸. Ces incisions intrastromales ne pénètrent pas à travers l'épithélium cornéen ou la surface postérieure de la cornée. En gardant l'épithélium intact, le laser femtoseconde peut potentiellement minimiser la gêne postopératoire, la guérison de la plaie épithéliale, l'infection et les perturbations du film lacrymal. Les chirurgiens ont la possibilité de titrer le traitement pendant la période peropératoire ou postopératoire. Les résultats cliniques rapportés par Zaldivar¹⁹ dans 35 yeux traités par une paire d'incisions arciformes au laser femtoseconde ont montré une modification moyenne de l'astigmatisme de 1,22 D, avec un minimum de 0,50 D et un maximum de 2,5 D. Tous les patients souffraient d'un degré réduit d'astigmatisme, près de 50 % des yeux souffraient d'un astigmatisme inférieur à 0,25 D et aucun œil ne présentait ce degré d'astigmatisme avant l'intervention. Des études futures évalueront les effets de variables telles que l'âge du patient, la PIO, le diamètre cornéen, l'épaisseur cornéenne et les options

Figure 2 : Kératotomie astigmatique



programmables offertes par le laser (zones optiques, angle des découpes, longueur et diamètre).

Capsulotomie antérieure

La capsulotomie curviligne continue est une étape clé dans la chirurgie de la cataracte (Figures 3 et 4). La réalisation d'un capsulorhexis réussi peut être difficile dans diverses situations cliniques, incluant la présence d'un voile cornéen ou d'une cicatrisation cornéenne, d'une chambre antérieure peu profonde, d'une petite pupille, de faibles zonules, d'une capsule antérieure fibreuse, d'un reflet rétinien anormal et d'une cataracte blanche intumescence. Un capsulorhexis de taille et de forme appropriées et correctement centré améliore l'innocuité de la chirurgie, l'hydrodissection de la pupille, la fragmentation et l'ablation du noyau du cristallin, le nettoyage du cortex restant, le positionnement et le centrage des LIO et l'inhibition de l'opacification de la capsule postérieure.

On a suggéré qu'en utilisant une technique manuelle, l'incidence des déchirures capsulaires antérieures dans les mains de chirurgiens expérimentés est de 0,79 à 3,8 % dans la communauté des ophtalmologistes généralistes^{20,21}. Chez les sujets présentant une déchirure capsulaire antérieure, on a rapporté que chez 40 % d'entre eux, la déchirure s'étendait à la capsule postérieure et chez 20 %, une vitrectomie était nécessaire²⁰. Cela équivaut à 6346 vitrectomies annuellement en Amérique du Nord. Unal et ses collaborateurs²² ont étudié la chirurgie de la cataracte réalisée par des résidents ophtalmologistes aux États-Unis et ont montré que le taux de déchirure capsulaire antérieure était de 5,3 %, de capsulotomie irrégulière de 9,3 % et de déchirure postérieure avec la perte du vitré de 6,6 %. Une capsulotomie irrégulière peut entraîner des résultats moindres sur le plan visuel, notamment

Figure 3 : Cette image illustre la précision d'une capsulotomie antérieure par laser femtoseconde

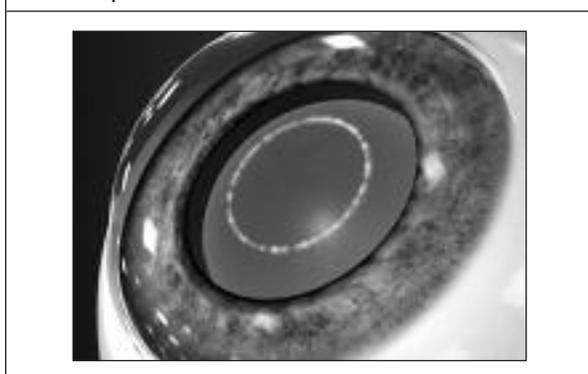
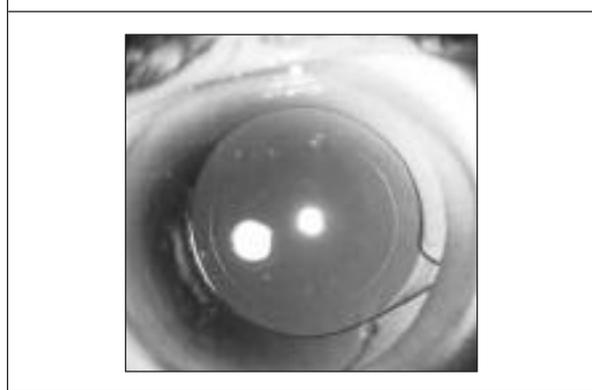


Figure 4 : Exemple clinique de la taille, de la forme et du centrage précis d'une capsulotomie antérieure par laser femtoseconde



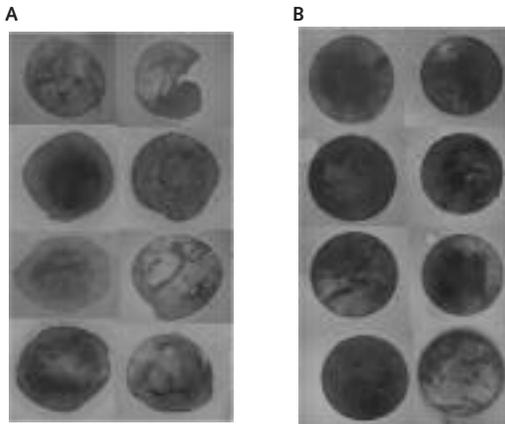
des aberrations de haut degré dues au décentrage optique et à l'inclinaison de la lentille²³. Les ruptures capsulaires antérieures peuvent entraîner des problèmes importants. L'extension postérieure d'une rupture a été associée à une rétention d'une partie du cristallin, à une uvéite persistante, à un œdème maculaire cystoïde (OMC) et à un décollement secondaire de la rétine.

Hatch et ses collaborateurs²⁴ ont montré que l'incidence de l'endophtalmie est significativement plus élevée lorsqu'il se produit une rupture capsulaire. La probabilité de survenue d'une endophtalmie est 9,56 fois plus élevée après une rupture capsulaire qu'après une chirurgie de la cataracte non compliquée. Bhagwandien et ses collaborateurs²⁵ ont constaté une relation encore plus élevée (probabilité 16 fois plus élevée). Si la chirurgie au laser femtoseconde pouvait permettre de réaliser une capsule toujours ronde, centrée et intacte, ce serait un progrès important pour les patients.

La position et le centrage appropriés de la LIO dépendent de la taille et de la forme de la capsulotomie. Nagy et ses collaborateurs²⁶ ont démontré dans des yeux de porcs que les capsulotomies au laser femtoseconde étaient plus précises et plus rondes qu'avec une technique manuelle (Figure 5). La chance d'obtenir un diamètre de capsulotomie dans les limites de 0,1 mm de la taille prévue était de 100 % dans le groupe où l'on a utilisé la technique manuelle. Des observations similaires ont été notées par plusieurs auteurs^{15,27-29}. Kranitz et ses collaborateurs²⁷ ont comparé un capsulorhexis manuel à un capsulorhexis assisté par laser femtoseconde en effectuant un suivi d'un an. Les auteurs ont conclu qu'un décentrage de la LIO était 6 fois plus probable dans le contexte d'un capsulorhexis manuel. Palanker et ses collaborateurs¹⁵ ont confirmé la précision de la capsulotomie avec une circularité moyenne de 0,942 dans 29 yeux pour lesquels le laser a été utilisé comparativement à 0,774 dans 30 yeux pour lesquels la technique manuelle a été utilisée. Friedman et ses collaborateurs²⁹ ont démontré que l'écart du diamètre prévu était de $29 \pm 26 \mu\text{m}$ pour les capsulotomies au laser et de $337 \pm 258 \mu\text{m}$ pour la technique manuelle. Les écarts moyens de la circularité étaient de 6 % et de 20 %, respectivement.

Les lasers femtosecondes peuvent centrer la capsulotomie sur la pupille dilatée, la pupille non dilatée, le centre géométrique de la lentille ou l'axe visuel. L'implant peut ensuite être positionné par rapport à la capsulotomie. Les résultats réfractifs ainsi que la mesure des aberrations de haut degré nous permettront finalement de déterminer la position idéale du capsulorhexis. Actuellement, la plupart des chirurgiens pense que le centrage de la capsulotomie sur l'axe

Figure 5 : Morphologie du disque capsulaire



Capsulotomie manuelle (A) et par laser (B) avec injection de bleu trypan, démontrant la précision supérieure sur le plan de la taille et de la forme avec la méthode laser.

visuel peut fournir la meilleure qualité de vision. La position idéale de la capsulotomie antérieure sera établie dans de futures études.

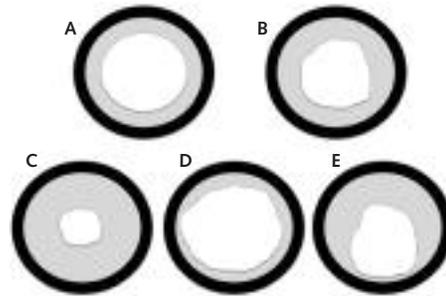
Tackman et ses collaborateurs ont rapporté lors de l'utilisation d'un laser femtoseconde pour une capsulotomie antérieure que la majorité des cas présentait un lambeau capsulaire mobile, ce qui réduit l'incidence des ruptures capsulaires²⁸.

La taille de la capsulotomie et sa construction sont directement liées à la position effective de la lentille (Figure 6)³⁰. Un capsulorhexis de grande taille permet à l'implant d'être positionné antérieurement, alors qu'un capsulorhexis de plus petite taille pousse l'implant dans une position plus postérieure. La position finale de l'implant peut entraîner une tendance à la myopie ou à l'hypermétropie si le capsulorhexis créé est plus grand ou plus petit que prévu³⁰. Un capsulorhexis irrégulier peut induire des aberrations de plus haut degré par inclinaison ou décentration de l'implant²³. Des études préliminaires ont montré que les yeux traités par le laser présentaient moins d'aberrations d'inclinaison de l'axe vertical et de coma que les yeux traités par une capsulotomie manuelle³¹. La variabilité et la prédictabilité de la position effective de la lentille se sont révélées supérieures pour les capsulotomies antérieures assistées par laser pour les implants multifocaux et toriques³². Une minorité de chirurgiens utilisant une technique manuelle réalisent constamment des capsulotomies dimensionnées et positionnées.

La prédiction préopératoire imprécise de la position effective de la lentille a été identifiée comme la plus grande source d'erreur dans les calculs de la puissance de la LIO³³. Une différence de 0,5 mm dans la position finale de la lentille intraoculaire peut entraîner une variation de l'erreur réfractive de 1,00 D³⁴⁻³⁶. Une erreur réfractive sphérique de 1D représente la différence entre une acuité visuelle de 20/20 et de 20/40. Pour les LIO multifocales et toriques, la marge d'erreur acceptable est plus étroite. L'inclinaison et le décentration de ces LIO peuvent causer non seulement un écart important par rapport au résultat réfractif escompté, mais également des aberrations visuelles qui peuvent être difficiles à tolérer^{37,38}.

La position effective de la LIO peut varier selon que le capsulorhexis chevauche complètement ou non l'optique. La plupart des LIO accommodatives ne devrait pas être implantée en présence d'un capsulorhexis sous-optimal. La LIO accommodative à optique double est conçue de façon à ce que l'optique

Figure 6 : A Capsulotomie antérieure



- A. Capsulotomie antérieure par laser avec une forme, une taille et un centrage reproductibles. Le capsulorhexis influe sur la position effective de la lentille, qui affecte l'erreur réfractive postopératoire.
- B. La capsulotomie antérieure manuelle manque souvent de constance dans la forme, la taille et le centrage.
- C. Une petite capsulotomie antérieure peut pousser l'implant postérieurement entraînant une tendance à l'hypermétropie.
- D. Une capsulotomie antérieure de grande taille peut entraîner un mouvement de l'implant vers l'avant, entraînant une tendance à la myopie.
- E. Une capsulotomie antérieure irrégulière peut entraîner une inclinaison ou une sous-luxation de l'implant et des aberrations induites de haut degré

antérieure se déplace vers l'avant lors de l'effort d'accommodation. Pour ce faire, le capsulorhexis doit chevaucher l'optique, afin de prévenir le prolapsus de l'optique antérieure du sac capsulaire³⁹. L'avènement du laser femtoseconde permettant une capsulotomie dimensionnée et centrée de façon précise devrait améliorer la prédictabilité de cette LIO à l'avenir.

Nagy et ses collaborateurs²⁶ ont démontré dans des yeux de porcs que la puissance de la capsule était aussi élevée ou supérieure avec le laser femtoseconde qu'avec un capsulorhexis manuel permettant une plus grande force d'étirement avant la rupture. Leur étude comparait 12 yeux traités par laser avec 12 yeux traités par capsulorhexis manuel réalisé par un chirurgien expérimenté spécialisé dans la cataracte. La puissance moyenne de la capsule après un capsulorhexis manuel était de 66 ± 22 mN. Après la capsulotomie au laser, elle était plus de deux fois plus élevée (152 ± 21 mN). La création d'un bord de capsulotomie plus résistant peut aider à réduire le problème de rupture de la capsule lors de l'émulsification de la lentille ainsi que de l'insertion d'une LIO. Les auteurs ont constaté des résultats similaires dans les yeux énucléés d'humains.

À l'avenir, si une méthode de remplissage cristallinien peut être développée pour restaurer l'accommodation, une petite capsulotomie au moyen d'un laser femtoseconde présentera un avantage important. De futures études à long terme seront nécessaires pour déterminer la supériorité à long terme en termes de résultats visuels et de réduction du taux d'opacification capsulaire postérieure de la capsulotomie assistée par laser. Cela est essentiel, car la position effective de la lentille est le facteur le plus important contribuant aux anomalies visuelles après la chirurgie de la cataracte³¹.

Fragmentation du cristallin

Le laser femtoseconde peut fragmenter le noyau du cristallin, réduisant l'énergie nécessaire et le temps pendant la phacoémulsification (Figure 7). Plusieurs auteurs ont confirmé que la chirurgie de la cataracte au laser peut réduire significativement le temps et la puissance effectifs de la phacoémulsification comparativement à la chirurgie conventionnelle^{26,40}.

Nagy et ses collaborateurs²⁶ ont montré que la phacofragmentation au laser a entraîné une réduction de 43 % de la puissance de phacoémulsification requise²⁶. L'article de Dick présenté lors de la réunion d'hiver 2012 de la Société européenne de chirurgie de la cataracte et de chirurgie réfractive a démontré une réduction de 96 % de la phacoénergie même chez des sujets atteints de cataracte nucléaire de grade 4+ ayant une acuité visuelle de 4+/10^{e40}. Les différences rapportées dans le degré de fragmentation du noyau avec les différents lasers peuvent être dues aux schémas de fragmentation et aux différentes énergies d'impulsion qui ont été utilisés.

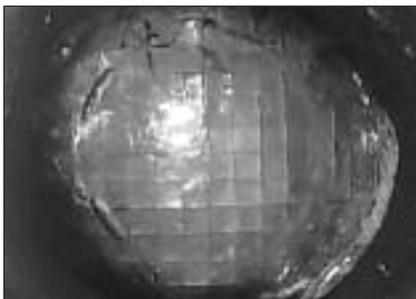
L'utilisation excessive de l'énergie ultrasonique lors de la phacoémulsification peut entraîner des lésions de l'endothélium cornéen, ainsi que des lésions thermiques de la plaie cornéenne. Dans les cas de faibles zonules, les techniques pour fracturer le noyau en petits morceaux peuvent entraîner une déhiscence ou une sous-luxation zonulaire accrue.

Une augmentation de la perte des cellules endothéliales et de l'épaisseur cornéenne a été rapportée dans des cas de phacoémulsification prolongée^{41,42}. On pense que l'incidence de l'OMC est plus élevée lorsque la puissance de la phacoémulsification est supérieure à 1 joule⁴³. Cependant, von Jagow et ses collaborateurs⁴⁴ n'ont décrit aucune corrélation entre l'OMC et les paramètres de phacoémulsification. Des études cliniques suggèrent que divers facteurs contribuent à la perte de cellules endothéliales et à l'OMC. Il est logique que la réduction de la durée et de l'énergie de phacoémulsification puisse réduire les complications intraoculaires. Cette réduction de l'énergie peut être avantageuse pour les patients présentant un risque élevé de décompensation cornéenne, tels que ceux présentant une chambre antérieure peu profonde, une cataracte dense, une dystrophie de Fuch, une greffe antérieure de cornée ou ceux dont la fonction de l'endothélium cornéen est marginale. D'autres études sur la chirurgie de la cataracte au laser confirmeront la signification d'une réduction de l'énergie de phacoémulsification.

Les lasers femtosecondes : mécanismes d'action

Le laser femtoseconde utilisé dans les applications ophtalmologiques utilise la longueur d'onde de la lumière dans le proche infrarouge (1030 nm) à l'instar du laser Nd:YAG (*neodymium : yttrium aluminium garnet*), hormis le fait que la durée de la pulsation est plus courte. Cela permet un mode différent d'interaction du laser avec les tissus appelé le claquage optique induit par laser, ce qui signifie que le laser produit des ondes de choc plus courtes et des bulles de cavitation affectant les volumes tissulaires dans une proportion 10³ fois moins élevée qu'avec un laser picoseconde tel que le laser Nd:YAG. Les pulsations laser ultracourtes utilisées avec

Figure 7 : Les lasers femtosecondes peuvent fragmenter le noyau, réduisant ainsi significativement l'énergie de phacoémulsification



les lasers femtosecondes peuvent détruire une très petite fraction de tissu. Aucune chaleur n'est produite durant le processus d'ablation. Le laser femtoseconde peut être réglé avec une grande précision à différentes profondeurs, en utilisant un système de guidage pour créer des incisions cornéennes, une kératotomie astigmatique, une capsulotomie et une fragmentation nucléaire. L'énergie laser focalisée augmente à un niveau de production de plasma. L'expansion du plasma entraîne une onde de choc, la cavitation et la formation d'une bulle. La bulle gonfle ensuite et éclate, entraînant la séparation du tissu.

Étant donné que les lasers femtosecondes fonctionnent à une longueur d'onde qui se situe pratiquement dans l'infrarouge, ils ne sont pas absorbés par les tissus optiquement clairs. Cela permet ainsi d'utiliser le laser femtoseconde sur le segment antérieur de l'œil, étant donné que la chambre antérieure fournit une voie où le tissu est optiquement clair. Cette longueur d'onde de la lumière n'est pas absorbée par la cornée. Les ondes de choc produites par la photodisruption par laser femtoseconde se dissipent à environ 30 µm du tissu ciblé, protégeant ainsi la capsule postérieure et l'endothélium cornéen⁴⁵. L'effet chirurgical est obtenu par la génération de milliers de pulsations laser individuelles par seconde pour séparer le tissu ou réaliser des incisions continues.

L'imagerie optique est essentielle dans le développement du laser femtoseconde pour la chirurgie de la cataracte. Il y a une importante différence dans les exigences des lasers cornéens comparativement aux lasers qui ciblent les tissus aussi profonds que 8 mm de la surface cornéenne (Tableau 1)⁴⁵. La position exacte de la zone cible est essentielle. Un niveau plus élevé d'énergie laser est nécessaire pour la fragmentation du cristallin comparativement aux incisions dans la cornée. La puissance moyenne du moteur d'un laser destiné à la chirurgie de la cataracte est plusieurs fois supérieure à celle du moteur d'un laser destiné à la chirurgie de la cornée.

Technologie du laser femtoseconde

Les lasers femtosecondes ont été utilisés avec succès dans la création de volets LASIK. La mise au point d'une technique de chirurgie de la cataracte au laser utilisant une segmentation tridimensionnelle du cristallin nécessite différents paramètres laser. Étant donné la profondeur focale importante nécessaire, le diamètre du rayon doit être supérieur comparativement à celui requis pour la chirurgie de la cornée. Cela nécessite une énergie seuil plus élevée pour la fragmentation du cristallin.

Quatre lasers femtosecondes ont été développés. Ces systèmes incluent le laser LenSx® (Alcon, Fort Worth, Texas), Catalys (OptiMedica Corporation, Santa Clara, Californie), le laser LENSAR™ (LENSAR Inc., Orlando, Floride) et VICTUS™ (Bausch + Lomb et Technolas Perfect Vision GmbH). Chaque système est conçu selon une technologie performante et il existe des différences minimes entre ces appareils. L'examen des différences dans la technologie de ces lasers femtosecondes dépasserait la portée du présent article.

Technique

La chirurgie de la cataracte au laser nécessite la dilatation de la pupille et une anesthésie topique, suivies de l'aplanation de la cornée par un système d'aplanation (docking) qui distribue uniformément la pression sur la cornée. Le système d'aplanation altère l'anatomie du segment antérieur et augmente la PIO de façon minime. Friedman et ses collaborateurs²⁹ ont rapporté avec le système Catalys, qui est doté d'une interface optique liquide, que l'augmentation moyenne de la PIO est de 10 mm Hg et évite les plis cornéens. Avec les autres appareils laser, on n'a pas rapporté une augmentation de la

| Tableau 1 : Comparaison des technologies par laser femtoseconde pour la cornée et pour la cataracte | | |
|--|---|---|
| | Lasers pour cornée | Lasers pour la cataracte |
| Longueur d'onde | 1030–1060 nm | 1030–1060 nm |
| Durée des impulsions | 200–800 fs | 600–800 fs |
| Énergie des impulsions | ≤1 µJ | 8–15 µJ |
| Taux de répétition | 60–250 kHz | 33–80 kHz |
| Plage de balayage | 10 mm de diamètre 1 mm de profondeur | 12 mm de diamètre 8 mm de profondeur |
| Visualisation en 3D | Non | Oui |

Reproduit avec la permission de Juhasz T. Femtosecond laser technologies for anterior segment surgery. Dans : Slade S, réd. *Laser Refractive Cataract Surgery: Science, Medicine, and Industry*. Copyright © Bryn Mawr Communications LLC. 2012.

PIO. Lorsque le dispositif d'aplanation est descendu, on visualise le segment antérieur.

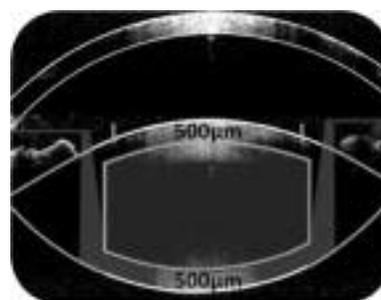
La précision du système d'imagerie TCO est essentielle pour déterminer les limites, qui incluent l'iris et la surface postérieure du cristallin (Figure 8). La visualisation de la surface postérieure du cristallin est essentielle pour éviter la rupture de la capsule postérieure. Le chirurgien peut programmer l'emplacement des incisions cornéennes pour la plaie, la paracentèse et des incisions relaxantes limbiques. La capsulotomie antérieure assistée par laser est réalisée avant la fragmentation du cristallin, car des bulles de gaz se forment pendant la fragmentation du cristallin. Cela pourrait entraîner l'étirement et le déplacement de la capsule du cristallin de son emplacement original, et le schéma de fragmentation pourrait ne pas couvrir la capsule. Après l'étape de la capsulotomie, les schémas de fragmentation du cristallin sont appliqués en commençant par la partie postérieure du cristallin et en se déplaçant antérieurement. La formation de gaz durant la fragmentation du cristallin peut aider à séparer les lamelles horizontales du cristallin, ce qui peut favoriser le ramollissement du noyau. L'expansion du cristallin due à la formation de gaz peut occasionnellement entraîner le soulèvement du disque de capsulotomie.

Les incisions cornéennes sont réalisées à la dernière étape avant d'amener le patient en salle d'opérations. Dans la salle d'opérations, la plaie et la paracentèse cornéennes sont ouvertes. La capsule antérieure est extraite à l'aide d'une pince en effectuant un mouvement circulaire comme pour un capsulorhexis. Cette technique est plus sûre que celle consistant à tirer la capsule à l'extérieur au cas où le disque central soit encore attaché au sac capsulaire. On procède ensuite à l'extraction de la cataracte en utilisant un niveau d'énergie ultrasonique significativement moins élevé.

Sélection des patients

La chirurgie de la cataracte au laser femtoseconde est relativement contre-indiquée chez les patients chez qui l'application initiale du faisceau peut être difficile, incluant ceux dont l'orbite est profonde, qui présentent de petites fissures ou qui souffrent de tremblements importants. Étant donné que la collaboration du patient est nécessaire, les patients atteints de démence peuvent ne pas être de bons candidats. Le risque d'augmentation de la PIO causée par le système d'aplanation, qui n'a pas été quantifié avec tous les systèmes, peut exclure l'utilisation de cette méthode pour le glaucome et les neuropathies optiques. Les patients dont la dilatation de la pupille est médiocre, comme ceux sous agents miotiques à long terme ou présentant des synéchies postérieures, ne sont également pas de bons candidats. Des images de haute qualité

Figure 8 : Visualisation en tomographie par cohérence optique du segment antérieur montrant la cornée, la chambre antérieure, l'iris et le cristallin. La fragmentation du noyau est prévue pour une zone sûre d'une distance de 500 µm des capsules antérieure et postérieure.



de la capsule postérieure du cristallin sont essentielles pour une fragmentation sûre. Les patients dont les yeux présentent une dialyse zonulaire ou une phacodonèse peuvent ne pas être des candidats idéaux en raison de l'instabilité du cristallin pendant l'application du faisceau.

Il est peu probable qu'une légère opacification du cristallin prévienne l'utilisation du laser dans la chirurgie de la cataracte. Le faisceau du laser femtoseconde ayant une longueur d'onde dans le proche infrarouge de 1030 nm est beaucoup moins dispersé que la lumière visible (400 à 700 nm). Une cicatrice cornéenne centrale importante pourrait être un facteur limitant.

Éducation et formation

Les chirurgiens sont préoccupés de passer de la phacémulsification conventionnelle qui leur est plus familière à la chirurgie de la cataracte au laser. La courbe d'apprentissage pour la chirurgie de la cataracte au laser rendra cette intervention, du moins initialement, plus lente et plus difficile. Bien que le chirurgien doive investir du temps dans l'utilisation du laser femtoseconde, il gagnera du temps dans la salle d'opérations ayant déjà réalisé nombre des étapes difficiles avec le laser. Les chirurgiens qui ont adopté cette technologie ont fait la transition parce qu'elle offre potentiellement une plus grande innocuité, une meilleure reproductibilité et une précision supérieure dans la réalisation des incisions cornéennes, de la capsulotomie et de l'extraction du noyau.

À l'avenir, les ophtalmologistes devront continuer à apprendre les techniques manuelles pour les cas difficiles tels que les cataractes blanches intumescents, les déchirures zonulaires, les perforations du globe ayant causé une cataracte traumatique et l'ectopie du cristallin.

Complications

Lorsqu'on utilise une nouvelle technologie, il peut apparaître des complications qui doivent être prises en charge. Des ruptures capsulaires dues à la succion peuvent survenir à tous les stades de l'intervention au laser, incluant la capsulotomie, la fragmentation du noyau, les incisions cornéennes ou les incisions relaxantes limbiques. Dans ce cas, l'intervention peut être arrêtée et poursuivie manuellement. Une saillie sur la capsule antérieure nécessite une prise en charge chirurgicale soignée afin d'empêcher qu'elle ne s'étende et se transforme en déchirure capsulaire antérieure. L'incidence des capsulotomies où le lambeau capsulaire est complètement détaché a augmenté au cours de ces dernières années grâce à une amélioration du système d'aplanation, aux différents réglages de puissance et à l'amélioration de la séparation des couches²⁸.

Un syndrome de blocage capsulaire est une complication rare spécifique à la chirurgie de la cataracte au laser. Cette complication peut être éliminée par une technique appropriée. On suppose que le gaz est emprisonné dans le cristallin cristallisé pendant la fragmentation, ce qui augmente la pression intracapsulaire. L'hydrodissection subséquente peut également augmenter la pression dans le sac capsulaire entraînant une rupture de la capsule postérieure. On pense que les cataractes de densité croissante sont plus susceptibles d'être associées à l'emprisonnement de gaz dans le sac capsulaire, augmentant le risque de cette complication. L'hydrodissection ne doit être réalisée qu'après la décompression adéquate de la chambre antérieure. L'hydrodissection devrait être relativement modérée en termes de volume de liquide délivré et de force.

La technique de l'application du faisceau est essentielle pour obtenir d'excellents résultats chirurgicaux. Une mauvaise technique peut entraîner l'inclinaison de la capsule et de la lentille. Une technique d'aplanation appropriée entraîne une capsulotomie et une fragmentation nucléaire de qualité plus certaine. Une mauvaise technique d'aplanation peut entraîner des complications, qui peuvent entraîner une capsulotomie incomplète, des saillies capsulaires et la formation d'une déchirure capsulaire antérieure secondaire. Il est important pour le chirurgien de ne procéder à l'intervention que lorsque l'aplanation est satisfaisante.

Les petites hémorragies pétéchiales et la vasodilatation de la conjonctive en forme de cercle représentent une complication postopératoire fréquente due à l'anneau de succion qui est appliqué durant la procédure d'aplanation. Ces hémorragies sous-conjonctivales sont similaires à celles créées par le LASIK pendant la création du volet et disparaissent généralement au bout de 7 à 14 jours.

L'OMC est la cause la plus fréquente de la baisse de vision après une chirurgie de la cataracte conventionnelle, 1 à 2,5 % des patients présentant une perte de vision et environ 20 % présentant une épaisseur maculaire accrue détectable en TCO⁴⁶. Nagy et ses collaborateurs⁴⁷ ont évalué les régions maculaires centrale, intérieure et extérieure de 20 yeux traités au laser comparativement à 20 yeux qui ont subi une intervention manuelle. L'épaisseur maculaire de l'anneau rétinien interne était supérieure dans le groupe ayant subi une intervention manuelle de 21,68 µm à un mois et de 17,56 µm à 4 mois. On n'a noté aucune différence significative entre l'épaisseur maculaire des zones centrale et extérieure. La technologie du laser femtoseconde peut être particulièrement avantageuse pour les patients qui présentent un risque plus élevé de développer un OMC postopératoire, tels que ceux atteints d'uvéïte ou de rétinopathie diabétique.

La perte de cellules endothéliales cornéennes, associée à la phacoémulsification conventionnelle, peut occasionnellement entraîner une kératopathie bulleuse. La réduction de l'énergie ultrasonique avec le laser peut entraîner un éclaircissement postopératoire plus important de la cornée et une réduction potentielle de la perte des cellules endothéliales. Knorz⁴⁸ a rapporté une diminution de 25 % de la perte des cellules endothéliales dans les cas opérés au laser comparativement aux cas opérés manuellement un mois après l'intervention.

Le taux de rupture de la capsule postérieure et de perte d'humeur vitrée varie de 2 à 6 % de tous les cas ayant subi une phacoémulsification standard²¹. La chirurgie de la cataracte par laser femtoseconde avec la réalisation d'une capsulotomie précise, la réduction de l'énergie de phacoémulsification et la diminution des manœuvres intraoculaires, en particulier lorsque le noyau du cristallin est dense, peuvent réduire l'incidence de la rupture de la capsule postérieure et de la perte d'humeur vitrée.

Résumé

Nous entamons une nouvelle ère dans la chirurgie de la cataracte qui peut être similaire au passage de l'extraction extracapsulaire de la cataracte (EECC) à la phacoémulsification dans les années 1980 et 1990. Il est probable que les lasers femtosecondes révolutionneront la technique de la chirurgie de la cataracte. La méthode a donné d'excellents résultats pour les incisions cornéennes auto-étanches précises, les incisions arciformes pour réduire l'astigmatisme, le capsulorhexis extrêmement circulaire, résistant et bien positionné et l'extraction de la cataracte plus sûre et techniquement moins difficile avec l'élimination presque complète de la phacoémulsification. Une amélioration de la position finale prédite de la lentille intraoculaire peut significativement améliorer le résultat réfractif. Une capsulotomie précise peut réduire l'inclinaison ou le décentrage de l'implant et par conséquent, elle peut réduire les aberrations de haut degré. La technologie du laser permet aux ophtalmologistes de satisfaire les exigences des patients atteints de cataracte en obtenant les mêmes excellents résultats qu'avec la correction de la vision par le laser.

La chirurgie doit être davantage reproductible d'un patient à un autre et d'un chirurgien à un autre. Il est probable qu'à l'avenir, de nouvelles interventions, de nouvelles techniques et de nouveaux implants intraoculaires seront développés grâce aux capacités du laser femtoseconde. Il est également possible qu'un appareil mixte incluant un laser femtoseconde et un phacoémulsificateur soit mis au point.

Il existe une courbe d'apprentissage pour la chirurgie de la cataracte par laser, et initialement ce sera une intervention techniquement plus difficile et plus longue. Malgré ces facteurs, elle offre aux patients des avantages importants. Bien que cette intervention soit plus coûteuse pour chaque patient, elle pourrait s'avérer rentable pour la société. L'utilisation de la chirurgie de la cataracte par le laser dans la pratique clinique ne devrait pas être considérée comme un pas vers la chirurgie « robotique » de la cataracte, mais plutôt comme un effort pour rehausser les normes de la chirurgie à un niveau plus élevé d'innocuité et de résultats cliniques. La technologie continue à évoluer, mais dans son état actuel, elle offre des avantages cliniques aux patients.

Le D^r Stein est directeur médical du Bochner Eye Institute, spécialiste de la chirurgie de la cornée et de la chirurgie réfractive à l'hôpital Mount Sinai, et professeur agrégé au Département d'Ophtalmologie et des Sciences de la Vision de l'Université de Toronto, Toronto, Ontario. Madame Stein a obtenu un B.Sc. avec spécialisation en médecine de la Bute Medical School à l'Université de St. Andrews en Écosse au Royaume-Uni et termine son diplôme en médecine à l'Université de Manchester au Royaume-Uni.

Références

1. Market Scope. 2009 Annual Cataract Surgeon Survey. St Louis (MO): Market Scope LLC; 2009.
2. National Coalition for Vision Health. Disponible à : http://www.vision-health.ca/data/htm_2008.
3. He L, Sheehy K, Culbertson W. Femtosecond laser-assisted cataract surgery. *Curr Opin Ophthalmol*. 2011;22(1):43-52.
4. Bhuyan MH, Huq DN, Sharmec TH. Surgically induced astigmatism of microaxial phacoemulsification using 2.2 mm incisions. *Medicine Today*. 2011;23(1):27-29.
5. Ratkay-Trab I, Juhasz T, Horvath C, et coll. Ultra-short pulse (femtosecond) laser surgery: initial use in LASIK flap creation. *Ophthalmol Clin North Am*. 2001;14(2):347-355.
6. Kezirian GM, Stonecipher KG. Comparison of the IntraLase femtosecond laser and mechanical keratomes for laser in situ keratomileusis. *J Cataract Refract Surg*. 2004;30(4):804-811.

7. Sutton G, Hodge C. Accuracy and precision of LASIK flap thickness using the IntraLase femtosecond laser in 1000 consecutive cases. *J Refract Surg*. 2008;24(8):802-806.
8. Tanna M, Schallhorn SC, Hettinger KA. Femtosecond laser versus mechanical microkeratome: a retrospective comparison of visual outcomes at 3 months. *J Refract Surg*. 2009;25(7 suppl):S668-671.
9. Cumming JS, Colvard DM, Dell SJ, et coll. Clinical evaluation of the Crystallens AT-45 accommodating intraocular lens: results of the US Food and Drug Administration clinical trial. *J Cataract Refract Surg*. 2006;32(5):812-825.
10. Sugar A. Ultrafast (femtosecond) laser refractive surgery. *Curr Opin Ophthalmol*. 2002;13(4):246-249.
11. Ong-Tong L, Bell A. Practice patterns of Canadian ophthalmological society members in cataract surgery – 2009 survey. *Can J Ophthalmol*. 2010;45(2):1211-1214.
12. Taban M, Behrens A, Newcomb RL, et coll. Acute endophthalmitis following cataract surgery: a systematic review of the literature. *Arch Ophthalmol*. 2005;123(5):613-620.
13. Masket S, Sarayba M, Ignacio T, Fram N. Femtosecond laser-assisted cataract incisions: architectural stability and reproducibility. *J Cataract Refract Surg*. 2010;36(6):1048-1049.
14. Xia Y, Liu X, Luo L, et coll. Early changes in clear cornea incision after Phacoemulsification: An anterior segment optical coherence tomography study. *Acta Ophthalmol*. 2009;87(7):764-768.
15. Palanker DV, Blumenkranz MS, Andersen D, et coll. Femtosecond laser assisted cataract surgery with integrated optical coherence tomography. *Sci Transl Med*. 2010;2(58):58ra85.
16. Steinert R, Nagy Z. Femtosecond lasers and corneal incisions. *Ophthalmology Times*. 15 septembre 2011.
17. Hill W. Expected effects of surgically induced astigmatism on AcrySof toric intraocular lens results. *J Cataract Refract Surg*. 2008;34(3):364-367.
18. Kumar NL, Kaierman I, Shehadeh-Mashor R, et coll. IntraLase-enabled astigmatic keratotomy for post-keratoplasty astigmatism: on axis vector analysis. *Ophthalmology*. 2010;117(6):1228-1235.
19. Zaldivar R. Femtosecond laser keratoplasty: state of the art for keratoplasty and astigmatic incisions. Présenté à la réunion annuelle de l'American Society of Cataract and Refractive Surgery. San Diego (CA) : 27 mars 2011.
20. Marques FF, Marques DM, Osher RH, Osher JM. Phakic anterior capsular tears during cataract surgery. *J Cataract Refract Surg*. 2010;36(6):1048-1049.
21. Ng DT, Rowe NA, Francis IC, et coll. Intraoperative complications of 1000 phacoemulsification procedures: a prospective study. *J Cataract Refract Surg*. 1998;24(10):1390-1395.
22. Unal M, Yucel I, Sarici A, et coll. Phacemulsification with topical anesthesia: resident experience. *J Cataract Refract Surg*. 2006;32(8):1361-1365.
23. Mihaltz K, Knorz MC, Alio JL, et coll. Internal aberrations and optical quality after femtosecond laser anterior capsulotomy in cataract surgery. *J Refract Surg*. 2011;27:711-716.
24. Hatch WV, Cernal G, Wong D, et coll. Risk factors for acute endophthalmitis after cataract surgery: a population based study. *Ophthalmology*. 2009;116(3):425-430.
25. Bhagwandien AC, Cheng YY, Wolfs RC, Van Meurs JC, Luyten GP. Relationship between retinal detachment and biometry in 4262 cataractous eyes. *Ophthalmology*. 2006;113(4):643-649.
26. Nagy Z, Takacs A, Filkorn T, Sarayba M. Initial clinical evaluation of an intraocular femtosecond laser in cataract surgery. *J Refract Surg*. 2009;25(12):1053-1060.
27. Kranitz K, Takacs AI, Mihaltz K, Kovacs I, Knorz MC, Nagy ZZ. Femtosecond laser capsulotomy and manual continuous curvilinear capsulorhexis parameters and their effects on intraocular lens centration. *J Refract Surg*. 2011;27(8):558-563.
28. Tackman RN, Kuri JV, Nichamin LD, Edwards K. Anterior capsulotomy with an ultrashort-pulse laser. *J Cataract Refract Surg*. 2011;37(5):819-824.
29. Friedman NJ, Palanker DV, Schuele G, et coll. Femtosecond laser capsulotomy. *J Cataract Refract Surg*. 2011;37(7):1189-1198.
30. Cekic O, Batman C. The relationship between capsulorhexis size and anterior chamber depth relation. *Ophthalmic Surg Lasers*. 1999;30(3):185-190.
31. Hill WE. Does the capsulorhexis affect refractive outcomes? Dans : Chang DE, éd. *Cataract Surgery Today*. Wayne (PA): Bryn Mawr Communications LLC; 2009: 78.
32. Nagy ZZ, Kránitz K, Takacs AI, Mihaltz K, Kovacs I, Knorz MC. Comparison of intraocular lens decentration parameters after femtosecond and manual capsulotomies. *J Refract Surg*. 2011;27(8):564-569.
33. Norby S. Sources of error in intraocular lens power calculation. *J Cataract Refract Surg*. 2008;34(8):368-376.
34. Sanders Dr, Higginbotham, Opatowsky IE, Confino J. Hyperopic shift in refraction associated with implantation of the single-piece Collamer intraocular lens. *J Cataract Refract Surg*. 2006;32(12):2110-2112.
35. Lakshminarayanan V, Enoch JM, Raasch T, Crawford B, Nygaard RW. Refractive changes induced by intraocular lens tilt and longitudinal displacement. *Arch Ophthalmol*. 1986;104(1):90-92.
36. Erickson P. Effects of intraocular lens position errors on postoperative refractive error. *J Cataract Refract Surg*. 1990;16(3):305-311.
37. Wolffsohn JS, Buckhurst PJ. Objective analysis of toric intraocular lens rotation and centration. *K Cataract Refract Surg*. 2010;36(5):778-782.
38. Walkow T, Anders N, Pham DT, Wollensak J. Causes of severe decentration and subluxation of intraocular lenses. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 1998;236(1):9-12.
39. McLeod SD, Vargas LG, Portney V, Ting A. Synchrony dual-optic accommodating intraocular lens. Part 1: Optical and biomechanical principles and design considerations. *J Cataract Refract Surg*. 2007;33(1):37-46.
40. Dick HB. Femtosecond laser-assisted refractive cataract surgery using the Catalys System: first clinical results. Présenté à la 16^e ESCRS Winter Meeting. Prague (République tchèque) : 2 mars 2012.
41. Fishkind W, Bakewell B, Donnenfeld ED, Rose AD, Watkins LA, Olson RJ. Comparative clinical trial of ultrasound Phacoemulsification with and without the White Star system. *J Cataract Refract Surg*. 2006;32(1):45-49.
42. Reuschel A, Bogatsch H, Barth T, Wiedemann R. Comparison of endothelial changes and power settings between torsional and longitudinal Phacoemulsification. *J Cataract Refract Surg*. 2010;36(11):1855-1861.
43. Ferrari MT, Cavallo M, Durante G, Mininno L, Cardascia N. Macular edema induced by Phacoemulsification. *Doc Ophthalmol*. 1999;97(3-4):325-327.
44. Von Jagow B, Ohrloff C, Kohnen T. Macular thickness after uneventful cataract surgery determined by optical coherence tomography. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2007;245(12):1765-1771.
45. Juhasz T, Kastis GA, Suarez C, Bor Z, Bron WE. Time-resolved observations of shock waves and cavitation bubbles generated by femtosecond laser pulses in corneal tissue and water. *Lasers Surg Med*. 1996;19(1):23-31.
46. Flach AJ. The incidence, pathogenesis, and treatment of cystoid macular edema following cataract surgery. *Trans Am Ophthalmol Soc*. 1998;96:557-634.
47. Nagy Z, Mihaltz K, Krinitz K, et coll. Comparison of conventional and femtosecond laser assisted phacoemulsification cataract surgery on the macula. Présenté à la 15^e ESCRS Winter Meeting. Istanbul (Turquie) : 19 février 2011.
48. Knorz MC. Reduction in mean cumulative dissipated energy following lens liquefaction with an intraocular femtosecond laser. Affiche présentée à la réunion annuelle de l'American Academy of Ophthalmology. Orlando (FL) : 22 à 25 octobre 2011.

Le Dr Stein et Madame Stein ont déclaré qu'ils n'ont aucune divulgation à faire en relation avec le contenu de cette publication.

Toutes les images sont présentées avec la permission d'OptiMedica®.

La version française a été révisée par le Professeur Pierre Lachapelle, Montréal.

Les avis de changement d'adresse et les demandes d'abonnement pour *Ophthalmologie – Conférences Scientifiques* doivent être envoyés par la poste à l'adresse C.P. 310, Succursale H, Montréal (Québec) H3G 2K8 ou par fax au (514) 932-5114 ou par courrier électronique à l'adresse info@snellmedical.com. Veuillez vous référer au bulletin *Ophthalmologie – Conférences Scientifiques* dans votre correspondance. Les envois non distribuables doivent être envoyés à l'adresse ci-dessus. Poste-publications #40032303

La publication d'*Ophthalmologie – Conférences scientifiques* est rendue possible grâce au soutien éducatif de
Novartis Pharmaceuticals Canada Inc. et Alcon Canada

© 2013 Département d'ophtalmologie et des sciences de la vision, Faculté de médecine, Université de Toronto, seul responsable du contenu de cette publication. Édition : SNELL Communication Médicale Inc. avec la collaboration du Département d'ophtalmologie et des sciences de la vision, Faculté de médecine, Université de Toronto. ^{MD}*Ophthalmologie – Conférences scientifiques* est une marque déposée de SNELL Communication Médicale Inc. Tous droits réservés. L'administration d'un traitement thérapeutique décrit ou mentionné dans *Ophthalmologie – Conférences scientifiques* doit toujours être conforme aux renseignements d'ordonnance approuvés au Canada. SNELL Communication Médicale se consacre à l'avancement de l'éducation médicale continue de niveau supérieur.