



Par le docteur Jean-Pierre Lagacé  
optométriste, M.Sc.

## Cornées artificielles • le passé, le présent et le futur • Partie 1

Les maladies de la cornée sont l'une des principales causes de cécité, avec environ 10 millions de patients ayant reçu un diagnostic de cécité cornéenne bilatérale dans le monde. La greffe de cornée est très réussie chez les patients à faible risque atteints de cécité cornéenne, mais échoue souvent chez ceux qui présentent des indications à haut risque telles que des troubles inflammatoires récurrents ou chroniques, des antécédents de glaucome et d'infections herpétiques, et ceux qui présentent une néovascularisation du lit hôte. De plus, le besoin de cornées de donneur dépasse largement l'offre, en particulier dans les pays défavorisés. Par conséquent, des cornées artificielles et biomimétiques ont été étudiées chez des patients présentant des indications entraînant un échec de la kératoplastie<sup>1</sup>.

Deux kératoprothèses longue durée avec des indications différentes, les **kératoprothèses de Boston de type 1 et de type 2 et les ostéo-odonto-kératoprothèses**, ont été adaptées pour réduire les complications apparues au fil du temps<sup>2,3,4</sup>. Cependant, les deux utilisent soit du tissu autologue, soit une allogreffe de cornée pour augmenter la biointégration. Pour s'éloigner du besoin de matériel donneur, des kératoprothèses synthétiques avec des jupes souples ont été introduites pour augmenter la biointégration entre le dispositif et les tissus natifs.

L'**AlphaCorMC**, un hydrogel à polymère synthétique (PHEMA), a résolu certaines complications des versions précédentes des kératoprothèses, mais a entraîné une fusion stromale et un dépôt optique. Des efforts sont déployés pour créer des kératoprothèses synthétiques qui imitent les cornées natives en incluant des biomolécules qui favorisent une meilleure biointégration de l'implant tout en réduisant la fusion stromale et le dépôt optique. Le domaine continue d'évoluer vers des approches de bio-ingénierie plus avancées pour former des cornées de remplacement.



Certaines biomolécules telles que le collagène sont étudiées pour créer des substituts cornéens, qui peuvent être utilisés comme base pour les bio-encre dans la **bio-impression cornéenne 3D**.

Alternativement, les **cornées décellularisées** provenant de sources mammifères ont montré un potentiel dans la reproduction de la composition cornéenne et de l'architecture des fibrilles.

Les **maladies cornéennes** sont l'une des principales causes de cécité, avec environ 10 millions de patients ayant reçu un diagnostic de cécité cornéenne bilatérale dans le monde<sup>5</sup>. De plus, la cécité cornéenne touche proportionnellement plus d'enfants et de jeunes adultes que toute autre maladie cécitante liée à l'âge telle que la dégénérescence maculaire<sup>6</sup>. Par conséquent, la greffe de cornée, ou kératoplastie, est la greffe la plus courante dans le monde, avec ~185 000 greffes de cornée effectuées chaque année dans 116 pays. Malheureusement, environ 1 patient sur 70, soit 12,7 millions de personnes, est toujours en attente d'une greffe de cornée, étant donné que la demande de matériel de donneur dépasse de loin l'offre. Cela souligne la nécessité d'une solution innovante pour compléter l'approvisionnement en tissus transplantables ou implantables pour le remplacement de la cornée, qu'il s'agisse de cornées biomimétiques ou artificielles<sup>7</sup>.

Les **cornées artificielles** peuvent être définies comme des constructions fabriquées en laboratoire, avec ou sans l'aide de matériel biologique, mais généralement constituées de matériaux fabriqués par l'homme, conçus principalement pour remplacer la fonction de la cornée humaine native. En règle générale, les kératoprothèses entrent dans cette catégorie. Les avantages des cornées artificielles ont tendance à l'emporter sur les inconvénients, en particulier dans les cas difficiles et à haut risque où la greffe traditionnelle de cornée de donneur aurait un mauvais résultat<sup>8</sup>.

La production de **kératoprothèses** (ou KPro) est stricte afin de garantir des produits non toxiques, stériles et d'une grande stabilité. De plus, les KPro surmontent les difficultés socioculturelles et politiques tout en empêchant l'invasion virale et le rejet immunitaire. Ces KPro sont des constructions spécialisées avec un gonflement limité, ce qui entraîne une accumulation d'eau limitée et moins de diffusion de la lumière de la cornée. L'amélioration de la conception de KPro est possible grâce à l'évolution constante des technologies des biomatériaux, qui permettent la fonctionnalisation à l'aide de matériaux synthétiques ou de techniques de revêtement de surface. De plus, des systèmes de réservoir tels que des microparticules ou des nanoparticules peuvent être incorporés dans ces systèmes pour faciliter la biointégration et moduler l'inflammation.

## La kératoplastie et ses limites

Au fil des ans, la kératoplastie s'est avérée l'une des procédures de transplantation les plus réussies. Pour les patients à faible risque, la greffe de cornée est une solution attrayante avec des taux de réussite élevés : la survie des premières greffes est de ~90 % à 5 ans<sup>9, 10</sup>. Cependant, ces taux de réussite diminuent régulièrement au fil du temps<sup>11</sup>. Anshu et coll. ont étudié plus d'un millier de kératoplasties pénétrantes réalisées sur une période de 20 ans et ont constaté que les greffes de cornée ne restaient que chez 55,4 % des patients à 10 ans, 52 % à 15 ans et 44 % à 20 ans après la chirurgie<sup>12</sup>.

De même, l'Australian Corneal Graft Registry (ACGR) a indiqué qu'après 15 ans, les taux de survie des greffes de cornée étaient tombés à 46 % pour les greffes de pleine épaisseur et à 41 % pour les greffes lamellaires<sup>13</sup>.

Il a été prouvé que la kératoplastie fonctionne avec plusieurs affections, par exemple le kératocône, les opacités cornéennes et la kératopathie bulleuse. Cependant, le taux de réussite de la kératoplastie est faible chez ceux qui présentent des troubles inflammatoires récurrents ou chroniques tels que des états de maladie sicca, des antécédents de glaucome et d'infections herpétiques, et ceux qui présentent une néovascularisation du lit hôte<sup>6, 14, 15</sup>. De plus, ceux qui ont échoué à leur première kératoplastie ont un risque élevé d'échec de la greffe, environ 50 % des greffes échouant à 5 ans<sup>9, 16</sup>. Compte tenu de cela, les chirurgiens sont susceptibles de ne procéder à des greffes que chez les patients ayant de fortes chances de survie au greffon et d'amélioration de l'acuité visuelle<sup>6</sup>.

Le besoin de tissus de donneur de cornée est particulièrement répandu dans les pays en développement. Il est souvent difficile de répondre à la logistique requise autour de la transplantation de cornée impliquant le traitement, le transport et le stockage dans les pays en développement en raison d'un manque d'installations. De plus, les tissus biologiques peuvent transmettre certaines infections telles que la tuberculose, l'hépatite C et les infections vénériennes. Bien que les cornées artificielles, ou KPro, puissent potentiellement résoudre certaines limites de la kératoplastie, à l'heure actuelle, les cornées artificielles ne sont pas considérées comme une alternative, mais plutôt comme un dernier recours. À l'heure actuelle, les cornées artificielles ne sont utilisées que dans la cécité cornéenne terminale associée à une maladie grave de la surface oculaire ou à la suite de plusieurs échecs de transplantation conventionnelle<sup>14</sup>. Cependant, les progrès de la technologie KPro pourraient conduire à ce que KPro soit choisi plutôt que la kératoplastie à l'avenir.

## Kératoprothèses rigides

Les kératoprothèses dures comprennent celles fabriquées en PMMA, car il s'agit d'un polymère rigide qui a besoin d'une jupe résiliente pour fonctionner comme un implant efficace (tableau 2). De plus, la liaison entre le PMMA et sa jupe doit résister à la pression intraoculaire et aux déformations causées par les mouvements de l'œil et le clignement des paupières. C'est pourquoi des jupes fabriquées à partir de matériaux plus souples comme le Dacron, le Téflon et le Proplast ont été extrudées<sup>30-32</sup>. Les modèles de KPro comme la KPro de Boston et l'ostéo-odonto-kératoprothèse (OOKP), basés sur des jupes plus dures, ont donné de bons résultats dans les yeux mouillés qui clignent et dans les yeux secs ou qui ne clignent pas, respectivement. Bien qu'il existe d'autres KPro dures, telles que la KPro de Fyodorov-Zuev, cette revue se concentrera sur la KPro de Boston et l'OOKP, car il existe une abondante littérature démontrant leur efficacité pour restaurer la vue, ainsi qu'une multitude d'études documentant les améliorations apportées à leur conception et/ou à la procédure chirurgicale afin d'améliorer les résultats cliniques.

## Kératoprothèse de Cardona

On préfère maintenant l'utilisation des autres prothèses.

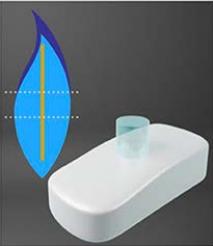
### Cardona keratoprosthesis

Keratoprosthesis	KPro materials	Schematic	References
Cardona keratoprosthesis	Teflon (skirt) PMMA (optic)		(29, 30)

### Kératoprothèse de Boston (type I & II)

Keratoprosthesis	KPro materials	Schematic	References
Boston keratoprosthesis	Titanium (skirt) PMMA (optic)		(33-35)

### Ostéo-odonto-kératoprothèse (OOKP)

Keratoprosthesis	KPro	Schematic	References
The osteo-odonto-keratoprosthesis (OOKP)	Autologous tooth root and alveolar bone PMMA (optic)		(36, 37)

Description de kératoprothèses dures commerciales avec des jupes à base de matériaux résilients et des cylindres optiques transparents composés de polyméthacrylate de méthyle (PMMA).

## Kératoprothèse de Boston

On sait que le modèle à bouton de col appelé Dohlman-Doane KPro était un prédécesseur de la KPro de Boston<sup>15</sup>. En 1992, la kératoprothèse de Boston de type I a été approuvée par la FDA. Depuis, elle est devenue la KPro la plus implantée avec plus de 15000 dispositifs implantés dans le monde. La KPro de Boston de type II est moins populaire que son homologue et est indiquée pour les patients souffrant de maladies oculaires graves, par exemple, le syndrome de Stevens-Johnson (SJS) et la pemphigoïde des muqueuses (MMP)<sup>16</sup>. La principale différence réside dans l'extension antérieure qui permet l'implantation à travers des paupières fermées chirurgicalement<sup>17</sup>.

### Conception

La KPro de Boston se compose d'une plaque frontale en PMMA dont le diamètre central est compris entre 3,5 et 3,7 mm et d'une plaque arrière en PMMA ou en titane.

Un anneau de verrouillage en titane a également été ajouté pour fixer la plaque arrière<sup>18</sup>. Le tissu cornéen du donneur sert de support et est placé entre la plaque avant et la plaque arrière. Il a été constaté que les cornées congelées et fraîches des donneurs pouvaient être utilisées pour la KPro de Boston de type I<sup>19</sup>. Il est donc important de considérer que ces KPro n'éliminent pas le besoin de cornées humaines de donneurs, mais fonctionnent en tandem avec des cornées de donneurs.

La conception la plus récente est sans fil; lors de l'assemblage, les plaques avant et arrière sont encliquetées et le tissu cornéen est pris en sandwich entre les deux, ce qui permet ensuite de suturer le dispositif à l'œil. Il est disponible dans les formats de type I et de type II. (Le format de type II est réservé aux cas de dessiccation sévère de la surface oculaire en phase terminale. Il est similaire au dispositif de type I, mais nécessite la réalisation d'une tarsorrhaphie permanente à travers laquelle un petit bouton antérieur du modèle de type II fait saillie).

Cette page wiki se concentre sur le dispositif de type I, le plus couramment utilisé. La KPro de Boston de type I est disponible soit avec une seule puissance plano pseudophaque standard, soit avec des puissances aphaques personnalisées (basées sur la longueur axiale) avec des plaques arrière de taille adulte (8,5 mm de diamètre) et pédiatrique (7,0 mm de diamètre)<sup>20</sup>.

Des progrès récents dans la conception ont contribué à l'amélioration des résultats. Tout d'abord, l'ajout de trous (actuellement 16 trous) dans la plaque arrière permet la diffusion de l'eau nutritive pour soutenir le stroma et les kératocytes du greffon du donneur<sup>21,22</sup>. Ensuite, en 2004, un anneau de verrouillage en titane a été ajouté pour empêcher le démontage intraoculaire du dispositif. Troisièmement, en 2007, la conception est passée d'un assemblage fileté (de type vis) à une conception non filetée qui simplifie l'assemblage et endommage moins l'endothélium du donneur<sup>23</sup>. [L'avancée la plus récente dans la conception est la mise en œuvre d'une plaque arrière en titane qui améliore probablement la biocompatibilité et la rétention, et peut réduire les complications telles que les membranes rétroprothétiques (MRP) et les fontes cornéennes stromales<sup>14, 15, 16</sup>. Juste avant la pandémie de COVID, la FDA a approuvé le nouveau modèle de kératoprothèse de Boston de type 1, le modèle Lucia. Cette conception permet de conférer un aspect esthétique plus naturel tout en augmentant le contact aqueux de la cornée en modifiant la forme de la plaque cornéenne en titane. Il est envisagé de limiter les disponibilités à deux modèles : plaque et pseudophaque<sup>24-27</sup>.

Une kératoprothèse ou une cornée artificielle est indiquée dans les cas de cécité cornéenne sévère où la greffe de cornée traditionnelle (greffe de cornée d'épaisseur totale ou partielle) a échoué ou présente un risque élevé d'échec<sup>28 = 1</sup>. La kératoprothèse la plus couramment utilisée est la kératoprothèse de Boston de type I (BK1). Cependant, il existe des situations où la chirurgie BK1 n'est pas appropriée pour traiter une maladie bilatérale grave de la surface oculaire, en particulier chez les patients présentant une absence de film lacrymal, de kératinisation de la surface oculaire et de formation de symblépharon<sup>29, 30 = 2, 3</sup>. La kératoprothèse de Boston de type II (BK2) est apparue comme une intervention pivot pour ces patients et peut être le dernier recours pour la restauration de la vision. Au cours des trois dernières décennies, des progrès substantiels dans la conception des dispositifs et la prise en charge postopératoire ont été observés, augmentant le potentiel de récupération significative de la vision dans cette cohorte de patients difficiles. Cet article s'efforce de fournir une vue d'ensemble de BK2, englobant son contexte, l'évolution du dispositif, les critères de sélection des patients, la méthodologie chirurgicale, les résultats cliniques et les complications potentielles.

Le BK2 se compose d'une plaque frontale, d'une optique en PMMA et d'une plaque arrière en titane, similaire au BK1, cependant, la tige optique est plus longue dans le BK2 pour permettre l'implantation à travers des paupières fermées chirurgicalement<sup>31 = 4</sup>. La conception de la kératoprothèse de Boston a subi de multiples itérations au cours des trois dernières décennies, avec des modifications visant à changer la façon dont la plaque avant est verrouillée sur la plaque arrière.

La conception originale «vissée» a été approuvée par la FDA en 1992, où la plaque avant a été vissée dans la plaque arrière en polyméthacrylate de méthyle (PMMA) avec la greffe cornéenne entre elles<sup>32 = 5</sup>. En 2003, la conception «vissée» a été remplacée par une conception «encliquetable» par l'ajout d'un anneau de verrouillage en titane en forme de C derrière la plaque arrière pour assembler le dispositif de manière à réduire au minimum les dommages à la cornée du donneur<sup>6</sup>. Une plaque arrière en titane est également devenue disponible en 2005, remplacement de la plaque arrière en PMMA<sup>34 = 7</sup>. La conception «snap-on» a été remplacée par une conception «click-on» en ajoutant une fente découpée au laser sur la plaque arrière en titane qui permet de verrouiller le dispositif en place et a été approuvée par la FDA en 2009<sup>30 = 3</sup>. Actuellement, le BK2 est proposé en tant que conception «click-on» avec plaque arrière en titane, et est utilisé depuis 2009<sup>3</sup>. Le BK2 est disponible en version pseudophaque et en version aphaque conçue pour les yeux avec une gamme de longueurs axiales.

La greffe de cornée traditionnelle chez les patients atteints d'une maladie grave de la surface oculaire est associée à un mauvais pronostic et à diverses complications, notamment des défauts épithéliaux persistants, une ulcération stromale, une fusion de la cornée et un échec de la greffe<sup>35 = 8</sup>. Le BK1 est utilisé chez les patients chez qui les greffes de cornée traditionnelles échouent, tels que les patients présentant des échecs répétés de greffe de cornée ou une néovascularisation étendue, mais l'implantation d'un dispositif BK1 nécessite une surface oculaire bien lubrifiée et une paupière normale. Le BK2 est particulièrement indiqué pour les patients atteints d'une maladie de la surface oculaire terminale avancée, caractérisée par une absence de film lacrymal, une kératinisation, une formation de symblépharons et un raccourcissement fornicéal<sup>30, 31, 35</sup>. Cela le distingue de son homologue, le BK1. Les indications de loin les plus courantes pour l'implantation de BK2 sont la pemphigoïde des muqueuses (MMP) et le syndrome de Stevens-Johnson/nécrolyse épidermique toxique (SJS/TEN).<sup>30 = 3, 31 = 4</sup>

D'autres indications comprennent une maladie cicatricielle oculaire sévère secondaire à une lésion chimique, le syndrome de Sjögren, une kératopathie neurotrophique sévère et le syndrome de Kearns-Sayre<sup>30, 31 = 3, 4</sup>. Avant l'implantation de BK2, il est important d'estimer soigneusement le potentiel visuel. Le glaucome avancé et la pathologie rétinienne doivent être exclus avant la chirurgie<sup>28</sup>. En général, la kératoprothèse de Boston est proposée aux patients dont l'acuité visuelle est inférieure à 20/400, et dans les cas où l'autre œil a une acuité visuelle de 20/40 ou moins<sup>35</sup>. De plus, notre approche consiste à proposer une BK2 à un seul œil à la fois, avec l'œil restant en réserve et traité pour toute autre pathologie, y compris le glaucome, afin de préserver le potentiel visuel<sup>28</sup>. En plus d'expliquer les risques et les avantages de la chirurgie, il est également important de conseiller le patient sur la nécessité d'une prise en charge postopératoire rigoureuse, d'un suivi étroit fréquent et d'autres changements de vie qu'il peut rencontrer après l'implantation de BK2. Enfin, une équipe multidisciplinaire composée de chirurgiens de la cornée, du vitréo-rétinien, du glaucome, de rhumatologues et d'anesthésistes est essentielle pour obtenir de bons résultats.

## Résultats

### Résultats internationaux avec la kératoprothèse de Boston de type I

**But :** déterminer les indications et les résultats de la chirurgie de kératoprothèse de Boston de type I (Massachusetts Eye and Ear Infirmary, Boston, MA) pratiquée à l'extérieur de l'Amérique du Nord et les comparer à celles obtenues aux États-Unis par le chirurgien qui a formé les chirurgiens internationaux<sup>36</sup>.

Cent quatre-vingt-quatorze patients (223 kératoprothèses réalisées dans 205 yeux) ayant reçu une kératoprothèse de Boston de type I dans 11 centres d'ophtalmologie en Arménie, en Inde, en Indonésie, au Népal, aux Philippines, en Russie et en Arabie saoudite entre le 1<sup>er</sup> mai 2006 et le 1<sup>er</sup> juillet 2011 (série internationale) et au Jules Stein Eye Institute entre le 1<sup>er</sup> mai 2004 et le 1<sup>er</sup> juillet 2011 (Université de Californie, Los Angeles [UCLA]).

Dans la série internationale, 113 kératoprothèses de Boston de type I ont été implantées dans 107 yeux de 100 patients. L'indication la plus courante de la chirurgie était l'échec de la greffe de cornée (n = 50; 44 %), suivi d'une lésion chimique (n = 30; 27 %). Bien que seulement 2 % des yeux aient eu une acuité visuelle de loin corrigée (AVLC) préopératoire de 20/20 à 20/200, 70 %, 68 % et 59 % des yeux avaient une AVLC postopératoire de 20/20 à 20/200 à 6 mois, 1 an et 2 ans après l'opération, respectivement. Quatre-vingt-onze des 113 kératoprothèses implantées (80,5 %) ont été retenues à un suivi moyen de 14,2 mois, soit un taux d'échec de rétention de 22 pour 134,6 années-yeux (0,163/année-œil). Les complications postopératoires les plus fréquentes étaient la formation de membranes rétroprothétiques (27 %) et la nécrose cornéenne stérile (18 %). La seule complication postopératoire plus fréquente dans la série internationale que dans la série UCLA était l'endophtalmie infectieuse, qui s'est développée dans 9 % des yeux.

### Résultats de la réimplantation de la kératoprothèse de Boston de type I : résultats d'une étude multicentrique

Étudier les résultats visuels et anatomiques de la réimplantation de la kératoprothèse de Boston (KPro) de type I dans le cadre d'une analyse de sous-groupe d'une étude de cohorte prospective multicentrique<sup>37</sup>.

Sur 303 yeux ayant subi une implantation de KPro entre janvier 2003 et juillet 2008 par 1 des 19 chirurgiens de 18 centres médicaux, 13 yeux de 13 patients ayant subi une réimplantation de KPro de Boston de type I ont été comparés à 13 yeux de 13 patients ayant reçu une implantation initiale.

Après une période de suivi moyenne de 17,1 3 17,6 mois, la rétention de l'implantation initiale et répétée de KPro était de 92,3 % (12/13 dans les deux groupes), et 62 % des yeux d'implantation initiale et 58 % des yeux d'implantation répétée ont atteint une acuité visuelle supérieure à 20/200. Une vision inférieure à 20/200 était souvent due à un glaucome ou à une pathologie du segment postérieur.

L'acuité visuelle logMAR la mieux enregistrée a été significativement améliorée postopératoire dans les deux groupes ( $p < 0,001$ ), et il n'y avait pas de différence statistiquement significative dans l'acuité visuelle logMAR finale entre les 2 groupes ( $p = 0,89$ ). La kératolyse stérile (n = 4) et l'infection fongique (n = 5) étaient les causes les plus fréquentes d'échec initial de KPro dans le groupe KPro répété. L'échec unique dans le groupe d'implantation répétée de KPro était dû à une kératite fongique, et dans le groupe témoin, il était lié à l'extrusion de KPro.

L'implantation répétée de KPro est une option viable après l'échec de l'initialisation de KPro, avec des résultats visuels et anatomiques comparables à ceux des procédures initiales.

Fait intéressant, Driver et coll. ont étudié 231 yeux : 67 procédures KPro primaires et 164 après l'échec d'une kératoplastie. Ils ont constaté que 78 à 87 % des procédures primaires de KPro avaient une AVLC de  $\geq 20/200$  après 6 ans. En comparaison, 56 à 67 % des personnes ayant reçu la KPro de Boston après l'échec d'une kératoplastie avaient une AVLC de  $\geq 20/200$  à 6 ans<sup>38</sup>.

Les personnes atteintes de maladies inflammatoires comme le SJS ont une forte probabilité d'obtenir une AVLC de  $\geq 20/200$ . Une étude a révélé que 100 % des patients atteints de SJS avaient une AVLC de  $\geq 20/200$  après un an<sup>39</sup>. De même, Brown et coll. ont constaté que 100 % des patients atteints du virus de l'herpès simplex (HSV) avaient une meilleure acuité visuelle corrigée (MAVC)  $\geq 20/200$ . Cependant, seulement un patient sur quatre atteint du virus de l'herpès zoster (HZV) avait une MAVC  $\geq 20/200$ <sup>40</sup>. Fait intéressant, une étude portant sur des patients souffrant de lésions chimiques ou thermiques a révélé qu'après un suivi de 40,7 mois en moyenne, la meilleure acuité visuelle médiane corrigée était de 20/60<sup>41</sup>. En général, les taux de rétention pour le KPro de Boston ont été assez élevés (entre 74 et 100 %) lors du dernier suivi. L'examen de la méta-analyse susmentionnée a révélé des taux de rétention cumulés de 88 % et 74 % à 2 et 5 ans, respectivement. Cependant, les conditions qui provoquent une cicatrisation comme le SJS ou le MMP peuvent réduire considérablement les taux de rétention<sup>39, 43</sup>.

Alexander et coll.<sup>39</sup> ont constaté une augmentation des complications postopératoires chez les personnes atteintes de SJS, ce qui a entraîné une diminution des taux de rétention. Brown et coll. ont constaté une disparité similaire entre les groupes HSV et HZV dans les taux de rétention, comme on l'a vu avec la MAVC. Le groupe HSV avait un taux de rétention de 100 % tandis que le groupe HZV avait un taux de rétention de 25 % après environ 50 mois<sup>40</sup>. Phillips et coll.<sup>41</sup> ont constaté que les patients souffrant de lésions chimiques ou thermiques avaient un taux de rétention initial de 77,7 % et que les KPro restants étaient remplacés avec succès. Ils ont constaté que pour ceux qui ont des yeux gravement endommagés, le taux de réussite peut être augmenté en préparant la surface oculaire avant l'implantation avec des greffes de cellules souches limbiques pour réduire l'ulcération stérile.<sup>42, 43</sup>

## Complications et avancées postopératoires

Des ajustements dans la conception du KPro ont été introduits pour réduire les complications postopératoires tels que l'ajout de trous à la plaque arrière de l'appareil. La plaque arrière était à l'origine une plaque solide en PMMA de 8 mm, ce qui entraînait une kératolyse élevée et une diminution du flux nutritionnel. La kératolyse est définie comme «l'amincissement du stroma cornéen périphérique avec un défaut épithélial sus-jacent dû à une inflammation induite par l'auto-immunité»<sup>44</sup>. Actuellement, la plaque dorsale est de 8,5 mm avec 16 trous pour le soutien nutritionnel. Cela a conduit à une diminution de la kératolyse de 50 % à 10 % après la transplantation<sup>42</sup>. Le port d'une lentille cornéenne souple ou de contour de grand diamètre et l'utilisation à long terme d'antibiotiques topiques ont également diminué la kératolyse stérile. En 2014, une plaque arrière en titane a été introduite comme solution de rechange au PMMA; elle s'enclenche dans la tige sans avoir besoin d'une bague de verrouillage, ce qui facilite l'assemblage. Le titane est bien toléré par les tissus environnants et est très résistant à la corrosion et est à la fois léger et solide. Comme il n'est pas magnétique, les patients peuvent subir une imagerie par résonance magnétique<sup>42</sup>. De plus, la plaque arrière en titane peut être colorée en bleu ou en brun par anodisation électrochimique pour aider à l'attrait esthétique de l'appareil<sup>45</sup>.

## Complications

Les trois complications postopératoires les plus fréquemment signalées sont la membrane rétroprothétique (MRP), l'élévation de la pression intraoculaire/glaucome et l'endophtalmie infectieuse (EI) qui seront abordées ici<sup>46-49</sup>. D'autres complications moins fréquentes comprennent la vitrite stérile, la fonte stromale, le décollement de la rétine et l'hémorragie vitréenne.

L'incidence des MRP dans les séries cliniques se situe entre 25 % et 65 %. On pense que l'inflammation est le facteur le plus important pour la formation de MRP (50). La plupart des cas sont traités avec succès par une simple membranotomie YAG en une seule séance. La membranectomie chirurgicale est généralement réservée aux cas réfractaires au traitement au laser YAG. Le laser YAG doit être utilisé avec prudence à une énergie supérieure à 3,0 mJ, car il peut fissurer ou marquer l'optique KPro et il convient d'utiliser une technique et des décalages laser appropriés<sup>51</sup>. Pour éviter une membranectomie chirurgicale, la MRP doit être traitée avant qu'elle ne progresse, ne s'épaississe et ne devienne progressivement plus vascularisée, ce qui la rend moins adaptée à la membranotomie au YAG. Malgré tous les efforts déployés pour surveiller la MRP et la traiter au laser YAG, certains patients finiront par progresser et nécessiteront une intervention chirurgicale plus invasive.

Avec la réduction significative de l'EI grâce aux régimes antibiotiques actuels, le glaucome est maintenant la menace la plus importante pour la vision des patients du KPro. L'incidence rapportée du glaucome préopératoire dans les yeux KPro est de 60 % à 76 % et une PIO élevée postopératoire a été observée dans 15 % à 38 % des yeux KPro. La surveillance de la PIO est difficile, car la tonométrie traditionnelle ne peut pas être utilisée avec le dispositif en place et les mesures reposent sur la palpation digitale de la sclérotique.

Cette complication de la chirurgie KPro est gérée de manière optimale en étroite consultation avec un spécialiste expérimenté du glaucome et nécessite souvent une chirurgie de filtration avec des dérivations aqueuses et des agents topiques agressifs d'abaissement de la PIO<sup>52-54</sup>.

L'endophtalmie infectieuse est une complication catastrophique qui entraîne souvent la perte de la vue. La série la plus complète fait état d'une incidence globale de l'EI de 2,7 % par année-patient<sup>55</sup>, soit l'un des taux d'endophtalmie les plus élevés de toutes les interventions chirurgicales ophtalmiques actuellement pratiquées. À titre de comparaison, ce taux est 67,5 fois plus élevé que celui de la chirurgie de la cataracte et 13,5 fois plus élevé que celui de la chirurgie de filtrage des glaucomes. Sur le plan clinique, cette complication se manifeste par l'apparition soudaine d'une douleur oculaire, d'une injection sclérale et d'une inflammation intraoculaire se traduisant par une turbidité antérieure et/ou vitréenne (souvent avec hypopion) et une baisse de la vision. Cette situation contraste avec la vitrite stérile qui se manifeste également par une baisse de la vision. À l'examen, on observe une vitrite floconneuse, mais généralement sans douleur, sensibilité ou injection conjonctivale comme dans le cas de l'IE. La vision finale après un épisode d'IE est étroitement liée à l'agent causal, les yeux infectés par des streptocoques ou des staphylocoques dorés (en particulier la méthicilline) sont plus sensibles à l'infection. Aureus (en particulier les souches résistantes à la méthicilline (MRSA)) ont une vision moins bonne que les infections à Staph. epidermis ou Strep. viridians. En cas d'IE, une évaluation et un traitement immédiats sont nécessaires. Des échantillons aqueux et/ou vitréens doivent être examinés et cultivés à la recherche de bactéries et de champignons. L'injection intravitréenne de vancomycine, d'amikacine et de dexaméthasone est recommandée et une vitrectomie par la pars plana est souvent nécessaire. L'hospitalisation doit être envisagée afin de garantir l'observance d'un traitement topique agressif, de soins post-chirurgicaux et d'une éventuelle antibiothérapie IV<sup>55</sup>.

Il existe des rapports contradictoires sur la question de savoir si le titane peut entraîner une réduction de la formation de la membrane rétroprothétique (MRP), qui se produit lorsque le tissu fibrovasculaire se développe derrière le dispositif. Jusqu'à 65 % des patients porteurs d'un KPro de Boston forment une MRP<sup>56</sup>. Une étude de Todani et coll.<sup>57</sup> a étudié le potentiel de formation de MRP dans 55 yeux avec des plaques dorsales en PMMA et 23 avec des plaques dorsales en titane : 41,8 % des patients avec des plaques dorsales en PMMA ont développé une MRP contre seulement 13 % pour les patients avec des plaques dorsales en titane 6 mois après l'implantation. Cependant, dans le groupe de patients avec des plaques dorsales en PMMA, 39 avaient des plaques dorsales en PMMA filetées, ce qui peut, en soi, augmenter la formation de MRP (discuté ci-dessous)<sup>57</sup>.

En revanche, une étude de Talati et coll.<sup>58</sup> a comparé 20 patients avec une plaque dorsale en titane et 20 avec une plaque dorsale en PMMA avec une durée moyenne de suivi de 28,1 ou 53,7 mois, respectivement : 45 % des patients avec une plaque dorsale en PMMA ont développé une MRP et 55 % de ceux avec une plaque dorsale en titane ont développé une MRP. Il a été conclu qu'aucun des deux matériaux n'était supérieur pour réduire la formation de MRP.

En 2007, une nouvelle tige en PMMA a été produite sans filetage. Elle avait pour but d'éviter d'endommager le greffon cornéen associé à l'action de vissage pendant l'intervention chirurgicale et donc de réduire éventuellement la formation de MRP<sup>59</sup>. Cette nouvelle tige était à la fois plus facile à utiliser et moins coûteuse à produire, car le dispositif était fabriqué par moulage plutôt que par machine.

Al Arfaj et Hantera ont étudié quatre yeux ayant subi une implantation de KPro de Boston sans fil de type 1 et ont constaté qu'aucune MRP ne s'était développée au moment du suivi (c'est-à-dire jusqu'à 11 mois)<sup>60</sup>. Ceci est cohérent avec les observations faites par Todani et coll. 6 mois après la chirurgie : 46,1 % des yeux implantés avec des plaques dorsales filetées en PMMA ont présenté une MRP, alors que la MRP ne s'est produite que dans 31,2 % des cas implantés avec des plaques dorsales non filetées en PMMA<sup>57</sup>. Ainsi, la combinaison d'une plaque dorsale en PMMA et d'une conception non filetée peut réduire le risque de formation de MRP<sup>57, 58</sup>.

L'une des difficultés rencontrées avec de nombreuses KPro dures est l'absence d'adhésion du greffon cornéen à la surface de la tige en PMMA. Bien que le PMMA soit peu toxique pour les cellules stromales de la cornée, une mauvaise biointégration entre le PMMA et le stroma cornéen peut entraîner la fonte de la cornée et le détachement du greffon. Une faible adhésion interfaciale peut créer des espaces dans lesquels des bactéries ou des cellules inflammatoires peuvent s'infiltrer<sup>61</sup>. Ces dernières années, il a été démontré que le contact entre les cellules et le titane entraîne une augmentation de la croissance des cellules épithéliales du limbe cornéen, ainsi qu'une diminution de la mort cellulaire, offrant ainsi une surface supérieure pour l'adhésion<sup>62, 63</sup>. On a constaté que le titane avec une topographie de surface lisse améliore l'adhésion et la prolifération des cellules, tandis que le titane rugueux peut réduire la réflectivité de la lumière qui nuit à la vision<sup>62</sup>.

Plusieurs nouvelles techniques ont été introduites récemment pour augmenter l'adhérence du PMMA et du tissu cornéen. Sharifi et coll.<sup>64</sup> ont utilisé la pulvérisation cathodique de titane sur la tige en PMMA de la KPro de Boston pour montrer que la pulvérisation cathodique de titane peut provoquer une augmentation de l'adhésion cellulaire, avec une augmentation de la croissance cellulaire et du dépôt de collagène, résultant en un phénotype de cellules stromales cornéennes plus normales. Pour ces raisons, la pulvérisation de titane peut améliorer l'adhérence entre le PMMA et le tissu cornéen, améliorant ainsi les résultats à long terme. Le revêtement du titane de la KPro avec de l'hydroxyapatite (HAp), un constituant des os et des dents, a également permis d'améliorer l'adhérence des tissus dans les cornées de lapin<sup>65, 66</sup>. Les nanoparticules d'HAp peuvent également être piégées et immobilisées à la surface du PMMA, ce qui permet aux fibroblastes cornéens humains d'adhérer et de proliférer sur le PMMA enduit<sup>61</sup>. De même, le phosphate de calcium (CaP) a été utilisé pour recouvrir des feuilles de PMMA contenant de la dopamine afin d'induire un dépôt de CaP<sup>61</sup>. Cette méthode a permis d'obtenir une meilleure adhérence, mais la délamination s'est produite assez facilement. En outre, la L-3,4-Dihydroxyphénylalanine (L-DOPA) peut être liée de manière covalente à la surface de la PMMA pour favoriser l'adhésion, la prolifération et la migration cellulaires, améliorant ainsi la compatibilité de la PMMA<sup>67</sup>.

## Ostéo-odonto-kératoprothèse

L'ostéo-odonto-kératoprothèse (OOKP), également connue sous le nom de «dent dans l'œil»<sup>68</sup>, est une procédure médicale visant à restaurer la vision dans les cas les plus graves de patients souffrant de troubles de la cornée et de la surface oculaire. Elle comprend le retrait d'une dent du patient ou d'un donneur<sup>69</sup>.

Après l'extraction, une lamelle longitudinale est découpée dans la dent et un trou est percé perpendiculairement à la lamelle. Le trou est ensuite équipé d'une lentille cylindrique. La lamelle se développe dans la joue du patient pendant plusieurs mois et est ensuite implantée sur l'œil.

Cette procédure a été mise au point par le professeur Benedetto Strampelli, chirurgien ophtalmologiste italien, au début des années 1960. Strampelli a été l'un des membres fondateurs de l'International Intra-Ocular Implant Club (IIIC) en 1966<sup>70</sup>.

### L'OOKP est une opération en deux étapes<sup>71</sup>.

#### La première étape comprend cinq procédures distinctes :

- 1) L'œil est ouvert et toute la surface intérieure des paupières, la surface de la cornée et tous les tissus cicatriciels sont enlevés.
- 2) La muqueuse interne de la joue est transplantée sur la nouvelle surface de l'œil.
- 3) Une canine ou une prémolaire et une partie de l'os et des ligaments adjacents sont enlevés.
- 4) Une structure en forme de boulon est façonnée à partir du complexe dent-os et équipée d'un cylindre optique en plastique.
- 5) Le complexe dent-os-cylindre est implanté dans la joue du patient afin de développer une nouvelle irrigation sanguine.

#### La deuxième étape (environ 4 mois plus tard) comprend deux procédures distinctes :

- 1) La muqueuse de la joue transplantée sur la nouvelle surface de l'œil est ouverte et le contenu interne de l'œil est retiré.
- 2) Le complexe dent-os-cylindre est retiré de la joue et inséré dans l'œil, la muqueuse de la joue étant remplacée sur l'implant.

À la fin de l'intervention, la lumière peut maintenant pénétrer à travers le cylindre en plastique, et le patient peut voir à travers ce cylindre avec une bonne vision<sup>70</sup>.

Pour ceux qui n'ont pas de dents adaptées, il est possible d'utiliser une allogreffe de dent provenant d'un donneur apparenté ou non, ou de l'os tibial. Cependant, les taux de survie fonctionnelle des KPro utilisant de l'os tibial peuvent être aussi bas que 19 % après 10 ans<sup>72</sup>. Le maintien de la solidité de l'os dépend du stress physique et l'inactivité entraîne la résorption des lamelles<sup>73</sup>. En outre, une KPro a été mise au point pour les patients dont les dents ne conviennent pas à l'OOKP et dont la peau de la paupière n'est pas saine pour la KPro de Boston de type II, la KPro «Lux»<sup>74</sup>. Elle est composée d'une optique en PMMA, d'une plaque arrière en titane et d'un manchon en titane, mais elle nécessite une greffe de cornée. Comme la OOKP modifiée, la KPro «Lux» est implantée à travers une greffe de muqueuse et protégé par celle-ci<sup>74</sup>.

## KPro Lux

KPro Lux (Lux, dérivé du latin signifiant lumière) est un dispositif en trois parties composé d'une optique conique en PMMA enfermée dans un manchon en titane et d'une plaque arrière en titane d'un diamètre de 7,8 mm<sup>75 = 46</sup>. La conception visait à incorporer les aspects positifs de l'OOKP modifiée et de la KPro de Boston de type II, le manchon en titane devant offrir une meilleure biocompatibilité que la KPro de Boston de type II et l'avantage supposé de couvrir le dispositif avec une greffe de muqueuse plutôt que de devoir suturer les paupières fermées. Comme la KPro de Boston de type II, la KPro Lux nécessite une greffe de cornée d'un donneur porteur. Cependant, elle peut être réalisée sur des yeux sans paupières normales. Comme l'OOKP modifiée, la Lux est recouverte d'une greffe de muqueuse buccale, tandis que l'implantation ne nécessite pas de dent saine. La technique chirurgicale est similaire à celle de la chirurgie KPro de Boston de type II, à l'exception de la nécessité d'une greffe muqueuse préalable.

Une opération de greffe de l'OOKP est réalisée dans les cas de pemphigoïde sévère, de brûlures chimiques, de syndrome de Stevens, de trachome, de syndrome de Lyell et d'échec de greffes cornéennes multiples<sup>81 = 4</sup>. Il existe un risque important d'échec anatomique de la lamine à long terme, estimé à 19 % dans une petite étude<sup>77 = 5</sup>, les principaux risques étant la résorption de la lamine, en particulier dans les allogreffes, et le glaucome.

Une autre étude, plus importante, comparant l'OOKP à l'ostéokératoprothèse (OKP), moins connue, chez 145 et 82 patients, avec un suivi allant jusqu'à 10 ans, a permis d'obtenir les statistiques suivantes :

- Survie anatomique à 10 ans : 66 % pour l'OOKP et 47 % pour l'OKP.
- Survie fonctionnelle à 2 ans (acuité visuelle meilleure que 1,30 logMAR ou 20/400 Snellen) : 63 % pour l'OOKP et 49 % pour l'OKP.
- Survie fonctionnelle à 10 ans (acuité visuelle supérieure à 1,30 logMAR ou 20/400 Snellen) : 38 % pour l'OOKP et 17 % pour l'OKP (78 = 6).

Une autre étude à long terme portant sur 181 patients évaluée à 85 % les chances de conserver une OOKP intacte après 18 ans<sup>79 = 7</sup>.

En 2022, une étude rétrospective menée sur 82 yeux avec une OOKP utilisant la technique originale de Strampelli, a montré une survie anatomique de 94 % jusqu'à 30 ans de suivi. La même étude a également fait état d'une acuité visuelle supérieure à 1,00 logMAR (ou 20/200 Snellen) à 10 ans dans 81 % des yeux, et d'une acuité visuelle de 1,21 logMAR (ou 20/324 Snellen) à 30 ans<sup>80 = 8</sup>.

## Résultats

L'AV des patients après une chirurgie OOKP peut être aussi bonne que 6/14. Dans une revue systématique de huit études de cas différentes, Tan et coll. ont trouvé des AV de  $\geq 6/18$  chez 52 % des patients après OOKP<sup>81 = 80</sup>. De même, Liu et coll. ont enregistré une AV de  $\geq 6/12$  chez 53 % de tous les patients ayant subi une OOKP. Dans la même étude, 78 % des patients ont atteint une AV de  $\geq 6/60$ <sup>82 = 81</sup>. Lyer et coll. ont enregistré 66 % de tous les patients ayant une AV de  $\geq 20/60$ <sup>88 = 82</sup>.

Cependant, des complications impliquant la muqueuse, la rétine, la lamelle et la PIO peuvent survenir et affecter les résultats visuels.

Les taux de rétention anatomique à long et moyen terme des dispositifs OOKP sont élevés dans plusieurs études. Lyer et coll. ont constaté une rétention de 96 % dans 50 yeux, avec un suivi moyen de 15,4 mois<sup>83 = 82</sup>. Liu et coll. ont rapporté que 72 % des patients conservaient leur OOKP après un suivi moyen de 3,9 ans. De la Paz et coll. ont constaté que 86 % des patients souffrant d'une lésion chimique conservaient leur OOKP, contre 65 % seulement lorsque la KPro de Boston de type I était utilisée<sup>84 = 83</sup>.

## Ostéo-odonto-kératoprothèse : examen systématique des résultats chirurgicaux et des taux de complications

Des séries de cas sur l'ostéo-odonto-kératoprothèse (OOKP) publiées en anglais entre 1950 et juin 2010 ont été identifiées dans Medline/PubMed. Les indications chirurgicales, l'acuité visuelle, la survie anatomique, les taux de complications et de reprises chirurgicales ont été comparés entre les différentes études. Notre propre série de cas est une revue rétrospective de toutes les chirurgies OOKP réalisées dans notre centre entre février 2004 et juillet 2011. Huit séries de cas, dont la nôtre, ont fait l'objet d'une analyse systématique. La taille des échantillons variait de 4 à 181 yeux. Les indications les plus courantes pour la chirurgie étaient les cas graves de syndrome de Stevens-Johnson et les brûlures thermiques et chimiques qui ne pouvaient être traitées par d'autres formes de chirurgie ou qui avaient déjà subi un échec chirurgical<sup>85</sup>.

Le taux de survie anatomique dans toutes les études était de 87,8 % (intervalle 67 %-100 %) à 5 ans, et trois études ont montré des taux de survie de 81,0 % (intervalle 65 %-98 %) à 20 ans. L'acuité visuelle était supérieure à 6/18 dans 52 % (intervalle 46 %-72 %) des yeux ayant subi une chirurgie OOKP. La complication peropératoire la plus fréquente était l'hémorragie vitréenne (0 %-52 %) et la complication aveugle à long terme la plus fréquente était le glaucome (7 %-47 %). Les taux d'endophtalmie variaient de 2 % à 8 %. L'intervention chirurgicale la plus fréquente était le parage de la muqueuse en cas de croissance excessive de la muqueuse au niveau du cylindre optique et la greffe de la muqueuse en cas d'extrusion de l'OOKP ou d'ulcération de la muqueuse. Parmi les kératoprothèses biologiques et synthétiques disponibles, l'OOKP semble être une excellente option pour le traitement des maladies cornéennes en phase terminale.

## Complications postopératoires

La résorption est une cause fréquente d'échec de la rétention de l'OOKP. Bien qu'il doive y avoir un équilibre entre la résorption et la reformation pour préserver la lamelle, la lamelle ostéo-odonto-acrylique est sujette à une résorption excessive. Dans une étude menée par Liu et coll., 19 % des patients présentaient une résorption laminaire, entraînant un échec de rétention<sup>81</sup>. Cependant, les taux de résorption laminaire sont très probablement sous-estimés, car ils ont tendance à progresser lentement et sont difficiles à détecter, puisque la lamelle se trouve sous le greffon de muqueuse buccale.

La résorption laminaire peut entraîner un amincissement de la lamelle qui peut provoquer une inclinaison du cylindre optique, une altération de la réfraction, des fuites et une endophtalmie<sup>86 = 76</sup>.

Les progrès de l'imagerie ont permis une détection plus précoce de la résorption laminaire. Avadhanam et coll.<sup>86, 87 = 85</sup> ont constaté que 40 % de tous les cas de résorption laminaire étaient détectés au cours de la première année de suivi et que 66 % des cas étaient détectés dans les trois ans suivant l'intervention chirurgicale de l'OOKP. Ils ont également découvert que l'épaisseur de la lamelle n'affectait pas l'apparition ou la progression de la résorption. La tomographie informatisée multidétecteur (MDCT ou CT) est largement utilisée pour étudier la résorption laminaire. En plus de l'imagerie, un chirurgien expérimenté peut procéder à une palpation clinique pour détecter la résorption à un stade précoce. Il semble que la meilleure façon d'avancer soit de mettre en œuvre les deux méthodes à long terme. Cependant, la tomodensitométrie fréquente n'est pas indiquée pour la détection de la résorption laminaire<sup>88 = 86</sup>.

Pour réduire la résorption laminaire, simplifier la procédure chirurgicale, réduire les coûts et éviter les traumatismes buccaux, des jupes en matériaux synthétiques similaires à la lamelle ostéo-odonto-acrylique ont été introduites. Avadhanam et coll. ont incorporé des microsphères de PLGA recouvertes d'hydroxyapatite nanocristalline (nHAp) à un hydrogel à réseau interpénétré (IPN) très résistant pour imiter le microenvironnement de la lamelle odonto-acrylique<sup>89 = 89</sup>. Ils ont également ajouté des polymères de poly(éthylène glycol) diacrylate (PEGDA) et de l'agarose pour améliorer la résistance mécanique des hydrogels. Cette étude suggère que l'IPN à base de PEGDA-agarose peut être utilisé à l'avenir pour remplacer la lamelle OOKP<sup>89 = 89</sup>.

Il existe une forte corrélation entre la résorption laminaire et l'endophtalmie, une affection causée par une infection bactérienne ou fongique du vitré et/ou de l'humeur aqueuse<sup>90 = 90</sup>. Une étude récente a révélé un taux d'incidence de 9 % d'endophtalmie dans les yeux ayant subi une chirurgie OOKP<sup>91 = 91</sup>. Falcinelli et coll. ont identifié une endophtalmie dans 4 yeux sur 181 (2 %) à la suite d'une OOKP, avec un suivi moyen de 12 ans. Une mauvaise hygiène dentaire préopératoire a été signalée dans ces cas.

La présence de bulles d'air dans l'humeur vitrée ou l'hémorragie vitréenne sont deux causes courantes du ralentissement de la récupération de l'AV. L'hémorragie vitréenne est la complication postopératoire la plus fréquente dans la revue systématique rapportée par Tan et coll., avec jusqu'à 52 % d'hémorragies<sup>90 = 80</sup>. Cependant, l'hémorragie vitréenne, ainsi que le problème du décollement choroïdien, tendent à se résorber rapidement après l'opération.

Le glaucome est la principale cause de diminution de l'AV chez les personnes atteintes d'une OOKP. Tan et coll. ont indiqué que les taux de glaucome variaient de 7 % à 47 % selon les études<sup>80 = 80</sup>. Cependant, un glaucome préexistant peut être difficile à détecter avant l'opération<sup>76 = 76</sup>. En général, les personnes atteintes de glaucome subissent une trabéculéctomie pour réduire la PIO; cependant, les personnes atteintes d'une OOKP ne bénéficieront pas de cette procédure. Kumar et coll. ont constaté que les tests du champ visuel et l'évaluation du disque optique avec des photographies du disque optique peuvent être utilisés pour surveiller les yeux pour le glaucome; mais actuellement, les dispositifs de drainage sont la meilleure méthode pour la gestion du glaucome chez ceux qui ont une OOKP<sup>92, 93 = 92, 93</sup>.

Il est intéressant de noter qu'un dispositif appelé valve de glaucome Ahmed s'est avéré efficace pour stabiliser la PIO dans les trois quarts des yeux OOKP atteints de glaucome s'il est placé avant la greffe de muqueuse<sup>93 = 93</sup>. 

.....

## RÉFÉRENCES

1. <https://www.frontiersin.org/journals/medicine/articles/10.3389/fmed.2021.770780/full>
2. Pascolini D, Mariotti SP. Global estimates of visual impairment: (2010). *Br J Ophthalmol.* (2012) 96:614-8. doi: 10.1136/bjophthalmol-2011-300539
3. Chen M, Ng SM, Akpek EK, Ahmad S. Artificial corneas versus donor corneas for repeat corneal transplants. *Cochrane Database Syst Rev.* (2020) 5:CD009561. doi: 10.1002/14651858.CD009561.pub3
4. Gain P, Jullienne R, He Z, Aldossary M, Acquart S, Cognasse F, et coll. Global survey of corneal transplantation and eye banking. *JAMA Ophthalmol.* (2016) 134:167-73. doi: 10.1001/jamaophthalmol.2015.4776
5. Thompson RW Jr, Price MO, Bowers PJ, Price FW Jr. Long-term graft survival after penetrating keratoplasty. *Ophthalmology.* (2003) 110:1396-402. doi: 10.1016/S0161-6420(03)00463-9
6. NHS. Survival Rates Following Transplantation. [Survival rates following transplantation.] (2020). Available online at: <https://www.organdonation.nhs.uk/helping-you-to-decide/about-organ-donation/statistics-about-organ-donation/transplant-activity-report/> (accessed October 5, 2021).
7. Armitage WJ, Goodchild C, Griffin MD, Gunn DJ, Hjortdal J, Lohan P, et coll. High-risk corneal transplantation: recent developments and future possibilities. *Transplantation.* (2019) 103:2468-78. doi: 10.1097/TP.0000000000002938
8. Anshu A, Li L, Htoon HM, de Benito-Llópez L, Shuang LS, Singh MJ, et coll. Long-term review of penetrating keratoplasty: a 20-year review in asian eyes. *Am J Ophthalmol.* (2020) 224:254-66. doi: 10.1016/j.ajo.2020.10.014
9. Williams KA, Keane MC, Coffey NE, Jones VJ, Mills RAD, Coster DJ. The Australian Corneal Graft Registry. (2018). Available from: <https://dSPACE.flinders.edu.au/xmlui/bitstream/handle/2328/37917/ACGR%202018%20Report.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
10. Avadhanam VS, Smith HE, Liu C. Keratoprostheses for corneal blindness: a review of contemporary devices. *Clin Ophthalmol.* (2015) 9:697-720. doi: 10.2147/OPH.S27083
11. Williams KA, Lowe M, Bartlett C, Kelly TL, Coster DJ, All Contributors. Risk factors for human corneal graft failure within the Australian corneal graft registry. *Transplantation.* (2008) 86:1720-4. doi: 10.1097/TP.0b013e3181903b0a

12. Ahmad S, Mathews PM, Lindsley K, Alkharashi M, Hwang FS, Ng SM, et coll. Boston type 1 keratoprosthesis versus repeat donor keratoplasty for corneal graft failure: a systematic review and meta-analysis. *Ophthalmology*. (2016) 123:165-77. doi: 10.1016/j.ophtha.2015.09.028
13. Aquavella JV, Qian Y, McCormick GJ, Palakuru JR. Keratoprosthesis: current techniques. *Cornea*. (2006) 25:656-62. doi: 10.1097/01.ico.0000214226.36485.d2
14. Vijayasekaran S, Robertson T, Hicks C, Hirst L. Histopathology of long-term Cardona keratoprosthesis: a case report. *Cornea*. (2005) 24:233-7. doi: 10.1097/01.ico.0000134192.26239.62
15. Dohlman CH, Schneider HA, Doane MG. Prosthokeratoplasty. *Am J Ophthalmol*. (1974) 77:694-70. doi: 10.1016/0002-9394(74)90534-0
16. Lee R, Khoueir Z, Tsikata E, Chodosh J, Dohlman CH, Chen TC. Long-term visual outcomes and complications of boston keratoprosthesis type II implantation. *Ophthalmology*. (2017) 124:27-35. doi: 10.1016/j.ophtha.2016.07.011
17. Pujari S, Siddique SS, Dohlman CH, Chodosh J. The Boston keratoprosthesis type II: the Massachusetts eye and ear infirmary experience. *Cornea*. (2011) 30:1298-303. doi: 10.1097/ICO.0b013e318215207c
18. Nonpassopon M, Niparugs M, Cortina MS. Boston type 1 keratoprosthesis: updated perspectives. *Clin Ophthalmol*. (2020) 14:1189-200. doi: 10.2147/OPTH.S219270
19. Robert MC, Biernacki K, Harissi-Dagher M. Boston keratoprosthesis type 1 surgery: use of frozen versus fresh corneal donor carriers. *Cornea*. (2012) 31:339-45. doi: 10.1097/ICO.0b013e31823e6110
20. [https://eyewiki.org/Boston\\_Type\\_1\\_Keratoprosthesis](https://eyewiki.org/Boston_Type_1_Keratoprosthesis)
21. Khan, B.F., et coll., Advances in Boston keratoprosthesis: enhancing retention and prevention of infection and inflammation. *Int Ophthalmol Clin*, 2007. 47(2): p. 61-71.
22. Harissi-Dagher, M., et coll., Importance of nutrition to corneal grafts when used as a carrier of the Boston Keratoprosthesis. *Cornea*, 2007. 26(5): p. 564-8.
23. Dohlman, C. and M. Harissi-Dagher, The Boston Keratoprosthesis: A New Threadless Design. *Digital Journal of Ophthalmology*, 2007. 13(3).
24. Ament, J.D., et coll., The Boston Keratoprosthesis: Comparing Corneal Epithelial Cell Compatibility with Titanium and PMMA. *Cornea*, 2009.
25. Dohlman, C.H., et coll., Titanium vs. PMMA Backplates for Boston Keratoprosthesis: Incidence of Retroprosthetic Membrane. ARVO, 2009. Program Number 1505: p. Poster A415.
26. Newsletter VII, in Boston Keratoprosthesis Update, R. Walcott-Harris and C. Dohlman, Editors. 2010.
27. [https://eyewiki.org/Boston\\_Type\\_2\\_Keratoprosthesis](https://eyewiki.org/Boston_Type_2_Keratoprosthesis) :
28. Avadhanam V, Smith H, Liu C. Keratoprotheses for corneal blindness: a review of contemporary devices. *Clinical Ophthalmology*. Published online April 2015:697.
29. Iyer G, Srinivasan B, Agarwal S, et coll. Boston Type 2 keratoprosthesis- mid term outcomes from a tertiary eye care centre in India. *Ocular Surface*. 2019;17(1):50-54.
30. Saini C, Chen TC, Young LH, et coll. Restoration of Vision in Severe, Cicatricial, Ocular Surface Disease With the Boston Keratoprosthesis Type II. *Am J Ophthalmol*. 2022;243:42-54.
31. Lee R, Khoueir Z, Tsikata E, Chodosh J, Dohlman CH, Chen TC. Long-term Visual Outcomes and Complications of Boston Keratoprosthesis Type II Implantation. *Ophthalmology*. 2017;124(1):27-35.
32. Doane MG, Dohlman CH, Bearse G. Fabrication of a keratoprosthesis. *Cornea*. 1996;15(2):179-184.
33. Dohlman CH, Harissi-Dagher M, Khan BF, Sippel K, Aquavella J V., Graney JM. Introduction to the use of the Boston keratoprosthesis. *Expert Rev Ophthalmol*. 2006;1(1):41-48.
34. Todani A, Ciolino JB, Ament JD, et coll. Titanium back plate for a PMMA keratoprosthesis: Clinical outcomes. *Graefes Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*. 2011;249(10):1515-1518.
35. Sayegh RR, Ang LPK, Foster CS, Dohlman CH. The Boston keratoprosthesis in Stevens-Johnson syndrome. *Am J Ophthalmol*. 2008;145(3):438-444.
36. Aldave AJ, Sangwan VS, Basu S, Basak SK, Hovakimyan A, Gevorgyan O, Kharashi SA, Jindan MA, Tandon R, Mascarenhas J, Malyugin B, Padilla MD, Maskati Q, Agarwala N, Hutauruk J, Sharma M, Yu F. International results with the Boston type I keratoprosthesis. *Ophthalmology*. 2012 Aug;119(8):1530-8. doi: 10.1016/j.ophtha.2012.02.015. Epub 2012 Apr 17. PMID: 22512986.
37. Wang JC, Rudnisky CJ, Belin MW, Ciolino JB; Boston Type 1 Keratoprosthesis Study Group. Outcomes of Boston keratoprosthesis type 1 reimplantation: multicentre study results. *Can J Ophthalmol*. 2018 Jun;53(3):284-290. doi: 10.1016/j.cjco.2017.10.021. Epub 2017 Dec 11. PMID: 29784167; PMCID: PMC8561078.
38. Driver TH, Aravena C, Duong HNV, Christenbury JG, Yu F, Basak SK, et coll. Outcomes of the Boston type I keratoprosthesis as the primary penetrating corneal procedure. *Cornea*. (2018) 37:1400-7. doi: 10.1097/ICO.0000000000001735
39. Alexander JK, Basak SK, Padilla MD, Yu F, Aldave AJ. International outcomes of the Boston type I keratoprosthesis in Stevens-Johnson syndrome. *Cornea*. (2015) 34:1387-94. doi: 10.1097/ICO.0000000000000619
40. Brown CR, Wagoner MD, Welder JD, Cohen AW, Goins KM, Greiner MA, et coll. Boston keratoprosthesis type 1 for herpes simplex and herpes zoster keratopathy. *Cornea*. (2014) 33:801-5. doi: 10.1097/ICO.0000000000000164
41. Priddy J, Bardan AS, Tawfik HS, Liu C. Systematic review and meta-analysis of the medium- and long-term outcomes of the Boston type 1 keratoprosthesis. *Cornea*. (2019) 38:1465-73. doi: 10.1097/ICO.0000000000002098
42. Phillips DL, Hager JL, Goins KM, Kitzmann AS, Greiner MA, Cohen AW, et coll. Boston type 1 keratoprosthesis for chemical and thermal injury. *Cornea*. (2014) 33:905-9. doi: 10.1097/ICO.0000000000000204
43. Palioura S, Kim B, Dohlman CH, Chodosh J. The Boston keratoprosthesis type I in mucous membrane pemphigoid. *Cornea*. (2013) 32:956-61. doi: 10.1097/ICO.0b013e318286fd73
44. Betts B. Keratolysis (corneal melting), marginal, systemic immune-mediated disease. In: Schmidt-Erfurth U, Kohnen T, editors. *Encyclopedia of Ophthalmology*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (2018). p. 1001-2.
45. Paschalis EI, Chodosh J, Spurr-Michaud S, Cruzat A, Tauber A, Behlau I, et coll. In vitro and in vivo assessment of titanium surface modification for coloring the backplate of the Boston keratoprosthesis. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. (2013) 54:3863-73. doi: 10.1167/iovs.13-11714
46. Chew, H.F., et coll., Boston keratoprosthesis outcomes and complications. *Cornea*, 2009. 28(9): p. 989-96.
47. Bradley, J.C., et coll., Boston type 1 keratoprosthesis: the university of california davis experience. *Cornea*, 2009. 28(3): p. 321-7.
48. Aldave, A.J., et coll., The Boston type I keratoprosthesis: improving outcomes and expanding indications. *Ophthalmology*, 2009. 116(4): p. 640-51.
49. Akpek, E.K., et coll., Outcomes of Boston keratoprosthesis in aniridia: a retrospective multicenter study. *Am J Ophthalmol*, 2007. 144(2): p. 227-231.

50. Dohlman, C.H., et coll., Titanium vs. PMMA Backplates for Boston Keratoprosthesis: Incidence of Retroprosthetic Membrane. ARVO, 2009. Program Number 1505: p. Poster A415.
51. Chak, G. and J.V. Aquavella, A safe Nd:YAG retroprosthetic membrane removal technique for keratoprosthesis. *Cornea*, 2010. 29(10): p. 1169-72.
52. Dohlman, C.H., et coll., Introduction to the use of the Boston keratoprosthesis. Expert Review of Ophthalmology, 2006. 1(1): p. 41-48.
53. Dohlman, C.H., et coll., Shunts to divert aqueous humor to distant epithelialized cavities after keratoprosthesis surgery. *J Glaucoma*, 2010. 19(2): p. 111-5.
54. Rivier, D., et coll., Glaucoma and keratoprosthesis surgery: role of adjunctive cyclophotocoagulation. *J Glaucoma*, 2009. 18(4): p. 321-4.
55. Durand, M.L. and C.H. Dohlman, Successful prevention of bacterial endophthalmitis in eyes with the Boston keratoprosthesis. *Cornea*, 2009. 28(8): p. 896-901.
56. Park J, Phruksaudomchai P, Cortina MS. Retroprosthetic membrane: a complication of keratoprosthesis with broad consequences. *Ocul Surf.* (2020) 18:893-900. doi: 10.1016/j.jtos.2020.09.004
57. Todani A, Ciolino JB, Ament JD, Colby KA, Pineda R, Belin MW, et coll. Titanium back plate for a PMMA keratoprosthesis: clinical outcomes. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* (2011) 249:1515-8. doi: 10.1007/s00417-011-1684-y
58. Talati RK, Hallak JA, Karas FI, de la Cruz J, Cortina MS. Retroprosthetic membrane formation in boston keratoprosthesis: a case-control-matched comparison of titanium versus PMMA backplate. *Cornea.* (2018) 37:145-50. doi: 10.1097/ICO.0000000000001462
59. Chew HF, Ayres BD, Hammersmith KM, Rapuano CJ, Laibson PR, Myers JS, et coll. Boston keratoprosthesis outcomes and complications. *Cornea.* (2009) 28:989-96. doi: 10.1097/ICO.0b013e3181a186dc
60. Al Arfaj K, Hantera M. Short-term visual outcomes of Boston keratoprosthesis type I in Saudi Arabia. *Middle East Afr J Ophthalmol.* (2012) 19:88-92. doi: 10.4103/0974-9233.92121
61. Riau AK, Venkatraman SS, Dohlman CH, Mehta JS. Surface modifications of the PMMA Optic of a keratoprosthesis to improve Biointegration. *Cornea.* (2017) 36(Suppl. 1):S15-25. doi: 10.1097/ICO.0000000000001352
62. Zhou C, Lei F, Chodosh J, Paschalis EI. The role of titanium surface microtopography on adhesion, proliferation, transformation, and matrix deposition of corneal cells. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* (2016) 57:1927-38. doi: 10.1167/iov.15-18406
63. Ament JD, Spurr-Michaud SJ, Dohlman CH, Gipson IK. The Boston Keratoprosthesis: comparing corneal epithelial cell compatibility with titanium and PMMA. *Cornea.* (2009) 28:808-11. doi: 10.1097/ICO.0b013e31819670ac
64. Sharifi S, Islam MM, Sharifi H, Islam R, Nilsson PH, Dohlman CH, et coll. Sputter deposition of titanium on poly(methyl methacrylate) enhances corneal biocompatibility. *Transl Vis Sci Technol.* (2020) 9:41. doi: 10.1167/tvst.9.13.41
65. Li L, Jiang H, Wang LQ, Huang YF. Experimental study on the biocompatibility of keratoprosthesis with improved titanium implant. *Int J Ophthalmol.* (2018) 11:1741-5. doi: 10.18240/ijo.2018.11.02
66. Dong Y, Yang J, Wang L, Ma X, Huang Y, Qiu Z, et coll. An improved biofunction of titanium for keratoprosthesis by hydroxyapatite-coating. *J Biomater Appl.* (2014) 28:990-7. doi: 10.1177/0885328213490312
67. Sharifi R, Mahmoudzadeh S, Islam MM, Koza D, Dohlman CH, Chodosh J, et coll. Covalent functionalization of PMMA surface with L-3,4-dihydroxyphenylalanine (L-DOPA) to enhance its biocompatibility and adhesion to corneal tissue. *Adv Mater Interfaces.* (2020) 7:1900767. doi: 10.1002/admi.201900767
68. "Tooth-in-eye (OOKP) Surgery Help 8 Regain Sight". www.ndc.com.sg. Archived from the original on 2008-03-04.
69. Guidera, Anita (28 February 2008). "Son's tooth helps save dad's sight". *Irish Independent*.
70. National Dental Centre - 25 May 2005 Tooth-in-eye (OOKP) Surgery Help 8 Regain Sight Archived 4 March 2008 at the Wayback Machine
71. Ricci R, Pecorella I, Ciardi A, Della Rocca C, Di Tondo U, Marchi V (April 1992). "Strampelli's osteo-odonto-keratoprosthesis. Clinical and histological long-term features of three prostheses". *Br J Ophthalmol.* 76 (4): 232III-4. doi:10.1136/bjo.76.4.232. PMC 504235. PMID 1390492.
72. Charoenrook V, Michael R, de la Paz MF, Ding A, Barraquer RI, Temprano J. Osteokeratoprosthesis using tibial bone: surgical technique and outcomes. *Ocul Surf.* (2016) 14:495-506. doi: 10.1016/j.jtos.2016.07.002
73. Avadhanam VS, Zarei-Ghanavati M, Bardan AS, Iyer G, Srinivasan B, Agarwal S, et coll. When there is no tooth - looking beyond the Falcinelli MOOKP. *Ocul Surf.* (2019) 17:4-8. doi: 10.1016/j.jtos.2018.08.006
74. Bakshi SK, Graney J, Paschalis EI, Agarwal S, Basu S, Iyer G, et coll. Design and outcomes of a novel keratoprosthesis: addressing unmet needs in end-stage cicatricial corneal blindness. *Cornea.* (2020) 39:484-90. doi: 10.1097/ICO.0000000000002207
75. Bakshi SK, Graney J, Paschalis EI, Agarwal S, Basu S, Iyer G, et coll. Design and outcomes of a novel keratoprosthesis: Addressing unmet needs in end-stage cicatricial corneal blindness. *Cornea* 2020;39:484-90.
76. Viitala R, Franklin V, Green D, Liu C, Lloyd A, Tighe B (January 2009). "Towards a synthetic osteo-odonto-keratoprosthesis". *Acta Biomater.* 5 (1): 438-52. doi:10.1016/j.actbio.2008.07.008. PMID 18706878.
77. Liu C, Okera S, Tandon R, Herold J, Hull C, Thorp S (September 2008). "Visual rehabilitation in end-stage inflammatory ocular surface disease with the osteo-odonto-keratoprosthesis: results from the UK". *Br J Ophthalmol.* 92 (9): 1211-7. doi:10.1136/bjo.2007.130567. PMID 18511541S2CID26716899
78. Michael R, Charoenrook V, de la Paz MF, Hitzl W, Temprano J, Barraquer RI (August 2008). "Long-term functional and anatomical results of osteo- and osteo-odonto-keratoprosthesis". *Graefes Arch. Clin. Exp. Ophthalmol.* 246 (8): 1133-7. doi:10.1007/s00417-008-0850-3. PMID 18491123. S2CID 13019199.
79. Falcinelli G, Falsini B, Taloni M, Colliardo P, Falcinelli G (October 2005). "Modified osteo-odonto-keratoprosthesis for treatment of corneal blindness: long-term anatomical and functional outcomes in 181 cases". *Arch. Ophthalmol.* 123 (10): 1319-29. doi:10.1001/archoph.123.10.1319. PMID 16219722.
80. Iannetti L, Liberali M, Armentano M, Alisi L, Visioli G, Mastromarino D, Edoardo B, Iannetti G (May 2022). "Osteo-odonto-keratoprosthesis according to Strampelli original technique: A retrospective study with up to 30 years of follow-up". *Am J Ophthalmol.* 242: 56-68. doi:10.1016/j.ajo.2022.05.015. hdl:11573/1635748. PMID 35618023. S2CID 249035286.
81. Tan A, Tan DT, Tan XW, Mehta JS. Osteo-odonto keratoprosthesis: systematic review of surgical outcomes and complication rates. *Ocul Surf.* (2012) 10:15-25. doi: 10.1016/j.jtos.2012.01.003

82. Liu C, Okera S, Tandon R, Herold J, Hull C, Thorp S. Visual rehabilitation in end-stage inflammatory ocular surface disease with the osteo-odonto-keratoprosthesis: results from the UK. *Br J Ophthalmol.* (2008) 92:1211-7. doi: 10.1136/bjo.2007.130567
83. Iyer G, Pillai VS, Srinivasan B, Falcinelli G, Padmanabhan P, Guruswami S, et coll. Modified osteo-odonto keratoprosthesis—the Indian experience—results of the first 50 cases. *Cornea.* (2010) 29:771-6. doi: 10.1097/ICO.0b013e3181ca31fc
84. de la Paz MF, Salvador-Culla B, Charoenrook V, Temprano J, Alvarez de Toledo J, Grabner G, et coll. Osteo-odonto, tibial bone and Boston keratoprosthesis in clinically comparable cases of chemical injury and autoimmune disease. *Ocul Surf.* (2019) 17:476-83. doi: 10.1016/j.jtos.2018.09.004
85. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1542012412000079>
86. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30227262/>
87. Avadhanam VS, Smith J, Poostchi A, Chervenkov J, Al Raqqad N, Francis I, et coll. Detection of lamellar resorption in osteo-odonto-keratoprostheses. *Ocul Surf.* (2019) 17:78-82. doi: 10.1016/j.jtos.2018.09.004
88. Aguilar M, Sawatari Y, Gonzalez A, Lee W, Rowaan C, Sathiah D, et coll. Improvements in the modified osteo-odonto keratoprosthesis (MOOKP) surgery technique. *Investig Ophthalmol Visual Sci.* (2013) 54:3481.
89. Avadhanam V, Ingavle G, Zheng Y, Kumar S, Liu C, Sandeman S. Biomimetic bone-like composites as osteo-odonto-keratoprosthesis skirt substitutes. *J Biomater Appl.* (2021) 35:1043-60. doi: 10.1177/0885328220972219
90. Durand ML. Endophthalmitis. *Clin Microbiol Infect.* (2013) 19:227-34. doi: 10.1111/1469-0691.12118
91. Rishi P, Rishi E, Manchegowda P, Iyer G, Srinivasan B, Agarwal S. Endophthalmitis in eyes with osteo-odonto keratoprosthesis. *Ocul Immunol Inflamm.* (2020) 1-5. doi: 10.1080/09273948.2020.1770807
92. Kumar RS, Tan DT, Por YM, Oen FT, Hoh ST, Parthasarathy A, et coll. Glaucoma management in patients with osteo-odonto-keratoprosthesis (OOKP): the Singapore OOKP Study. *J Glaucoma.* (2009) 18:354-60. doi: 10.1097/IJG.0b013e31818456a4
93. Iyer G, Srinivasan B, Agarwal S, Shetty R, Krishnamoorthy S, Balekudaru S, et coll. Glaucoma in modified osteo-odonto-keratoprosthesis eyes: role of additional stage 1A and Ahmed glaucoma drainage device-technique and timing. *Am J Ophthalmol.* (2015) 159:482-9.e2. doi: 10.1016/j.ajo.2014.11.030

## LES PETITES ANNONCES CLASSÉES DE L'AOQ

Grâce à la section des petites annonces classées de la revue l'Optométriste vous faites d'une pierre deux coups: votre annonce, au coût de 25 \$ par parution (taxes en sus), sera publiée dans la revue et sera distribuée aux optométristes, aux opticiens d'ordonnances, aux ophtalmologistes et aux compagnies d'optique. Elle se retrouvera également sur notre site Internet jusqu'à la parution de la prochaine revue. Vous bénéficierez donc d'une visibilité accrue.

Votre annonce doit contenir environ 50 mots et doit être au nom d'un optométriste membre de l'AOQ. Vous devez nous faire parvenir votre annonce par courriel à [josee.lusignan@aoqnet.qc.ca](mailto:josee.lusignan@aoqnet.qc.ca)



Association des  
**OPTOMÉTRISTES**  
du Québec

