Prise en charge actuelle du kératocône dans les armées

S. Bonnel[a], D. Sendon[a], M. Abrieu[a], C. Rambaud[a], M. Berguiga[a], F. Froussart-Maille[a, b], P. Crepy[a, c], J.-C. Rigal-Sastourné[a, b]

a Service ophtalmologie, HIA Percy, BP 406 – 92141 Clamart Cedex.
b École du Val-de-Grâce, 1 place Alphonse Laveran – 75230 Paris Cedex 05.
c Centre principal d'expertise médicale du personnel navigant, HIA Percy, BP 406 – 92141 Clamart Cedex.

Article reçu le 30 avril 2014, accepté le 15 janvier 2015.

Résumé

Le kératocône est une pathologie cornéenne idiopathique caractérisée par un amincissement et une déformation conique progressive de la cornée à l'origine d'un astigmatisme irrégulier et d'une baisse progressive de l'acuité visuelle chez le sujet jeune. La réalisation d'une topographie cornéenne au moindre doute lors des visites ophtalmologiques d'incorporation et révisionnelle, permet la découverte de cette pathologie chez un nombre non négligeable de jeunes militaires. La prise en charge de cette pathologie a beaucoup évolué avec l'essor de la chirurgie cornéenne. Le développement du *cross-linking* du collagène (processus photo-oxydatif qui a pour objectif une rigidification de la cornée) et des anneaux intracornéen, (permettant un aplatissement du cône et une amélioration de l'acuité visuelle) a permis de retarder le recours à une greffe de cornée, synonyme d'inaptitude définitive. Toutes ces techniques évoluent très rapidement et sont un apport indéniable dans la prise en charge de nos patients militaires. Nous rapportons l'expérience du centre de chirurgie réfractive de l'Hôpital d'instruction des armées Percy qui dispose de l'ensemble de ces techniques et s'applique à rester performant dans cette pathologie afin de permettre le maintien le plus longtemps possible de l'aptitude et de l'emploi des militaires touchés.

Mots-clés : Anneaux intracornéen. *Cross-linking* du collagène cornéen. Kératocône.

Abstract

CURRENT MANAGEMENT OF KERATOCONUS AMONG THE ARMED FORCES.

Keratoconus is an idiopathic corneal disorder characterized by a thinning and progressive conical deformation of the cornea which cause irregular astigmatism and a progressive loss of visual acuity in young patients. The achievement of a corneal topography, when in any doubt at all, during ophthalmologic incorporation and revisionary visits, allows the detection of this disease in a significant number of young soldiers. The management of this disease has considerably evolved with the development of refractive surgery. The development of the collagen cross-linking (photo-oxidative process which aims at stiffening the cornea) and intra-corneal rings (allowing a flattening effect on the cone and improving visual acuity) has deferred the need for corneal grafts, and thereby prevented becoming permanently unfit. All these technologies evolve very quickly and are an undeniable contribution to the management of our military patients. We report the experience of the Refractive Surgery Center of Percy Military Hospital, who possesses all of these techniques, and strives at remaining efficient in the management of the disease to help maintain the ability and the employment of the servicemen and women affected, for as long as possible.

Keywords: Corneal collagen cross-linking. Intracorneal ring segments. Keratoconus.

Introduction

Le kératocône est une dystrophie cornéenne idiopathique caractérisée par un amincissement progressif non inflammatoire et une déformation conique progressive de la cornée à l'origine d'un astigmatisme irrégulier et d'une baisse progressive de l'acuité visuelle (1). L'atteinte est le plus souvent bilatérale mais asymétrique (2).

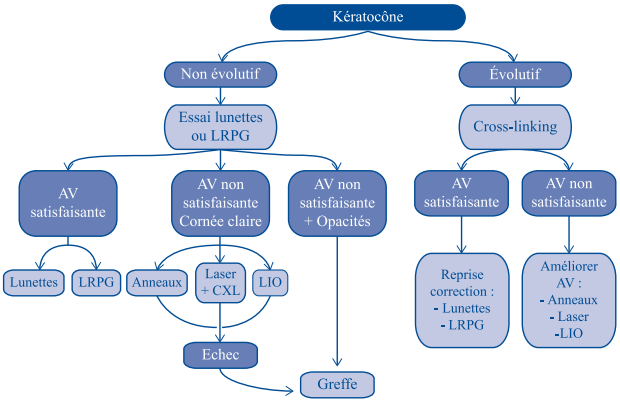
Le kératocône, qui touche indifféremment les personnes des deux sexes, est habituellement découvert chez le sujet jeune (avant 20 ans), mais peut néanmoins survenir à tout âge. C'est une pathologie d'origine multifactorielle mettant en jeu des facteurs environnementaux comme le frottement des yeux ou l'allergie et probablement des facteurs génétiques comme en témoigne la fréquence des formes familiales (3). Sa prévalence est comprise entre 1 personne sur

S. BONNEL, médecin des armées. D. SENDON, interne des HA. M. ABRIEU, médecin des armées. C. RAMBAUD, médecin des armées. M. BERGUIGA, médecin principal. F. FROUSSART-MAILLE, médecin en chef, professeur agrégé du Val-de-Grâce. P. CREPY, médecin en chef. J.-C. RIGAL-SASTOURNÉ, médecin chef des services, professeur agrégé du Val-de-Grâce.
Correspondance : Madame le médecin des armées S. BONNEL, Service ophtalmologie, HIA Percy, BP 406 – 92141 Clamart Cedex.
E-mail : sambonnelbasely@hotmail.com

2 000 et 1 sur 500 (4, 5) mais semble difficile à estimer précisément car les formes débutantes, souvent frustes, de cette pathologie passent fréquemment inaperçues. Néanmoins, la réalisation d'une topographie cornéenne au moindre doute lors des visites ophtalmologiques d'incorporation et révisionnelle, permet le dépistage et la découverte de cette pathologie chez un nombre non négligeable de jeunes militaires.

L'évolution naturelle du kératocône est imprévisible et irrégulière. Certains kératocônes peuvent rester stables pendant plusieurs années, d'autres s'aggraver très rapidement mais tous finissent néanmoins par se stabiliser en général après l'âge de 35-40 ans. La vitesse d'évolution de la maladie peut être accélérée par le frottement fréquent des yeux par le patient ou par une chirurgie réfractive cornéenne, en particulier le LASIK qui est strictement contre-indiquée dans cette pathologie. Néanmoins, l'essor de la chirurgie réfractive, par l'intermédiaire du bilan préopératoire systématique qui la précède, a permis d'améliorer la connaissance des formes débutantes de cette pathologie et d'améliorer sa prise en charge précoce.

Historiquement, le traitement de cette pathologie reposait uniquement sur l'adaptation en lentille rigide pour les formes peu évoluées et sur la greffe de cornée transfixiante dans les stades avancés avec perte de transparence cornéenne. Ces traitements restent largement utilisés mais récemment d'autres techniques se sont développées permettant de retarder le recours à la greffe de cornée, d'améliorer le pronostic visuel de ces patients jeunes et sur le plan médico-militaire, de maintenir le plus longtemps possible l'aptitude et l'emploi. Ces techniques sont le *cross-linking* du collagène cornéen qui permet la stabilisation de la pathologie en rigidifiant la cornée, et la mise en place d'anneaux cornéens intra-stromaux afin d'améliorer l'acuité visuelle. Elles s'intègrent pleinement dans la prise en charge du kératocône qui est aujourd'hui de plus en plus codifiée (fig. 1) (6). Parallèlement les techniques de greffe de cornée ont également progressé avec l'apparition de la greffe lamellaire antérieure profonde diminuant le risque de rejet de greffe.



LIO : Lentille intra-oculaire – LRPG : Lentille rigide perméable au gaz – CXL : cross linking

Figure 1. Arbre décisionnel simplifié de la prise en charge des kératocônes (6).

Le *cross linking* du collagène cornéen

Le terme *cross-linking* (CXL) est utilisé dans les sciences biologiques pour définir la formation de « ponts » après réactions chimiques entre les protéines ou d'autres molécules qui induisent un changement des propriétés physiques du matériau réticulé (7). Pendant le processus de vieillissement du corps humain, mais aussi grâce à l'exposition naturelle au rayonnement UV, des réactions enzymatiques et non enzymatiques de CXL se produisent simultanément dans tous les tissus contenant du collagène, expliquant la stabilisation naturelle des kératocônes au cours du temps.

À l'inverse des réactions enzymatiques, le CXL non enzymatique est biochimiquement irréversible et aboutit donc à une rigidification de la cornée. *In vivo*, il survient principalement du fait des aldéhydes de sucre (produits de glycation avancée) (8) augmentant avec l'âge et dans le diabète sucré, mais peut également être provoqué par des agents chimiques (glutaraldéhyde, formaldéhyde, diphénylphosphoryl, nitroalcohole, genipin…) ou une photo-oxydation (UV, rayonnements ionisants). Ces observations ont conduit au développement du CXL non enzymatique, comme thérapeutique des maladies ectasiques cornéennes, en permettant de rigidifier la cornée et d'en freiner la déformation. Les agents chimiques n'étant pas utilisable en pratique clinique, c'est sur la photo-oxydation que repose la technique actuelle : l'excitation de la riboflavine par des UVA (fig. 2).

Basée sur les recherches de Theo Seiler & Eberhard Spoerl entre 1993 et 1997 (9), la photopolymérisation du collagène cornéen par l'action des UVA repose sur la production d'espèces réactives de l'oxygène lorsque la riboflavine absorbe l'énergie des UVA permettant de générer des liaisons non seulement entre les molécules de collagène mais aussi entre le collagène



Figure 2. Irradiation cornéenne par UVA pendant un *cross-linking* photo-oxydatif.

et les protéoglycanes (10) du stroma cornéen. Cette technique a été choisie en raison de sa préservation de la transparence cornéenne, son caractère peu invasif et son effet assez localisé. Le photosensibilisateur utilisé est la riboflavine (vitamine B2), non toxique et possédant une bonne biodisponibilité. Néanmoins, pour obtenir un effet biomécanique suffisant du CXL, il est nécessaire d'obtenir une concentration suffisante de la riboflavine dans le stroma et de lui faire absorber suffisamment d'énergie.

Actuellement, le seul protocole validé est le protocole de Dresden (1). Il repose sur une abrasion de l'épithélium cornéen, afin de s'affranchir des jonctions serrées, suivi par l'application de riboflavine à 0,1 % pendant 30 min (une goutte toutes les 2 à 5 min) permettant sa diffusion dans les couches profondes du stroma (11, 12). Puis, la cornée est exposée, sur une zone de 8 mm, aux UVA (longueur d'onde 360 nm) à l'intensité de 3 mW/cm^2 pendant 30 min. Cela correspond donc à une dose totale d'énergie de 3,4 J ou à une exposition énergétique de 5,4 J/cm^2 (13). À cette dose, si l'épaisseur cornéenne est supérieure à 400 µm, la riboflavine absorbe 90 % de l'énergie du rayonnement UVA au niveau du stroma cornéen, permettant son efficacité et évitant des lésions de l'endothélium, du cristallin et de la rétine (14). De nombreuses études expérimentales *ex-vivo* ont montré la « rigidification » du tissu cornéen sans altération de sa transparence (15, 16). *In vivo*, l'évaluation de l'efficacité du traitement repose sur la mesure des paramètres biomécaniques cornéens (par l'*Ocular Response Analyser*) et sur la stabilisation ou le ralentissement de l'évolution du kératocône dont l'affirmation nécessite un suivi prolongé. Les séries dont le recul est le plus grand semblent néanmoins s'accorder sur une stabilisation, voire une diminution de l'astigmatisme et une amélioration inconstante de l'acuité visuelle.

Mais cette procédure de CXL présente tout de même quelques inconvénients : d'une part un temps de traitement total relativement long, actuellement d'environ une heure, comprenant le temps d'imprégnation de 20 à 30 min par la solution de riboflavine et le temps d'irradiation de 30 min par les UVA, et d'autre part, la nécessité de retirer l'épithélium, occasionnant une douleur postopératoire importante et un risque infectieux. C'est pourquoi de nombreuses équipes ont tenté de modifier cette procédure de CXL afin d'améliorer le confort des patients.

Certaines équipes ont d'abord essayé de s'affranchir de l'abrasion de l'épithélium réalisant le CXL transépithélial. Mais la pénétration de la riboflavine s'en trouve alors excessivement diminuée (17). Les résultats des études cliniques sont d'une grande variabilité (18-20) et semblent aujourd'hui indiquer que cette technique permet une stabilisation moins efficace du kératocône que la technique conventionnelle. D'autres ont tenté de raccourcir la procédure de CXL en diminuant le temps d'irradiation par une augmentation de l'intensité (21). Ce concept repose sur la loi photochimique de Bunsen-Roscoe de la réciprocité. Il consiste à délivrer, en un temps réduit, le même nombre de photons que le fait le CXL conventionnel en 30 min en augmentant l'irradiance lors de l'exposition. Il a été montré *ex vivo* que l'effet biomécanique sur le tissu cornéen d'une intensité à 10 mW/cm^2 pendant 9 min était comparable au protocole conventionnel (22). Ce CXL « accéléré » est encore en cours d'évaluation clinique (à grande échelle) mais les premières études cliniques semblent retrouver une efficacité similaire au CXL conventionnel (23). Certaines équipes évaluent actuellement un CXL « flash », de 3 min où l'irradiance est multipliée par 10 (de 30mW/cm^2 *versus* 3mW/cm^2) mais les études expérimentales les plus récentes semblent indiquer une efficacité moindre en rapport avec un traitement moins profond et l'insuffisance de production d'espèces réactives de l'oxygène avec des expositions aussi courtes aux UVA (24).

Enfin, une nouvelle technique transépithéliale avec imprégnation facilitée par iontophorèse est actuellement en évaluation. Cette technique vise à combiner les avantages du CXL transépithelial, comme l'absence de désépithélialisation cornéenne, tout en améliorant la pénétration cornéenne de riboflavine et en raccourcissant la durée d'imprégnation (5 min seulement) (25). Elle peut être combinée à une irradiation « accélérée » ce qui permet de raccourcir la durée totale de la procédure de 50 min à 14 min. C'est une technique non invasive, dans laquelle un faible courant électrique est utilisé pour améliorer la pénétration des molécules chargées électriquement dans le tissu selon l'équation de NERNST-PLANCK.

$$J_{tot} = \left[\left(\frac{I}{AF} \right) \frac{u_{drug}}{\sum c_i u_i z_i} + v_{A \to C} \right] . c_{drug}$$

Cette technique, très récente, est en cours d'évaluation, néanmoins les premières études cliniques et expérimentales paraissent très encourageantes. La concentration stromale de riboflavine semble supérieure à celle obtenu par CXL transépithélial bien qu'inférieure à celle du CXL conventionnel (17) mais les résultats morphologiques en imagerie de segment antérieur (AS-OCT) ou en microscopie confocale semblent comparables à ceux du CXL conventionnel à une profondeur légèrement moindre (26, 27).

Les anneaux intracornéens

Il s'agit d'anneaux de Polymethyl methacrylate (PMMA) insérés à l'intérieur du stroma cornéen après la réalisation d'une incision cornéenne et d'un tunnel intra-stromal à l'aide d'un laser femtoseconde ou, plus rarement aujourd'hui, de façon manuelle. Développés initialement dans le traitement chirurgical de la myopie, ils sont utilisés dans le traitement du kératocône depuis 1997 et leur utilisation a connu une expansion importante avec l'avènement du laser femtoseconde qui a permis d'améliorer la sécurité et la reproductibilité de la procédure.

Ces anneaux agissent comme des éléments d'espacement entre les lamelles de collagène de la cornée, produisant un remodelage cornéen à l'origine d'un aplatissement central (28). Leur indication est aujourd'hui mieux codifiée et ces anneaux peuvent être proposés aux patients intolérants aux lentilles rigides afin d'améliorer leur acuité visuelle tout en retardant le recours à la greffe, à condition que leur cornée soit suffisamment épaisse (supérieure à 400 µm) et exempte d'opacités (6). Il existe plusieurs types d'anneaux : les INTACS®, INTACS SK® (Addition Technology Inc, Fremont, California, USA) et les anneaux de Ferrara® (Ferrara Ophtalmics, Belo Horizonte, Brazil) (fig. 3), dont les différences portent essentiellement sur la forme de la section (respectivement hexagonale, ovale et triangulaire) et la taille de la zone optique (respectivement 7, 6 et 5 mm). Chacun dispose de plusieurs diamètres de section et longueurs différentes permettant un choix et une implantation personnalisée en fonction de la topographie du patient et du nomogramme fourni par le constructeur. Aujourd'hui le recul sur cette technique est important et les études retrouvent une amélioration de l'acuité visuelle et une diminution de la kératométrie, stables dans le temps, mais l'ampleur du gain visuel et de l'amélioration kératométrique restent aujourd'hui extrêmement difficile à prévoir (29).



Figure 3. Photographie d'un anneau de Ferrara® intra-stromal inférieur.

La greffe antérieure lamellaire profonde

La greffe de cornée peut être proposée en cas d'opacités cornéennes invalidantes. Le but est à la fois fonctionnel par l'amélioration de la vision mais aussi anatomique pour restaurer une courbure, une épaisseur et une transparence normales. Environ 10 à 20 % des patients porteurs de kératocône auront recours à une greffe cornéenne dans leur vie. La greffe de cornée transfixiante a longtemps été la référence dans le kératocône mais les indications se réduisent au profit de la greffe lamellaire antérieure profonde. En effet, tout en conservant les mêmes résultats réfractifs, cette dernière permet, grâce à la conservation de l'endothélio-descemet propre au patient greffé (fig. 4), une diminution du risque de rejet endothélial (30, 31) et un allongement de la durée de vie du greffon (32). Cependant, même lamellaire, la greffe de cornée reste un traitement contraignant (suivi régulier, instillation pluri quotidienne de collyres) avec un risque de complications non négligeable (rejet, infections, cataracte et glaucome cortisonique…) et est donc synonyme d'inaptitude définitive.

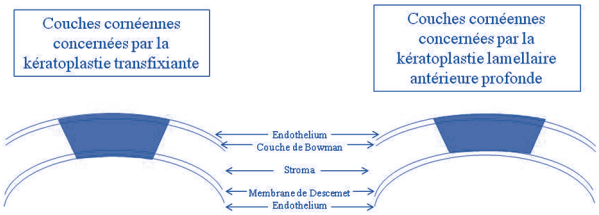


Figure 4. Schéma simplifié des couches cornéennes retirées dans les kératoplasties transfixiante et lamellaire antérieure profonde.

L'expérience du centre de chirurgie réfractive de l'HIA Percy

Nous présentons la synthèse des travaux récents du centre de chirurgie réfractive de l'HIA Percy sur ces techniques de prise en charge.

Matériel et Méthode

Une étude rétrospective incluant tous les kératocônes du service traités par anneaux Ferrara entre novembre 2009 et décembre 2012, soit 40 yeux de 31 patients militaires, a permis d'évaluer les changements induits par l'implantation d'anneaux de Ferrara sur l'asphéricité cornéenne, la kératométrie et l'acuité visuelle. Nous avons mesuré l'asphéricité dans les 20° centraux (Q) sur une topographie cornéenne par Pentacam®, l'acuité visuelle sans correction (AVSC), la meilleure acuité visuelle corrigée par lunettes (MAVAC) et la kératométrie, en préopératoire et six mois après l'implantation d'anneaux de Ferrara selon le nomogramme du fabricant, par un chirurgien expérimenté. Le résultat visuel a permis la différenciation de groupes « bons » et « mauvais » répondeurs (avec un gain respectivement de plus ou moins d'une ligne d'acuité visuelle).

Dans un deuxième temps, nous avons utilisé les 17 yeux de 10 patients ayant bénéficié également d'un *cross-linking* conventionnel pour comparer les séquences *cross-linking* suivi d'anneaux intracornéens (groupe A, 11 yeux) et anneaux intracornéens suivis de *cross-linking* (groupe B, 6 yeux). Nous avons mesuré l'acuité visuelle sans correction (AVSC), la meilleure acuité visuelle corrigée par lunettes (MAVAC), le cylindre ainsi que la kératométrie moyenne et maximale, en préopératoire et six mois postopératoire.

Biostat TGV, un *freeware* a été utilisé pour l'analyse statistique. Nous avons utilisé le test des rangs de Wilcoxon pour comparer les données pré et postopératoires et le test de Wilcoxon-Mann-Whitney pour les comparaisons entre les groupes. Le test de Spearman a été utilisé pour rechercher les corrélations entre les différentes variables cliniques. Un $p < 0,05$ a été considéré comme statistiquement significatif.

Résultats

Dans la première partie de l'étude, nous avons retrouvé 6 mois après l'implantation, une amélioration significative du facteur Q de -0,63 à -0,33 ($p = 0,002$) qui se rapprochait de la valeur physiologique (-0.23 +/- 0.08), en rapport avec l'aplatissement du cône. Nous avons également retrouvé un gain moyen de 3,6 lignes pour l'AVSC (0,21 à 0,46), de 1,1 lignes pour la MAVAC (0,59 à 0,73) et une diminution de la kératométrie moyenne de 1,4 D ($p < 0,01$). On note que 70 % des yeux traités ont gagné plus d'une ligne d'AVSC, 25 % sont restés stables, 2,5 % en ont gagné moins d'une ligne et seulement 2,5 % ont diminué leur AVSC. Sur la MAVAC, seulement 47,5 % des yeux ont gagné plus d'une ligne, 22,5 % moins d'une ligne, 17,5 % sont restés stables et seulement 12,5 % ont diminué leur vision.

Dans la seconde partie de l'étude, les résultats pré et postopératoire des deux groupes sont présentés dans les tableaux I et II. Les deux groupes étaient statistiquement équivalents sur l'ensemble des données préopératoire. Nous retrouvons une amélioration significative de l'AVSC dans les deux groupes ainsi qu'une amélioration non significative de la MAVAC. Les kératométries moyenne et maximale diminuent également dans les deux groupes (respectivement de 44,8 +/- 1,45 à 42,8D +/- 1,7 ($p < 0,05$) et de 44,0 +/- 1,74 à 43,9D +/- 1,8 pour la kératométrie moyenne et de 51,52 +/- 2,39 à 50,1D +/- 0,9 et de 51,76 +/- 2,55 à 49,5D +/- 1 pour la kératométrie maximale). Néanmoins il n'a pas été retrouvé de différences significatives entre les résultats des deux séquences.

Tableau I. Résultats pré et post- opératoire du groupe A (*cross-linking* suivi d'anneaux intracornéens, 11 yeux).

	Avant CXL	Après CXL	Après CXL+AIC	p values
AVSC	0,5+/-0,22	0,32	0,6+/-0,2	0,33
AVAC	6,4+/-0,15	0,6	0,7+/-0,14	0,43
Sphère (D)	-1,61+/-1,17	-1,8	-0,8+/-1,05	0,12
Cylindre (D)	-3,63+/-1,27	-3,23	-1,14+/-0,1	<0,05
ES (D)	-3,40+/-1,5	-3,44	-0,50+/-0,50	<0,05
K moyenne (D)	44,8+/-1,45	45,1	42,8+/-1,7	<0,05
K max (D)	51,52+/-2,39	53,75	50,1+/-0,9	0,19
Pachy (µm)	505+/-33,02	480	501+/-1	0,77
Pachy min (µm)	482+/-32,2	459	487+/-35	0,78

Tableau II. Résultats pré et post-opératoire du Groupe B (anneaux intracornéens suivis de *cross linking*, 6 yeux).

	Avant ICRS	Après ICRS	Après ICRS+CXL	P value
AVSC	2,8+/-0,19	0,52	0,62+/-0,22	<0,05
AVAC	0,7+/-0,14	0,87	0,88+/-0,17	0,14
Sphère (D)	0,7+/-0,43	0,44	-0,3+/-0,97	0,12
Cylindre (D)	-3,60+/-1,85	-2,94	-2,8+/-2,19	0,5
ES (D)	-1,1+/-0,87	-1,2	-1,7+/-1,01	0,30
K moyenne (D)	43,98+/-1,74	43,2	43,9+/-1,8	0,8
K max (D)	51,76+/-2,55	49,6	49,5+/-1	0,23
Pachy (µm)	538,8+/-22,18	540	499+/-33	0,54
Pachy min (µm)	506,8+/-38,8	518	479+/-42	0,66

Discussion

Dans la première partie de l'étude, nous constatons une amélioration de l'AVSC par l'implantation d'anneaux intracornéens. Ces résultats sont concordants avec les données de la littérature et particulièrement intéressant pour nos patients militaires. Par contre l'amélioration de la MAVAC de notre étude semble légèrement inférieure à ceux de la littérature (autour de 70 % de gain de plus d'une ligne dans les autres grandes séries) mais nous n'avons mesuré qu'une acuité visuelle corrigée par verres correcteurs et on pourrait s'attendre à une plus grande amélioration de l'acuité visuelle après adaptation en lentilles rigides, comme cela a été réalisé dans les autres études. Il est par ailleurs important de préciser que certaines adaptations en lentilles rigides qui étaient devenues impossibles ou mal tolérée du fait de l'évolution du cône, peuvent redevenir possibles après l'implantation d'anneaux intracornéens. Enfin, si nous n'avons pas retrouvé de différence significative entre les paramètres préopératoires des « bons » et « mauvais » répondeurs sur AVSC, les « bons » répondeurs sur la MAVAC présentaient des kératocônes significativement plus sévères et une MAVAC préopératoire significativement plus faible que les « mauvais » répondeurs. Ainsi, 72,2 % des patients avec une acuité visuelle corrigée inférieure à 5/10 ont gagné plus d'une ligne, contre seulement 27,3 % des patients avec une acuité supérieure à 6/10. Il semble donc que les kératocônes les plus évolués bénéficient le plus de l'implantation des anneaux de Ferrara. Néanmoins le principal avantage de cette technique est sa réversibilité puisque le retrait de ces anneaux facilement réalisable en cas de mauvais résultat visuel.

Enfin, les anneaux intracornéens sont aujourd'hui très fréquemment associés au *cross-linking* et l'association de ces deux procédures aurait un effet additif qui reste à démontrer. De même, à ce jour, l'ordre des deux interventions n'est pas établi scientifiquement. Ce point a donc fait l'objet de la deuxième partie de notre étude. Dans les deux séquences, nous avons observé une amélioration de l'acuité visuelle sans et avec correction, du cylindre, de la kératométrie moyenne et maximale. Néanmoins il n'a pas été retrouvé de différences significatives entre les résultats des deux séquences et le choix reste donc ouvert.

Aujourd'hui notre prise en charge commence donc, dans la majorité des cas, par un *cross-linking* afin de stabiliser l'évolution de la pathologie avant de proposer, dans un second temps, des anneaux intracornéens pour essayer d'améliorer l'acuité visuelle du patient, et notamment l'AVSC, particulièrement utile chez le militaire car lui permettant de s'affranchir d'une correction optique sur le terrain.

Conclusion

Le kératocône est une pathologie complexe, imparfaitement comprise et qui touche des sujets jeunes. Sa prise en charge a beaucoup évolué ces dernières années et continue de progresser rapidement. Les nouveaux traitements, représentés par le CXL (et sa dernière évolution le CXL facilité par iontophorèse) et par les anneaux intracornéens, sont particulièrement intéressants pour nos patients militaires du fait des restrictions d'emploi des lentilles précornéennes dans les armées et parce qu'ils permettent de surseoir à la greffe de cornée, synonyme d'inaptitude définitive. En effet, aujourd'hui le classement Y des patients atteints de kératocône dépend essentiellement de leur acuité visuelle après stabilisation et peut donc, si la prise en charge est rapide et adéquate, rester compatible avec une aptitude au service et aux opérations extérieures. L'ensemble de ces techniques chirurgicales sont disponibles au sein du Service de santé des armées dans le centre de chirurgie réfractive de l'Hôpital d'instruction des armées Percy qui s'applique à rester performant dans la prise en charge du kératocône, afin de permettre le maintien dans l'emploi de nos militaires touchés par cette pathologie ophtalmologique.

Les auteurs ne déclarent pas de conflit d'intérêt concernant les données présentées dans cet article.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Wollensak G, Spoerl E, Seiler T. Treatment of keratoconus by collagen cross linking. Ophthalmologe 2003 ; 100 (1) : 44-9.
2. Zadnik K, Steger-May K, Fink BA, Joslin CE, Nichols JJ, Rosenstiel CE, et al. Between-eye asymmetry in keratoconus. Cornea, 2002 ; 21 : 671-9.
3. Wang Y, Rabinowitz YS, Rotter JI, Yang H. Genetic epidemiological study of keratoconus : evidence for major gene determination. Am J Med Genet. 2000 Aug 28 ; 93 (5) : 403-9.
4. Rabinowitz YS. Keratoconus. Surv Ophthalmol. 1998 Jan-Feb ; 42 (4) : 297-319.
5. Kennedy RH, Bourne WM, Dyer JA. A 48-year clinical and epidemiologic study of keratoconus. Am J Ophthalmol, 1986 ; 101 : 267-73.
6. Fournié P, Touboul D, Arné JL, Colin J, Malecaze F. Keratocone. J Fr Ophtalmol. 2013 Sep ; 36 (7) : 618-26.
7. Raiskup F, Spoerl E. Corneal crosslinking with riboflavin and ultraviolet A. I. Principles. Ocul Surf. 2013 Apr ; 11 (2) : 65-74.
8. Spoerl E, Seiler T. Techniques for stiffening the cornea. J Refract Surg, 15 (1999) : 711-3.
9. Spöerl E, Huhle M, Kasper M, Seiler T. Increased rigidity of the cornea caused by intrastromal cross-linking. Ophthalmologe. 1997 Dec ; 94 (12) : 902-6.
10. Zhang Y, Conrad AH, Conrad GW. Effects of ultraviolet-A and riboflavin on the interaction of collagen and proteoglycans during corneal cross-linking. J Biol Chem, 2011 ; 286 : 13011-22.
11. Spoerl E, Mrochen M, Sliney D, et al. Safety of UVA-riboflavin cross-linking of the cornea. Cornea, 2077 ; 26 : 385-9.
12. Schumacher S, Mrochen M, Wernli J, et al. Optimization model for UV-riboflavin corneal cross-linking. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2012 ; 53 : 762-9.
13. Wernli J, Schumacher S, Spoerl E, Mrochen M. The efficacy of corneal cross-linking shows a sudden decrease with very high intensity UV-light and short treatment time. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2013 Jan 8.
14. Spoerl E, Mrochen M, Sliney D, Trokel S, Seiler T. Safety of UVA-riboflavin cross-linking of the cornea. Cornea. 2007 May ; 26 (4) : 385-9.
15. Wollensak G, Spoerl E, Seiler T. Stress-strain measurements of human and porcine corneas after riboflavin-ultraviolet-A-induced cross-linking. J Cataract Refract Surg, 2003 ; 29 : 1780-5.
16. Kohlhaas M, Spoerl E, Schilde T, et al. Biomechanical evidence of the distribution of cross-links in corneas treated with riboflavin and ultraviolet A light. J Cataract Refract Surg, 2006 ; 32 : 279-83.
17. Mastropasqua L, Nubile M, Calienno R, Mattei PA, Pedrotti E, Salgari N, et al. Corneal cross-linking : Intrastromal riboflavin concentration in iontophoresis-assisted imbibition versus traditional and transepithelial techniques. Am J Ophthalmol. 2013 Dec 6.
18. Filippello M, Stagni E, O'Brart D. Transepithelial corneal collagen crosslinking : bilateral study. J Cataract Refract Surg 2012 ; 38 (2) : 283-91.
19. Koppen C, Wouters K, Mathysen D, Rozema J, Tassignon MJ. Refractive and topographic results of benzalkonium chloride-assisted transepithelial crosslinking. J Cataract Refract Surg 2012 ; 38 (6) : 1000-5.
20. Caporossi A, Mazzotta C, Paradiso AL, Baiocchi S, Marigliani D, Caporossi T. Transepithelial corneal collagen crosslinking for progressive keratoconus : 24-month clinical results. J Cataract Refract Surg 2013 ; 39 (8) : 1157-63.
21. Wollensak G, Sporl E, Mazzotta C, et al. Interlamellar cohesion after corneal crosslinking using riboflavin and ultraviolet A light. Br J Ophthalmol, 2011 ; 95 : 876-80.
22. Schumacher S, Oeftiger L, Mrochen M. Equivalence of biomechanical changes induced by rapid and standard corneal cross-linking, using riboflavin and ultraviolet radiation. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2011 Nov 25 ; 52 (12) : 9048-52.
23. Touboul D, Efron N, Smadja D, Praud D, Malet F, Colin J. Corneal confocal microscopy following conventional, transepithelial, and accelerated corneal collagen cross-linking procedures for keratoconus. J Refract Surg. 2012 Nov ; 28 (11) : 769-76.
24. Mrochen M. Current status of accelerated corneal cross-linking. Indian J Ophthalmol. 2013 Aug ; 61 (8) : 428-9.
25. Vinciguerra R, Spoerl E, Romano MR, et al. Comparative stress strain measurements of human corneas after transepithelial UV-induced cross-linking : impregnation with iontophoresis, different riboflavin solutions and irradiance power. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2012 ; 53.
26. Bikbova G, Bikbov M. Transepithelial corneal collagen cross-linking by iontophoresis of riboflavin. Acta Ophthalmol 2013 Jul 15.
27. Vinciguerra P, Rechichi M, Rosetta P, et al. High fluence iontophoretic corneal collagen cross-linking : in vivo OCT imaging of riboflavin penetration. J Refract Surg 2013 ; 29 (6) : 376-7.
28. Patel S, Marshall J, Fitzke FW 3rd. Model for deriving the optical performance of the myopic eye corrected with an intracorneal ring. J Refract Surg. 1995 Jul-Aug ; 11 (4) : 248-52.
29. Ancèle E, Malecaze F, Arné JL, Fournié P. Predictive factors for successful Ferrara intracorneal ring segment implantation in keratoconus. J Fr Ophtalmol. 2011 Oct ; 34 (8) : 513-20.
30. Cheng YY, Visser N, Schouten JS, Wijdh RJ, Pels E, van Cleynenbreugel H, et al. Endothelial cell loss and visual outcome of deep anterior lamellar keratoplasty versus penetrating keratoplasty : a randomized multicenter clinical trial. Ophthalmology. 2011 Feb ; 118 (2) : 302-9.
31. Reinhart WJ, Musch DC, Jacobs DS, Lee WB, Kaufman SC, Shtein RM. Deep anterior lamellar keratoplasty as an alternative to penetrating keratoplasty a report by the american academy of ophthalmology. Ophthalmology. 2011 Jan ; 118 (1) : 209-18.
32. Borderie VM, Boëlle PY, Touzeau O, Allouch C, Boutboul S, Laroche L. Predicted long-term outcome of corneal transplantation. Ophthalmology. 2009 Dec ; 116 (12) : 2354-60.