

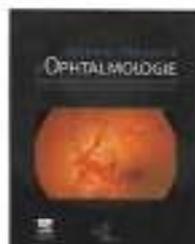


Disponible en ligne sur

ScienceDirect
www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France

EM|consulte
www.em-consulte.com



ARTICLE ORIGINAL

Modification majeure de la couleur des tatouages cornéens à propos de 3 cas[☆]



Severe color change in corneal tattoos: Report of 3 cases (French translation of the article)[◇]

E. Calas, J. Gueudry, M. Muraine*

Ophthalmology Service, Hôpital Charles Nicolle, 76031 Rouen, France

Reçu le 1^{er} mars 2018 ; accepté le 24 mai 2018
Disponible sur Internet le 28 mars 2019

MOTS CLÉS

Cornée ;
Tatouage ;
Traumatisme de
l'iris ;
Sulvi à long terme ;
Pigments

Résumé

Introduction. – Le tatouage cornéen est une technique peu invalidante dont la tolérance à moyen terme semble satisfaisante. Nous rapportons le cas de 3 patients présentant une modification importante de la couleur de leur tatouage réalisé plus de 5 ans auparavant.

Patients et méthodes. – Trois patients aux antécédents de tatouage intracornéen plusieurs années auparavant ont été analysés en raison d'une modification importante de leur couleur initiale. Le dossier de chaque patient a été repris avec analyse des photographies en lampe à fente, analyse OCT et microscopie spéculaire.

Résultats. – Les trois patients ont présenté un changement de couleur important de leur tatouage entre 5 et 6 ans après la chirurgie. La coloration avait alors évolué vers le brun-doré.

Discussion. – L'analyse rétrospective des composants de l'encre à tatouer retrouve la présence de fer dans la couleur noire. Nous pensons que les pigments composés d'oxyde de fer se transforment en oxyde de fer ferrique de couleur marron - doré en présence de dioxygène dans un milieu contenant de l'eau. La présence d'un œdème cornéen modéré dans ces trois cas de patients multiopérés, pourrait expliquer dans ces cas précis la survenue d'une oxydation habituellement non décrite.

[☆] Version française de l'article qui a été précédemment publié en anglais dans ce journal sous la référence : Calas E, Gueudry J, Muraine M. Severe color change in corneal tattoos : report of 3 cases. *Journal Français d'ophtalmologie* 2018;41:e469-75. Doi: 10.1016/j.jfo.2018.10.001.

[◇] French translation of the article that has been previously published in English language in this journal under the reference: Calas E, Gueudry J, Muraine M. Severe color change in corneal tattoos: report of 3 cases. *Journal Français d'ophtalmologie* 2018;41:e469-75 Doi: 10.1016/j.jfo.2018.10.001.

* Auteur correspondant. Ophthalmology Service, Hôpital Charles Nicolle, 1, rue de Germont, 76031 Rouen cedex, France.
Adresse e-mail : marc.muraine@chu-rouen.fr (M. Muraine).



KEYWORDS

Cornea;
Tattoo;
Follow-Up Studies;
Iris trauma;
Pigment

Conclusion. – Le tatouage cornéen reste une technique simple lorsque l'absence partielle ou totale d'iris entraîne une photophobie importante. Cependant, les modifications importantes de teinte que nous rapportons, incitent à prohiber la présence de fer dans les colorants utilisés pour la cornée et à en limiter l'utilisation en cas de vitalité endothéliale limitée.
© 2019 Publié par Elsevier Masson SAS.

Summary

Introduction. – Corneal tattooing is a noninvasive technique which appears relatively well-tolerated in the medium term. We report the cases of 3 patients with a significant change in the color of their tattoos performed over 5 years previously.

Patients and methods. – Three patients with a history of intracorneal tattooing several years previously were studied because of a significant change from their initial color. Each patient's file was reviewed with analysis of slit lamp photographs, OCT and specular microscopy.

Results. – All three patients experienced a significant color change in their tattoos between 5 and 6 years after surgery. The color had changed to golden-brown.

Discussion. – Retrospective analysis of the components of the tattoo ink found the presence of iron in the black pigment. We believe that pigments composed of iron oxide are transformed into golden-brown ferric iron oxide in the presence of oxygen in the aqueous environment. The presence of moderate corneal edema in these three cases of multioperated patients could explain, in these specific cases, the occurrence of oxidation typically not described.

Conclusion. – Corneal tattooing remains a simple and very interesting technique when partial or total absence of iris causes significant photophobia. However, the significant changes in color that we report more than 5 years later suggest omitting iron from the dyes used for the cornea and limiting its use in cases of limited endothelial prognosis. A long-term evaluation of corneal tattoos appears necessary.

© 2019 Published by Elsevier Masson SAS.

Introduction

Le tatouage cornéen est une technique encore méconnue mais très utile dans un grand nombre de situations cliniques [1–14]. Il a été initialement proposé à visée esthétique pour masquer des leucomes cornéens cicatriciels sur des yeux sans espoirs de récupération visuelle. Les indications se sont par la suite étendues au masquage des troubles de l'iris (absence partielle ou totale d'iris post-traumatique ou post-chirurgicale) [15–26] ou plus rarement des dermoïdes du limbe [27–30] ou des leucocories sur œil perdu [31]. La littérature fait état d'indications plus rares comme le masquage de l'axe optique d'un des deux yeux dans certaines diplopies monoculaires ou binoculaires réfractaires à tout traitement [32,33], ou dans la réduction des douleurs et de la photophobie lors de kératopathies bulleuses [34–36] ne relevant pas d'une greffe de cornée. Plus récemment, le tatouage cornéen a même été proposé à visée esthétique pour changer la couleur des yeux [37] et à visée réfractive dans la presbytie [38]. La tolérance et la biocompatibilité initiales sont rapportées satisfaisantes dans la majorité des cas à court et moyen terme mais les données sont rares à long terme puisqu'une seule étude très récente rapporte des résultats cliniques plusieurs années après la réalisation d'un tatouage [39]. L'objectif de notre étude est de rapporter et de discuter le cas de trois patients opérés de tatouage

cornéen et consultant plusieurs années après la chirurgie pour un changement de couleur récent important.

Matériel et méthodes

Nous rapportons le cas de 3 patients (Tableau 1) ayant bénéficié il y a plusieurs années d'un tatouage cornéen intrastromal pour masquer une aniridie post-traumatique ou post-chirurgicale étendue et qui présentent plusieurs années après une modification importante de la coloration de leur tatouage devenu alors de couleur brun-ocre. Chaque patient a été opéré par le même opérateur au CHU de Rouen, avec la même technique chirurgicale et les mêmes encres de tatouage. Chaque patient a bénéficié d'une photographie à la lampe à fente en préopératoire, en postopératoire immédiat et en postopératoire tardif. Lors du dernier examen, nous avons également réalisé chez chacun d'entre eux une pachymétrie cornéenne (Tomey, Nuremberg, Allemagne), une microscopie spéculaire (Nidek, France) et un OCT cornéen haute définition (Zeiss, Oberkochen, Allemagne).

Technique chirurgicale

La technique a déjà été décrite précédemment [23]. Après marquage de la zone centrale de la cornée d'un diamètre

Tableau 1 Tableau descriptif des 3 patients ayant bénéficié d'un tatouage cornéen et présentant une modification importante de couleur avec le temps.

Patient	Sexe	Âge (années)	Coté	Indication	Année du tatouage	Couleur des pigments	Chirurgies associées
1	F	67	Gauche	Aniridie post-traumatique	2011	Noir Blanc	Aucune
2	H	44	Gauche	Aniridie postchirurgicale	2012	Noir Blanc	Aucune
3	F	50	Droit	Aniridie post-traumatique	2012	Noir Marron	Plastie irienne

de six millimètres afin de matérialiser l'emplacement de la future néopupille, une dissection lamellaire cornéenne intrastromale est réalisée en regard de la zone d'iris manquant à l'aide d'un couteau Crescent puis d'une spatule à dissection lamellaire. L'opérateur veille bien au cours de cette dissection à ne pas entrer dans la zone centrale de 6 mm. Cette délamination intracornéenne réalise une poche stromale dans laquelle sera disposée l'encre afin de tatouer la cornée. Le colorant est sous forme pâteuse, il est glissé dans la poche stromale à l'aide d'un micro-manipulateur.

Les colorants utilisés étaient des pigments cosmétiques crémeux, de la gamme biochromaderm[®] du laboratoire Biotic Phocsa, France, et sont présentés dans des pots de 2 mL. Ils bénéficient d'un marquage C.E. permettant leur utilisation en médecine. De nombreuses teintes sont disponibles, pouvant être mélangées au sein même du stroma, afin d'obtenir la teinte désirée. Dans notre étude nous utilisons uniquement le pigment noir Charcoal[®], le pigment marron Brown[®] et le pigment blanc White[®]. Nous utilisons en systématique le pigment noir pour son effet occultant supérieur aux autres pigments traitant ainsi davantage la photophobie handicapante pour les patients. Nous y ajoutons les deux autres pigments afin d'obtenir un résultat esthétique satisfaisant.

Résultats

Patient 1

Nous rapportons le cas d'une patiente de 67 ans, ayant bénéficié dans notre service d'un tatouage cornéen sur une aniridie totale post-traumatique de son œil gauche 6 ans auparavant. Elle consulte pour une sensation de grain de sable de l'œil gauche associée à une baisse d'acuité visuelle depuis plusieurs semaines. Cette patiente est sous bithérapie hypotonisante locale pour une hypertension oculaire post-traumatique depuis plusieurs années (bétabloquant et prostaglandine).

L'examen clinique de son œil gauche rapporte une acuité visuelle avec sa correction de 1/20^e, la pression intraoculaire est de 16 mm Hg. L'examen à la lampe à fente montre une conjonctive légèrement inflammatoire, un tatouage cornéen sur 360° de couleur brune tirant vers l'ocre associé à un œdème cornéen modéré diffus. L'épithélium est

irrégulier mais l'examen à la fluorescéine est négatif. En comparant notre examen à la photographie en lampe à fente en postopératoire immédiat, nous remarquons un net changement de couleur du tatouage qui était initialement bleu par l'association de pigments noir et blanc, ainsi qu'une migration des pigments dans l'aire pupillaire.

La pachymétrie centrale est à 600 µm et la microscopie spéculaire centrale est impossible en raison de cet œdème cornéen modéré.

La coupe OCT cornée haute définition, indique que le tunnel stromal où le pigment a été inséré se situe à 190 µm de la surface cornéenne. On peut remarquer également qu'à certains endroits de la cornée du pigment a migré en sous-épithélial à moins de 50 µm de la surface. Les photos préopératoires laissent également évoquer un œdème cornéen temporal en regard du traumatisme ancien, laissant évoquer une cornée fragile au moment du tatouage. Après un traitement anti-inflammatoire de courte durée l'acuité visuelle corrigée est remontée à 6/10^e et s'est maintenue pendant les 6 mois suivants (Fig. 1 et 2).

Patient 2

Il s'agit d'un patient de 44 ans, avec pour antécédent une cataracte congénitale bilatérale opérée dans l'enfance et laissé aphake. Il avait bénéficié d'un tatouage cornéen de son œil gauche en 2012 sur une aniridie étendue post-chirurgicale à l'origine d'une photophobie handicapante. Il avait bénéficié d'un mélange de pigments noir et blanc afin de mimer un iris bleu. L'évolution postopératoire était satisfaisante. Il nous consulte 5 ans plus tard pour une gêne de son œil gauche à type de brûlures, récurrence de la photophobie et larmolement depuis plusieurs mois. Il a pour unique traitement un collyre hypotonisant local de l'œil gauche (bêta-bloquant).

L'examen clinique montre une acuité visuelle de son œil gauche à « voit les mouvements de la main » soit une acuité visuelle stable sur cet œil amblyope profond. L'examen à la lampe à fente montre une conjonctive non inflammatoire, le tatouage cornéen initialement bleu est devenu de couleur brune et le pigment a migré dans l'aire pupillaire. Un œdème cornéen modéré diffus était également visible et objectivé par une pachymétrie centrale épaissie à 610 µm à l'origine d'une surface cornéenne irrégulière. La

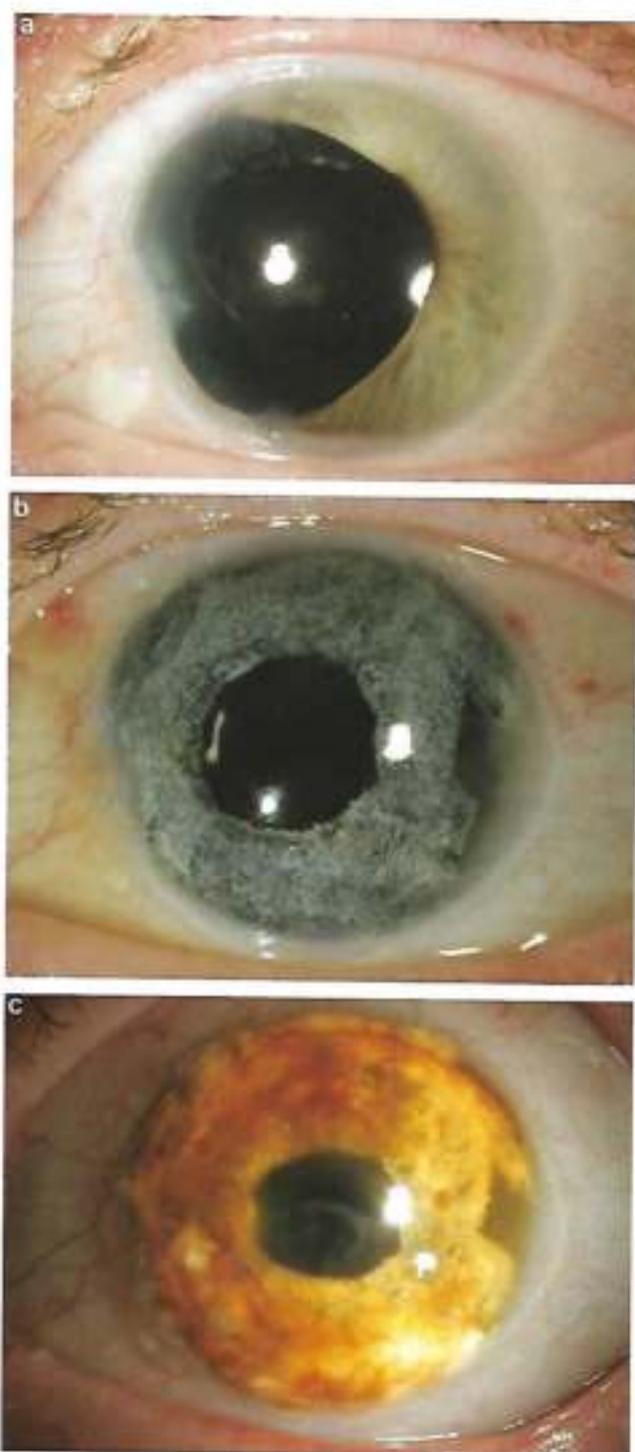


Figure 1. Évolution de l'aspect clinique de l'œil opéré (patient n° 1) : a : aspect préopératoire ; b : aspect postopératoire immédiat du tatouage cornéen mélangeant les pigments noir et blanc mimant un iris bleu ; c : aspect postopératoire avec un recul de 6 ans du tatouage cornéen devenu marron-rouille.

densité endothéliale n'était pas évaluable en raison de cet œdème.

La coupe OCT cornée haute définition, indique que le tunnel stromal où le pigment a été inséré se situe à $250\ \mu\text{m}$ de la surface cornéenne mais en nasal une couche de pigment est déposée de façon très superficielle (Fig. 3 et 4).

Patient 3

Il s'agit d'une patiente de 50 ans avec pour antécédent un traumatisme de l'œil droit dans l'enfance ayant nécessité une chirurgie de la cataracte à l'âge de 7 ans et une implantation secondaire en Allemagne à l'âge de 17 ans. Elle avait bénéficié d'un tatouage cornéen de l'œil droit dans notre service en 2012 à visée esthétique et fonctionnelle afin de limiter sa photophobie. Son tatouage était initialement de couleur marron foncé par une association de pigments noir et marron.

Nous la revoyons en 2017 soit 5 ans après la chirurgie de son tatouage. L'acuité visuelle est toujours à 6/10 comme après le tatouage. L'examen clinique à la lampe à fente montre une diffusion pigmentaire de son tatouage dans l'aire pupillaire ainsi qu'une modification de la couleur qui est devenue plus brun-ocre en comparaison avec les photographies postopératoires immédiates. La pachymétrie centrale est de $600\ \mu\text{m}$ et la microscopie spéculaire centrale rapporte une densité de $1000\ \text{cellules}/\text{mm}^2$.

La coupe OCT cornée haute définition, indique que le tunnel stromal où le pigment a été inséré se situe à $260\ \mu\text{m}$ environ de la surface cornéenne. Comme pour les précédents patients, le pigment a migré en sous-épithélial à certains endroits (Fig. 5 et 6).

Discussion

L'efficacité du tatouage cornéen ne se discute plus dans un certain nombre d'indications ophtalmologiques alors que sa tolérance fait encore débat. Ainsi le tatouage de la surface oculaire après simple désépithélialisation n'est aujourd'hui plus réalisé en raison de nombreux cas rapportés d'irritation oculaire [40–42]. Depuis, l'encre à tatouer est déposée plus profondément dans le stroma cornéen soit par des techniques de micropunctures (aiguille ou machine à tatouer) [1,3,5,10,35,43], soit dans une poche de dissection intrastromale réalisée à l'aide d'une spatule comme nous le réalisons habituellement ou plus rarement à l'aide d'un laser femtoseconde [4,15,16,18,19,31,37,44]. La localisation plus profonde du colorant permet alors d'obtenir un tatouage moins irritant et plus durable dans le temps et également d'effectuer des mélanges de pigments.

Les premiers colorants utilisés pour le tatouage comprenaient l'encre de Chine [34], l'encre d'Inde [26,45], la poussière d'or ou d'autres poudres métalliques, des colorants organiques, puis plus tard des sels métalliques [10,40,46] tel que le chlorure d'or, le nitrate d'argent et le chlorure de platinium qui entraînent moins de réactions inflammatoires. Plus récemment ont été développés des pigments minéraux micronisés de différentes couleurs tels que le noir de charbon, l'hydroxyde ferrique, l'oxyde de fer, l'oxyde ferrique, le dioxyde de titane, le phthalocyanide, permettant la réalisation de tatouages intra-stromaux de différentes couleurs [16,19,22,36,47,48]. Les différents pigments peuvent être mélangés de façon à obtenir la couleur la plus proche de celle de l'iris du patient.

De nombreuses études rapportent des résultats esthétiques très satisfaisants [2,3,5,7,16,18,19,22,32,37,44,48] mais aussi de bons résultats fonctionnels avec une nette

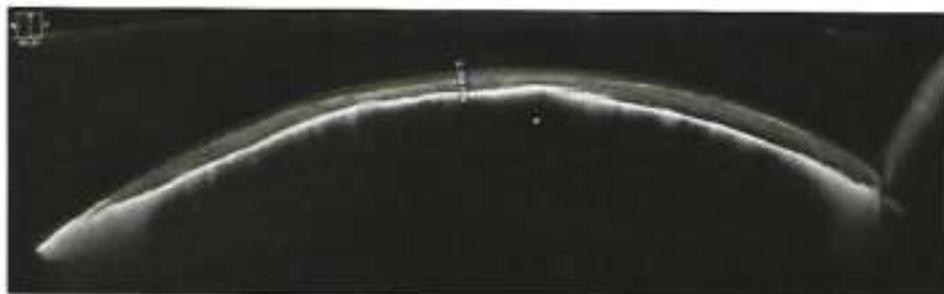


Figure 2. Coupe OCT cornée haute définition avec les différentes mesures d'épaisseur cornéenne (patient 1).



Figure 3. Évolution de l'aspect clinique de l'œil opéré (patient n° 2) : a : aspect préopératoire ; b : aspect postopératoire immédiat du tatouage cornéen mélangeant les pigments noir et blanc mimant un iris bleu ; c : aspect postopératoire avec un recul de 5 ans du tatouage cornéen devenu marron-rouille.

régression de la photophobie [16,18–20,23]. Dans la majorité des cas, il n'existe pas d'inflammation postopératoire importante [8,32,47,48]. La tolérance et la biocompatibilité des différents pigments est également plutôt satisfaisante à ce jour [47–49].

Cependant malgré une bonne tolérance pour les patients, quelques cas de complications ont été rapportés tels que des cas d'échec avec une gêne esthétique ou fonctionnelle persistante ou récidivante en postopératoire [3,5,39], d'atténuation du pigment [3,5,10,15,22,39,42], de migration pigmentaire dans l'aire pupillaire [8,15], d'inflammation [48], d'infection, d'irritation [3,41], de néovascularisation [39] ou encore de troubles trophiques avec une cicatrisation épithéliale retardée [35]. On retrouve également une notion d'intolérance au champ magnétique de l'IRM chez certains patients [39]. La plupart des études rapportent des complications à court terme. Une seule étude à notre connaissance a décrit tout récemment cette notion de changement de couleur à long terme [39]. Il s'agit de l'étude d'Allo et al., publiée en 2017 et qui rapporte 19 % de changement de couleur des tatouages cornéens à long terme. Les auteurs suggèrent dans leur discussion un mécanisme d'oxydo-réduction des pigments à base de fer à l'origine de ce phénomène.

Chez nos trois patients présentant un changement de couleur tirant vers le brun-rouille, deux avaient reçu un mélange de pigments noir et blanc et une patiente un mélange de pigments noir et marron. Le mécanisme étiologique de ce changement de couleur est difficile à mettre en avant car celui-ci est probablement mixte et patient-dépendant. Cependant en regardant la composition des différents pigments, nous avons pu voir que le pigment noir Charcoal[®] et le pigment marron Brown[®] que nous avons utilisés sont tous deux des pigments minéraux composés partiellement d'oxyde de fer ferreux de couleur noire CI77499 qui n'est autre que du tétraoxyde de trifer de formule Fe^3O_4 .

D'après les principes chimiques d'oxydo-réduction du fer, nous avons vu que le tétraoxyde de trifer Fe^3O_4 en contact avec le dioxygène O_2 donne de l'oxyde de fer ferrique brun-ocre de formule chimique Fe_2O_3 . La réaction chimique est la suivante : $4 Fe^3O_4 + O_2 = 6 \gamma Fe_2O_3$. Or la cornée est un milieu riche en dioxygène apporté par contact direct avec l'air et en provenance du film lacrymal. A contrario la peau est protégée par l'épiderme qui est la plus imperméable des barrières biologiques connues, ce qui explique que ce phénomène d'oxydation du pigment n'est pas rapporté dans les cas de tatouages cutanés mais uniquement leur atténuation. De plus cette réaction est favorisée par l'humidité,

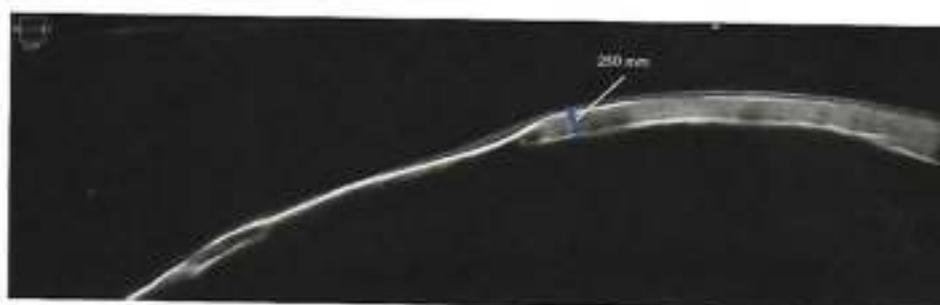


Figure 4. Coupe OCT cornée haute définition avec les différentes mesures d'épaisseur cornéenne (patient 2).

l'acidité d'un milieu et la présence de sel. Or dans nos trois cas la cornée est le siège d'un œdème modéré de la cornée aux alentours de 600 microns, œdème trouvant son origine dans la densité endothéliale probablement faible causée par le traumatisme initial. Il est tout à fait vraisemblable que l'augmentation du taux d'hydratation de la cornée ait dans ces cas précis favorisé la diffusion de l'encre ainsi que l'oxydation du fer. De plus, la localisation superficielle du pigment dans certaines zones du tatouage le rapproche dans nos trois cas de l'oxygène des larmes. Ainsi tous les facteurs favorisants sont réunis dans le milieu cornéen de ces trois patients puisque la cornée y est alors composée de 80 à 90 % d'eau, qu'elle est de pH acide du fait de l'action de l'anhydrase carbonique et riche en sel par le mécanisme de la pompe NaK ATPase.

Par conséquent le pigment noir évolue progressivement vers la couleur brune tirant vers l'ocre et prend le dessus sur le pigment blanc lorsqu'il est mélangé à celui-ci. Lorsqu'il est mélangé au marron, il se confond à celui-ci et la conséquence esthétique est moins visible.

Le pigment blanc White® est un pigment minéral également mais étant composé d'oxyde de titane, aucun phénomène d'oxydation et donc aucun changement de couleur ne peut avoir lieu s'il est déposé seul dans le stroma.

Il est intéressant de noter que les cas de modifications de couleur s'accompagnent de migration pigmentaire vers le centre, ce qui pourrait faire courir un risque de baisse d'acuité visuelle secondaire. Par chance, dans la technique que nous décrivons, nous laissons toujours une zone cornéenne centrale non tatouée de 6 mm de diamètre ce qui permet la migration du pigment sur 1 à 2 mm sans retentissement visuel. D'ailleurs, l'acuité visuelle remonte à 6/10° après résolution de l'œdème dans notre cas n° 1 et reste stable à 6/10° dans le cas n° 3 malgré la persistance de cette migration vers le centre. Le cas n° 2 est amblyope profond et n'a jamais vu plus que la vision des mouvements de la main. Nous n'observons pas de migration vers le centre lorsque nous ne décrivons pas de modification de couleur, et comme nous pensons que c'est l'œdème de cornée qui favorise l'oxydation et la migration du pigment lorsqu'il est présent, il est peu probable que le niveau d'implantation du pigment joue un rôle important. Certes, implanter plus

profondément permettrait de s'éloigner du film lacrymal mais nous préférons néanmoins que le pigment soit implanté à la jonction du tiers antérieur-tiers médian afin de masquer la cornée postérieure qui est parfois inesthétique et également pour éviter des zones où les espaces entre les lamelles de collagène sont plus lâches. Cependant le risque est d'implanter de façon plus superficielle que prévu en utilisant une dissection manuelle d'où l'idée pour certains de réaliser le plan de dissection au laser femtoseconde. L'avantage de cette technique est de pouvoir choisir alors très précisément la profondeur de découpe et donc la zone de dépôt de pigment. En revanche, il est difficile de réaliser la poche de dissection au laser au niveau de l'extrême périphérie de la cornée jusqu'au limbe ou lorsque la cornée présente des opacités cicatricielles.

On peut également discuter l'utilisation d'encre avec un pH moins acide afin de limiter le phénomène d'oxydation. Le laboratoire Biotic Phoecea (France) a d'ailleurs mis au point une nouvelle gamme de pigment appelée BiochromaEyes® dédiée exclusivement au tatouage cornéen avec un pH neutre se rapprochant davantage du pH physiologique de la cornée. Cependant ces pigments restent pour la plupart composés d'oxyde de fer. Il apparaît également conseillé, à la lueur de ces observations, de limiter l'usage des colorants lorsqu'il existe un début d'œdème cornéen ou lorsque la densité endothéliale est proche du seuil de décompensation car l'hydratation plus importante favorise à la fois l'oxydation et la migration.

Malgré tout, il semblerait que la meilleure façon de prévenir ce phénomène inesthétique et pro-inflammatoire très gênant pour le patient soit l'utilisation d'encre ne contenant pas d'oxyde de fer (comme par exemple une composition exclusivement de carbone pour le pigment noir).

Conclusion

Le tatouage cornéen représente aujourd'hui une alternative thérapeutique simple et peu risquée pouvant être proposée dans de nombreuses indications à visée esthétique et fonctionnelle. Cependant, nous ne possédons jusqu'aujourd'hui pas suffisamment de recul pour être certain de son évolution dans le temps. Le changement éventuel de couleur que nous rapportons au cours du temps doit être connu des

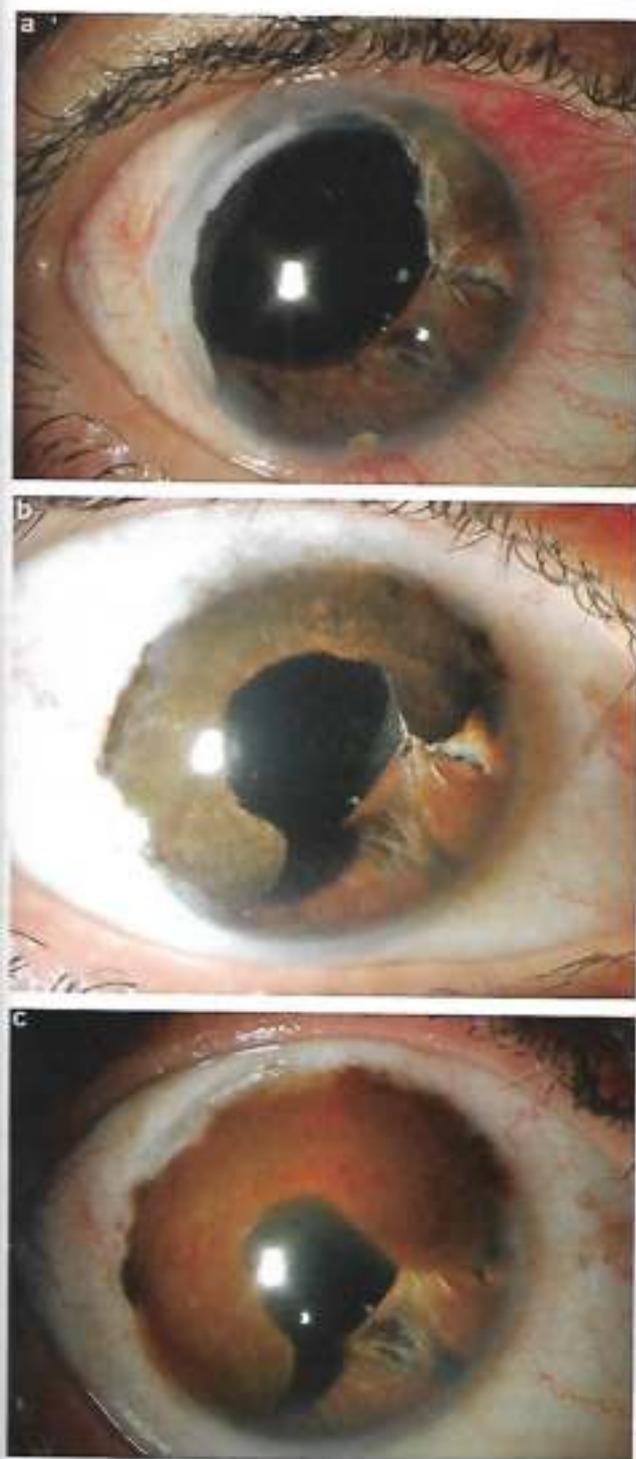


Figure 5. Évolution de l'aspect clinique de l'œil opéré (patient 3) : a : aspect préopératoire ; b : aspect postopératoire immédiat du tatouage cornéen mélangeant les pigments noir et marron mimant l'iris marron ; c : aspect postopératoire avec un recul de 5 ans du tatouage cornéen devenu marron-rouillé.

ophtalmologistes et des patients au moment du choix de la technique de réparation. Certaines conditions, comme un œdème de cornée débutant sur des yeux fragilisés, doivent limiter l'utilisation des encres à tatouer contenant du fer. Des améliorations doivent être également apportées au niveau des industriels afin de pouvoir proposer



Figure 6. Coupe OCT cornée haute définition avec les différentes mesures d'épaisseur cornéenne (patient 3).

pour l'indication cornéenne des pigments ne contenant pas d'oxyde de fer.

Déclaration de liens d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêts.

Références

- [1] Hos D, Heindl LM, Bucher F, Cursiefen C. Novel lamellar, flap-based tattooing techniques for corneal opacities in scarred and vascularized blind eyes. *Cornea* 2015;34:82–6.
- [2] Jeong J, Lee HJ, Lee SH. Corneal tattooing method using dye injection into the anterior stroma infiltrated with small air bubbles. *Acta Ophthalmol (Copenh)* 2013;91:417–8.
- [3] Kim C, Kim KH, Han YK, Wee WR, Lee JH, Kwon J-W. Five-year results of corneal tattooing for cosmetic repair in disfigured eyes. *Cornea* 2011;30:1135–9.
- [4] Kullman G, Pineda R. Alternative applications of the femtosecond laser in ophthalmology. *Semin Ophthalmol* 2010;25:256–64.
- [5] Chang KC, Kwon J-W, Han YK, Wee WR, Lee JH. The epidemiology of cosmetic treatments for corneal opacities in a Korean population. *Korean J Ophthalmol* 2010;24:148–54.
- [6] Fogla R, Gupta A, Indumathy TR. Microkeratome-assisted corneal tattooing: a case report. *Cornea* 2010;29:446–8.
- [7] Berger A, Perez MF, Pazos HSB, De Biase SG, Gomes JAP. Corneal lamellar transplantation associated with stromal tattooing for leukoma treatment: case report. *Arq Bras Oftalmol* 2009;72:247–50.
- [8] Rocher N, Hirst L, Renard G, Doat M, Bourges J-L, Mancel E. Corneal tattooing. A series of 14 case studies. *J Fr Ophtalmol* 2008;31:968–74.
- [9] Lee J-E, Jun JB, Choi HY, Oum BS, Lee JS. Corneal tattooing to mask subsequent opacification after amniotic membrane grafting for stromal corneal ulcer. *Acta Ophthalmol Scand* 2006;84:696–8.
- [10] Pitz S, Jahn R, Frisch L, Duis A, Pfeiffer N. Corneal tattooing: an alternative treatment for disfiguring corneal scars. *Br J Ophthalmol* 2002;86:397–9.
- [11] van der Velden/Samderubun EM, Kok JH. Dermatography as a modern treatment for coloring leucoma corneae. *Cornea* 1994;13:349–53.
- [12] Pickrell KL, Metzger JT, Wilde NJ, Kelley JW, Edwards BF. Permanent camouflage of corneal scars using insoluble tattoo pigments. *Surgery* 1950;28:413–27.
- [13] Roy JN. Tattooing of the cornea. *Can Med Assoc J* 1938;39:436–8.
- [14] Ziegler SL. Multicolor Tattooing of the Cornea. *Trans Am Ophthalmol Soc* 1922;20:71–87.
- [15] Cronin KM, Meyer JC, Walter KA. Phototherapeutic keratectomy for treatment of long-term dye migration after corneal tattooing. *Arch Ophthalmol Chic Ill* 1960;130:655–6 [2012].

- [16] Alió JL, Rodríguez AE, Toffaha BT, El Aswad A. Femtosecond-assisted keratopigmentation double tunnel technique in the management of a case of Urrets-Zavalía syndrome. *Cornea* 2012;31:1071–4.
- [17] Segal L, Choremis J, Mabon M. Intrastromal corneal tattooing for symptomatic iridotomies. *Br J Ophthalmol* 2012;96:464–5.
- [18] Alió JL, Rodríguez AE, Toffaha BT, Piñero DP, Moreno LJ. Femtosecond-assisted keratopigmentation for functional and cosmetic restoration in essential iris atrophy. *J Cataract Refract Surg* 2011;37:1744–7.
- [19] Alió JL, Rodríguez AE, Toffaha BT. Keratopigmentation (corneal tattooing) for the management of visual disabilities of the eye related to iris defects. *Br J Ophthalmol* 2011;95:1397–401.
- [20] Gupta D, Broadway D. Cost-effective tattooing: the use of sterile ink for corneal tattooing after complicated peripheral iridotomies: an alternative to expensive salts. *J Glaucoma* 2010;19:566–7.
- [21] Neuhann IM, Neuhann TF. Cataract surgery and aniridia. *Curr Opin Ophthalmol* 2010;21:60–4.
- [22] Alió JL, Sinerol B, Walewska-Szafran A, Miranda M. Corneal tattooing (keratopigmentation) with new mineral micronised pigments to restore cosmetic appearance in severely impaired eyes. *Br J Ophthalmol* 2010;94:245–9.
- [23] Hirsbein D, Gardea E, Brasseur G, Muraine M. Corneal tattooing for iris defects. *J Fr Ophtalmol* 2008;31:155–64.
- [24] Islam N, Franks WA. Therapeutic corneal tattoo following peripheral iridotomy complication. *Eye Lond Engl* 2006;20:389–90.
- [25] Sekundo W, Seifert P, Seitz B, Loeffler KU. Long-term ultrastructural changes in human corneas after tattooing with non-metallic substances. *Br J Ophthalmol* 1999;83:219–24.
- [26] Burris TE, Holmes-Higgin DK, Silvestrini TA. Lamellar intrastromal corneal tattoo for treating iris defects (artificial iris). *Cornea* 1998;17:169–73.
- [27] Jeong J, Song Y-J, Jung S-I, Kwon J-W. New surgical approach for limbal dermoids in children: simple excision, corneal tattooing, and sutureless limboconjunctival autograft. *Cornea* 2015;34:720–3.
- [28] Cha DM, Shin K-H, Kim KH, Kwon J-W. Simple keratectomy and corneal tattooing for limbal dermoids: results of a 3-year study. *Int J Ophthalmol* 2013;6:463–6.
- [29] Bandivadekar P, Agarwal T, Temkar S. Shave Excision With Keratopigmentation for Limbal Dermoid. *Eye Contact Lens* 2018;44:7–9.
- [30] Jacob S, Narasimhan S, Agarwal A, Agarwal A, Ai S. Combined interface tattooing and fibrin glue-assisted sutureless corneal resurfacing with donor lenticule obtained from small-incision lenticule extraction for limbal dermoid. *J Cataract Refract Surg* 2017;43:1371–5.
- [31] Kymionis GD, Ide T, Galor A, Yoo SH. Femtosecond-assisted anterior lamellar corneal staining-tattooing in a blind eye with leukocoria. *Cornea* 2009;28:211–3.
- [32] Laria C, Alió JL, Piñero DN. Intrastromal corneal tattoo treatment in a case of intractable strabismic diplopia (no binocular vision). *Binocul Vis Strabismus Q* 2010;25:238–41.
- [33] Dawson E, Maino A, Lee J. A unique use for a corneal tattoo. *Strabismus* 2009;17:98–100.
- [34] Lin H-C, Wang Y-L, Chen G-W, Yen C-H. Corneal tattooing anterior stromal puncture for treating symptomatic keratopathy. *Cornea* 2016;35:355–7.
- [35] Park JH, Um T, Kim MJ, Tchah H, Kim JY. A new multiple continuous puncture (pointage) technique for corneal tattoo. *Int J Ophthalmol* 2015;8:928–32.
- [36] Garrido-Hermosilla AM, Angeles-Figueroa RA, Gessa-Soriano M. Surgical intrastromal keratopigmentation using tattoo. *Arch Soc Espanola Oftalmol* 2014;89:286–9.
- [37] Alió JL, Rodríguez AE, El Bahrawy M, Angelov A, Zein G. Keratopigmentation to change the apparent color of the human eye: a novel indication for corneal tattooing. *Cornea* 2016;35:404–6.
- [38] Ferrari F, Letsch J, Morin L, Guignier A, Marcellin L, Bonnet T. Annular keratopigmentation (PresbyRing®) for treating myopia: postmortem animal feasibility study. *J Fr Ophtalmol* 2013;36:481–7.
- [39] Alió JL, Al-Shymali O, Amesty MA, Rodríguez AE. Keratopigmentation with micronised mineral pigments: complications and outcomes in a series of 234 eyes. *Br J Ophthalmol* [Published online août].
- [40] Khan AO, Meyer D. Corneal tattooing for the treatment of debilitating glare in a child with traumatic iris loss. *Am J Ophthalmol* 2005;139:920–1.
- [41] Panda A, Pangtey MS, Sony P. Corneal tattooing. *Br J Ophthalmol* 2002;86:1461.
- [42] Mannis MJ, Eghball K, Schwab IR. Keratopigmentation: a new method of corneal tattooing. *Cornea* 1999;18:633–7.
- [43] Paik J-S, Lee Y-K, Doh S-H. A patient with combined corneal ingrowing conjunctival tissue tattooing by micropigmentation method. *J Craniofac Surg* 2014;25:170–2.
- [44] Kim J-H, Lee D, Hahn T-W, Choi S-K. New surgical technique for corneal tattooing using a femtosecond laser. *Cornea* 2009;28:80–4.
- [45] Panda A, Mohan M, Chawdhary S. Corneal tattooing: our experiences with a lamellar pocket procedure. *Ind J Ophthalmol* 1984;32:408–11.
- [46] Remky A, Redbrake C, Wenzel M. Intrastromal corneal tattooing for iris defects. *J Cataract Refract Surg* 1998;24:1285–7.
- [47] Amesty MA, Alió JL, Rodríguez AE. Corneal tolerance to micronised mineral pigments for keratopigmentation. *Br J Ophthalmol* 2014;98:1756–60.
- [48] Sinerol B, Walewska-Szafran A, Alió JL, Klonowski P, Rodríguez AE. Tolerance and biocompatibility of micronized black pigments for keratopigmentation simulated pupil reconstruction. *Cornea* 2011;30:344–50.
- [49] Amesty MA, Rodríguez AE, Hernández E, De-Miguel MF, Alió JL. Tolerance of micronized mineral pigments for intrastromal keratopigmentation: a histopathology and immunopathology experimental study. *Cornea* 2016;35:1199–205.