Lasers
Peau et lasers : y a-t-il des idées reçues ?

Lasers “picoseconde” : évolution ou révolution ?

→ T. FUSADE[1], B. PUSEL[2], H. CARTIER[3]

Le détatouage est entré dans son âge de maturité il y a maintenant près de 30 ans, lorsque des premières études ont démontré l’intérêt de l’utilisation de temps d’impulsion très courts pour estomper et faire disparaître ces ornements cutanés fièrement arborés avant de devenir indésirables, voire détestés.

Des premiers *quality-switching* lasers aux derniers lasers “picoseconde”, augmenter la vitesse de disparition des tatouages effaçables et faire céder ceux encore résistants ont constitué un challenge pendant de nombreuses années. La difficulté technique à élaborer un laser commercialisable, apportant de plus courtes durées d’impulsion que la nanoseconde, a longtemps constitué un frein à la promesse d’accélérer de façon spectaculaire l’effacement de ces attributs dermiques.

Depuis 2 ans, l’apparition d’une nouvelle famille de lasers “picoseconde” a-t-elle apporté la solution absolue pour effectuer de façon encore plus rapide et radicale un détatouage pour lequel la demande devient de plus en plus importante ? Le fait de passer dans les durées d’impulsion de l’échelle des 10^{-9} seconde au 10^{-12} seconde constitue-t-il une révolution ou plutôt une évolution technique ?

Anatomie d’un tatouage

Pendant les 15 jours suivant le tatouage, une réaction inflammatoire va se produire autour des particules introduites dans le derme ; une nécrose épidermique liée à la multipuncture et des foyers hémorragiques y sont associés. Au terme d’un mois révolu, le tatouage apparaît enfin définitivement fixé : la cicatrisation est terminée, les phénomènes inflammatoires ont disparu, laissant les particules pigmentaires disséminées entre les trames collagéniques et souvent incorporées aux fibroblastes dermiques. On ne retrouve plus de pigments intraépidermiques emportés jusqu’à la surface par le renouvellement kératinocytaire. Au sein du derme, les particules les plus fines, inférieures à 40 nm, ont, pour une proportion, disparu ; elles ont été rapidement phagocytées, transférées par voie lymphatique jusqu’aux chaînes ganglionnaires satellites – véritable filtre tamis – dans lesquelles il est commun de retrouver du pigment lorsqu’une biopsie ganglionnaire est effectuée chez un sujet tatoué. Ainsi débarrassé des inclusions les plus fines ou épidermiques, va enfin demeurer le tatouage permanent, l’enchâssement des particules pigmentaires au sein de fibroblastes et de la trame collagénique assurant sa pérennité.

Les pigments de tatouage sont en fait un groupe très hétérogène, de taille variable, de formes multiples, circulaires ou polyédriques. Les particules qui composent un pigment sont parfois isolées, parfois regroupées en granules de plus grande taille. Élément fondamental pour la suite, une étude récente a démontré qu’en fonction des fabricants, le diamètre d’un pigment noir variait de 50 nm à plus de 1 500 nm. La composition chimique (pour une même couleur) et le spectre d’absorption du pigment étudié vont aussi constituer des paramètres d’une extrême variabilité.

Quel est le principe du détatouage ?

Cette multiplicité des types de pigments fait bien comprendre la difficulté d’appréhension d’un détatouage par laser dès que l’on passe d’un modèle théorique à la pratique. Autrement dit, à tatouages de couleur et aspect équivalents, la réponse au traitement se révélera très variable.

La mécanique de destruction des pigments de tatouage par lasers pigmentaires est complexe et, paradoxalement, sans doute encore aujourd’hui partiellement comprise. La seule certitude dans le processus de détatouage par laser est qu’il repose sur une fragmentation, une réduction par “explosions” progressives du pigment dermique. C’est cette pulvérisation, séance après séance, des particules de pigments qui va entraîner la disparition progressive du tatouage. Ces particules fragmentées vont être à leur tour éliminées par voie lymphatique, mais aussi rendues optiquement invisibles *in situ* par perte d’absorption et de réfraction de la lumière sur ces fragments devenus trop petits.

Comment fragmente-t-on les pigments ?

Sur un plan physique, la fragmentation des particules repose à la fois sur un effet thermique et mécanique : une montée brutale de leur température par transfert énergétique de l'impulsion laser et leur fragmentation par onde de choc. Ces deux mécanismes sont associés en fonction du diamètre de la particule. Ils nécessitent un confinement de l'énergie transmise par le tir laser dans un temps suffisamment court pour qu'il n'y ait pas de transfert de cette énergie au tissu avoisinant, selon le principe de photothermolyse sélective.

Le temps de confinement et le temps de diffusion thermique d'une particule de pigment évoluent avec le carré de son rayon ; la durée du tir laser, destiné à la fragmenter, devra être un peu inférieure à ces deux temps. Autrement dit, entre une particule de 100 nm et une de 1000 nm, les temps idéaux des impacts lasers vont être s'étalonner dans un rapport de 1 à 100.

Ainsi, pour un éventail de pigments noirs carbonés de 50 nm à 1500 nm, les temps d'impulsion idéaux vont évoluer dans une proportion de 1 à 900 ! Et, de ce fait, un bon échantillonnage d'impulsions utiles au détatouage s'étendrait de 10 picosecondes à 10 nanosecondes. On est bien loin du rapport maximal de 1 à 200 aujourd'hui, disponible en prenant les lasers nanosecondes les plus lents (100 ns) et les lasers picosecondes les plus rapides (450 ps soit 0,45 ns) commercialisés… Bien entendu, comme souvent les choses ne sont pas si simples, et les particules de petite taille pour des raisons physiques n'absorbent que très peu. D'ailleurs, la destruction de nombreuses particules se fait par la diffusion de l'onde de choc au-delà de la zone de tir, un peu comme les secousses sismiques ressenties à des centaines de kilomètre de l'épicentre où le conflit entre les plaques tectoniques se produit.

Conclusion

Faut-il chercher à hiérarchiser la famille des lasers à impulsions ultracourtes aujourd'hui disponibles pour pratiquer le détatouage ? Ces impulsions varient de 0,3 ns (300 ps) à 5, 10, 70, voire 100 ns en fonction des machines. Personne ne s'est jamais intéressé aux vitesses de détatouage forcément différentes selon les temps d'impulsion délivrés (déjà dans une proportion de 1 à 10) par tel ou tel laser Q-switched "nanoseconde". L'arrivée de lasers picosecondes ne fait que diminuer ces temps dans une proportion – certes appréciable mais moins spectaculaire – que l'on voudrait parfois imaginer en opposant l'ensemble de ces matériels.

Il reste certain malgré tout que la progressive et remarquable, en termes de concept, descente dans ces temps d'impulsion optimise la fragmentation des particules de tatouage les plus petites. Parler de révolution est peut être excessif, et nous sommes sans doute plutôt dans une évolution.

Reste que ce sont ces évolutions ajoutées les unes aux autres qui font les grands progrès. Reste aussi à déterminer si, par rapport aux prix élevé des machines actuellement disponibles, le gain réel généré en termes de nombre de séances est vraiment compensé par le surcoût de ces évolutions technologiques.

Pour en savoir plus

- Ross EV *et al.* Comparison of responses of tattoos to picosecond and nanosecond Q switched Nd:YAG lasers. *Arch Dermatol*, 1998;134:167-171.
- Saedi N *et al.* Treatment of tattoos with a picoseconds alexandrite laser. *Arch Dermatol*, 2012;148:1360-1363.
- Hogsberg T, Loeschner K, Loft D *et al.* Tattoo inks in general usage contain nanoparticles *Br J Dermatol*, 2011;165:1210-1218.
- Humphries A *et al.* Finite element analysis of thermal and acoustic processes during laser tattoo removal. *Lasers Surg Med*, 2013;45:108-115.
- Ho DDM, London R, Zimmerman GB *et al.* Laser tattoo removal: a study of the mechanism and the optimal treatment strategy via computer simulations. *Lasers Surg Med*, 2002;30:389-397.

1 Cabinet de Dermatologie, PARIS.
2 Cabinet de Dermatologie, SAINT-PAUL-DE-VENCE.
3 Centre Médical Saint-Jean, ARRAS.

Remerciements à Serge Mordon et Nicolas Kluger pour leur contribution bibliographique active.

Les auteurs ont déclaré ne pas avoir de conflits d'intérêts concernant les données publiées dans cet article.

SCIENCE. RESULTS. TRUST
SYNERON CANDELA

Pub EPIDUO