

Arbeitsgruppe / Groupe de travail – LASER Tattooentfernung mit dem Laser – ein Update Détatouage laser – mise au point

M.A. Adatto^{1,2}, J. Krischer³, B. Rümmlein^{4,5}

¹*Skinpulse Dermatology, Laser and Beauty Centers, Geneva*

²*Department of Dermatology, Bern University Hospital, Bern*

³*Centre Laserdermato, Meyrin, Geneva*

⁴*Dr. Rümmlein AG – House of Skin & Laser Medicine*

⁵*Smartaging Swiss Academy – Education in skin laser treatments*

Derm. Hel. 2017;29(1):22-29

Einleitung

In den USA werden jährlich mehr als 50 000 neue Tattoos gestochen. Studien schätzen die Zahl der tätowierten amerikanischen College Studenten auf 24%, während 10% der männlichen Amerikaner ein Tattoo tragen [1, 2]. Die zunehmende Popularität von Tattoos hat auch zu einer entsprechenden Zunahme an Tattooentfernungen geführt. Geschmack, Beziehungen und der soziale Status ändern sich und der empfundene Nichtkonformismus im Zusammenhang mit Tattoos führt zu einem gewissen Mass an Tabus im beruflichen und gesellschaftlichen Kontext. Demzufolge bedauern ca. 50% der Personen ihre Tätowierung [3]. Die am häufigsten angegebenen Gründe für eine Entfernung sind Partnerwechsel, Verbesserung des Selbstwertgefühls, der Wunsch die soziale Akzeptanz zu verbessern und diverse Gründe am Arbeitsplatz oder in der Familie [4].

Tattooentfernungsmethoden

Erste Hinweise auf Tattooentfernungsversuche wurden an ägyptischen Mumien gefunden, die ca. 4000 Jahre vor Christus lebten. Antike griechische Schriften beschreiben Tattooentfernung per Salzabrasion oder mit einer Paste, die Schalen von weissem Knoblauch und alexandrischem Cantharidin (Reizgift der Spanischen Fliege) beinhaltet. Tattooentfernungsmethoden kann man grob in vier Verfahrenstechniken einteilen: mechanisch, chemisch, ablativ oder selektiv [5, 6].

Die mechanischen Methoden beinhalten physikalische Pigmententfernungsmethoden wie Dermabrasion oder Exzision. Exzisionstechniken mögen für kleine Tattoos geeignet sein, sofern andere Methoden ineffizient und das Narbenergebnis tolerabel wäre. Der Vorteil der Exzision ist die vollständige Entfernung in nur einer Sitzung und möglicherweise auch geringere Kosten. Ihr Nachteil ist die bleibende Vernarbung.

Eine Anzahl chemischer Methoden fand ebenfalls Verwendung, entweder in Verbindung mit Dermabrasion oder als Monotherapie. Das Protokoll umfasst Tanninsäure und Silbernitrat, wie im Jahr 1888 erstmals von Varriot beschrieben, und wird immer noch von einigen Tattooästhetikern verwendet [7, 8]. Phenol und Trichloressigsäure Peelings werden ebenfalls immer noch verwendet [9].

Introduction

Plus de 50 000 nouveaux tatouages sont réalisés chaque année aux Etats-Unis. Des études ont révélé que 24% des étudiants de collèges américains sont porteurs de tatouages de même que 10% de la population adulte masculine [1, 2]. Conséquence de la popularité accrue des tatouages dans la population, on dénombre davantage de désirs de les effacer. Les goûts se modifient, les modes et relations interhumaines aussi et le statut social de chacun évolue au cours d'une vie. Le non conformisme observé durant la période d'adolescence débouche souvent sur une intégration sociale volontaire ou forcée par les contraintes du milieu socio-professionnel. Ces différents facteurs expliquent la haute proportion – proche de 50% – de personnes qui regrettent le geste du tatouage [3]. Les raisons invoquées le plus souvent pour retirer un tatouage sont les changements relationnels, l'amélioration de l'estime de soi, le souhait d'intégration sociale, le milieu professionnel et familial [4].

Méthodes de détatouage

Les premières traces de volonté de détatouage ont été mises en évidence sur les momies égyptiennes datant de 4000 ans avant J.-C. On a retrouvé des recettes datant de la Grèce antique utilisant des sels abrasifs, des pâtes contenant de l'ail, du clou de girofle et de la cantharidine d'Alexandrie. Les techniques pour retirer un tatouage peuvent schématiquement être divisées en 4 catégories: mécaniques, chimiques, ablatives et sélectives [5-6].

Les méthodes mécaniques comprennent les méthodes aboutissant à une élimination physique du pigment de la peau: dermatabrasion, excision ou greffes. L'excision peut se justifier pour de très petits tatouages sur des sites de cicatrisation favorable. On résout ainsi le problème en une seule séance, au prix d'une cicatrice.

Plusieurs méthodes chimiques ont été décrites, seules ou associées à une dermatabrasion. L'association acide tannique et nitrate d'argent, décrite par Varriott en 1888 [9], est parfois encore utilisée par certains tatoueurs professionnels [7, 8]. Des traitements au phénol et acide trichloroacétique sont parfois encore utilisés [9]. D'une efficacité variable, ces traitements provoquent souvent des

Während diese Methoden unterschiedlich effektiv sind, führen sie dennoch oft zu Hypo- und Hyperpigmentierungen, sowie zu Narben.

Ablative Methoden erfolgen durch nicht-selektive Energiequellen wie Kryotherapie, Dermabrasion, Elektrodesikkation oder nicht-selektive Laser wie der lang-gepulste Nd:YAG oder CW CO₂ Laser. Hierbei wird unspezifisch die Epidermis entfernt und die Basalmembran verletzt, weshalb trans-epidermale Pigmente aus der Dermis eliminiert werden können. Alle diese Methoden hinterlassen schlechte kosmetische Ergebnisse mit verbleibender Verfärbung und Vernarbung.

Die alten Laserzeiten

Während den 70er und 80er Jahren wurden zwei CW (continuous wave) Lasersysteme sehr populär bei niedergelassenen selbständigen Ärzten: der CO₂ und der Argon Laser. Sie waren klein, bezahlbar und konnten für eine Vielzahl dermatologischer Indikationen eingesetzt werden. Der CW CO₂ wurde für verschiedenste Ablationen gebraucht [10] und der CW Argon war der erste Laser zur Behandlung vaskulärer Veränderungen, wie z. B. Feuermale [11]. Eine Studie fasst das kosmetische Ergebnis der CW CO₂ Laser zur Entfernung von Tattoos zusammen [12]. Auch wenn der CO₂ Laser akzeptablere Behandlungsergebnisse erzeugte als Chemische oder mechanische Methoden, so entstanden dennoch erhebliche Narben. CW Laser waren geeignet, pigmentierte Läsionen durch Ablation oder Koagulation oberflächlicher Hautanteile zu entfernen, aber der nicht-spezifische Gewebeeffekt führte doch zu unvorhersehbaren Textur- oder Farbveränderungen [13, 14].

Mit Einführung der q-switched (QS) Laser in den späten 60er Jahren, welche im Nanosekundenbereich [10-9] arbeiten, veränderte das Ergebnis der Tattoo Laserentfernung drastisch – wenn auch zu dieser Zeit nur unter Laborbedingungen [15]. Die selektive Absorption durch das Pigment und

hyper ou hypopigmentations voire des cicatrices durables.

On regroupe sous méthodes ablatives des procédés non sélectifs tels que cryothérapie, dermatabrasion, électrodessication, lasers non sélectifs tels que Nd:YAG à longues pulsations ou CO₂ qui détruisent l'épiderme et une partie du derme afin de permettre l'élimination transépidermique du pigment. Ces techniques ont en commun une évolution cicatrielle et dyschromique désormais difficilement acceptable.

La préhistoire des lasers

Au cours des années 1970-80, deux types de lasers à émission continue ont connu une grande popularité parmi les praticiens: le CO₂ (10600 nm) et l'Argon. Petites machines à coût raisonnable, ils permettaient de réaliser de multiples gestes dermatologiques pour des indications variées [10]. L'Argon a été le premier laser utilisé dans des indications vasculaires en Dermatologie, notamment pour les angiomes plans [11,12]. Le résultat cosmétique cicatriel après laser à émission continue, quoique plus favorable qu'après des interventions chimiques ou ablatives, demeurait toutefois inacceptable puisque l'effet thermique est non spécifique pour les tissus traités [13, 14].

L'arrivée des lasers "Q-switched" ou à commutation-Q mis au point dès la fin des années 1960 et permettant des impulsions très courtes dans le registre des nano [10-9] secondes, a permis de modifier radicalement la prise en charge des tatouages, initialement disponibles uniquement dans des conditions expérimentales. Ces lasers, une fois parvenus dans le milieu clinique, allaient devenir le premier étalon-or du détatouage.

L'ère moderne du détatouage

La description en 1983 de la photothermolysé sélective et du temps de relaxation thermique par

Tableau 1. Lasers QS et picosecondes disponibles dans le commerce avec leurs caractéristiques et leur efficacité sur les différents types de pigments.

Laser type/nom	Longueur d'ondes (nm)	Durée d'impulsion	Efficacité sur les pigments
QS YAG	532	5-10 nsec	Rouge +++
QS YAG	1064	5-10 nsec	Noir +++(+)
QS rubis	694	5-20 nsec	Noir +++(+) Bleu + Vert (+)
QS Alexandrite	755	50-100 nsec	Noir +++(+) Bleu +(+) Vert +
Picoseconde YAG	532	375 psec	Rouge ++++ Jaune +++ Orange +++ Violet +++
Picoseconde YAG	1064	450-650 psec	Noir ++++
Picoseconde Alexandrite	755-785	300-750 psec	Noir ++++ Bleu +++ Vert +++ Violet +++

die extrem kurze Pulszeit der q-switched Laser machte sie zum "goldenen Standard" der Tattooentfernung.

Die moderne Ära der Tattooentfernung

Eine Revolution in der Tattoo Laserentfernung erfolgte, als das Konzept der selektiven Photothermolysen und der thermalen Relaxationszeit von Anderson und Parrish 1983 vorgestellt wurde [16]. Die nun aktualisierte Theorie propagierte, dass die durch Laser erzeugte Verletzung auf mikroskopische Zielstrukturen begrenzt werden könnte, wenn eine selektive Absorption bei der Zielstruktur stattfände und eben nicht bei den umgebenden Strukturen. Dies soll unter der Voraussetzung geschehen, dass das Licht in einer Zeitspanne abgegeben und absorbiert werden soll, die kürzer oder gleich lang ist wie die Zeit, die die Zielstruktur benötigt, die absorbierte Energie an die umgebenden Strukturen abzugeben.

Zu einem grossen Teil werden Tattooopigmente von Gewebezellen phagozytiert – ähnlich wie Melanosomen. Die Absorption der Lichtimpulse durch das Tattooopigment ist der erste und wichtigste Schritt. Zwei Punkte sind bei der Auswahl der idealen Wellenlänge wichtig: Erstens ist es entscheidend, dass die Laserwellenlänge, die für die Tattooentfernung gewählt wird, mit dem Absorptionsspektrum der Tattooopigmente übereinstimmt [17]. Wenn es keine Absorption gibt, kann es auch keine Reaktion geben. Jede Farbe eines Tattoos benötigt die Behandlung mit der Laserwellenlänge, die auch selektiv absorbiert wird.

Zweitens muss die Pulsdauer kürzer sein als die thermale Relaxationszeit der Zielstruktur. Üblicherweise werden Pulse im Nanosekundenbereich benutzt. "Q-switching" (Güteschaltung) macht es möglich, sehr hohe Energien (bis Gigawatt) in extrem kurzer Zeit abzugeben.

Anderson et Parrish [16] ont constitué une véritable révolution dans le monde des lasers médicaux. L'idée de pouvoir confiner au maximum l'énergie du laser à l'intérieur d'une cible microscopique intra-cutanée en utilisant les paramètres appropriés selon la couleur et la taille de cette cible a enfin permis de d'envisager des traitements sélectifs, c'est-à-dire sans léser les structures de voisinage. En permettant de réaliser des impulsions plus courtes que le temps nécessaire à la cible pour transférer la chaleur reçue du laser à son environnement immédiat, on évite les effets collatéraux non spécifiques.

Dans le domaine des tatouages, les particules de pigment constituant la cible pigmentée du laser se trouvent confinées dans les mélanosomes intracellulaires. C'est donc cette cible spécifique qu'il s'agit d'atteindre, en tenant compte des couleurs et de la taille des particules. L'affinité et donc l'absorption de l'énergie laser par les particules est l'étape cruciale du traitement.

Deux paramètres sont essentiels pour un bon traitement: tout d'abord la longueur d'onde du laser doit correspondre au spectre d'absorption des particules pigmentées [17]. Sans absorption, il n'y a pas de réaction. Ainsi chaque couleur de pigment dans un tatouage nécessite l'utilisation d'une longueur d'onde adaptée qui sera sélectivement déposée dans la cible et si possible le moins possible absorbée par les chromophores (structures pigmentées) ou cibles naturelles voisines de la peau, en particulier l'hémoglobine, la mélanine et l'eau.

Ensuite, la durée d'impulsion laser doit être plus courte que le temps de relaxation thermique de la structure cible. Pour des particules de pigment habituelles très petites, une durée d'impulsion dans le registre des nanosecondes est utilisée depuis longtemps, afin de minimiser les effets thermiques non spécifiques et d'assurer ainsi un traitement aussi sélectif que possible. La technologie à commutation-Q a été choisie puisqu'elle permet de réaliser des impulsions extrêmement

Tabelle 1. Im Handel erhältliche QS- und Pikosekundenlaser mit ihren Eigenschaften und Wirkungen auf die verschiedenen Pigmentfarben.

Laser Typ/Name	Wellenlänge (nm)	Dauer des Impuls	Wirkung auf den Pigmentfarbe
QS YAG	532	5-10 nsec	Rot +++
QS YAG	1064	5-10 nsec	Schwarz +++)
QS rubin	694	5-20 nsec	Schwarz +++) Blau + Grün (+)
QS Alexandrit	755	50-100 nsec	Schwarz +++) Blau ++) Grün +
Pikosekunden YAG	532	375 psec	Rot +++++ Gelb +++ Orangengelb +++ Violett +++
Pikosekunden YAG	1064	450-650 psec	Schwarz +++++
Pikosekunden Alexandrit	755-785	300-750 psec	Schwarz +++++ Blau +++ Grün +++ Violett +++

Die sofortige Aufhellung der Oberhaut wird durch eine Gasbildung, das Ödem und die Fragmentierung der Pigmente verursacht [18]. Das Verblasen der Farbe, welche in den Wochen nach der Behandlung beobachtet werden kann, liegt an der Phagozytose und Entfernung der fragmentierten Pigmentpartikel. Etwa vier Wochen nach der Therapie ist das freie Pigment wieder intrazellulär eingeschlossen [19]. Aufgrund dieser zeitlichen Vorgaben sollten Nachfolgebehandlungen frühestens nach vier Wochen durchgeführt werden. Längere Intervalle reduzieren darüber hinaus das Risiko für Pigmentveränderungen.

Vier Wellenlängen sind heute in q-switched Form verfügbar:

1. Frequenzverdoppelter Nd:YAG mit 532nm (5-10 ns)
2. Ruby mit 694 nm (25-40 ns)
3. Alexandrit mit 755 nm (50-100 ns) und
4. Nd:YAG mit 1064 nm (5-10 ns).

Vergleichende Studien der vier Wellenlängen sind erfolgt. Obwohl Ruby, Alexandrit und Nd:YAG 1064 nm alle effektiv sind bei dunklen Farben, wird berichtet, dass Ruby und Alexandrit etwas effizienter sind als Nd:YAG (20, 21). Dennoch sollte Nd:YAG bei dunkleren Hauttypen auf Grund der geringeren Absorption durch Melanin und der besseren Gewebepenetration präferiert werden. Der Alexandrit ist bei blauen und grünen Tattoos am effizientesten und der frequenzverdoppelte Nd:YAG 532nm kann bei roten Tattoos effizient sein, obwohl die Entfernung roter Tattoos generell eine Herausforderung bedeutet, da es keine selektiven Wellenlängen gibt, die nicht auch von natürlichen endogenen Chromophoren absorbiert werden [22].

Blau-schwarze carbon-basierte Amateurtattoos reagieren am besten und benötigen üblicher-

courtes mais de très haute énergie, par exemple jusqu'à quelques gigawatts.

Suite aux impulsions laser, on observe un blanchiment de la peau traitée correspondant à la formation de microvésicules de gaz dans l'épiderme et/ou le derme, ainsi qu'à l'œdème créé par l'énergie du laser. Les particules pigmentées du tatouage sont alors déjà fragmentées [18]. Les particules de pigment fragmentées sont phagocytées durant plusieurs semaines par les cellules inflammatoires qui les éliminent, correspondant cliniquement à l'éclaircissement progressif du tatouage. Les particules pigmentées libérées dans l'espace intercellulaire qui ne sont pas éliminées par le système inflammatoire sont phagocytées à nouveau après environ 4 semaines [19]. Il convient par conséquent de respecter un délai minimal de 4 semaines entre les séances laser. Des intervalles plus longs permettent de réduire le risque de troubles pigmentaires dans la peau.

On dispose désormais de 4 longueurs d'ondes pour les lasers à commutation-Q:

1. Nd-YAG à fréquence doublée 532 nm (5-10 nsec),
2. Rubis à 694 nm (25-40 nsec),
3. Alexandrite à 755 nm (50-100 nsec),
4. Nd-YAG à 1064 nm (5-10 nsec).

Des études comparatives ont été réalisées. Parmi les lasers utilisés pour les tatouages foncés (bleus-noirs), le Rubis et l'Alexandrite semblent légèrement supérieurs au Nd-YAG, lequel pénètre toutefois davantage la peau et permet également de traiter des peaux plus mates puisque moins absorbé par la mélanine. L'Alexandrite est le plus efficace pour les tatouages verts et bleus. Le 532 nm est utilisé pour les tatouages rouges, avec la difficulté liée à la coexistence de chromophores endogènes qui rendent le traitement moins spécifique [22].

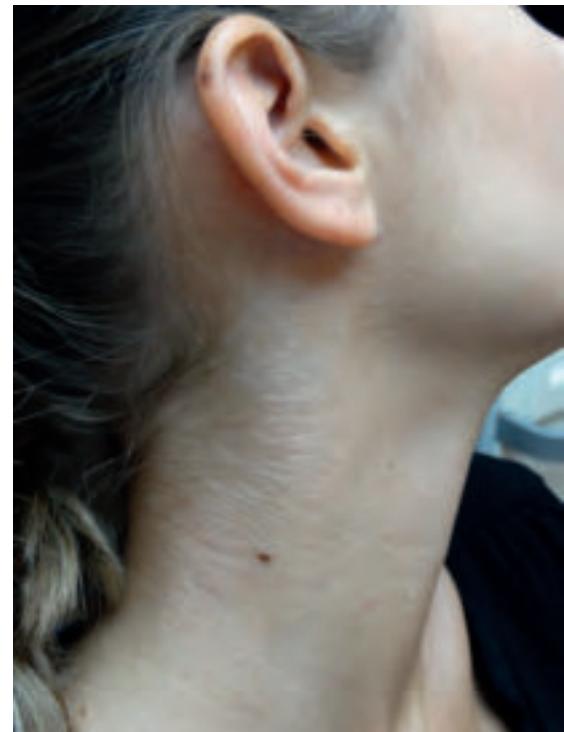


Abb. 1. Vor und nach fünf Sitzungen von Laser Pikosekunden 755 nm und 500 psec. Die diskrete noch sichtbare Hypopigmentation verblasst im Prinzip spontan im Laufe der nächsten Sonnenausstellungen.

Fig 1. Pré & post cinq séances de laser picoseconde à 755 nm et 500 psec. La discrète hypopigmentation encore visible s'estompe en principe spontanément lors des prochaines expositions solaires.

weise fünf bis sieben Behandlungssitzungen mit einem QS Ruby, Alexandrit oder Nd:YAG 1064 nm Laser. Im Gegensatz hierzu können bei professionellen Tattoos, die eine größere Farbdichte enthalten 10-15, manchmal sogar mehr als 20 Sitzungen nötig sein. Traumatische Tattoos durch Schotter können ebenfalls behandelt werden. Das Ansprechen ist schlechter vorhersagbar wegen der Heterogenität der Partikel [23]. Vorsicht ist geboten bei Schmauchspuren von Schiesspulver oder Feuerwerkskörpern, da der Laser Mikroexplosionen auslösen kann, die ihrerseits pockenartige Narben hinterlassen können [24]. Amalgan Tattoos bedingt durch Partikeleinlagerungen während zahnärztlicher Eingriffe können ebenfalls mit q-switched Alexandrit, Ruby oder Nd:YAG Lasern entfernt werden [25].

Die wichtigsten Nebenwirkungen durch q-switched Laser

Die erste publizierte Nebenwirkung von q-switched Lasern war die Dunkelverfärbung [26]. Dieses Phänomen wurde seither mehrfach beschrieben. Außerdem wird es als ein echtes Risiko bei der Behandlung bestimmter farbiger Tattoos, insbesondere bei weiß, Hautfarben, rosa oder rot, wahrgenommen. Häufig wird dies auch bei Permanent Makeup gesehen, was durch die Tatsache bedingt ist, dass gerade hier diese Töne oft Verwendung finden [27, 28]. Die Dunkelverfärbung wird erklärt durch eine Umwandlung von Eisenoxid (Fe_2O_3), welches rot ist, in schwarzes Eisenoxid (FeO). Eine ähnliche Reaktion tritt auf, wenn Titandioxid, welches in weißer Farbe enthalten ist oder in helle Farben hereingemischt wird, um deren Leuchtkraft zu erhöhen, mit Laserlicht beschossen wird [29]. Diese Reaktion ist eine rein chemische Transformation induziert durch die Absorption des Laserlichtes vom Eisenoxid. In den meisten Fällen ist das schwarze Pigment unerwünscht und ziemlich therapieresistent gegenüber q-switched Laserbehandlungen. Es ist daher sehr empfehlenswert, einen Probeschuss bei Verdacht auf Eisenoxid durchzuführen. Dies gilt insbesondere für Permanent Makeup. In diesem Fall ist die Verwendung eines Picosekundenlasers zu empfehlen, wie später ausgeführt wird.

Die neuen Picosekundenlaser

Der Widerstand des Pigments gegenüber q-switched Lasern ist das Hauptproblem. Wie bereits ausgeführt gibt es vier verfügbare Wellenlängen: 532, 694, 755 und 1064 nm. Die Laserwellenlänge muss vom Zielchromophor absorbiert werden und die photoakustische Schockwelle auslösen. Wenn es keine Absorption gibt, wird der Laser ineffizient sein. Eine Studie von Bäumler et al. [30] über die Zusammensetzung von Tattooarbeiten konnte zeigen, dass einige Farben wie zum Beispiel Gelb ihr Absorptionsmaximum in einem Bereich haben, in dem es keinen Laser gibt, nämlich 480 nm. Einige andere Farben, insbesondere grün, blau und ihre Mischungen wie türkis widerstehen häufig der Entfernung. Auch einige schwarze Tattoos werden nach einigen q-switched Lasersitzungen resistent, weil die verbleibenden Partikel zu klein werden, um zertrümmert zu werden. Wird in diesem Falle die Fluence erhöht, kommt es zu

Les tatouages amateurs bleus-noirs à base de carbone répondent le mieux au traitement: il suffit généralement de maximum 5-7 séances de Rubis, Alexandrite ou Nd-YAG à 1064 nm. Au contraire, les tatouages professionnels qui contiennent de fortes quantités de pigment nécessitent parfois 10-15 séances et parfois plus de 20. Les tatouages traumatiques, par exemple avec des particules de gravier, peuvent souvent être favorablement effacés. L'évolution dépend toutefois de la nature et de la taille des particules incarnées après l'accident [23]. Les tatouages accidentels avec de la poudre à canon constituent toutefois une contre-indication au laser puisque la poudre est susceptible d'exploser dans la peau sous l'effet du traitement, avec des séquelles cicatricielles supplémentaires [24]. Les tatouages intrabuccaux provoqués par les amalgames dentaires peuvent être pris en charge avec l'Alexandrite, le Rubis ou le Nd-YAG à 1064 nm [25].

Principaux effets secondaires liés aux lasers à commutation-Q

La première réaction indésirable décrite a été le virage foncé d'un pigment rouge, blanc, couleur chair ou rose après laser [27, 28]. Le changement de couleur s'explique par la transformation d'oxyde ferrique (Fe_2O_3) en oxyde ferreux (FeO) de couleur noire. Ces pigments, utilisés dans certains maquillages permanents, ont conduit à l'attitude de proposer systématiquement une zone test avant de réaliser le traitement proprement dit, si on suspecte la présence d'oxyde ferrique. Une réaction similaire a été documentée lorsque des tatouages traités au laser contenaient des micro-particules de titane [29], particules parfois ajoutées à des tatouages blancs ou foncés dans le but de les rendre plus brillants. Dans ces cas, on recourt désormais au laser picoseconde (voir ci-dessous).

Les nouveaux lasers picosecondes

La résistance de certains types de pigments aux lasers à commutation-Q constitue un problème majeur depuis de nombreuses années. Les 4 longueurs d'ondes déjà décrites pour les laser QS: 532, 694, 755, 1064 nm ne permettent pas l'effacement complet de tous les tatouages ni de toutes les couleurs. Une réaction photo-acoustique est nécessaire afin de pouvoir fragmenter le pigment du tatouage et obtenir un effet visible. La longueur d'onde du laser doit pour cela être bien absorbée par le pigment présent. En l'absence d'affinité du pigment pour la longueur d'onde, il n'y a pas de réaction de fragmentation et le traitement est inefficace. Une étude menée par Bäumler et al. [30] a démontré que certains pigments jaunes ont un pic d'absorption dans une partie du spectre visuel dans laquelle nous ne disposons pas de laser, par exemple aux environs de 480 nm. Certains verts et turquoises sont connus pour résister plus souvent aux lasers. Après quelques séances de laser nanosecondes, on observe parfois un plafonnement du résultat, lié à une trop petite taille du pigment résiduel. Avec ces lasers, en augmentant la puissance d'impulsion (fluence), on risque de favoriser les effets secondaires thermiques.

einem unspezifischen thermischen Schaden des umgebenden Gewebes mit der Folge einer hypopigmentierten Narbe.

Um dieses Problem zu lösen wurden bereits in den späten 90er Jahren Picosekundenlaser experimentell getestet, oft mit sehr erfolgversprechenden Ergebnissen. Indem die Pulsdauer um den Faktor 10-50 verglichen mit q-switched Lasern verkürzt wurde, ist es gelungen, bessere photoakustische Effekte auf Tattooartikel zu erzeugen. Hierdurch können die Partikel feiner fragmentiert und somit auch besser eliminiert werden. Gleichzeitig wird der thermische Schaden reduziert, der für die bekannten hypopigmentierten Narben verantwortlich ist.

Der erste kommerziell verfügbare Picosekunden Laser kam im Jahr 2012 auf den Markt [32, 33] und war ein 755 nm Alexandrit Laser mit 750 psec. Seitdem konnte die Pulsdauer auf 350-500 psec verringert werden und mittlerweile sind mindestens drei Wellenlängen pro Lasersystem verfügbar (1064, 532, 755-785 nm), denn auch im Bereich von Picosekunden sind Tattooalimente nicht farbenblind. Die größten Vorteile der Picosekundenlaser gegenüber den bisherigen Nanosekundenlasern sind folgende: die Zahl der erforderlichen Sitzungen reduziert sich [34] und daher wird weniger Zeit benötigt, die Tätowierung komplett zu entfernen. Zudem gibt es eine bessere Clearance bei den bisher sogenannten "resistenten" Farben, besonders bei gelb, blau und grün [35]; Restschatten von Tätowierungen, die nach vielen Sitzungen mit konventionellen Lasern verblieben waren, sind weiter entferntbar [36]; wenn eine Farbe sich dunkel verfärbt – und das tut sie auch bei Picosekundenlasern – so lässt sie sich doch mit dieser Technik leichter entfernen [37]. Tabelle 1 fasst die Charakteristika von q-switched Nanosekundenlasern und Picosekundenlasern zusammen und stellt ihre Effekte auf Pigmente – entsprechend ihrer Wellenlänge – dar.

Zusammenfassung

Tattoo Laserentfernung ist seit mehr als 20 Jahren ein etabliertes Verfahren, welches mit sogenannten q-switched Lasern durchgeführt wird. Ihre Vor- und Nachteile, wie zahlreiche Sitzungen, resistente Farben und das Risiko verbleibender Narben sind mittlerweile gut bekannt. Daher stellen Picosekundenlaser eine signifikante Verbesserung der Tattoo-Laserbehandlung dar. Üblicherweise werden weniger Sitzungen benötigt, daher ist die Gesamtbehandlungszeit kürzer als bei den bisherigen Nanosekundenlasern. Dies stellt einen Vorteil für den Patienten dar. Die Verwendung der Picosekundentechnik ermöglicht es dem Behandler, auch schwierige Situationen wie resistente Farben, Dunkelverfärbungen oder verbleibende Farbreste nach Nanosekundenlasern einfacher zu behandeln. Da es sich bei den Picosekundenlasern um eine neue Technologie handelt, sind noch nicht alle optimalen Behandlungsparameter gefunden. Auch der Wirkungsmechanismus ist noch nicht vollständig verstanden. Weitere Studien sind erwünscht, um das Verständnis weiterhin zu verbessern.

Afin de progresser dans toutes ces situations d'échec rencontrées avec les lasers à commutation-Q en nanosecondes, des études expérimentales ont été réalisées dès la fin des années 1990 avec des lasers à impulsions plus courtes encore, de l'ordre des picosecondes [10,12], avec des résultats encourageants [31]. En écourtant les durées d'impulsions d'un facteur 10-50, on a pu réaliser des chocs photoacoustiques bien plus efficaces sur les particules pigmentaires. Le traitement par picosecondes a ainsi permis une bien meilleure fragmentation du pigment, permettant une meilleure résorption, une réduction nette des risques thermiques et des risques d'hypopigmentations observés avec les lasers nanosecondes.

Le premier laser picoseconde commercialisé en 2012 a été un Alexandrite à 755 nm fonctionnant avec des durées d'impulsions de 750 psec. Depuis lors, on a pu réduire les durées d'impulsions à 350-500 psec. Désormais, au moins 3 différentes longueurs d'ondes sont disponibles en picosecondes: 532, 755-785, 1064 nm, puisque les particules de pigment des tatouages sont également longueur d'ondes dépendantes, comme pour les lasers nanosecondes. Les principaux avantages des lasers picosecondes par rapport aux lasers nanosecondes QS sont: moins de séances requises [34], et donc moins de temps pour parvenir à une disparition complète. On parvient désormais à mieux éliminer certains tatouages précédemment considérés comme "résistants", en particulier les coloris jaunes, bleus et verts [36]. Lorsque le pigment a foncé après laser, on parvient plus facilement à l'éliminer avec un picoseconde [37]. Le tableau 1 résume les caractéristiques des laser nano et picosecondes, leurs affinités pour les pigments, en fonction de leur longueur d'ondes.

Conclusions

La prise en charge des tatouages est bien documentée depuis une vingtaine d'années en utilisant des lasers nanosecondes à commutation-Q. Leurs avantages et inconvénients, notamment le nombre de séances nécessaire, le risque de résistance et le risque cicatriciel, sont désormais bien établis. Les lasers picosecondes représentent une nouvelle génération avec des appareils plus performants et moins risqués pour la démarche du détatouage. Le nombre de séances réduit, le moindre risque cicatriciel et la meilleure tolérance du patient constituent autant de facteurs favorables. Le médecin peut désormais plus facilement terminer un détatouage en utilisant les picosecondes, traiter certaines couleurs encore récemment considérées résistantes. Les lasers picosecondes étant encore relativement récents, la compréhension et les connaissances médicales les concernant ne cesseront de progresser afin d'optimiser encore davantage leur utilisation.

Références

1. Makkai T, McAllister I: Prevalence of tattooing and body piercing in the Australian community. *Commun Dis Intell* 2001;25:67–72.
2. Armstrong ML, Roberts AE, Koch JR, Saunders JC, Owen DC, Anderson RR: Motivation for contemporary tattoo removal: a shift in identity. *Arch Dermatol* 2008;144:879–884.
3. Antoszewski B, Sitek A, Fijałkowska, M, Kasielska A, Kruk- Jeromin J: Tattooing and body piercing – what motivates you to do it? *Int J Soc Psychiatry* 2010;56:471–479.
4. Varma S, Lanigan SW: Reasons for requesting laser removal of unwanted tattoos. *Br Dermatol* 1999;140:483–485.
5. Peris Z: Removal of traumatic and decorative tattoos by dermabrasion. *Acta Dermatovenerol Croat* 2002;10:15–19.
6. Goldstein N, Penoff J, Price N, Ceilley, RI, Goldman L, Hay- Roe V, Miller TA: VIII. Techniques of removal of tattoos. *J Dermatol Surg Oncol* 1979;5:901–910.
7. Variot G: Nouveau procédé de destruction des tatouages. *C R Soc Biol* 1888;11:836–838.
8. Van der Velden EM, van der Walle HB, Groote AD: Tattoo removal: tannic acid method of Variot. *Int J Dermatol* 1993;32:376–380.
9. Piggot TA, Norris RW: The treatment of tattoos with trichloracetic acid: experience with 670 patients. *Br J Plast Surg* 1988;41:112–117.
10. McBurney El, Rosen DA: Carbon dioxide laser treatment of verrucae vulgares. *J Dermatol Surg Oncol* 1984;10(1): 45–48.
11. Apfelberg DB, Maser MR, Lash H: Extended clinical use of the argon laser for cutaneous lesions. *Arch Dermatol* 1979;115:719–721.
12. Arellano CR, Leopold DA, Shafiroff BB: Tattoo removal: comparative study of six methods in the pig. *Plast Reconstr Surg* 1982; 70(6): 609–703.
13. Apfelberg DB, Maser MR, Lash H, Rivers JL: Progress report on extended clinical use of the argon laser for cutaneous lesions. *Lasers Surg Med* 1980; 1: 71–83.
14. Apfelberg DB, Laub D, Maser MR, Lash H: Pathophysiology and treatment of decorative tattoos with reference to argon laser treatment. *Clin Plast Surg* 1980; 7: 369–377.
15. Goldman L, Rockwell RJ, Meyer R, Otten, R, Wilson RG, Kitzmiller KW: Laser treatment of tattoos: a preliminary survey of three year's clinical experience. *JAMA* 1967;201:841–844.
16. Anderson RR, Parrish JA: Selective photothermolysis: precise microsurgery by selective absorption of pulsed radiation. *Science* 1983;220:524–527.
17. Baumler W, Eibler ET, Hohenleutner U, Sens B, Sauer J, Landthaler M: Q-switch laser and tattoo pigments: first results of the chemical and photophysical analysis of 41 compounds. *Lasers Surg Med* 2000;26:13–21.
18. Dozier SE, Diven DG, Jones D, Brysk, M, Sanchez RL, Motamedi M: The Q-switched Alexandrite laser's effects on tattoos in guinea pigs and harvested human skin. *Dermatol Surg* 1995;21:237–240.
19. Pfirrmann G, Karsai S, Roos S, Hammes S, Raulin C: Tattoo removal – state of the art. *J Dtsch Dermatol Ges* 2007;5:889–897.
20. Leuenberger ML, Mulas MW, Hata TR, Goldman MP, Fitzpatrick RE, Grevelink JM: Comparison of the Q-switched alexandrite, Nd:YAG, and ruby lasers in treating blue-black tattoos.
21. Zelickson BD, Mehregan DA, Zarrin AA, Coles C, Hartwig P, Olson S, Leaf-Davis J: Clinical, histologic, and ultrastructural evaluation of tattoos treated with three laser systems. *Lasers Surg Med* 1994;15:364–372.
22. Kilmer SL, Anderson RR: Clinical use of the Q-switched ruby and the Q-switched Nd:YAG (1064 nm and 532 nm) lasers for treatment of tattoos. *J Dermatol Surg Oncol* 1993;19:330–338.
23. Troilius AM: Effective treatment of traumatic tattoos with a Q-switched Nd:YAG laser. *Lasers Surg Med* 1998;22:103–108.
24. Taylor CR: Laser ignition of traumatically embedded firework debris. *Lasers Surg Med* 1998;22:157–158.
25. Shah G, Alster TS: Treatment of an amalgam tattoo with a Q-switched alexandrite (755 nm) laser. *Dermatol Surg* 2002;28:1180–1181.
26. Anderson RR, Geronemus R, Kilmer SL, Farinelli W, Fitzpatrick RE: Cosmetic tattoo ink darkening: a complication of Q-switched and pulsed-laser treatment. *Arch Dermatol* 1993;129:1010–1014.
27. Varma S, Swanson NA, Lee KK: Tattoo ink darkening of a yellow tattoo after Q-switched laser treatment. *Clin Exp Dermatol* 2002;27:461–463.
28. Chang SE, Kim KJ, Choi JH, Sung KJ, Moon KC, Koh JK: Areolar cosmetic tattoo ink darkening: a complication of Q-switched alexandrite laser treatment. *Dermatol Surg* 2002;28:95–96.
29. Ross EV, Yashar S, Michaud N, Fitzpatrick R, Geronemus R, Tope WD, Anderson RR: Tattoo darkening and nonresponse after laser treatment: a possible role for titanium dioxide. *Arch Dermatol* 2001;137:33–37.
30. Bäumler W, Eibler ET, Hohenleutner U, Sens B, Sauer J, Landthaler M: Q-switch laser and tattoo pigments: first results of the chemical and photophysical analysis of 41 compounds. *Lasers Surg Med* 2000;26:13–21.
31. Ross V, Naseef G, Lin G, Kelly M, Michaud N, Flotte TJ, Raythen J, Anderson RR: Comparison of responses of tattoos to picosecond and nanosecond Q-switched neodymium: YAG lasers. *Arch Dermatol* 1998;134:167–171.
32. Brauer JA, Reddy KK, Anolik R, Weiss ET, Karen JK, Hale EK, Brightman LA, Bernstein L, Geronemus, RG: Successful and Rapid Treatment of Blue and Green Tattoo Pigment With a Novel Picosecond Laser. *Arch Dermatol*. 2012;148:820-823.
33. Saedi N, Metelitsa A, Petrell K, Arndt KA, Dover JS: Treatment of Tattoos With a Picosecond Alexandrite Laser: A Prospective Trial. *Arch Dermatol*. 2012;148:1360-1363.
34. Prather H, Desai S, Kruter L, Depina J, Doherty S, Arndt K, Dover J: Clinical Evaluation of the Picosecond 532nm, 755nm, and 1064nm Wavelengths for the Removal of Tattoos [abstract]. *Lasers Surg Med* 2015;S58:20.
35. Bloom B, Alabdulrazzaq H, Bae YS, Brauer JA, Neckerman J, Bernstein L, Weiss E, Anolik R, Geronemus, RG: A 1064 nm, 532 nm and 755 nm Laser System for the Treatment of Unwanted Tattoos [abstract]. *Lasers Surg Med*. 2016;S37:13.
36. Alabdulrazzaq H, Brauer JA, Bae YS, Geronemus RG: Clearance of yellow tattoo ink with a novel 532-nm picosecond laser. *Lasers Surg Med*. 2015;47:285-288.
37. Bae YC, Alabdulrazzaq H, Brauer J, Geronemus R: Successful treatment of paradoxical darkening. *Lasers Surg Med*. 2016;48:471-473.