

Clinical Letter

Tattoorentfernung mit Laser: Gibt es bereits Pikosekundenlaser?

Laser tattoo removal: do we already have picosecond lasers?

DOI: 10.1111/ddg.13467

English online version on Wiley Online Library

Sehr geehrte Herausgeber

Jahrzehntlang wurden Tätowierungen erfolgreich mit Nanosekunden-Pulsen entfernt [1]. Seit 2012 sind Pikosekundenlaser zur Tattoorentfernung kommerziell erhältlich. Theoretisch sollten ultrakurze Pulszeiten beim selektiven Entfernen von Tattoopartikeln effektiver sein, da die Größe eines Tattoopigmentpartikels allgemein bei 10–100 nm liegt; dies erfordert gemäß den Prinzipien der selektiven Photothermolyse eine thermische Relaxationszeit im Pikosekundenbereich [2].

Victor Ross unterstreicht in seinem Artikel: „Die Pikosekunden-Revolution und die Tattoobehandlungen mit Laser: Sind kürzere Pulse wirklich besser“, wie wenig wir wirklich über die Pikosekundentechnologie zur Tattoorentfernung wissen [3]. Er macht auch deutlich, wie verantwortungsbewusst wir bezüglich eiligen Versprechungen und unrealistischen Erwartungen sein müssen.

Der medizinische Fortschritt wächst an der Debatte, und wir sind zuversichtlich, dass ein ausgewogener Ideenaustausch auf akademische Weise erfolgen kann. Daher möchten wir die wissenschaftliche Diskussion durch Fragestellungen zur Behandlung von Tätowierungen mit Pikosekundenlaser anregen.

Bevor wir versuchen, die Frage „Sind kürzere Pulse wirklich besser?“ zu beantworten, müssen wir uns in Erinnerung rufen, dass die jüngst publizierten Ergebnisse aus In-vitro-Studien an hautähnlichen Modellen sich nicht einfach auf die menschliche Haut übertragen lassen [4]. Aus biophysikalischer Sicht weist das menschliche Gewebe komplexe Strukturen auf (wie Blutgefäße und Talgdrüsen), die verschiedene Wechselwirkungen zwischen Laser und Gewebe auslösen (zum Beispiel optische Streuung) und somit einen direkten pulsabhängigen Vergleich der biologischen Prozesse erschweren.

Außerdem müssen wir uns vergegenwärtigen, dass die derzeit verfügbaren Pikosekundenlaser (Pulsdauer: 350–900 ps) sehr wenig mit dem Laser-Prototyp gemein haben, den Victor Ross und seine Kollegen vor 20 Jahren untersuchten (Pulsdauer: 35 ps) [2]. Dies ist der Ansatzpunkt,

da aus technischer Sicht die derzeitigen Geräte nicht im Pikosekundenbereich, sondern im Sub-Nanosekundenbereich arbeiten. Biophysikalisch sind die derzeit verfügbaren Pulszeiten nicht kurz genug, um auf einen therapeutischen Durchbruch hoffen zu können. Das Ergebnis unserer randomisierten kontrollierten Studie, in der wir einfarbige schwarze Tattoos behandelten, zeigte dies zu unserer eigenen Überraschung deutlich [5]. Inzwischen hält diese Erkenntnis immer mehr Einzug in Patientenforen [6], aber auch unter Laserdermatologen [7].

Seit 1998 wurde aus unserer Sicht das seinerzeit von Victor Ross entworfene innovative Konzept technisch nicht umgesetzt. Tatsächlich wird der konsequente Entwicklungsprozess, der zu echten Pikosekundenlasern führen würde, durch „Pseudo-Pikosekundenlaser“ stark erschwert werden. Eine grundsätzlich gute zukunftsweisende Technologie wurde vereitelt, bevor sie überhaupt eine Chance erhielt.

Was könnte vor diesem Hintergrund die Ursache für die größere Wirksamkeit (oder zumindest Effizienz) dieser neuen Generation von kommerziell erhältlichen Lasern sein? Warum waren diese Geräte, wie in einigen Artikeln zuletzt zur Diskussion gestellt wurde [8, 9], vor allem bei gelben und grünen Tätowierungen effektiver?

All diese Fragen stehen im Zusammenhang mit den jeweiligen Absorptionsspektren der Tattoopigmente [10]. Das wesentliche Problem ist, dass nach den Prinzipien der selektiven Photothermolyse nur absorbierte Photonen einen biophysikalischen Effekt haben können [11]. Zum Beispiel wird keine der derzeit angewandten Laserwellenlängen von gelben Pigmenten ausreichend absorbiert (Abbildung 1). Jedoch können bei hohen Lichtintensitäten nicht lineare Effekte wie die „Zwei-Photonen-Absorption“ und der „optische Abbau“ hier von Bedeutung sein, obwohl all diese komplexen Phänomene noch nicht erforscht sind [12, 13].

Sofern andererseits höhere Intensitäten und kürzere Pulse tatsächlich die Pigmentpartikel in der Haut mit größerer Wirkungskraft zerstörten, würde die Entfernung von grünen Pigmenten mit Sub-Nanosekundenlasern erfolgreicher funktionieren. Die derzeit verfügbaren konventionellen Nanosekunden-Alexandritlaser zur Behandlung von grünen Tattoopigmenten arbeiten mit relativ langen Pulszeiten (50–100 ns). Die Unterschiede bei der Pulsdauer und dem möglichen zusätzlichen therapeutischen Wert sind besonders bei diesen Fällen offenkundig. Jedoch können nur klinische Vergleichsstudien zu diesem Thema Aufschluss geben. Studien dieser Art sollten mit einer möglichst homogenen Patientenpopulation erfolgen. Studien, die schwarze und vielfarbige Tattoos einschließen, als ob sie ein und dasselbe wären, werden keine validen Befunde liefern. Aus Sicherheitsgründen ist es für die Laseranwender gleichermaßen wichtig (sowohl im Rahmen der klinischen Forschung als auch bei ihrer

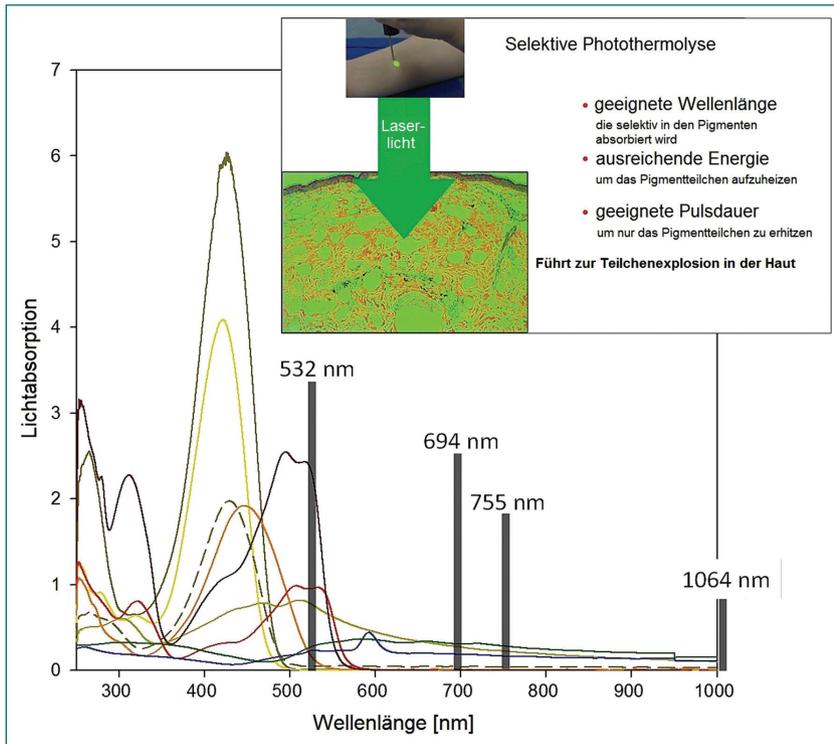


Abbildung 1 Absorptionsspektren verschiedener Farben zusammen mit den derzeit verfügbaren Laserwellenlängen (wie mit den grauen Balken gezeigt). Nur geeignete Wellenlängen führen zu einem biophysikalischen Effekt bei den Tattoopigmenten (also Teilchenfragmentierung). Die Prinzipien der selektiven Photothermolyse sind in der inneren Box dargestellt.

täglichen klinischen Arbeit), ihre Laserbehandlung gegen *visuelle Endpunkte* (beispielsweise punktuelle Blutungen) auszurichten. Wahrscheinlich hängen die bisher beschriebenen Komplikationen mit Sub-Nanosekundenpulsen (insbesondere Vernarbung und Hypopigmentierung) mit Energiedichten zusammen, die zu aggressiv waren [8, 14, 15].

Zu guter Letzt sollten wir im Gedächtnis behalten, dass Tätowierungen immer aus vielen größeren und kleineren Teilchen bestehen, und dass die kleinsten dieser Teilchen ($< 0.5 \mu\text{m}$) wegen der Auflösungsgrenze lichtmikroskopisch nicht erkannt werden können. Ob eine makroskopisch offensichtliche Aufhellung mit der Zerstörung der sehr kleinen oder großen Teilchen (oder sogar beiden) zusammenhängt oder nicht, ist nicht bekannt, es lässt sich deshalb hierbei nicht überzeugend für oder gegen eine bestimmte Pulszeit argumentieren.

Vor diesem Hintergrund haben wir zuletzt die Clearance-Raten aus unserer zuvor zitierten Studie [5] miteinander verglichen und untersucht, ob ein klinisch und statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden untersuchten Pulszeiten-Kategorien bei unbehandelten versus vorbehandelten Tätowierungen bestand. Wir haben diese Daten nun mit dem Cochran-Armitage-Trendtest ausgewertet, der keine signifikanten Unterschiede ($p = 0,8288$ [Sub-Nanosekundenbereich] vs $p = 0,5392$ [Nanosekundenbereich]) zwischen der Pulsdauer oder den Untergruppen (unbehandelt vs. vorbehandelt; unveröffentlichte Daten) ergab.

Trotz großen Anstrengungen hat die Industrie noch keine ultrakurzen Pulse mit einer geeigneten Spotgröße im Angebot – wir alle warten darauf. Wir sind der festen Überzeugung, dass diese Technologie schließlich zum Erfolg führen kann, wenn sie optimiert ist. Aber nur, wenn sie nicht durch unrealistische und voreilige Versprechen von mehreren unterschiedlichen Parteien aufgehalten wird.

Interessenkonflikt

Keiner.

Syrus Karsai^{1, 2}, Wolfgang Bäuml³, Christel Weiss⁴, Jörg Faulhaber⁵, Christian Raulin^{6, 7}

- (1) Dermatologikum Hamburg, Hamburg
- (2) Klinik und Poliklinik für Hautkrankheiten, Universitätsmedizin Greifswald, Greifswald
- (3) Klinik und Poliklinik für Dermatologie, Universitätsklinikum Regensburg, Regensburg
- (4) Abteilung für Medizinische Statistik, Biomathematik und Informationsverarbeitung, Medizinische Fakultät Mannheim, Mannheim
- (5) Dermatologische Gemeinschaftspraxis Dr. Weller, Prof. Dr. Faulhaber & Kollegen, Schwäbisch Gmünd
- (6) Laserklinik Karlsruhe, Karlsruhe
- (7) Hautklinik, Universitätsklinikum Heidelberg, Heidelberg

Korrespondenzanschrift

Priv.-Doz. Dr. med. habil. Syrus Karsai, D.A.L.M.
Dermatologikum Hamburg

Stephansplatz 5
D-20354 Hamburg

E-Mail: s.karsai@dermatologikum.de

Literatur

- 1 Pfirrmann G, Karsai S, Roos S et al. Tattoo removal – state of the art. *J Dtsch Dermatol Ges* 2007; 5: 889–97.
- 2 Ross V, Naseef G, Lin G et al. Comparison of responses of tattoos to picosecond and nanosecond Q-switched neodymium:YAG lasers. *Arch Dermatol* 1998; 134: 167–71.
- 3 Ross EV. The picosecond revolution and laser tattoo treatments: are shorter pulses really better? *Br J Dermatol* 2017; 176: 299–300.
- 4 Ahn KJ, Zheng Z, Kwon TR et al. Pattern analysis of laser-tattoo interactions for picosecond- and nanosecond-domain 1,064-nm neodymium-doped yttrium-aluminum-garnet lasers in tissue-mimicking phantom. *Sci Rep* 2017; 7: 1533.
- 5 Grosse-Büning S, Pinto F, Karsai S et al. Neodymium-doped yttrium aluminium garnet (Nd:YAG) 1064-nm picosecond laser vs. Nd:YAG 1064-nm nanosecond laser in tattoo removal: a randomized controlled single-blind clinical trial. *Br J Dermatol* 2017; 176: 457–64.
- 6 Available from: <https://www.realself.com/picosure/before-and-after-photos#page=1&tags=>; [Last accessed: March 18, 2017].
- 7 Reiter O, Atzmony L, Akerman L et al. Picosecond lasers for tattoo removal: a systematic review. *Lasers Med Sci* 2016; 31: 1397–405.
- 8 Brauer JA, Reddy KK, Anolik R et al. Successful and rapid treatment of blue and green tattoo pigment with a novel picosecond laser. *Arch Dermatol* 2012; 148: 820–3.
- 9 Alabdulrazzaq H, Brauer JA, Bae YS et al. Clearance of yellow tattoo ink with a novel 532-nm picosecond laser. *Lasers Surg Med* 2015; 47: 285–8.
- 10 Bäuml W, Eibler ET, Hohenleutner U et al. Q-switch laser and tattoo pigments: first results of the chemical and photo-physical analysis of 41 compounds. *Lasers Surg Med* 2000; 26: 13–21.
- 11 Anderson RR, Parrish JA. Selective photothermolysis: precise microsurgery by selective absorption of pulsed radiation. *Science* 1983; 220(4596): 524–7.
- 12 Pawlicki M, Collins HA, Denning RG et al. Two-photon absorption and the design of two-photon dyes. *Angew Chem Int Ed Engl* 2009; 48: 3244–66.
- 13 Linz N, Freidank S, Liang XX et al. Wavelength dependence of nanosecond infrared laser-induced breakdown in water: Evidence for multiphoton initiation via an intermediate state. *Physical Review B* 91 2015; 134114: 1–10.
- 14 Bernstein EF, Schomacker KT, Basilavacchio LD et al. A novel dual-wavelength, Nd:YAG, picosecond-domain laser safely and effectively removes multicolor tattoos. *Lasers Surg Med* 2015; 47: 542–8.
- 15 Paasch U, Schwandt A, Seeber N et al. New lasers and light sources – old and new risks? *J Dtsch Dermatol Ges* 2017; 15: 487–96.