

2/2018 April

C 14118

derm

Praktische Dermatologie



omnimed
www.omnimedonline.de

Evaluation von Perfluorodecalin (PFD)-infundierten Patches bei der Tätowierungsentfernung durch Laser



S. Große-Büning, C. Raulin

Summary

To increase the chances of success of a tattoo removal, there are different treatment approaches.

We conducted an observational study on the use of a perfluorodecalin-infused patch during side-by-side laser treatments with the Q-switched Nd:YAG laser to clinically evaluate the efficacy and side-effects of patch use in practice with increasing energy density.

We could not find any improved lightening of the tattoos on the patch side. There were side effects in all test persons to a relevant extent, as well as a significantly increased pain, so we could see no advantage of this method compared to the R-20 method.

Further investigations with constant energy density should follow, to evaluate possible indications for the use of PFD-patches.

Keywords

Tattoo removal, laser therapy, PFD-patch.

Tabelle 1

Standardprotokoll der Patch-Seite (von allen Patienten toleriert)			
1. pass	2. pass	3. pass	4. pass
2,5 J/cm ² ; 8 mm	4,5 J/cm ² ; 6 mm	9,6 J/cm ² ; 4 mm	12 J/cm ² ; 3 mm

Zusammenfassung

Um die Erfolgsaussichten einer Tätowierungsentfernung zu erhöhen, gibt es verschiedene Behandlungsansätze. Wir führten eine Anwendungsbeobachtung zum Einsatz eines Perfluorodecalin (PFD)-infundierten Patches während der Laserbehandlungen mit dem gütegeschalteten Nd:YAG-Laser im Seitenvergleich durch, um die Effektivität und Nebenwirkungen beim Einsatz des Patches in der Praxis bei steigender Energiedichte klinisch zu evaluieren.

Wir konnten keine verbesserte Aufhellung der Tätowierungen auf der Patch-Seite nachweisen. Dabei zeigten sich Nebenwirkungen bei allen Probanden in relevantem Ausmaß ebenso wie eine deutlich erhöhte Schmerzhaftigkeit, sodass wir keinen Vorteil dieser Methode im Vergleich zur R-20-Methode erkennen konnten. Weitere Untersuchungen mit gleichbleibender Energiedichte sollten sich anschließen, um mögliche Indikationen zum Einsatz von PFD-Patches zu evaluieren.

Schlüsselwörter

Tattoorentfernung, Lasertherapie, PFD-Patches.

Einleitung

Als Goldstandard der Tätowierungsentfernung gelten der gütegeschaltete

Nd:YAG-Laser (532/1.064 nm), Rubinlaser (694 nm) und Alexandritlaser (755 nm). Für die Entfernung einer professionell gestochenen Tätowierung sind in der Regel mehr als 10 Sitzungen (im Abstand von mindestens 6–8 Wochen) nicht ungewöhnlich. Erklärtes Ziel der Tätowierungsentfernung mittels Lasers ist eine möglichst komplette, schnelle und zugleich nebenwirkungsarme Entfernung ohne dauerhafte Folgeschäden (1).

Um die Effektivität der Laserbehandlung zu steigern, wurden unterschiedliche Strategien entwickelt, so zum Beispiel die Entwicklung des Pikosekundenlasers, welcher im direkten Vergleich mit einem Nanosekundenlaser keine Wirkungssteigerung bei der Behandlung schwarzer Tätowierungen zeigte (2). Weitere Verfahren sind: die R-20-Methode, bei welcher in einer Sitzung mehrere Behandlungen im Abstand von 20 Minuten durchgeführt werden (3), die Kombination mit ablativen Laserverfahren (4, 5) oder die Anwendung eines Perfluorodecalin (PFD)-Patches (6–8).

Bei PFD handelt es sich um einen hydro- und lipophoben Fluorkohlenwasserstoff. Gase, welche während der Laserapplikation im Gewebe entstehen, vermindern die Effektivität einer weiteren, direkt im Anschluss erfolgenden Behandlung (9). PFD kann während der Laserbehandlung entstehende Gase aufnehmen (10). Somit sollen

Tabelle 2

Übersicht der Patientinnen- und Behandlungsdaten

	Lokalisation	Fitzpatrick-Hauttyp	Alter	Spotgröße Patch/Kontrolle	Maximale Energiedichte Patch/Kontrolle	Anzahl Sitzungen	Patch mehr Clearance? /Abbruch?
Patientin 1	Unterschenkel	II	41	8-6-4-3/8-6-4	12,0 J/cm ² /4,8 J/cm ²	3	n/n
Patientin 2	Unterarm	III	34	8-6-4-3/8-6-4	12,0 J/cm ² /6,0 J/cm ²	5	n/n
Patientin 3	Nacken	II	24	8-6-4-3/8	12,0 J/cm ² /2,5 J/cm ²	1	n/j
Patientin 4	Unterschenkel	II	32	8-6-4-3/8	12,0 J/cm ² /3,2 J/cm ²	1	n/j
Patientin 5	Unterschenkel	II	41	8-6-4-3/8-6	12,0 J/cm ² /3,5 J/cm ²	2	n/j
Patientin 6	Unterschenkel	II	27	8-6-4-3/8-6	12,0 J/cm ² /4,5 J/cm ²	2	n/j

Nebenwirkungen vermindert und eine höhere Energiedosis beziehungsweise ein Multi-Pass-Vorgehen möglich werden. Dieses Vorgehen hat zum Ziel, die Tätowierungsentfernung schneller herbeizuführen. Das PFD-Patch wurde zu diesem Zweck bisher in drei Publikationen beschrieben (6–8).

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist, die bereits publizierten Ergebnisse im Halbseitenvergleich (PFD-Patch vs. R-20-Methode) zu reproduzieren (6–8).

Material und Methoden

Patienten

In die Anwendungsbeobachtung wurden Patienten mit bisher unbehandelten schwarzen Schmucktätowierungen eingeschlossen. Ausschlusskriterien waren eine erhöhte Lichtempfindlichkeit, Narben oder floride Entzündungen im Bereich der Tätowierung, Schwangerschaft oder unrealistische Erwartungen der Patienten.

Vor der Behandlung wurden die Patienten schriftlich und mündlich über die Behandlung, Behandlungsalternativen und mögliche Risiken aufgeklärt. Diese Anwendungsbeobachtung wurde in Übereinstimmung mit der Deklara-

tion von Helsinki 1964 in der revidierten Fassung von 1996 durchgeführt. Es wurden Fotos vor Beginn der Laserbehandlung, sechs Wochen nach der letzten Laserbehandlung beziehungsweise nach Abbruch und zur Dokumentation der Nebenwirkungen gemacht. Zwei unabhängige Begutachter beurteilten die Aufhellung im Seitenvergleich.

Studienendpunkte

Primärer Studienendpunkt

Die Aufhellung der Tätowierung wurde im Seitenvergleich Patch-Seite versus Nicht-Patch-Seite beurteilt, wobei kategorisch zwischen »ja, mit Patch mehr Aufhellung« beziehungsweise »nein, mit Patch nicht mehr Aufhellung« beurteilt wurde.

Sekundäre Studienendpunkte

Nebenwirkungen, Schmerzen, subjektive Zufriedenheit der Patienten (auf einer Skala von 0–10, 0 = überhaupt nicht zufrieden; 10 = sehr zufrieden).

Nebenwirkungen

Wurden wie folgt eingeteilt:

1. Transiente Nebenwirkungen wie Krusten, Blasen, punktförmige Einblutungen, Schwellung, Rötung und Schmerzen. Für die Schmerzhaftigkeit

wurde die Visuelle Analogskala (VAS) benutzt (0 = kein Schmerz, 10 = am stärksten vorstellbarer Schmerz).

2. Längerfristige beziehungsweise permanente Nebenwirkungen wie Narben, Hypo- oder Hyperpigmentierungen.

Behandlung

Geplant waren im Rahmen der Anwendungsbeobachtung fünf Sitzungen im Abstand von sechs Wochen. Die Tätowierungen wurden in zwei etwa gleichgroße Areale aufgeteilt und beide mit einem gütegeschalteten 1.064-nm-Nd:YAG-Laser (Revlite®C6, Cynosure, Westford, MA, USA; Pulsdauer 5 ns) behandelt. Eine Hälfte der Tätowierung wurde mit dem PFD-Patch (ON Light Sciences, Dublin, CA; in Deutschland aktuell vertrieben über die Merz Pharma GmbH) direkt der Haut aufliegend in vier unmittelbar aufeinander folgenden Laseranwendungen behandelt (4 »passes«).

Auf der Patch-Seite wurde standardisiert mit der höchsten Energiedichte pro Spotgröße behandelt (Behandlungsprotokoll s. Tab. 1). Dabei wird das flüssige PFD mit einem Tupfer auf das zu behandelnde Areal aufgetragen und darauf das ebenfalls PFD-getränkte Silikonpatch gelegt. Auf der Kontroll-



Abb. 1a–c: Patientin 5. a) Foto vor Beginn der Halbseitenbehandlung. b) Foto nach der ersten Behandlung mit dem Nd:YAG-Laser (1.064 nm) und starker Blasenbildung im Bereich der Patch-Seite (links im Bild). c) Foto nach Abschluss der Halbseitenbehandlung (2 Sitzungen). Leicht vermehrte Clearance (allerdings nur) im Bereich der präexistenten Blase (s. b))

Tabelle 3

Schmerzen, Zufriedenheit und Nebenwirkungen; bei Schwellung und Rötung handelt es sich um obligate Begleiterscheinungen der Lasertherapie, weswegen diese nicht aufgeführt werden

		Ohne Patch	Mit Patch
Schmerzen	Patientin 1	4	7
	Patientin 2	6	8
	Patientin 3	5	8
	Patientin 4	5	9
	Patientin 5	8	10
	Patientin 6	5	8
Zufriedenheit	Patientin 1	5	5
	Patientin 2	6	0
	Patientin 3	8	5
	Patientin 4	8	0
	Patientin 5	7	0
	Patientin 6	9	3
Nebenwirkungen	Patientin 1	–	Große Blasen, Krusten
	Patientin 2	Kleine Blasen	Große Blasen, Krusten
	Patientin 3	–	Kleine Blasen, Krusten
	Patientin 4	–	Extreme Schmerzen, Blasen
	Patientin 5	–	Wundheilungsstörungen, Blasen
	Patientin 6	Kleine Blasen	Große Blasen
60,- € mehr?	Patientin 1	Entfällt	Nein
	Patientin 2	Entfällt	Nein
	Patientin 3	Entfällt	Nein
	Patientin 4	Entfällt	Nein
	Patientin 5	Entfällt	Nein
	Patientin 6	Entfällt	Nein

seite (ohne PFD-Patch) wurde in aufsteigender Dosierung nach der R-20-Methode (zwei Laseranwendungen mit 20-minütiger Pause, 2 »passes«) behandelt (Behandlungsstrategie mod. nach Biesman et al. [7]; Parameter s. Tab. 2).

Die Laserpulse wurden in allen Sitzungen in minimal überlappender Technik von demselben Behandler appliziert. Laserschutzbrillen wurden während der Behandlung getragen. Nach der Behandlung legten die Patienten für 10 Minuten Kühlpacks auf die behandelten Areale. Bei Krusten wurden die Patienten angeleitet, mehrfach täglich ein Panthenol-haltiges Externum bis zum Abheilen der Krusten aufzutragen. Über die Notwendigkeit eines

ausreichenden Sonnenschutzes wurde ausführlich aufgeklärt.

Ergebnisse

In die Anwendungsbeobachtung wurden sechs Probandinnen zwischen 24 und 41 Jahren eingeschlossen (Patientendaten s. Tab. 2). Die im Studienprotokoll festgelegten fünf Sitzungen erreichte nur eine Patientin. Die weiteren fünf Patientinnen brachen auf eigenen Wunsch die Behandlung nach einer beziehungsweise drei Sitzungen mit dem Patch aufgrund extremer Blasenbildung und sehr starker, subjektiv nicht zu tolerierender, peri- und posttherapeutischer Schmerzen ab. Eine Patien-

tin brach die Behandlung aufgrund einer eingetretenen Schwangerschaft ab.

In keinem Fall ergab sich eine vermehrte Aufhellung auf der Patch-Seite im Vergleich zur Nicht-Patch-Seite. Keine Probandin würde die Behandlung mit Patch vorziehen, niemand würde für das Patch einen Betrag von zirka 60,- Euro mehr bezahlen. Die Schmerzhaftigkeit auf der Patch-Seite lag im Durchschnitt bei 8,3 VAS und auf der Kontroll-Seite bei 5,5. Die Anzahl und Stärke der Nebenwirkungen waren auf der Patch-Seite größer, Blasen traten öfter und ausgeprägter auf. Bei einer Patientin entwickelte sich auf der Patch-Seite am Unterschenkel eine dauerhafte diskrete Texturveränderung (3 x 1 mm), sonst traten unabhängig von der behandelten Seite keine permanenten Nebenwirkungen auf (Nebenwirkungen s. Tab. 3).

Diskussion

PFD ist eine für den Menschen ungiftige, farblose, lichtdurchlässige Flüssigkeit, die sich in Wasser oder Blut nicht löst (11, 12). Laut der Fachinformation zur Materialsicherheit gibt es keine Risiken durch Inhalation, Ingestion, Haut- oder Augenkontakt (13). Allerdings ist das hohe Treibhauspotenzial bewiesen (14). Vor der Anwendung an Tätowierungen wurde PFD erfolgreich als Sauerstofftransporter im Blut und in der Ophthalmologie als artifizielles (vor der »Food and Drug Administration« [FDA] zugelassenes) Glaskörper-substitut eingesetzt (12, 15).

Die Kosten für ein einmalig verwendbares, zirka 48 cm² großes Patch betragen aktuell (Stand Dezember 2017) zirka 60 Euro (zum Vergleich: eine DIN-A6-Standardpostkarte hat eine Fläche von 155 cm²), welche bei größeren Tätowierungen mit dem Faktor 2 bis 10 multipliziert werden müssten und somit schon aus Kostengründen die Anwendung auf kleinere Tätowierungen beschränken würden. Als Alternative (Anwendung analog zum PFD-Patch), kann auch we-

sentlich preisgünstiger und umwelt-schonender handelsübliche Blattgelatine verwendet werden, allerdings ohne die Eigenschaften des PFD. Die Blattgelatine schützt lediglich vor entstehenden Gasen, Epidermis-, Schmutz- und Pigmentpartikeln.

Für das PFD werden vier wesentliche und für die Tätowierungsentfernung als vorteilhaft anzusehende Merkmale beschrieben:

Gasbindende und -transportierende Eigenschaften (10, 16, 17)

Durch die hohe optische Energie eines Laserimpulses bilden sich Dampfblasen im Gewebe, die während der Behandlung als sogenanntes »Whitening« erkennbar sind und das weitere Hindurchtreten von Laserlicht erschweren (18). Die Dampfblasen sollen durch das PFD in 3 bis 10 Sekunden (6) resorbiert werden und erlauben somit theoretisch mehrere Durchgänge pro Sitzung in zeitlich sehr kurzen Abständen hintereinander (8, 19) und die Applikation höherer Energien (7).

In der hier vorliegenden Anwendungsbeobachtung kann die geringere Ausprägung des »Whitening« bestätigt werden, allerdings resultierte daraus keine vermehrte Aufhellung, was möglicherweise an der sehr kleinen Patientenkohorte und den wenigen Sitzungen beziehungsweise der hohen Abbruchzahl liegen könnte.

Verbesserung der optischen Penetration

Durch das Ausgleichen von Poren und Unebenheiten der Haut durch das PFD sei eine Optimierung der optischen Penetration erklärt (9, 20, 21), aufgrund dessen Photonen tiefer (und effektiver) in die Haut eindringen könnten (22).

Angleichung der Brechungsindizes von Haut und Patch durch PFD

Der Brechungsindex (als Maß für die Lichtbrechung) werde zwischen Haut und Patch durch PFD angeglichen und



Abb. 2: Patientin 2. Darstellung der prätherapeutischen Anwendung des PFD-Patches (s. Herstellerangaben: keine Luftbläschen zwischen Patch und Haut)

vermindere so den Anteil der Brechung des Laserlichts mit folglich mehr und tiefer penetrierenden Photonen (23).

Thermischer Schutz

Das PFD als »Kopplungsmedium« zwischen Epidermis und Silikonpatch habe eine bessere Wärmeleitung als Luft und könne die Wärmeenergie direkt an das Patch abgeben und somit die Haut besser vor thermischen Schäden schützen. Außerdem seien Patienten und Behandler durch die Absorption von Zelltrümmern und Rauchgasen (im Patch) vor toxischen Materialien, welches bei der Laserbehandlung entsteht, geschützt (24–26). Der thermische Schutz ermögliche höhere Energiedichten und mehrere Durchgänge pro Lasersitzung.

Die von Reddy et al. (19) erstmals im Jahr 2012 publizierte Anwendung des PFD-Patches zur Tätowierungsentfernung im Halbseitenvergleich (mit identischer Energiedichte und Spotgröße in beiden Gruppen) konnte zeigen, dass vier unmittelbar aufeinander folgende Durchgänge mit dem Patch so effektiv sind wie zwei Durchgänge nach der R-20-Methode ohne Patch. Diese Daten decken sich mit unserer Fallstudie, in welcher allerdings mit steigender Energiedichte behandelt

wurde (Tab. 1). In unserer Fallserie zeigte sich eine höhere Nebenwirkungsrate auf der Patch-Seite (Schmerzen, Blasen- und Narbenbildung).

Biesman et al. (7) behandelten analog zu unserer Anwendungsbeobachtung in aufsteigender Energiedosis die Patienten ebenfalls im Halbseitenvergleich. In 11 von 17 Tätowierungen wurde eine Überlegenheit hinsichtlich der Aufhellung für die PFD-Patch-Seite beschrieben, allerdings ohne statistische Auswertung. Die verbesserte Aufhellung wurde (wie auch in dieser vorliegenden Fallserie) kategorisch (»ja« vs. »nein«) angegeben.

Eine kürzlich publizierte Studie von Biesman et al. (8) untersuchte die maximale Anzahl an Durchgängen innerhalb einer Sitzung bis zum »Whitening«. Auf der Patch-Seite konnten durchschnittlich 3,7 Durchgänge appliziert werden, auf der Nicht-Patch-Seite 1,4 ($p < 0,001$). Über eine Steigerung der Aufhellung wird keine Aussage getroffen, allerdings über das geringere Auftreten des »Whitening« und der geringeren Schmerzhaftigkeit (Patch-Seite: 1,5 VAS, Nicht-Patch: 2,4 VAS). Alle Patienten gaben an, mit dem Patch auch die nach der Studie folgenden Behandlungen machen lassen zu wollen. Die bessere Akzeptanz und

geringere Schmerzhaftigkeit stellen einen interessanten Ansatz für eine zukünftige Studie im Halbseitenvergleich mit mehreren Laserdurchgängen in einer Sitzung dar: allerdings sollte hier als primärer Endpunkt die Aufhellung der Tätowierung gewählt werden.

Die in dieser Anwendungsbeobachtung applizierten und für die Patch-Seite standardisierten Energiedichten (Tab. 1) wurden von allen Patienten toleriert. Der begrenzende Faktor für die Steigerung der Energiedichte auf der Patch-Seite war die maximal erträgliche Schmerzhaftigkeit beziehungsweise vorzeitiges »Whitening« (Dampfbläschen) der Tätowierungen unter der Therapie. Die gasbindenden und -transportierenden Eigenschaften des PFD können wir somit klinisch bestätigen, da in keinem der Fälle das »Whitening« der limitierende Faktor war.

Alle Probandinnen tolerierten die Steigerung bis zur maximalen Energiedosis (12 J/cm²; 3 mm Spotgröße). Die erheblichen Nebenwirkungen (Blasen) und starken Schmerzen trugen allerdings zur Unzufriedenheit der Patientinnen bei; keine der sechs Patientinnen wollte mit dem Patch weiterbehandelt werden.

Fazit

Zusammenfassend kann aus unserer Erfahrung an sechs Probandinnen Folgendes festgestellt werden: Der Behandlungsansatz (7) mit steigender Energiedichte auf der Patch-Seite stellt aufgrund unserer Anwendungsbeobachtung, insbesondere wegen der vermehrten Nebenwirkungen, keine Alternative zur R-20-Methode dar. Es konnte auch keine verbesserte Aufhellung der Tätowierung auf der Patch-Seite im Vergleich zur R-20-Methode gezeigt werden. Die zusätzlichen Kosten erscheinen mit aktuell zirka 60,- Euro für ein 48-cm²-Patch für die Patienten zudem als zu hoch.

Eine klinische Evaluation mit gleichbleibender Energiedichte und mehre-

ren Laserdurchgängen auf der Patch-Seite, entsprechend der zuletzt von Biesman et al. (8) publizierten Studie, im direkten Vergleich zu der R-20-Methode wäre interessant.

Literatur

- Hammes S, Raulin C (2017) Entfernung von Tätowierungen – State of the Art. *derm Praktische Dermatologie* 23, 523–535
- Pinto F, Große-Büning S, Karsai S, Weiß C, Bäumler W, Hammes S, Felcht M, Raulin C (2017): 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* 176 (2), 457–464
- Kossida T, Rigopoulos D, Katsambas A (2012): Optimal tattoo removal in a single laser session based on the method of repeated exposures. *J Am Acad Dermatol* 66 (2), 271–277. Epub 2011 Oct 27
- Radmanesh M, Rafiei Z (2015): Combination of CO₂ and Q-switched Nd:YAG lasers is more effective than Q-switched Nd:YAG laser alone for eyebrow tattoo removal. *J Cosmet Laser Ther* 17 (2), 65–68
- Au S, Liolios AM, Goldman MP (2015): Analysis of Incidence of Bulla Formation After Tattoo Treatment Using the Combination of the Picosecond. *Dermatol Surg* 41 (2), 242–245
- Brauer JA, Reddy KK, Anolik R, Weiss ET, Karen JK, Hale EK, Brightman LA, Bernstein L, Geronemus RG (2012): Successful and rapid treatment of blue and green tattoo pigment with a novel picosecond laser. *Arch Dermatol* 148 (7), 820–823
- Biesman BS, O'Neil MP, Costner C (2015): Rapid, high-fluence multi-pass q-switched laser treatment of tattoos with a transparent perfluorodecalin-infused patch: A pilot study. *Lasers Surg Med* 47 (8), 613–618
- Biesman BS, Costner C (2017): Evaluation of a transparent perfluorodecalin-infused patch as an adjunct to laser-assisted tattoo removal: A pivotal trial. *Lasers Surg Med* 49 (4), 335–340
- Littlejohn G, Gouveia JD, Edner C, Smirnov Love J (2010): Perfluorodecalin enhances in vivo confocal microscopy resolution of *Arabidopsis thaliana* mesophyll. *New Phytologist* 186, 1018–1025
- Chi L, Ku Y, Fukumoto T, Suzuki Y, Kuroda Y, Saitoh Y (1996): Successful 14-day preservation of rat skin using a two-layer cold-storage method. *Burns* 22 (1), 22–25
- Muensterer OJ, Herrmanns VJ, Metzger R, Till H (2006): Efficacy of electrocautery in different media: Air, perfluorodecalin, glycerine, glycine, and electrolyte solution. *J Laparoendosc Adv Surg Tech* 16 (6), 659–662
- Mackanos MA, Jansen ED, Shaw BL, Sanghera JS, Aggarwal I, Katzir A (2003): Delivery of midinfrared (6 to 7-micron) laser radiation in a liquid environment using infrared-transmitting optical fibers. *J Biomed Opt* 8 (4), 583–593
- F2 Chemicals Ltd. (2017): Perfluorodecalin Material Safety Data Sheet. http://f2chemicals.com/data/medical_applications/perfluorodecalin.pdf
- Geschrey B, Schwarz W, Kimmel T, Zeiger B, Reitz S (2015): Implementierung der ab dem Berichtsjahr 2013 gültigen »IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories« 2006 in die Inventurerhebung fluoriertes Treibhausgase. *Climate Change* 17. Hrsg: Umwelt
- Bauer J, Zahres M, Zellermann A, Kirsch M, Petrat F, de Groot H, Mayer C (2010): Perfluorocarbon-filled poly(lactide-co-glycolide) nano- and microcapsules as artificial oxygen carriers for blood substitutes: A physico-chemical assessment. *J Microencapsul* 27 (2), 122–132
- Faithful NS (1994): The role of perfluorochemicals in surgery and the ITU. In: Vincent JL (ed): *The yearbook of intensive care and emergency medicine*. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 237–251
- Shaffer T, Wolfson M (1992): Liquid ventilation. *Pediatr Pulmonol* 14, 102–109
- Brujan EA, Vogel A (2006): Stress wave emission and cavitation bubble dynamics by nanosecond optical breakdown in a tissue phantom. *J Fluid Mechanics* 558, 281–308
- Reddy KK, Brauer JA, Anolik R, Bernstein L, Brightman L, Hale E, Karen J, Weiss E, Geronemus RG (2013): Topical perfluorodecalin resolves immediate whitening reactions and allows rapid effective multiple pass treatment of tattoos. *Lasers Surg Med* 45 (2), 76–80
- Yoon J, Park D, Son T, Seo J, Nelson JS, Jung B (2010): A physical method to enhance transdermal delivery of a tissue optical clearing agent: Combination of microneedling and sonophoresis. *Lasers Surg Med* 42 (5), 412–417
- Nishikido N, Walter Mahler W, Mukerjee P (1989): Interfacial tensions of perfluorohexane and perfluorodecalin against water. *Langmuir* 5 (1), 227–229
- Bashkatov A, Genina E, Tuchin V, Altschuler G (2009): Skin optical clearing for improvement of laser tattoo removal. *Laser Physics* 19 (6), 1312–1322
- Ding HL, Lu JQ, Wooden WA, Kragel PJ, Hu XH (2006): Refractive indices of human skin tissues at eight wavelengths and estimated dispersion relations between 300 and 1600 nm. *Phys Med Biol* 51 (6), 1479–1489
- Biesman BS, O'Neil MP, Costner C (2015): Rapid, high-fluence multi-pass q-switched laser treatment of tattoos with a transparent perfluorodecalin-infused patch: A pilot study. *Lasers Surg Med* 47 (8), 613–618
- Bargman H (2011): Laser-generated airborne contaminants. *J Clin Aesthet Dermatol* 4 (2), 56–57
- Lewin JM, Brauer JA, Ostad A (2011): Surgical smoke and the dermatologist. *J Am Acad Dermatol* 65 (3), 636–641

Anschrift für die Verfasser:

Prof. Dr. med. Christian Raulin
MVZ Dres. Raulin und Kollegen GbR
Kaiserstraße 104
76133 Karlsruhe
E-Mail info@raulin.de