

Photobiologie der Bestrahlung mit blauem Licht

Grundlagen und klinischer Einsatz
bei lokaler Bestrahlung
und Haemo-Laser®-Anwendung

5. Klinische Anwendung der intravasalen Bestrahlung mit blauem Licht

5.1 Allgemeines

Wie bereits erwähnt, wird Licht seit über dreitausend Jahren erfolgreich zur Heilung dermatologischer und systemischer Krankheiten eingesetzt. Durch die Beobachtung der Heilwirkung der Sonnenstrahlung entwickelte sich mit der Zeit die Erfahrungsheilkunde der Lichttherapie.

Als es mit Ende des 19. und Beginn des 20. Jahrhunderts gelang, verschiedene Lichtwellenlängen auch künstlich herzustellen, bekam die Lichttherapie speziell in Europa und den USA einen neuen Schub. Einer der Pioniere war der dänische Arzt Niels Ryberg Finsen (1860 – 1904), der bemerkte, dass es mit der im „Sonnenlicht“ enthaltenen UV-Strahlung möglich ist, Lupus vulgaris (Tuberculosis cutis) und andere Hautkrankheiten zu heilen [56]. Als er erkannte, dass die Sonnenstrahlung in Nordeuropa zu schwach war, entwickelte er eine Lichtbogenlampe, die er immer weiter verbesserte, sie wurde später „Finsenlicht“ genannt. Bald darauf gründete er ein eigenes Sanatorium und der Erfolg war so groß, dass innerhalb weniger Jahre 40 Finsen-Institute in Europa und den USA entstanden, und ihm 1903 der Nobelpreis für Medizin verliehen wurde.

Da nun bekannt war, dass UV-Strahlung Bakterien abtötet, versuchte man durch die Bestrahlung von Blut auch virale Erkrankungen zu heilen: Dr. Knott in den USA führte bereits 1934 solche Behandlungen erfolgreich durch, wobei dazu nur etwa 2 % des Patientenblutes bestrahlt werden mussten.

Schon 3 Jahre später begann man in Russland mit der Bestrahlung von autologem Blut in schweren Fällen von Sepsis. Von 1930 bis 1950 wurde diese Methode in Deutschland, Russland und den USA erfolgreich bei Lungenentzündungen, Blutvergiftungen und Tumorerkrankungen angewandt. Obwohl allein in den USA bis 1950 über 800 000 Patienten erfolgreich therapiert wurden (z.B. virale Hepatitis), geriet diese Therapie in Vergessenheit. Ausschlaggebend dafür waren zum einen die Entwicklung von oralen Antibiotika bei bakteriellen, und von Impfstoffen bei viralen Infektionen, deren Handhabung viel einfacher und billiger war, als die damals noch unhandlichen Bestrahlgeräte und zum anderen das Nichtwissen über die photobiologischen Mechanismen und die daraus entstandene (aus heutiger Sicht aber unbegründete) Angst vor einer mutagenen bzw. karzinogenen Wirkung der UV-Strahlung [57,58].

Die zunehmende Antibiotika-Resistenz, die Unzufriedenheit mit den Nebenwirkungen und enttäuschende Fortschritte in der Behandlung von chronischen viralen Infektionen, wie Hepatitis C und Aids, führten zur **Wiederentdeckung** dieser Therapie vor etwa 40 Jahren in Russland, der DDR und China, wobei die UV-Quelle durch He-Ne-Laserquellen ersetzt, und die Handhabung vereinfacht wurde. Speziell in den Ostblockstaaten herrschte permanenter Mangel an teuren Medikamenten. Mittlerweile gibt es nun auch in den USA wieder einen Hersteller eines modernen Gerätes zur UV-Blutbestrahlung, das sich in einer Pilotstudie von therapieresistenten Hepatitis C-Patienten hervorragend bewährt hat [57,58]. Mit zunehmend genauerem Wissen über die in den vorderen Kapiteln beschriebenen biologischen Wirkmechanismen des blauen Lichtes begann man bereits vor 20 Jahren mit im blauen Wellenlängenbereich emittierenden Gaslasern in vitro und tierexperimentelle Studien durchzuführen [59]

Die erst seit ca. 5 Jahren zu erschwinglichen Preisen erhältlichen blau emittierende Laserdioden ermöglichen es, Bestrahlgeräte wie den „Blauen Hämolas“ sehr kompakt und kostengünstig herzustellen.

5.2. Absorptionsverhalten des menschlichen Blutes

Ein Grundgesetz der Photobiologie besagt, dass nur solche Strahlungsanteile eine Wirkung in einem Organismus erzeugen können, die von letzterem auch aufgenommen, d.h. absorbiert werden. Will man daher wissen, welche Wellenlängen für die Blutbestrahlung geeignet sind, so muss man das Absorptionsspektrum des menschlichen Blutes (Abb. 7) messen. Dieses wurde in [60] durchgeführt, wobei nachgewiesen wurde, dass das verwendete Antikoagulans Heparin keinen nennenswerten Einfluss auf das Absorptionsverhalten hat.

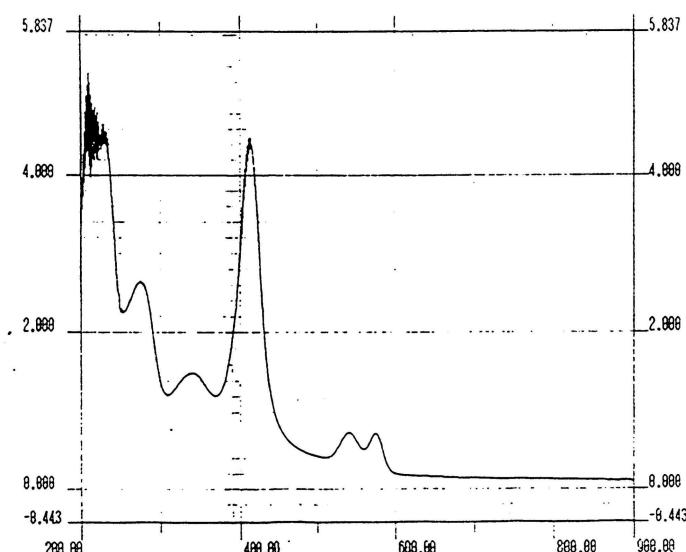


Abb.7 Absorptionsspektrum von menschlichem Blut [60]

Wie Abb.7 zu entnehmen ist, ist die Absorption im roten und grünen Spektralbereich sehr gering. Ein Maximum der Absorption tritt bei 416 nm im blauen Wellenlängenbereich und im UV-Bereich (was unter anderem die Wirksamkeit aller UV-Bluttherapien erklärt) auf. Durch die Bestrahlung mit **blauem Licht** können daher die in den vorangegangenen Kapiteln dargelegten Wirkmechanismen am **stärksten aktiviert** werden, doch muss gewährleistet sein, dass diese Strahlung auch tatsächlich das Blut erreicht.

Dass die Blutbestrahlung mit blauem Licht effektiver als die mit rotem ist, konnte bei der Behandlung von Tinnituspatienten beobachtet werden [51]. Bei den Patienten, die mit Licht von 440-460 nm intravasal bestrahlt wurden, waren die Therapieergebnisse deutlich besser als bei denen, die mit 635 nm bestrahlt wurden, obwohl die Leistung mit 0,5 mW nur halb so groß war und die Wellenlänge vom Absorptionsmaximum des Blutes von 416 nm doch noch deutlich entfernt war.

5.3 Grundlagen für eine wirksame und sichere Dosierung des blauen Lichtes

Um festzustellen, ob die beim „Hämolas“ intravasculär abgegebene Strahlung mit einer Leistung von 1,5 - 4 mW und einer Wellenlänge von 405 nm einerseits wirksam, andererseits auch ungefährlich ist, ist es sinnvoll, die Strahlungsverhältnisse bei natürlichem Sonnenlicht und „etablierten“, d.h. zugelassenen, Therapien zu vergleichen, wo die Strahlung perkutan in die Gefäße eintritt.

Dazu soll der in Abb.8 dargestellte Schnitt durch die Haut eines menschlichen Unterarms genauer betrachtet werden [61]. Die auf die Haut auftreffende Strahlung erreicht nach kürzester Wegstrecke (einige Zehntel Millimeter!!) das sehr dichte und stark verzweigte Kapillargeflecht der Dermis.

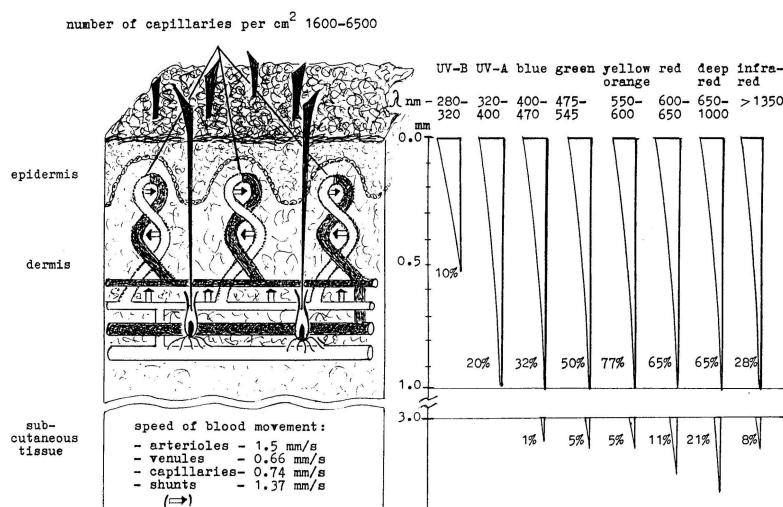


Abb. 8 Transmission von Licht durch die Haut eines menschlichen Unterarms

Aufgrund der hohen Dichte an Kapillaren von 1600 – 6500 pro cm², der darin sehr niedrigen Fließgeschwindigkeit des Blutes von ca. 1 mm/s und der Bewegung zellulärer Blutkomponenten im extravasalen Raum zwischen den terminalen Arteriolen und Venolen, kann die Strahlung gut absorbiert werden. Die Transmission der auf die Haut auftreffenden Strahlung ins Kapillargebiet ist wellenlängenabhängig und die entsprechenden Werte sind in Abb. 8 angegeben. Von der blauen Strahlung erreichen noch 32 % die Tiefe von 1 mm und etwa 1% dringen etwa 3mm bis ins subcutane Gewebe ein.

Die Leistungsdichte der Haemo-Laser-Therapie liegt mit 1,5 – 4 mW/cm² in derselben Größenordnung wie die Leistungsdichte der Sonnenstrahlung (5mW/cm²) und der Phototherapie der Neugeborenen-Gelbsucht (2,4 mW/cm²).

Die Wirkung prinzipiell jeder Low-Level-Lasertherapie (LLLT) auf das Blut erkannte auch die sehr bekannte englische Wissenschaftlerin Mary Dyson, die als eine der Pionierinnen der Aufklärung der LLLT gilt:

In [64] weist sie nach, dass es bei der LLLT zu lokalen **und** systemischen Änderungen im Organismus kommt. Es tritt eine Wirkungsverstärkung der direkten Photonenabsorption von Immun- und anderen Blutzellen beim Durchgang durch lichtbestrahlte Kapillaren der Dermis auf, weil sie durch Abgabe von Botenstoffen und Zytokinen an nichtbestrahlten Zellen dort Veränderungen bewirken. Durch das Zirkulieren dieser Zellen wird die Wirkung der LLLT zeitlich verlängert, während die Strahlungsquelle längst ausgeschaltet ist.

Als Beispiel berichtet sie über intrakraniale und extrakraniale Veränderungen bei Bestrahlung der Kopfhaut.

5.4 Bibliothekrecherche

5.4.1 Diabetes Mellitus

N.Kazemi et al., "*A metabolomic study on the effect of intravascular laser blood irradiation on type 2 diabetic patients*", Lasers in Medical Sciences" (2013) 28: 1527-1532 [66]

Hier wird bei Typ 2 Diabetikern über einen Venenkatheter, der in eine der großen Unterarmvenen eingeführt wird, mit blauem Licht der Wellenlänge 405 nm und einer Leistung von 1,5 mW intravasculär 30 min bestrahlt. Also genauso wie bei der „Haemo-Laser“-Therapie (405 nm, 1,5 – 4 mW, 30 min) vorgesehen.

Es kommt dabei zu einer signifikanten **Abnahme** des Glukose-,Glukose-6-Phosphat-, Dehydroaskorbinsäure-, R-3-Hydroxybutyrinsäure-, L-Histidin- und L-Alaninspiegels und einer signifikanten **Zunahme** des L-Argininspiegels im Blut. Der Gesamtblutzuckerspiegel sinkt dabei signifikant.

Weiters sinken der Cholesterin- und der LDL und VLDL-Spiegel, womit die Verbindung zu den Fettstoffwechsel- und Lebererkrankungen erkennbar wird.

In einer weiteren klinischen Humanstudie von Gasparyan et al [74] wurde die intravasculäre Blutbestrahlung mit unterschiedlichen Wellenlängen bei verschiedenen Krankheiten, unter anderem Diabetes, untersucht. Dabei zeigte sich, dass der Blutzucker-senkende Effekt mit blauem Licht stärker als bei rotem Licht war.

Eine gute Darstellung der biochemischen Grundlagen für die Reduktion des Blutzuckerspiegels mit sichtbarer Strahlung, insbesondere mit blauem Licht, finden sich in zwei Publikationen einer finnischen Arbeitsgruppe um A.M. Makela [69]:

Erhöhte Plasmaspiegel von Arginin führen zu einer verstärkten Ausschüttung verschiedener Hormone insbesondere Insulin, Glukagon, Wachstumshormonen, Prolaktin und Katecholaminen.

Die Produktion von Arginin im Körper erfolgt aus Zitrullin in den Nierenzellen und Ornithin in Leberzellen. Durch die Aktivierung der Carbonyl-Phosphat-Synthetase wird Arginin zusätzlich auch aus Glutamat erzeugt, wobei dieser Stoffwechselweg wieder durch Licht gut stimulierbar ist.

Gemäß Punkt 3.4 und der dort angegebenen Reaktionsgleichung wird der „Endothel-relaxierende Faktor“ Stickstoffmonoxid NO· über das im blauen Wellenlängenbereich empfindliche Enzym NO-Synthase aus Arginin erzeugt. Das erklärt die, gleichzeitig mit der Reduktion des Blutzuckerspiegels, auftretende Senkung des Blutdrucks (in Übereinstimmung auch mit [67]).

Theoretische Hintergründe und praktische Anweisung zur Therapie von Diabetes mit rotem und blauen Licht sind in der zweiten Publikation [70] angegeben. Darin wird unter anderem der immunologische Hintergrund für die Entstehung von Diabetes und die Bedeutung der Sauerstoffradikale und die sie erzeugenden Enzyme, dargelegt und die Reizung von Akupunkturpunkten mit rotem Licht (635 nm, 5 mW) und die flächige Bestrahlung bestimmter Hauareale mit blauem Licht (458 nm, 2 mW/cm²) als Therapie empfohlen.

5.4.2 Chronische und akute Lebererkrankungen

Die äußerst erfolgreiche und bewährte klinische Anwendung des blauen Lichtes bei der Phototherapie bei Hyperbilirubinämie wird in [63] dargestellt. Der durch das blaue Licht beschleunigte Abbau und die Ausscheidung von Bilirubin erklärt auch das verblüffend schnelle Verschwinden von Hämatomen bei Anwendung in der Sportmedizin.

In einer tierexperimentellen Studie an Ratten, mit teilweiser Überprüfung der Ergebnisse bei Patienten, wurde die Anwendung von niedrig dosierter Laserstrahlung verschiedener Wellenlängen (337 nm, 510 nm, 632nm und 890 nm), bei Leberzirrhose und Hepatitis untersucht [71].

Dabei zeigte sich eine Entzündungshemmung, ein Stopp der zirrhotischen Prozesse, eine Verbesserung der Gefäßversorgung der Leber, eine stärkere Proliferation der Hepatozyten und eine deutliche Veränderung in der intrazellulären Struktur. So nahm das Volumen der Mitochondrien und des rauen endoplasmatischen Retikulums zu und die Größe der in den Hepatozyten eingelagerten Fetttröpfchen und der VLDL (very low density lipoproteins) speichernden Vakuolen ab.

Arbeitet man diese Studie, wo alle Arten der Bestrahltechniken untersucht wurden, genau durch, so drängt sich eine Verbesserung in der Weise auf, als es für ein optimales Therapieergebnis sinnvoll wäre, zusätzlich zur intravasculären Bestrahlung mit blauem Licht auch parallel das Hautgebiet oberhalb der Leber mit rotem Licht zu bestrahlen.

Ein wesentlicher Wirkmechanismus für den guten Therapieerfolg bei Hepatitis ist die starke entzündungshemmende Wirkung des Lichtes. So konnte K.A. Samoilova in einer Humanstudie bei der transdermalen Bestrahlung des Blutes mit breitbandigem weißem Licht nachweisen, dass es zu einem drastischen Abfall gegenüber dem Normalzustand erhöhter proinflammatorischer Zytokine TNF- α , IL-6, IL-12 und IFN- γ kommt. Gleichzeitig werden die antiinflammatorischen Zytokine IL-10, TGF- β 1 und IFN- γ bei niedrigen Ausgangswerten erhöht [72].

Interessant ist dabei die **regulative** Erhöhung von IFN- γ : Die deutsche Leberstiftung, insbesondere deren Vorstandsvorsitzender und Forschungsleiter Prof. Dr Michael P. Manns konnte nachweisen, dass eine frühe Behandlung mit Interferon bei fast allen Patienten zur Ausheilung führt [73].

Die Leber ist nicht nur Hauptstoffwechselorgan sondern auch wichtigstes Ausscheidungs- und Entgiftungsorgan körpereigener und körperfremder Stoffe des menschlichen Körpers. Auch in dieser lebenswichtigen Funktion kann sie durch blaues Licht unterstützt werden: Pflanzentoxine, Pestizide, Pharmaka, verschiedene Kohlenwasserstoffe und andere toxische Verbindungen, die vom Organismus aus der Umwelt aufgenommen werden, sind meist apolare lipophile, und damit nicht, oder nur langsam ausscheidbare, Substanzen. Sie müssen in polare wasserlösliche Substanzen umgewandelt werden, die dann leicht über den Harn oder die Gallenflüssigkeit ausgeschieden werden können, ein Vorgang der in der Fachliteratur auch als Biotransformation bezeichnet wird.

Die dazu notwendige Hydroxylierung (Einbau einer OH-Gruppe) geschieht durch so genannte Monooxygenasen, die ein Sauerstoffatom in das Substrat einbauen und das andere zu Wasser reduzieren. Eine zentrale Funktion hat dabei das Cytochrom P₄₅₀: Monooxygenasen kommen sowohl im glatten endoplasmatischen Retikulum als auch in den Mitochondrien hauptsächlich in Leber und Nebennieren vor [49]. Mitochondriale Monooxygenasen enthalten ein Flavoprotein, ein proteingebundenes Eisen-Schwefel-Zentrum, sowie das Cytochrom P₄₅₀, bestehen also aus drei Untergruppen, Monooxygenasen des endoplasmatischen Retikulums bestehen nur aus zwei Untereinheiten, und zwar einem Flavoprotein mit FAD und FMN als Coenzyme und dem Cytochrom P₄₅₀. Betrachtet man das in Abb. 9 dargestellte Absorptionsspektrum von Cytochrom P₄₅₀ [54],

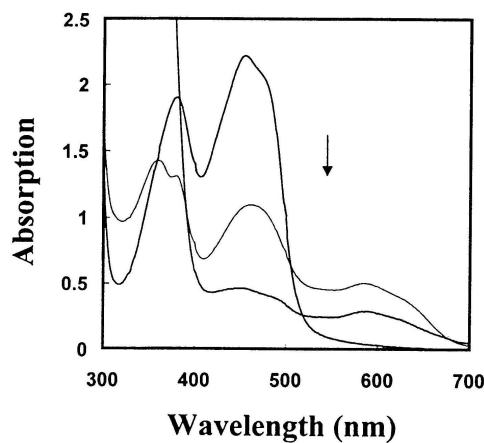


Abb. 9
Absorptionsspektrum von oxidiertem (Maxima bei 380 und 454 nm) und reduziertem Cytochrom P₄₅₀. Der Pfeil zeigt Änderungen in der Absorption nach Reduktion des assoziierten Flavins.

so erkennt man die starke Absorption im blauen Spektralbereich mit dem charakteristischen Maximum bei 450 nm, das offenbar ausschlaggebend für die Bezeichnung dieses Cytochroms war.

Insgesamt wurden bisher über 200 Cytochrom P₄₅₀-Enzyme entdeckt, die an den verschiedensten biochemischen Reaktionen beteiligt sind, angefangen von der Hormonsynthese über die ω -Oxidation von Fettsäuren bis hin zur Aromatisierung von Androgenen zu Östrogenen und der Synthese von Gallensäuren [49]. Damit wird klar, dass derzeit die Bedeutung der Therapie mit blauem Licht nicht annähernd abgeschätzt werden kann.

Es ist hier wichtig anzumerken, dass einige Cytochrom P₄₅₀-Enzyme auch in Geweben außerhalb der Leber gefunden wurden, z.B. in der Lunge und im Darm. Im Darm findet man z.B. CYP3A4, CYP2C und CYP1A1, womit die starke systemische Wirkung der intravasculären Bestrahlung erklärt werden kann.

5.4.3 Weitere Indikationen im Überblick

Herz-Kreislauf- Stoffwechsel

In [77] wurden Patienten mit Herz-Kreislauf-Erkrankungen in drei Gruppen aufgeteilt und bei ihnen an jeweils 5 Tagen eine Blutbestrahlung durchgeführt, wobei diese in der ersten Gruppe extrakorporal mit ultravioletter Strahlung ($\lambda=254$ nm 1,5 mW/cm²) einer Quecksilberdampf-Niederdrucklampe, in der zweiten Gruppe intravenös mit einer Glasfaser und einem rot emittierenden Diodenlaser ($\lambda=670$ nm, 2 mW) und in der dritten Gruppe transkutan oberhalb einer Vene ebenfalls mit einem Diodenlaser derselben Wellenlänge aber mit der 10-fachen Leistung von 20 mW (Kompensation der Lichtabschwächung im Gewebe) durchgeführt wurde. In festen Zeitabständen wurden Blutproben entnommen und die Veränderungen der Sauerstoffbeladung des Blutes und der Spiegel von den Metaboliten Laktat, Glukose und Cholesterin gemessen.

Dabei zeigte sich bei **allen** Formen der Blutbestrahlung während der Bestrahlungsphase bei allen Größen eine Verbesserung der Werte. Nach Beendung der Bestrahlungsreihe zeigte sich der für Lichttherapien charakteristische regulative Charakter: Bei hohen Ausgangswerten beobachtete man eine Abnahme und bei niedrigen eine Zunahme. Ausnahme war das Cholesterin, das grundsätzlich nur abnahm.

Dass diese Studie auch für die Anwendung von blauem Licht zulässig ist, zeigt das Absorptionsspektrum von menschlichem Blut (Abb.7 aus B-Skript), wo bei 405 nm eine starke Absorptionslinie erkennbar ist und andererseits aus der Tatsache, dass eine Quecksilberdampf-Niederdrucklampe auch Spektrale Anteile mit ($\lambda=313$ nm, 365 nm, 404 nm und 436 nm) emittiert was in [78] ausführlich dargelegt wird. Bei Bestrahlung mit blauem Licht nützt man alle Vorteile der kurzweligen UV-Strahlung, hat aber keinerlei schädliche Wirkungen (DNA-Schädigung, usw.).

Infektionen

In [79] wird untersucht, wie verschiedene Bakterien bei der Blutbestrahlung abgetötet werden. Dabei zeigt sich, dass die alleinige Bestrahlung mit violettem Licht von $\lambda=415$ nm den gefürchteten Methicillin-resistenten *Staphylococcus aureus* (MSRA) genauso stark reduziert wie die Photodynamische Therapie mit dem Photosensibilisierungsstoff Chlorin E 6 und Bestrahlung mit $\lambda=660$ nm. Es konnte auch bewiesen werden, dass es bei Bestrahlung mit blauem Licht zu keinerlei Schädigung der Blutzellen kommt. Die photobiologischen Mechanismen der Bakterientötung mit blauem Licht finden sich unter Punkt 4 auf S. 15.

Magen

In [80] wurde bei Patienten mit gastro-ösophagealer Refluxkrankheit das Blut intravenös mit blauem Licht ($\lambda=405$ nm, 1,5 mW) an 10 Tagen bestrahlt. Dabei zeigte sich eine Verbesserung der Mikrozirkulation und eine positive Beeinflussung des autonomen Nervensystems (Refluxerkrankungen sind oft Folge von Stress oder psychischen Problemen). Letzteres war durch die Stabilisierung der Circadianen Rhythmen erkennbar. Die Verbesserung der Mikrozirkulation lindert die bei Refluxerkrankungen auftretende Entzündung der Speiseröhrenschleimhaut.

Lunge

In [81] wurde bei Patienten mit bronchialem Asthma im Stadium II-III bzw. III-IV das Blut intravenös mit blauem ($\lambda=441$ nm) oder rotem ($\lambda=633$ nm) Laserlicht bestrahlt. Dabei zeigte sich zum einen eine Normalisierung der Schilddrüsenhormone T3 und T4 sowie TSH und zum anderen eine deutliche Verbesserung der Atemfunktion. Beide Wellenlängen lieferten

in etwa dieselben Ergebnisse, nur bei stark erhöhten Ausgangswerten von Kortison bzw. bei einer Schilddrüsenunterfunktion war die rote Wellenlänge effektiver.

Sportmedizin

In [82] wurden Athleten intravenös entweder mit rotem ($\lambda=633$ nm), grünem ($\lambda=525$ nm) oder blauem ($\lambda=405$ nm) Licht mit jeweils einer Leistung von 2 mW täglich 20 Minuten an 10 aufeinanderfolgenden Tagen bestrahlt. Dabei zeigte sich eine deutliche Verbesserung von Kraft- und Ausdauerleistung. Diese Wirkung nützten die Sportler der Oststaaten bereits vor Jahrzehnten durch die extrakorporale Blutbestrahlung mit ultravioletter Strahlung.

HNO

In [83] wurden Patienten mit Tinnitus in drei Gruppen, die aber alle Ginkgo biloba (Durchblutungsverbesserung) erhielten, eingeteilt: Eine Gruppe diente als Kontrollgruppe, die zweite erhielt intravenöse Blutbestrahlung mit rotem ($\lambda=635$ nm, 1 mW) und infrarotem ($\lambda=980$ nm 10 W gepulst) Licht und die dritte Gruppe erhielt intravenöse Blutbestrahlung mit blauem ($\lambda = 440\text{--}460$ nm 0,5 mW) und ebenfalls infrarotem ($\lambda=980$ nm 10 W gepulst) Licht.

Die Blutbestrahlung führte einerseits zu einer deutlichen Verbesserung des Tinnitus mit einer Hörleistungsverbesserung von 5- 10 dB im hohen Frequenzbereich und andererseits zu einer Verbesserung der Durchblutung und Blutfettwerte. Interessant dabei war, dass die Blutbestrahlung mit blauem Licht am effektivsten war.

6. Klinische Anwendung der lokalen Bestrahlung mit blauem Licht

Blutdruck

In [84] wurde bei Freiwilligen der ganze Körper in einem klimatisierten Bräunungsbett mit UVA ($\lambda = 340 - 410\text{nm}$, 20 mW/cm^2 , 20 J/cm^2) bestrahlt. Es kam dabei zu einer Freisetzung von Stickstoffmonoxid NO aus Stickstoffverbindungen der Haut und damit verbunden zu einer schnellen signifikanten Abnahme des systolischen und diastolischen Blutdrucks von 11%.

Dermatologie

In [85] wurden am volaren Unterarm durch Tape-Stripping und Histamin-Eintrag Hautreizungen bzw. Entzündungen erzeugt und die entsprechenden Stellen mit blauem Licht einer Bestrahlungslampe (84 LEDs der Wellenlänge $\lambda=435 \text{ nm}$, 10 mW/cm^2 , 18 J/cm^2) im Abstand von 7 cm bestrahlt. Dabei zeigte sich die entzündungshemmende Wirkung des blauen Lichtes durch Abnahme des Entzündungsbotenstoffes IL-1a und der Wiederherstellung der Hautbarriere.

In [86] wurden Patienten mit leichter Psoriasis vulgaris mit blauem Licht ($\lambda= 453 \text{ nm}$) mit niedriger Leistungsdichte (100 mW/cm^2) oder hoher Leistungsdichte (200 mW/cm^2) bestrahlt. Gegenüber einem unbestrahlten Plaque auf der Gegenseite zeigte sich bei beiden Leistungsdichten eine signifikante Verbesserung (Local Psoriasis Severity Index), wobei die bei der hohen Leistungsdichte noch stärker war.

Kritisch anzumerken wäre hier, dass es sich leider um einen Links- Rechtsvergleich handelt, der die immer vorhandene systemische Wirkung des Lichtes außer Acht lässt. Um so beeindruckender ist daher das signifikante Ergebnis!

In [87] wurde bei 10 Patienten mit einem Hand- oder Fußekzem mit blauem Licht bestrahlt. Die Hauptemission der Lichtquelle lag bei $400 - 500 \text{ nm}$. Die Verbesserung der Symptome war signifikant und zeigte sich durch Abnahme des Dyshidrosis Area and Severity Index (DASI) von 34,9 auf 23,3.

In [88] werden die Erfahrungen einiger Schönheitschirurgen in der Anwendung verschiedenster Lichttherapien zur Hautverjüngung, kosmetischer Verbesserung und Aknetherapie angeführt. In Fig. 3 wird die erfolgreiche Behandlung einer Acne vulgaris mit blauem ($\lambda=415 \text{ nm}$), rotem ($\lambda=633 \text{ nm}$) und infrarotem ($\lambda=830 \text{ nm}$) Licht gezeigt und in Fig.4 wird die erfolgreiche Nachbehandlung einer Er:YAG + CO₂ Faltenkorrektur mit blauem ($\lambda=420 \text{ nm}$) und infrarotem ($\lambda=850-890 \text{ nm}$) Licht dargestellt

In [89] wurden Patienten mit Psoriasis entweder mit blauem ($\lambda= 420 \text{ nm}$, 100 mW/cm^2) oder rotem ($\lambda= 630 \text{ nm}$, 50 mW/cm^2) Licht dreimal pro Woche über 4 Wochen bestrahlt. In beiden Fällen kam es zu einer deutlichen Verbesserung der Symptome insbesondere bezüglich Schuppung und Verhärtung. Bezüglich Reduktion der Erytheme war die Bestrahlung mit blauem Licht wesentlich effektiver: Bei rotem Licht gab es auch nach der 6. Bestrahlung keine signifikante Änderung! Aus photobiologischer Sicht werden hier die endogenen Porphyrine in der psoriatischen Haut genutzt (siehe dazu auch H-Skript) die mit dem Luftsauerstoff und dem Licht eine photodynamische Wirkung erzeugen und zwar ohne Zuhilfenahme eines externen Photosensibilisierungsstoffes. Berachtet man das Absorptionsspektrum von Porphyrinen (Abb.7 auf Seite 20 im B-Skript), so erkennt man die

viel stärkere Absorption im blauen Wellenlängenbereich übereinstimmend mit den besseren klinischen Ergebnissen des blauen Lichtes.

Zu kritisieren wäre bei dieser Untersuchung, dass bei ein und demselben Patienten ein Plaque mit blauem und ein anderes mit rotem Licht bestrahlt wurde, Hier kommt es zur Überlagerung systemischer Effekte von Lichttherapien.

Künstliche Befruchtung

In [90] wurden die Samen von Männern, die zwar eine normale Spermienzahl hatten, deren Samen aber eine zu geringe Beweglichkeit aufwiesen, mit Licht verschiedener Wellenlängen bestrahlt: Die erste Gruppe wurde mit $\lambda=850$ nm , die zweite mit $\lambda=625$ nm, $\lambda=660$ nm und $\lambda=850$ nm, die dritte nur mit $\lambda=470$ nm und die vierte Gruppe mit $\lambda=625$ nm $\lambda=660$ nm und $\lambda=470$ nm bestrahlt. In allen Gruppen nahm die Beweglichkeit der Spermien zu, in der dritten Gruppe die nur mit blauem Licht bestrahlt wurde, war die Zunahme am stärksten.

HNO

In [91] wurde bei Patienten mit Nasenpolypen 3-mal pro Woche über 12 Wochen intranasal mit Licht der Wellenlängen $\lambda=280 - 650$ nm bestrahlt. Der UVB-Anteil betrug dabei 5 %, der von UVA 25 % und der sichtbare Teil der Strahlung betrug 70 % der Intensität. Die Energiedichte wurde dabei der Polypenoberfläche angepasst und betrug in den ersten zwei Wochen 6 J/cm^2 und danach 9 J/cm^2 . Die Bestrahlungszeit richtete sich nach der Polypengröße und variierte zwischen 5 und 40 Min.

Es zeigte sich eine deutliche Verbesserung in allen nasalen Symptomen bzw. Bewertungskriterien und zwar sowohl unmittelbar nach abgeschlossener Therapie als auch 1 und 3 Monate danach. Auch bezüglich Riechvermögen zeigte sich eine deutliche Verbesserung nach der Lichttherapie.

Akupunktur

In [92] wurde bei 13 gesunden Freiwilligen der Akupunkturpunkt Neiguan Pe.6 (in Europa KS6 genannt) beidseitig mit blauem Licht ($\lambda=405$ nm, 110 mW) 10 Minuten lang bestrahlt. Dabei zeigte sich eine signifikante Reduktion der Herzfrequenz und eine nichtsignifikante leichte Zunahme der Herzratenvariabilität (je größer diese ist um so besser reagiert das Vegetativum auf Reize).

Lunge

In [93] wurden bei 96 Tuberkulose-Patienten unter Lokalanästhesie die erkrankungsbedingt entstandenen Hohlräume in der Lunge zuerst unter Röntgenkontrolle mit einer Hohlnadel punktiert und danach über einen Lichtleiter mit der UVA-Strahlung eines Stickstofflasers ($\lambda=337$ nm, 2mW) 10 Minuten lang bestrahlt. Eine klinische Verbesserung zeigte sich bei 90% der Patienten, eine Verbesserung des Röntgenbefundes bei 60% und ein negativer Abstrich bei 75%. Entsprechend der Anzahl an Hohlräumen wurde die Sitzung nach 3 bis 4 Tagen wiederholt.

Blutgerinnung

In [94] wurde ein in der Zahnmedizin routinemäßig zur Aushärtung von Kunststoffcomposites verwendete Blaulichtquelle zur Bestrahlung der Zahnhöhle nach Zahnextraktion verwendet. Bestrahlt wurde 10 Sekunden lang aus 1 cm Entfernung mit $\lambda=380-515$ nm, 750mW/cm^2 und $7,5\text{ J/cm}^2$. Unmittelbar danach kam es zur Ausbildung eines Thrombus und zum vollständigen Stopp der Blutung, verglichen mit den ca. 2-5 Minuten der herkömmlichen Methode durch Beißen auf eine Baumwollrolle. Innerhalb einer Woche heilten

die bestrahlten Zahnhöhlen durch Bildung einer geschlossenen Epithelschicht problemlos ab.

Wundheilung

In [95] wurden Ulcera an den Fingern von Patienten mit systemischer Sklerose mit einer Lichtquelle, die blaues ($\lambda=405$ nm), rotes ($\lambda=660$ nm) und infrarotes ($\lambda=850$ nm) Licht emittiert, mit einer Leistungsdichte von ca. 10 mW/cm^2 und einer Energiedichte von 10J/cm^2 15 Minuten lang 2-mal pro Woche über 3 Wochen bestrahlt. Es kam zu einer deutlichen Reduktion des Schmerzes und Steigerung der Ulcus-Perfusion.

In [96] wurden anhand von Zellkulturstudien mit Keratinozyten und Fibroblasten die für die wundheilungsfördernde Wirkung von rotem und blauem Licht verantwortlichen Moleküle und Photorezeptoren ermittelt. Wichtig dabei ist auch hier, dass gemäß der Arndt-Schulzschen Regel beobachtet wurde, dass niedrige Lichtdosen von blauer, roter und infraroter Strahlung den Stoffwechsel der Keratinozyten aktivieren, mittlere Dosen lediglich eine Verzögerung des Stoffwechselvorgänge bewirken und hohe Dosen zu einer inhibitorischen Wirkung führen.

In [97] wurden bei Patienten, die sich einer Schönheitschirurgischen Operation im Gesicht unterzogen hatten, die dabei entstandenen Erytheme mit einer Lichtquelle, die blaues ($\lambda=405 - 420$ nm) und infrarotes ($\lambda=850 - 900$ nm) Licht emittiert, 20 Minuten täglich an 6 aufeinanderfolgenden Tagen bestrahlt. Dabei zeigte sich eine deutliche und viel schnellere Reduktion der Erythe me und postoperativen Beschwerden.

In [98] wurde von der Arbeitsgruppe aus [97] dieselbe Lichtquelle in einer Multicenter-Studie im Bereich der Schönheitschirurgie angewandt. Zusätzlich zu der Indikation in [97] wurde die Lichtquelle bei der Nachbetreuung von Hautverjüngung (Anti-Aging) und bei schönheitschirurgischen Operationen (z.B. Brustvergrößerung) eingesetzt.

Beim Anti-Aging zeigte sich bei 90 % der Patienten auch noch nach 3 Monaten eine Reduktion der Hautporengröße und eine Verbesserung des Hauterscheinungsbildes und bei 45 % der Patienten eine Glättung der Hautfalten. Bei den Operationen zeigten sich eine beschleunigte Wundheilung und eine deutliche Reduktion der postchirurgischen Beschwerden.