

Wassergefiltertes Infrarot A (wIRA) zur Verbesserung der Wundheilung

Water-filtered infrared A (wIRA) for the improvement of wound healing

Abstract

Water-filtered infrared A (wIRA), a special form of heat radiation with a high tissue penetration and with a low thermal load to the skin surface, is able, through thermal and non-thermal effects, to essentially improve even energetically specific factors of the wound healing. This has been proven by measurements.

wIRA can considerably alleviate the pain and accelerate the wound healing or improve a stagnating wound healing and diminish an elevated wound secretion and inflammation both in acute wounds (prospective, randomised, controlled, double-blinded studies of the Surgical University Hospital Heidelberg after abdominal surgery, n=94, and of the Children Surgical Department Kassel in severely burned children, n=45) and in chronic wounds and in problem wounds (prospective, randomised, controlled study in Basel, n=40, and prospective study of the University Tromsø/Norway in Hillerød/Denmark with effortful thermographic follow-up, n=10, in both studies chronic venous lower leg ulcers) including infected wounds. A positive influence on the wound healing is particularly possible even without a disturbance of wound healing. In chronic wounds complete healings are achieved, which were not seen before.

wIRA is contact-free, easily applied, without discomfort for the patient, with absent consumption of material and with a good effect in the depth, which is equivalent to the sun heat radiation on the earth in moderate climatic zones. The irradiation of the uncovered wound is carried out typically from a distance of approximately 25 cm with a wIRA radiator. Wound healing and resistance to infection (e.g. granulocyte function including antibacterial oxygen radical formation of the granulocytes) depend decisively on a sufficient energy supply (and on sufficient oxygen). The clinically good effect of wIRA on wounds and also on problem wounds and wound infections can be explained by the improvement of both the energy supply per time (increase of metabolic rate) and the oxygen supply (e.g. for the granulocyte function). Because of a thermal effect on the tissue wIRA causes an improvement in all three decisive factors oxygen partial pressure, tissue temperature and tissue blood flow. In addition there are also non-thermal effects of infrared A in the sense of a direct stimulation of cells and cellular structures with reactions of the cells.

Keywords: water-filtered infrared-A (wIRA), wound healing, acute wounds, chronic venous leg ulcers, prospective, randomised, controlled, double-blinded studies, reduction of pain, problem wounds, wound infections, resistance to infection, wound secretion, inflammation, thermal and non-thermal effects, contact-free method, absent consumption of material, energy supply, oxygen supply, tissue oxygen partial pressure, tissue temperature, tissue blood flow, visual analogue scales (VAS), infrared thermography, thermographic image analysis, quality of life

Gerd Hoffmann¹

1 Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main, Institut für Sportwissenschaften, Frankfurt am Main, Deutschland

Zusammenfassung

Wassergefiltertes Infrarot A (wIRA) als spezielle Form der Wärmestrahlung mit hohem Penetrationsvermögen in das Gewebe bei geringer thermischer Oberflächenbelastung vermag über thermische und nicht-thermische Effekte wesentliche, auch energetisch bedeutsame Faktoren der Wundheilung - messtechnisch belegt - zu verbessern.

wIRA kann sowohl bei akuten Wunden (prospektive, randomisierte, kontrollierte, doppelblinde Studien der chirurgischen Universitätsklinik Heidelberg bei frischen abdominellen Op-Wunden, n=94, und der Kinderchirurgie Kassel bei schwerbrandverletzten Kindern, n=45) als auch bei chronischen Wunden und Problemwunden (prospektive, randomisierte, kontrollierte Studie in Basel, n=40, sowie prospektive Studie der Universität Tromsø/Norwegen in Hillerød/Dänemark mit u. a. auch aufwendiger thermographischer Verlaufskontrolle, n=10, in beiden Studien chronische venöse Unterschenkel-Ulzera) einschließlich infizierter Wunden Schmerzen deutlich mindern und die Wundheilung beschleunigen oder bei stagnierender Wundheilung verbessern sowie eine erhöhte Wundsekretion und Entzündung mindern. Insbesondere ist auch ohne Wundheilungsstörung eine positive Beeinflussung der Wundheilung möglich. Bei chronischen Wunden werden vollständige Abheilungen erreicht, die zuvor nicht erreicht wurden.

wIRA ist ein kontaktfreies, verbrauchsmaterialfreies, leicht anzuwendendes, als angenehm empfundenes Verfahren mit guter Tiefenwirkung, das der Sonnenwärmestrahlung auf der Erdoberfläche in gemäßigten Klimazonen nachempfunden ist. Die Bestrahlung der unbedeckten Wunde erfolgt typischerweise aus ca. 25 cm Abstand mit einem wIRA-Strahler.

Wundheilung und Infektionsabwehr (z.B. Granulozytenfunktion einschließlich antibakterieller Sauerstoffradikalbildung der Granulozyten) hängen ganz entscheidend von einer ausreichenden Energieversorgung (und von ausreichend Sauerstoff) ab.

Die klinisch gute Wirkung von wIRA auf Wunden und auch auf Problemwunden und Wundinfektionen lässt sich u. a. über die Verbesserung sowohl der Energiebereitstellung pro Zeit (Steigerung der Stoffwechsellistung) als auch der Sauerstoffversorgung (z.B. für die Granulozytenfunktion) erklären. wIRA bewirkt als thermischen Effekt eine Verbesserung aller drei entscheidender Faktoren Sauerstoffpartialdruck im Gewebe, Gewebetemperatur und Gewebedurchblutung. Daneben wurden auch nicht-thermische Effekte von Infrarot A im Sinne einer Reizsetzung auf Zellen und zelluläre Strukturen mit Reaktionen der Zellen beschrieben.

Schlüsselwörter: wassergefiltertes Infrarot A (wIRA), Wundheilung, akute Wunden, chronische venöse Unterschenkel-Ulzera, prospektive, randomisierte, kontrollierte, doppelblinde Studien, Schmerzminderung, Problemwunden, Wundinfektionen, Infektionsabwehr, Wundsekretion, Entzündung, thermische und nicht-thermische Effekte, kontaktfreies, verbrauchsmaterialfreies Verfahren, Energiebereitstellung, Sauerstoffversorgung, Sauerstoffpartialdruck im Gewebe, Gewebetemperatur, Gewebedurchblutung, visuelle Analogskalen (VAS), Infrarot-Thermographie, thermographische Bildanalyse, Lebensqualität

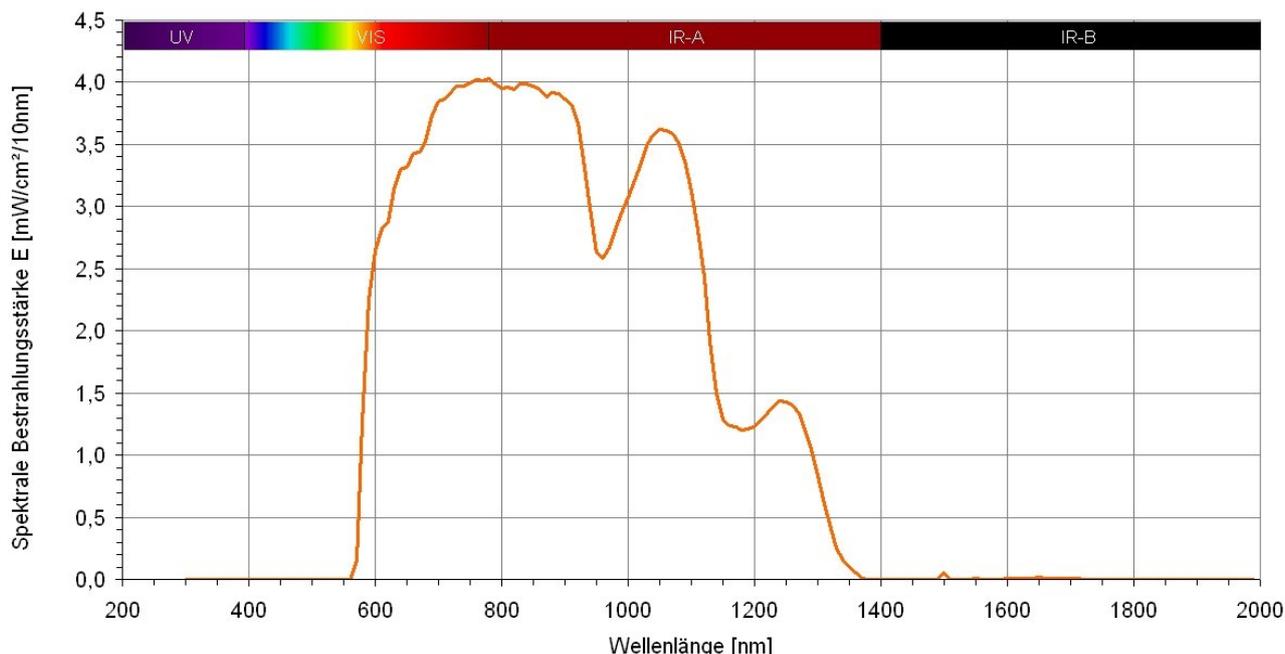


Abbildung 1: Spektrum eines wIRA-Strahlers (Hydrosun®-Strahler 501 mit 10 mm Wasser-Küvette und Orangefilter OG590) bei 210 mW/cm² (= 2,1 x 10³ W/m²) Gesamtbestrahlungsstärke (hiervon ca. 60 mW/cm² sichtbares Licht (VIS) und ca. 150 mW/cm² wassergefiltertes Infrarot A (wIRA)) bei 25 cm Abstand, berechnet aus der Messung der Fachhochschule München vom 30.06.1999. (aus [51])

Was ist wassergefiltertes Infrarot A (wIRA)? Warum wIRA? Wie kam es zu wIRA?

Die Erfahrung der angenehmen Wärme der Sonne in gemäßigten Breiten entsteht durch die Filterung der Sonnenwärmestrahlung durch Wasserdampf in der Erdatmosphäre [1], [2]. Unter dem Einfluss dieser Sonnenwärmestrahlung hat sich der Mensch in der Evolution entwickelt [3]. Im Gegensatz dazu steht die stechende brennende Sonne in der Wüste aufgrund des dort in der Erdatmosphäre fehlenden Wasserdampfs.

Durch die Wasser-Filterung werden die Strahlungsanteile gemindert (sogenannte Wasserbanden innerhalb des Infrarot A sowie die meisten Teile des Infrarot B und C), die sonst durch Wechselwirkung mit Wassermolekülen in der Haut eine unerwünschte thermische Belastung der obersten Hautschicht bringen würden [1], [2].

Technisch wird wIRA in speziellen Strahlern erzeugt, in denen die gesamte Strahlung eines 3000-Kelvin-Halogen-Strahlers durch eine Wasser enthaltende Küvette hindurchtritt, so dass die unerwünschten Strahlungsanteile gemindert oder herausgefiltert werden [1], [3].

Das verbleibende wassergefilterte Infrarot A (wIRA, im Bereich 780-1400 nm, Beispiel für ein Spektrum s. Abbildung 1) - nicht zu verwechseln mit Ultraviolett A (UVA, 315-380 nm), das sich am anderen Ende des sichtbaren Lichts (380-780 nm) an dieses anschließt - erlaubt gegenüber ungefiltertem Infrarot einen mehrfachen Energieeintrag in das Gewebe bei weniger thermischer Belastung der Hautoberfläche [1].

Wirkmechanismen von wIRA

wIRA wirkt sowohl über thermische Effekte als auch über nicht-thermische Effekte [1].

Zu den thermischen Effekten gehören der Aufbau eines therapeutischen Wärmefeldes sowie die daraus ableitbaren - unten erläuterten - energetischen Aspekte.

Thermische Effekte von wIRA und Aufbau eines therapeutischen Wärmefeldes

Der Aufbau eines therapeutischen Wärmefeldes [1] erfolgt durch:

- Erreichen hautoberflächennaher Kapillarbereiche durch die Infrarot-A-Strahlung (Primärerwärmung)
- Wärmeabtransport durch das Blut (Kühlung hautoberflächennaher Gewebereiche, Wärmeverschleppung in die Tiefe)
- Erhöhung der Kapillardurchblutung mit Ausweitung der Strahlung zugänglichen Durchblutungsbereiche
- Gewebewärmeleitung in die Tiefe
- sekundäre Energiefreisetzung durch Stoffwechselanregung (Stoffwechselsteigerung) infolge Temperatursteigerung (gemäß der Reaktions-Geschwindigkeits-Temperatur-Regel, RGT-Regel, bedeuten z.B. 3 °C mehr Temperatur ca. 30% mehr Reaktionsgeschwindigkeit und damit mehr Energiebereitstellung im Gewebe)
- relativ hohe primäre Tiefenwirksamkeit von wIRA.

Nicht-thermische Effekte von wIRA

Nicht-thermische Effekte von wIRA beruhen auf der Reizsetzung auf Zellen und zelluläre Strukturen. Reaktionen der Zellen sind z.B. bei Infrarot A - auch z.T. bei sehr kleinen Bestrahlungsintensitäten - beschrieben, z.B. zielgerichtetes Plasmodienwachstum [4], Beeinflussung der Cytochrom-Oxidase c [5], [6], [7], zielgerichtetes Wachstum von Neuronen [8] sowie zellschützende Effekte von Infrarot A [9] und wassergefiltertem Infrarot A (wIRA) [10], [11], [12]. Für wIRA in therapeutischen Bestrahlungsstärken und -dosen konnte nicht nur gezeigt werden, dass es für menschliche Haut harmlos ist (u. a. keine Induktion von Matrix-Metalloproteinasen) [11], [13], sondern dass es zellschützende Effekte gegen die durch UV-Strahlung hervorgerufenen Schäden hat [10], [11], [12].

Energetische Aspekte von Wundheilung sowie Sauerstoff

Wundheilung und Infektionsabwehr stellen hochgradig energieverbrauchende Prozesse dar, ein Aspekt, der erstaunlicherweise selten so explizit formuliert und in den Konsequenzen benannt wird. Wundheilung und Infektionsabwehr (z.B. Granulozytenfunktion einschließlich antibakterielle Sauerstoffradikalbildung der Granulozyten) hängen ganz entscheidend von einer ausreichenden Energieversorgung (und von ausreichend Sauerstoff) ab. Langfristig muss Energie weitgehend aerob (mit Sauerstoff) bereitgestellt werden. Insofern spielt Sauerstoff bei der Wundheilung eine doppelte Rolle: als Agens in der Energiebereitstellung sowie auch als Substrat für die Sauerstoffradikalbildung der Granulozyten.

Energiebereitstellung und Wundheilung hängen deshalb von der Integrität der *drei* folgenden Faktoren ab:

- *Gewebetemperatur*
- *Sauerstoffpartialdruck im Gewebe*
- *Gewebedurchblutung*.

Bereits ein einziger deutlich im Pathologischen liegender Faktor stört Energieproduktion und Wundheilung oder macht sie unmöglich:

- Unter 28 °C ist keine Wundheilung möglich (zu langsamer Stoffwechsel gemäß der Reaktions-Geschwindigkeits-Temperatur-Regel) [14] - während z.B. sowohl präoperative [15] als auch postoperative [16] Wärmezufuhr zum Operationsgebiet die Wundheilung von Operationswunden verbessert.
- Ohne ausreichenden Sauerstoffpartialdruck ist keine aerobe Energiebereitstellung (und keine Granulozytenfunktion) möglich (chronische Wunden haben häufig einen Sauerstoffpartialdruck nahe Null und eine relative Hypothermie [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26], [27], [28]).
- Ausreichende Gewebedurchblutung einschließlich Kapillardurchblutung ist für den Antransport energie-

reicher Substrate zum Gewebe und für den Abtransport von Stoffwechselschlacken erforderlich.

Das komplexe Wirkgefüge von u.a. Wachstumsfaktoren, Zytokinen und Proteasen im Rahmen der Wundheilung mit Unterschieden zwischen akuten und chronischen Wunden sowie Einflüsse des Lebensalters und die Bedeutung der extrazellulären Matrix - mit z.B. einem Überwiegen von Entzündungsmediatoren und Proteasen (Matrix-Metalloproteinasen) bei chronischen Wunden - sind heute bereits recht detailliert bekannt [29], [30].

Bei wIRA wird die zelluläre Energiebereitstellung pro Zeit (im Sinne der Stoffwechselleistung) durch Steigerung von drei Faktoren erheblich gesteigert, wobei die Effekte von wIRA auf diese drei Faktoren durch verschiedene Arbeitsgruppen mittels unterschiedlicher Verfahren belegt sind:

- Gewebetemperatur, nachgewiesen am Menschen mittels direkter Messung der Gewebetemperatur mit Stichsonden [31], [32], [33] sowie mit implantierten Sonden (in 2 cm Gewebetiefe in Op-Wunden) [34] und thermographisch [26], [35], [36] sowie zusätzlich tierexperimentell mit Stichsonden bis 7 cm Gewebetiefe [37]
- Sauerstoffpartialdruck im Gewebe, nachgewiesen am Menschen mittels direkter Sauerstoffpartialdruckmessung im Gewebe mit implantierten Sonden in Op-Wunden [34] sowie mittels Messung der Sauerstoffsättigung des Hämoglobins mit äußerer Weißlicht-Messsonde [38]
- Gewebedurchblutung/Kapillardurchblutung, nachgewiesen am Menschen mittels Durchblutungsmessung mit Laser-Doppler-Perfusion-Imaging (= scanning laser Doppler imaging) [35], [36], [39] und mittels Durchblutungsmessung in zwei Tiefen mit äußerer Laser-Doppler-Messsonde [38] sowie zusätzlich tierexperimentell mittels Farbmikrosphärentechnik bis 7 cm Gewebetiefe [37].

Hyperbare Oxygenation [20], [21], [22] steigert dagegen primär nur einen Faktor, den Sauerstoffpartialdruck im Gewebe.

Die klinisch gute Wirkung von wIRA auf Problemwunden und auch Wundinfektionen einschließlich entzündungshemmender Wirkung lässt sich u. a. über die Verbesserung sowohl der Energiebereitstellung pro Zeit (Steigerung der Stoffwechselleistung) als auch der Sauerstoffversorgung (z.B. für die Granulozytenfunktion) sowie nicht-thermische zelluläre Effekte erklären.

Grundsätze für klinische Anwendungen von wIRA

wIRA kann *grundsätzlich* immer dann in Erwägung gezogen werden, wenn klinisch eine *tiefenwirksame Wärmeapplikation* (mit *hoher Leistungsdichtetoleranz* und *hohem Energiefluss ins Gewebe*) erwünscht/indiziert ist. wIRA kann *grundsätzlich* immer dann in Erwägung gezogen werden, wenn pathogenetisch mindestens ein Faktor

gestört oder suboptimal ist, der durch die thermischen und nicht-thermischen Effekte von wIRA positiv beeinflusst werden kann.

wIRA ist durch folgende grundsätzliche Vorteile gekennzeichnet:

- Kontaktfreies Verfahren
- "sauberes" Verfahren (verglichen mit z.B. Fango)
- verbrauchsmaterialfreies Verfahren
- körperregion-bezogen einsetzbar (Einzelstrahler)
- kreislaufschonend (verglichen mit Vollbad)
- benötigt keine Fixierung am Körper (verglichen mit "warmem Wickel")
- bei verschiedenen Lagerungen einsetzbar
- bietet Bewegungsfreiheit
- Kombination "Wärme und Bewegung" möglich [40]
- sehr gut dosierbar (vor allem durch Variation des Abstands)
- kontinuierlich ansteigende Wärme ohne Hitzeschock und Überhitzung der oberflächlichen Hautschichten
- subjektiv angenehm (selbst auf Wunden), daher unproblematisch auch bei Kindern einsetzbar [41]
- gute Tiefenwirkung
- zeitlich anhaltendes Wärmedepot
- relativ geringer technischer Aufwand
- geringer Zeitaufwand für Personal
- leichte Durchführbarkeit
- begrenzter Zeitaufwand für den Patienten
- schmerzmindernde Wirkung. Der bei den verschiedensten Indikationen (z.B. bei Warzen [1], Herpes, Wunden [34], [26], [42], [43], [44], Sklerodermie [45]) und Arbeitsgruppen zu beobachtende Aspekt der Schmerzminderung (bzw. der Juckreizminderung bei Morphaea [46], [47]) ist als wichtiger klinischer Effekt besonders herauszuheben!

Insgesamt ist wIRA:

- wesentlich besser als "Rotlicht", weil eine deutlich höhere Bestrahlungsstärke mit mehr Tiefenerwärmung und weniger Oberflächenerwärmung möglich ist und
- Ersatz auch für "feucht-warme Wickel" und andere Wärmemethoden.

Für den klinischen Einsatz von wIRA können folgende **grundsätzliche Empfehlungen** gegeben werden:

- wIRA wirkt nur auf unbedeckten Hautpartien, d.h., wIRA geht nicht durch Kleidung, Verbände etc.
- Strahler möglichst senkrecht zur Haut, Abstand mindestens 25 cm
- Bestrahlungszeit mindestens 20 Minuten (besser 30 Minuten)
- wenn es dem Patienten zu warm wird, rechtzeitig Abstand etwas vergrößern, Bestrahlung möglichst nicht abbrechen
- spezielle Vorsicht, d.h. größeren Bestrahlungsabstand bei Patienten mit gestörtem Sensorium (z.B. diabetischer Polyneuropathie) oder gestörter Rückäußerungsfähigkeit, bei schlecht durchblutetem Gewebe oder

geringem Unterhautgewebe (z.B. Schienbeinkante) wählen.

wIRA zur Verbesserung der Wundheilung in Dermatologie und Chirurgie

Idealerweise sollten akute Wunden und ganz besonders chronische Wunden, Wunden mit Wundheilungsstörungen oder infizierte Problemwunden ein- bis zweimal täglich mit wIRA für jeweils (20-)30 Minuten bestrahlt werden, allermindestens dreimal pro Woche (20-)30 Minuten. wIRA ersetzt nicht andere sinnvolle/notwendige therapeutische Maßnahmen (wie z.B. die wichtige Kompressionstherapie bei chronischen venösen Unterschenkel-Ulzera [48], [49]), sondern ergänzt diese. Die Therapie mit wIRA ist entsprechend in ein therapeutisches Gesamtkonzept einzubetten. wIRA kann unabhängig von Therapiepräferenzen in der Wundversorgung (z.B. feuchte Wundversorgung) eingesetzt werden, für die wIRA-Bestrahlung muss die Wunde aber offen, d.h. unbedeckt, sein (fast alle Verbände oder Wundauflagen sind für wIRA nicht oder nicht hinreichend durchlässig, die unzureichende Transmissivität ist durch spektrale Transmissivitätsmessungen an verschiedenen Wundauflagen belegt).

Bei der Beurteilung der Wundheilung sind nach modernen Konzepten [50] auch andere Endpunkte und Zielgrößen als kompletter Wundschluss heranzuziehen, wie Minderung von Schmerzen, Verbesserung der Lebensqualität, Verbesserung des kosmetischen Ergebnisses, Verringerung von Narben, klinisch bedeutsame Verkürzung der Abheilungszeit und verbesserte Qualität des Abheilens. Dabei wird der Verminderung oder Vermeidung von Schmerzen heute große Bedeutung beigemessen, um die Ausbildung eines Schmerzgedächtnisses mit Chronifizierung und Verselbstständigung des Schmerzes zu vermeiden und die Wundheilung zu erleichtern [51], [52].

wIRA bei akuten Wunden

wIRA bei frischen Op-Wunden (Studie Heidelberg)

Eine prospektive, randomisierte, kontrollierte, doppelblinde Studie mit $n = 46+48 = 94$ Patienten der chirurgischen Universitätsklinik Heidelberg zeigte nach abdominalen Operationen mit ab dem zweiten postoperativen Tag täglich zweimal 20 Minuten Bestrahlung in der Gruppe mit sichtbarem Licht VIS und wIRA (VIS+wIRA) im Vergleich zur Kontrollgruppe mit nur sichtbarem Licht (VIS) eine signifikante und relevante Schmerzminderung (akut um 13,4 vs. 0 auf visueller Analogskala VAS von 0 bis 100) bei 57%-70% weniger Schmerzmittelverbrauch, eine verbesserte Wundheilung, in 2 cm Gewebetiefe einen akuten Anstieg der Gewebetemperatur um 2,7°C und des Sauerstoffpartialdrucks um ca. 30% (von 32 auf 42

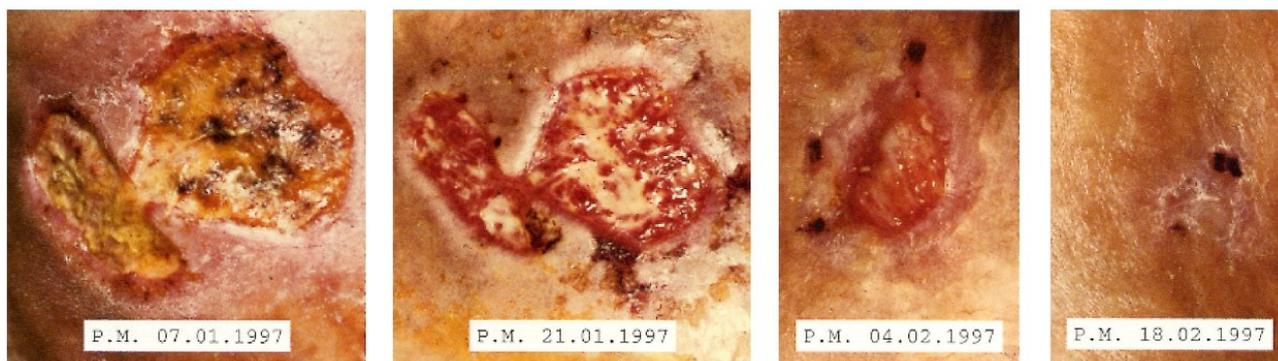


Abbildung 2: Beispiel für einen Heilungsverlauf eines chronischen venösen Unterschenkel-Ulkus unter Therapie mit wIRA (dreimal wöchentlich 30 Minuten Bestrahlung mit sichtbarem Licht (VIS) und wassergefiltertem Infrarot A (wIRA)) (Studie Basel) [42]: Anfangsbefund, Befund nach 2 Wochen, nach 4 Wochen und nach 6 Wochen (geheilt)

mm Hg), tendenziell weniger Wundheilungsstörungen (7% vs. 15%) sowie eindrucksvolle Unterschiede in der Abschlussbewertung (79 vs. 50 bei VAS von 0 bis 100) [34]. Bemerkenswerterweise zeigten alle 46 Patienten der wIRA-Gruppe an jedem der betrachteten 5 aufeinanderfolgenden Tage ausnahmslos eine akute Schmerzminderung nach der wIRA-Bestrahlung.

Auch ohne Wundheilungsstörung ist somit eine positive Beeinflussung der Wundheilung durch wIRA möglich [34], [43], [44]!

Die Untersuchung einer Vorab-Gruppe zu einer prospektiven, randomisierten, kontrollierten, verblindeten Studie (VIS+wIRA vs. VIS) zum Einsatz von wIRA in der Rehabilitation nach Hüft-/Knie-Endoprothesen-Operationen ergab eine sonographisch nachweisbare beschleunigte Wundserom-/Wundhämatom-Resorption sowie klinisch eine Schmerzreduktion durch wIRA [53].

wIRA bei schwerbrandverletzten Kindern (Studie Kassel)

Eine prospektive, randomisierte, kontrollierte, doppelblinde Studie mit $n = 21+24 = 45$ schwerbrandverletzten Kindern in einer kinderchirurgischen Abteilung (Klinik Park Schönfeld, Kassel) ergab eine etwas schnellere Reduktion der Wundareale (z.B. Tag 6: 94% versus 86%), eine etwas bessere Wundbeurteilung durch den Arzt (mittels visueller Analogskala VAS) sowie einen tendenziell kürzeren Krankenhausaufenthalt in der Gruppe mit VIS+wIRA, verglichen mit der Kontrollgruppe mit VIS [54].

wIRA bei chronischen Wunden

wIRA bei chronischen venösen Unterschenkel-Ulzera (Studie Basel)

Eine prospektive, randomisierte, kontrollierte Studie mit $n = 20+20 = 40$ Patienten mit chronischen venösen Unterschenkel-Ulzera (Standardtherapie mit Wundsäuberung, antibakterieller Gaze, Kompressionsverband) ergab bei zusätzlich dreimal wöchentlich 30 Minuten Bestrahlung mit sichtbarem Licht (VIS) und wassergefiltertem

Infrarot A (wIRA) über maximal 6 Wochen eine signifikant und relevant schnellere Wundheilung (im Mittel 18 vs. 42 Tage bis zum kompletten Wundschluss, Restulkusfläche nach 42 Tagen $0,4 \text{ cm}^2$ vs. $2,8 \text{ cm}^2$) sowie einen signifikant ($p < 0,001$) und relevant geringeren Schmerzmittelverbrauch gegenüber einer gleichtherapierten, aber nicht bestrahlten Kontrollgruppe [42]. Die Abbildung 2 zeigt einen erfolgreichen Therapieverlauf.

wIRA bei chronischen venösen Unterschenkel-Ulzera (Studie Tromsø/Hillerød)

Eine weitere prospektive (primär randomisiert, kontrolliert geplante) Studie (Universität Tromsø/Norwegen, Hillerød/Dänemark) mit $n=10$ Patienten mit u.a. auch aufwendiger thermographischer Verlaufskontrolle ergab unter wIRA eine beschleunigte Wundheilung mit vollständiger oder nahezu vollständiger Abheilung (96%-100% Abnahme der Ulkusfläche) vorher therapierefraktärer chronischer Unterschenkel-Ulzera bei 7 sowie eine Ulkusverkleinerung bei 2 der 10 Patienten, eine deutliche Minderung der Schmerzen (von z.B. 15 auf 0 Schmerztabletten täglich), eine Normalisierung des thermographischen Bilds (vor Therapiebeginn typischerweise hyperthermer Ulkusrandwall mit relativ hypothermem Ulkusgrund und z. T. mehreren Grad Temperaturdifferenz) sowie im Einzelfall bei einem Seitenvergleich (Therapie eines Beins mit einem Ulkus mit dem Vollwirkstrahler VIS+wIRA, Therapie des anderen Beins mit einem Ulkus mit einem Kontrollgruppenstrahler VIS ohne wIRA) deutliche Unterschiede zugunsten von wIRA [26]. Alle Beurteilungen anhand von visuellen Analogskalen VAS (Schmerzempfinden des Patienten in der Wunde, Gesamtschätzung des Effekts der Bestrahlung durch Patient und durch klinischen Untersucher, Gesamtschätzung des Patienten des Gefühls im Wundbereich, Gesamtschätzung der Wundheilung durch den klinischen Untersucher, Gesamtschätzung des kosmetischen Zustandes durch Patient und durch klinischen Untersucher) verbesserten sich während der Bestrahlungs-Therapie-Periode sehr stark, was einer verbesserten Lebensqualität entsprach. Ein kompletter Wundschluss wurde nur bei Patienten mit

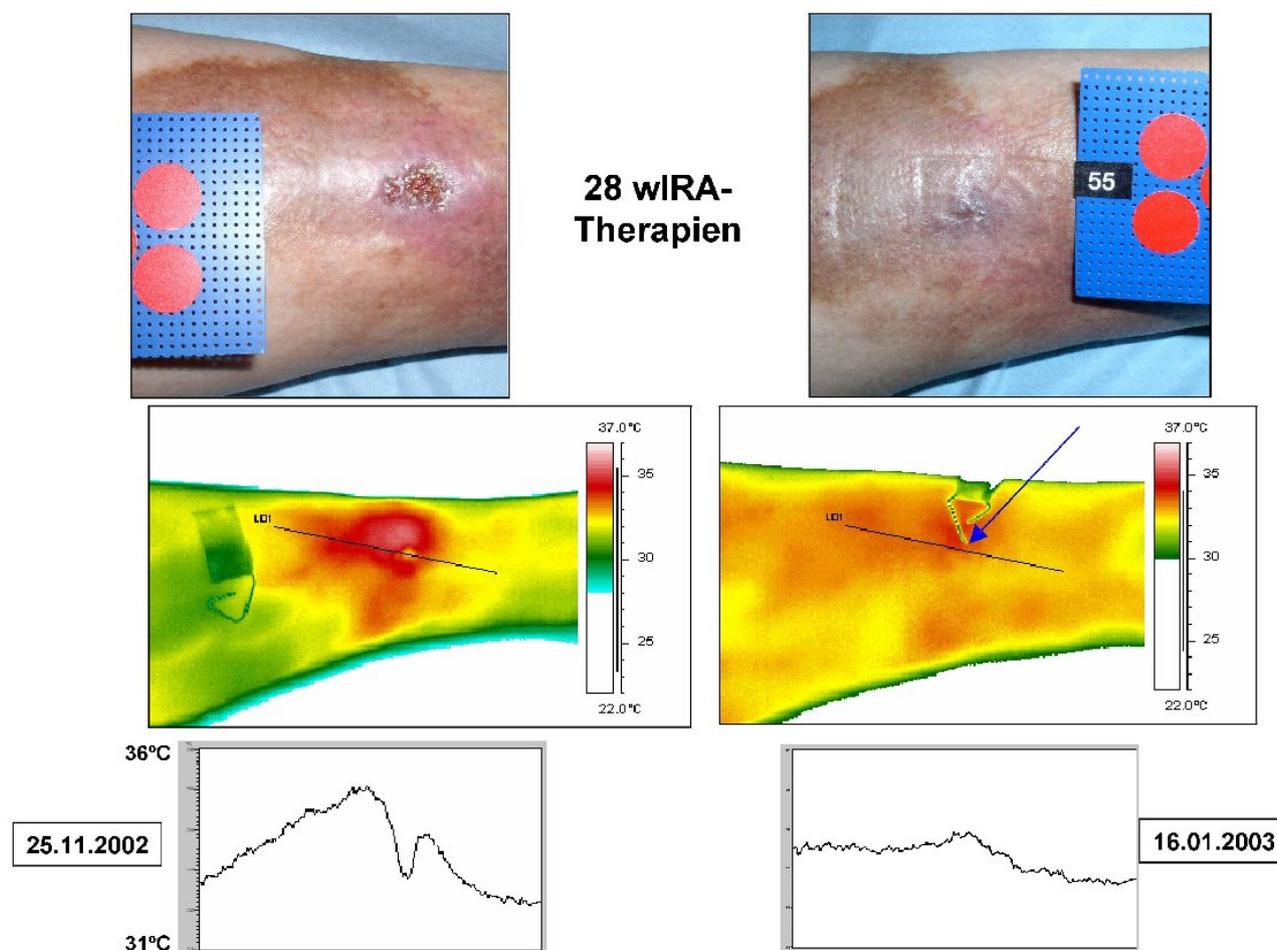


Abbildung 3: Beispiel für einen Heilungsverlauf eines chronischen venösen Unterschenkel-Ulkus unter Therapie mit wIRA (28mal 30 Minuten Bestrahlung mit sichtbarem Licht (VIS) und wassergefiltertem Infrarot A (wIRA) innerhalb von 52 Tagen = ca. 7 Wochen) (Studie Tromsø/Hillerød) mit normaler Aufsicht, thermographischem Bild und Temperaturprofil durch das Ulkus - jeweils links vor Therapie und rechts nach Abschluss der Therapie. Der Pfeil und der lange Arm des Drahtes zeigen im Abschluss-thermographiebild auf die Stelle, an der die Wunde war. Durchmesser der roten Kreise: 16 mm. (mit freundlicher Genehmigung von Prof. James Mercer, Tromsø/Norwegen) [26]

peripherer arterieller Verschlusskrankheit, Rauchen oder fehlender venöser Kompressionstherapie nicht erreicht [26]. Ein Beispiel für einen erfolgreichen Therapieverlauf mit wIRA ist in Abbildung 3 mit normaler Aufsicht, thermographischem Bild und Temperaturprofil durch das Ulkus - jeweils vor Therapie und nach Abschluss der Therapie - dargestellt.

wIRA bei chronischen venösen Unterschenkel-Ulzera (Beispiel)

88jährige Patientin, zum Zeitpunkt der ersten Visite (Anfang Juni 2004) bereits seit 13 Monaten bestehendes, trotz ärztlicher Therapie sich bis auf ca. 10 cm vergrößern des Ulcus cruris am rechten distalen medialen Unterschenkel bei chronischer venöser Insuffizienz, deutlichen Unterschenkel-Stauungsödemen und großflächiger Stauungsdermatitis sowie mit Wundinfektion (Wunde leicht fötide) bei Diabetes mellitus (Typ II, oral eingestellt), leichtem Übergewicht und eingeschränktem Bewegungsumfang. Den Verlauf der erfolgreichen Therapie bis zum

kompletten Wundschluss nach ca. 5 Monaten zeigt Abbildung 4.

Ein weiteres Beispiel der erfolgreichen Anwendung von wIRA bei chronischem venösem Unterschenkel-Ulkus ist in [46] dargestellt.

wIRA bei gemischt arteriell-venösen Ulzera (Beispiele)

Beispiel 1: Bei einem seit Jahren bestehenden gemischt arteriell-venösen Unterschenkel-Ulkus (Raucher) konnte binnen 16 Tagen mit 14 wIRA-Therapien zu je 15 Minuten in einem Altenpflegeheim eine Reduktion der Größe des Ulkus von 4,2 x 2,5 cm auf 1,5 x 0,5 cm, eine Verbesserung der globalen Wundheilungsbeurteilung durch die Pflegekraft von 6 auf 75 (!) (visuelle Analogskala von 0 = extrem schlecht bis 100 = extrem gut), eine Verbesserung des Wundschmerzes von 48 auf 33 (visuelle Analogskala von 0 = kein Schmerz bis 100 = unerträglicher Schmerz), eine Verbesserung des subjektiven Empfindens der Bestrahlung von +4 auf +16 (visuelle Analogskala von -50 = extrem unangenehm bis +50 = extrem ange-



29.07.2004

10.11.2004

13.12.2004

Abbildung 4: Beispiel für einen Heilungsverlauf eines chronischen venösen Unterschenkel-Ulkus unter Therapie mit wIRA (täglich 30 Minuten Bestrahlung mit sichtbarem Licht (VIS) und wassergefiltertem Infrarot A (wIRA)) (eigene Beobachtung): Anfangsbefund, Befund nach 3½ Monaten, nach 4½ Monaten (geheilt)

nehm) sowie eine Verbesserung der Beurteilung (durch die Pflegekraft) des Effekts der Bestrahlung von 0 auf +26 (!) (visuelle Analogskala von -50 = extreme Verschlechterung bis +50 = extreme Verbesserung) erreicht werden (eigene Beobachtung).

Beispiele der Universitäts-Hautklinik Freiburg:

Beispiel 2: chronische venöse Insuffizienz Grad III n.W. sowie periphere arterielle Verschlusskrankheit Grad II n.F. und Diabetes mellitus Typ II mit desolater Einstellung; bereits binnen ca. 10 Tagen konnte unter wIRA-Therapie eine deutliche Heilungstendenz mit weitgehender Abheilung von drei kleineren Unterschenkel-Ulzera erreicht werden [38].

Beispiel 3: chronische venöse Insuffizienz sowie periphere arterielle Verschlusskrankheit und Diabetes mellitus mit Mikroangiopathie; ca. 7 cm großes Unterschenkel-Ulkus im Schienbeinbereich (mit kleinem zweiten Ulkus): unter wIRA-Therapie binnen 15 Tagen deutliche Abnahme der Wundbeläge, Beginn der Granulation, weitgehender Rückgang der inflammatorischen Röte der Umgebungshaut [38]. Zwischen vor und nach der einzelnen wIRA-Bestrahlung konnte eine deutliche Zunahme der Sauerstoffsättigung des Hämoglobins, vor allem in der Gewebetiefe, mit einer äußeren Messsonde gemessen werden [38].

wIRA bei arteriellen Unterschenkel-Ulzera (Beispiel)

Unter besonderen Vorsichtsmaßnahmen (Überwachung von Sauerstoffsättigung des Hämoglobins, von relativer Hämoglobinmenge im Gewebe, von Blutflussgeschwindigkeit und Blutfluss (Flow) mit äußerer Messsonde während der Bestrahlung akral des arteriellen Unterschenkel-Ulkus

und im Anschluss an die Bestrahlung im Ulkusgrund) wurde ein arterielles Unterschenkel-Ulkus mit wIRA bestrahlt; trotz der peripheren arteriellen Verschlusskrankheit bestand gute subjektive Verträglichkeit, es zeigte sich kein Steal-Effekt und bei der Messung im Wundgrund nach Ende der wIRA-Bestrahlung eine deutliche Zunahme des oberflächlichen und tiefen Blutflusses (Zunahme der Durchblutung) [38].

wIRA bei Dekubitus (Beispiel)

Bei einem seit 6 Wochen ohne Besserungstendenz bestehenden Dekubitus am Gesäß wurde unter täglich zweimal 30 Minuten wIRA-Bestrahlung binnen 5 Wochen eine Reduktion von 6 cm Durchmesser auf ca. 3,5 cm sowie eine deutliche Besserung der Einschätzung der Wunde (weniger belegt, Granulation sichtbar) erreicht.

Die klinische Relevanz von Dekubitalulzera spiegelt sich in der Zahl von über 400.000 Patienten pro Jahr in Deutschland wider [55].

wIRA zur Resorptionsverbesserung topisch applizierter Substanzen auch bei Wunden

wIRA bewirkt - wie in einer Reihe von Untersuchungen mit unterschiedlichen Verfahren gezeigt [56], [57], [58] - eine Wirkungsverstärkung topisch applizierter Stoffe oder Dermatika, z.B. Wirkungsverstärkung eines topischen Lokalanästhetikums (Tetracain) mit schnellerer, intensiverer und längerer Wirkung [56] oder von Cortison [57]. Dies ist z.B. als Alternative zum Okklusivverband nutzbar. Das ist auch bei Wunden zur Penetrations- und

Wirkverstärkung einer Wundsalbe einsetzbar (Wirkung von wIRA selbst, Wirkung der Wundsalbe und Penetrations- und Wirkverstärkung der Wundsalbe durch wIRA), wie dies z.B. auch bei der in der Abbildung 4 dargestellten Patientin verwendet wurde.

Photodynamische Therapie PDT und wIRA

Das Grundprinzip der Photodynamischen Therapie PDT besteht darin, dass eine photosensibilisierende Substanz - typischerweise nach Anreicherung im erkrankten (häufig Hyperproliferation und Neoangiogenese aufweisenden) Gewebe - zusammen mit (Licht-) Strahlung (die die photosensibilisierende Substanz in einen angeregten Zustand versetzt) - und entweder ohne Sauerstoff (photooxydative Reaktion vom Typ I) oder mit Sauerstoff (photooxydative Reaktion vom Typ II) - mit Zellsubstanzen (z.B. Lipiden) in Wechselwirkung tritt. Das führt über verschiedene Mechanismen (u.a. Sauerstoffradikale, Hydroxylradikale, Superoxidanionen, Singulett-Sauerstoff) zur gewünschten zytotoxischen oder zellstoffwechselmodulierenden Wirkung [1], [59], [60], [61].

Die in der Dermatologie im Rahmen einer PDT häufig eingesetzte Delta-Aminolävulinsäure (5-ALA) (bzw. das Methyl-Derivat Methyl-ALA, Methyl-Amino-Oxo-Pentanoat MAOP) stellt einen Sonderfall dar, weil aus der Delta-Aminolävulinsäure (oder dem Derivat) zuerst endogen die photosensibilisierende Substanz Protoporphyrin IX gebildet werden muss.

(Delta-Aminolävulinsäure und Protoporphyrin IX sind normale Metabolite des Porphyrinstoffwechsels des Menschen: Glycin + Succinyl-CoA -> (mittels ALA-Synthase:) -> Delta-Aminolävulinsäure (5-ALA) -> (mittels ALA-Dehydrase:) -> Porphobilinogen -> Uroporphyrinogen III -> Coproporphyrinogen III -> Protoporphyrinogen IX -> (mittels Protoporphyrinogen-Oxidase:) -> Protoporphyrin IX -> (mittels Ferrochelatase + Fe:) -> Häm.)

Die "klassische" PDT nutzt Wirkbanden im sichtbaren Licht (VIS), z.B. 629 nm für das aus 5-ALA endogen gebildete Protoporphyrin IX.

Die "erweiterte" PDT mit wIRA nutzt Wirkbanden im sichtbaren Licht (VIS), z.B. 629 nm für das aus 5-ALA endogen gebildete Protoporphyrin IX, und zusätzlich die Wirkverstärkung durch wIRA (780-1400 nm).

Unabhängig davon, ob klassische oder erweiterte PDT, kann für Protoporphyrin IX im sichtbaren Bereich z.B. nur die eine Wirkbande bei ca. 629 nm eingesetzt werden (relativ flacher Gradient der Wirkung von der Oberfläche in die Tiefe, wie bei [1] genutzt und erläutert; s. orange Kurve in Abbildung 5) oder alle 5 Wirkbanden (406 nm, 505 nm, 540 nm, 574 nm, 629 nm [62], s. grüne Kurve in Abbildung 5; relativ steiler Gradient von der Oberfläche in die Tiefe mit Nutzung der integralen Bestrahlungsstärke aller Wirkbanden des Protoporphyrin IX, was insbesondere die integrale Bestrahlungsstärke an der Oberfläche erhöht; s. blaue Kurve in Abbildung 5).

Eine Bestrahlung mit sichtbarem Licht und wassergefiltertem Infrarot A (VIS+wIRA) ohne aufgetragene Substanz wirkt vermutlich mit endogenem Protoporphyrin IX quasi als milde PDT zellregenerationsfördernd (was immer wieder beobachtete Verbesserungen des Hautzustands auch bei nicht-dermatologischen Indikationen im bestrahlten Bereich erklären könnte) und damit wundheilungsfördernd und wahrscheinlich auch wundinfektionsmindernd bzw. antibakteriell (von der klinischen Erfahrung her werden unter Bestrahlung mit VIS+wIRA einfache Wundinfektionen z. T. ohne Antibiotikum oder Antiseptikum binnen Tagen überwunden). Diese schon länger vertretene Sichtweise wird durch aktuelle Veröffentlichungen gestützt, die - unabhängig von wIRA - die Photoinaktivierung von Bakterien durch sichtbares Licht (am wirksamsten blau-violettes Licht, 405 nm, einer Absorptionsbande des Protoporphyrin IX entsprechend) z.B. bei *Helicobacter pylori* in vitro [63] und in vivo am Menschen [64] aufgrund Akkumulation von photoaktiven (endogen gebildeten) Porphyrinen (Coproporphyrin und Protoporphyrin IX) in Bakterien beschreiben.

Diese Hypothese einer milden PDT wäre ein weiterer Teilaspekt der Erklärung der klinisch sichtbaren positiven Wirkungen von wIRA (in Form von VIS+wIRA) bei Wunden sowohl hinsichtlich Wundheilung als auch Wundinfektionsminderung bei Problemwunden, die deutlich über die Effekte einer alleinigen Bestrahlung mit sichtbarem Licht (VIS) hinausgehen [34], [54], [26].

Vom Ansatz her erscheint es plausibel, dass eine aufgetragene (z.B. als Salbe aufgetragene oder aufgesprühte) photosensibilisierende Substanz oder ein Vorläufer hiervon, wie 5-ALA, diesen Effekt im Sinne einer PDT im engeren Wortsinne verstärken könnte. Im Hinblick auf lokale Infektionen wurden aktuell Details der Photoinaktivierung von Bakterien durch eine PDT mit photosensibilisierenden Substanzen und sichtbarem Licht (Wellenlänge angepasst an die jeweils verwendete photosensibilisierende Substanz; ohne wIRA) [65] sowie sogar speziell die massive Reduktion der Erregerlast von mit *Staphylococcus aureus* infizierten Brandwunden der Maus mittels PDT mit einem photosensibilisierenden Porphyrin und sichtbarem (rotem) Licht [66] veröffentlicht.

Zusammenfassende Diskussion der wundheilungsverbessernden Effekte von wIRA

wIRA kann sowohl bei akuten als auch bei chronischen Wunden und Problemwunden einschließlich infizierter Wunden Schmerzen deutlich mindern mit eindrucksvoller Abnahme des Schmerzmittelverbrauchs und die Wundheilung beschleunigen oder bei stagnierender Wundheilung verbessern sowie eine erhöhte Wundsekretion und Entzündung mindern.

Insbesondere ist auch ohne Wundheilungsstörung eine positive Beeinflussung der Wundheilung möglich. Bei

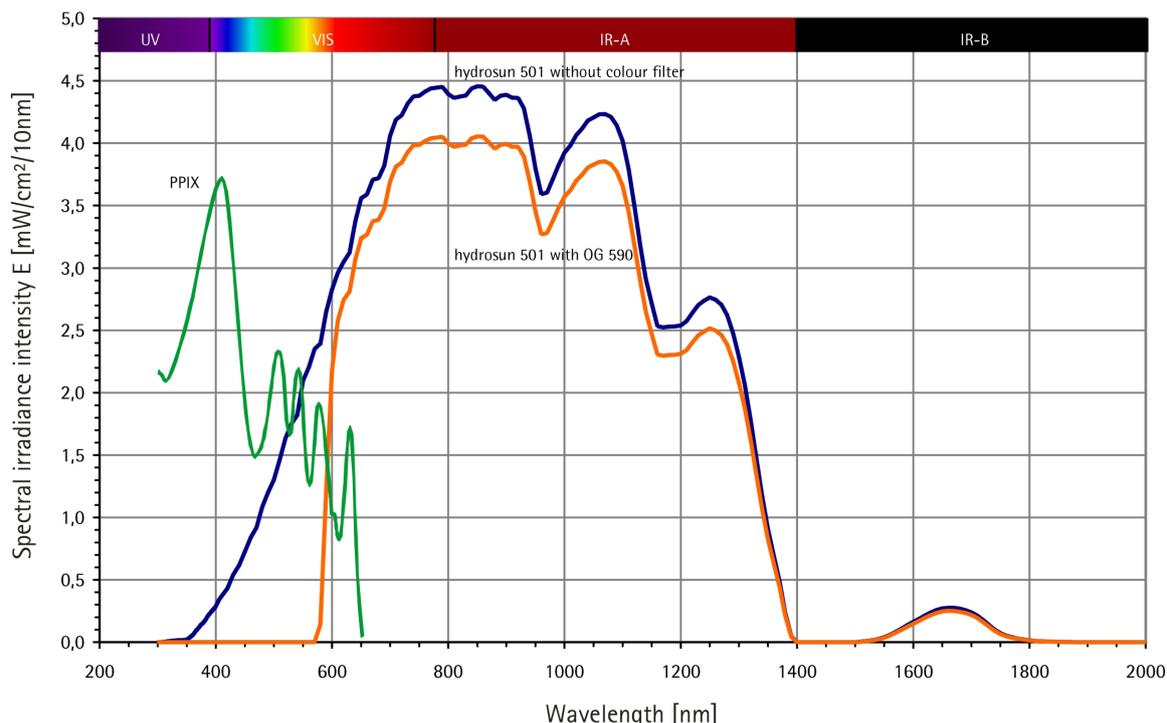


Abbildung 5: Spektren des wIRA-Strahlers Hydrosun® 501 und von Protoporphyrin IX (PPIX)

Hydrosun®: Hydrosun® 501 mit 4 mm Wasser-Küvette und Orangefilter OG590 bei 250 mW/cm^2 ($= 2,5 \times 10^3 \text{ W/m}^2$) Gesamtbestrahlungsstärke (hiervon ca. 60 mW/cm^2 sichtbares Licht (VIS) und ca. 190 mW/cm^2 wassergefiltertes Infrarot A (wIRA)) bei 25 cm Abstand, berechnet aus der Messung der Fachhochschule München vom 30.06.1999.

PPIX: Qualitative Darstellung (d.h. nur relative Skalierung der Ordinate) für den Vergleich der Absorptionsdurchmesser von Protoporphyrin IX (PPIX)-Monomeren in DMSO [62]. (aus [1])

chronischen Wunden werden vollständige Abheilungen erreicht, die zuvor nicht erreicht wurden.

wIRA ist ein kontaktfreies, verbrauchsmaterialfreies, leicht anzuwendendes, als angenehm empfundenes Verfahren mit guter Tiefenwirkung, das der Sonnenwärmestrahlung auf der Erdoberfläche in gemäßigten Klimazonen nachempfunden ist. Die Bestrahlung der unbedeckten Wunde erfolgt typischerweise aus ca. 25 cm Abstand mit einem wIRA-Strahler.

Wundheilung und Infektionsabwehr (z.B. Granulozytenfunktion einschließlich antibakterieller Sauerstoffradikalbildung der Granulozyten) hängen ganz entscheidend von einer ausreichenden Energieversorgung (und von ausreichend Sauerstoff) ab.

Die klinisch gute Wirkung von wIRA auf Wunden und auch auf Problemwunden und Wundinfektionen lässt sich u.a. über die Verbesserung sowohl der Energiebereitstellung pro Zeit (Steigerung der Stoffwechselleistung) als auch der Sauerstoffversorgung (z.B. für die Granulozytenfunktion) erklären. wIRA bewirkt als thermischen Effekt eine Verbesserung aller drei entscheidender Faktoren Sauerstoffpartialdruck im Gewebe, Gewebetemperatur und Gewebedurchblutung. Daneben wurden auch nicht-thermische Effekte von Infrarot A im Sinne einer Reizsetzung auf Zellen und zelluläre Strukturen mit Reaktionen der Zellen beschrieben.

Weitere klinische Anwendungen von wIRA

Dermatologie: wIRA allein, d.h. ohne zeitgleich aufgetragene topische Substanz und ohne den Bereich Photodynamische Therapie, kann angewendet werden bei vulgären Warzen (ein Therapiezyklus mit kontinuierlicher Keratolyse mit Salizylsäurepflaster, unblutiger Kürettage, einer wIRA-Bestrahlung von 30 Minuten pro Woche für 6-9 Wochen [1], [46]) sowie bei Condylomata acuminata, Sklerodermie [45], [67] sowie Morphaea [46], [47] und Akne papulopustulosa [68], [69]; in Erprobung ist die Anwendung bei Alopecia areata.

wIRA kann zur Resorptionsverbesserung topischer Dermatika/Substanzen (z.B. Cortison, Lokalanästhetika) als Alternative zum Okklusivverband z.B. bei den folgenden Indikationen erwogen werden (Indikationen in Erprobung): Neurodermitis, Psoriasis, Herpes zoster (mit Acyclovir topisch, beim akuten Herpes zoster kasuistisch rasche Schmerzreduktion), Akne papulopustulosa (mit lokalem Aknetherapeutikum [69]), Alopecia areata (mit Corticoid topisch).

wIRA kann im Rahmen einer PDT (sowie einer Photodynamischen Diagnostik PDD = Fluoreszenzdiagnostik FD) - wenn klinisch die Indikation zu einer PDT bzw. PDD mit PDT gesehen wird - zusammen mit einer oder mehreren Wirkbanden im sichtbaren Bereich eingesetzt werden bei aktinischen Keratosen [70], [71] und (flachen) Basalio-

men [71] (z.B. superfizielles Basaliom [72]) (unter bestimmten Randbedingungen eventuell auch bei Spinaliomen, Melanomen).

Physiotherapie/Sportmedizin/Orthopädie: Die klinische Anwendung von wIRA kann präventiv, therapeutisch, regenerativ oder rehabilitativ erfolgen. Einige Anwendungen sind in [73] dargestellt. Muskuläre Verspannungen, Myogelosen [51], Lumbago, Erkrankungen des rheumatischen Formenkreises [74], M. Bechterew [75], Arthrosen, Arthritiden, Kontusionen; Fibromyalgie (vorzugsweise wIRA in Kombination mit Bewegung, d.h. wIRA mit (leichter) Ergometerarbeit) [76], Regeneration nach Sport [77] (wIRA allein oder wIRA in Kombination mit Bewegung), postoperative Rehabilitation [53], Förderung der Lipolyse (wIRA in Kombination mit Bewegung) [40].

Neonatologie: Aufrechterhaltung/Erhöhung der Körpertemperatur, "Wärmedepot" vor Transport [78].

Onkologie: (lokale oder systemische) Hyperthermie + Strahlentherapie (z.B. beim metastasierenden Mamma-Ca [79]), Hyperthermie + Chemotherapie.

Abrechnung und Organisation von wIRA

Ärztliche Leistungen mit wIRA können als Individuelle Gesundheitsleistung (IGeL) erbracht und abgerechnet werden [80], [81].

Neben der Organisationsform, dass der wIRA-Strahler in der Klinik oder ärztlichen Praxis steht, kommt insbesondere für die Patienten, bei denen mittel- bis längerfristig täglich (oder mehrmals täglich) eine wIRA-Bestrahlung durchgeführt werden soll (z.B. bei chronischen Wunden), bei entsprechender Kooperationsfähigkeit des Patienten (gegebenenfalls unter Einbeziehung der Familie oder eines Pflegedienstes) auch die Möglichkeit eines wIRA-Strahlers in der Wohnung des Patienten (oder analog im Altenheim oder Altenpflegeheim) in betracht (z.B. leihweise Bereitstellung für die erforderliche Zeitspanne).

Literatur

- Fuchs SM, Fluhr JW, Bankova L, Tittelbach J, Hoffmann G, Elsner P. Photodynamic therapy (PDT) and waterfiltered infrared A (wIRA) in patients with recalcitrant common hand and foot warts. *Ger Med Sci.* 2004;2:Doc08. Online verfügbar unter: <http://www.egms.de/pdf/gms/2004-2/000018.pdf> (PDF), <http://www.egms.de/en/gms/2004-2/000018.shtml> (shtml).
- Cobarg CC. Physikalische Grundlagen der wassergefilterten Infrarot-A-Strahlung. In: Vaupel P, Krüger W (Hrsg.): *Wärmetherapie mit wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung. Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten.* 2. Aufl. Stuttgart: Hippokrates; 1995. S. 19-28.
- Rzeznik J. Die Technik zur loko-regionalen Wärmetherapie mit wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung. In: Vaupel P, Krüger W (Hrsg.): *Wärmetherapie mit wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung. Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten.* 2. Aufl. Stuttgart: Hippokrates; 1995. S. 29-46.
- Albrecht-Buehler G. Surface extensions of 3T3 cells towards distant infrared light sources. *J Cell Biol.* 1991;114(3):493-502.
- Karu TI. Primary and secondary mechanisms of action of visible to near-IR radiation on cells [review]. *J Photochem Photobiol B.* 1999;49(1):1-17.
- Karu TI, Pyatibrat LV, Kalendo GS. Cell attachment to extracellular matrices is modulated by pulsed radiation at 820 nm and chemicals that modify the activity of enzymes in the plasma membrane. *Lasers Surg Med.* 2001;29(3):274-81.
- Karu TI. Low-power laser effects. In: Waynant RW, editor. *Lasers in medicine.* Boca Raton: CRC Press; 2002. p. 171-209.
- Ehrlicher A, Betz T, Stuhmann B, Koch D, Milner V, Raizen MG, Käs J. Guiding neuronal growth with light. *Proc Natl Acad Sci USA.* 2002;99(25):16024-8. doi:10.1073/pnas.252631899.
- Menezes S, Coulomb B, Lebreton C, Dubertret L. Non-coherent near infrared radiation protects normal human dermal fibroblasts from solar ultraviolet toxicity. *J Invest Dermatol.* 1998;111(4):629-33.
- Applegate LA, Scaletta C, Panizzon R, Frenk E, Hohlfeld P, Schwarzkopf S. Induction of the putative protective protein ferritin by infrared radiation: implications in skin repair. *Int J Mol Med.* 2000;5(3):247-51.
- Burri N, Gebbers N, Applegate LA. Chronic infrared-A radiation repair: Implications in cellular senescence and extracellular matrix. In: Pandalai SG, ed. *Recent Research Developments in Photochemistry & Photobiology*, vol. 7. Trivandrum: Transworld Research Network; 2004. p. 219-31.
- Hoffmann G, Meffert H. Letter to the Editor: Apparent contradiction between negative effects of UV radiation and positive effects of sun exposure. *GMS Ger Med Sci.* 2005;3:Doc01. Online verfügbar unter: <http://www.egms.de/pdf/gms/2005-3/000019.pdf> (PDF), <http://www.egms.de/en/gms/2005-3/000019.shtml> (shtml).
- Gebbers N, Hirt-Burri N, Scaletta C, Hoffmann G, Applegate LA. Water-filtered infrared-A radiation (wIRA) is not implicated in human skin cellular degradation. *GMS Ger Med Sci.* 2006. [Veröffentlichung in Vorbereitung].
- Hartel W. Persönliche Kommunikation. 2001.
- Melling AC, Ali B, Scott EM, Leaper DJ. Effects of preoperative warming on the incidence of wound infection after clean surgery: a randomised controlled trial. *Lancet.* 2001;358:876-80.
- Plattner O, Akca O, Herbst F, Arkilic CF, Függer R, Barlan M, Kurz A, Hopf H, Werba A, Sessler DI. The influence of 2 surgical bandage systems on wound tissue oxygen tension. *Arch Surg.* 2000;135:818-22.
- Kivisaari J, Vihersaari T, Renvall S, Niinikoski J. Energy metabolism of experimental wounds at various oxygen environments. *Ann Surg.* 1975;181:823-8.
- Kühne HH, Ullmann U, Kühne FW. New aspects on the pathophysiology of wound infection and wound healing - the problem of lowered oxygen pressure in the tissue. *Infection.* 1985;13:52-6.
- Niinikoski J, Gottrup F, Hunt TK. The role of oxygen in wound repair. In: Janssen H, Rooman R, Robertson JIS, eds. *Petersfield: Wrightson Biomedical Publishing; 1991.*
- Hoffmann G. Improvement of wound healing in chronic ulcers by hyperbaric oxygenation and by waterfiltered ultrared A induced localized hyperthermia. *Adv Exp Med Biol.* 1994;345:181-8.
- Buslau M, Hoffmann G. Hyperbaric oxygenation in the treatment of skin diseases [review]. In: Fuchs J; Packer L. eds. *Oxidative stress in dermatology.* New York: Marcel Dekker; 1993. p. 457-85.

22. Buslau M, Hoffmann G. Die hyperbare Oxygenation (HBO) - eine adjuvante Therapie akuter und chronischer Wundheilungsstörungen [Review]. *Dermatol Monatsschr.* 1993;179:39-54.
23. Hoffmann G, Buslau M. Treatment of skin diseases by hyperbaric oxygenation. In: Cramer FS (ed.). *Proceedings of the Eleventh International Congress on Hyperbaric Medicine.* Flaggstaff, USA: Best Publishing Company; 1995. p. 20-1, 153-9.
24. Wright J. Hyperbaric oxygen therapy for wound healing. *World Wide Wounds* 2001. Online verfügbar unter: <http://www.worldwidewounds.com/2001/april/Wright/HyperbaricOxygen.html>
25. Knighton DR, Silver IA, Hunt TK. Regulation of wound-healing angiogenesis - effect of oxygen gradients and inspired oxygen concentration. *Surgery.* 1981;90:262-70.
26. Mercer JB, Nielsen SP, Hoffmann G. Improvement of wound healing by water-filtered infrared-A (wIRA) in patients with chronic venous leg ulcers including evaluation using infrared thermography. *GMS Ger Med Sci.* 2006. [Veröffentlichung in Vorbereitung].
27. Barnikol WKR, Teslenko A, Pötzschke H. Eine neue topische Behandlung chronischer Wunden mit Haemoglobin und Sauerstoff: Verfahren und erste Ergebnisse. A new topic treatment of chronic wounds with haemoglobin and oxygen: procedure and first results. *Z Wundheilung - J Wound Healing.* 2005;10(3):98-108.
28. Jünger M, Hahn M, Klyscz T, Steins A. Role of microangiopathy in the development of venous leg ulcers. (*Progr. Appl. Microc., Vol. 23.*). Basel: Karger; 1999. p. 180-93.
29. Enoch P, Price P. Cellular, molecular and biochemical differences in the pathophysiology of healing between acute wounds, chronic wounds and wounds in the aged. *World Wide Wounds* 2004. Online verfügbar unter: <http://www.worldwidewounds.com/2004/august/Enoch/Pathophysiology-Of-Healing.html>
30. Schultz GS, Ludwig G, Wysocki A. Extracellular matrix: review of its roles in acute and chronic wounds. *World Wide Wounds* 2005. Online verfügbar unter: <http://www.worldwidewounds.com/2005/august/Schultz/Extrac-Matric-Acute-Chronic-Wounds.html>
31. Vaupel P, Stofft E. Wassergefilterte Infrarot-A-Strahlung im Vergleich zu konventioneller Infrarotstrahlung oder Fango-Paraffin-Packungen: Temperaturprofile bei lokaler Wärmetherapie. In: Vaupel P, Krüger W (Hrsg.): *Wärmetherapie mit wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung. Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten.* 2. Aufl. Stuttgart: Hippokrates; 1995. S. 135-47.
32. Vaupel P, Rzezniak J, Stofft E. Wassergefilterte Infrarot-A-Strahlung versus konventionelle Infrarotstrahlung: Temperaturprofile bei lokoregionaler Wärmetherapie. *Phys Med Rehabilitationsmed Kurortmed.* 1995;5:77-81.
33. Stofft E, Vaupel P. Wassergefilterte Infrarot-A-Strahlung versus Fango-Paraffin-Packung: Temperaturprofile bei lokoregionaler Wärmetherapie. *Phys Med Rehabilitationsmed Kurortmed.* 1996;6:7-11.
34. Hartel M, Hoffmann G, Wente MN, Martignoni ME, Büchler MW, Friess H. Randomized clinical trial of the influence of local water-filtered infrared A irradiation on wound healing after abdominal surgery. *Br J Surg.* 2006;93(8):952-60. DOI: 10.1002/bjs.5429.
35. Mercer JB, de Weerd L. The effect of water-filtered infrared-A (wIRA) irradiation on skin temperature and skin blood flow as evaluated by infrared thermography and scanning laser Doppler imaging. *Thermology Int.* 2005;15(3):89-94.
36. Pascoe DD, Mercer JB, de Weerd L. Physiology of thermal signals. In: *Biomedical Engineering Handbook.* 3rd edition. Boca Raton (Florida/USA): Taylor and Francis Group, CRC press; 2006. p. 21-1 - 21-20.
37. Hellige G, Becker G, Hahn G. Temperaturverteilung und Eindringtiefe wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung. In: Vaupel P, Krüger W (Hrsg.): *Wärmetherapie mit wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung. Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten.* 2. Aufl. Stuttgart: Hippokrates; 1995. S. 63-79.
38. Schumann H, Schempp CM. wIRA in der Wundtherapie - Erste Erfahrungen in der Anwendung bei chronischen Wunden in der Universitäts-Hautklinik Freiburg. Vortrag auf dem Symposium "Wassergefiltertes Infrarot A (wIRA) in der Dermatologie" der Dr. med. h.c. Erwin Braun Stiftung am 20.11.2004 in Liestal/Basel.
39. Heinemann C, Elsner P. Persönliche Kommunikation. 2002.
40. Möckel F, Hoffmann G, Obermüller R, Drobnik W, Schmitz G. Influence of water-filtered infrared-A (wIRA) on reduction of local fat and body weight by physical exercise. *GMS Ger Med Sci.* 2006;4:Doc05. Online verfügbar unter: <http://www.egms.de/pdf/gms/2006-4/000034.pdf> (PDF), <http://www.egms.de/en/gms/2006-4/000034.shtml> (shtml).
41. Infrarotlicht - mit Wärme gegen Warzen. *Gesundheit* 3/2005, Seite 33. (Photo: V von Felbert)
42. Biland L, Barras J. Die wassergefilterte Infrarot-A-Hyperthermie zur Behandlung venöser Ulcera. *Hefte Wundbehand.* 2001;5:41.
43. Hoffmann G. Water-filtered infrared A (wIRA) for the improvement of wound healing in acute and chronic wounds. *Wassergefiltertes Infrarot A (wIRA) zur Verbesserung der Wundheilung bei akuten und chronischen Wunden. Z Wundheilung - J Wound Healing.* 2005;special issue 2:130.
44. Hoffmann G. Wassergefiltertes Infrarot A (wIRA) zur Verbesserung der Wundheilung bei akuten und chronischen Wunden. *MedReport.* 2005;29(34):4. Auch online verfügbar unter: http://www.medreports.de/medpdf05/mreport34_05.pdf
45. Buslau M. Wassergefiltertes Infrarot A (wIRA) bei Sklerodermie. (Ergebnisse einer prospektiven, randomisierten, kontrollierten, doppelt-blinden klinischen Studie.) Vortrag auf dem Seminar "wIRA-Einführungskurs" der Universitätshautklinik Jena am 15.11.2003 in Jena.
46. von Felbert V, Streit M, Weis J, Braathen LR. Anwendungsbeobachtungen mit wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung in der Dermatologie. *Dermatologica.* 2004;7:34-5.
47. von Felbert V, Hunziker T, Simon D, Braathen LR. Water-filtered infrared-A irradiation for cutaneous scleroderma. A report of four cases. [zur Veröffentlichung eingereicht].
48. Thomas S. Compression bandaging in the treatment of venous leg ulcers. *World Wide Wounds.* Erstveröffentlichung 1997, letzte Modifikation 2001. Online verfügbar unter: <http://www.worldwidewounds.com/1997/september/Thomas-Bandaging/bandage-paper.html>
49. Johnson S. Compression hosiery in the prevention and treatment of venous leg ulcers. *World Wide Wounds* 2002. Online verfügbar unter: <http://www.worldwidewounds.com/2002/september/Johnson/Compression-Hosiery-Leg-Ulcers.html>
50. Enoch P, Price P. Should alternative endpoints be considered to evaluate outcomes in chronic recalcitrant wounds? *World Wide Wounds* 2004. Online verfügbar unter: <http://www.worldwidewounds.com/2004/october/Enoch-Part2/Alternative-Endpoints-To-Healing.html>
51. Hoffmann G, Siegfried I. Volkskrankheit Rückenschmerz: neue Sichtweisen. Seminar des Arbeitskreises Sportmedizin der Akademie für ärztliche Fortbildung und Weiterbildung der Landesärztekammer Hessen. Bad Nauheim, 05.06.2004. Düsseldorf, Köln: German Medical Science; 2005. Doc 04ruecken1. Online verfügbar unter: <http://www.egms.de/pdf/meetings/ruecken2004/04ruecken1.pdf> (PDF), <http://www.egms.de/en/meetings/ruecken2004/04ruecken1.shtml> (shtml).

52. Pediani R. What has pain relief to do with acute surgical wound healing? *World Wide Wounds* 2001. Online verfügbar unter: <http://www.worldwidewounds.com/2001/march/Pediani/Pain-relief-surgical-wounds.html>
53. Sattler H, Stellmann A. Erfahrungen mit wassergefiltertem Infrarot A (wIRA) bei Patienten in der Rehabilitation nach Hüft-/Knie-Endoprothesen-Operationen in Bad Dürkheim. Persönliche Kommunikation. 2002-2004.
54. Illing P, Gresing T. Improvement of wound healing in severely burned children by water-filtered infrared-A (wIRA). *GMS Ger Med Sci*. 2006. [Veröffentlichung in Vorbereitung].
55. Leffmann C, Anders J, Heinemann A, Leutenegger M, Profener F. Robert Koch Institut (Hrsg.). *Dekubitus*. 2002. (= Gesundheitsberichterstattung des Bundes, Heft 12.) Online verfügbar unter: www.rki.de [ISBN: 3-89606-137-2, ISSN: 1437-5478].
56. Hauptenthal H. In vitro- und in vivo-Untersuchungen zur temperaturgesteuerten Arzneistoff-Liberation und Permeation [Dissertation]. Johannes Gutenberg-Universität Mainz; 1997.
57. Bankova L, Heinemann C, Fluhr JW, Hoffmann G, Elsner P. Improvement of penetration of a topical corticoid by waterfiltered infrared A (wIRA). 1st Joint Meeting 14th International Congress for Bioengineering and the Skin & 8th Congress of the International Society for Skin Imaging; 2003 May 21-24; Hamburg; 2003. P96.
58. Otberg N, Grone D, Meyer L, Schanzer S, Hoffmann G, Ackermann H, Sterry W, Lademann J. Water-filtered infrared-A (wIRA) can act as a penetration enhancer for topically applied substances. *GMS Ger Med Sci*. 2006. [Veröffentlichung in Vorbereitung].
59. Kalka K, Merk H, Mukhtar H. Photodynamic therapy in dermatology. *J Am Acad Dermatol*. 2000;42(3):389-413; quiz 414-6.
60. Wolf P. Photodynamische Therapie: Grundlagen und klinische Anwendung in der Dermatologie. *Dtsch Ärztebl*. 1999;96:1493-8.
61. Fritsch C, Ruzicka T. Fluorescence diagnosis and photodynamic therapy of skin diseases. Wien: Springer; 2003.
62. Ackermann G. Photophysikalische Grundlagen zur Fluoreszenzdiagnostik von Tumoren der Haut [Dissertation]. Universität Regensburg; 2001. Online verfügbar unter: <http://www.bibliothek.uni-regensburg.de/opus/volltexte/2001/27/>
63. Hamblin MR, Viveiros J, Yang C, Ahmadi A, Ganz RA, Tolkoff MJ. Helicobacter pylori accumulates photoactive porphyrins and is killed by visible light. *Antimicrob Agents Chemother*. 2005;49(7):2822-7.
64. Ganz RA, Viveiros J, Ahmad A, Ahmadi A, Khalil A, Tolkoff MJ, Nishioka NS, Hamblin MR. Helicobacter pylori in patients can be killed by visible light. *Lasers Surg Med*. 2005;36(4):260-5.
65. Demidova TN, Hamblin MR. Effect of cell-photosensitizer binding and cell density on microbial photoinactivation. *Antimicrob Agents Chemother*. 2005;49(6):2329-35.
66. Lambrechts SA, Demidova TN, Aalders MC, Hasan T, Hamblin MR. Photodynamic therapy for Staphylococcus aureus infected burn wounds in mice. *Photochem Photobiol Sci*. 2005;4(7):503-9.
67. Meffert H, Buchholtz I, Brenke A. Milde Infrarot-A-Hyperthermie zur Behandlung der systemischen Sklerodermie. *Dermatol Monatsschr*. 1990;176(11):683-6.
68. Meffert H. Mögliche neue Indikationen - wIRA und kurzwelliges Licht zur Akne-Behandlung. Vortrag auf dem Seminar "wIRA-Einführungskurs" der Universitätshautklinik Jena am 15.11.2003 in Jena.
69. Aschoff R. Therapie der Akne papulopustulosa mittels vollem Spektrum von sichtbarem Licht und wassergefiltertem Infrarot A und/oder lokalem Aknetherapeutikum. Vortrag auf dem Symposium "Wassergefiltertes Infrarot A (wIRA) in der Dermatologie" der Dr. med. h.c. Erwin Braun Stiftung am 20.11.2004 in Liestal/Basel.
70. Foss P. Einsatz eines patentierten, wassergefilterten Infrarot-A-Strahlers (Hydrosun) zur photodynamischen Therapie aktinischer Dyskeratosen der Gesichts- und Kopfhaut. *Z naturheilkundl Onkologie krit Komplementärmed*. 2003;6(11):26-8.
71. Hübner K. Die Photo-dynamische Therapie (PDT) der aktinischen Keratosen, Basalzellkarzinome und Plantarwarzen. *derm - Praktische Dermatologie*. 2005;11(4):301-4.
72. Huyke C, Schempp CM. Klinische Anwendung von wIRA in der Universitätshautklinik Freiburg - PDT. Vortrag auf dem Symposium "Wassergefiltertes Infrarot A (wIRA) in der Dermatologie" der Dr. med. h.c. Erwin Braun Stiftung am 20.11.2004 in Liestal/Basel.
73. Dickreiter B. Phototherapie - Therapeutische Möglichkeiten von Infrarotstrahlung und sichtbarem Licht. *Gesundes Leben*. 2002;79(6):52-7.
74. Meffert H, Müller GM, Scherf HP. Milde Infrarot-A-Hyperthermie zur Behandlung von Erkrankungen des rheumatischen Formenkreises. Anhaltende Verminderung der Aktivität polymorphkerniger Granulozyten. *Intern Sauna-Arch*. 1993;10:125-9.
75. Falkenbach A, Dorigoni H, Werny F, Gütl S. Wassergefilterte Infrarot-A-Bestrahlung bei Morbus Bechterew und degenerativen Wirbelsäulenveränderungen: Effekte auf Beweglichkeit und Druckschmerzhaftigkeit. *Österr Z Physikal Med Rehab*. 1996;6(3):96-102.
76. Villiger B, Fisch I. Erfahrungen mit wIRA und Bewegung bei Fibromyalgie-Patienten in Bad Ragaz. Persönliche Kommunikation. 2003-2005.
77. Hoffmann G. Improvement of regeneration by local hyperthermia induced by waterfiltered infrared A (wIRA). *Int J Sports Med*. 2002;23 Suppl 2:S145.
78. Singer D, Schröder M, Harms K. Vorteile der wassergefilterten gegenüber herkömmlicher Infrarot-Strahlung in der Neonatologie. *Z Geburtshilfe Neonatol*. 2000;204(3):85-92.
79. von Lieven H, Dapper FD. Water-filtered infrared-A radiation: a new technique for hyperthermia of superficial tumors in men. 14th Annual Meeting European Society Hyperthermic Oncology (ESHO). Amsterdam/Niederlande: 1994. Abstract Volume. p. P9.
80. Rowe E, Vinogradova I, Meffert H. Neue Methoden gegen Warzen: wIRA - effektiv und wirtschaftlich interessant. *Dtsch Dermatologe*. 2004;52(7):487-9.
81. Infrarot A lässt Warzen schmerzfrei verschwinden. *IGeL Plus*. 2005;(1):54-5. Online verfügbar unter: http://www.aerztezeitung.de/service/abo/igelbestellung/01IG_54-55.pdf

Korrespondenzadresse:

Prof. Dr. med. Gerd Hoffmann
 Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main,
 Institut für Sportwissenschaften, Ginnheimer Landstraße
 39, 60487 Frankfurt am Main, Deutschland, Tel+Fax+Q:
 06181-62287
 Hoffmann@em.uni-frankfurt.de

Bitte zitieren als

Hoffmann G. Wassergefiltertes Infrarot A (wIRA) zur Verbesserung der Wundheilung. *GMS Krankenhaushyg Interdisziplin*. 2006;1(1):Doc20.

Artikel online frei zugänglich unter

<http://www.egms.de/en/journals/dgkh/2006-1/dgkh000020.shtml>

Veröffentlicht: 30.08.2006

Copyright

©2006 Hoffmann. Dieser Artikel ist ein Open Access-Artikel und steht unter den Creative Commons Lizenzbedingungen (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/deed.de>). Er darf vervielfältigt, verbreitet und öffentlich zugänglich gemacht werden, vorausgesetzt dass Autor und Quelle genannt werden.