

Water-filtered infrared-A (wIRA) in acute and chronic wounds

Abstract

Water-filtered infrared-A (wIRA), as a special form of heat radiation with a high tissue penetration and a low thermal load to the skin surface, can improve the healing of acute and chronic wounds both by thermal and thermic as well as by non-thermal and non-thermic effects. wIRA increases tissue temperature (+2.7 °C at a tissue depth of 2 cm), tissue oxygen partial pressure (+32% at a tissue depth of 2 cm) and tissue perfusion. These three factors are decisive for a sufficient supply of tissue with energy and oxygen and consequently also for wound healing and infection defense.

wIRA can considerably alleviate pain (without any exception during 230 irradiations) with substantially less need for analgesics (52–69% less in the groups with wIRA compared to the control groups). It also diminishes exudation and inflammation and can show positive immunomodulatory effects. The overall evaluation of the effect of irradiation as well as the wound healing and the cosmetic result (assessed on visual analogue scales) were markedly better in the group with wIRA compared to the control group. wIRA can advance wound healing (median reduction of wound size of 90% in severely burned children already after 9 days in the group with wIRA compared to 13 days in the control group; on average 18 versus 42 days until complete wound closure in chronic venous stasis ulcers) or improve an impaired wound healing (reaching wound closure and normalization of the thermographic image in otherwise recalcitrant chronic venous stasis ulcers) both in acute and in chronic wounds including infected wounds. After major abdominal surgery there was a trend in favor of the wIRA group to a lower rate of total wound infections (7% versus 15%) including late infections following discharge from hospital (0% versus 8%) and a trend towards a shorter postoperative hospital stay (9 versus 11 days).

Even the normal wound healing process can be improved.

The mentioned effects have been proven in six prospective studies, with most of the effects having an evidence level of Ia/Ib.

wIRA represents a valuable therapy option and can generally be recommended for use in the treatment of acute as well as of chronic wounds.

Keywords: water-filtered infrared-A (wIRA), infrared-A radiation, wound healing, thermal and non-thermal effects, thermic and non-thermic effects, energy supply, oxygen supply, tissue oxygen partial pressure, tissue temperature, tissue blood flow, reduction of pain, wound exudation, inflammation, immunomodulatory effects, acute wounds, chronic wounds, chronic venous stasis ulcers of the lower legs, problem wounds, wound infections, infection defense, contact-free method, absent expenditure of material, prospective, randomized, controlled, double-blind studies, visual analogue scales (VAS), quality of life, infrared thermography, thermographic image analysis

Introduction

The application of water-filtered infrared-A (wIRA) for the improvement of healing of acute and chronic wounds and the underlying principles are described more extensively than here in the three reviews [1], [2], [3], which belong

together (in total 42 PDF pages). Please refer to these reviews for more details and references. Besides this, two further reviews concerning this subject [4], [5] and one review on a slightly broader subject [6] are available.

Gerd Hoffmann¹

1 Johann Wolfgang Goethe
University Frankfurt/Main,
Institute of Sports Sciences,
Frankfurt/Main, Germany

Working mechanisms of wIRA

The experience of the pleasant heat of the sun in moderate climatic zones arises from the filtering of the heat radiation of the sun by water vapor in the Earth's atmosphere [1], [4], [5], [6], [7], [8], see Figure 1. The filter effect of water decreases those parts of infrared radiation (most parts of infrared-B and -C and the absorption bands of water within infrared-A), which would otherwise – by reacting with water molecules in the skin – cause an undesired thermal load to the surface of the skin [1], [4], [5], [6], [7], [8]. Technically, water-filtered infrared-A (wIRA) is produced by special radiators, whose full spectrum of radiation of a halogen bulb is passed through a cuvette containing water, which absorbs or decreases the described undesired wavelengths of the infrared radiation [1], [9], see Figure 2. Within the infrared range, the remaining wIRA (within 780–1400 nm) mainly consists of radiation with good tissue penetration properties and therefore allows – compared to unfiltered heat radiation – a multiplication of the energy transfer into tissue without irritating the skin, similar to the sun's heat radiation in moderate climatic zones. Typical wIRA radiators emit no ultraviolet (UV) radiation and almost no infrared-B and -C radiation and the amount of infrared-A radiation in relation to the amount of visible light (380–780 nm) is accentuated [1], [9], see Figure 3.

Within the spectra of infrared-A and water-filtered infrared-A, radiation effects in particular of the energy-rich wavelengths near to visible light – approximately 780–1000 nm (800–900 nm [10], [11], [12], 800 nm [13], 820 nm [14], [15], [16], 830 nm [17]) – have been described both in vitro and in vivo. These wavelengths seem to represent the clinically most important part of the infrared-A and wIRA range [1], [18].

Water-filtered infrared-A as a special form of heat radiation with a high tissue penetration and with a low thermal load to the skin surface (see Figure 4), acts both by thermal (related to heat energy transfer) and thermic (temperature dependent, with a relevant change of temperature) as well as by non-thermal (without a relevant transfer of heat energy) and non-thermic (not depending on temperature, without a relevant change of temperature) effects [1]. wIRA produces a therapeutically usable field of heat in the tissue and increases tissue temperature [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26], tissue oxygen partial pressure [19], and tissue perfusion [1], [24], [25], [26]. These three factors are vital for a sufficient supply of tissue with energy and oxygen.

As wound healing and infection defense (e.g. granulocyte function including its antibacterial oxygen radical formation) depend decisively on a sufficient supply of tissue with energy and oxygen and since the centers of chronic wounds are often relatively hypothermic [1], [19], [23] (while e.g. both preoperative [27] and postoperative [19], [28] heat supply to the operation field can improve healing of acute wounds) and frequently have an oxygen partial pressure close to zero [1], [19], [23], [29], [30], [31], [32], [33], [34], [35], [36], [37], [38], one explana-

tion for the good clinical effect of wIRA on wounds and wound infections could be the improvement of both the energy supply per time (increase of metabolic rate) and the oxygen supply [1]. In addition, wIRA has non-thermal and non-thermic effects, which are based on a direct stimulation of cells and cellular structures: Reactions of cells to infrared radiation – partly found even at very small irradiances – are e.g. target-oriented growth of surface extensions (plasmodia) [10], influence on cytochrome c oxidase [14], [39], [40], target-oriented growth of neurons [13], stimulation of wound repair [41], [42] as well as cell protective effects of infrared-A [43], [44], [45], [46] and water-filtered infrared-A (wIRA) [47], [48], [49].

wIRA can considerably alleviate pain (with remarkably less need for analgesics) and diminish an elevated wound exudation and inflammation and can show positive immunomodulatory effects. wIRA can advance wound healing or improve an impaired wound healing both in acute and in chronic wounds, including infected wounds. Even the normal wound healing process can be improved [1], [19].

wIRA is contact-free, easily applied, involves no discomfort to the patient or the use of expendable materials and is effective even in deeper-lying tissue regions. wIRA application, with appropriate therapeutic irradiances and doses, could be shown not only to be harmless for human skin [1], [4], [18], [47], [48], [50], but even to have protective effects in cells against damage caused by UV radiation [1], [4], [43], [44], [45], [46], [47], [48], [49]. Safety aspects of the clinical use of wIRA have been described extensively, especially in [1] and [18]. Particularly when [50] and the current review [51] are taken into consideration, the application of wIRA with adequate irradiances can be considered as being safe. The irradiation of the typically uncovered wound is carried out using a wIRA radiator, see Figure 5.

Clinical effects of wIRA on wounds

Based on 6 clinical studies, the following has been proven with a level of evidence of Ia/Ib [1], [52]:

- acute pain reduction during wIRA irradiation
- reduction of the required dose of analgesics
- faster reduction of wound area
- better assessment of wound healing
- better overall evaluation of the effects of irradiation (including pain, wound healing, cosmesis)
- higher tissue oxygen partial pressure during wIRA
- higher subcutaneous temperature during wIRA
- better cosmesis

In addition, the following trends have been found:

- lower rate of wound infections
- shorter postoperative hospital stay

Additional clinical observations are:

- reduction of inflammation
- reduction of hypersecretion

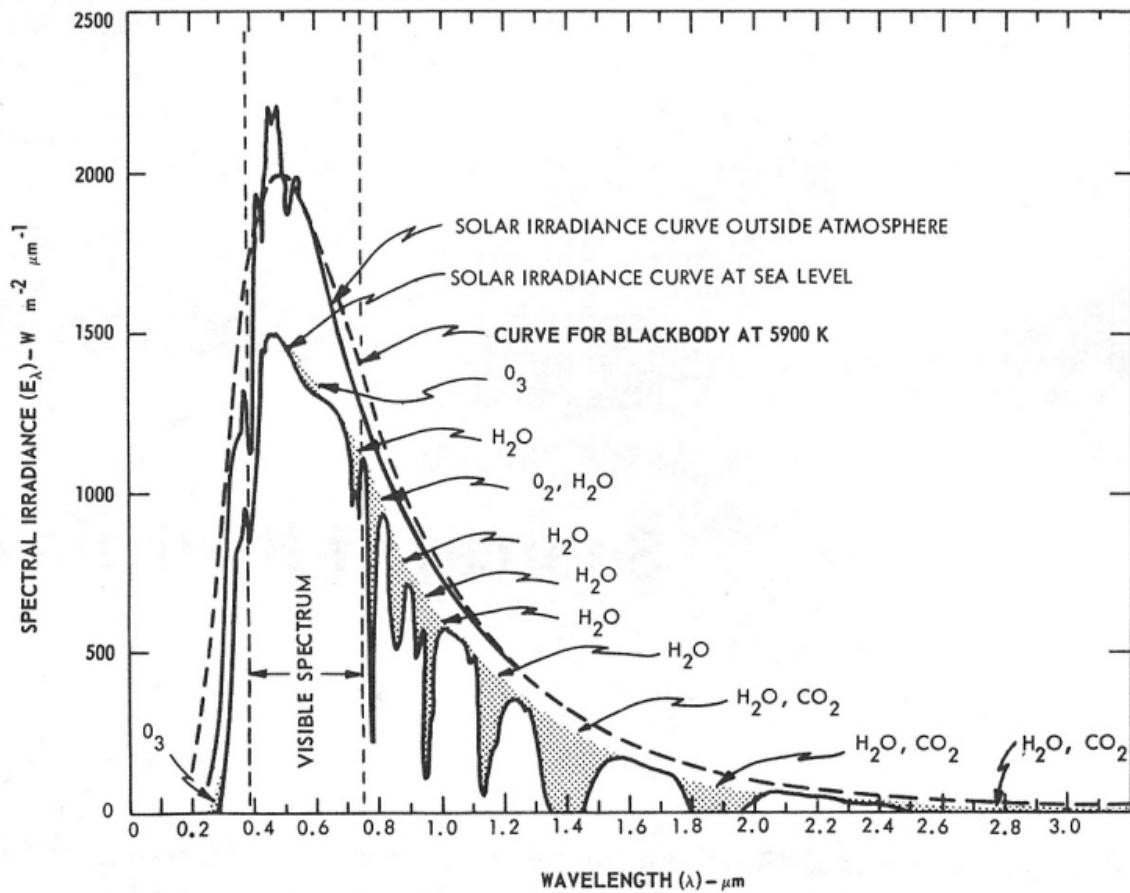


Figure 1: Spectral solar irradiance outside the atmosphere and on the surface of the Earth at sea level, in both cases with the sun at the zenith and for a mean Earth-sun distance. Shaded areas indicate absorption before reaching the surface of the Earth at sea level due to the atmospheric constituents shown (from [1], [58], adapted from [59]).
 For comparison of Figures 1 and 3: $1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \mu\text{m}^{-1} = 100 \text{ mW} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \mu\text{m}^{-1} = 1 \text{ mW} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot (10 \text{ nm})^{-1}$

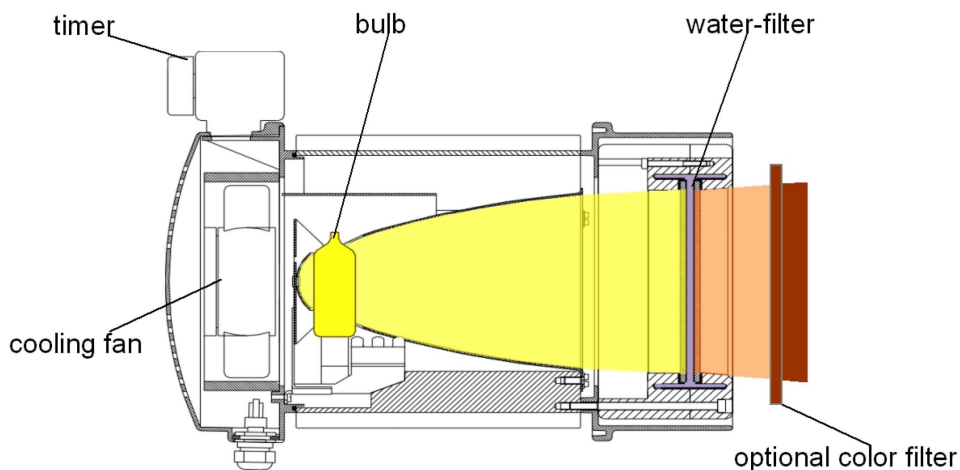


Figure 2: Cross-section of a water-filtered infrared-A radiator (Hydrosun, Müllheim, Germany)
 The whole incoherent non-polarized broadband radiation of a 3000 Kelvin halogen bulb is passed through a cuvette containing water, which absorbs or decreases the undesired wavelengths within the infrared region (most parts of infrared-B and -C and the absorption bands of water within infrared-A). The water is hermetically sealed within the cuvette. A fan provides air cooling of the cuvette to prevent the water from boiling. (from [1])

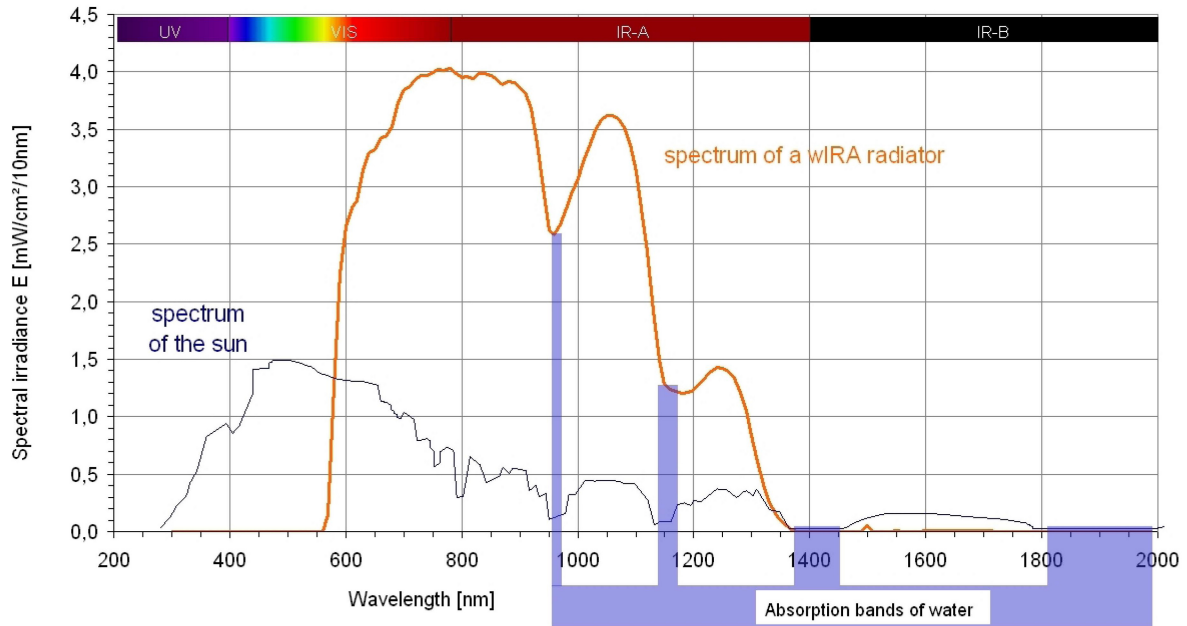


Figure 3: Comparison of the spectra of the sun on the surface of the Earth at sea level and of a water-filtered infrared-A radiator
 Spectral solar irradiance on the surface of the Earth at sea level (with the sun at the zenith and for a mean Earth-sun distance) as in Fig. 1 (from [1], adapted from [58]) and spectral irradiance of a water-filtered infrared-A radiator (Hydosun® radiator 501 with 10 mm water cuvette and orange filter OG590) at approximately 210 mW/cm² (= 2.1 · 10³ W/m²) total irradiance (from [1], [4]).

The spectrum of the sun at sea level includes ultraviolet radiation (UV, <400 nm), visible light (VIS, 380–780 nm), and infrared radiation (IR, >780 nm). The spectrum of the water-filtered infrared-A radiator includes only visible light (VIS) and infrared radiation (IR); the visible part depends on the color filter used; the wIRA radiator does not emit ultraviolet radiation (UV). Both spectra show the decreased irradiances of the absorption bands of water.

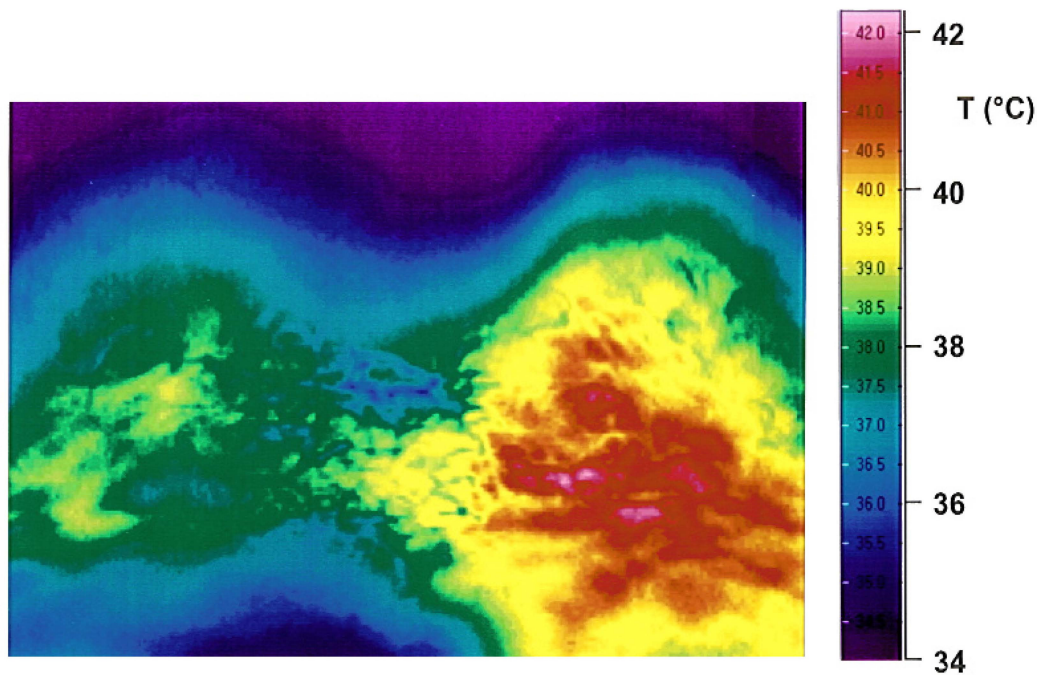


Figure 4: Comparison of irradiation with water-filtered infrared-A and with conventional infrared

Thermographical comparison of skin surface temperatures in the lumbar region 12 minutes after commencement of irradiation with water-filtered infrared-A (left) and conventional infrared (right) with the same irradiance: the skin surface temperature is higher in the case of irradiation with conventional infrared (presented in the thermography), while the temperature at 1 cm tissue depth is higher when irradiating with water-filtered infrared-A (from [1], [20]). Water-filtered infrared-A thus leads to a high tissue penetration combined with a low thermal load to the skin surface.



Figure 5: Example of an irradiation of a wound with a water-filtered infrared-A radiator
(published with kind approval of Prof. James Mercer, Tromsø/Norway) (from [1], [23])

Therapy of acute wounds with wIRA

wIRA for acute operation wounds (Study of the University Hospital Heidelberg, Department of Surgery)

A prospective, randomized, controlled, double-blind study with 111 patients who had undergone major abdominal surgery at the University Hospital Heidelberg, Germany, and thereafter underwent 20 minutes irradiation 2 times per day (starting on the second postoperative day) showed a significant and relevant pain reduction combined with a markedly decreased dose of required analgesics in the group with wIRA and visible light VIS (wIRA(+VIS), approximately 75% wIRA, 25% VIS) compared to a control group with only VIS: during 230 single irradiations with wIRA(+VIS) pain decreased without any exception (median of decrease of pain on postoperative days 2–6 was 13.4 on a 100 mm visual analogue scale VAS 0–100), while pain remained unchanged in the control group ($p < 0.000001$, see Figure 6). The median of decrease of pain on the third postoperative day was 18.5 versus 0.0, the median difference between the groups was 18.4 (99% confidence interval 12.3/21.0), $p < 0.000001$. (Semantic statistical remark in [2], [5].)

The required dose of analgesics was 52–69% lower (median differences) in the subgroups with wIRA(+VIS) compared to the control subgroups with only VIS (median 598 versus 1398 mL ropivacaine, $p = 0.000020$, for peridural catheter analgesia; 31 versus 102 mg piritramide, $p = 0.00037$, for patient-controlled analgesia; 3.4 versus 10.2 g metamizole, $p = 0.0045$, for intravenous and oral analgesia, see Figure 7).

During irradiation with wIRA(+VIS) the subcutaneous oxygen partial pressure rose markedly by 32% and the subcutaneous temperature by 2.7 °C (both measured at a tissue depth of 2 cm), whereas both remained unchanged in the control group. After irradiation, the median of the subcutaneous oxygen partial pressure was 41.6 (with wIRA) versus 30.2 mm Hg in the control group (median difference between the groups 11.9 mm Hg (+39%), 99% confidence interval 8.4/15.4 mm Hg (+28%/+51%), $p < 0.000001$, see Figure 8) and the median of the subcutaneous temperature was 38.9 versus 36.4 °C (median difference between the groups 2.6 °C, 99% confidence interval 2.1/2.9 °C, $p < 0.000001$, see Figure 9). The baseline values (before irradiation) of the subcutaneous oxygen partial pressure rose from the second to the tenth postoperative day by 3.4 versus 0.3 mm Hg (median difference between the groups 3.1 mm Hg (+10%), 99% confidence interval 1.9/3.7 mm Hg, $p = 0.00051$). The baseline values for the subcutaneous temperature rose by 0.4 versus –0.3 °C (median difference 0.6 °C, 95% confidence interval 0.2/0.8 °C, $p = 0.0074$) (effects which endured beyond the time period of the single irradiation).

The overall evaluation of the effect of irradiation, including wound healing, pain and cosmesis, assessed on a VAS (0–100 with 50 as the indifferent point of no effect) by the surgeon (median 79.0 versus 46.8, median difference 27.9, 99% confidence interval 17.2/37.3, $p < 0.000001$) or the patient (79.0 versus 50.2, median difference 23.8, 99% confidence interval 9.5/34.1, $p = 0.000007$) was considerably better in the group with wIRA compared to the control group. This was also true for single aspects: Wound healing assessed on a VAS by the surgeon (median 88.6 versus 78.5, $p < 0.000001$) or the patient (median 85.8 versus 81.0, $p = 0.040$, trend) and cosmetic result assessed on a VAS by the surgeon (median 84.5 versus 76.5, $p = 0.00027$) or the patient (median 86.7 versus 73.6, $p = 0.00077$).

In addition there was a trend towards a lower rate of total wound infections in favor of the wIRA group (3 of 46, 7%, versus 7 of 48, 15%, difference –8%, 95% confidence interval –20%/4%, $p = 0.21$) including late infections following discharge. This was due to the different rate of late infections following discharge: 0 of 46 (0%) in the wIRA group and 4 of 48 (8%) in the control group (difference –8%, 95% confidence interval –18%/2%, $p = 0.12$). There was also a trend towards a shorter postoperative hospital stay: 9 days in the wIRA group versus 11 days in the control group (median difference –2 days (–18%), 95% confidence interval –3/0 days, $p = 0.022$).

The principal finding of this study was that postoperative irradiation with wIRA can improve even the normal wound healing process [2], [19].

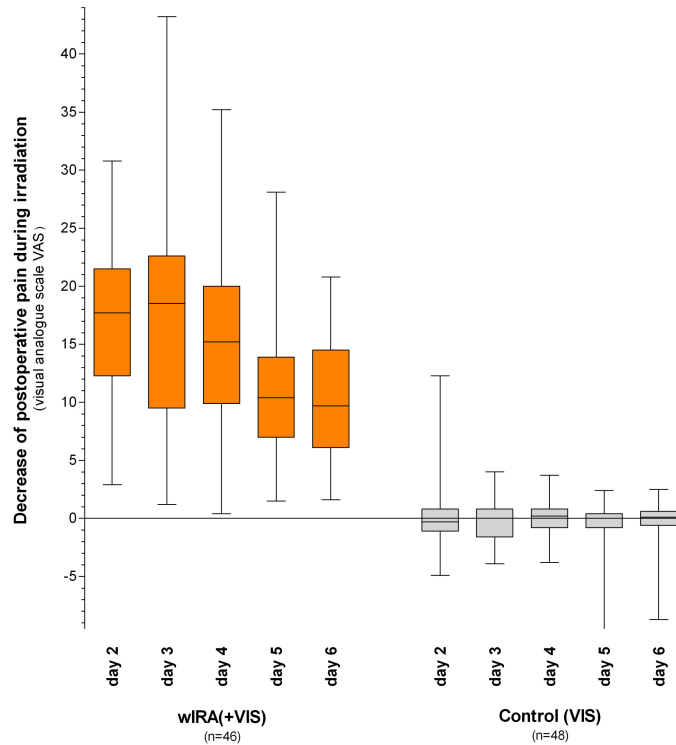


Figure 6: Decrease of postoperative pain during irradiation in the group with water-filtered infrared-A (wIRA) and visible light (VIS) and in the control group with only visible light (VIS) (Study Heidelberg)

(assessed with a visual analogue scale; given as minimum, percentiles of 25, median, percentiles of 75, and maximum (box and whiskers graph with the box representing the interquartile range), from [2], adapted from [19]).

During 230 single irradiations with wIRA(+VIS) the pain decreased without any exceptions, while pain remained unchanged in the control group ($p < 0.000001$ for any single documented day as well as for all the days).

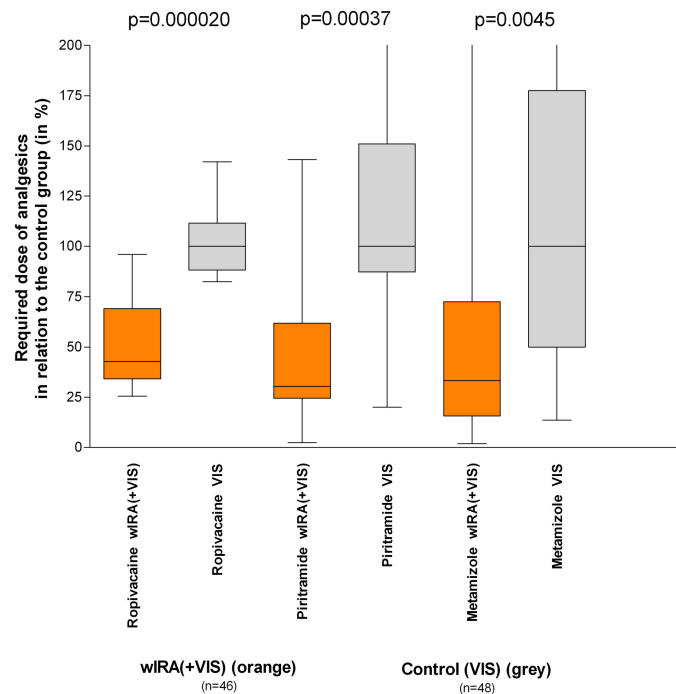


Figure 7: Required dose of analgesics of the subgroups with water-filtered infrared-A (wIRA) and visible light (VIS) in relation to the control subgroups with only visible light (VIS) (medians of the control subgroups = 100) (Study Heidelberg)

(given as minimum, percentiles of 25, median, percentiles of 75, and maximum (box and whiskers graph with the box representing the interquartile range), adapted from [2], data taken from [19]).

The required dose of analgesics was 52–69% lower (median differences) in the subgroups with wIRA(+VIS) compared to the control subgroups with only VIS.

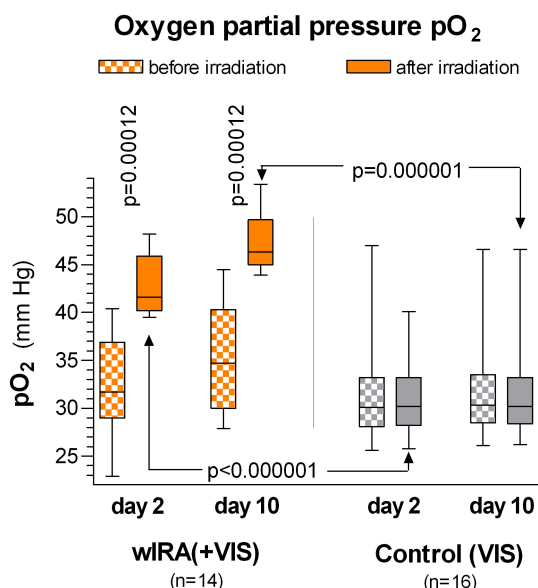


Figure 8: Subcutaneous oxygen partial pressure at a tissue depth of 2 cm on the postoperative days 2 and 10 in the group with water-filtered infrared-A (wIRA) and visible light (VIS) and in the control group with only visible light (VIS) (Study Heidelberg)

(given as minimum, percentiles of 25, median, percentiles of 75, and maximum (box and whiskers graph with the box representing the interquartile range); adapted from [2], [19]). During irradiation with wIRA(+VIS), the subcutaneous oxygen partial pressure rose markedly by more than 30%, whereas it remained unchanged in the control group.

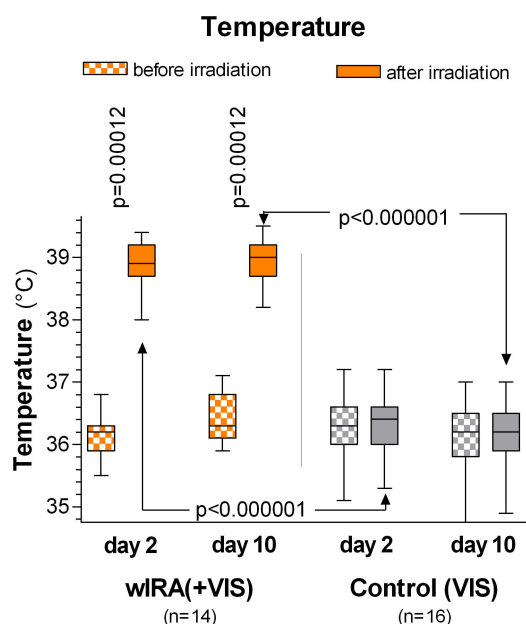


Figure 9: Subcutaneous temperature at a tissue depth of 2 cm on the postoperative days 2 and 10 in the group with water-filtered infrared-A (wIRA) and visible light (VIS) and in the control group with only visible light (VIS) (Study Heidelberg)

(given as minimum, percentiles of 25, median, percentiles of 75, and maximum (box and whiskers graph with the box representing the interquartile range); adapted from [2], [19]). During irradiation with wIRA(+VIS) the subcutaneous temperature rose markedly by approximately 2.7 °C, whereas it remained unchanged in the control group.

wIRA for severely burned children (Study of the Children's Hospital Park Schönfeld, Kassel, Department of Pediatric Surgery)

A prospective, randomized, controlled, double-blind study with 45 severely burned children was carried out at the Children's Hospital Park Schönfeld, Kassel, Germany. 30 minutes irradiation was applied once a day (starting on the first day, with the day of burn being day 1). In the group with wIRA and visible light VIS (wIRA(+VIS), approximately 75% wIRA, 25% VIS) a markedly faster reduction of wound size was seen in comparison to a control group with only VIS. On the fifth day (after 4 days with irradiation), the decision was taken as to whether surgical debridement of necrotic tissue was necessary because of deeper (second degree, type b) burns (11 of 21 in the group with wIRA, 14 of 24 in the control group) or whether non-surgical treatment was possible (second degree, type a burns). The patients treated conservatively were kept within the study and irradiated until reepithelialisation was complete.

The patients in the group with wIRA showed a markedly faster reduction of wound area: a median reduction of wound size of 50% was reached already after 7 days compared to 9 days in the control group, a median reduction of wound size of 90% was already achieved after 9 days compared to 13 days in the control group, see Figure 10 and Figure 11. After 9 days, the median reduction in wound area was 89.2% versus 49.5%, the median difference between the groups was a 39.5% reduction of the wound area (99% confidence interval 34.4%/43.0%), $p=0.000011$. The median difference between the groups existed already after one day with $p=0.00013$ and after 2, 5, 6, 7, 8, 9, 10 and 11 days with $p<0.0001$. In addition, the group with wIRA showed superior results in terms of the overall surgical assessment of the wound and the assessment of effects of irradiation (the latter as a trend up to 3 months after the burn) compared to the control group [2].

wIRA for experimental wounds (Study of the University Medical Center Charité Berlin, Department of Dermatology)

In a prospective, randomized, controlled study with 12 volunteers at the University Medical Center Charité, Berlin, Germany, volunteers were inflicted with 4 experimental superficial wounds (5 mm diameter). In this acute wound model, wounds were generated by a suction cup technique, with the roof of the blister being removed with a scalpel and sterile forceps (day 1). 4 different treatments were used and investigated over 10 days: no therapy, wIRA(+VIS) only (approximately 75% wIRA, 25% VIS; 30 minutes irradiation once a day), only dexpanthenol (= D-panthenol) cream once a day, wIRA(+VIS) and dexpanthenol cream once a day. Healing of the small experi-

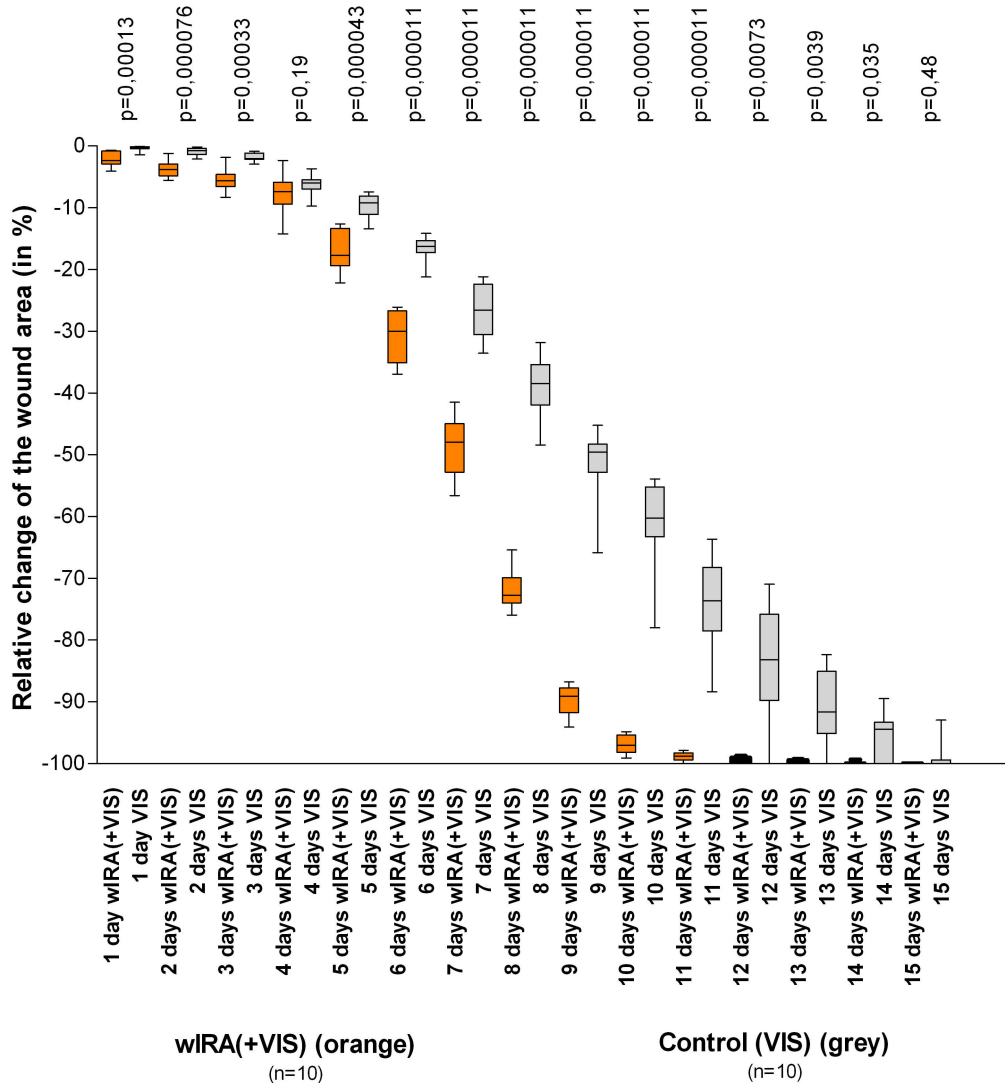


Figure 10: Relative change of wound area in severely burned children as a function of duration of treatment (in days) in the group with water-filtered infrared-A (wIRA) and visible light (VIS) and in the control group with only visible light (VIS) (Study Kassel)

(given as minimum, percentiles of 25, median, percentiles of 75, and maximum (box and whiskers graph with the box representing the interquartile range), adapted from [2]). The figure presents the data from those 10+10 = 20 children (out of 21+24 = 45 children), who had second degree, type a burns (not second degree, type b burns) and were consequently treated non-surgically until complete cutaneous regeneration occurred including irradiation (starting on the day of the burn, until complete reepithelialization) with wIRA(+VIS) or with only VIS (control group). Patients in the group with wIRA showed a markedly faster reduction of wound area compared to the control group: a median reduction of wound size of 50% was reached in the group with wIRA already after 7 days compared to 9 days in the control group, a median reduction of wound size of 90% was achieved in the group with wIRA already after 9 days compared to 13 days in the control group.



Figure 11: Example of a rapid improvement with wIRA in a severely burned child (Study Kassel)
 Left: 1 day after the burn, right: only 30 hours later than shown on the left side (from [2]).

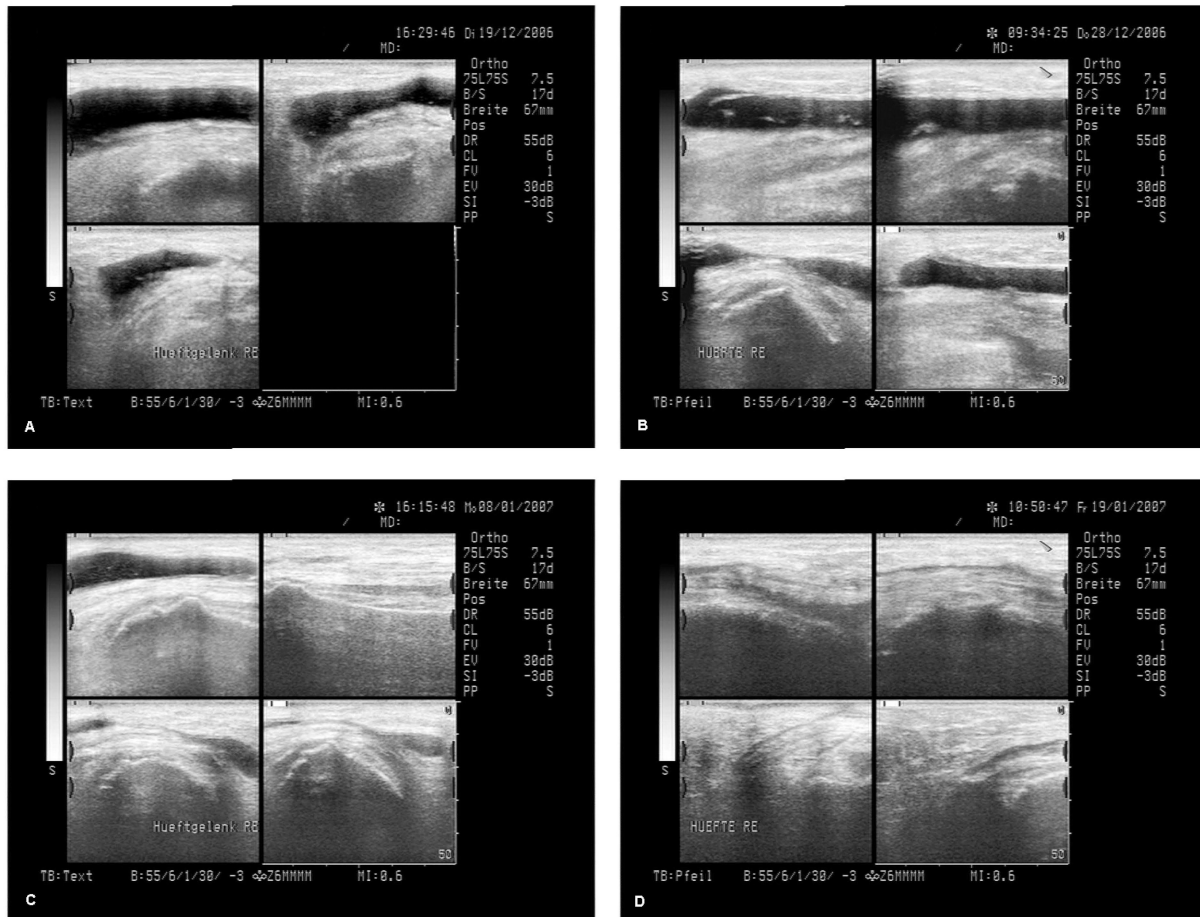


Figure 12: Example of a successful treatment of recurrent wound seromas with wIRA

A 64 year-old female patient had relapsing wound seromas and wound hematomas (without infection) after a hip operation (replacement of the acetabulum part of a 15 year-old endoprosthesis) even after an additional operation with the sole intention of stopping the wound seromas and after approximately 8 aspirations of seroma fluid (up to approximately 90 mL within one aspiration) within 2 months, and a third operation was seriously considered: Figure A shows the sonographic state. At that time, wIRA(+VIS) irradiation was commenced, beginning with 30 minutes twice per day and increasing up to 3 times one hour per day. Within a few days the seroma no longer increased as usual; after approximately one week a slight decrease of seroma size was noticed clinically (Figure B). Figure C shows reduced seroma size after 18 days and Figure D after 29 days. After approximately 2 months the seroma had resolved completely (both clinically and sonographically) without any aspiration of seroma fluid or operation since commencement of wIRA(+VIS) irradiation (sonographic pictures published with kind approval of Dr. Michael Paulus, Herzogenaurach, Germany) (from [2]).

mental wounds was, from a clinical point of view, excellent with all 4 treatments. Therefore there were only small differences between the treatments with slight advantages seen with the combination wIRA(+VIS) and dexpanthenol cream and with dexpanthenol cream alone as far as relative change of wound size and assessment of feeling of the wound area were concerned.

Laser scanning microscopy, however, together with a scoring system revealed differences between the 4 treatments concerning the formation of the stratum corneum (from first layer of corneocytes to full formation) especially on days 5–7: the fastest formation of the stratum corneum was seen in wounds treated with wIRA(+VIS) and dexpanthenol cream, second was wIRA(+VIS) alone, third dexpanthenol cream alone and lastly, untreated wounds. Bacterial counts of the wounds (taken every 2 days) showed that wIRA(+VIS) and the combination of wIRA(+VIS) with dexpanthenol cream were

able to inhibit the colonisation with physiological skin flora up to day 5 when compared with the two other groups (untreated group and group with dexpanthenol cream alone). At any investigated time, the amount of colonisation under therapy with wIRA(+VIS) alone was lower (interpreted as being more suppressed) compared with the group with wIRA(+VIS) and dexpanthenol cream [2].

wIRA for wound seromas

During rehabilitation after hip and knee endoprosthesis operations the resorption of wound seromas and wound hematomas was both clinically and sonographically faster and pain was reduced by irradiation with wIRA(+VIS) [2]. An additional example is presented in Figure 12.

wIRA for persistent postoperative pain

wIRA can be used successfully for persistent postoperative pain e.g. after thoracotomy [2].

Perspectives for wIRA for the improvement of healing of acute wounds

As far as perspectives for the use of wIRA are concerned, it seems clinically prudent to use wIRA both pre- and postoperatively, e.g. in abdominal and thoracic operations. wIRA can be used preoperatively (e.g. over 1–2 weeks) to precondition donor and recipient sites of skin flaps, transplants or partial-thickness skin grafts, and postoperatively to improve wound healing and to decrease pain, inflammation and infections at all mentioned sites. wIRA can be used to support routine pre- or intraoperative antibiotic administration or even a replacement of the latter with wIRA can be discussed under certain conditions [2].

Therapy of chronic wounds with wIRA

The central portion of chronic wounds is often hypoxic and relatively hypothermic, representing a deficient energy supply of the tissue, which impedes wound healing or even makes it impossible. wIRA increases temperature, oxygen partial pressure and perfusion of the tissue. These three factors are decisive for a sufficient supply of tissue with energy and oxygen and consequently for wound healing, especially in chronic wounds, and infection defense. wIRA can enable wound healing in non-healing chronic wounds [3].

wIRA for chronic venous stasis ulcers of the lower legs (Study in Basel)

In a prospective, randomized, controlled study of 40 patients with chronic venous stasis ulcers of the lower legs, irradiation with wIRA and visible light VIS 30 minutes three times per week over 6 weeks accelerated the wound healing process (on average 18 versus 42 days until complete wound closure, residual ulcer area after 42 days 0.4 cm² versus 2.8 cm²) and led to a reduction of the required dose of pain medication in comparison to the control group of patients treated with the same standard care (wound cleansing, wound dressing with antibacterial gauze, and compression therapy) without concomitant irradiation [3], [53].

wIRA for chronic venous stasis ulcers of the lower legs (Study of the University of Tromsø/Norway and the Hospital in Hillerød/Denmark)

Another prospective study of 10 patients with non-healing chronic venous stasis ulcers of the lower legs included extensive thermographic investigation. Therapy with wIRA(+VIS) resulted in a complete or almost complete wound healing in 7 patients and a marked reduction of the ulcer size in a further 2 of the 10 patients, a clear reduction of pain and required dose of pain medication (e.g. from 15 to 0 pain tablets per day), and a normalization of the thermographic image (before the beginning of the therapy, a hyperthermic rim of the ulcer together with a relative hypothermic ulcer base and a temperature difference of up to 4.5 °C was typically seen).

In one patient the therapy of an ulcer of one leg was performed with the fully active radiator (wIRA(+VIS)), while the therapy of an ulcer of the other leg was carried out with a control group radiator (only VIS without wIRA), showing a clear difference in favor of the wIRA treatment. All variables assessed with visual analogue scales – effect of the irradiation (assessed by patient and by clinical investigator), feeling of the wound area (assessed by patient), wound healing (assessed by clinical investigator), and cosmetic state (assessed by patient and by clinical investigator) – improved remarkably during the period of irradiation treatment, representing an increased quality of life.

Within the group of 6 patients with chronic venous stasis ulcers of the lower legs without any concomitant problems (i.e. without arterial insufficiency, without being a smoker and without lacking compression therapy) all 6 ulcers healed completely or almost completely (96–100% reduction of ulcer size) [3], [23].

The original publication [23] provides 10 appendices with detailed information about each patient and in addition two thermographic video sequences.

An example of the healing process in a chronic venous stasis ulcer of the lower leg under therapy with wIRA is presented in Figure 13.

wIRA for chronic venous stasis ulcers of the lower legs (Study of the University of Freiburg, Department of Dermatology)

In a prospective, randomized, controlled, blinded study, 51 patients with non-healing chronic venous stasis ulcers of the lower legs were treated with compression therapy, wound cleansing, non-adhesive wound dressings and 30 minutes irradiation five times per week over 9 weeks. A preliminary analysis of this study has shown advanced wound healing, improved granulation and in the later phase of treatment a decrease of the bacterial burden in the group with wIRA(+VIS) compared to a control group with VIS only [3].

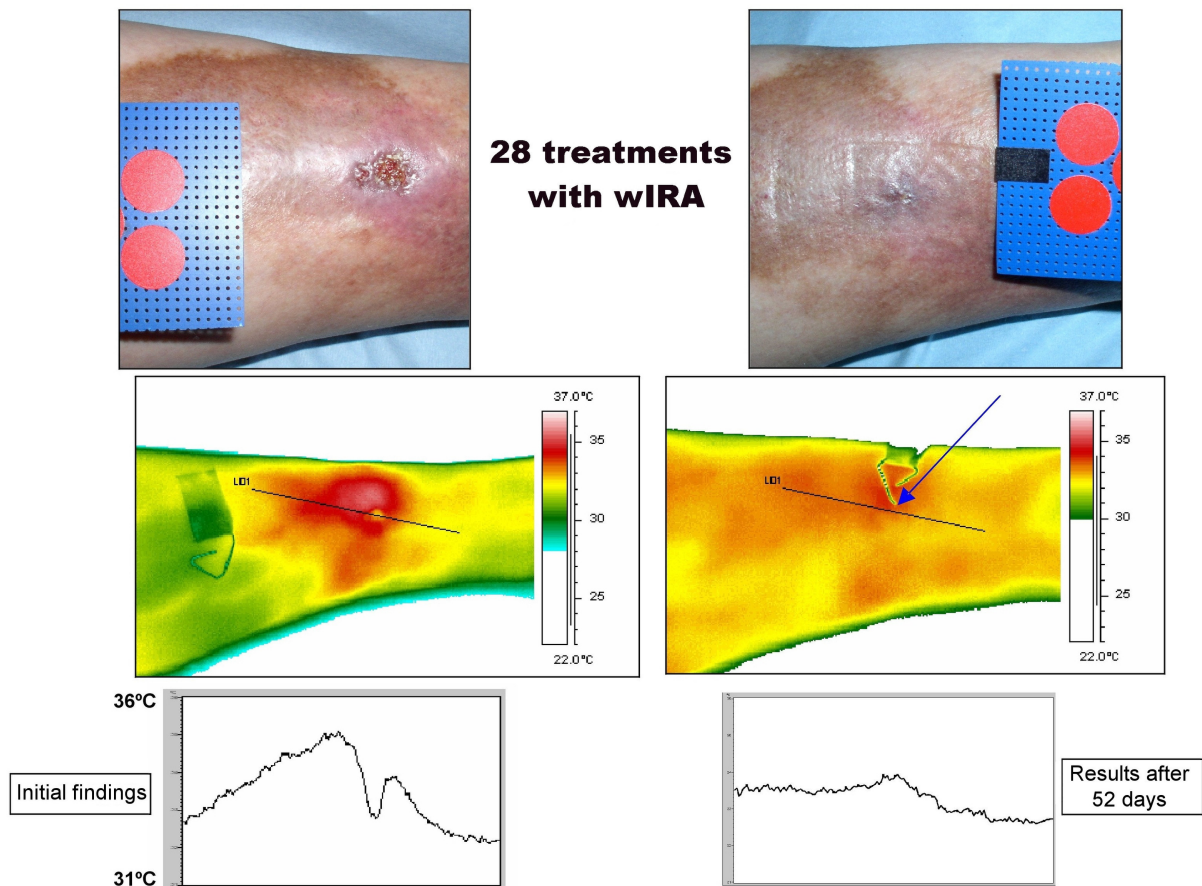


Figure 13: Example of the healing process of a chronic venous stasis ulcer of the lower leg under therapy with wIRA (Study Tromsø/Hillerød)

(28 times 30 minutes irradiation with water-filtered infrared-A (wIRA) and visible light (VIS) within 52 days = approximately 7 weeks) with normal view, thermographic image, and temperature profile across the ulcer, in each case to the left before therapy and to the right after completion of the course of therapy. The arrow in the thermographic image - taken after completion of the course of therapy - points to the place where the wound has been. Diameter of the red circles: 16 mm. (Study of the University of Tromsø/Norway and the Hospital in Hillerød/Denmark) (adapted from [3], [4], [23])

wIRA for chronic venous stasis ulcers of the lower legs (Example)

An additional example is presented in Figure 14.

Other wound-related indications of wIRA

Some case reports have demonstrated that wIRA can even be used for mixed arterial-venous ulcers or arterial ulcers, if an appropriately low irradiation intensity is chosen and if irradiation is monitored carefully [3].

wIRA can be used for decubital ulcers both as a preventive and as a therapeutic measure [3].

wIRA can also improve the resorption of topically applied substances [54], [55], [56] in wounds [3].

Endogenous PDT-like effect of wIRA

An irradiation with VIS and wIRA presumably acts with endogenous protoporphyrin IX (or protoporphyrin IX of bacteria) in a manner similar to a mild photodynamic therapy (endogenous PDT-like effect). This could lead to

improved cell regeneration and wound healing and to antibacterial effects [3], [57].

Perspectives for wIRA for the improvement of healing of chronic wounds

In conclusion, these results indicate that wIRA can generally be recommended for use in the treatment of chronic wounds [3].

Résumé

wIRA can considerably alleviate pain, is capable of diminishing exudation and inflammation and can reduce infections. wIRA can advance wound healing or improve an impaired wound healing both in acute and in chronic wounds. Even the normal wound healing process can be improved.

wIRA can generally be recommended for use in the treatment of acute as well as of chronic wounds.



Figure 14: Example of the healing process of a chronic venous stasis ulcer of the lower leg under therapy with wIRA

88 year-old woman with an infected (lightly malodorous) crustaceous ulcer (of the right distal medial lower leg), which had persisted for 13 months and had increased despite conservative dermatological therapy including local antiseptics, systemic antibiotic, and non-adhesive wound dressing up to 10 cm in diameter. Chronic venous insufficiency with marked stasis-related edemas of the lower legs and extensive stasis dermatitis, diabetes mellitus type II (orally treated), slightly overweight, and decreased amount of daily motion. Under irradiation with wIRA(+VIS) 30 minutes once daily, compression therapy, local antiseptics, non-adhesive wound dressing and the possibility of ending the systemic antibiotic therapy, a complete wound closure was achieved within 4½ months: initial findings, result after 3½ months, result after 4½ months (healed) (adapted from [3], [4])

References

- Hoffmann G. Principles and working mechanisms of water-filtered infrared-A (wIRA) in relation to wound healing [review]. *GMS Krankenhaushyg Interdiszip.* 2007;2(2):Doc54. Online available from: <http://www.egms.de/pdf/journals/dgkh/2007-2/dgkh000087.pdf> (PDF) and <http://www.egms.de/en/journals/dgkh/2007-2/dgkh000087.shtml> (shtml).
- Hartel M, Illing P, Mercer JB, Lademann J, Daeschlein G, Hoffmann G. Therapy of acute wounds with water-filtered infrared-A (wIRA) [review]. *GMS Krankenhaushyg Interdiszip.* 2007;2(2):Doc53. Online available from: <http://www.egms.de/pdf/journals/dgkh/2007-2/dgkh000086.pdf> (PDF) and <http://www.egms.de/en/journals/dgkh/2007-2/dgkh000086.shtml> (shtml).
- von Felbert V, Schumann H, Mercer JB, Strasser W, Daeschlein G, Hoffmann G. Therapy of chronic wounds with water-filtered infrared-A (wIRA) [review]. *GMS Krankenhaushyg Interdiszip.* 2007;2(2):Doc52. Online available from: <http://www.egms.de/pdf/journals/dgkh/2008-2/dgkh000085.pdf> (PDF) and <http://www.egms.de/en/journals/dgkh/2008-2/dgkh000085.shtml> (shtml).
- Hoffmann G. Wassergefiltertes Infrarot A (wIRA) zur Verbesserung der Wundheilung [Übersichtsarbeit]. [Water-filtered infrared A (wIRA) for the improvement of wound healing [review]]. *GMS Krankenhaushyg Interdiszip.* 2006;1(1):Doc20. Online available from: <http://www.egms.de/pdf/journals/dgkh/2006-1/dgkh000020.pdf> (PDF) and <http://www.egms.de/en/journals/dgkh/2006-1/dgkh000020.shtml> (shtml).
- Hoffmann G. Wassergefiltertes Infrarot A (wIRA) zur Verbesserung der Wundheilung bei akuten und chronischen Wunden [Water-filtered Infrarot A (wIRA) for the improvement of wound healing of acute and chronic wounds]. *Wundmanagement.* 2008;2:72-80. Also available online from: <http://publikationen.ub.uni-frankfurt.de/volltexte/2008/5429/>
- Hoffmann G. Klinische Anwendungen von wassergefiltertem Infrarot A (wIRA) [Clinical applications of water-filtered infrared-A (wIRA)]. In: Kaase H, Serick F, Hrsg. Sechstes Symposium "Licht und Gesundheit" [Sixth symposium "Light and health"]. Eine Sondertagung der Technischen Universität Berlin und der Deutschen Gesellschaft für Photobiologie mit der Deutschen Akademie für Photobiologie und Phototechnologie und der Deutschen Lichttechnischen Gesellschaft, Berlin, 13./14.03.2008. Berlin; 2008. S. 130-46. ISBN: 3-9807635-0-3. Also available online from: <http://publikationen.ub.uni-frankfurt.de/volltexte/2008/5484/> (online version includes English and German abstract).
- 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 available from: <http://www.egms.de/pdf/gms/2004-2/000018.pdf> (PDF) and <http://www.egms.de/en/gms/2004-2/000018.shtml> (shtml).
- Cobarg CC. Physikalische Grundlagen der wassergefilterten Infrarot-A-Strahlung [Principles of the physical properties of water-filtered infrared-A radiation]. In: Vaupel P, Krüger W, Hrsg. Wärmetherapie mit wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung [Thermal therapy with water-filtered infrared-A radiation]. Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten [The fundamentals and applications]. 2. Aufl. Stuttgart: Hippokrates; 1995. S. 19-28.

9. Rzeznik J. Die Technik zur loko-regionalen Wärmetherapie mit wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung [The technique of loco-regional thermal therapy with water-filtered infrared-A radiation]. In: Vaupel P, Krüger W, Hrsg. Wärmetherapie mit wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung [Thermal therapy with water-filtered infrared-A radiation]. Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten [The fundamentals and applications]. 2. Aufl. Stuttgart: Hippokrates; 1995. S. 29-46.
10. Albrecht-Buehler G. Surface extensions of 3T3 cells towards distant infrared light sources. *J Cell Biol.* 1991;114(3):493-502. DOI: 10.1083/jcb.114.3.493
11. Albrecht-Buehler G. Cellular infrared detector appears to be contained in the centrosome. *Cell Motil Cytoskeleton.* 1994;27(3):262-71. DOI: 10.1002/cm.970270307
12. Albrecht-Buehler G. A long-range attraction between aggregating 3T3 cells mediated by near-infrared light scattering. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2005;102(14):5050-5. Epub 2005 Mar 24. DOI: 10.1073/pnas.0407763102
13. 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
14. 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. DOI: 10.1002/lsm.1119
15. Karu TI, Pyatibrat LV, Kalendo GS. Donors of NO and pulsed radiation at lambda = 820 nm exert effects on cell attachment to extracellular matrices. *Toxicol Lett.* 2001;121(1):57-61. DOI: 10.1016/S0378-4274(01)00315-0
16. Karu TI, Pyatibrat LV, Kalendo GS. Cell attachment modulation by radiation from a pulsed light diode (lambda = 820 nm) and various chemicals. *Lasers Surg Med.* 2001;28(3):227-36. DOI: 10.1002/lsm.1043
17. Chow RT, Heller GZ, Barnsley L. The effect of 300 mW, 830 nm laser on chronic neck pain: a double-blind, randomized, placebo-controlled study. *Pain.* 2006;124(1-2):201-10. Epub 2006 Jun 27. DOI: 10.1016/j.pain.2006.05.018
18. Gebbers N, Hirt-Burri N, Scaletta C, Hoffmann G, Applegate LA. Water-filtered infrared-A radiation (wIRA) is not implicated in cellular degeneration of human skin. *GMS Ger Med Sci.* 2007;5:Doc08. Online available from: <http://www.egms.de/pdf/gms/2007-5/000044.pdf> (PDF) and <http://www.egms.de/en/gms/2007-5/000044.shtml> (shtml).
19. 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
20. Vaupel P, Rzeznik J, Stofft E. Wassergefilterte Infrarot-A-Strahlung versus konventionelle Infrarotstrahlung: Temperaturprofile bei lokoregionaler Wärmetherapie [Water-filtered infrared-A radiation versus conventional infrared-A radiation: temperature profiles upon loco-regional thermotherapy]. *Phys Rehab Kur Med.* 1995;5:77-81. DOI: 10.1055/s-2008-1061959
21. Stofft E, Vaupel P. Wassergefilterte Infrarot-A-Strahlung versus Fango-Paraffin-Packung: Temperaturprofile bei lokoregionaler Wärmetherapie [Water-filtered infrared-A radiation versus fango-paraffin pack: temperature profiles upon loco-regional thermotherapy]. *Phys Rehab Kur Med.* 1996;6:7-11. DOI: 10.1055/s-2008-1061893
22. Vaupel P, Stofft E. Wassergefilterte Infrarot-A-Strahlung im Vergleich zu konventioneller Infrarotstrahlung oder Fango-Paraffin-Packungen: Temperaturprofile bei lokaler Wärmetherapie [Water-filtered infrared-A radiation in comparison to conventional infrared-A radiation or fango paraffin packages: temperature profiles in local thermal therapy]. In: Vaupel P, Krüger W, Hrsg. Wärmetherapie mit wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung [Thermal therapy with water-filtered infrared-A radiation]. Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten [The fundamentals and applications]. 2. Aufl. Stuttgart: Hippokrates; 1995. S. 135-47.
23. Mercer JB, Nielsen SP, Hoffmann G. Improvement of wound healing by water-filtered infrared-A (wIRA) in patients with chronic venous stasis ulcers of the lower legs including evaluation using infrared thermography. *GMS Ger Med Sci.* 2008;6:Doc11. Online available from: <http://www.egms.de/pdf/gms/2008-6/000056.pdf> (PDF) and <http://www.egms.de/en/gms/2008-6/000056.shtml> (shtml).
24. 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.
25. Pascoe DD, Mercer JB, de Weerd L. Physiology of thermal signals. In: Bronzino JD, ed. *Biomedical Engineering Handbook*. 3rd edition. Boca Raton (Florida/USA): Taylor and Francis Group, CRC press; 2006. p. 21-1 - 21-20.
26. Hellige G, Becker G, Hahn G. Temperaturverteilung und Eindringtiefe wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung [Temperature distribution and penetration depth of water-filtered infrared-A radiation]. In: Vaupel P, Krüger W, Hrsg. Wärmetherapie mit wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung [Thermal therapy with water-filtered infrared-A radiation]. Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten [The fundamentals and applications]. 2. Aufl. Stuttgart: Hippokrates; 1995. S. 63-79.
27. 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(9285):876-80. DOI: 10.1016/S0140-6736(01)06071-8
28. 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(7):818-22. DOI: 10.1001/archsurg.135.7.818
29. Kivisaari J, Viheraari T, Renvall S, Niinikoski J. Energy metabolism of experimental wounds at various oxygen environments. *Ann Surg.* 1975;181:823-8. DOI: 10.1097/0000658-197506000-00011
30. 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(2):52-6. DOI: 10.1007/BF01660413
31. Niinikoski J, Gottrup F, Hunt TK. The role of oxygen in wound repair. In: Janssen H, Rooman R, Robertson JIS, eds. *Wound healing*. Petersfield: Wrightson Biomedical Publishing; 1991. p. 165-74.
32. 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.
33. 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.
34. Buslau M, Hoffmann G. Die hyperbare Oxygenation (HBO) - eine adjuvante Therapie akuter und chronischer Wundheilungsstörungen [Review] [Hyperbaric oxygenation - an adjuvant therapy of acute and chronic wound healing impairments]. *Dermatol Monatsschr.* 1993;179:39-54.

35. Hoffmann G, Buslau M. Treatment of skin diseases by hyperbaric oxygenation. In: Cramer FS, ed. In: Proceedings of the Eleventh International Congress on Hyperbaric Medicine. Flaggstaff, USA: Best Publishing Company; 1995. p. 20-1, 153-9.
36. Wright J. Hyperbaric oxygen therapy for wound healing. World Wide Wounds; 2001. Online available from: <http://www.worldwidewounds.com/2001/april/Wright/HyperbaricOxygen.html>
37. Knighton DR, Silver IA, Hunt TK. Regulation of wound-healing angiogenesis - effect of oxygen gradients and inspired oxygen concentration. *Surgery*. 1981;90:262-70.
38. Jünger M, Hahn M, Klyscz T, Steins A. Role of microangiopathy in the development of venous leg ulcers. Basel: Karger; 1999. p. 180-93. (Progr. Appl. Microc.; Vol. 23.)
39. 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. DOI: 10.1016/S1011-1344(98)00219-X
40. Karu TI. Low-power laser effects. In: Waynant RW, editor. *Lasers in medicine*. Boca Raton: CRC Press; 2002. p. 171-209.
41. Danno K, Mori N, Toda K, Kobayashi T, Utani A. Near-infrared irradiation stimulates cutaneous wound repair: laboratory experiments on possible mechanisms. *Photodermatol Photoimmunol Photomed*. 2001;17(6):261-5.
42. Horwitz LR, Burke TJ, Carnegie D. Augmentation of wound healing using monochromatic infrared energy. Exploration of a new technology for wound management. *Adv Wound Care*. 1999;12(1):35-40.
43. 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. DOI: 10.1046/j.1523-1747.1998.00338.x
44. Frank S, Menezes S, Lebreton-De Coster C, Oster M, Dubertret L, Coulomb B. Infrared radiation induces the p53 signaling pathway: role in infrared prevention of ultraviolet B toxicity. *Exp Dermatol*. 2006;15(2):130-7. DOI: 10.1111/j.1600-0625.2005.00397.x
45. Frank S, Oliver L, Lebreton-De Coster C, Moreau C, Lecabellec MT, Michel L, Vallette FM, Dubertret L, Coulomb B. Infrared radiation affects the mitochondrial pathway of apoptosis in human fibroblasts. *J Invest Dermatol*. 2004;123(5):823-31. DOI: 10.1111/j.0022-202X.2004.23472.x
46. Danno K, Horio T, Imamura S. Infrared radiation suppresses ultraviolet B-induced sunburn-cell formation. *Arch Dermatol Res*. 1992;284(2):92-4. DOI: 10.1007/BF00373376
47. 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.
48. 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.
49. Hoffmann G, Meffert H. Apparent contradiction between negative effects of UV radiation and positive effects of sun exposure. *GMS Ger Med Sci*. 2005;3:Doc01. Online available from: <http://www.egms.de/pdf/gms/2005-3/000019.pdf> (PDF) and <http://www.egms.de/en/gms/2005-3/000019.shtml> (shtml).
50. Jung T, Höhn A, Piazena H, Grune T. Effects of water-filtered infrared A irradiation on human fibroblasts. *Free Radic Biol Med*. 2009 Oct 21. DOI: 10.1016/j.freeradbiomed.2009.10.036
51. Piazena H, Kelleher DK. Effects of infrared-A irradiation on skin: discrepancies in published data highlight the need for an exact consideration of physical and photobiological laws and appropriate experimental settings. *Photochem Photobiol*. 2009: accepted.
52. Hoffmann G. Wassergefiltertes Infrarot A (wIRA) in der Wundbehandlung: Interview; 3 Fragen an Prof. Dr. med. Gerd Hoffmann [Water-filtered infrared-A (wIRA) in the treatment of wounds: interview; 3 questions to Prof. Gerd Hoffmann, MD]. *Heilberufe*. 2009;61(7):14. Also available online from: <http://publikationen.ub.uni-frankfurt.de/volltexte/2009/6802/> [The online version includes an English and a German abstract].
53. Biland L, Barras J. Die wassergefilterte Infrarot-A-Hyperthermie zur Behandlung venöser Ulcera [Water-filtered infrared-A induced hyperthermia used as therapy of venous ulcers]. *Hefte Wundbehand*. 2001;5:41.
54. Hauptenthal H. In vitro- und in vivo-Untersuchungen zur temperaturgesteuerten Arzneistoff-Liberation und Permeation [Thesis] [In vitro and in vivo investigations of temperature dependent drug liberation and permeation]. Mainz: Johannes Gutenberg-Universität; 1997.
55. Bankova L, Heinemann C, Fluhr JW, Hoffmann G, Elsner P. Improvement of penetration of a topical corticoid by waterfiltered infrared A (wIRA). In: 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.
56. 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*. 2008;6:Doc08. Online available from: <http://www.egms.de/pdf/gms/2008-6/000053.pdf> (PDF) and <http://www.egms.de/en/gms/2008-6/000053.shtml> (shtml).
57. Hoffmann G. Wassergefiltertes Infrarot A (wIRA) [Water-filtered infrared-A (wIRA)]. In: Kramer A, Assadian O, Hrsg. *Wallhäußers Praxis der Sterilisation, Desinfektion, Antiseptik und Konservierung. Qualitätssicherung der Hygiene in Industrie, Pharmazie und Medizin. [Wallhäußers practice of sterilization, disinfection, antiseptics and conservation. Quality assurance of the hygiene in industry, pharmacy, and medicine]*. Stuttgart: Thieme; 2008. S. 899-900. ISBN: 978-3-13-141121-1. Also available online from: <http://publikationen.ub.uni-frankfurt.de/volltexte/2009/6135/> [The online version includes an English and a German abstract].
58. Carter DR, ed. *Electro-Optics Handbook* [company publication]. Lancaster, PA, USA: Burle Industries; c2008. Section 6, p. 61-80. Online available from: http://www.burle.com/cgi-bin/byteserver.pl/pdf/Electro_Optics.pdf
59. Valley SL, ed. *Handbook of geophysics and space environments*. Air Force Cambridge Research Laboratories, Office of Aerospace Research, U.S. Air Force; 1965. Also published: New York, N.Y.: McGraw-Hill Book Co.; 1965.

Corresponding author:

Prof. Dr. med. Gerd Hoffmann
Johann Wolfgang Goethe University Frankfurt/Main,
Institute of Sports Sciences, Ginnheimer Landstrasse 39,
D-60487 Frankfurt/Main, Germany, Tel+Fax+Q:
+49-6181-62287
Hoffmann@em.uni-frankfurt.de

Please cite as

Hoffmann G. Water-filtered infrared-A (wIRA) in acute and chronic wounds. *GMS Krankenhaushyg Interdiszip*. 2009;4(2):Doc12. DOI: 10.3205/dgkh000137

This article is freely available from

<http://www.egms.de/en/journals/dgkh/2009-4/dgkh000137.shtml>

Published: 2009-12-16

Copyright

©2009 Hoffmann. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/deed.en>). You are free: to Share – to copy, distribute and transmit the work, provided the original author and source are credited.

Wassergefiltertes Infrarot A (wIRA) bei akuten und chronischen Wunden

Zusammenfassung

Wassergefiltertes Infrarot A (wIRA) als spezielle Form der Wärmestrahlung mit hohem Eindringvermögen in das Gewebe bei geringer thermischer Oberflächenbelastung kann die Heilung akuter und chronischer Wunden sowohl über thermische und temperaturabhängige als auch über nicht-thermische und temperaturunabhängige Effekte verbessern. wIRA steigert Temperatur (+2,7 °C in 2 cm Gewebetiefe) und Sauerstoffpartialdruck im Gewebe (+32% in 2 cm Gewebetiefe) sowie die Gewebedurchblutung. Diese drei Faktoren sind entscheidend für eine ausreichende Versorgung des Gewebes mit Energie und Sauerstoff und deshalb auch für Wundheilung und Infektionsabwehr.

wIRA vermag Schmerzen deutlich zu mindern (ausnahmslos bei 230 Bestrahlungen) mit bemerkenswert niedrigerem Analgetikabedarf (52–69% niedriger in den Gruppen mit wIRA verglichen mit den Kontrollgruppen) und eine erhöhte Wundsekretion und Entzündung herabzusetzen sowie positive immunmodulierende Effekte zu zeigen. Die Gesamtbeurteilung des Effekts der Bestrahlung wie auch die Wundheilung und das kosmetische Ergebnis (erhoben mittels visueller Analogskalen) waren in der Gruppe mit wIRA wesentlich besser verglichen mit der Kontrollgruppe. wIRA kann sowohl bei akuten als auch bei chronischen Wunden einschließlich infizierter Wunden die Wundheilung beschleunigen (Abnahme der Wundfläche im Median um 90% bei schwerbrandverletzten Kindern bereits nach 9 Tagen in der Gruppe mit wIRA verglichen mit 13 Tagen in der Kontrollgruppe; im Durchschnitt 18 versus 42 Tage bis zum kompletten Wundschluss bei chronischen venösen Unterschenkelulzera) oder bei stagnierender Wundheilung verbessern (mit Erreichen eines kompletten Wundschlusses und Normalisierung des thermographischen Bildes bei zuvor therapierefraktären chronischen venösen Unterschenkelulzera). Nach großen abdominalen Operationen zeigte sich ein Trend zugunsten der wIRA-Gruppe hin zu einer niedrigeren Rate von Wundinfektionen insgesamt (7% versus 15%) einschließlich später Infektionen nach der Entlassung aus dem Krankenhaus (0% versus 8%) und ein Trend hin zu einem kürzeren postoperativen Krankenhausaufenthalt (9 versus 11 Tage).

Selbst der normale Wundheilungsprozess kann verbessert werden.

Die erwähnten Effekte wurden in 6 prospektiven Studien belegt, die meisten mit einem Evidenzgrad von Ia/Ib.

wIRA stellt eine wertvolle Therapieoption dar und kann generell für die Therapie von akuten und chronischen Wunden empfohlen werden.

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

Gerd Hoffmann¹

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

Einleitung

Die Anwendung von wassergefiltertem Infrarot A (wIRA) zur Verbesserung der Wundheilung bei akuten und chronischen Wunden einschließlich der Grundlagen wird ausführlicher als hier in den drei zusammengehörigen Übersichtsarbeiten [1], [2], [3] (insgesamt 42 PDF-Seiten) beschrieben. Bitte ziehen Sie diese Übersichtsarbeiten für weitere Details und Literaturangaben heran. Daneben existieren zwei weitere Übersichtsarbeiten zu diesem Themenbereich [4], [5] sowie eine thematisch etwas breiter angelegte Übersichtsarbeit [6].

Wirkprinzipien von wIRA

Die Erfahrung der angenehmen Wärme der Sonne in gemäßigten Breiten entsteht durch die Filterung der Wärmestrahlung der Sonne durch Wasserdampf in der Erdatmosphäre [1], [4], [5], [6], [7], [8], siehe Abbildung 1. Durch die Wasserfilterung 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 hervorrufen würden [1], [4], [5], [6], [7], [8]. Technisch wird wassergefiltertes Infrarot A (wIRA) in speziellen Strahlern erzeugt, in denen die gesamte Strahlung eines Halogen-Strahlers durch eine Wasser enthaltende Küvette hindurchtritt, so dass die genannten unerwünschten Strahlungsanteile innerhalb des Infrarot gemindert oder herausgefiltert werden [1], [9], siehe Abbildung 2. Innerhalb des Infrarot stellt das verbleibende wIRA (im Bereich 780–1400 nm) vorwiegend Strahlung mit gutem Eindringvermögen in das Gewebe dar und erlaubt gegenüber ungefilterter Infrarotstrahlung einen mehrfachen Energieeintrag in das Gewebe ohne die Haut zu reizen, vergleichbar der Sonnenwärmestrahlung in gemäßigten Breiten. Typische wIRA-Strahler emittieren keine Ultraviolett-Strahlung (UV) und nahezu keine Infrarot-B- und Infrarot-C-Strahlung, und der Anteil der Infrarot-A-Strahlung ist im Verhältnis zum Anteil des sichtbaren Lichts (380–780 nm) betont [1], [9], siehe Abbildung 3. Innerhalb des Spektrums von Infrarot-A- und wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung wurden Effekte insbesondere von den energiereichen Wellenlängen nahe dem sichtbaren Licht – ungefähr 780–1000 nm (800–900 nm [10], [11], [12], 800 nm [13], 820 nm [14], [15], [16], 830 nm [17]) – sowohl in vitro als auch in vivo beschrieben; diese Wellenlängen scheinen den klinisch wichtigsten Teil von Infrarot A und wIRA darzustellen [1], [18].

Wassergefiltertes Infrarot A als spezielle Form der Wärmestrahlung mit hohem Eindringvermögen in das Gewebe bei geringer thermischer Oberflächenbelastung, siehe Abbildung 4, wirkt sowohl über thermische (auf Wärmeenergieübertragung bezogene) und temperaturabhängige (mit Temperaturänderung auftretende) als auch über nicht-thermische (ohne relevanten Wärmeenergieübertragung) und

temperaturunabhängige (ohne relevante Temperaturänderung auftretende) Effekte [1]. wIRA erzeugt ein therapeutisch nutzbares Wärmefeld im Gewebe und steigert Temperatur [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26] und Sauerstoffpartialdruck im Gewebe [19] sowie die Gewebedurchblutung [1], [24], [25], [26], drei entscheidende Faktoren für eine ausreichende Versorgung des Gewebes mit Energie und Sauerstoff.

Da Wundheilung und Infektionsabwehr (z.B. Granulozytenfunktion einschließlich ihrer antibakteriellen Sauerstoffradikalbildung) entscheidend von einer ausreichenden Versorgung mit Energie und Sauerstoff abhängen und das Zentrum chronischer Wunden häufig relativ hypotherm ist [1], [19], [23] (während z.B. sowohl präoperative [27] als auch postoperative [19], [28] Wärmezufuhr zum Operationsgebiet die Wundheilung von Operationswunden verbessern kann) und häufig einen Sauerstoffpartialdruck nahe Null hat [1], [19], [23], [29], [30], [31], [32], [33], [34], [35], [36], [37], [38], stellt die Verbesserung sowohl der Energiebereitstellung pro Zeit (Steigerung der Stoffwechselleistung) als auch der Sauerstoffversorgung eine Erklärung für die klinisch gute Wirkung von wIRA auf Wunden und Wundinfektionen dar [1]. Zusätzlich hat wIRA nicht-thermische und ohne relevante Temperaturänderung auftretende Effekte, die darauf beruhen, direkte Reize auf Zellen und zelluläre Strukturen zu setzen: Reaktionen der Zellen auf Infrarot – auch z.T. bei sehr kleinen Bestrahlungsintensitäten – sind z.B. zielgerichtetes Plasmodienwachstum [10], Beeinflussung der Cytochrom-c-Oxidase [14], [39], [40], zielgerichtetes Wachstum von Neuronen [13], Stimulation der Wundheilung [41], [42] sowie zellschützende Effekte von Infrarot A [43], [44], [45], [46] und wassergefiltertem Infrarot A (wIRA) [47], [48], [49].

wIRA vermag Schmerzen deutlich zu mindern (mit bemerkenswert niedrigerem Analgetikabedarf) und eine erhöhte Wundsekretion und Entzündung herabzusetzen sowie positive immunmodulierende Effekte zu zeigen. wIRA kann sowohl bei akuten als auch bei chronischen Wunden einschließlich infizierter Wunden die Wundheilung beschleunigen oder bei stagnierender Wundheilung verbessern. Selbst der normale Wundheilungsprozess kann verbessert werden [1], [19].

wIRA ist ein kontaktfreies, verbrauchsmaterialfreies, leicht anzuwendendes, als angenehm empfundenes Verfahren mit guter Tiefenwirkung. Für wIRA mit angemessenen therapeutischen Bestrahlungsstärken und -dosen konnte nicht nur gezeigt werden, dass es für menschliche Haut unbedenklich ist [1], [4], [18], [47], [48], [50], sondern dass es zellschützende Effekte gegen UV-bedingte Schäden hat [1], [4], [43], [44], [45], [46], [47], [48], [49]. Sicherheitsaspekte der klinischen Anwendung von wIRA werden ausführlich in [1] und [18] beschrieben. Insbesondere auch unter Berücksichtigung von [50] sowie der aktuellen Übersichtsarbeit [51] ist die Anwendung von wIRA mit adäquaten Bestrahlungsstärken als sicher anzusehen. Die Bestrahlung der typischerweise unbedeckten Wunde erfolgt mit einem wIRA-Strahler, siehe Abbildung 5.

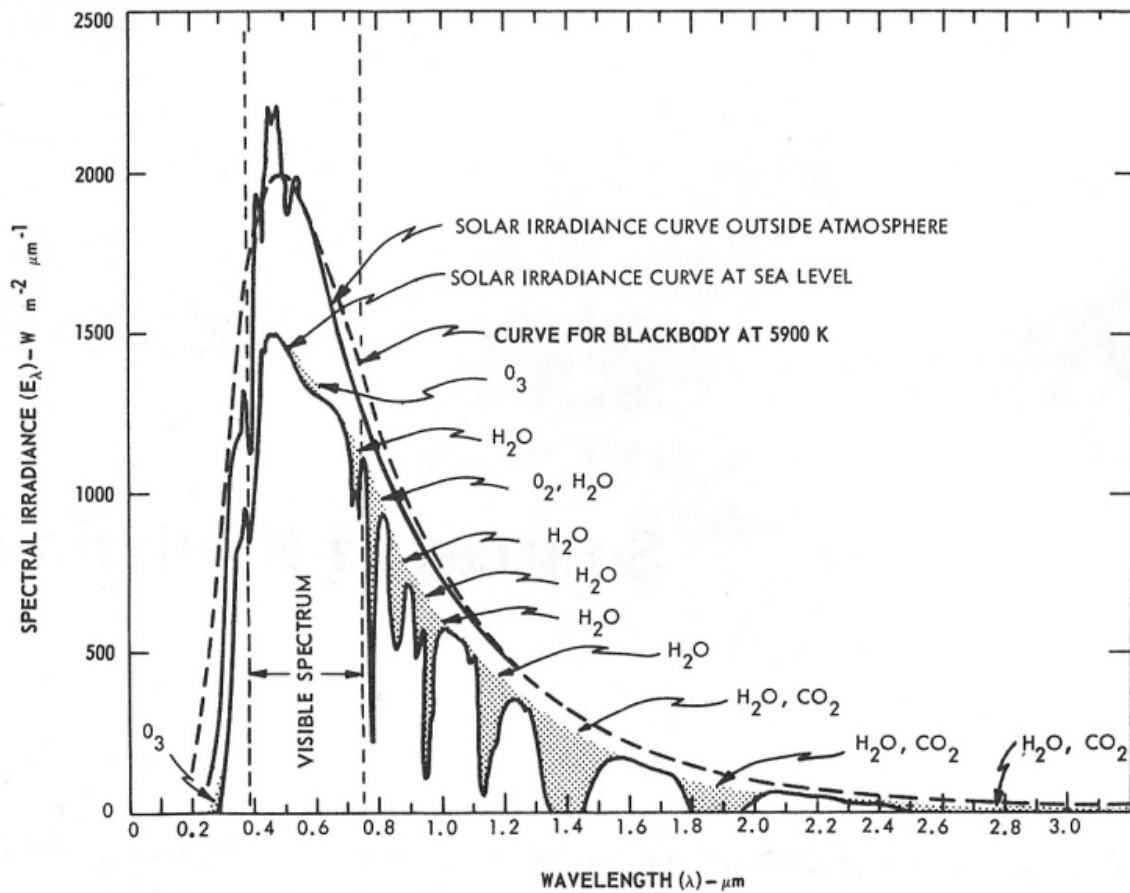


Abbildung 1: Spektrale Bestrahlungsstärke der Sonne außerhalb der Atmosphäre und auf der Erdoberfläche auf Meereshöhe, in beiden Fällen mit der Sonne am Zenit und für einen mittleren Erde-Sonne-Abstand. Die schattierten Flächen zeigen die Absorption aufgrund der angegebenen Bestandteile der Atmosphäre bis zum Erreichen der Erdoberfläche auf Meereshöhe (aus [1], [58], adaptiert aus [59]).

Für den Vergleich der Abbildungen 1 und 3: $1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \mu\text{m}^{-1} = 100 \text{ mW} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \mu\text{m}^{-1} = 1 \text{ mW} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot (10 \text{ nm})^{-1}$

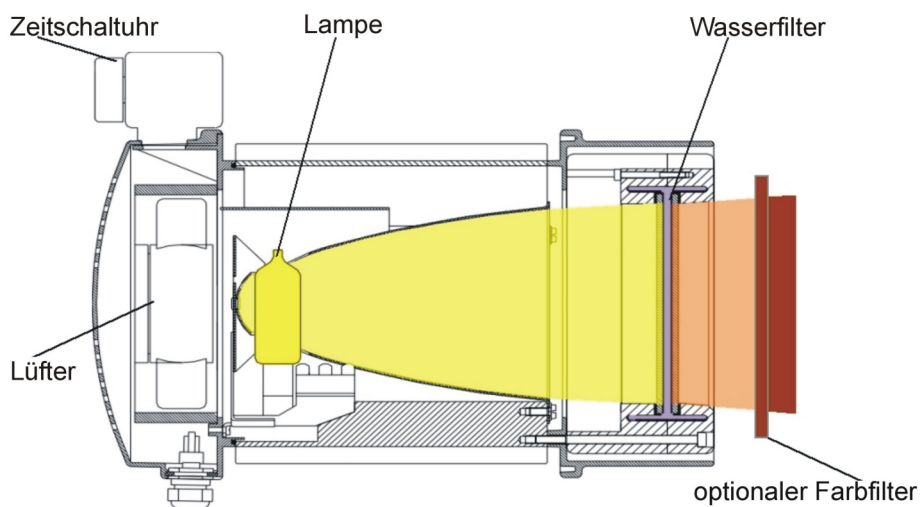


Abbildung 2: Querschnitt eines wassergefilterten Infrarot-A-Strahlers (Hydrosun, Müllheim, Deutschland)

Die gesamte inkohärente nicht-polarisierte Breitband-Strahlung einer 3000-Kelvin-Halogen-Lampe tritt durch eine Küvette, die Wasser enthält, das die unerwünschten Wellenlängen innerhalb des Infrarot mindert oder herausfiltert (die meisten Teile des Infrarot B und C und die Wasserabsorptionsbanden innerhalb des Infrarot A). Das Wasser ist hermetisch in der Küvette eingeschlossen. Ein Lüfter kühlt die Küvette per Luftstrom und verhindert so ein Kochen des Wassers. (adaptiert aus [1])

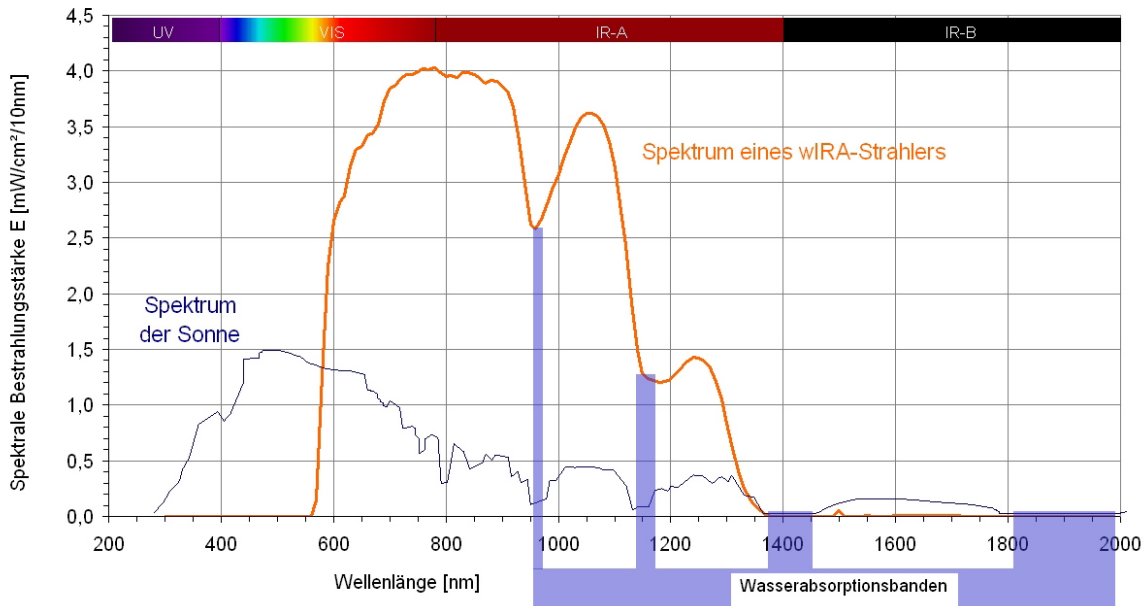


Abbildung 3: Vergleich der Spektren der Sonne auf der Erdoberfläche auf Meereshöhe und des Spektrums eines wIRA-Strahlers. Spektrale Bestrahlungsstärke der Sonne auf der Erdoberfläche auf Meereshöhe (mit der Sonne am Zenith und bei mittlerem Erde-Sonne-Abstand) (aus [1], adaptiert aus [58]) und spektrale Bestrahlungsstärke eines wIRA-Strahlers (Hydrosun®-Strahler 501 mit 10 mm Wasserküvette und Orangefilter OG590) bei ca. 210 mW/cm^2 ($= 2,1 \cdot 10^3\text{ W/m}^2$) Gesamtbestrahlungsstärke (adaptiert aus [1], [4]).

Das Spektrum der Sonne auf Meereshöhe umfasst Ultraviolett-Strahlung (UV, $<400\text{ nm}$), sichtbares Licht (VIS, $380\text{--}780\text{ nm}$) und Infrarotstrahlung (IR, $>780\text{ nm}$). Das Spektrum des wIRA-Strahlers umfasst nur sichtbares Licht (VIS) und Infrarotstrahlung (IR); der sichtbare Teil hängt vom verwendeten Farbfilter ab; der wIRA-Strahler emittiert keine Ultraviolett-Strahlung (UV). Beide Spektren zeigen die verminderten Bestrahlungsstärken im Bereich der Wasserabsorptionsbanden.

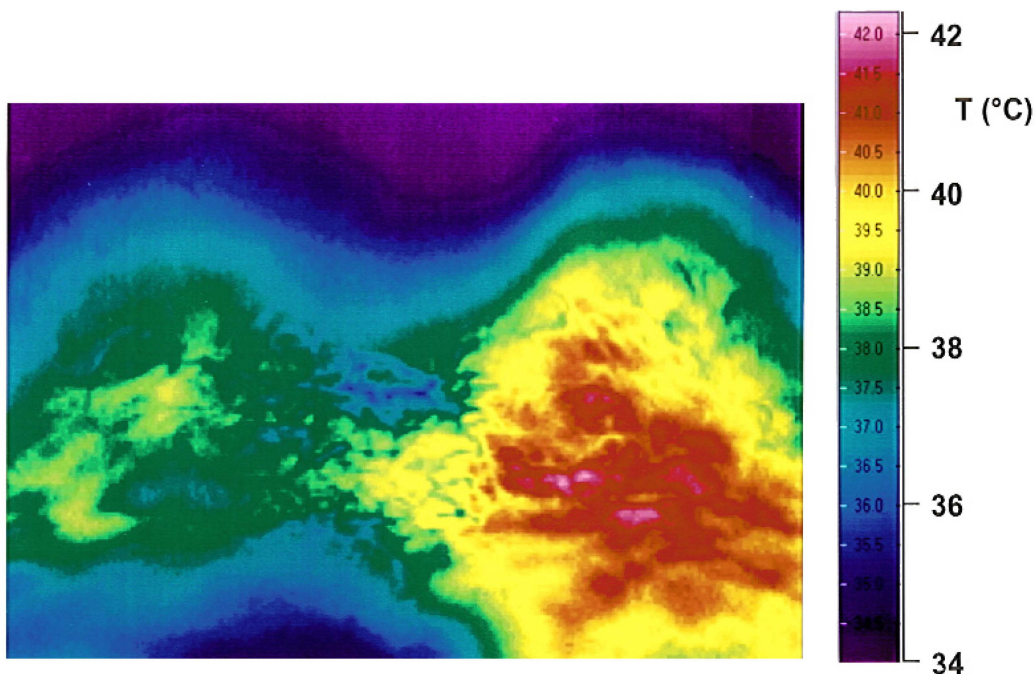


Abbildung 4: Vergleich von Bestrahlungen mit wassergefiltertem Infrarot A und mit konventionellem Infrarot Thermographischer Vergleich der Hautoberflächentemperaturen in der Lendenregion 12 Minuten nach Beginn der Bestrahlungen mit wassergefiltertem Infrarot A (links) und mit konventionellem Infrarot (rechts) mit der gleichen Bestrahlungsstärke: die Hautoberflächentemperatur ist bei Bestrahlung mit konventionellem Infrarot höher (wie in der Thermographie dargestellt), während die Temperatur in 1 cm Gewebetiefe bei Bestrahlung mit wassergefiltertem Infrarot A höher ist (aus [1], [20]). So weist wassergefiltertes Infrarot A ein hohes Eindringvermögen in das Gewebe bei geringer thermischer Oberflächenbelastung auf.



Abbildung 5: Beispiel für eine Bestrahlung einer Wunde mit einem wassergefilterten Infrarot-A-Strahler
(veröffentlicht mit freundlicher Genehmigung von Prof. James Mercer, Tromsø/Norwegen) (aus [1], [23])

Klinische Wirkungen von wIRA bei Wunden

Aufgrund von 6 klinischen Studien sind mit Evidenzgrad Ia/Ib belegt [1], [52]:

- akute Schmerzminderung während einer wIRA-Bestrahlung
- Minderung der erforderlichen Schmerzmedikation
- größere/schnellere Wundflächenreduktion
- bessere Gesamteinschätzung der Wundheilung
- bessere Gesamteinschätzung des Effekts der Therapie (Schmerzen, Wundheilung, Kosmetik)
- höherer Gewebesauerstoffpartialdruck während wIRA
- höhere subkutane Gewebetemperatur während wIRA
- besserer kosmetischer Aspekt

Als Trend wurden außerdem gefunden:

- niedrigere Wundinfektionsrate
- kürzerer Krankenhausaufenthalt

Weitere klinische Beobachtungen sind:

- Entzündungsminderung
- Hypersekretionsminderung

Therapie akuter Wunden mit wIRA

wIRA für akute Operationswunden (Studie der Universitätsklinik Heidelberg, Klinik für Chirurgie)

Eine prospektive, randomisierte, kontrollierte, doppelblinde Studie mit 111 Patienten nach großen abdominalen Operationen in der Chirurgischen Universitätsklinik Heidelberg in Deutschland zeigte mit 20 Minuten Bestrahlung zweimal am Tag (beginnend am zweiten postoperativen Tag) in der Gruppe mit wIRA und sichtbarem Licht VIS (wIRA(+VIS), ungefähr 75% wIRA, 25% VIS) verglichen mit der Kontrollgruppe mit nur VIS eine signifikante und relevante Schmerzminderung verbunden mit einer deutlich verminderten erforderlichen Analgetikadosis: während 230 einzelner Bestrahlungen mit wIRA(+VIS) nahm der Schmerz ausnahmslos ab (der Median der Schmerzminderung an den postoperativen Tagen 2–6 betrug 13,4 auf einer 100 mm visuellen Analogskala VAS 0–100), während der Schmerz in der Kontrollgruppe unverändert blieb ($p < 0,000001$, siehe Abbildung 6). Der Median der Schmerzminderung am dritten postoperativen Tag betrug 18,5 versus 0,0, die mediane Differenz zwischen den Gruppen 18,4 (99%-Konfidenzintervall 12,3/21,0), $p < 0,000001$. (Semantische statistische Anmerkung in [2], [5].)

Die erforderliche Analgetikadosis war in den Untergruppen mit wIRA(+VIS) 52–69% niedriger (mediane Differenzen) im Vergleich zu den Kontrolluntergruppen mit nur VIS (Median 598 versus 1398 ml Ropivacain, $p = 0,000020$, für Peridural-Katheter-Analgesie; 31 versus 102 mg Piritramid, $p = 0,00037$, für patientenkontrollierte Analgesie; 3,4 versus 10,2 g Metamizol, $p = 0,0045$, für intravenöse und orale Analgesie, siehe Abbildung 7).

Während der Bestrahlung mit wIRA(+VIS) stieg der subkutane Sauerstoffpartialdruck wesentlich um 32% und die subkutane Temperatur um $2,7^\circ\text{C}$ an (beides in 2 cm Gewebetiefe), während beide in der Kontrollgruppe unverändert blieben. Nach Bestrahlung lag der Median des subkutanen Sauerstoffpartialdrucks bei 41,6 (mit wIRA) versus 30,2 mm Hg in der Kontrollgruppe (mediane Differenz zwischen den Gruppen 11,9 mm Hg (+39%), 99%-Konfidenzintervall 8,4/15,4 mm Hg (+28%/+51%), $p < 0,000001$, siehe Abbildung 8) und der Median der subkutanen Temperatur bei $38,9$ versus $36,4^\circ\text{C}$ (mediane Differenz zwischen den Gruppen $2,6^\circ\text{C}$, 99%-Konfidenzintervall $2,1/2,9^\circ\text{C}$, $p < 0,000001$, siehe Abbildung 9). Die Ruhewerte (vor Bestrahlung) des subkutanen Sauerstoffpartialdrucks stiegen vom 2. zum 10. postoperativen Tag um 3,4 versus 0,3 mm Hg (mediane Differenz zwischen den Gruppen 3,1 mm Hg (+10%), 99%-Konfidenzintervall 1,9/3,7 mm Hg, $p = 0,00051$). Die Ruhewerte der subkutanen Temperatur stiegen um $0,4$ versus $-0,3^\circ\text{C}$ (mediane Differenz $0,6^\circ\text{C}$, 95%-Konfidenzintervall $0,2/0,8^\circ\text{C}$, $p = 0,0074$) (Effekte, die über den Zeitraum der einzelnen Bestrahlung hinausreichen).

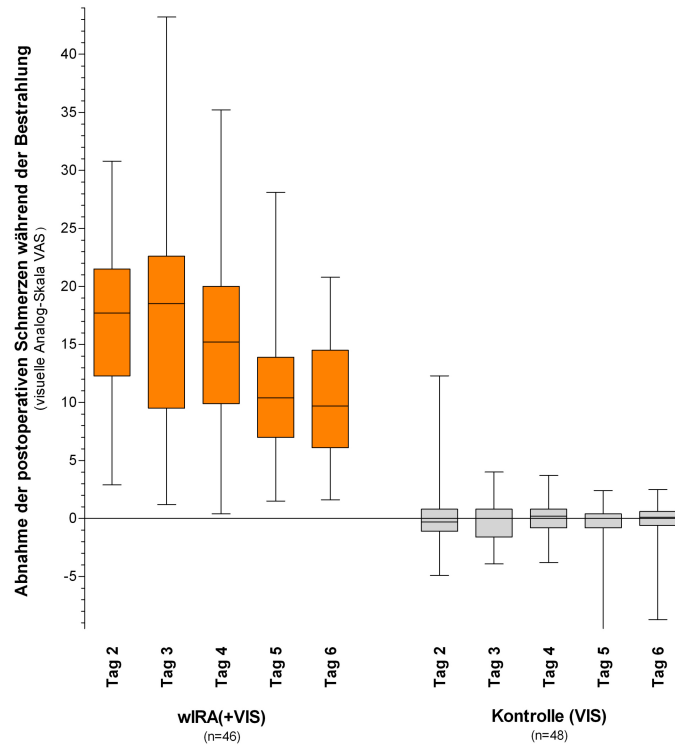


Abbildung 6: Abnahme der postoperativen Schmerzen während Bestrahlung in der Gruppe mit wassergefiltertem Infrarot A (wIRA) und sichtbarem Licht (VIS) und in der Kontrollgruppe mit nur sichtbarem Licht (VIS) (Studie Heidelberg)

(erhoben mit einer visuellen Analogskala; dargestellt mit Minimum, 25%-Perzentile, Median, 75%-Perzentile und Maximum (Box-Whiskers-Darstellung; die Box repräsentiert die Interquartil-Spanne), adaptiert aus [2], [19]).

Der Schmerz nahm während der 230 einzelnen Bestrahlungen mit wIRA(+VIS) ausnahmslos ab, während der Schmerz in der Kontrollgruppe unverändert blieb ($p < 0,000001$ für jeden einzelnen dargestellten Tag wie auch für die Gesamtheit der Tage).

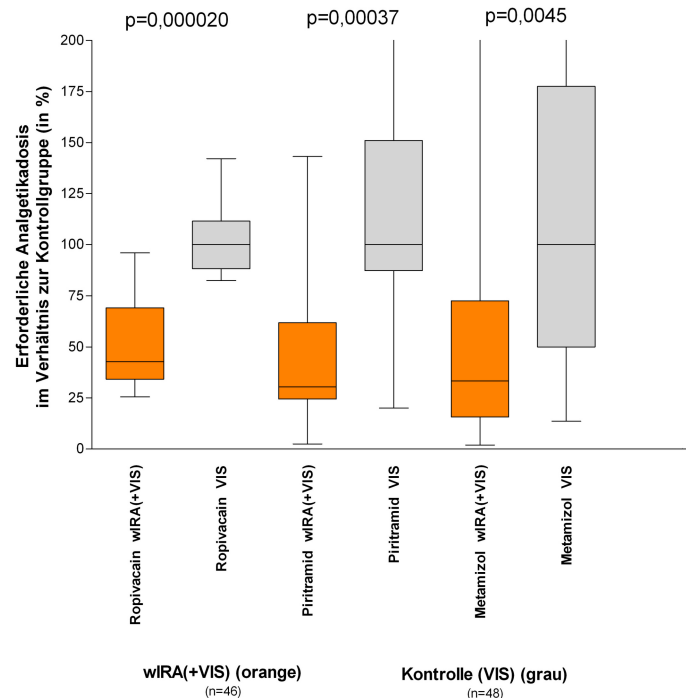


Abbildung 7: Erforderliche Analgetikadosis in den Untergruppen mit wassergefiltertem Infrarot A (wIRA) und sichtbarem Licht (VIS) im Verhältnis zu den Kontrolluntergruppen mit nur sichtbarem Licht (VIS) (Mediane der Kontrolluntergruppen = 100) (Studie Heidelberg)

(dargestellt mit Minimum, 25%-Perzentile, Median, 75%-Perzentile und Maximum (Box-Whiskers-Darstellung; die Box repräsentiert die Interquartil-Spanne), adaptiert aus [2], Daten aus [19]).

Die erforderliche Analgetikadosis war in den Untergruppen mit wIRA(+VIS) 52–69% niedriger (mediane Differenzen) im Vergleich zu den Kontrolluntergruppen mit nur VIS.

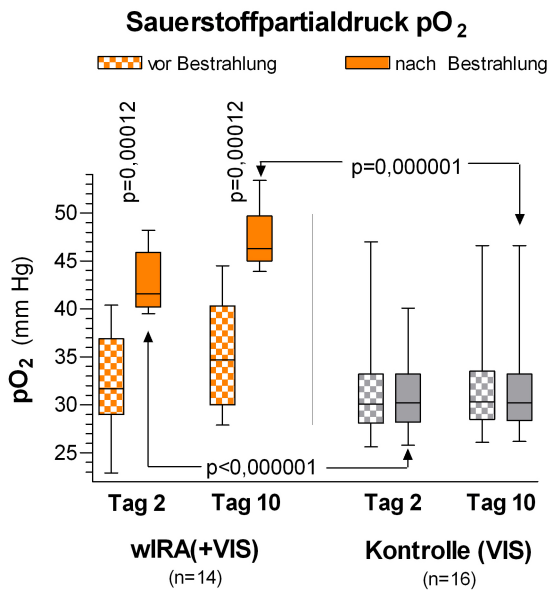


Abbildung 8: Subkutaner Sauerstoffpartialdruck in 2 cm Gewebetiefe an den postoperativen Tagen 2 und 10 in der Gruppe mit wassergefiltertem Infrarot A (wIRA) und sichtbarem Licht (VIS) und in der Kontrollgruppe mit nur sichtbarem Licht (VIS) (Studie Heidelberg)

(dargestellt mit Minimum, 25%-Perzentile, Median, 75%-Perzentile und Maximum (Box-Whiskers-Darstellung; die Box repräsentiert die Interquartil-Spanne); adaptiert aus [2], [19]). Während der Bestrahlung mit wIRA(+VIS) stieg der subkutane Sauerstoffpartialdruck deutlich um mehr als 30% an, während er in der Kontrollgruppe unverändert blieb.

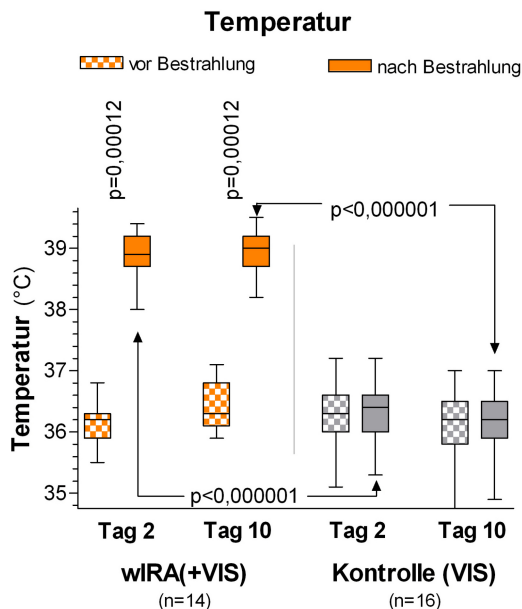


Abbildung 9: Subkutane Temperatur in 2 cm Gewebetiefe an den postoperativen Tagen 2 und 10 in der Gruppe mit wassergefiltertem Infrarot A (wIRA) und sichtbarem Licht (VIS) und in der Kontrollgruppe mit nur sichtbarem Licht (VIS) (Studie Heidelberg)

(dargestellt mit Minimum, 25%-Perzentile, Median, 75%-Perzentile und Maximum (Box-Whiskers-Darstellung; die Box repräsentiert die Interquartil-Spanne); adaptiert aus [2], [19]). Während der Bestrahlung mit wIRA(+VIS) stieg die subkutane Temperatur deutlich um ungefähr 2,7 °C an, während sie in der Kontrollgruppe unverändert blieb.

Die Gesamtbeurteilung des Effekts der Bestrahlung einschließlich Wundheilung, Schmerzen und kosmetischem Ergebnis, erhoben mit einer VAS (0–100 mit 50 als Indifferenzpunkt ohne Effekt) durch den Chirurgen (Median 79,0 versus 46,8, mediane Differenz 27,9, 99%-Konfidenzintervall 17,2/37,3, $p < 0,000001$) oder den Patienten (79,0 versus 50,2, mediane Differenz 23,8, 99%-Konfidenzintervall 9,5/34,1, $p = 0,000007$), war in der Gruppe mit wIRA wesentlich besser verglichen mit der Kontrollgruppe. Das galt auch für die einzelnen Aspekte, d.h. Wundheilung, erhoben mit einer VAS durch den Chirurgen (Median 88,6 versus 78,5, $p < 0,000001$) oder den Patienten (Median 85,8 versus 81,0, $p = 0,040$, Trend), und kosmetisches Ergebnis, erhoben mit einer VAS durch den Chirurgen (Median 84,5 versus 76,5, $p = 0,00027$) oder den Patienten (Median 86,7 versus 73,6, $p = 0,00077$).

Außerdem zeigte sich ein Trend zugunsten der wIRA-Gruppe hin zu einer niedrigeren Rate von Wundinfektionen insgesamt (3 von 46, 7%, versus 7 von 48, 15%, Differenz -8%, 95%-Konfidenzintervall -20%/4%, $p = 0,21$) einschließlich später Infektionen nach der Entlassung, hervorgerufen durch eine unterschiedliche Rate später Infektionen nach der Entlassung mit 0 von 46 (0%) in der wIRA-Gruppe und 4 von 48 (8%) in der Kontrollgruppe (Differenz -8%, 95%-Konfidenzintervall -18%/2%, $p = 0,12$). Und es gab einen Trend hin zu einem kürzeren postoperativen Krankenhausaufenthalt mit 9 Tagen in der wIRA-Gruppe versus 11 Tagen in der Kontrollgruppe (mediane Differenz -2 Tage (-18%), 95%-Konfidenzintervall -3/0 Tage, $p = 0,022$).

Das Hauptergebnis der Studie war, dass postoperative Bestrahlung mit wIRA selbst den normalen Wundheilungsprozess verbessern kann [2], [19].

wIRA für schwerbrandverletzte Kinder (Studie des Kinderkrankenhauses Park Schönfeld, Kassel, Klinik für Kinderchirurgie)

Eine prospektive, randomisierte, kontrollierte, doppelblinde Studie mit 45 schwerbrandverletzten Kindern im Kinderkrankenhaus Park Schönfeld, Kassel, Deutschland, zeigte mit täglich 30 Minuten Bestrahlung (ab dem ersten Tag, Tag der Verbrennung als Tag 1) in der Gruppe mit wIRA und sichtbarem Licht VIS (wIRA(+VIS), ungefähr 75% wIRA, 25% VIS) verglichen mit der Kontrollgruppe nur mit VIS eine deutlich schnellere Abnahme der Wundfläche. Am fünften Tag (nach 4 Tagen mit Bestrahlung) wurde entschieden, ob ein chirurgisches Debridement nekrotischen Gewebes wegen tieferer (Grad 2b) Verbrennungen notwendig war (11 von 21 in der Gruppe mit wIRA, 14 von 24 in der Kontrollgruppe) oder eine konservative Behandlung möglich war (Verbrennungen vom Grad 2a). Die Patienten mit konservativer Behandlung wurden in der Studie weitergeführt und bis zur vollständigen Reepithelisierung bestrahlt.

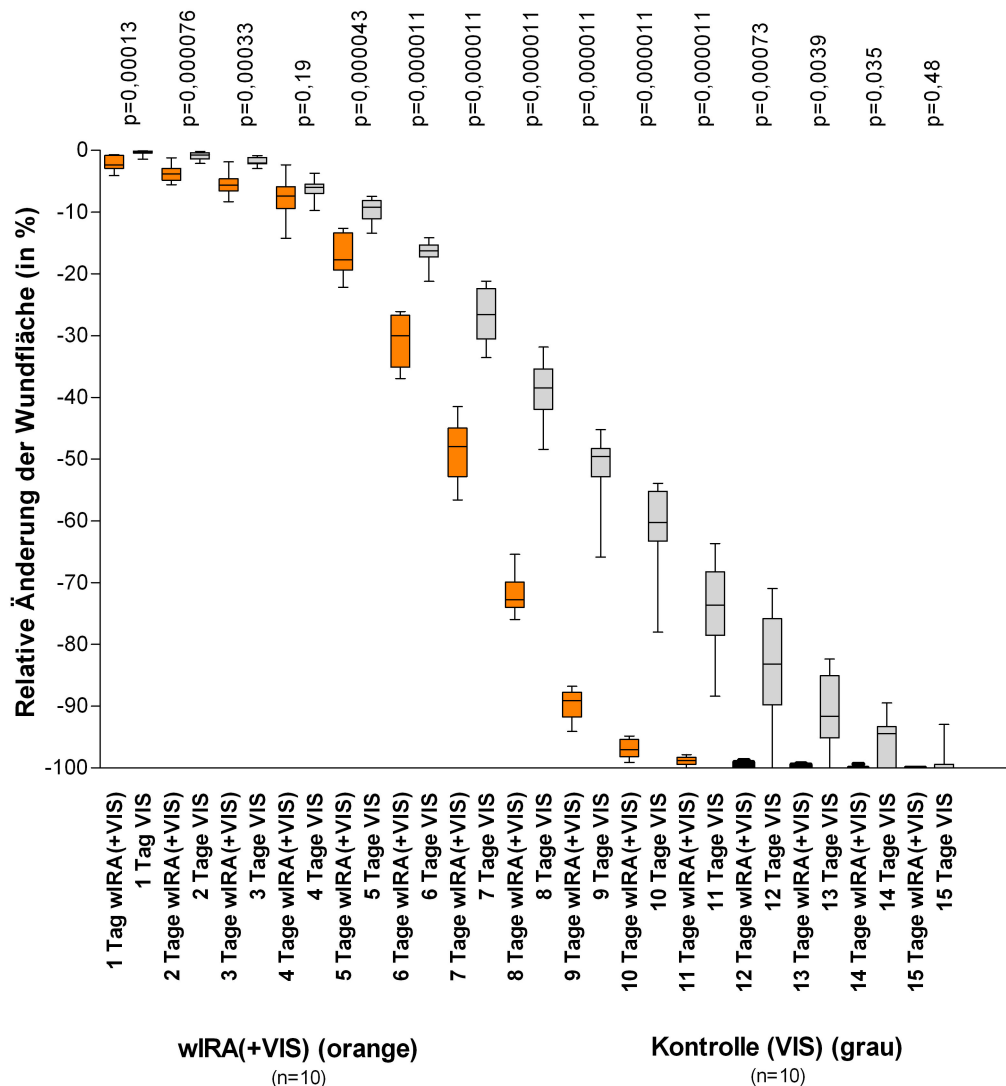


Abbildung 10: Relative Änderung der Wundfläche von schwerbrandverletzten Kindern in Abhängigkeit von der Dauer der Behandlung (in Tagen) in der Gruppe mit wassergefiltertem Infrarot A (wIRA) und sichtbarem Licht (VIS) und in der Kontrollgruppe mit nur sichtbarem Licht (VIS) (Studie Kassel)

(dargestellt mit Minimum, 25%-Perzentile, Median, 75%-Perzentile und Maximum (Box-Whiskers-Darstellung; die Box repräsentiert die Interquartil-Spanne), adaptiert aus [2]).

Die Abbildung präsentiert die Daten von den 10+10 = 20 Kindern (von 21+24 = 45 Kindern), die Verbrennungen vom Grad 2a (nicht 2b) hatten und die folglich bis zum kompletten Wundschluss konservativ einschließlich Bestrahlung (beginnend am Tag der Verbrennung bis zum kompletten Wundschluss) mit wIRA(+VIS) oder nur mit VIS (Kontrollgruppe) behandelt wurden.

Patienten in der Gruppe mit wIRA zeigten eine deutlich schnellere Abnahme der Wundfläche verglichen mit der Kontrollgruppe: eine Abnahme der Wundfläche im Median um 50% wurde in der Gruppe mit wIRA bereits nach 7 Tagen verglichen mit 9 Tagen in der Kontrollgruppe und eine Abnahme der Wundfläche im Median um 90% wurde in der Gruppe mit wIRA bereits nach 9 Tagen verglichen mit 13 Tagen in der Kontrollgruppe erreicht.

Die Patienten in der Gruppe mit wIRA zeigten eine deutlich schnellere Abnahme der Wundfläche: eine Abnahme der Wundfläche im Median um 50% wurde bereits nach 7 Tagen verglichen mit 9 Tagen in der Kontrollgruppe und eine Abnahme der Wundfläche im Median um 90% wurde nach 9 Tagen verglichen mit 13 Tagen in der Kontrollgruppe erreicht, siehe Abbildung 10 und Abbildung 11. Nach 9 Tagen betrug der Median der Wundflächenabnahme 89,2% versus 49,5%, die mediane Differenz zwischen den Gruppen 39,5% Wundflächenabnahme (99%-Konfidenzintervall 34,4%/43,0%), $p=0,000011$. Die mediane

Differenz zwischen den Gruppen bestand bereits nach einem Tag mit $p=0,00013$ und nach 2, 5, 6, 7, 8, 9, 10 und 11 Tagen mit $p<0,0001$. Außerdem zeigte die Gruppe mit wIRA bessere Ergebnisse hinsichtlich der chirurgischen Gesamteinschätzung der Wunde und hinsichtlich der Einschätzung des Effekts der Bestrahlung (letzteres als Trend bis 3 Monate nach der Verbrennung) verglichen mit der Kontrollgruppe [2].



Abbildung 11: Beispiel für eine schnelle Besserung mit wIRA bei einem schwerbrandverletzten Kind (Studie Kassel)
Links: 1 Tag nach der Verbrennung, rechts: nur 30 Stunden später als auf dem linken Bild (aus [2]).

wIRA für experimentelle Wunden (Studie der Universitätsmedizin Charité Berlin, Klinik für Dermatologie)

In einer prospektiven, randomisierten, kontrollierten Studie mit 12 Probanden an der Universitätsklinik Charité, Berlin, Deutschland, wurden bei jedem Probanden vier experimentelle oberflächliche Wunden (5 mm Durchmesser) als ein Modell für akute Wunden mittels Saugblasentechnik und Entfernen des Blasendachs mit Skalpell und steriler Pinzette erzeugt (Tag 1). Vier Behandlungsarten wurden während 10 Tagen angewendet und untersucht: keine Therapie, nur wIRA(+VIS) (ungefähr 75% wIRA, 25% VIS; täglich 30 Minuten Bestrahlung), nur Dexpanthenol-Salbe (= D-Panthenol-Salbe) einmal täglich, wIRA(+VIS) und Dexpanthenol-Salbe einmal täglich. Die Heilung der kleinen experimentellen Wunden war aus klinischer Sicht bei allen 4 Behandlungsarten sehr gut. Deshalb gab es nur kleine Unterschiede zwischen den Behandlungsarten mit geringen Vorteilen für die Kombination wIRA(+VIS) und Dexpanthenol-Salbe und für nur Dexpanthenol-Salbe hinsichtlich der relativen Änderung der Wundfläche und der Einschätzung des Empfindens des Wundgebiets. Laser-Scan-Mikroskopie mit einem Score-System zeigte jedoch Unterschiede zwischen den vier Behandlungsarten hinsichtlich der Bildung des Stratum corneum (von der ersten Schicht von Korneozyten bis zur vollen Ausbildung) insbesondere für die Tage 5–7: die schnellste Ausbildung des Stratum corneum wurde bei Wunden beobachtet, die mit wIRA(+VIS) und Dexpanthenol-Salbe behandelt wurden, am zweitschnellsten war wIRA(+VIS) allein, an dritter Stelle lag Dexpanthenol-Salbe allein und an letzter Stelle waren die unbehandelten Wunden. Keimzahlbestimmungen der Wunden (alle 2 Tage) zeigten, dass wIRA(+VIS) und die Kombination von wIRA(+VIS) mit Dexpanthenol-Salbe in der Lage waren, die Kolonisation mit physiologischer Hautflora bis zum Tag 5 im Vergleich zu den beiden anderen Gruppen (untherapierte Gruppe und Gruppe mit nur Dexpanthenol-Salbe) zu verhindern. Zu allen untersuchten Zeitpunkten war das Maß an Kolonisation unter Therapie mit wIRA(+VIS) allein niedriger (mehr supprimiert) als in der Gruppe mit wIRA(+VIS) und Dexpanthenol-Salbe [2].

wIRA für Wundserome

Während der Rehabilitation nach Hüft- und Knie-Endoprothesen-Operationen war durch Bestrahlung mit wIRA(+VIS) die Resorption von Wundseromen und Wundhämatomen sowohl klinisch als auch sonographisch schneller und die Schmerzen waren reduziert [2]. Ein zusätzliches Beispiel zeigt Abbildung 12.

wIRA für persistierende postoperative Schmerzen

wIRA kann erfolgreich bei persistierenden postoperativen Schmerzen z.B. nach Thorakotomie eingesetzt werden [2].

Perspektiven für wIRA für die Heilungsverbesserung akuter Wunden

Als Perspektive für wIRA erscheint es klinisch sinnvoll, wIRA sowohl prä- als auch postoperativ z.B. bei abdominalen und thorakalen Operationen einzusetzen. wIRA kann präoperativ (z.B. während 1–2 Wochen) zur Präkonditionierung der Entnahme- und der Empfängerstellen von Hautlappen, Transplantaten oder Spalthauttransplantaten und postoperativ zum Verbessern der Wundheilung und zum Mindern von Schmerz, Entzündung und Infektion an allen genannten Stellen verwendet werden. wIRA kann zum Unterstützen einer prä- oder postoperativen Routine-Antibiotika-Gabe eingesetzt werden [2].

Therapie chronischer Wunden mit wIRA

Das Zentrum von chronischen Wunden ist oft hypoxisch und relativ hypotherm. Das entspricht einer defizitären Energiebereitstellung im Gewebe, die die Wundheilung behindert oder unmöglich macht. wIRA steigert Temperatur, Sauerstoffpartialdruck sowie die Durchblutung im Gewebe. Diese drei Faktoren sind entscheidend für eine ausreichende Versorgung des Gewebes mit Energie und Sauerstoff und deshalb auch für die Wundheilung, speziell

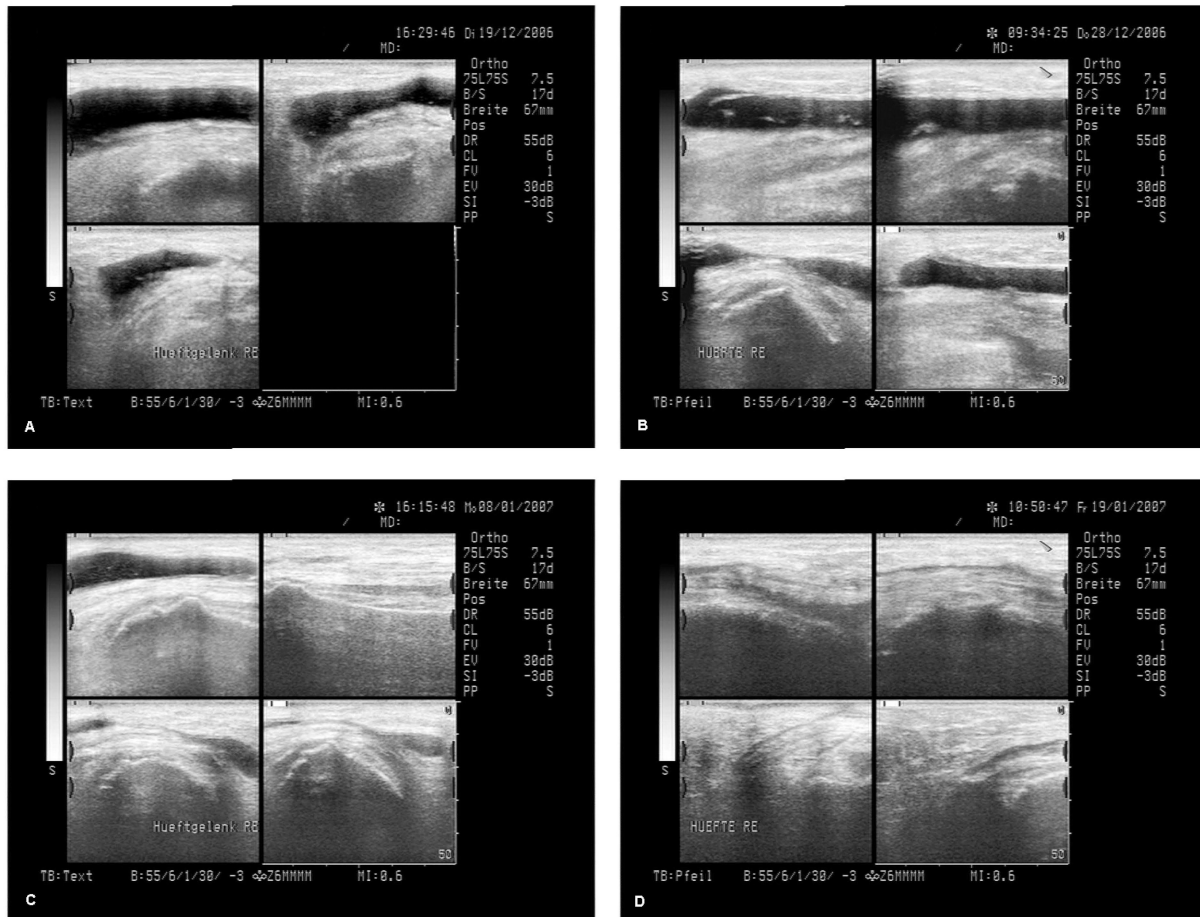


Abbildung 12: Beispiel für eine erfolgreiche Behandlung rezidivierender Wundserome mit wIRA

Eine 64-jährige Patientin hatte rezidivierende Wundserome und Wundhämatome (ohne Infektion) nach einer Hüftoperation (Ersatz des Pfannenteils einer 15 Jahre alten Hüftendoprothese) selbst nach einer weiteren Operation, die nur mit dem Ziel, die Wundserome zu stoppen, durchgeführt wurde, und nach ungefähr 8 Punctionen von Seromflüssigkeit (bis zu ungefähr 90 ml innerhalb einer Punction) innerhalb von 2 Monaten, und eine dritte Operation wurde ernsthaft erwogen: Abbildung A zeigt das zugehörige sonographische Bild. Zu diesem Zeitpunkt wurde mit der Bestrahlung mit wIRA(+VIS) begonnen, zunächst mit 30 Minuten zweimal täglich und steigend bis auf dreimal eine Stunde täglich. Innerhalb weniger Tage nahm das Wundserom nicht mehr wie zuvor üblich zu, nach ungefähr einer Woche war klinisch eine leichte Abnahme der Seromgröße zu beobachten (Abbildung B), Abbildung C zeigt die reduzierte Seromgröße nach 18 Tagen, Abbildung D nach 29 Tagen, und nach ungefähr 2 Monaten hatte sich das Serom ohne eine Punction von Seromflüssigkeit oder eine Operation seit dem Beginn der Bestrahlung mit wIRA(+VIS) sowohl klinisch wie auch sonographisch völlig aufgelöst (Veröffentlichung der Sonographiebilder mit freundlicher Genehmigung von Dr. Michael Paulus, Herzogenaurach, Deutschland) (aus [2]).

bei chronischen Wunden, und die Infektionsabwehr. wIRA kann insbesondere bei nicht-heilenden chronischen Wunden eine Wundheilung ermöglichen [3].

wIRA für chronische venöse Unterschenkelulzera (Studie in Basel)

In einer prospektiven, randomisierten, kontrollierten Studie mit 40 Patienten mit chronischen venösen Unterschenkelulzera führte eine Bestrahlung mit wIRA und sichtbarem Licht VIS 30 Minuten dreimal pro Woche über 6 Wochen zu einer schnelleren Wundheilung (im Durchschnitt 18 versus 42 Tage bis zum kompletten Wundschluss, Restulkusfläche nach 42 Tagen 0,4 cm² versus 2,8 cm²) und einem geringeren Schmerzmittelverbrauch gegenüber einer in gleicher Form (Wundsäuberung, antibakterielle Wundaufgaben und Kompressionstherapie)

therapierten, aber nicht bestrahlten Kontrollgruppe [3], [53].

wIRA für chronische venöse Unterschenkelulzera (Studie der Universität Tromsø/Norwegen und des Krankenhauses in Hillerød/Dänemark)

Eine weitere prospektive Studie mit 10 Patienten mit aufwändiger thermographischer Verlaufskontrolle ergab unter Therapie mit wIRA(+VIS) eine vollständige oder fast vollständige Abheilung therapierefraktärer chronischer Unterschenkelulzera bei 7 sowie eine deutliche Ulkusverkleinerung bei 2 weiteren der 10 Patienten, eine ausgeprägte Minderung der Schmerzen und des Schmerzmittelverbrauchs (von z.B. 15 auf 0 Schmerztabletten täglich)

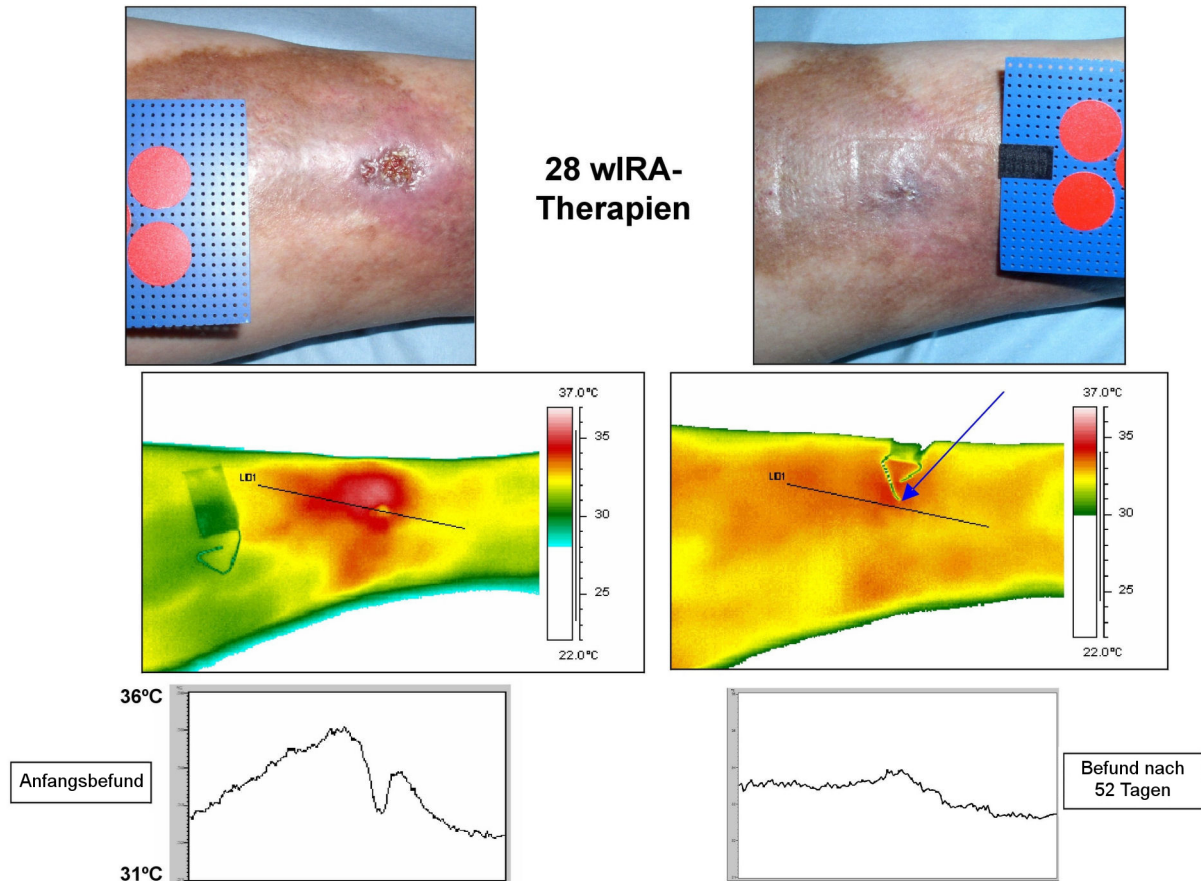


Abbildung 13: Beispiel für einen Heilungsverlauf eines chronischen venösen Unterschenkelulkus unter Therapie mit wIRA (Studie Tromsø/Hillerød)

(28-mal 30 Minuten Bestrahlung mit wassergefiltertem Infrarot A (wIRA) und sichtbarem Licht (VIS) innerhalb von 52 Tagen = ca. 7 Wochen) mit normaler Aufsicht, thermographischem Bild und Temperaturprofil durch das Ulkus – jeweils links vor Therapie und rechts nach Abschluss der Therapie. Der Pfeil zeigt im Abschluss-thermographiebild auf die Stelle, an der die Wunde war. Durchmesser der roten Kreise: 16 mm. (Studie der Universität Tromsø/Norwegen und des Krankenhauses Hillerød/Dänemark) (adaptiert aus [3], [4], [23])

und eine Normalisierung des thermographischen Bilds (vor Therapiebeginn typischerweise hyperthermer Ulkusrandwall mit relativ hypothermem Ulkusgrund und bis zu 4,5 °C Temperaturdifferenz).

Bei einem Patienten wurde ein Ulkus an einem Bein mit dem Vollwirkstrahler (wIRA(+VIS)) therapiert, während ein Ulkus am anderen Bein mit einem Kontrollgruppenstrahler (nur VIS, ohne wIRA) behandelt wurde, was einen deutlichen Unterschied zugunsten der wIRA-Therapie zeigte.

Alle mit visuellen Analog-Skalen erhobenen Variablen – Einschätzung des Effekts der Bestrahlung durch Patient und durch klinischen Untersucher, Einschätzung des Gefühls im Wundbereich durch Patient, Einschätzung der Wundheilung durch klinischen Untersucher sowie Einschätzung des kosmetischen Zustands durch Patient und durch klinischen Untersucher – verbesserten sich während der Bestrahlungstherapie-Periode sehr stark, was einer verbesserten Lebensqualität entsprach.

Innerhalb der Gruppe der 6 Patienten mit chronischen venösen Unterschenkelulzera ohne Begleitprobleme (d.h. ohne periphere arterielle Verschlusskrankheit, Rauchen oder fehlender venöser Kompressionstherapie) heilten

alle 6 Ulzera vollständig oder fast vollständig ab (96–100% Reduktion der Ulkusfläche) [3], [23].

Die Originalveröffentlichung [23] umfasst auch 10 Anhänge mit detaillierten Informationen zu jedem Patienten sowie zusätzlich zwei Thermographie-Videsequenzen. Ein Beispiel für den Heilungsprozess eines chronischen venösen Unterschenkelulkus unter Therapie mit wIRA ist in der Abbildung 13 dargestellt.

wIRA für chronische venöse Unterschenkelulzera (Studie der Universität Freiburg, Klinik für Dermatologie)

In einer prospektiven, randomisierten, kontrollierten, verblindeten Studie wurden 51 Patienten mit nicht-heilenden chronischen venösen Unterschenkelulzera mit Kompressionstherapie, Wundsäuberung und nicht-adhäsiven Wundaufgaben sowie 30 Minuten Bestrahlung fünfmal pro Woche über 9 Wochen behandelt. Eine vorläufige Auswertung zeigte, dass die Gruppe mit wIRA(+VIS) verglichen mit der Kontrollgruppe mit VIS eine schnellere



Anfangsbefund

Befund nach 3½ Monaten

Befund nach 4½ Monaten

Abbildung 14: Beispiel für einen Heilungsverlauf eines chronischen venösen Unterschenkelulkus unter Therapie mit wIRA
 88-jährige Patientin mit infiziertem (leicht fötide riechendem) verkrustetem Ulkus (am rechten distalen medialen Unterschenkel), das bereits seit 13 Monaten bestand und das sich trotz konservativer dermatologischer Therapie einschließlich lokalem Antiseptikum, systemischem Antibiotikum und nicht-adhäsiver Wundauflage bis auf 10 cm Durchmesser vergrößert hatte. Chronische venöse Insuffizienz mit deutlichen Unterschenkel-Stauungsödemen und großflächiger Stauungsdermatitis, Diabetes mellitus Typ II (oral behandelt), leichtes Übergewicht und eingeschränkter Bewegungsumfang. Unter Bestrahlung mit wIRA(+VIS) 30 Minuten täglich, Kompressionstherapie, lokaler Antisepsis, nicht-adhäsiver Wundauflage und der Möglichkeit, die systemische antibiotische Therapie zu beenden, wurde ein kompletter Wundschluss innerhalb von 4½ Monaten erreicht:
 Anfangsbefund, Befund nach 3½ Monaten, nach 4½ Monaten (geheilt). (adaptiert aus [3], [4])

Wundheilung, eine bessere Granulation und in der späteren Phase der Behandlung eine Abnahme der bakteriellen Last der Wunden aufwies [3].

Dies kann die Zellregeneration und Wundheilung fördern und antibakteriell wirken [3], [57].

wIRA für chronische venöse Unterschenkelulzera (Beispiel)

Ein zusätzliches Beispiel zeigt Abbildung 14.

Andere wundbezogene Indikationen für wIRA

Einige Fallberichte haben gezeigt, dass wIRA selbst bei gemischt arteriell-venösen Ulzera oder arteriellen Ulzera eingesetzt werden kann, wenn die Bestrahlungsstärke angemessen niedrig gewählt und die Bestrahlung sorgfältig überwacht wird [3].

wIRA kann bei Dekubitalulzera sowohl präventiv als auch therapeutisch eingesetzt werden [3].

wIRA kann die Resorption topisch applizierter Substanzen [54], [55], [56] auch auf Wunden verbessern [3].

Endogener PDT-ähnlicher Effekt von wIRA

Eine Bestrahlung mit VIS und wIRA wirkt vermutlich in Verbindung mit endogenem Protoporphyrin IX (oder Protoporphyrin IX von Bakterien) quasi wie eine milde photodynamische Therapie (endogener PDT-ähnlicher Effekt).

Perspektiven für wIRA für die Heilungsverbesserung chronischer Wunden

Zusammengefasst zeigen die Ergebnisse, dass wIRA generell für die Behandlung chronischer Wunden empfohlen werden kann [3].

Resümee

wIRA kann Schmerzen deutlich mindern und eine erhöhte Wundsekretion und Entzündung herabsetzen sowie infektionsmindernd wirken. wIRA vermag sowohl bei akuten als auch bei chronischen Wunden die Wundheilung zu beschleunigen oder bei stagnierender Wundheilung günstig zu beeinflussen. Selbst der normale Wundheilungsprozess kann verbessert werden.

wIRA kann generell für die Therapie von akuten und chronischen Wunden empfohlen werden.

Literatur

1. Hoffmann G. Principles and working mechanisms of water-filtered infrared-A (wIRA) in relation to wound healing [review]. *GMS Krankenhaushyg Interdiszip.* 2007;2(2):Doc54. Online available from: <http://www.egms.de/pdf/journals/dgkh/2007-2/dgkh000087.pdf> (PDF) and <http://www.egms.de/en/journals/dgkh/2007-2/dgkh000087.shtml> (shtml).
2. Hartel M, Illing P, Mercer JB, Lademann J, Daeschlein G, Hoffmann G. Therapy of acute wounds with water-filtered infrared-A (wIRA) [review]. *GMS Krankenhaushyg Interdiszip.* 2007;2(2):Doc53. Online available from: <http://www.egms.de/pdf/journals/dgkh/2007-2/dgkh000086.pdf> (PDF) and <http://www.egms.de/en/journals/dgkh/2007-2/dgkh000086.shtml> (shtml).
3. von Felbert V, Schumann H, Mercer JB, Strasser W, Daeschlein G, Hoffmann G. Therapy of chronic wounds with water-filtered infrared-A (wIRA) [review]. *GMS Krankenhaushyg Interdiszip.* 2007;2(2):Doc52. Online available from: <http://www.egms.de/pdf/journals/dgkh/2008-2/dgkh000085.pdf> (PDF) and <http://www.egms.de/en/journals/dgkh/2008-2/dgkh000085.shtml> (shtml).
4. Hoffmann G. Wassergefiltertes Infrarot A (wIRA) zur Verbesserung der Wundheilung [Übersichtsarbeit]. [Water-filtered infrared A (wIRA) for the improvement of wound healing [review]]. *GMS Krankenhaushyg Interdiszip.* 2006;1(1):Doc20. Online available from: <http://www.egms.de/pdf/journals/dgkh/2006-1/dgkh000020.pdf> (PDF) and <http://www.egms.de/en/journals/dgkh/2006-1/dgkh000020.shtml> (shtml).
5. Hoffmann G. Wassergefiltertes Infrarot A (wIRA) zur Verbesserung der Wundheilung bei akuten und chronischen Wunden [Water-filtered Infrared-A (wIRA) for the improvement of wound healing of acute and chronic wounds]. *Wundmanagement.* 2008;2:72-80. Also available online from: <http://publikationen.ub.uni-frankfurt.de/volltexte/2008/5429/>
6. Hoffmann G. Klinische Anwendungen von wassergefiltertem Infrarot A (wIRA) [Clinical applications of water-filtered infrared-A (wIRA)]. In: Kaase H, Serick F, Hrsg. Sechstes Symposium "Licht und Gesundheit" [Sixth symposium "Light and health"]. Eine Sondertagung der Technischen Universität Berlin und der Deutschen Gesellschaft für Photobiologie mit der Deutschen Akademie für Photobiologie und Phototechnologie und der Deutschen Lichttechnischen Gesellschaft, Berlin, 13./14.03.2008. Berlin; 2008. S. 130-46. ISBN: 3-9807635-0-3. Also available online from: <http://publikationen.ub.uni-frankfurt.de/volltexte/2008/5484/> (online version includes English and German abstract).
7. 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 available from: <http://www.egms.de/pdf/gms/2004-2/000018.pdf> (PDF) and <http://www.egms.de/en/gms/2004-2/000018.shtml> (shtml).
8. Cobarg CC. Physikalische Grundlagen der wassergefilterten Infrarot-A-Strahlung [Principles of the physical properties of water-filtered infrared-A radiation]. In: Vaupel P, Krüger W, Hrsg. Wärmetherapie mit wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung [Thermal therapy with water-filtered infrared-A radiation]. Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten [The fundamentals and applications]. 2. Aufl. Stuttgart: Hippokrates; 1995. S. 19-28.
9. Rzeznik J. Die Technik zur loko-regionalen Wärmetherapie mit wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung [The technique of loco-regional thermal therapy with water-filtered infrared-A radiation]. In: Vaupel P, Krüger W, Hrsg. Wärmetherapie mit wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung [Thermal therapy with water-filtered infrared-A radiation]. Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten [The fundamentals and applications]. 2. Aufl. Stuttgart: Hippokrates; 1995. S. 29-46.
10. Albrecht-Buehler G. Surface extensions of 3T3 cells towards distant infrared light sources. *J Cell Biol.* 1991;114(3):493-502. DOI: 10.1083/jcb.114.3.493
11. Albrecht-Buehler G. Cellular infrared detector appears to be contained in the centrosome. *Cell Motil Cytoskeleton.* 1994;27(3):262-71. DOI: 10.1002/cm.970270307
12. Albrecht-Buehler G. A long-range attraction between aggregating 3T3 cells mediated by near-infrared light scattering. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2005;102(14):5050-5. Epub 2005 Mar 24. DOI: 10.1073/pnas.0407763102
13. 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
14. 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. DOI: 10.1002/lsm.1119
15. Karu TI, Pyatibrat LV, Kalendo GS. Donors of NO and pulsed radiation at lambda = 820 nm exert effects on cell attachment to extracellular matrices. *Toxicol Lett.* 2001;121(1):57-61. DOI: 10.1016/S0378-4274(01)00315-0
16. Karu TI, Pyatibrat LV, Kalendo GS. Cell attachment modulation by radiation from a pulsed light diode (lambda = 820 nm) and various chemicals. *Lasers Surg Med.* 2001;28(3):227-36. DOI: 10.1002/lsm.1043
17. Chow RT, Heller GZ, Barnsley L. The effect of 300 mW, 830 nm laser on chronic neck pain: a double-blind, randomized, placebo-controlled study. *Pain.* 2006;124(1-2):201-10. Epub 2006 Jun 27. DOI: 10.1016/j.pain.2006.05.018
18. Gebbers N, Hirt-Burri N, Scaletta C, Hoffmann G, Applegate LA. Water-filtered infrared-A radiation (wIRA) is not implicated in cellular degeneration of human skin. *GMS Ger Med Sci.* 2007;5:Doc08. Online available from: <http://www.egms.de/pdf/gms/2007-5/000044.pdf> (PDF) and <http://www.egms.de/en/gms/2007-5/000044.shtml> (shtml).
19. 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
20. Vaupel P, Rzeznik J, Stoff E. Wassergefilterte Infrarot-A-Strahlung versus konventionelle Infrarotstrahlung: Temperaturprofile bei lokoregionaler Wärmetherapie [Water-filtered infrared-A radiation versus conventional infrared-A radiation: temperature profiles upon loco-regional thermotherapy]. *Phys Rehab Kur Med.* 1995;5:77-81. DOI: 10.1055/s-2008-1061959
21. Stoff E, Vaupel P. Wassergefilterte Infrarot-A-Strahlung versus Fango-Paraffin-Packung: Temperaturprofile bei lokoregionaler Wärmetherapie [Water-filtered infrared-A radiation versus fango-paraffin pack: temperature profiles upon loco-regional thermotherapy]. *Phys Rehab Kur Med.* 1996;6:7-11. DOI: 10.1055/s-2008-1061893

22. Vaupel P, Stofft E. Wassergefilterte Infrarot-A-Strahlung im Vergleich zu konventioneller Infrarotstrahlung oder Fango-Paraffin-Packungen: Temperaturprofile bei lokaler Wärmetherapie [Water-filtered infrared-A radiation in comparison to conventional infrared-A radiation or fango paraffin packages: temperature profiles in local thermal therapy]. In: Vaupel P, Krüger W, Hrsg. Wärmetherapie mit wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung [Thermal therapy with water-filtered infrared-A radiation]. Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten [The fundamentals and applications]. 2. Aufl. Stuttgart: Hippokrates; 1995. S. 135-47.
23. Mercer JB, Nielsen SP, Hoffmann G. Improvement of wound healing by water-filtered infrared-A (wIRA) in patients with chronic venous stasis ulcers of the lower legs including evaluation using infrared thermography. *GMS Ger Med Sci.* 2008;6:Doc11. Online available from: <http://www.egms.de/pdf/gms/2008-6/000056.pdf> (PDF) and <http://www.egms.de/en/gms/2008-6/000056.shtml> (shtml).
24. 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.
25. Pascoe DD, Mercer JB, de Weerd L. Physiology of thermal signals. In: Bronzino JD, ed. *Biomedical Engineering Handbook*. 3rd edition. Boca Raton (Florida/USA): Taylor and Francis Group, CRC press; 2006. p. 21-1 - 21-20.
26. Hellige G, Becker G, Hahn G. Temperaturverteilung und Eindringtiefe wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung [Temperature distribution and penetration depth of water-filtered infrared-A radiation]. In: Vaupel P, Krüger W, Hrsg. Wärmetherapie mit wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung [Thermal therapy with water-filtered infrared-A radiation]. Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten [The fundamentals and applications]. 2. Aufl. Stuttgart: Hippokrates; 1995. S. 63-79.
27. 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(9285):876-80. DOI: 10.1016/S0140-6736(01)06071-8
28. 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(7):818-22. DOI: 10.1001/archsurg.135.7.818
29. Kivisaari J, Vihersaari T, Renvall S, Niinikoski J. Energy metabolism of experimental wounds at various oxygen environments. *Ann Surg.* 1975;181:823-8. DOI: 10.1097/0000658-197506000-00011
30. 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(2):52-6. DOI: 10.1007/BF01660413
31. Niinikoski J, Gottrup F, Hunt TK. The role of oxygen in wound repair. In: Janssen H, Rooman R, Robertson JIS, eds. *Wound healing*. Petersfield: Wrightson Biomedical Publishing; 1991. p. 165-74.
32. 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.
33. 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.
34. Buslau M, Hoffmann G. Die hyperbare Oxygenation (HBO) - eine adjuvante Therapie akuter und chronischer Wundheilungsstörungen [Review] [Hyperbaric oxygenation - an adjuvant therapy of acute and chronic wound healing impairments]. *Dermatol Monatsschr.* 1993;179:39-54.
35. Hoffmann G, Buslau M. Treatment of skin diseases by hyperbaric oxygenation. In: Cramer FS, ed. In: *Proceedings of the Eleventh International Congress on Hyperbaric Medicine*. Flagstaff, USA: Best Publishing Company; 1995. p. 20-1, 153-9.
36. Wright J. Hyperbaric oxygen therapy for wound healing. *World Wide Wounds*; 2001. Online available from: <http://www.worldwidewounds.com/2001/april/Wright/HyperbaricOxygen.html>
37. Knighton DR, Silver IA, Hunt TK. Regulation of wound-healing angiogenesis - effect of oxygen gradients and inspired oxygen concentration. *Surgery.* 1981;90:262-70.
38. Jünger M, Hahn M, Klyscz T, Steins A. Role of microangiopathy in the development of venous leg ulcers. Basel: Karger; 1999. p. 180-93. (*Progr. Appl. Microc.; Vol.* 23.).
39. 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. DOI: 10.1016/S1011-1344(98)00219-X
40. Karu TI. Low-power laser effects. In: Waynant RW, editor. *Lasers in medicine*. Boca Raton: CRC Press; 2002. p. 171-209.
41. Danno K, Mori N, Toda K, Kobayashi T, Utani A. Near-infrared irradiation stimulates cutaneous wound repair: laboratory experiments on possible mechanisms. *Photodermatol Photoimmunol Photomed.* 2001;17(6):261-5.
42. Horwitz LR, Burke TJ, Carnegie D. Augmentation of wound healing using monochromatic infrared energy. Exploration of a new technology for wound management. *Adv Wound Care.* 1999;12(1):35-40.
43. 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. DOI: 10.1046/j.1523-1747.1998.00338.x
44. Frank S, Menezes S, Lebreton-De Coster C, Oster M, Dubertret L, Coulomb B. Infrared radiation induces the p53 signaling pathway: role in infrared prevention of ultraviolet B toxicity. *Exp Dermatol.* 2006;15(2):130-7. DOI: 10.1111/j.1600-0625.2005.00397.x
45. Frank S, Oliver L, Lebreton-De Coster C, Moreau C, Lecabellec MT, Michel L, Vallette FM, Dubertret L, Coulomb B. Infrared radiation affects the mitochondrial pathway of apoptosis in human fibroblasts. *J Invest Dermatol.* 2004;123(5):823-31. DOI: 10.1111/j.0022-202X.2004.23472.x
46. Danno K, Horio T, Imamura S. Infrared radiation suppresses ultraviolet B-induced sunburn-cell formation. *Arch Dermatol Res.* 1992;284(2):92-4. DOI: 10.1007/BF00373376
47. Applegate LA, Scaletta C, Panizzon R, Frenk E, Hohlfield 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.
48. 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.
49. Hoffmann G, Meffert H. Apparent contradiction between negative effects of UV radiation and positive effects of sun exposure. *GMS Ger Med Sci.* 2005;3:Doc01. Online available from: <http://www.egms.de/pdf/gms/2005-3/000019.pdf> (PDF) and <http://www.egms.de/en/gms/2005-3/000019.shtml> (shtml).
50. Jung T, Höhn A, Piazena H, Grune T. Effects of water-filtered infrared A irradiation on human fibroblasts. *Free Radic Biol Med.* 2009 Oct 21. DOI: 10.1016/j.freeradbiomed.2009.10.036

51. Piazena H, Kelleher DK. Effects of infrared-A irradiation on skin: discrepancies in published data highlight the need for an exact consideration of physical and photobiological laws and appropriate experimental settings. *Photochem Photobiol.* 2009; accepted.
52. Hoffmann G. Wassergefiltertes Infrarot A (wIRA) in der Wundbehandlung: Interview; 3 Fragen an Prof. Dr. med. Gerd Hoffmann [Water-filtered infrared-A (wIRA) in the treatment of wounds: interview; 3 questions to Prof. Gerd Hoffmann, MD]. *Heilberufe.* 2009;61(7):14. Also available online from: <http://publikationen.ub.uni-frankfurt.de/volltexte/2009/6802/> [The online version includes an English and a German abstract].
53. Biland L, Barras J. Die wassergefilterte Infrarot-A-Hyperthermie zur Behandlung venöser Ulcera [Water-filtered infrared-A induced hyperthermia used as therapy of venous ulcers]. *Hefte Wundbehand.* 2001;5:41.
54. Haupenthal H. In vitro- und in vivo-Untersuchungen zur temperaturgesteuerten Arzneistoff-Liberation und Permeation [Thesis] [In vitro and in vivo investigations of temperature dependent drug liberation and permeation]. Mainz: Johannes Gutenberg-Universität; 1997.
55. Bankova L, Heinemann C, Fluhr JW, Hoffmann G, Elsner P. Improvement of penetration of a topical corticoid by waterfiltered infrared A (wIRA). In: 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.
56. 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.* 2008;6:Doc08. Online available from: <http://www.egms.de/pdf/gms/2008-6/000053.pdf> (PDF) and <http://www.egms.de/en/gms/2008-6/000053.shtml> (shtml).
57. Hoffmann G. Wassergefiltertes Infrarot A (wIRA) [Water-filtered infrared-A (wIRA)]. In: Kramer A, Assadian O, Hrsg. *Wallhäußers Praxis der Sterilisation, Desinfektion, Antiseptik und Konservierung. Qualitätssicherung der Hygiene in Industrie, Pharmazie und Medizin.* [Wallhäußers practice of sterilization, disinfection, antiseptics and conservation. Quality assurance of the hygiene in industry, pharmacy, and medicine]. Stuttgart: Thieme; 2008. S. 899-900. ISBN: 978-3-13-141121-1. Also available online from: <http://publikationen.ub.uni-frankfurt.de/volltexte/2009/6135/> [The online version includes an English and a German abstract].
58. Carter DR, ed. *Electro-Optics Handbook* [company publication]. Lancaster, PA, USA: Burle Industries; c2008. Section 6, p. 61-80. Online available from: http://www.burle.com/cgi-bin/byteserver.pl/pdf/Electro_Optics.pdf
59. Valley SL, ed. *Handbook of geophysics and space environments.* Air Force Cambridge Research Laboratories, Office of Aerospace Research, U.S. Air Force; 1965. Also published: New York, N.Y.: McGraw-Hill Book Co.; 1965.

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:
 +49-6181-62287
 Hoffmann@em.uni-frankfurt.de

Bitte zitieren als

Hoffmann G. Water-filtered infrared-A (wIRA) in acute and chronic wounds. *GMS Krankenhaushyg Interdiszip.* 2009;4(2):Doc12.
 DOI: 10.3205/dgkh000137

Artikel online frei zugänglich unter

<http://www.egms.de/en/journals/dgkh/2009-4/dgkh000137.shtml>

Veröffentlicht: 16.12.2009

Copyright

©2009 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.