

Henning Haase
Friedrich Krüger
Klaus Nicol
Rüdiger Preiß
(Hrsg.)

Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung

Zur Erinnerung an Rainer Ballreich

SPORTVERLAG Strauß

**Bibliografische Information
der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Haase, Henning; Krüger, Friedrich; Nicol, Klaus; Preiß, Rüdiger

Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung

Zur Erinnerung an Rainer Ballreich

Köln: Sportverlag Strauß - 1. Aufl. 2012

ISBN 978-3-86884-132-9

© SPORTVERLAG *Strauß*

Olympiaweg 1 - 50933 Köln

Tel. (02 21) 846 75 76

Fax (02 21) 846 75 77

e-Mail: info@sportverlag-strauss.de

<http://www.sportverlag-strauss.de>

Titelbild: G.B. Shan, Lethbridge, Can. und K. Nicol, Frankfurt M

Finite-Element-Modell und Ellipsen-Konturogramm

Umschlaggestaltung: Mike Hopf, Berlin

Druck: Digital Print Group, Nürnberg

Printed in Germany

Prävention und Therapie im Sport mit wassergefiltertem Infrarot A (wIRA)

Gerd Hoffmann

1 Zusammenfassung

Wassergefiltertes Infrarot A (wIRA) stellt eine spezielle Form der Infrarotstrahlung im Bereich von 780–1400 nm dar, die aufgrund ihrer sehr guten Verträglichkeit in der Medizin zur Prävention und Therapie verwendet wird.

wIRA entspricht dem Großteil der in gemäßigten Klimazonen die Erdoberfläche wassergefiltert erreichenden Infrarotstrahlung (Wärmestrahlung) der Sonne (Filterung der Infrarotstrahlung der Sonne durch Wasser und Wasserdampf in der Erdatmosphäre). Durch die Wasserfilterung werden die Strahlungsanteile gemindert, die sonst durch Wechselwirkung mit Wassermolekülen in der Haut eine unerwünschte thermische Belastung der obersten Hautschicht hervorrufen würden. Technisch wird wIRA in speziellen Strahlern erzeugt, in denen die gesamte Strahlung eines Halogen-Strahlers durch eine Wasser enthaltende Küvette hindurchtritt.

wIRA wirkt beim Menschen über thermische und nicht-thermische Effekte. *wIRA steigert Temperatur, Sauerstoffpartialdruck und Durchblutung im Gewebe. wIRA mindert indikationsübergreifend Schmerzen, Entzündung sowie vermehrte Sekretion und verbessert Infektabwehr und Regeneration*, insbesondere auch nach sportlicher Belastung. Zudem kann wIRA als kontaktfreies Verfahren simultan mit Bewegung und Training kombiniert werden.

Außer zur Regeneration nach sportlicher Belastung kann wIRA eingesetzt werden zur Erwärmung der Muskulatur vor sportlicher Belastung sowie vor und während Massage, bei bewegungssystembezogenen Erkrankungen (muskulären Verspannungen, Myogelosen, Lumbago, rheumatischen Erkrankungen, Arthrose, Arthritis, Morbus Bechterew, Fibromyalgie), zur lokalen Beeinflussung der Fettverteilung, zur Therapie von akuten und chronischen Wunden und Verletzungen, bei verschiedenen Hauterkrankungen (vulgären Warzen, Herpes labialis, Herpes Zoster, Sklerodermie, Morphea, Akne papulopustulosa), zur Resorptionsverbesserung.

zung topisch aufgetragener Substanzen, im Rahmen einer photodynamischen Therapie (PDT; zur Therapie aktinischer Keratosen) sowie zum Aufrechterhalten oder Erhöhen der Körpertemperatur einschließlich Kompensation einer Hypothermie.

Für über diesen Beitrag hinausgehende Informationen zu wIRA siehe insbesondere [33, 26, 27, 31].

2 Wirkprinzipien

Die Erfahrung der angenehmen Wärme der Sonne in gemäßigten Klimazonen – anders als in der Wüste – entsteht durch die Filterung der Infrarotstrahlung der Sonne durch Wasser und Wasserdampf in der Erdatmosphäre (Abb. 1). Durch

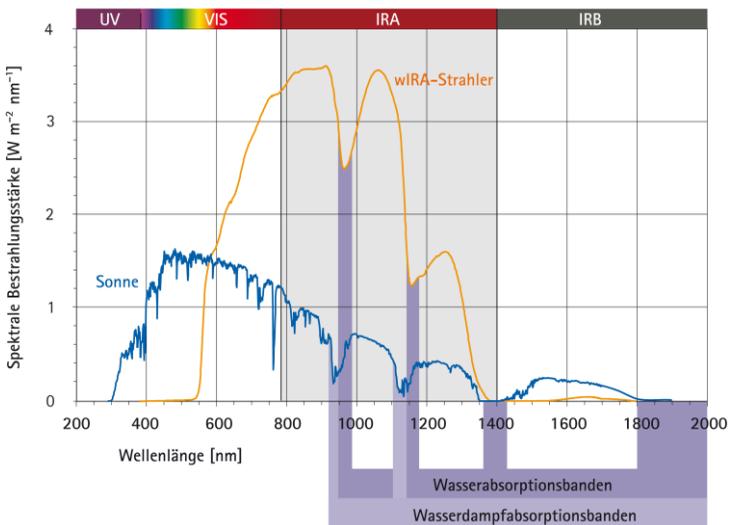


Abb.1: Vergleich der Spektren eines wassergefilterten Infrarot-A-Strahlers und der Sonne bei wolkenlosem Himmel am Mittag in Meeresspiegelhöhe in den Subtropen (mit freundlicher Genehmigung von Dr. Helmut Piazena, Charité Berlin; aus [33])

die Wasserfilterung werden die Strahlungsanteile gemindert (sogenannte Wasserabsorptionsbanden 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 [33, 31, 26, 25, 29, 27, 16, 8].

Technisch wird wIRA in speziellen Strahlern erzeugt, in denen die gesamte inkohärente nicht-polarisierte Breitband-Strahlung einer 3000-Kelvin-Halogen-Lampe durch eine Wasser enthaltende Küvette hindurchtritt, so dass die genannten unerwünschten Strahlungsanteile innerhalb des Infrarot gemindert oder herausgefiltert werden (Abb. 2) [33, 31, 29, 26, 60].

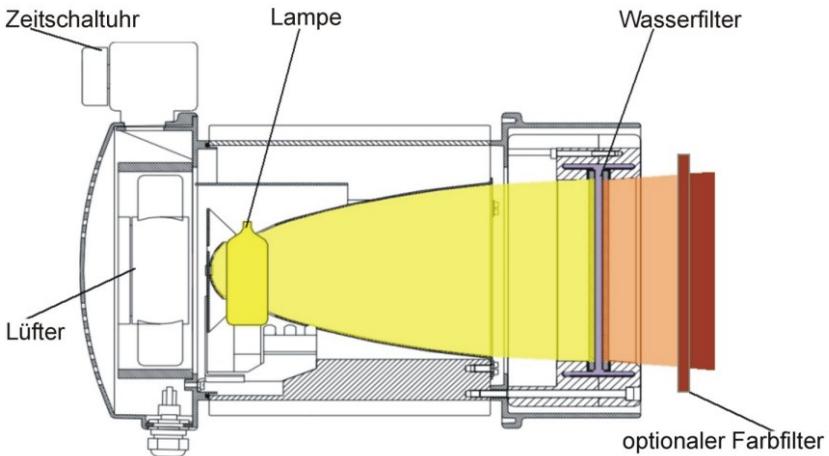


Abb. 2: Querschnitt eines wassergefilterten Infrarot-A-Strahlers (aus [31])

Innerhalb des Infrarot stellt das verbleibende wassergefilterte Infrarot A (im Bereich 780–1400 nm) vorwiegend Strahlung mit gutem Eindringvermögen in das Gewebe dar und erlaubt gegenüber ungefilterter Infrarotstrahlung konventioneller Infrarotlampen (mit einem großen Anteil an Infrarot B (1400–3000 nm) und C (≥ 3000 nm)) einen mehrfachen Energieeintrag in das Gewebe ohne die Haut zu belasten, vergleichbar der Sonnenwärmestrahlung in gemäßigten Klimazonen [33, 26, 58]. Bei einer Wasserschichtdicke von 7 mm sind die Bestrahlungsstärken gegenüber der ungefilterten Form bei gleicher Halogenlampe (circa 3000 K Farbtemperatur) um etwa 48,1 % (bei 970 nm), 73,0 % (bei 1160 nm), 70,5 % (bei 1197 nm), 82,5 % (im Bereich 1250–1390 nm) sowie 99,9 % (im Bereich 1390–1525 nm) niedriger [57]. Typische wIRA-Strahler emittieren keine Ultraviolett-Strahlung (UV) und nahezu kein Infrarot B und C ($< 0,5$ %), während konventionelle „Rotlichtstrahler“ (circa 1750–3000 K Farbtemperatur) etwa 50–80 % Infrarot B und C emittieren [57]. Bei wassergefiltertem Infrarot A ist

der Anteil der Infrarot-A-Strahlung im Verhältnis zum sichtbaren Licht (380–780 nm) betont [33, 31, 26, 60]. Innerhalb des Spektrums von Infrarot A und wIRA wurden Effekte insbesondere von den energiereichen Wellenlängen nahe dem sichtbaren Licht (780–1000 nm) sowohl *in vitro* als auch *in vivo* beschrieben (800–900 nm von [1, 2, 3], 800 nm von [11], 820 nm von [45, 46, 47], 830 nm von [7]). Diese Wellenlängen scheinen – vor allem im Hinblick auf nicht-thermische Effekte – den klinisch wichtigsten Teil von Infrarot A und wIRA darzustellen [33, 31, 26, 17].

wIRA als spezielle Form der Infrarotstrahlung 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 [33, 31, 29, 26].

wIRA steigert Temperatur [33, 31, 26, 25, 18, 63, 62, 64, 51, 50, 56, 22] (z.B. oberflächlich von 32,5°C um fast 6°C auf 38,2°C [50] bzw. in 2 cm Gewebetiefe um 2,7°C [18]) und *Sauerstoffpartialdruck im Gewebe* [33, 31, 26, 25, 18] (z.B. in 2 cm Gewebetiefe um circa 30% [18]) sowie *die Gewebedurchblutung* [33, 31, 26, 25, 50, 56, 22] (oberflächlich circa Verachtfachung [50], Steigerung bis circa 5 cm Tiefe nachweisbar [22]). Dies sind drei entscheidende Faktoren für eine ausreichende Versorgung des Gewebes mit *Energie und Sauerstoff* [33, 31, 26, 25].

Zahlreiche Leistungen des menschlichen Körpers, wie generell Regenerations- und Heilungsprozesse, hängen entscheidend von einer ausreichenden Versorgung mit Energie und Sauerstoff und damit von Temperatur, Sauerstoffpartialdruck und Durchblutung des Gewebes ab [33, 31, 26, 25]. Die Verbesserung sowohl der Energiebereitstellung pro Zeit (Steigerung der Stoffwechsellistung) als auch der Sauerstoffversorgung stellt einen Teil der Erklärung für die klinisch gute Wirkung von wIRA z.B. auf Wunden, Wundinfektionen und die Regeneration dar [33, 31, 26].

Zusätzlich hat wIRA nicht-thermische und ohne relevante Temperaturänderung auftretende Effekte, die darauf beruhen, direkte Reize auf Zellen und zelluläre Strukturen zu setzen [33, 31, 26]: Reaktionen der Zellen auf Infrarot – auch zum Teil bei sehr kleinen Bestrahlungsintensitäten – sind zum Beispiel zielgerichtetes Plasmidwachstum [1], Beeinflussung der Cytochrom-c-Oxidase [43, 44, 42, 46, 40, 41], zielgerichtetes Wachstum von Neuronen [11], Stimulation der Wundheilung [10, 36] sowie zellschützende Effekte von Infrarot A [49, 14, 15, 38, 9] und wIRA [4, 6, 34]. Die Cytochrom-c-Oxidase in den Mitochondrien wird dabei als universeller Photoakzeptor für Strahlung zwischen circa 600–1000 nm, also

rote und infrarote Strahlung, mit Absorptionsmaxima bei 620, 680, 760 und 825 nm [43, 44, 42] – entsprechend vier detailliert beschreibbaren Chromophoren der Cytochrom-c-Oxidase – angesehen, wobei die Cytochrom-c-Oxidase bei Absorption von Strahlung verschiedene Signalkaskaden auslösen kann und damit eine weit über die Energiebereitstellung hinausreichende regelnde Funktion hat [43, 44, Details auch in 33]. Der gesamte Bereich von circa 600–1000 nm ist bei typischen wIRA-Strahlern, die sichtbares Licht und wIRA abgeben, mit hoher spektraler Bestrahlungsstärke vertreten [33].

Die Verbesserung der Regeneration [27] durch wIRA kann sowohl über thermische als auch nicht-thermische Wirkungen erklärt werden, ebenso die Minderung von Schmerz und Entzündung und die antiinfektive Wirkung; die Sekretionsminderung durch wIRA ist über nicht-thermische direkte Wirkungen auf Zellen zu erklären [33].

3 Allgemeine Aspekte bei klinischen Anwendungen

Wesentliche klinische Wirkungen von wIRA sind – indikationsübergreifend – eine *Minderung von Schmerzen, Entzündung und vermehrter Sekretion* sowie eine *Verbesserung der Infektabwehr und der Regeneration* [33, 31, 26, 25, 27, 28].

wIRA kann grundsätzlich immer dann in Erwägung gezogen werden, wenn klinisch eine tiefenwirksame Wärmeapplikation (mit hoher Leistungsdichtetoleranz und hohem Energiefluss ins Gewebe) erwünscht/indiziert ist oder wenn pathogenetisch mindestens ein Faktor (Temperatur, Sauerstoffpartialdruck, Durchblutung im Gewebe) gestört oder suboptimal ist oder ein Symptom (zum Beispiel Schmerz, Entzündung, Hypersekretion, Infektion, Regenerationsbedarf) vorliegt, das durch die thermischen und nicht-thermischen Effekte von wIRA positiv beeinflusst werden kann [33, 27, 25]. Dabei können selbst ungestört "normal" ablaufende Vorgänge, wie eine Regeneration nach sportlicher Belastung oder ein normaler Wundheilungsprozess, durch wIRA noch verbessert werden [33, 27, 31, 26, 25, 18]. Entsprechend relativ breit sind die klinischen Anwendungsmöglichkeiten von wIRA [33, 27].

wIRA ist ein kontaktfreies, verbrauchsmaterialfreies, leicht anzuwendendes, selbst bei Wunden als angenehm empfundenes Verfahren mit guter Tiefenwirkung und anhaltendem Wärmedepot [33, 31, 26, 25]. wIRA ist kreislaufschonend (verglichen mit warmem Vollbad), sauber (verglichen mit Fango), bei verschiedensten Lagerungen einsetzbar und benötigt keine Fixierung (verglichen mit warmem Wickel) [33, 26, 25]. wIRA bietet Bewegungsfreiheit, eine simul-

tane Kombination mit Bewegung (z.B. Fahrradergometertraining) ist möglich [33, 26, 25, 53]. Auch eine Anwendung von wIRA-Strahlern bei Patienten zu Hause hat sich als sehr gut praktikabel erwiesen [61]. wIRA ist vor allem durch Variation des Bestrahlungsabstands und damit der Bestrahlungsstärke sowie über die Zeit sehr gut dosierbar [33, 26, 25]. wIRA kann lokal/körperregion-bezogen (lokoregional) oder auch systemisch auf den gesamten Körper wirkend (Ganzkörperhyperthermie) eingesetzt werden [33, 26, 25].



Abb.3: Beispiel für eine Bestrahlung einer Wunde mit einem wassergefiltertem Infrarot-A-Strahler (aus [51])

Die Bestrahlung der typischerweise unbedeckten Haut oder Wunde erfolgt senkrecht zur Haut mit einem wIRA-Strahler (Abb. 3) täglich ein- bis zweimal über 20–30 Minuten oder auch deutlich länger (mehrere Stunden pro Tag) mit moderater, als angenehm empfundener Bestrahlungsstärke (typischerweise 60–120

mW/cm² wIRA beziehungsweise 80–160 mW/cm² wIRA und sichtbares Licht VIS) [33, 29, 26, 17, 25]. Bei Bedarf kann der Abstand vergrößert und so die Bestrahlungsstärke verringert werden [33, 29, 26, 25]. Bei Personen mit gestörtem Sensorium (z. B. diabetischer Polyneuropathie), gestörter Rückäußerungsfähigkeit, schlecht durchblutetem Gewebe, kaltem Gewebe oder geringem Unterhautgewebe (z. B. Schienbeinkante) ist eine geringere Bestrahlungsstärke zu wählen [33, 29, 26, 25]. Es sollte lieber zeitlich extensiv mit moderater Bestrahlungsstärke als kürzer mit höherer Bestrahlungsstärke mit wIRA bestrahlt werden. wIRA geht nicht in relevantem Maß durch blickdichte Kleidung oder Verbände [33, 26, 25].

Für wIRA mit angemessenen therapeutischen Bestrahlungsstärken und -dosen konnte nicht nur gezeigt werden, dass es für menschliche Haut unbedenklich ist [33, 26, 25, 17, 4, 6, 39, 67], sondern dass es zellschützende Effekte gegen UVbedingte Schäden hat [33, 26, 25, 49, 14, 15, 9, 4, 6, 34]. Sicherheitsaspekte der klinischen Anwendung von wIRA werden ausführlich in Hoffmann [26] und Gebbers et al. [17] beschrieben. Sowohl aufgrund dieser Ausführungen wie auch insbesondere unter Berücksichtigung von Jung et al. [39] sowie der umfangreichen Übersichtsarbeit Piazena/Kelleher [57] und einer Pressemitteilung der Arbeitsgemeinschaft der wissenschaftlichen medizinischen Fachgesellschaften (AWMF) [54] und langjähriger klinischer Erfahrungen mit wIRA ist die Anwendung von wIRA mit adäquaten Bestrahlungsstärken als sicher anzusehen [33, 31]. Da sich der Mensch unter dem Einfluss der wassergefilterten Infrarotstrahlung der Sonne in der Evolution entwickelt hat [60, 33, 25], kann zudem – vor allem im Hinblick auf nicht-thermische Effekte – wIRA als naturnahes Verfahren im Gegensatz zum Beispiel zur Radiofrequenz-Hyperthermie angesehen werden.

4 Klinische Anwendungen mit Bezug zu Sport

4.1 Physiotherapie, Sportmedizin und Orthopädie

Die klinische Anwendung von wIRA kann präventiv, therapeutisch, regenerativ oder rehabilitativ erfolgen [33, 27]. Da wIRA Temperatur, Sauerstoffpartialdruck und Durchblutung im Gewebe steigert und Schmerzen und Entzündung mindert, kann wIRA eingesetzt werden bei muskulären Verspannungen (zum Beispiel Schulter-Nacken-Verspannungen), Myogelosen (muskelentspannender Effekt der Wärme) [35], Lumbago, Erkrankungen des rheumatischen Formenkreises [48], Arthrosen [52], Arthritiden (entzündungsmindernder Effekt), Morbus Bechterew [12], Kontusionen und in der postoperativen Rehabilitation [33, 31, 26, 25, 27].

Die Resorption von Hämatomen und Seromen kann durch wIRA beschleunigt werden [33, 31, 19].

wIRA kann zur Erwärmung der Muskulatur vor sportlicher Belastung sowie vor und während Massage eingesetzt werden.

wIRA kann in Ruhe oder in Kombination mit Bewegung (s. unten) zur muskulären Regeneration nach Sport verwendet werden [24]. 25 Probanden nahmen an einer prospektiven, randomisierten, kontrollierten Studie mit stufenweise ansteigender ausbelastender Ergometrie teil, an einem Tag mit (am Kontrolltag ohne) anschließender Bestrahlung der ventralen Oberschenkelmuskulatur mit wIRA (+VIS) in Ruhe über 20 Minuten. Am Tag mit Bestrahlung verbesserte sich das Befinden der Muskulatur auf einer visuellen Analogskala (0–100) von 36 auf 71 signifikant mehr ($p=0,0138$) als am Kontrolltag in Ruhe ohne Bestrahlung (von 34 auf 54). Erstaunlicherweise erreichte das Befinden nach 20 Minuten Bestrahlung wieder den Ausgangswert vor der Ergometrie von 70 [33, 27, 24]. Nach den 20 Minuten Ruhe (mit bzw. ohne Bestrahlung) folgte eine zweite Ergometrie, in der die Leistungsfähigkeit am Tag mit Bestrahlung signifikant weniger ($p=0,0128$) als am Kontrolltag absank [33, 27, 24].

Im Rahmen der muskulären Regeneration nach Sport kann wIRA auch zur Prävention oder Minderung der Symptome eines „Muskelkaters“ verwendet werden.

4.2 Simultane Kombination mit Bewegung

Da wIRA – im Gegensatz zu anderen wärmeapplizierenden Verfahren wie Fango oder heißer Rolle – ein kontaktfreies Verfahren ist, kann wIRA simultan mit Bewegung kombiniert werden (Abb. 4) [53, 33, 27].

In einer prospektiven, randomisierten, kontrollierten Studie mit 40 adipösen Frauen (body mass index BMI 30–40 (Median: 34,5), Körpergewicht 76–125 (94,9) kg, Alter 20–40 (35,5) Jahre, isokalorische Ernährung), 20 in der Gruppe mit wIRA(+VIS) und 20 in der Kontrollgruppe ohne Bestrahlung, wurde untersucht, ob Bestrahlung während moderater (aerober) Fußkurbelergometer-Ausdauerbelastung (einer Laktatkonzentration von 2 mmol/l entsprechend) für 45 Minuten dreimal pro Woche über 4 Wochen Wirkungen insbesondere auf die lokale Fettabnahme und auf die Gewichtsabnahme hat, die über die Wirkungen der Ergometerbelastung allein hinausgehen [53, 33, 27]. In der Gruppe mit wIRA(+VIS) wurden große Teile des Körpers (einschließlich Taille, Hüfte und Oberschenkel) während aller Ergometrien der Interventionsperiode mit 10 um ein drehzahlunabhängiges Fußkurbelergometer angeordneten Strahlern mit wIRA (+VIS) bestrahlt [53, 33, 27]. Die "Summe der Umfänge von Taille, Hüfte und beiden Oberschenkeln von jeder Probandin" verminderte sich während der 4

Wochen in der Gruppe mit wIRA(+VIS) signifikant stärker ($p < 0,001$) als in der unbestrahlten Kontrollgruppe: Mediane und Interquartilspannen betragen $-8,0$

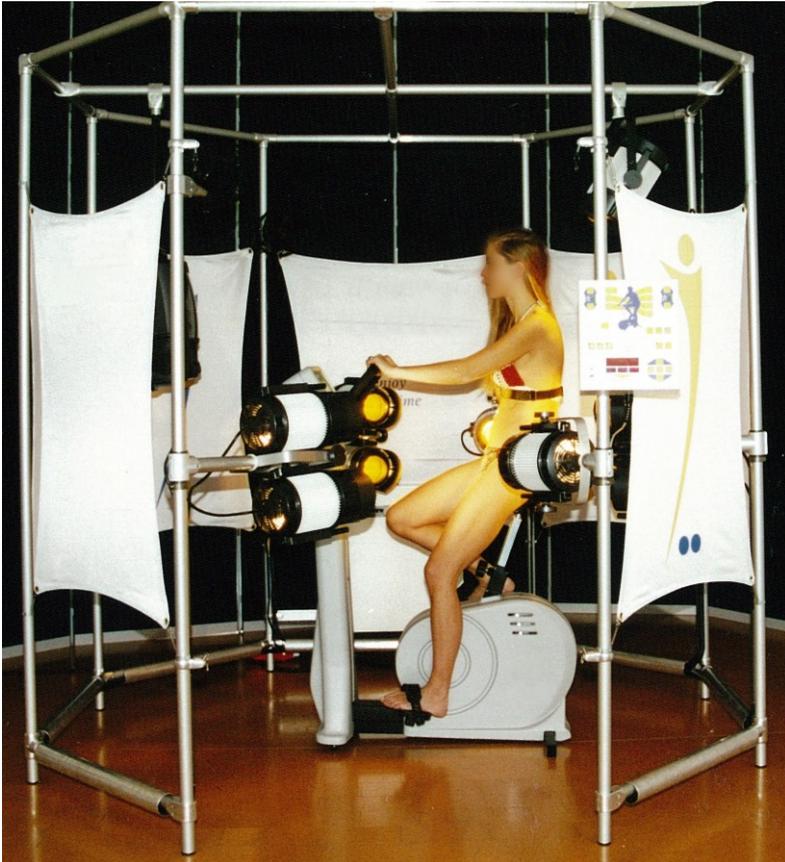


Abb. 4: Simultane Kombination von Ergometertraining mit wIRA. Bestrahlungseinheit mit 8–12 wIRA-Strahlern um ein drehzahlunabhängiges Ergometer (aus Wikimedia Commons: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:WIRA-Wiki-GH-016-Ergometer-cycling-combined-with-wIRA.jpg>)

cm ($-10,5$ cm/ $-4,1$ cm) gegenüber $-1,8$ cm ($-4,4$ cm/ $0,0$ cm) [53, 33, 27]. Auch nahm das Körpergewicht während der 4 Wochen in der Gruppe mit wIRA(+VIS) deutlich mehr als in der Kontrollgruppe ab: $-1,9$ kg ($-4,0$ kg/ $0,0$ kg) gegenüber $0,0$ kg ($-1,5$ kg/ $+0,4$ kg); der Median des Körpergewichts veränderte sich von $99,3$ kg auf $95,6$ kg (wIRA) gegenüber von $89,9$ kg auf $89,6$ kg (Kontrolle) [53, 33, 27]. Die Ergebnisse der Studie legen nahe, dass wIRA – während moderater

Fußkurbelergometer-Ausdauerbelastung als lipolytischem Reiz – die lokale Lipolyse (speziell am Oberschenkel) in dem sonst bradytrophen und hypothermen Fettgewebe steigert und die mobilisierten Fette in der Muskulatur während der Ergometerbelastung verbrannt werden [53, 33, 27]. Genutzt werden kann dies, um in Verbindung mit einer angemessenen Ernährung die Körperzusammensetzung, insbesondere die lokale Fettverteilung, und die Abnahme von Fett und Körpergewicht bei adipösen Personen zu verbessern [53, 33, 27].

Auch zur Therapie der Fibromyalgie kann die Kombination von wIRA(+VIS) mit Bewegung (mit hierbei nur niedriger Belastung) mit der gleichen Bestahlungseinheit (Ergometer und 10 wIRA-Strahler; oder Ergometer mit einer kleineren Anzahl an modernen noch leistungsfähigeren Strahlern) zur erfolgreichen Minderung der Schmerzen genutzt werden [33, 27, 26, 25].

4.3 Verletzungen und Wunden

wIRA kann die Heilung akuter und chronischer Wunden einschließlich infizierter Wunden beschleunigen oder bei stagnierender Wundheilung ermöglichen [33, 31, 26, 18, 61, 23]. Selbst der normale Wundheilungsprozess kann verbessert werden [33, 31, 26, 18]. wIRA vermag Schmerzen mit bemerkenswert niedrigerem Analgetikabedarf deutlich zu mindern, eine erhöhte Wundsekretion und Entzündung herabzusetzen sowie infektionsmindernd zu wirken [33, 31, 26, 18]. wIRA kann generell – mit Ausnahme oder besonderen Vorsichtskautele bei arterieller Verschlusskrankheit – für die Therapie von akuten [19] und chronischen [66, 61] Wunden empfohlen werden [33, 31].

Aufgrund von 6 klinischen Studien (u.a. große abdominale Operationen, schwerbrandverletzte Kinder, chronische venöse Unterschenkelulzera) sind die folgenden Wirkungen mit *Evidenzgrad Ia/Ib* belegt [33, 26, 31, 30, 32, 18, 19, 66, 61]: akute Schmerzminderung während einer wIRA-Bestrahlung, Minderung der erforderlichen Schmerzmittelmenge, größere und schnellere Wundflächenreduktion, bessere Gesamteinschätzung der Wundheilung, bessere Gesamteinschätzung des Effekts der Therapie (Schmerzen, Wundheilung, Kosmetik), höherer Gewebesauerstoffpartialdruck während wIRA, höhere subkutane Gewebetemperatur während wIRA und besserer kosmetischer Aspekt. Als Trend wurden außerdem gefunden [33, 26, 31, 30, 18, 19]: Niedrigere Wundinfektionsrate und kürzerer Krankenhausaufenthalt. Weitere klinische Beobachtungen sind [33, 26, 31, 30]: Entzündungsminderung und Hypersekretionsminderung.

4.4 Vulgäre Warzen

Vulgäre Warzen sind auch bei Sporttreibenden verbreitet. Vulgäre Warzen können mit 6–9 einwöchigen Therapiezyklen mit kontinuierlicher Keratolyse mit Salizylsäurepflaster und jeweils einer unblutigen Kürettage und einer wIRA(+VIS)-Bestrahlung von 30 Minuten – ohne photodynamische Therapie – erfolgreich therapiert werden [16, 33, 27]. In einer prospektiven, randomisierten, kontrollierten, doppelblinden Studie der Hautklinik der Universität Jena mit 80 Patienten mit therapierefraktären Warzen wurden bei nur drei dreiwöchigen Therapiezyklen (mit nur einer Bestrahlung pro Therapiezyklus, somit nur insgesamt drei Bestrahlungen) in den beiden Gruppen mit wIRA(+VIS) im Vergleich zu den beiden Gruppen mit nur VIS deutlich bessere Ergebnisse hinsichtlich der Kriterien Minderung der Gesamtwarzenfläche pro Patient, Prozentsatz völlig verschwundener Warzen, Prozentsatz warzenfreier Patienten und Einschätzung des Therapieeffekts (ärztlicherseits wie auch durch die Patienten) erzielt [16, 33, 27].

In einer weiteren prospektiven, randomisierten, kontrollierten, doppelblinden Studie der Hautklinik der Universität Bern wurden mit sechs bis neun einwöchigen Therapiezyklen mit kontinuierlicher Keratolyse mit Salizylsäurepflaster sowie jeweils einer unblutigen Kürettage und einer wIRA(+VIS)-Bestrahlung von 30 Minuten bereits nach sechs Wochen hohe Abheilungsraten erzielt [33, 27].

Nur bei besonders hartnäckigen Warzen ist eine – auch wiederholbare – photodynamische Therapie (PDT) mit wIRA und sichtbarem Licht (VIS) erforderlich [16, 33].

4.5 Herpes

Sonnenexposition beim Sporttreiben im Freien kann einen Herpes labialis aktivieren. wIRA beschleunigt die Abheilung von Herpes labialis und mindert die Schmerzen bei Herpes Zoster sowohl akut als auch die chronischen Post-Zoster-Schmerzen [33, 27, 26, 25].

4.6 Resorptionsverbesserung topischer Dermatika und Substanzen

wIRA kann zur Resorptionsverbesserung topischer Dermatika und Substanzen (zum Beispiel Cortison, Lokalanästhetika) als Alternative zum Okklusivverband eingesetzt werden [55, 20, 33, 27].

Für Bestrahlungen mit wIRA wurde durch die Untersuchung funktioneller Effekte penetrierter Substanzen [20, 5] wie auch mit lokalisierenden Methoden [55]

am Menschen gezeigt, dass wIRA die Penetration von klinisch verwendeten topisch aufgetragenen Stoffen verbessert. So trat der schmerzmindernde Effekt von Lokalanästhetika mit wIRA-Bestrahlung schneller und länger anhaltend als ohne wIRA-Bestrahlung auf [20] und die Vasokonstriktion durch Cortison (erkennbar an der Hautabblassung) war mit wIRA-Bestrahlung ausgeprägter als ohne wIRA-Bestrahlung [5].

In diesem Sinn kann wIRA klinisch als kontaktfreie Alternative zum Okklusivverband eingesetzt werden, um die Resorption/Penetration und damit Wirkung zum Beispiel von antiphlogistischen/analgetischen Salben bei Sporttreibenden zu verbessern.

4.7 Photodynamische Therapie (PDT) bei aktinischen Keratosen

Jahrzehntelange Sonnenexposition zum Beispiel beim Sporttreiben im Freien kann, insbesondere bei unzureichendem Sonnenschutz, zu aktinischen Keratosen als UV-bedingten Lichtalterungsschäden der Haut führen. wIRA kann im Rahmen einer photodynamischen Therapie (PDT) zusammen mit einer oder mehreren Wirkbanden im sichtbaren Bereich (VIS) und einem topisch aufgetragenen Photosensibilisator (oder einer Vorstufe hiervon) zur Therapie aktinischer Keratosen eingesetzt werden [65, 37, 13, 33, 27]. Gegenüber anderen für PDT verwendeten Bestrahlungsquellen ist wIRA(+VIS) schmerzärmer [65, 33, 27]. Durch Wahl entsprechender Farbfilter können für einen bestimmten Photosensibilisator, zum Beispiel Protoporphyrin IX (endogen aus topisch aufgetragener 5-Aminolävulinsäure (Delta-Aminolävulinsäure, ALA) gebildet), gezielt eine oder mehrere Wirkbanden ausgewählt werden [33, 25, 16].

4.8 Neurologie

Im Rahmen der Physiotherapie muskuloskeletaler Beschwerden (zum Beispiel sturzbedingter Kontusionen) können beeinflussbare neurologische Mitbeteiligungen (zum Beispiel Plexuszerrung) mit wIRA-Bestrahlung mittherapiert werden (Minderung von lokalen und ausstrahlenden Schmerzen und von vegetativer Begleitsymptomatik, wie Übelkeit; kasuistisch) [33].

wIRA kann mit niedrigen Bestrahlungsstärken zur Therapie des Complex Regional Pain Syndroms (CRPS, Morbus Sudeck, Algodystrophie), einem möglichen Folgeproblem einer Sportverletzung, eingesetzt werden (kasuistisch) [33].

4.9 Ganzkörperhyperthermie

Mit einer Ganzkörperhyperthermie können immunmodulierende Effekte angestrebt werden (Minderung überschießender und Steigerung zu niedriger Immunreaktionen), außerdem eine thermische Beschleunigung biochemischer Stoffwechselprozesse, Erhöhung der Durchlässigkeit von Zellmembranen, Unterstützung reparativer und regenerativer Prozesse, auch in bradytrophen, blutgefäßarmen Geweben, Tonusminderung auch tief liegender Muskulatur sowie Entblockierung subakuter und chronischer Entzündungsprozesse, um diese einer Abheilung zuzuführen [21].

Indikationsgebiete für Ganzkörperhyperthermie sind muskuläre Dystonien, Fibromyalgie, Schmerztherapie, Arthrosen, chronische Atemwegserkrankungen, chronische Entzündungsprozesse und chronische Infektionen, Dermatosen und Allergien [21, 59]. Insofern kann es auch bei Sporttreibenden Indikationen insbesondere für eine milde wIRA-Ganzkörperhyperthermie (<38,5°C) geben.

Literatur

- [1] Albrecht-Buehler G (1991): Surface extensions of 3T3 cells towards distant infrared light sources. *J Cell Biol.* 114(3):493–502.
DOI: 10.1083/jcb.114.3.493
- [2] Albrecht-Buehler G (1994): Cellular infrared detector appears to be contained in the centrosome. *Cell Motil Cytoskeleton.* 27(3):262–271.
DOI: 10.1002/cm.970270307
- [3] Albrecht-Buehler G (2005): A long-range attraction between aggregating 3T3 cells mediated by near-infrared light scattering. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 102(14):5050–5055. DOI: 10.1073/pnas.0407763102
- [4] Applegate LA, Scaletta C, Panizzon R, Frenk E, Hohlfeld P, Schwarzkopf S (2000): Induction of the putative protective protein ferritin by infrared radiation: implications in skin repair. *Int J Mol Med.* 5(3):247–251.
PMID: 10677564
- [5] Bankova L, Heinemann C, Fluhr JW, Hoffmann G, Elsner P (2003): 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, P96.

- [6] Burri N, Gebbers N, Applegate LA (2004): Chronic infrared-A radiation repair: Implications in cellular senescence and extracellular matrix. In: Pandalai SG, ed. *Recent Research Developments in Photochemistry & Photobiology*, vol. 7. Transworld Research Network, Trivandrum, p. 219–231.
- [7] Chow RT, Heller GZ, Barnsley L (2006): The effect of 300 mW, 830 nm laser on chronic neck pain: a double-blind, randomized, placebo-controlled study. *Pain* 124(1–2):201–210. DOI: 10.1016/j.pain.2006.05.018
- [8] Cobarg CC (1995): Physikalische Grundlagen der wassergefilterten Infrarot-A-Strahlung. In: Vaupel P, Krüger W (Hrsg.): *Wärmetherapie mit wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung. Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten*. 2. Aufl. Hippokrates, Stuttgart, S. 19–28.
- [9] Danno K, Horio T, Imamura S (1992): Infrared radiation suppresses ultraviolet B-induced sunburn-cell formation. *Arch Dermatol Res.* 284(2):92–94. DOI: 10.1007/BF00373376
- [10] Danno K, Mori N, Toda K, Kobayashi T, Utani A (2001): Near-infrared irradiation stimulates cutaneous wound repair: laboratory experiments on possible mechanisms. *Photodermatol Photoimmunol Photomed.* 17(6):261–265. PMID: 11722751
- [11] Ehrlicher A, Betz T, Stuhmann B, Koch D, Milner V, Raizen MG, Käs J (2002): Guiding neuronal growth with light. *Proc Natl Acad Sci USA.* 99(25):16024–16028. DOI: 10.1073/pnas.252631899
- [12] Falkenbach A, Dorigoni H, Werny F, Gütl S (1996): Wassergefilterte Infrarot-A-Bestrahlung bei Morbus Bechterew und degenerativen Wirbelsäulenveränderungen: Effekte auf Beweglichkeit und Druckschmerzhaftigkeit. *Österr Z Physikal Med Rehab.* 6(3):96–102.
- [13] Foss P (2003): Einsatz eines patentierten, wassergefilterten Infrarot-A-Strahlers (Hydrosun) zur photodynamischen Therapie aktinischer Dyskeratosen der Gesichts- und Kopfhaut. *Z naturheilkundl Onkologie krit Komplementärmed.* 6(11):26–28.
- [14] Frank S, Menezes S, Lebreton-De Coster C, Oster M, Dubertret L, Coulomb B (2006): Infrared radiation induces the p53 signaling pathway: role in infrared prevention of ultraviolet B toxicity. *Exp Dermatol.* 15(2):130–137. DOI: 10.1111/j.1600-0625.2005.00397.x
- [15] Frank S, Oliver L, Lebreton-De Coster C, Moreau C, Lecabellec MT, Michel L, Vallette FM, Dubertret L, Coulomb B (2004): Infrared radiation affects

- the mitochondrial pathway of apoptosis in human fibroblasts. *J Invest Dermatol.* 123(5):823–831. DOI: 10.1111/j.0022-202X.2004.23472.x
- [16] Fuchs SM, Fluhr JW, Bankova L, Tittelbach J, Hoffmann G, Elsner P (2004): Photodynamic therapy (PDT) and waterfiltered infrared A (wIRA) in patients with recalcitrant common hand and foot warts. *Ger Med Sci.* 2:Doc08. <http://www.egms.de/pdf/gms/2004-2/000018.pdf> und <http://www.egms.de/en/gms/2004-2/000018.shtml>
- [17] Gebbers N, Hirt-Burri N, Scaletta C, Hoffmann G, Applegate LA (2007): Water-filtered infrared-A radiation (wIRA) is not implicated in cellular degeneration of human skin. *GMS Ger Med Sci.* 5:Doc08. <http://www.egms.de/pdf/gms/2007-5/000044.pdf> und <http://www.egms.de/en/gms/2007-5/000044.shtml>
- [18] Hartel M, Hoffmann G, Wente MN, Martignoni ME, Büchler MW, Friess H (2006): Randomized clinical trial of the influence of local water-filtered infrared A irradiation on wound healing after abdominal surgery. *Br J Surg.* 93(8):952–960. DOI: 10.1002/bjs.5429
- [19] Hartel M, Illing P, Mercer JB, Lademann J, Daeschlein G, Hoffmann G (2007): Therapy of acute wounds with water-filtered infrared-A (wIRA) (review). *GMS Krankenhaushyg Interdiszip.* 2(2):Doc53. <http://www.egms.de/pdf/journals/dgkh/2007-2/dgkh000086.pdf> und <http://www.egms.de/en/journals/dgkh/2007-2/dgkh000086.shtml> (Englisch mit ausführlicher deutscher Zusammenfassung).
- [20] Hauptenthal H (1997): In vitro- und in vivo-Untersuchungen zur temperaturgesteuerten Arzneistoff-Liberation und Permeation. Mainz: Johannes Gutenberg-Universität; Diss.
- [21] Heckel M, Dickreiter B (2007): Ganzkörperhyperthermie: Kontrollierte Erhöhung der Körpertemperatur zu therapeutischen Zwecken. *Natur-Heilkunde Journal* 9(10):16-20 und 9(11):21-24.
- [22] Hellige G, Becker G, Hahn G (1995): Temperaturverteilung und Eindringtiefe wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung. In: Vaupel P, Krüger W (Hrsg.): *Wärmetherapie mit wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung. Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten.* 2. Aufl. Hippokrates, Stuttgart, S. 63–79.
- [23] Hoffmann G (1994): Improvement of wound healing in chronic ulcers by hyperbaric oxygenation and by waterfiltered ultrared A induced localized hyperthermia. *Adv Exp Med Biol.* 345:181–188. PMID: 8079706

- [24] Hoffmann G (2002): Improvement of regeneration by local hyperthermia induced by waterfiltered infrared A (wIRA). *Int J Sports Med.* 23 Suppl 2:S145.
- [25] Hoffmann G (2006): Wassergefiltertes Infrarot A (wIRA) zur Verbesserung der Wundheilung (Übersichtsarbeit). *GMS Krankenhaushyg Interdiszip.* 1(1):Doc20. <http://www.egms.de/pdf/journals/dgkh/2006-1/dgkh000020.pdf> und <http://www.egms.de/en/journals/dgkh/2006-1/dgkh000020.shtml>
- [26] Hoffmann G (2007): Principles and working mechanisms of water-filtered infrared-A (wIRA) in relation to wound healing (review). *GMS Krankenhaushyg Interdiszip.* 2(2):Doc54. <http://www.egms.de/pdf/journals/dgkh/2007-2/dgkh000087.pdf> und <http://www.egms.de/en/journals/dgkh/2007-2/dgkh000087.shtml> (Englisch mit ausführlicher deutscher Zusammenfassung).
- [27] Hoffmann G (2008a): Klinische Anwendungen von wassergefiltertem Infrarot A (wIRA). In: Kaase H, Serick F (Hrsg.): Sechstes Symposium "Licht und Gesundheit". 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, S. 130–146. Auch online: <http://publikationen.ub.uni-frankfurt.de/volltexte/2008/5484/> (Die Online-Fassung beinhaltet auch eine englische und eine deutsche Zusammenfassung).
- [28] Hoffmann G (2008b): Wassergefiltertes Infrarot A (wIRA). In: Kramer A, Assadian O (Hrsg.): *Wallhäußers Praxis der Sterilisation, Desinfektion, Antiseptik und Konservierung. Qualitätssicherung der Hygiene in Industrie, Pharmazie und Medizin.* Thieme, Stuttgart, S. 899–900. ISBN 3-9807635-0-3. Auch online: <http://publikationen.ub.uni-frankfurt.de/volltexte/2009/6135/> (Die Online-Fassung beinhaltet auch eine englische und eine deutsche Zusammenfassung).
- [29] Hoffmann G (2008c): Wassergefiltertes Infrarot A (wIRA) zur Verbesserung der Wundheilung bei akuten und chronischen Wunden. *Wundmanagement* 2:72–80. Auch online: <http://publikationen.ub.uni-frankfurt.de/volltexte/2008/5429/>
- [30] Hoffmann G (2009a): Wassergefiltertes Infrarot A (wIRA) in der Wundbehandlung: Interview; 3 Fragen an Prof. Dr. med. Gerd Hoffmann. *Heilberufe* 61(7):14. Auch online: <http://publikationen.ub.uni->

- frankfurt.de/volltexte/2009/6802/ (Die Online-Fassung beinhaltet auch eine englische und eine deutsche Zusammenfassung).
- [31] Hoffmann G (2009b): Water-filtered infrared-A (wIRA) in acute and chronic wounds (bilingual review). Wassergefiltertes Infrarot A (wIRA) bei akuten und chronischen Wunden (zweispachige Übersichtsarbeit). GMS Krankenhaushyg Interdiszip. 4(2):Doc12. DOI: 10.3205/dgkh000137 ; URN: urn:nbn:de:0183-dgkh0001373 ; <http://www.egms.de/pdf/journals/dgkh/2009-4/dgkh000137.pdf> und <http://www.egms.de/en/journals/dgkh/2009-4/dgkh000137.shtml>
- [32] Hoffmann G (2010): Wassergefiltertes Infrarot A (wIRA) für die Wundheilung. vasomed 22:156–158. Auch online: <http://publikationen.ub.uni-frankfurt.de/volltexte/2010/7881/>
- [33] Hoffmann G (2012a): Wassergefiltertes Infrarot A in Chirurgie, Dermatologie, Sportmedizin und weiteren Bereichen. In: Krause R, Stange R (Hrsg): Lichttherapie. Heidelberg, Springer, S. 25-54. Auch online: URN: urn:nbn:de:hebis:30:3-241715 ; <http://publikationen.ub.uni-frankfurt.de/frontdoor/index/index/docId/24171>
- [34] Hoffmann G, Meffert H (2005): Apparent contradiction between negative effects of UV radiation and positive effects of sun exposure. GMS Ger Med Sci. 3:Doc01. <http://www.egms.de/pdf/gms/2005-3/000019.pdf> und <http://www.egms.de/en/gms/2005-3/000019.shtml>
- [35] Hoffmann G, Siegfried I (2005): Volkskrankheit Rückenschmerz: neue Sichtweisen. Seminar des Arbeitskreises Sportmedizin der Akademie für ärztliche Fortbildung und Weiterbildung der Landesärztekammer Hessen. Bad Nauheim, 05.06.2004. German Medical Science, Düsseldorf, Köln, Doc 04ruecken1. <http://www.egms.de/pdf/meetings/ruecken2004/04ruecken1.pdf> und <http://www.egms.de/en/meetings/ruecken2004/04ruecken1.shtml>
- [36] Horwitz LR, Burke TJ, Carnegie D (1999): Augmentation of wound healing using monochromatic infrared energy. Exploration of a new technology for wound management. Adv Wound Care. 12(1):35–40. PMID: 10326355
- [37] Hübner K (2005): Die Photo-dynamische Therapie (PDT) der aktinischen Keratosen, Basalzellkarzinome und Plantarwarzen. derm – Praktische Dermatologie 11(4):301–304.
- [38] Jantschitsch C, Majewski S, Maeda A, Schwarz T, Schwarz A (2009): Infrared radiation confers resistance to UV-induced apoptosis via reduction of

- DNA damage and upregulation of antiapoptotic proteins. *J Invest Dermatol.* 129(5):1271–1279. Epub 2008 Nov 27.
- [39] Jung T, Höhn A, Piazena H, Grune T (2010): Effects of water-filtered infrared A irradiation on human fibroblasts. *Free Radic Biol Med.* 48:153–160. DOI: 10.1016/j.freeradbiomed.2009.10.036
- [40] Karu TI (1999): Primary and secondary mechanisms of action of visible to near-IR radiation on cells (review). *J Photochem Photobiol B.* 49(1):1–17. DOI: 10.1016/S1011-1344(98)00219-X
- [41] Karu TI (2002): Low-power laser effects. In: Waynant RW (ed.): *Lasers in medicine.* CRC Press, Boca Raton, p. 171–209.
- [42] Karu TI (2008): Mitochondrial signaling in mammalian cells activated by red and near-IR radiation. *Photochem Photobiol.* 84:1091–1099. DOI: 10.1111/j.1751-1097.2008.00394.x
- [43] Karu TI (2010a): Mitochondrial mechanisms of photobiomodulation in context of new data about multiple roles of ATP. *Photomed Laser Surg.* 28(2):159–160. DOI: 10.1089=pho.2010.2789
- [44] Karu TI (2010b): Multiple roles of cytochrome c oxidase in mammalian cells under action of red and IR-A radiation (critical review). *IUBMB Life.* 62(8):607–610. PMID: 20681024
- [45] Karu TI, Pyatibrat LV, Kalendo GS (2001a): Cell attachment modulation by radiation from a pulsed light diode ($\lambda = 820$ nm) and various chemicals. *Lasers Surg Med.* 28(3):227–236. DOI: 10.1002/lsm.1043
- [46] Karu TI, Pyatibrat LV, Kalendo GS (2001b): 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.* 29(3):274–281. DOI: 10.1002/lsm.1119
- [47] Karu TI, Pyatibrat LV, Kalendo GS (2001c): Donors of NO and pulsed radiation at $\lambda = 820$ nm exert effects on cell attachment to extracellular matrices. *Toxicol Lett.* 121(1):57–61. DOI: 10.1016/S0378-4274(01)00315-0
- [48] Meffert H, Müller GM, Scherf HP (1993): Milde Infrarot-A-Hyperthermie zur Behandlung von Erkrankungen des rheumatischen Formenkreises. Anhaltende Verminderung der Aktivität polymorphkerniger Granulozyten. *Intern Sauna-Arch.* 10:125–129.

- [49] Menezes S, Coulomb B, Lebreton C, Dubertret L (1998): Non-coherent near infrared radiation protects normal human dermal fibroblasts from solar ultraviolet toxicity. *J Invest Dermatol.* 111(4):629–633.
DOI: 10.1046/j.1523-1747.1998.00338.x
- [50] Mercer JB, de Weerd L (2005): 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.* 15(3):89–94.
- [51] Mercer JB, Nielsen SP, Hoffmann G (2008): 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.* 6:Doc11.
<http://www.egms.de/pdf/gms/2008-6/000056.pdf> und
<http://www.egms.de/en/gms/2008-6/000056.shtml>
- [52] Merle S (1995): Wassergefilterte Infrarot-A-Strahlung zur Therapie der schmerzhaften Arthrose. In: Vaupel P, Krüger W (Hrsg.): *Wärmetherapie mit wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung. Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten.* 2. Aufl. Hippokrates, Stuttgart, S. 149–156.
- [53] Möckel F, Hoffmann G, Obermüller R, Drobnik W, Schmitz G (2006): Influence of water-filtered infrared-A (wIRA) on reduction of local fat and body weight by physical exercise. *GMS Ger Med Sci.* 4:Doc05.
<http://www.egms.de/pdf/gms/2006-4/000034.pdf> und
<http://www.egms.de/en/gms/2006-4/000034.shtml>
- [54] Müller W: Infrarot A der Sonne schädigt die Haut nicht. The Sun's infrared-A is not detrimental to the skin. Pressemitteilung der Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften AWMF im Informationsdienst Wissenschaft idw, veröffentlicht am 15.07.2010.
<http://www.idw-online.de/de/news379477> (deutsch) und
<http://idw-online.de/en/news379479> (englisch).
- [55] Otberg N, Grone D, Meyer L, Schanzer S, Hoffmann G, Ackermann H, Sterry W, Lademann J (2008): Water-filtered infrared-A (wIRA) can act as a penetration enhancer for topically applied substances. *GMS Ger Med Sci.* 6:Doc08. <http://www.egms.de/pdf/gms/2008-6/000053.pdf> und
<http://www.egms.de/en/gms/2008-6/000053.shtml>
- [56] Pascoe DD, Mercer JB, de Weerd L (2006): Physiology of thermal signals. In: Bronzino JD (ed.): *Biomedical Engineering Handbook.* 3rd edition.

- Taylor and Francis Group, CRC press, Boca Raton (Florida/USA), p. 21-1 – 21-20.
- [57] Piazena H, Kelleher DK (2010): 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.* 86(3):687–705.
DOI: 10.1111/j.1751-1097.2010.00729.x
- [58] Piazena H, Meffert H (2008): Optische Eigenschaften der Haut und die photobiologischen Grundlagen zur Dosierung von IR-Hautbestrahlungen in vivo und in vitro. In: Kaase H, Serick F (Hrsg.): Sechstes Symposium "Licht und Gesundheit". 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, S. 162–178.
- [59] Rowe-Horwege RW (2006): Hyperthermia, systemic. In: Webster JG (ed.): *Encyclopedia of medical devices and instrumentation*. Second edition. John Wiley & Sons, p. 42–62.
- [60] Rzeznik J (1995): Die Technik zur loko-regionalen Wärmetherapie mit wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung. In: Vaupel P, Krüger W (Hrsg.): *Wärmetherapie mit wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung. Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten*. 2. Aufl. Hippokrates, Stuttgart, S. 29–46.
- [61] Schumann H, Calow T, Weckesser S, Müller ML, Hoffmann G (2011): Water-filtered infrared A for the treatment of chronic venous stasis ulcers of the lower legs at home: a randomized controlled blinded study. *Br J Dermatol.* 165:541–551.
- [62] Stofft E, Vaupel P (1996): Wassergefilterte Infrarot-A-Strahlung versus Fango-Paraffin-Packung: Temperaturprofile bei lokoregionaler Wärmetherapie. *Phys Rehab Kur Med.* 6:7–11. DOI: 10.1055/s-2008-1061893
- [63] Vaupel P, Rzeznik J, Stofft E (1995): Wassergefilterte Infrarot-A-Strahlung versus konventionelle Infrarotstrahlung: Temperaturprofile bei lokoregionaler Wärmetherapie. *Phys Rehab Kur Med.* 5:77–81.
DOI: 10.1055/s-2008-1061959
- [64] Vaupel P, Stofft E (1995): Wassergefilterte Infrarot-A-Strahlung im Vergleich zu konventioneller Infrarotstrahlung oder Fango-Paraffin-Packungen: Temperaturprofile bei lokaler Wärmetherapie. In: Vaupel P, Krüger W (Hrsg.): *Wärmetherapie mit wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung. Grund-*

- lagen und Anwendungsmöglichkeiten. 2. Aufl. Hippokrates, Stuttgart, S. 135–147.
- [65] von Felbert V, Hoffmann G, Hoff-Lesch S, Abuzahra F, Renn CN, Braathen LR, Merk HF (2010): Photodynamic therapy of multiple actinic keratoses: Reduced pain through use of visible light plus water-filtered infrared-A (wIRA) compared to light from light-emitting diodes. *Br J Dermatol.* 163(3):607–615. DOI: 10.1111/j.1365-2133.2010.09817.x
- [66] von Felbert V, Schumann H, Mercer JB, Strasser W, Daeschlein G, Hoffmann G (2007): Therapy of chronic wounds with water-filtered infrared-A (wIRA) (review). *GMS Krankenhaushyg Interdiszip.* 2(2):Doc52. <http://www.egms.de/pdf/journals/dgkh/2008-2/dgkh000085.pdf> und <http://www.egms.de/en/journals/dgkh/2008-2/dgkh000085.shtml> (Englisch mit ausführlicher deutscher Zusammenfassung).
- [67] Voss P, Hajimiragha H, Engels M, Ruhwiedel C, Calles C, Schroeder P, Grune T (2007): Irradiation of GAPDH: a model for environmentally induced protein damage. *Biol Chem.* 388(6):583–592.