

Stephan Völker
Heike Schumacher

8. Symposium Licht und Gesundheit

**Eine Sondertagung der TU Berlin gemeinsam mit DAfP und LiTG
19. und 20. März 2014, Messegelände Berlin**



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

Universitätsverlag der TU Berlin 2014

<http://www.univerlag.tu-berlin.de>

Fasanenstr. 88 (im VOLKSWAGEN-Haus), 10623 Berlin

Tel.: +49 (0)30 314 76131 / Fax: -76133

E-Mail: publikationen@ub.tu-berlin.de

Das Manuskript ist urheberrechtlich geschützt.

Druck: endformat GmbH, Berlin

Satz/Layout: Heike Schumacher

ISBN 978-3-7983-2671-2 (print)

ISBN 978-3-7983-2672-9 (online)

ISSN 2196-338X (print)

ISSN 2198-5103 (online)

Zugleich online veröffentlicht auf dem Digitalen Repositorium
der Technischen Universität Berlin:

URL <http://opus4.kobv.de/opus4-tuberlin/frontdoor/index/index/docId/4689>

URN urn:nbn:de:kobv:83-opus4-46893

[<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:kobv:83-opus4-46893>]

Wassergefiltertes Infrarot-A (wIRA) in der Sport- und Präventivmedizin

Gerd Hoffmann

Johann Wolfgang Goethe-Universität, Institut für Sportwissenschaften,
Ginnheimer Landstraße 39, 60487 Frankfurt am Main

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 steigert Temperatur, Sauerstoffpartialdruck und Durchblutung im Gewebe. wIRA mindert indikationsübergreifend Schmerzen, Entzündung und vermehrte Sekretion und verbessert die Infektabwehr und Regeneration* [35, 36], insbesondere auch nach sportlicher Belastung. Zudem kann wIRA als kontaktfreies Verfahren simultan mit Bewegung und Training kombiniert werden.

Der hier vorliegenden Übersicht liegen u.a. 6 sportmedizinische Studien mit wIRA zugrunde. Die klinische Anwendung von wIRA kann präventiv, therapeutisch, regenerativ oder rehabilitativ erfolgen.

wIRA hat in den letzten 20 Jahren eine deutliche Verbreitung in der Medizin gefunden. So setzen ca. 30% der dermatologischen Praxen oder Versorgungszentren in Deutschland wIRA für verschiedene Indikationen ein, außerdem unter anderem eine Reihe chirurgischer Kliniken [38]. wIRA-Strahler werden auch bei Patienten zu Hause eingesetzt [35, 70, 27].

1 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) [35, 33, 28, 27, 34, 31, 29, 17, 9].

wIRA entspricht dem Großteil der in gemäßigten Klimazonen die Erdoberfläche wassergefiltert erreichenden Infrarotstrahlung der Sonne (Filterwirkung des Wassers und des Wasserdampfs der Erdatmosphäre). Durch 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 [35, 33, 28, 27, 31, 29, 17, 9].

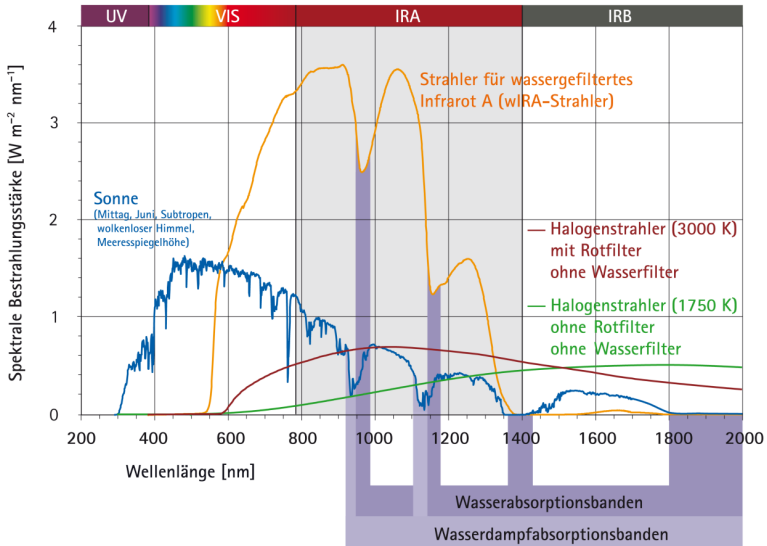


Abb. 1: Vergleich der Spektren eines wIRA-Strahlers und der Sonne bei wolkenlosem Himmel am Mittag im Juni in Meeresspiegelhöhe in den Subtropen sowie der Spektren zweier Halogenstrahler ohne Wasserfilterung. Die drei verschiedenen Strahler bewirken mit ihren dargestellten spektralen Bestrahlungsstärken die gleiche Hautoberflächentemperatur. Mit freundlicher Genehmigung von Dr. Helmut Piazena, Charité – Universitätsmedizin Berlin (aus [67, 64, 38])

Technisch wird wassergefiltertes Infrarot A (wIRA) zusammen mit einem kleineren Anteil sichtbaren Lichts (VIS) in speziellen Strahlern erzeugt, in denen die gesamte inkohärente, nicht polarisierte Breitbandstrahlung einer 3000-Kelvin-Halogenlampe durch eine Wasser enthaltende Küvette hindurchtritt, sodass die genannten unerwünschten Strahlungsanteile innerhalb des Infrarot gemindert oder herausgefiltert werden (Abb. 2) [35, 33, 31, 28, 69]. Während konventionelle Halogenstrahler ohne Wasserfilter (sogenannte „Rotlichtlampen“) je nach korrelierter Farbtemperatur 50 bis 80 Prozent ihrer Strahlung im unerwünschten Infrarot-B- und Infrarot-C-Bereich emittieren, ist

dieser Anteil bei wIRA-Strahlern kleiner als 0,5 Prozent, Abb. 1 [67, 64, 38, 35, 28, 66].

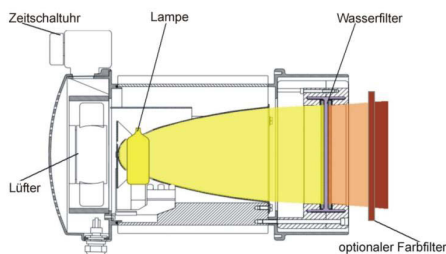


Abb. 2: Querschnitt eines wassergefilterten Infrarot-A-Strahlers. (aus [33])

wIRA als spezielle Form der Infrarotstrahlung (Wärmestrahlung) mit hohem Eindringvermögen in das Gewebe bei geringer thermischer Oberflächenbelastung erlaubt einen deutlich höheren Energieeintrag in das Gewebe und 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 [35, 33, 31, 28].

Innerhalb des Spektrums von Infrarot-A- und wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung wurden Effekte insbesondere von den energiereichen Wellenlängen nahe des sichtbaren Lichts – ungefähr 780–1000 nm (800–900 nm [2, 3, 4], 800 nm [12], 820 nm [51, 52, 50], 830 nm [8]) – sowohl in vitro als auch in vivo beschrieben; diese Wellenlängen stellen, v. a. im Hinblick auf nicht thermische Effekte, wie die Minderung von Sekretion, den klinisch wichtigsten Teil von Infrarot A und wIRA dar [35, 33, 28, 19].

Die Bestrahlungsstärken in diesem Wellenlängenbereich sind bei wIRA-Strahlern deutlich höher als bei konventionellen Halogenstrahlern ohne Wasserfilter: Bei einer Wellenlänge von 820 nm ist die bei gleicher Hautoberflächentemperatur anwendbare Bestrahlungsstärke bei einem wIRA-Strahler beispielsweise ca. 6mal so hoch wie bei dem in der Abbildung 1 dargestellten Halogenstrahler ohne Wasserfilter mit einer korrelierten Farbtemperatur

(CCT) von 3000 K und ca. 30mal so hoch wie bei dem Halogenstrahler ohne Wasserfilter mit einer CCT von 1750 K [38, 67, 64].

wIRA erzeugt ein therapeutisch nutzbares Wärmefeld im Gewebe durch Erreichen hautoberflächennaher Kapillarbereiche durch die Infrarot-A-Strahlung (Primärerwärmung), Wärmeabtransport durch das Blut (Wärmeverschleppung von hautoberflächennahen Gewebebereichen in die Tiefe), Erhöhung der oberflächlichen Kapillardurchblutung mit Ausweitung der der Strahlung zugänglichen Durchblutungsbereiche (hierdurch verstärkte Wärmeverschleppung), Gewebewärmeleitung in die Tiefe sowie sekundäre Energiefreisetzung durch Stoffwechselanregung (Stoffwechselsteigerung) infolge Temperatursteigerung (gemäß der Reaktionsgeschwindigkeits-Temperatur-(RGT-)Regel bedeuten z. B. 3°C mehr Temperatur ca. 30 % mehr Reaktionsgeschwindigkeit und damit mehr Energiebereitstellung im Gewebe) bei relativ hoher primärer Tiefenwirksamkeit von wIRA [35, 27].

wIRA steigert die Temperatur [35, 33, 28, 27, 21, 72, 71, 73, 57, 56, 62, 25] (z. B. oberflächlich von 32,5°C um fast 6°C auf 38,2°C [56], in 2 cm Gewebetiefe um 2,7°C [21]) und den Sauerstoffpartialdruck im Gewebe [35, 33, 28, 27, 21] (in 2 cm Gewebetiefe um ca. 30 % [21]) sowie die Gewebedurchblutung [35, 33, 28, 27, 56, 62, 25] (oberflächlich ca. Verachtfachung [56], Steigerung in bis ca. 5 cm Tiefe nachweisbar [25]). Dies sind 3 entscheidende Faktoren für eine ausreichende Versorgung des Gewebes mit Energie und Sauerstoff [35, 33, 28, 27].

Zahlreiche Leistungen des menschlichen Körpers wie generell Regenerations- und Heilungsprozesse, hängen entscheidend von einer *ausreichenden Versorgung mit Energie und Sauerstoff* und damit von der Integrität von Temperatur, Sauerstoffpartialdruck und Durchblutung des Gewebes ab [35, 33, 28, 27]. Die Verbesserung sowohl der Energiebereitstellung pro Zeit (Steigerung der Stoffwechselleistung) als auch der Sauerstoffversorgung stellt einen Teil der Erklärung für die klinisch gute Wirkung von wIRA z. B. auf die Regeneration dar [35, 33, 28].

Zusätzlich hat wIRA *nicht thermische* und ohne relevante Temperaturänderung auftretende *Effekte*, die darauf beruhen, direkte Reize auf Zellen und

zelluläre Strukturen zu setzen [35, 33, 28]: Reaktionen der Zellen auf Infrarot – auch z. T. bei sehr kleinen Bestrahlungsintensitäten – sind z. B. zielgerichtetes Plasmodienwachstum [2], Beeinflussung der Cytochrom-c-Oxidase [48, 49, 47, 51, 45, 46], zielgerichtetes Wachstum von Neuronen [12], Stimulation der Wundheilung [11, 42] sowie zellschützende Effekte von Infrarot A [55, 15, 16, 10] und wassergefiltertem Infrarot A (wIRA) [5, 7, 39].

Die *Cytochrom-c-Oxidase* in den Mitochondrien wird dabei als universeller Photoakzeptor für Strahlung zwischen ca. 600–1000 nm, also für rote und infrarote Strahlung, angesehen, mit Absorptionsmaxima bei 620, 680, 760 und 825 nm [48, 49, 47] – entsprechend 4 detailliert beschreibbaren Chromophoren der Cytochrom-c-Oxidase. Dabei kann die Cytochrom-c-Oxidase bei Absorption von Strahlung verschiedene Signalkaskaden auslösen und hat damit eine weit über die Energiebereitstellung hinausreichende regelnde Funktion [48, 49]. Der gesamte Bereich von ca. 600–1000 nm, einschließlich der genannten Wellenlängen, ist bei typischen wIRA-Strahlern, die sichtbares Licht und wIRA abgeben, mit hoher spektraler Bestrahlungsstärke vertreten [35].

Die *Schmerzminderung* durch wIRA wird sowohl über thermische als auch nicht thermische Wirkungen erklärt [35, 31]: Eine gesteigerte Durchblutung erlaubt eine bessere Elimination akkumulierter Metabolite wie Schmerzmedikatoren, Laktat und Bakterientoxine und steigert zusammen mit der erhöhten Gewebetemperatur den Stoffwechsel (verbesserte Regeneration und Metabolisierung akkumulierter Stoffe) [35, 31]. Nicht thermische Effekte beinhalten direkte Wirkungen auf Zellen und möglicherweise auch auf Nozizeptoren [35, 21, 22, 31]. wIRA kann außerdem über seine deutlich muskelentspannende Wirkung schmerzmindernd wirken [35, 31]. Eine Schmerzminderung [63] bewirkt – neben einer Verbesserung der Lebensqualität – auch eine Erhöhung des Sauerstoffpartialdrucks [1, 21, 22] und senkt damit deutlich das Infektionsrisiko [35, 41, 21, 22, 31].

Außerdem wirkt vermutlich eine Bestrahlung mit sichtbarem Licht (»visible light«, VIS) und wIRA in Verbindung mit endogenem Protoporphyrin IX (oder Protoporphyrin IX von Bakterien) quasi wie eine milde photodynamische

Therapie (PDT; *endogener PDT-ähnlicher Effekt*) [35, 33, 75, 30]. Dies kann die Zellregeneration fördern (alte oder vorgeschädigte Zellen gehen in die Apoptose und werden durch neue Zellen ersetzt) und antibakteriell/antiinfektiv wirken (mögliche wIRA-bedingte Verstärkung der von Ganz et al. [18] und Hamblin et al. [20] beschriebenen Photoaktivierung von Bakterien durch sichtbares Licht oder photoaktivierte Desinfektion in der Zahnheilkunde, bei der eine photosensibilisierende Substanz aufgetragen wird) [35, 33, 75, 30].

Einen wesentlichen Anteil an der antiinfektiven – antibakteriellen und antiviralen – Wirkung von wIRA dürfte die Verbesserung der körpereigenen Abwehr durch Steigerung von Temperatur, Sauerstoffpartialdruck und Durchblutung des Gewebes und der damit verbesserten Energie- und Sauerstoffbereitstellung für die körpereigene Abwehr haben [35, 17], also ein thermischer wIRA-Effekt, kombiniert mit nicht thermischen wIRA-Effekten (z. B. auf immunkompetente Zellen), sodass eine immunmodulatorische Wirkung und eine bessere lokale Immunkompetenz resultieren [35, 17].

Die *Entzündungsminderung* (z. B. bei Wunden) durch wIRA kann – vergleichbar mit der oben erläuterten Schmerzminderung – sowohl über thermische als auch nicht thermische Wirkungen erklärt werden [33, 35]. Auch die *Verbesserung der Regeneration* durch wIRA kann sowohl über thermische als auch nicht thermische Wirkungen erklärt werden [29, 35]. Die *Minderung vermehrter Sekretion* (z. B. Wundsekretion, bronchiale Sekretion) durch wIRA ist über nicht thermische, direkte Wirkungen auf Zellen zu erklären [33, 35].

2 Allgemeine Aspekte bei klinischen Anwendungen

wIRA steigert *Temperatur, Sauerstoffpartialdruck und Durchblutung* im Gewebe [35, 33, 28, 27]. Wesentliche klinische Wirkungen von wIRA sind – indikationsübergreifend – eine Minderung von *Schmerzen, Entzündung und Sekretion* sowie eine Verbesserung der *Infektabwehr* und der *Regeneration* [35, 33, 28, 27, 29].

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 (z. B. Schmerz, Entzündung, Hypersekretion, Infektion, Regenerationsbedarf) vorliegt, das durch die thermischen und nicht thermischen Effekte von wIRA positiv beeinflusst werden kann [35, 29, 27]. Dabei können selbst ungestört »normal« ablaufende Vorgänge wie eine Regeneration nach sportlicher Belastung oder ein normaler Wundheilungsprozess durch wIRA noch verbessert werden [35, 29, 33, 28, 27, 21, 26]. Entsprechend breit sind die klinischen Anwendungsmöglichkeiten von wIRA [35, 29].

wIRA ist ein kontaktfreies, verbrauchsmaterialfreies, leicht anzuwendendes, (selbst bei Wunden) als angenehm empfundenes Verfahren mit guter Tiefenwirkung und anhaltendem Wärmedepot [35, 33, 28, 27]. wIRA ist kreislaufschonend (verglichen mit warmem Vollbad), sauber (verglichen mit Fango), bei verschiedensten Lagerungen einsetzbar und benötigt keine Fixierung (verglichen mit warmem Wickel) [35, 28, 27]. wIRA bietet Bewegungsfreiheit, eine simultane Kombination mit Bewegung ist möglich [35, 28, 27, 59]. wIRA ist v. a. durch Variation des Bestrahlungsabstands und damit der Bestrahlungsstärke (sowie über die Zeit) sehr gut dosierbar [35, 28, 27].

wIRA kann lokal/körperregionbezogen (lokoregional) oder auch systemisch auf den gesamten Körper wirkend (Ganzkörperhyperthermie) eingesetzt werden [35, 28, 27]. wIRA wird wesentlich häufiger lokoregional als systemisch eingesetzt, entsprechend geht dieser Beitrag fast nur auf die lokoregionale Anwendung ein. (Zur Ganzkörperhyperthermie siehe Hoffmann 2012 [35].)

Die Bestrahlung der typischerweise unbedeckten Haut erfolgt senkrecht zur Haut mit einem wIRA-Strahler, und zwar täglich ein- bis zweimal über 20–30 min oder auch deutlich länger (mehrere Stunden pro Tag) mit moderater, als angenehm empfundener Bestrahlungsstärke (typischerweise 60–120 mW/cm² wIRA bzw. 80–160 mW/cm² wIRA und sichtbares Licht (VIS)) [35, 31, 28, 19, 27]. Die Bestrahlung erfolgt meist aus ca. 35–60(–75) cm Abstand. Wenn es dem Patienten zu warm wird, ist rechtzeitig der Abstand etwas zu vergrößern, d. h. die Bestrahlungsstärke zu verringern [35, 31, 28, 27].

Spezielle Vorsicht ist geboten, d. h. ein größerer Bestrahlungsabstand und eine geringere Bestrahlungsstärke sind zu wählen, bei Patienten mit gestörtem Sensorium (z. B. diabetischer Polyneuropathie) oder gestörter Rückäußerungsfähigkeit, bei schlecht durchblutetem Gewebe, bei kaltem Gewebe oder geringem Unterhautgewebe (z. B. Schienbeinkante) [35, 31, 28, 27]. 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 [35, 28, 27].

Für wIRA mit angemessenen therapeutischen Bestrahlungsstärken und -dosen konnte nicht nur gezeigt werden, dass es für menschliche Haut unbedenklich ist [35, 28, 27, 19, 5, 7, 44], sondern auch, dass es zellschützende Effekte gegen UV-bedingte Schäden hat [35, 28, 27, 55, 15, 16, 10, 5, 7, 39]. *Sicherheitsaspekte* der klinischen Anwendung von wIRA werden ausführlich von Hoffmann [28] und Gebbers et al. [19] beschrieben. Sowohl aufgrund dieser Ausführungen wie auch insbesondere unter Berücksichtigung der Veröffentlichungen von Jung et al. [44], der umfangreichen Übersichtsarbeit von Piazena und Kelleher [65], einer Pressemitteilung der AWMF [60] und langjähriger klinischer Erfahrungen mit wIRA ist die Anwendung von wIRA mit adäquaten Bestrahlungsstärken als sicher anzusehen [35, 33]. Da sich der Mensch unter dem Einfluss der wassergefilterten Infrarotstrahlung der Sonne in der Evolution entwickelt hat [35, 69, 27], kann zudem – vor allem im Hinblick auf nicht thermische Effekte – wIRA als naturnahes Verfahren angesehen werden, im Gegensatz z. B. zur Radiofrequenzhyperthermie.

3 Klinische Anwendungen mit Bezug zu Sport

3.1 Physiotherapie, Sportmedizin und Orthopädie

Die klinische Anwendung von wIRA kann präventiv, therapeutisch, regenerativ oder rehabilitativ erfolgen [35, 29]. 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) [40], Lumbago, Erkrankungen des rheumatischen Formenkreises [40, 54], Arthrosen [58], Arthritiden (entzündungsmin-

dernder Effekt), Morbus Bechterew [13], Kontusionen und in der postoperativen Rehabilitation [35, 33, 28, 27, 29].

Die Resorption von Hämatomen und Seromen kann durch wIRA beschleunigt werden [35, 33, 22].

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 [26].

25 Probanden nahmen an einer prospektiven, randomisierten, kontrollierten Studie mit stufenweise ansteigender ausbelastender Fußkurbelergometrie teil, an einem Tag mit anschließender Bestrahlung der ventralen Oberschenkelmuskulatur mit wIRA (bzw. am Kontrolltag stattdessen Pause) in Ruhe über 20 Minuten. Am Tag mit Bestrahlung verbesserte sich das Befinden der belasteten Oberschenkelmuskulatur auf einer visuellen Analogskala (umsetzbar in 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 [35, 29, 26]. Nach den 20 Minuten Ruhe (mit Bestrahlung bzw. Pause) folgte eine zweite Ergometrie, in der die Leistungsfähigkeit am Tag mit Bestrahlung signifikant weniger ($p=0,0128$) als am Kontrolltag absank [35, 29, 26].

Bei einer anderen prospektiven, randomisierten, kontrollierten Studie mit 25 Probanden mit 20 Minuten Bestrahlung von Rücken- und Oberarmmuskulatur (bzw. am Kontrolltag stattdessen Pause) vor und nach einer stufenweise ansteigenden ausbelastenden Fußkurbelergometrie verbesserte sich die Befindlichkeit der Rückenmuskulatur „zwischen vor und nach zweiter wIRA-Bestrahlung“ signifikant mehr ($p=0,0076$) als „zwischen vor und nach zweiter Pause“ (Kontrolltag); zudem lag die ergometrische Leistung im Median der Behandlungsunterschiede am Hyperthermietag signifikant höher ($p=0,0091$) als am Kontrolltag; es zeigten sich keine signifikanten bzw. relevanten Effekte

auf Flexibilitätsmaße (Finger-Boden-Abstand, gekreuzte Nackengriffe links bzw. rechts).

Eine weitere prospektive, randomisierte, kontrollierte Studie mit 29 Probanden ergab hinsichtlich der maximalen Rückenstreckkraft (Serie mit 25 Messungen alle 10 Sekunden, jeweils vor und nach 20 Minuten wIRA-Bestrahlung der Rückenmuskulatur bzw. Pause am Kontrolltag) keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Tagen, also insbesondere keine ungünstigen Effekte einer wIRA-Bestrahlung auf die danach entfaltbare maximale Rückenstreckkraft. Vergleichbares konnte auch für die maximale Faustschlusskraft gezeigt werden. Ebenso wurden selbst bei umfangreicher wIRA-Bestrahlung des Thorax bei gesunden Probanden weder statische noch dynamische Lungenfunktionsvariablen im Vergleich vor gegenüber nach Bestrahlung beeinflusst.

Im Rahmen der muskulären Regeneration nach Sport kann wIRA auch zur Prävention oder Minderung der Symptome eines „Muskelkaters“ verwendet werden [37].

3.2 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. 3) [59, 35, 29].

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 [59, 35, 29].

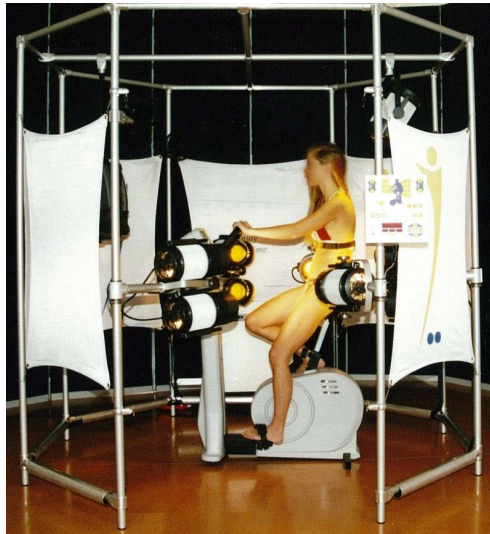


Abb. 3: Simultane Kombination von Ergometertraining mit wIRA. Bestrahlungseinheit mit 8–12 wIRA-Strahlern um ein drehzahlunabhängiges Ergometer (aus [77])

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 [59, 35, 29]. Die "Summe der Umfänge von Taille, Hüfte und beiden Oberschenkeln von jeder Probandin" verminderte sich während der Wochen in der Gruppe mit wIRA(+VIS) signifikant stärker ($p < 0,001$) als in der unbestrahlten Kontrollgruppe: Mediane und Interquartilsparnen betragen $-8,0$ cm ($-10,5$ cm/ $-4,1$ cm) gegenüber $-1,8$ cm ($-4,4$ cm/ $0,0$ cm) [59, 35, 29]. 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) [59, 35, 29].

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 [59, 35, 29]. 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 [59, 35, 29].

Auch zur Therapie der Fibromyalgie kann die Kombination von wIRA(+VIS) mit Bewegung (mit hierbei nur niedriger Belastung) mit der gleichen Bestrahlungseinheit wie die vorstehende Studie (Ergometer und 10 wIRA-Strahler; auch realisierbar mit Ergometer mit einer kleineren Anzahl an modernen noch leistungsfähigeren Strahlern) zur erfolgreichen Minderung der Schmerzen genutzt werden [35, 29, 28, 27]: Eine prospektive, randomisierte, kontrollierte Studie mit Fibromyalgiepatienten zeigte in der Gruppe mit Bestrahlung während leichter (aerober) Fußkurbelergometer-Ausdauerbelastung für 30 Minuten dreimal pro Woche über 4 Wochen im Vergleich zu einer Gruppe ohne Bestrahlung während leichter (aerober) Fußkurbelergometer-Ausdauerbelastung eine signifikante Verringerung der Schmerzintensität [35]. Das allgemeine Wohlbefinden stieg in der Gruppe mit wIRA.

3.3 Verletzungen und Wunden

wIRA kann die Heilung akuter und chronischer Wunden einschließlich infizierter Wunden beschleunigen oder bei stagnierender Wundheilung ermöglichen [35, 33, 28, 22, 70, 21]. Selbst der normale Wundheilungsprozess kann verbessert werden [35, 33, 28, 22, 21]. wIRA vermag Schmerzen mit bemerkenswert niedrigerem Analgetikabedarf deutlich zu mindern, eine erhöhte Wundsekretion und Entzündung herabzusetzen sowie infektionsmindernd zu wirken [35, 33, 28, 21]. wIRA kann generell – mit besonderen Vorsichtskautelen bei arterieller Verschlusskrankheit – für die Therapie von akuten [22, 53, 76] und chronischen [75, 70] Wunden empfohlen werden [35, 33].

Aufgrund von 7 klinischen Wund-Studien (u.a. große abdominale Operationen, schwer-brandverletzte Kinder, chronische venöse Unterschenkelulzera) sind die folgenden Wirkungen mit *Evidenzgrad Ia/Ib* belegt [35, 28, 33, 32, 34,

21, 22, 75, 70, 53]: 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, besserer kosmetischer Aspekt und niedrigere Wundinfektionsrate. Als Trend wurde außerdem ein kürzerer Krankenhausaufenthalt gefunden [35, 28, 33, 32, 21, 22]. Weitere klinische Beobachtungen sind [35, 28, 33, 32]: Entzündungsminderung und Hypersekretionsminderung.

3.4 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 [17, 35, 29]. 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 [17, 35, 29].

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 [35, 29].

Nur bei besonders hartnäckigen Warzen ist eine – auch wiederholbare – photo-dynamische Therapie (PDT) mit wIRA und sichtbarem Licht (VIS) erforderlich [17, 35].

3.5 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 [35, 29, 28, 27].

3.6 Resorptionsverbesserung topischer Dermatika und Substanzen

wIRA kann zur Resorptionsverbesserung topischer Dermatika und Substanzen (zum Beispiel Cortison, Lokalanästhetika) als Alternative zum Okklusivverband eingesetzt werden [61, 23, 35, 29].

Für Bestrahlungen mit wIRA wurde durch die Untersuchung funktioneller Effekte penetrierter Substanzen [23, 6] wie auch mit lokalisierenden Methoden [61] 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 [23] und die Vasokonstriktion durch Cortison (erkennbar an der Hautabblassung) war mit wIRA-Bestrahlung ausgeprägter als ohne wIRA-Bestrahlung [6].

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.

3.7 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 [74, 43, 14, 35, 29]. Gegenüber anderen für PDT verwendeten Bestrahlungsquellen ist wIRA(+VIS) schmerzärmer [74, 35, 29]. Durch Wahl entsprechender Farbfiler 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 [35, 27, 17].

3.8 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) [35].

wIRA kann mit niedrigen Bestrahlungsstärken zur Therapie des Complex Regional Pain Syndroms (CRPS, Morbus Sudeck, Algodystrophie), einem möglichen Folgeproblem einer Sportverletzung, eingesetzt werden (kasuistisch) [35].

3.9 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 [24].

Indikationsgebiete für Ganzkörperhyperthermie sind muskuläre Dystonien, Fibromyalgie, Schmerztherapie, Arthrosen, chronische Atemwegserkrankungen, chronische Entzündungsprozesse und chronische Infektionen, Derma-

tosen und Allergien [24, 68]. Insofern kann es auch bei Sporttreibenden Indikationen insbesondere für eine milde wIRA-Ganzkörperhyperthermie (<38,5°C) geben.

4 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 Kuvette 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 im sport- und präventivmedizinischen Bereich 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 Therapie von akuten und chronischen Wunden und Verletzungen sowie bei verschiedenen Hauterkrankungen bei Sporttreibenden (vulgären Warzen, Herpes labialis, Herpes Zoster, Akne papulopustulosa).

wIRA ist ein kontaktfreies, verbrauchsmaterialfreies, leicht anzuwendendes, als angenehm empfundenes Verfahren mit guter Tiefenwirkung. Die Bestrahlung erfolgt typischerweise aus ca. 35–60(–75) cm Abstand mit einem (oder mehreren) wIRA-Strahler(n).

Weitere Fachinformationen zu wassergefiltertem Infrarot A (wIRA):

<http://www.waerme-therapie.com/start/fachartikel.html>

Literatur

- [1] Akca O, Melischek M, Scheck T, Hellwagner K, Arkilic CF, Kurz A et al. Postoperative pain and subcutaneous oxygen tension. *Lancet* 354: 41–42 (1999)
- [2] Albrecht-Buehler G. Surface extensions of 3T3 cells towards distant infrared light sources. *J Cell Biol* 114(3): 493–502 (1991)
- [3] Albrecht-Buehler G. Cellular infrared detector appears to be contained in the centrosome. *Cell Motil Cytoskeleton* 27(3): 262–271 (1994)
- [4] Albrecht-Buehler G. 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 (2005)
- [5] 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* 5(3): 247–251 (2000)
- [6] 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 of the 14th International Congress for Bioengineering and the Skin & 8th Congress of the International Society for Skin Imaging; 2003 May 21–24; Hamburg, P96 (2003)
- [7] 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. Transworld Research Network, Trivandrum, p. 219–231 (2004)

- [8] 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* 124(1–2): 201–210 (2006)
- [9] Cobarg CC. Physikalische Grundlagen der wassergefilterten Infrarot-A-Strahlung. In: Vaupel P, Krüger W (Hrsg.) *Wärmetherapie mit wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung. Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten*. 2. Aufl. Stuttgart: Hippokrates, S. 19–28 (1995)
- [10] Danno K, Horio T, Imamura S. Infrared radiation suppresses ultraviolet B-induced sunburn-cell formation. *Arch Dermatol Res* 284(2): 92–94 (1992)
- [11] 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* 17(6): 261–265 (2001)
- [12] Ehrlicher A, Betz T, Stuhmann B, Koch D, Milner V, Raizen MG, Käs J. Guiding neuronal growth with light. *Proc Natl Acad Sci USA* 99(25): 16024–16028 (2002)
- [13] Falkenbach A, Dorigoni H, Werny F, Gütl S. Wassergefilterte Infrarot-A-Bestrahlung bei Morbus Bechterew und degenerativen Wirbelsäulenveränderungen: Effekte auf Beweglichkeit und Druckschmerzhaftigkeit. *Österr Z Physikal Med Rehab* 6(3):96–102 (1996)
- [14] Foss P. 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 (2003)
- [15] 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* 15(2): 130–137 (2006)
- [16] 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* 123(5): 823–831 (2004)

- [17] 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* 2: Doc08 (2004). www.egms.de/pdf/gms/2004-2/000018.pdf und www.egms.de/en/gms/2004-2/000018.shtml
- [18] Ganz RA, Viveiros J, Ahmad A, Ahmadi A, Khalil A, Tolkoff MJ, Nishioka NS, Hamblin MR. *Helicobacter pylori* in patients can be killed by visible light. *Lasers Surg Med* 36(4): 260–265 (2005)
- [19] 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* 5: Doc08 (2007). www.egms.de/pdf/gms/2007-5/000044.pdf und www.egms.de/en/gms/2007-5/000044.shtml
- [20] Hamblin MR, Viveiros J, Yang C, Ahmadi A, Ganz RA, Tolkoff MJ. *Helicobacter pylori* accumulates photoactive porphyrins and is killed by visible light. *Antimicrob Agents Chemother* 49(7): 2822–2827 (2005)
- [21] 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* 93(8): 952–960 (2006)
- [22] 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* 2(2): Doc53 (2007). www.egms.de/pdf/journals/dgkh/2007-2/dgkh000086.pdf und www.egms.de/en/journals/dgkh/2007-2/dgkh000086.shtml
- [23] Hauptenthal H. In vitro- und in vivo-Untersuchungen zur temperatur-gesteuerten Arzneistoff-Liberation und Permeation. Dissertation an der Johannes Gutenberg-Universität, Mainz (1997)
- [24] Heckel M, Dickreiter B. Ganzkörperhyperthermie: Kontrollierte Erhöhung der Körpertemperatur zu therapeutischen Zwecken. *Natur-Heilkunde Journal* 9(10):16-20 und 9(11):21-24 (2007)
- [25] Hellige G, Becker G, Hahn G. Temperaturverteilung und Eindringtiefe wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung. In: Vaupel P, Krüger W (Hrsg.)

- Wärmetherapie mit wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung. Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten. 2. Aufl. Stuttgart: Hippokrates, S. 63–79 (1995)
- [26] Hoffmann G. Improvement of regeneration by local hyperthermia induced by waterfiltered infrared A (wIRA). *Int J Sports Med* 23 Suppl 2: S145 (2002)
- [27] Hoffmann G. Wassergefiltertes Infrarot A (wIRA) zur Verbesserung der Wundheilung (Übersichtsarbeit). *GMS Krankenhaushyg Interdiszip* 1(1): Doc20 (2006).
www.egms.de/pdf/journals/dgkh/2006-1/dgkh000020.pdf und
www.egms.de/en/journals/dgkh/2006-1/dgkh000020.shtml
- [28] Hoffmann G. Principles and working mechanisms of water-filtered infrared-A (wIRA) in relation to wound healing (review). *GMS Krankenhaushyg Interdiszip* 2(2): Doc54 (2007).
www.egms.de/pdf/journals/dgkh/2007-2/dgkh000087.pdf und
www.egms.de/en/journals/dgkh/2007-2/dgkh000087.shtml
- [29] Hoffmann G. Klinische Anwendungen von wassergefiltertem Infrarot A (wIRA). In: Kaase H, Serick F (Hrsg.) *Sechstes Symposium »Licht und Gesundheit«*. 13.–14.03.2008 in Berlin, S. 130–146 (2008).
<http://publikationen.ub.uni-frankfurt.de/volltexte/2008/5484/>
- [30] Hoffmann G. 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 (2008).
<http://publikationen.ub.uni-frankfurt.de/volltexte/2009/6135/>
- [31] Hoffmann G. Wassergefiltertes Infrarot A (wIRA) zur Verbesserung der Wundheilung bei akuten und chronischen Wunden. *Wundmanagement* 2: 72–80 (2008). <http://publikationen.ub.uni-frankfurt.de/volltexte/2008/5429/>
- [32] Hoffmann G. Wassergefiltertes Infrarot A (wIRA) in der Wundbehandlung: Interview; 3 Fragen an Prof. Dr. med. Gerd Hoffmann. *Heilberufe* 61(7): 14 (2009).
<http://publikationen.ub.uni-frankfurt.de/volltexte/2009/6802/>

- [33] Hoffmann G. Water-filtered infrared-A (wIRA) in acute and chronic wounds (bilingual review). Wassergefiltertes Infrarot A (wIRA) bei akuten und chronischen Wunden. GMS Krankenhaushyg Interdiszip 4(2): Doc12 (2009).
www.egms.de/pdf/journals/dgkh/2009-4/dgkh000137.pdf und
www.egms.de/en/journals/dgkh/2009-4/dgkh000137.shtm
- [34] Hoffmann G. Wassergefiltertes Infrarot A (wIRA) für die Wundheilung. *vasomed* 22: 156–158 (2010).
<http://publikationen.ub.uni-frankfurt.de/volltexte/2010/7881/>
- [35] Hoffmann G. Wassergefiltertes Infrarot A in Chirurgie, Dermatologie, Sportmedizin und weiteren Bereichen. In: Krause R, Stange R (Hrsg): *Lichttherapie*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 2012, S. 25–54 (2012). ISBN 13: 978-3-642-16938-0.
URN: urn:nbn:de:hebis:30:3-241715 ; <http://publikationen.ub.uni-frankfurt.de/frontdoor/index/index/docId/24171>
- [36] Hoffmann G. Wassergefiltertes Infrarot A (wIRA) in Chirurgie und Dermatologie. In: Völker S (Hrsg.). *Siebentes Symposium "Licht und Gesundheit"*. 15.–16.03.2012 in Berlin. Berlin: Universitätsverlag der Technischen Universität Berlin, Universitätsbibliothek, S. 202–231 (2012). <http://publikationen.ub.uni-frankfurt.de/frontdoor/index/index/docId/22797>
- [37] Hoffmann G. Prävention und Therapie im Sport mit wassergefiltertem Infrarot A (wIRA) [Langfassung]. Zu: Haase H, Krüger F, Nicol K, Preiß R (Hrsg): *Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung*. Köln: Sportverlag Strauß (2012). 1. Aufl. Online-Langfassung (nur online erschienen), 21 Seiten: URN: urn:nbn:de:hebis:30:3-233317 ;
<http://publikationen.ub.uni-frankfurt.de/frontdoor/index/index/docId/23331>
- [38] Hoffmann G: Wassergefiltertes Infrarot A (wIRA) in der Dermatologie. *Haut : Dermatologie, Allergologie, Kosmetologie* 2013; 24(5): 228–229.
URN: urn:nbn:de:hebis:30:3-321429 ; <http://publikationen.ub.uni-frankfurt.de/frontdoor/index/index/docId/32142>
- [39] Hoffmann G, Meffert H. Apparent contradiction between negative effects of UV radiation and positive effects of sun exposure. *GMS Ger Med Sci*

- 3: Doc01 (2005). www.egms.de/pdf/gms/2005-3/000019.pdf und www.egms.de/en/gms/2005-3/000019.shtml
- [40] Hoffmann G, Siegfried I. Volkskrankheit Rückenschmerz: neue Sichtweisen. Seminar des Arbeitskreises Sportmedizin der Akademie für ärztliche Fortbildung und Weiterbildung der Landesärztekammer Hessen. Bad Nauheim, 05.06.2004. German Medical Science, Düsseldorf, Köln, Doc 04ruecken1 (2005).
<http://www.egms.de/pdf/meetings/ruecken2004/04ruecken1.pdf> und <http://www.egms.de/en/meetings/ruecken2004/04ruecken1.shtml>
- [41] Hopf HW, Hunt TK, West JM, Blomquist P, Goodson WH III, Jensen JA et al. Wound tissue oxygen tension predicts the risk of wound infection in surgical patients. *Arch Surg* 132: 997–1004 (1997)
- [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* 12(1): 35–40 (1999)
- [43] Hübner K. Die Photo-dynamische Therapie (PDT) der aktinischen Keratosen, Basalzellkarzinome und Plantarwarzen. *derm – Praktische Dermatologie* 11(4): 301–304 (2005)
- [44] Jung T, Höhn A, Piazena H, Grune T. Effects of water-filtered infrared A irradiation on human fibroblasts. *Free Radic Biol Med* 48: 153–160 (2010)
- [45] Karu TI. Primary and secondary mechanisms of action of visible to near-IR radiation on cells (review). *J Photochem Photobiol B* 49(1): 1–17 (1999)
- [46] Karu TI. Low-power laser effects. In: Waynant RW (ed.) *Lasers in medicine*. Boca Raton: CRC Press, p. 171–209 (2002)
- [47] Karu TI. Mitochondrial signaling in mammalian cells activated by red and near-IR radiation. *Photochem Photobiol* 84: 1091–1099 (2008)
- [48] Karu TI. Mitochondrial mechanisms of photobiomodulation in context of new data about multiple roles of ATP. *Photomed Laser Surg* 28(2): 159–160 (2010)

- [49] Karu TI. 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 (2010)
- [50] 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* 28(3): 227–236 (2001)
- [51] 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* 29(3): 274–281 (2001)
- [52] 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* 121(1): 57–61 (2001)
- [53] Künzli BM, Liebl F, Nuhn P, Schuster T, Friess H, Hartel M. Impact of preoperative local water-filtered infrared A irradiation on postoperative wound healing: a randomized patient- and observer-blinded controlled clinical trial. *Ann Surg* 2013;258(6):887–894.
DOI: 10.1097/SLA.0000000000000235
- [54] Meffert H, Müller GM, Scherf HP. Milde Infrarot-A-Hyperthermie zur Behandlung von Erkrankungen des rheumatischen Formenkreises. Anhaltende Verminderung der Aktivität polymorphkerniger Granulozyten. *Intern Sauna-Arch.* 10:125–129 (1993)
- [55] 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* 111(4): 629–633 (1998)
- [56] 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* 15(3): 89–94 (2005)
- [57] 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* 6: Doc11 (2008).
www.egms.de/pdf/gms/2008-6/000056.pdf und
www.egms.de/en/gms/2008-6/000056.shtml

- [58] Merle S. 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 (1995)
- [59] Möckel F, Hoffmann G, Obermüller R, Drobnik W, Schmitz G. Influence of water-filtered infrared-A (wIRA) on reduction of local fat and body weight by physical exercise. *GMS Ger Med Sci* 4: Doc05 (2006). www.egms.de/pdf/gms/2006-4/000034.pdf und www.egms.de/en/gms/2006-4/000034.shtml
- [60] 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 (15.07.2010). www.idw-online.de/de/news379477 (deutsch) und www.idw-online.de/en/news379479 (englisch)
- [61] Otberg N, Grone D, Meyer L, Schanzer S, Hoffmann G, Ackermann H, Sterry W, Lademann J. Waterfiltered infrared-A (wIRA) can act as a penetration enhancer for topically applied substances. *GMS Ger Med Sci* 6: Doc08 (2008). www.egms.de/pdf/gms/2008-6/000053.pdf und www.egms.de/en/gms/2008-6/000053.shtml
- [62] Pascoe DD, Mercer JB, de Weerd L. Physiology of thermal signals. In: Bronzino JD (ed.) *Biomedical Engineering Handbook*, 3rd edition. Boca Raton: Taylor and Francis Group, CRC press, p. 21-1–21-20 (2006)
- [63] Pediani R. What has pain relief to do with acute surgical wound healing? *World Wide Wounds* 2001 (2001). www.worldwidewounds.com/2001/march/Pediani/Painrelief-surgical-wounds.html
- [64] Piazena H. Vergleich der Spektren eines Strahlers für wassergefiltertes Infrarot A (wIRA, 1) und der Sonne in den Subtropen bei wolkenlosem Himmel am Mittag im Juni in Meeresspiegelhöhe (2) sowie beispielhaft von zwei unterschiedlichen Halogenstrahlern ohne Wasserfilterung für therapeutische und Wellnessanwendungen (3 und 4) (2013). Graphik aus Wikimedia Commons: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:WIRA-Wiki-GH-017C-de-Spektren-wIRA-Sonne-Halogenstrahler.png>

- [65] 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* 86(3): 687–705 (2010)
- [66] Piazena H, Meffert H. 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«*. 13.–14.03.2008 in Berlin, S. 162–178 (2008)
- [67] Piazena H, Meffert H, Uebelhack R, Müller W, Pittermann W, Jung K, Kietzmann M. Thermische, schädigende und protektive Wirkungen von Infrarot-Hautbestrahlungen. In: Völker S, Hrsg. *Siebentes Symposium "Licht und Gesundheit"*. 15.–16.03.2012 in Berlin.: Universitätsverlag der Technischen Universität Berlin, Universitätsbibliothek, S. 161–182 (2012)
- [68] Rowe-Horwege RW. Hyperthermia, systemic. In: Webster JG (ed.): *Encyclopedia of medical devices and instrumentation*. Second edition. John Wiley & Sons, p. 42–62 (2006)
- [69] Rzeznik J. Die Technik zur loko-regionalen Wärmetherapie mit wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung. In: Vaupel P, Krüger W (Hrsg.) *Wärmetherapie mit wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung. Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten*. 2. Aufl. Stuttgart: Hippokrates, S. 29–46 (1995)
- [70] Schumann H, Calow T, Weckesser S, Müller ML, Hoffmann G. 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 (2011)
- [71] Stofft E, Vaupel P. Wassergefilterte Infrarot-A-Strahlung versus Fango-Paraffin-Packung: Temperaturprofile bei lokoregionaler Wärmetherapie. *Phys Rehab Kur Med* 6: 7–11 (1996)
- [72] Vaupel P, Rzeznik J, Stofft E. Wassergefilterte Infrarot-A-Strahlung versus konventionelle Infrarotstrahlung: Temperaturprofile bei lokoregionaler Wärmetherapie. *Phys Rehab Kur Med* 5: 77–81 (1995)
- [73] Vaupel P, Stofft E. Wassergefilterte Infrarot-A-Strahlung im Vergleich zu konventioneller Infrarotstrahlung oder Fango-Paraffin-Packungen: Temperaturprofile bei lokaler Wärmetherapie. In: Vaupel P, Krüger W (Hrsg.) *Wärmetherapie mit wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung*.

Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten. 2. Aufl. Stuttgart: Hippokrates, S. 135–147 (1995)

- [74] von Felbert V, Hoffmann G, Hoff-Lesch S, Abuzahra F, Renn CN, Braathen LR, Merk HF. 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 (2010)
- [75] 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* 2(2): Doc52 (2007). www.egms.de/pdf/journals/dgkh/2008-2/dgkh000085.pdf und www.egms.de/en/journals/dgkh/2008-2/dgkh000085.shtml
- [76] Wärmelampe: Weniger Wundinfektionen. *Dtsch Arztebl.* 110(43): A-2034 / C-1759 (2013). <http://www.aerzteblatt.de/pdf.asp?id=148401>
- [77] Wolf A. Simultane Kombination von Ergometertraining mit wassergefiltertem Infrarot A (wIRA). *Bestrahlungseinheit mit 8–12 wIRA-Strahlern um ein drehzahlunabhängiges Ergometer* (2001).
Foto aus Wikimedia Commons:
<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:WIRA-Wiki-GH-016-Ergometer-cycling-combined-with-wIRA.jpg>