

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

Zusammenfassung

Die Langfassung dieses Beitrags mit der vollständigen Literaturliste befindet sich im Internet-Anhang (s. S. VIII) und auf dem Dokumentenserver der Universitätsbibliothek Frankfurt am Main: URN: urn:nbn:de:hebis:30:3-233317 ; <http://publikationen.ub.uni-frankfurt.de/frontdoor/index/index/docId/23331>.

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. Durch die Filterung der Infrarotstrahlung der Sonne durch Wasser und Wasserdampf in der Erdatmosphäre werden bestimmte Strahlungsanteile gemindert und eine unerwünschte thermische Belastung der obersten Hautschicht wird vermieden. 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 ist wIRA als kontaktfreies Verfahren simultan mit Bewegung und Training kombinierbar. 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 sowie zum Aufrechterhalten oder Erhöhen der Körpertemperatur einschließlich Kompensation einer Hypothermie.*

Für über diesen Beitrag hinausgehende Informationen zu wIRA siehe insbesondere Hoffmann 2012a, 2007, 2008a, 2009b sowie die Langfassung dieser Publikation auf dem Dokumentenserver (s. Überschrift; Hoffmann 2012b).

Wirkprinzipien

Die folgenden Darlegungen basieren auf Publikationen von Hoffmann 2006; 2007, 2008c, 2008a, 2009b, 2012a; Fuchs 2004; Cobarg 1995; Rzeznik 1995; Piazena & Meffert 2008; Albrecht-Bühler 1991, 1994, 2005; Ehrlicher 2002; Karu 1999, 2002, 2008, 2010a, 2010b; Karu et al. 2001a, 2001b, 2001c; Chow 2006; Gebbers et al. 2007; Hartel et al. 2006; Vaupel et al. 1995; Stofft & Vaupel 1996; Vaupel & Stofft 1995; Mercer et al. 2008; Mercer & de Weerd 2005; Pascoe et al. 2006; Hellige 1995; Danno et al. 2001; Horwitz et al. 1999; Menezes et al. 1998; Frank et al. 2006, 2004; Jantschitsch 2009; Danno et al. 1992; Applegate et al. 2000; Burri et al. 2004; Hoffmann & Meffert 2005.

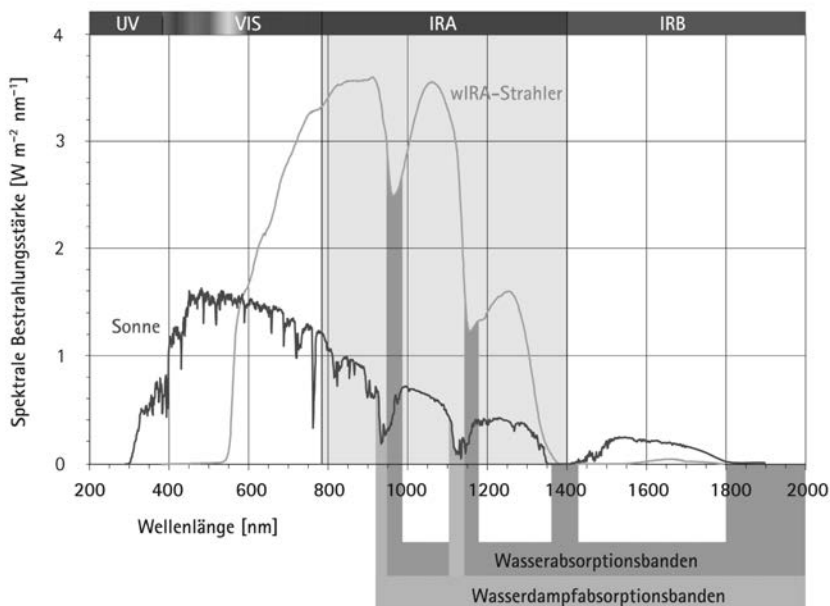


Abb. 1 Vergleich der Spektren eines wassergefilterten Infrarot-A-Strahlers und der Sonne bei wolkenlosem Himmel am Mittag in Meeresspiegelhöhe in den Subtropen (mit freundlicher Genehmigung von Dr. Helmut Piazena, Charité Berlin; aus Hoffmann 2012a)

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

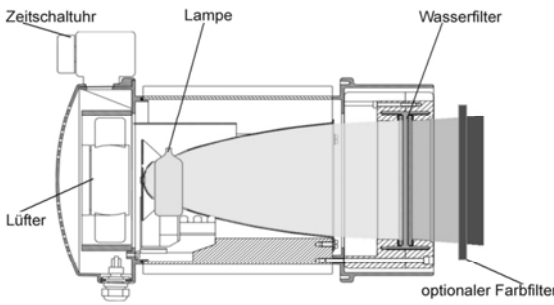


Abb. 2 Querschnitt eines wassergefilterten Infrarot-A-Strahlers (aus Hoffmann 2009b)

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. Typische wIRA-Strahler emittieren keine Ultraviolett-Strahlung (UV) und nahezu kein Infrarot B und C. Der Anteil der Infrarot-A-Strahlung ist im Verhältnis zum sichtbaren Licht (380-780 nm) betont.

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, 800, 820 und 830 nm). Diese Wellenlängen scheinen, vor allem im Hinblick auf nicht-thermische Effekte, den klinisch wichtigsten Teil von Infrarot A und wIRA darzustellen.

wIRA als spezielle Form der Infrarotstrahlung wirkt sowohl über thermische (auf Wärmeenergieübertragung bezogene) und temperaturabhängige (mit Temperaturänderung auftretende) als auch über nicht-thermische und temperaturunabhängige Effekte.

- wIRA steigert die Temperatur, z. B. oberflächlich von 32,5°C um fast 6°C auf 38,2°C bzw. in 2 cm Gewebetiefe um 2,7°C.
- wIRA steigert den Sauerstoffpartialdruck, z.B. in 2 cm Gewebetiefe um circa 30%.
- wIRA steigert die Gewebedurchblutung; an der Oberfläche kann sie sich verachtfachen, bis in circa 5 cm Tiefe ist eine Steigerung nachweisbar.

Dies sind drei entscheidende Faktoren für eine ausreichende Versorgung des Gewebes mit Energie und Sauerstoff.

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. Die Verbesserung sowohl der Energiebereitstellung als auch der Sauerstoffversorgung stellt einen Teil der Erklärung für die klinisch gute Wirkung von wIRA z.B. auf Wunden, Wundinfektionen und Regeneration dar.

Zusätzlich hat wIRA nicht-thermische Effekte, die darauf beruhen, direkte Reize auf Zellen und zelluläre Strukturen zu setzen: Reaktionen der Zellen auf Infrarot - auch zum Teil bei sehr kleinen Bestrahlungsintensitäten - sind zum Beispiel zielgerichtetes Plasmodienwachstum, Beeinflussung der Cytochrom-c-Oxidase, zielgerichtetes Wachstum von Neuronen, Stimulation der Wundheilung sowie zellschützende Effekte von Infrarot A und wIRA. Die Verbesserung der Regeneration 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.

Allgemeine Aspekte bei klinischen Anwendungen

Die folgenden Darlegungen basieren auf Publikationen von Hoffmann 2012a, 2009b, 2007, 2006, 2008a, 2008b; Hartel et al. 2006; Möckel et al. 2006; Schumann et al. 2011; Gebbers et al. 2007; Applegate et al. 2000; Burri et al. 2004; Jung et al. 2010; Voss et al. 2007; Menezes et al. 1998; Frank et al. 2006, 2004; Danno et al. 1992; Hoffmann & Meffert 2005; Piazena & Kelleher 2010; Müller 2010; Rzeznik 1995.

Wesentliche klinische Wirkungen von wIRA sind - indikationsübergreifend - eine *Minderung von Schmerzen, Entzündung und vermehrter Sekretion* sowie eine *Verbesserung der Infektabwehr und der Regeneration*. 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. Dabei können selbst ungestört "normal" ablaufende Vorgänge, wie eine Regeneration nach sportlicher Belastung oder ein normaler Wundheilungsprozess, durch wIRA noch verbessert werden. Entsprechend relativ breit sind die klinischen Anwendungsmöglichkeiten von wIRA.

wIRA ist ein kontaktfreies, verbrauchsmaterialfreies, selbst bei Wunden leicht anzuwendendes, als angenehm empfundenes Verfahren mit guter Tiefenwirkung und anhaltendem Wärmedepot. wIRA ist kreislaufschonend (verglichen mit warmem Vollbad), sauber (verglichen mit Fango), bei verschiedensten Lagerungen einsetzbar und benötigt keine Fixierung (verglichen mit warmem Wickel).



Abb. 3 Bestrahlung einer Wunde mit einem wassergefilterten Infrarot-A-Strahler (aus Mercer et al. 2008)

wIRA bietet Bewegungsfreiheit, eine simultane Kombination mit Bewegung ist möglich. Auch eine Anwendung von wIRA-Strahlern bei Patienten zu Hause hat sich als sehr gut praktikabel erwiesen. wIRA ist vor allem durch Variation des Bestrahlungsabstands und damit der Bestrahlungsstärke sowie über die Zeit sehr gut dosierbar. wIRA kann lokal / körperregionbezogen (lokoregional) oder auch systemisch auf den gesamten Körper wir-

kend (Ganzkörperhyperthermie) eingesetzt werden.

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 bzw. 80-160 mW/cm² wIRA und sichtbares Licht VIS). Bei Bedarf kann der Abstand vergrößert und so die Bestrahlungsstärke verringert werden. 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. 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.

Für wIRA mit angemessenen therapeutischen Bestrahlungsstärken und -dosen konnte nicht nur gezeigt werden, dass es für menschliche Haut unbedenklich ist, sondern dass es zellschützende Effekte gegen UV-bedingte Schäden hat. Aufgrund einer Reihe von Publikationen zu Sicherheitsaspekten der klinischen Anwendung von wIRA und langjähriger klinischer Erfahrungen ist die Anwendung von wIRA mit adäquaten Bestrahlungsstärken als sicher anzusehen. Da sich der Mensch unter dem Einfluss der wassergefilterten Infrarotstrahlung der Sonne in der Evolution entwickelt hat, kann zudem - vor allem im Hinblick auf nicht-thermische Effekte - wIRA als naturnahes Verfahren im Gegensatz zum Beispiel zur Radiofrequenz-Hyperthermie angesehen werden.

Klinische Anwendungen mit Bezug zu Sport

Die folgenden Darlegungen basieren auf Publikationen von Hoffmann 2012a, 2009b, 2008a, 2007, 2006, 2002, 1994; Hoffmann & Siegfried 2005; Meffert et al. 1993; Merle 1995; Falkenbach et al. 1996; Hartel et al. 2007; Möckel et al. 2006; Hartel et al. 2006; von Felbert et al. 2007, 2010; Schumann et al. 2011; Fuchs et al. 2004; Otberg et al. 2008; Hauptenthal 1997; Bankova et al. 2003; Hübner 2005; Foss 2003; Heckel & Dickreiter 2007; Rowe-Horwege 2006.

Physiotherapie, Sportmedizin und Orthopädie

Die klinische Anwendung von wIRA kann präventiv, therapeutisch, regenerativ oder rehabilitativ erfolgen. 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), Lumbago, Erkrankungen des rheumatischen Formenkreises, Arthrosen, Arthritiden (entzündungsmindernder Effekt), Morbus Bechterew, Kontusionen und in der postoperativen Rehabilitation. Die Resorption von Hämatomen und Seromen kann durch wIRA beschleunigt werden. wIRA kann zur Erwärmung der Muskulatur vor sportlicher Belastung, vor und während Massage sowie im Rahmen der muskulären Regeneration nach Sport auch zur Prävention oder Minderung der Symptome eines „Muskelkaters“ eingesetzt werden.

wIRA ist in Ruhe oder in Kombination mit Bewegung (s. unten) zur muskulären Regeneration nach Sport anwendbar. 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 ($p=0,014$) 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. Nach den 20 Minuten Ruhe (mit bzw. ohne Bestrahlung) folgte eine zweite Ergometrie, in der die Leistungsfähigkeit am Tag mit Bestrahlung signifikant weniger ($p=0,013$) als am Kontrolltag absank.

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). 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 (Laktatkonzentration 2 mmol/l) 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. 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. 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 $-8,0$ cm ($-10,5$ cm/ $-4,1$ cm) gegenüber $-1,8$ cm ($-4,4$ cm/ $0,0$ cm). 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). 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. Genutzt werden kann dies, um in Verbindung mit einer angemessenen Ernährung die Körperzu-

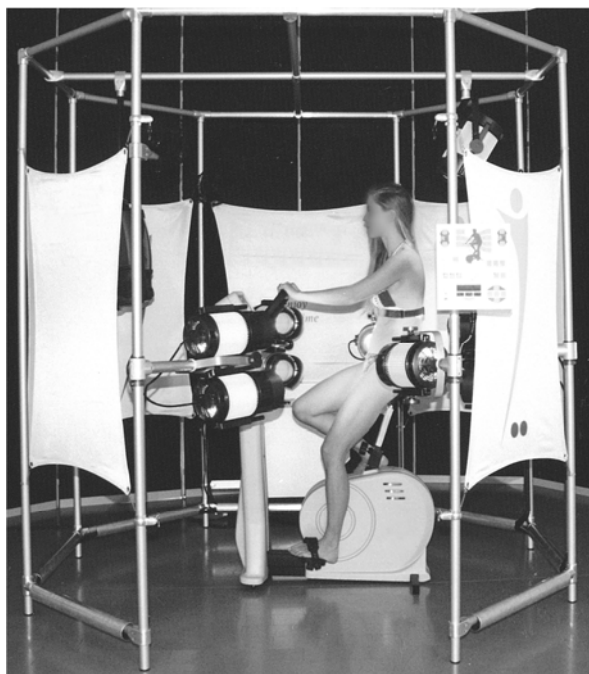


Abb. 4 Simultane Kombination von Ergometertraining mit wIRA. Bestrahlungseinheit mit 8-12 wIRA-Strahlern um ein drehzahlunabhängiges Ergometer (<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:WIRA-Wiki-GH-016-Ergometer-cycling-combined-with-wIRA.jpg>)

sammensetzung, insbesondere die lokale Fettverteilung, und die Abnahme von Fett und Körpergewicht bei adipösen Personen zu verbessern.

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

Verletzungen und Wunden

wIRA kann die Heilung akuter und chronischer Wunden einschließlich infizierter Wunden beschleunigen oder bei stagnierender Wundheilung ermöglichen. Selbst der normale Wundheilungsprozess kann verbessert werden. wIRA vermag Schmerzen mit bemerkenswert niedrigerem Analgetikabedarf deutlich zu mindern, eine erhöhte Wundsekretion und Entzündung herabzusetzen sowie infektionsmindernd zu wirken. wIRA kann generell - mit Ausnahme oder besonderen Vorsichtskautelen bei arterieller Verschlusskrankheit - für die Therapie von akuten und chronischen Wunden empfohlen werden.

Aufgrund von 6 klinischen Studien (u.a. große abdominale Operationen, schwerbrandverletzte Kinder, chronische venöse Unterschenkelulzera) sind die folgenden Wirkungen mit *Evidenzgrad Ia/Ib* belegt: 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: Niedrigere Wundinfektionsrate und kürzerer Krankenhausaufenthalt. Weitere klinische Beobachtungen sind Entzündungsminderung und Hypersekretionsminderung.

Weitere klinische Anwendungen mit Bezug zu Sport

wIRA kann auch zur Therapie von vulgären Warzen (in Kombination mit Keratolyse und Kürettage) und Herpes labialis, zur Resorptionsverbesserung topischer Dermatika und zur photodynamischen Therapie (PDT) von aktinischen Keratosen sowie bei weiteren Erkrankungen (z.B. Complex Regional Pain Syndrom nach einer Sportverletzung) bei Sporttreibenden eingesetzt werden. Auch eine milde wIRA-Ganzkörperhyperthermie kann im Einzelfall indiziert sein.

Zu Details und zum vollständigen Literaturverzeichnis wird auf die Langfassung dieser Publikation im Internet auf dem Dokumentenserver der Universitätsbibliothek Frankfurt am Main verwiesen (Hoffmann 2012b):

URN: urn:nbn:de:hebis:30:3-233317 ;

<http://publikationen.ub.uni-frankfurt.de/frontdoor/index/index/docId/23331>

Literatur

- Hartel, M., Hoffmann, G., Wentz, M., Martignoni, M., Büchler, M., & 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
- Hartel, M., Illing, P., Mercer, J., Lademann, J., Daeschlein, G. & Hoffmann, G. (2007). Therapy of acute wounds with water-filtered infrared-A (wIRA) (review). *GMS Krankenhaushyg Interdiszip.*, 2 (2), Doc 53.
<http://www.egms.de/pdf/journals/dgkh/2007-2/dgkh000086.pdf> und
<http://www.egms.de/en/journals/dgkh/2007-2/dgkh000086.shtml>
- 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.
- Hoffmann, G. (2002). Improvement of regeneration by local hyperthermia induced by waterfiltered infrared A (wIRA). *Int J Sports Med.*, 23, Suppl 2, 145.
- Hoffmann, G. (2006). Wassergefiltertes Infrarot A (wIRA) zur Verbesserung der Wundheilung (Übersichtsarbeit). *GMS Krankenhaushyg Interdiszip.* 1 (1), Doc 20. <http://www.egms.de/pdf/journals/dgkh/2006-1/dgkh000020.pdf> und <http://www.egms.de/en/journals/dgkh/2006-1/dgkh000020.shtml>
- Hoffmann, G. (2007). Principles and working mechanisms of water-filtered infrared-A (wIRA) in relation to wound healing (review). *GMS Krankenhaushyg Interdiszip.* 2 (2), Doc 54.
<http://www.egms.de/pdf/journals/dgkh/2007-2/dgkh000087.pdf> und
<http://www.egms.de/en/journals/dgkh/2007-2/dgkh000087.shtml>
- Hoffmann, G. (2008a). Klinische Anwendungen von wassergefiltertem Infrarot A (wIRA). In H. Kaase & F. Serick (Hrsg.), *Sechstes Symposium "Licht und Gesundheit". 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 (S. 130–146). Berlin. Auch online:

<http://publikationen.ub.uni-frankfurt.de/volltexte/2008/5484/>

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/>

Hoffmann, G. (2009b). Water-filtered infrared-A (wIRA) in acute and chronic wounds (bilingual review). Wassergefiltertes Infrarot A (wIRA) bei akuten und chronischen Wunden (zweisprachige Übersichtsarbeit). *GMS Krankenhaushygiene Interdisziplinär*. 4 (2), Doc 12. 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>

Hoffmann, G. (2012a). Wassergefiltertes Infrarot A in Chirurgie, Dermatologie, Sportmedizin und weiteren Bereichen. In R. Krause & R. Stange (Hrsg.). *Lichttherapie* (S. 25-54). Heidelberg: Springer.

URN: urn:nbn:de:hebis:30:3-241715 ; <http://publikationen.ub.uni-frankfurt.de/frontdoor/index/index/docId/24171>

Hoffmann, G. (2012b). Prävention und Therapie im Sport mit wassergefiltertem Infrarot A (wIRA). Zu: H. Haase, F. Krüger, K. Nicol & R. Preiß (Hrsg.): *Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung* (S. 238-246 [Kurzfassung]). Köln: Strauß, 2012. Online-Langfassung:

URN: urn:nbn:de:hebis:30:3-233317 ; <http://publikationen.ub.uni-frankfurt.de/frontdoor/index/index/docId/23331> und
<http://www.sport.uni-frankfurt.de/Personen/Preiss/preiss.htm>

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

Karu, T. I. (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

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

- Mercer, J., Nielsen, S. & 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>
- 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>
- Müller, W. (2010). 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).
- Piazena, H. & Kelleher, D. (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
- Schumann, H., Calow, T., Weckesser, S., Müller, M. & 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.
- von Felbert, V., Hoffmann, G., Hoff-Lesch, S., Abuzahra, F., Renn, C., Braathen, L. & Merk, H. (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.1365-133.2010.09817.x
- von Felbert, V., Schumann, H., Mercer, J., 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>