

Milde Infrarot-A-Hyperthermie Grundlagen, Bestrahlungstechnik, biologische Effekte und therapeutische Anwendungen

H. Meffert, H.-P. Scherf, Beate Meffert¹

Dermatologische Klinik und Poliklinik der Medizinischen Fakultät (Charité) der Humboldt-Universität zu Berlin
(Direktor: Prof. Dr. med. N. Sönnichsen)

¹ Fachbereich Elektrotechnik der Humboldt-Universität zu Berlin

Zusammenfassung

Kurzwellige Infrarotstrahlung (nahes Infrarot, Infrarot A, IRA; Wellenlängen zwischen 760 und 1400 nm) wird erst in Höhe der hautnahen Kapillaren in Wärme umgewandelt, die dann mit dem strömenden Blut im Körper verteilt wird. Auf diese Weise kann der Körper schonend und effektiv überwärmt werden. Bei der Milden Infrarot-A-Hyperthermie werden Rektaltemperaturen von 38,5 °C nicht überschritten. Infolge des raschen Wärmeeintrages vergrößern sich der funktionelle Gefäßquerschnitt, die Muskelclearance und die Reagibilität der kleinen Gefäße. Letzteres konnte durch Fourier-Analyse vom peripheren Pulskurven und akraler Wiedererwärmung bestätigt werden. Nach seriellen Infrarot-A-Behandlungen traten anhaltende Besserungen ein. So war bei Hypertonie-Patienten im Stadium I und II der diastolische Blutdruck nach sechs Wochen Ende der Bestrahlungsserie normalisiert und bei Patientinnen mit systemischer Sklerodermie hielten klinische Besserung und relative Beschleunigung der akralen Wiedererwärmung monatelang an. Bedenkliche Nebenwirkungen wurden nicht beobachtet. Die Milde Infrarot-A-Hyperthermie ist eine aktuelle Version der klassischen Wärmetherapie, deren denkbare Indikationen von Erkrankungen des rheumatischen Formenkreises über Migräne bis zur vasomotorisch bedingten Impotentia coeundi reichen.

Mild Infrared A-Hyperthermia Basic Principles, Irradiation Technique, Biologic Responses and Therapeutic Applications

Short-wave infrared radiation (near infrared, Infrared A, IRA; wavelengths between 760 and 1400 nm) becomes converted into heat just at the level of superficial capillaries, which is then distributed by flowing blood through out the human body. Hence, it is feasible to induce hyperthermia in a manner that is both smooth and efficient. In case of Mild Infrared A-Hyperthermia rectal temperatures do not exceed 38.5 °C. Because of the rapid rise of core temperature, the functional small blood vessel diameter and muscle clearance enlarge, and function and reactivity of small blood vessels improve. This was confirmed by Fourier analysis of peripheral pulse curves and acral skin rewarming. Following serial infrared irradiations, long-term effects occurred. For example, diastolic blood pressure remained normalised for another 6 weeks after the end of the irradiation serial, and in patients with systemic scleroderma clinical improvement and relative acceleration of acral skin rewarming remained noticeable for several months. Mild infrared A-hyperthermia is an update version of classical heat treatment. Its possible indications range from rheumatic diseases via migraine to vasomotoric impotentia coeundi.

Einleitung

Die Anwendung von Wärme ist eine der ältesten Heilmethoden. Seit dem Altertum sind immer wieder Berichte von überraschenden Heilungen unterschiedlichster Erkrankungen nach Fieberattacken bekannt geworden. Es lag nahe, die beim Fieber offenkundig so segensreiche Erwärmung des Körpers durch Wärmeeintrag, d. h. mit physikalischen Methoden zu bewerkstelligen. Heißes Wasser (Überwärmungsbad), heiße Luft (Sauna) und wärmende Sonnenstrahlen (Heliotherapie)

erwiesen sich als probate Medien. Im Jahre 1801 wies *Friedrich Wilhelm Herschel* die Wärmestrahlung, auch als Infra- oder Ultrarotstrahlung bezeichnet, im Sonnenlicht nach (7). Erst die Entwicklung der Lichttechnik im 20. Jahrhundert ermöglichte es, dem Körper deutlich mehr Wärmestrahlung zuzuführen, als das bei Verwendung von Sonnenlicht möglich ist. Zu Beginn der 30er Jahre erkannte *A. Bachem*, daß der kurzwellige Anteil der Wärmestrahlung (nahes Infrarot, Infrarot-A/IRA; Wellenlängen zwischen 760 und 1400 nm) in der Lage ist, auf schonende und effektive Weise große Wärmemengen in den menschlichen Körper einzutragen (1). Seit den 50er Jahren ist die Infrarottherapie vor allem mit dem Namen *M. Heckel* verbunden (6). Den Anstoß zur gegenwärtigen Renaissance der Infrarot-Therapie gaben wesentliche tech-

nische Verbesserungen (4). In der vorliegenden Übersicht wird auch über neue Indikationen der Milden Infrarot-A-Hyperthermie berichtet, bei der die Körperkerntemperatur definitionsgemäß auf maximal 38,5 °C erhöht wird.

Physikalische, physiologische und technische Grundlagen

Physikalisch ist Strahlung als aus elektromagnetischen, Energie transportierenden Wellen bestehend definiert. Der Energiegehalt ist der Wellenlänge umgekehrt proportional. So ist die Energie ultravioletter Strahlung (Wellenlängen zwischen 100 und 385 nm) etwa 10 000fach größer als die der Infrarot-A-Strahlung (Wellenlängen zwischen 760 und 1400 nm). Entsprechend unterschiedlich sind die zu erwartenden Wirkungen im Körper. Während ultraviolette Strahlung bestimmte Moleküle chemisch zu modifizieren vermag, kann die vergleichsweise geringe Energie der Infrarotstrahlung nur die Eigenschwingung der Moleküle mehr oder minder stark anregen. Die Zunahme der Eigenschwingung der Moleküle wirkt sich als Erwärmung aus. Voraussetzung für diese Erwärmung ist die Absorption der Strahlung im Molekül. Nur absorbierte Strahlung wirkt, und unterschiedliche Moleküle absorbieren Infrarotstrahlung auch unterschiedlich. In kompliziert zusammengesetzten Systemen – wie dem menschlichen Körper – kommt es deshalb zu ungleichmäßiger Erwärmung, die nur bis zu einem gewissen Grade durch Wärmeleitung und -transport rasch ausgeglichen werden kann. Diese punktuelle Überhitzung soll durch die bei 940, 1180 und 1380 nm stark absorbierenden Hydroxylgruppen des Wassers verursacht sein (17). Dabei kommt es zu starker Erwärmung der Körperoberfläche, die üblicherweise mit Schmerzempfindungen einhergeht. Dieses Phänomen tritt in extremer Weise im trockenen Wüstenklima auf, wenn die an infraroten Anteilen reiche Sonnenstrahlung auf die ungeschützte Haut trifft (17). Deshalb erscheint es als sinnvoll, Infrarotstrahlung für die therapeutische Anwendung durch Wasser zu filtern.

Der wesentliche Vorteil der Wasserfiltration der Infrarotstrahlung besteht darin, daß hierbei große Anteile des Infrarot-A die Wasserschicht passieren, während längerwellige Wärmestrahlung zurückgehalten wird (Abb. 1). Infrarot-A durchdringt die oberflächlichen Hautschichten weitaus besser als Infrarotstrahlung größerer Wellenlängen und wird erst in Höhe des blutgefäßführenden Korium aus Wärmestrahlung in Wärme umgewandelt (Abb. 2).

Im Korium verteilt sich die Wärme dann in die Umgebung und wird auch – und das ist für die systemische Überwärmung ausschlaggebend – mit dem fließenden Blut rasch im Organismus verteilt. Mit dem Blut wird Wärme wesentlich schneller als durch Wärmeleitung transportiert (Prinzip der Warmwasserheizung). Die prompt einsetzende, gegenregulatorische Weitstellung der kleinen hautnahen Blutgefäße dient der Abgabe der nun vermehrten Körperwärme an die Umgebung (6). Bei fortwährender Bestrahlung begünstigt die Gefäßerweiterung den weiteren Wärmeeintrag in den Körper.

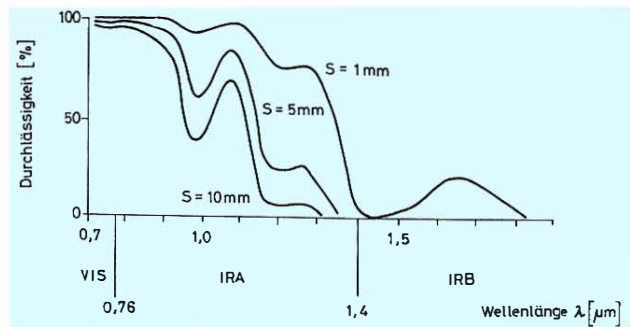


Abb. 1 Prozentuale Durchlässigkeit von Wasser in verschiedenen Schichtdicken für Infrarot-A- und Infrarot-B-Strahlung (nach [17]).

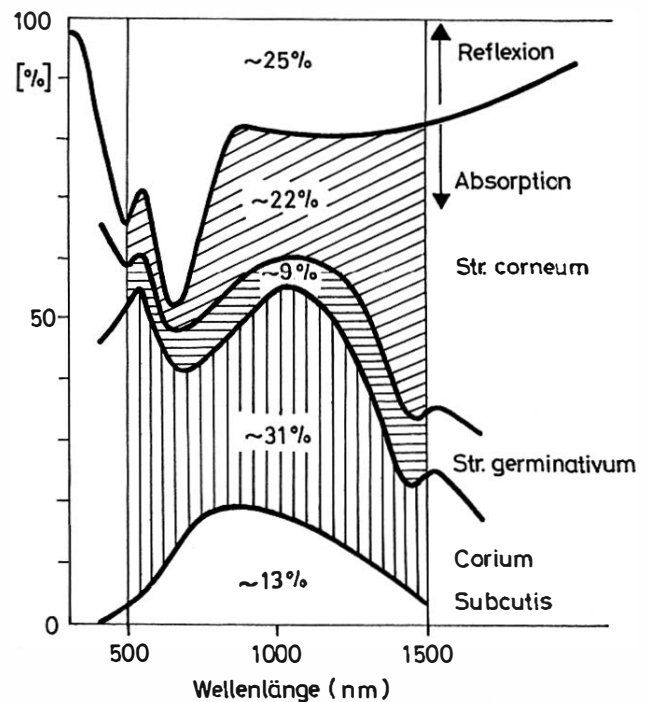


Abb. 2 Reflexion und anteilige Absorption in den verschiedenen Hautschichten bei oberflächlicher Bestrahlung (nach [14]). Im Wellenlängenbereich vom 760–1400 nm ist die relative Absorption im Korium und Stratum germinativum besonders günstig.

Die Wellenlängenabhängigkeit der Infrarotabsorption in den verschiedenen Hautschichten erklärt, warum selbst bei Anwendung größerer Infrarot-A-Dosen nicht das vom längerwelligeren Infrarot bekannte Hitzegefühl auftritt. Infrarot-Hyperthermiegeräte älterer Bauart emittieren auch erhebliche, d. h. störende Mengen langwelliger Infrarotstrahlung. Der dabei auftretende Hitzeschmerz begrenzt nicht nur die Intensität der Hyperthermie. Hitzeschmerz und -pigmentierung sind als Symptome thermischer Hautschädigung ernst zu nehmen. Durch die Hitze eines Kaminofens im Bereich eines gewohnheitsmäßig erzeugten Hitzeerythems ausgelöste Hautkrebe wurden aus England bekannt (16).

Die technischen Voraussetzungen für die systemische Infrarot-A-Hyperthermie wurden grundsätz-

lich verbessert, als *Manfred von Ardenne* (Dresden) einer Anregung von *Erwin Braun* (Engelberg/Schweiz) folgend im Jahre 1985 eine spezielle Konzeption für die Entwicklung einer neuartigen Bestrahlungsapparatur vorlegte (4). Kernstück der Hyperthermieeinrichtung IRA-Therm sind Halogenglühlampen mit 1300 Watt Nennleistung, deren Emission durch einen Wassermantel gefiltert wird. Das Prinzip der Hyperthermieeinrichtung ist in Abbildung 3 dargestellt.

Der Patient liegt unbedeckt auf einem dünnen, knotenfreien Nylonnetz von 6 mm Maschenweite, das zwischen zwei Glasfaserholme gespannt ist. Die Infrarot-A-Bestrahlung erfolgt von unten. Im Bedarfsfalle können bis zu zwei Beistelleinheiten hinzugenommen werden, die mit den gleichen Strahlern bestückt sind. Die Infrarot-A-Bestrahlungsstärke ist zwischen 1,7 und 12 W/dm² stufenlos regelbar.

Biophysikalische Testung der Hyperthermieeinrichtung

Leistungsfähigkeit und Verträglichkeit des Verfahrens wurden an acht freiwilligen, gesunden, voll aufgeklärten Probanden überprüft (12). Körperkerntemperaturen von 40 °C wurden im Mittel innerhalb von 70 Minuten erreicht. Bei der hier interessierenden Milderen Infrarot-A-Hyperthermie soll die Kerntemperatur 38,5 °C nicht überschreiten. Hierfür sind Bestrahlungszeiten von 30 Minuten ausreichend. Unter der Bestrahlung zeigten die mit einer Infrarotkamera aufgenommenen Oberflächentemperaturen eine charakteristische Verteilung. Im Mittel erwärmten sich Gesäß (42,3 °C), Oberschenkel (41,3 °C) und Abdomen (41,0 °C) am stärksten. Deutlich weniger wurden die distalen Anteile der Extremitäten und – mit Ausnahme der weiblichen Brust – der ventale Thorax erwärmt. Der dorsale Thorax zeigte eine homogene, nach kranial abfallende Temperaturverteilung. Nach dem Erreichen von Kerntemperaturen um 40 °C lagen die Minima der Hauttemperatur um 3,1 °C unter der Kerntemperatur. Der thermische Wirkungsgrad (Verhältnis der angebotenen Bestrahlungsleistung zur absolvierten, durch die Temperaturanstiegszeit repräsentierten Leistung) betrug etwa 10.

Bei halbstündiger Bestrahlung erreichte die Pulsfrequenz nur selten Werte über 100 pro Minute. Eine ähnlich geringe Kreislaufbelastung ist von der Infrarot-Hyperthermie nach dem Verfahren von *Heckel* bekannt (3). Bei insgesamt vergrößerter Blutdruckamplitude stieg der systolische Blutdruck initial im Mittel um 16 mm Quecksilbersäule, um dann kontinuierlich abzusinken. Der diastolische Blutdruck fiel mit Beginn der Bestrahlung, seine Senkung hielt auch während der Nachruhephase an. Auch der arterielle Mitteldruck verminderte sich unter der Bestrahlung stetig (18). Der funktionelle Gefäßquerschnitt war vergrößert und die Muskelclearance verlief beschleunigt (20). Die untersuchten paraklinischen Routineparameter veränderten sich unter Infrarot-A-Hyperthermie nicht oder nur unwesentlich (15). Die Fließeigenschaften des Blutes verbesserten sich nur nach dem Erreichen von Kerntemperaturen um 40 °C, nicht aber bei Milderer Infrarot-A-Hyperthermie (3). Auch subjektiv wurden die Infrarot-A-Behandlungen gut vertragen. Die Sau-

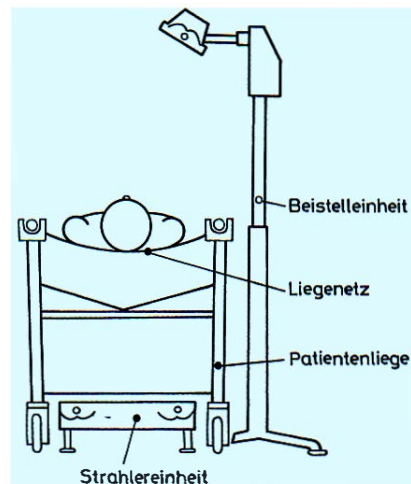


Abb. 3 Prinzipzeichnung der Infrarot-A-Hyperthermieeinrichtung IRA-Therm II (nach [10]).

nagänger unter unseren Patienten bezeichneten Infrarot-A-Hyperthermie als angenehmer, weil die Hitzebelastung von Haut und Atemwegen entfällt. Ansonsten sind Gemeinsamkeiten mit dem Saunabade unübersehbar: Schweißausbruch, Flüssigkeitsverlust, Kontraindikationen. Nur vermag mittels Infrarot-A-Strahlung mehr Wärme schonender in den Organismus eingetragen zu werden.

Behandlung der arteriellen Hypertonie

Daß Hyperthermie den diastolischen Blutdruck vorübergehend zu senken vermag, ist seit langem bekannt (Übersicht bei [2]). Zur Behandlung der arteriellen Hypertonie in den Stadien I und II der WHO-Definition werden auch nichtmedikamentöse Maßnahmen wie regelmäßiges, ausgiebiges Training durch Laufen, Schwimmen, Gewichtheben, Überwärmungs- oder Saunabäder empfohlen (9,13,23). Bei allen diesen Verfahren kommt es zeitweilig zu einer mehr oder minder ausgeprägten Überwärmung des Körpers. Anlässlich der biophysikalischen Testung der IRA-Therm-II-Anlage (12) war aufgefallen, daß der diastolische Blutdruck eines hypertensiven Probanden noch 24 Stunden nach der Infrarot-A-Behandlung deutlich vermindert war. Da es sich hierbei nicht nur um die Folge kurzfristiger Gegenregulation handeln konnte, wurde dieser Nebenbefund in einer offenen Studie mit unbehandelter Kontrollgruppe genauer untersucht (10,15,18). Bei 35 von 40 Hypertonikern normalisierte sich der diastolische Blutdruck während der Bestrahlungsserie (2mal wöchentlich Milde Infrarot-A-Hyperthermie über sechs Wochen) und verblieb bis zur sechsten Nachbeobachtungswoche nach Ende der Bestrahlungsserie auf diesem Niveau (Abb. 4).

Auf die jeweils erste Infrarot-A-Bestrahlung reagierten 35 von 40 Hypertonikern mit deutlicher, anhaltender Verminderung des systolischen und diastolischen Blutdruckes. Dagegen war bei den restlichen fünf Patienten der diastolische Blutdruck bereits 60 Minuten später wieder auf etwa 100 mm Quecksilbersäule angestiegen (Abb. 5). Bei letzteren Patienten führten die weiteren Behandlungen nur zu eher bescheidenen Erfolgen. Somit kommt der ersten Infrarot-A-Behandlung gleichzei-

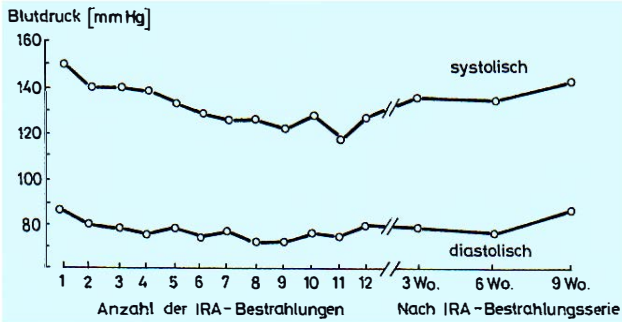


Abb. 4 Senkung von systolischem und diastolischem Blutdruck im Verlauf der Infrarot-A-Behandlungsserie. Mittelwerte von 13 Hypertonikern im Stadium I und II. Nach sechs Wochen nach Ende der Bestrahlungsserie liegen systolischer und diastolischer Blutdruck noch deutlich unter den Ausgangswerten, Wilcoxon-Test: $p < 0,01$ (nach [10]).

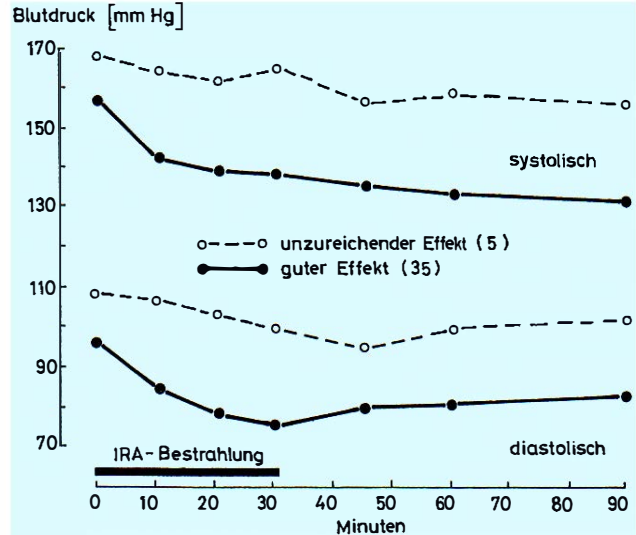


Abb. 5 Die erste Infrarot-A-Behandlung als Funktionstest. Bei 35 von 40 Hypertonikern sinkt der Blutdruck deutlich und anhaltend (o - - o). Bei den restlichen 5 Patienten (o - o - o) ist der diastolische Blutdruck bereits 60 Minuten nach Bestrahlungsende wieder auf etwa 100 mm Quecksilbersäule angestiegen (nach [10]).

Die Rolle eines Funktionstestes zu, der Aufschluß darüber gibt, ob der jeweilige Patient zur Infrarot-A-Therapie geeignet ist (19).

Vorstellungen zum antihypertensiven Mechanismus der Infrarot-A-Wirkung sind in Abbildung 6 skizziert. Auf den massiven Wärmeeintrag reagiert der Organismus mit Weitstellung der kleinen Blutgefäße. Zu diesem Gefäßtraining kommt eine (hypothetische) Sollwertverstellung im Hypothalamus (sogenannte Fluchtreaktion). Im Verlauf der Bestrahlungsserie gelingt es dem Thermoregulationssystem immer besser, die zugeführte Wärme unter Erweiterung der hautnahen Blutgefäße an die Umgebung abzugeben. Deshalb geht, trotz beibehaltener Infrarot-A-Dosis, die maximale Rektaltemperatur im Verlauf der Serie zurück (15). Milde Infrarot-A-Hyperthermie vergrößert den funktionellen Gefäßquerschnitt und beschleunigt die Muskelclearance (20,21). Demnach sollten anhaltende Blutdrucksenkung und Abnahme der Herzfrequenz durch die Verminderung des peripheren Widerstandes bedingt sein.

Behandlung der systemischen Sklerodermie

Die systemische Sklerodermie ist eine chronische Bindegewbserkrankung ungeklärter Ätiologie, bei der die obligate Raynaud-Symptomatik den anderen Symptomen in der Regel um Jahre vorausgeht. Erwärmende physiotherapeutische Maßnahmen wie Bäder, Unterwassermassage oder Sauna gehören zu den wenigen erfolgversprechenden Behandlungsmaßnahmen. Fünfzehn Patientinnen vom Typ II nach Holzmann und Mitarb. (8), mit seit 8-35 Jahren bestehender Erkrankung, schwerer Raynaud-Symptomatik und Befall innerer Organe, wurden zweimal wöchentlich, insgesamt 15mal, für jeweils 30 Minuten einer Milden Infrarot-A-Hyperthermie unterzogen (11). Die Patientinnen gaben an, daß sich nach jeder Infrarot-A-Behandlung – und das ist bei dieser Erkrankung ausgesprochen ungewöhnlich – ein Gefühl wohliger Wärme eingestellt habe, das 1-2 Tage andauerte. Im Nachbeobachtungszeitraum von bisher zwei Jahren zeigte es sich, daß sich bei etwa der Hälfte der Patientinnen Frequenz und Schwere der Raynaud-Anfälle anhal-

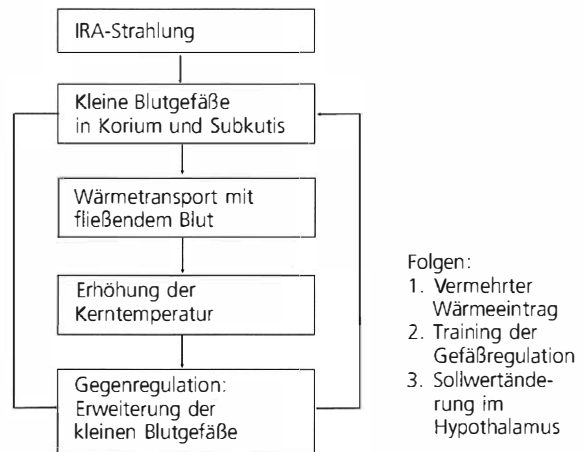


Abb. 6 Hypothetischer Mechanismus der Blutdrucksenkung durch Milde Infrarot-A-Hyperthermie bei arterieller Hypertonie (nach [10]).

tend und stark vermindert hatten. Das konnte durch Fourier-Analysen peripherer Pulscurven und der akralen Wiedererwärmung objektiviert werden (siehe folgenden Abschnitt). Ursprünglich als rein symptomatische Maßnahme gedacht, erwies sich die Milde Infrarot-A-Hyperthermie somit als Methode mit lang anhaltender therapeutischer Wirkung, die vielleicht sogar den Basisdefekt der Erkrankung zu beeinflussen vermag.

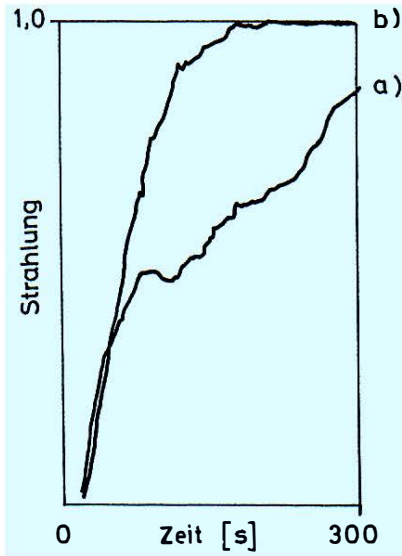


Abb. 7 Relativer Verlauf der akralen Wiedererwärmung vor (a) und nach (b) Milder Infrarot-A-Hyperthermie (nach [10]).

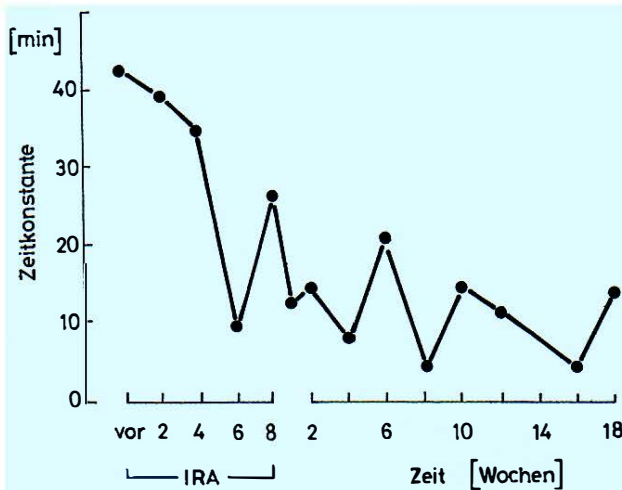


Abb. 9 Akrale Wiedererwärmung bei sieben Patientinnen mit systemischer Sklerodermie im Verlauf der Behandlungsserie (15 Infrarot-A-Expositionen) und im Nachbeobachtungszeitraum. Nach 18 Wochen nach der Behandlungsserie ist die akrale Wiedererwärmung deutlich verbessert. Mittelwerte, Mann-Whitney-Test $p < 0,005$ bis $0,05$ (nach [11]).

Akrale Wiedererwärmung und Pulskurve

Ein Indikator für die Reagibilität der kleinen Blutgefäße ist die akrale Wiedererwärmung, d. h. die Temperaturnormalisierung nach Abkühlung der Haut eines akralen Körperteiles. Nach definierter Abkühlung eines Fingers von etwa 32 °C auf etwa 12 °C wird die Wiedererwärmung der Haut mit einer Vakuumthermosäule berührungslos gemessen (20). Als Maß der Wiedererwärmung ist die Zeitkonstante geeignet, deren rechnergestützte Ermittlung im on-line-Betrieb möglich ist (22). Der Vorteil der Rechneranwendung liegt neben der Genauigkeit der Zeitkonstantenbestimmung in der Möglichkeit, die aktuellen Ergebnisse für die Steuerung der Behandlung verwenden zu können. Abbildung 7 zeigt den Verlauf der akralen Wiedererwärmung einer Patientin mit syste-

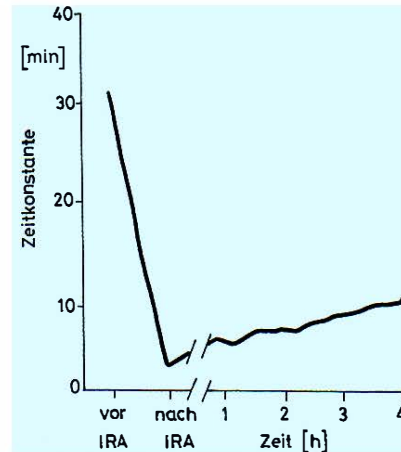


Abb. 8 Akrale Wiedererwärmung bei sieben Patientinnen mit systemischer Sklerodermie vor und nach Milder Infrarot-A-Hyperthermie. Nach der Behandlung verläuft die akrale Wiedererwärmung wie beim Gesunden. Geometrische Mittel, Wilcoxon-Test $p < 0,01$ (nach [10, 11]).

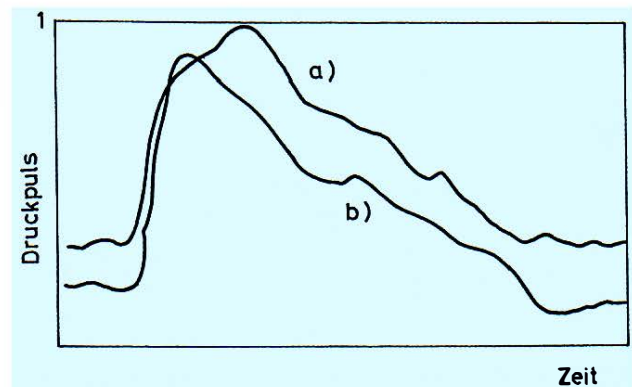


Abb. 10 Pulssignal bei Sklerodermie vor (a) und unmittelbar nach (b) Milder Infrarot-A-Hyperthermie (nach [10]).

mischer Sklerodermie vor und unmittelbar nach der Infrarot-A-Behandlung.

Deutlich ist der schnellere Temperaturanstieg nach der Behandlung. Diese Besserung hält über einige Stunden an (Abb. 8).

Unerwartet war die langanhaltende Besserung der peripheren Durchblutung, wie sie aus Abbildung 9 ersichtlich ist.

Ein weiterer Indikator für die aktuelle Situation der peripheren Durchblutung ist die Form der Druckpulscurve kleiner Gefäße. Die Formparameter dieses Signals geben zudem Auskunft über mechanische Eigenschaften der Gefäßwand. Aus der Literatur ist bekannt, daß sich die Größe des peripheren Widerstandes in der Amplitude der katakroten Schulter und in der Höhe der Inzisur widerspiegelt (5). Bei erhöhtem peripherem Widerstand, z. B. infolge arterieller Hypertonie, weist die Pulscurve einen spätsystolischen Buckel auf und die Inzisur ist angehoben (10).

Die Pulssignale wurden vor, während und nach der Infrarot-A-Hyperthermie mit einem piezoelektrischen Sensor abgeleitet und im on-line-Betrieb quantitativ

ausgewertet (13). Die Formunterschiede der Pulscurven lassen sich quantitativ auf verschiedene Weise erfassen. Es sind sowohl Analysen im Zeitbereich als auch spektrale Verfahren üblich, wobei die spektralen Verfahren oft eine vorteilhafte Beschreibung der Formunterschiede mit wenigen Koeffizienten des Spektralbereiches ermöglichen. Als Vorteil der Pulsanalyse gelten die nichtinvasive Ableittechnik und die gute Reproduzierbarkeit des Verfahrens.

Ausblick

In Gestalt der Milden Infrarot-A-Hyperthermie ist jetzt ein therapeutisches Werkzeug verfügbar, das gleichermaßen effektive wie schonende Erwärmung des Körpers ermöglicht. Wärmeanwendung ist ein altes therapeutisches Prinzip. Seine zeitgemäße Anwendung sollte bei einer Vielzahl von Erkrankungen sinnvoll sein. Das mögliche Indikationsspektrum umschließt Erkrankungen mit veränderter peripherer Durchblutung, von der arteriellen Hypertonie (10) bis zu Erkrankungen des rheumatischen Formenkreises (11), von der Migräne bis zur vasoregulatorisch bedingten Impotentia coeundi (6). Auf die besonderen Vorteile dieser nicht-medikamentösen, d. h. auch ausgesprochen kostengünstigen Methodik braucht nicht besonders verwiesen zu werden.

Literatur

- 1 *Bachem, A.*: Lichtdurchdringung der menschlichen Haut. Strahlentherapie 39 (1931) 30–56
- 2 *Bühning, M.*: Klinik der Hyperthermie. Untersuchungen im Überwärmungsbad. Hippokrates, Stuttgart (1984)
- 3 *Bäumler, H., H.-P. Scherf, R. Aurisch u. a.*: Einfluß einer Serie von Infrarot-A-Ganzkörperbestrahlungen auf Fließeigenschaften des Blutes und die Hämodynamik. Perfusion 4 (1990) 137–143
- 4 *Dauterstedt, W., H.-Chr. Hecht, W. K. Mayer, E. Schumann, R. Winckler*: IRA-Therm – eine neuartige Infrarot-A-Hyperthermieeinrichtung. Z. klin. Med. 42 (1987) 953–957
- 5 *Gadermann, H., H. Jungmann*: Klinische Arterienpulsschreibung. Johann Ambrosius Barth, Leipzig (1964)
- 6 *Heckel, M.*: Ganzkörper-Hyperthermie und Fiebertherapie. Hippokrates, Stuttgart (1990)
- 7 *Herschel, F. W.*: Investigation of the power of the prismatic colours to heat and illuminate objects, with remarks that prove the different refrangibility of radiant heat. To which is added an inquiry into the method of viewing the sun advantageously with telescopes of large apertures and high magnifying power. Gilbert's Ann. 7 (1801) 137–157
- 8 *Holzmann, H., S. Sollberg, P. Altmeyer*: Einteilung der systemischen progressiven Sklerodermie. Hautarzt 38 (1987) 253–257
- 9 *Kelemen, M. H., M. B. Effron, S. A. Valenti, K. J. Stewart*: Exercise training combined with antihypertensive drug therapy. J. Amer. med. Assoc. (Chic.) 63 (1990) 2666–2773
- 10 *Meffert, H., H.-P. Scherf*: Nichtmedikamentöse Behandlung der arteriellen Hypertonie. Therapeutikon (Karlsr.) 5 (1991) 440–445
- 11 *Meffert, H., Ines Buchholtz, Angelika Brenke*: Milde Infrarot-A-Hyperthermie zur Behandlung der systemischen Sklerodermie. Dermatol. Mschr. 176 (1990) 683–686
- 12 *Meffert, H., H.-Chr. Hecht, H. Günther u. a.*: Biophysikalische Ergebnisse des klinischen Tests der IRA-Therm-Hyperthermiemietchnik der 2. Generation. ThermoMed 6 (1991) 71–78
- 13 *Meffert, Beate, H. Hochmuth, H. Meffert: u. a.*: Rechnergestützte Infrarot-A-Hyperthermie zur Behandlung der systemischen Sklerodermie. ThermoMed 8 (1992) 9–13
- 14 *Meffert, H., H. Lemke, Beate Meffert, N. Sönnichsen*: Wiedererwärmung, Wärmeleitfähigkeit und Durchblutung der Haut bei Gesunden und Sklerodermiekranken. Dermatol. Mschr. 160 (1974) 282–290
- 15 *Mischke, Martina*: Wirkung einer einmaligen bzw. seriellen milden Infrarot-A-Hyperthermie der Haut bei Patienten mit arterieller Hypertonie der WHO-Stadien I und II. Med. Diss. Humboldt-Universität Berlin (1990)
- 16 *Peterkin, G. A.*: Malignant change in erythema ab igne. Brit. med. J. 2 (1955) 1599–1602
- 17 *Rzeznik, J.*: Eine neue Technik zur loko-regionalen Wärmetherapie mit wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung. In Vaupel, P., W. Krüger (Hrsg.): Wärmetherapie mit wassergefilterter Infrarot-A-Strahlung. Hippokrates (1992) 23–37
- 18 *Scherf, H.-P., H. Meffert, H. Bäumler u. a.*: Wirkung einer einmaligen milden Infrarot-A-Hyperthermie auf Körpertemperatur, Herzfrequenz, Blutdruck und Blutviskosität bei Gesunden und Patienten mit arterieller Hypertonie der Stadien I und II. Dermatol. Mschr. 175 (1989) 733–740
- 19 *Scherf, H.-P., H. Meffert, Martina Mischke, K.-P. Schmollak*: Physikalische Therapie der arteriellen Hypertonie. Eine einmalige milde Infrarot-Hyperthermie gestattet Voraussagen hinsichtlich des Ansprechens auf weitere Behandlungen. Phys. Rehab. Kur. Med. 1 (1991) 38–40
- 20 *Siewert, H.-D., D. Strangfeld, H.-P. Scherf u. a.*: Untersuchungen zur Hämodynamik bei Patienten mit arterieller Hypertonie unter milder Infrarot-A-Hyperthermie (IRA-Therm II). Dermatol. Mschr. 175 (1989) 741–746
- 21 *Siewert, H.-D., D. Strangfeld, H.-P. Scherf u. a.*: Untersuchungen zum Verhalten der Hämodynamik unter akuter Hyperthermie. Z. phys. Baln. med. Klimatol. 18 (1989) 282–283
- 22 *Steiner, M., A. Wenzel*: Entwicklung und Test von Auswertalgorithmen für Temperaturverläufe der akralen Wiedererwärmung. Diplomarbeit am Fachbereich Elektrotechnik der Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin (1992)
- 23 *Winterfeld, H.-J., D. Strangfeld, H. Siewert*: Auswirkungen der Saunabehandlung auf den Verlauf der Hypertonie (Stadium I und II). Z. Physiother. 34 (1982) 35–44

Prof. Dr. med. Hans Meffert
Dr. med. Hans-Peter Scherf

Universitätsklinik (Charité)
Schumannstr. 20/21
D-10115 Berlin

Prof. Dr. sc. techn. Beate Meffert

Fachbereich Elektrotechnik
Humboldt-Universität
Invalidenstr. 110
D-10115 Berlin