

Thermographie bei Erkrankungen des Bewegungsapparates

Kurt Ammer^{1,2}, E. Francis Ring²

¹ Medical Imaging Research Unit, Faculty of Advanced Technology, University of Glamorgan, Pontypridd CF37 1DL, UK

² Institut für Physikalische Medizin und Rehabilitation, Hanuschkrankenhaus, Wien, Österreich

KURZFASSUNG

Die Infrarotthermographie kann in der Rheumatologie und bei Erkrankungen des peripheren Nervensystems als nicht-invasive, bildgebende Methode von Nutzen sein. Die auf der Erfassung der Infrarotstrahlung basierende Temperaturmessung kann zur Diagnosestützung, aber auch als Ergebnisparameter zur Überprüfung therapeutischer Maßnahmen verwendet werden.

Die Infrarotthermographie ist bei der Arthritis der Knie, Sprung und Handgelenke, beim komplexen regionalen Schmerzsyndrom, beim Thoracic Outlet Syndrom und bei der Epikondylitis sowohl als diagnostische Methode als auch Ergebnisparameter voll akzeptiert. Diese bildgebende Methode kann auch bei Patienten mit Radikulopathie, Kompressionssyndromen peripherer Nerven, bei Erkrankungen der Fingergelenke, Muskelverletzungen, Fibromyalgie und M. Paget die Diagnosestellung unterstützen. Zur Diagnose von Schultererkrankungen und der medialen Epikondylitis sowie für das Monitoring der Fibromyalgie ist die Thermographie nicht geeignet. Für valide und verlässliche Ergebnisse muss die Thermographie in jedem Fall in standardisierter Weise durchgeführt werden.

THERMOGRAPHY IN MUSCULOSKELETAL DISORDERS

Infrared (IR)- thermography may be applied as non invasive, imaging procedure in rheumatology and in diseases of the peripheral nerve system. Temperature measurements based on infrared radiation can be used as a technique to assist diagnosis or as an outcome measure to evaluate treatment effects. .

IR-Imaging is fully accepted as a diagnostic procedure and as outcome measure in patients suffering from arthritis in knee, wrist or ankle joints, complex regional pain syndrome, thoracic outlet syndrome and epicondylitis. The technique may be also useful to assist diagnosis in patients suffering from radiculopathy, entrapment syndrome of peripheral nerves, arthritis of small finger joints, muscle injuries, fibromyalgia and Paget's disease. IR-Imaging is of little to no value in diagnosis of shoulder disorders or medial epicondylitis and should not be used for monitoring in fibromyalgia patients. However, IR-Imaging must be performed in a standardised way to achieve valid and reliable results.

Einleitung

Die klinische Medizin hat im letzten Jahrhundert beträchtliche Fortschritte gemacht. Die Einführung bildgebender Methoden hat es den Ärzten gestattet, krankhafte Veränderungen genauer zu lokalisieren und deren Ausdehnung und Aktivität besser zu verstehen. Selbst das herkömmliche Röntgenbild hat seine Aussagekraft weiter über die bloße Darstellung von Knochen und kalzifiziertem Gewebe ausgeweitet. Neue Verfahren wie die Computertomographie, Ultraschallbilder, die Positronen-Emissions-Tomographie sowie Magnetresonanzbilder stehen heute zu Tage für die medizinische Diagnostik zur Verfügung.

Auch die Infrarotthermographie gehört zu diesen neuen bildgebenden Diagnoseverfahren. Leider wird diese Methode oft missverstanden oder auf Grund mangelnder Kenntnisse der Physiologie des Wärmehaushaltes bzw. des Zusammenhanges zwischen Körpertemperatur und Erkrankung zu selten oder gar nicht eingesetzt.

Die Beurteilung von rheumatischen Erkrankungen ist nach wie vor schwierig und komplex. Die Tatsache, dass zahlreiche Testverfahren eingesetzt werden, weist darauf hin, dass diese Erkrankungen nicht mit Hilfe eines einzigen Parameters beschrieben werden können. Darüber hinaus basieren viele der Tests auf subjektiver Einschätzung der Symptome. Objektive Beurteilungsverfahren haben in diesem Zusammenhang für die Diagnosefindung einen besonderen Wert, doch sind sie meist an ein invasives Verfahren gebunden. Die Infrarotthermographie ist eine nicht invasive Methode, die besonders mit ihrer aktuellen Technologie sich als zuverlässig und speziell in der Rheumatologie als wertvoll erwiesen hat.

Seit der Antike werden die Hauptzeichen der Entzündung als Schmerz, Schwellung, Erwärmung, Rötung und Funktionsverlust beschrieben. Bei einem akut entzündetem Gelenk kann die Erwärmung einfach durch die Berührung des Gelenks festgestellt werden. Es können jedoch nur geringe Temperaturveränderun-

gen auftreten, und trotzdem kann jede Zu- und Abnahme der Oberflächentemperatur der direkte Ausdruck der entzündlichen Aktivität im Gelenk sein.

Entzündung

Entzündung ist ein komplizierter Prozess, der durch unterschiedliche Arten von Gewebeschädigung ausgelöst werden kann. Anfangs führt eine Reihe zellulärer und chemische Reaktionen zur Zerstörung des umliegenden Gewebes. Unter normalen Umständen endet dieser Prozess, wenn Heilung eintritt und Narbengewebe gebildet werden kann. Typischer Weise kommt zu einer Reihe von Prozessen in den betroffenen Geweben. Zuerst kommt es zu einer kurz dauernden Vasokonstriktion der Arteriolen, auf die eine ausgedehnte Dilatation von Arteriolen, Venolen und Kapillaren folgt. Die durch die Vasodilatation bedingte erhöhte Durchblutung verlangsamt den Blutfluss, und Leukozyten können sich am Gefäßendothelium anheften. Die nun erhöhte Permeabilität der Gefäßwand für Plasmaproteine führt zur Bildung von Exsudaten, die langsam durch das Lymphsystem aufgesogen werden. Freigesetztes Fibrinogen polymerisiert teilweise zu Fibrin. Bei Entzündung wird die erhöhte Permeabilität der Wirkung einer Vielzahl von Mediatoren einschließlich von Histamin, Kininen und Prostaglandinen zugeschrieben. Die Schwellung bei Entzündungen ist offensichtlich durch die Bildung von Exsudat bedingt. Die Rötung und die Überwärmung im betroffenen Bereich ist durch die Gefäßweitstellung und eine erhöhte Blutfülle verursacht. Schmerz (dolor) und Funktionsverlust (functio laesa) begleiten die Entzündungszeichen Schwellung (tumor), Rötung (rubor) und Überwärmung (calor).

Eine Erhöhung der Temperatur bzw. der lokalen Vasularisierung kann mit nuklearmedizinischen Untersuchungen gezeigt werden. Üblicher Weise wird nach der intravenösen Anwendung die Speicherung eines Isotops im Gewebe bildlich dargestellt bzw seine Aktivität mit einer Gamma -Kamera bestimmt. Veränderungen der Blutfülle in oberflächlichen Geweben kann mit dem Laser-Doppler-Imaging erfasst werden, auch wenn die Darstellung der Durchblutungsänderung oft noch sehr langsam ist. Hingegen ist die Infrarotthermographie, die auf der Infrarotstrahlung der Haut basiert, schnell und nicht invasiv. Damit empfiehlt sich diese bildgebende Methode als Ergebnisparameter in klinischen Studien, unabhängig davon, ob mit Medikamenten behandelt oder chirurgische oder physikalische Therapie durchgeführt wird.

Intraartikuläre Injektionen, besonders mit Kortikosteroiden, werden seit der Mitte des letzten Jahrhunderts zur Therapie bei Rheumapatienten verwendet. Hor-

vath & Hollander [1] benutzten 1949 intraartikuläre Thermolemente, um eine Verringerung der Synovialitis nach einer antiphlogistischen Behandlung zu dokumentieren. Aus offensichtlichen ethischen Gründen hat sich diese Methode zur Beurteilung einer entzündungshemmenden Behandlung, trotz des objektiven Nachweises nicht generell durchgesetzt, auch wenn Haimovici versucht hatte, die Methode wieder aufzunehmen und weiter zu entwickeln (2).

Die Verwendung einer berührungsfreien Temperaturmessung wie die Infrarotradiometrie war eine logische Konsequenz. In der Mitte der sechziger Jahre wurde eine Reihe von Studien durchgeführt, um die am besten geeigneten Kortikosteroide und ihre wirksamste Dosis zu identifizieren. Arbeiten von Collins & Cosh 1970 [3] und Ring & Collins 1970 [4] zeigten, dass die Oberflächentemperatur eines entzündeten Gelenks nicht nur mit der intra-artikulären Temperatur, sondern auch mit anderen biochemischen Markern im entzündlichen Exsudat korreliert. In einer Reihe von Experimenten mit unterschiedlichen Prednisolon- Analoga wurde nachgewiesen, dass die thermographisch ermittelte Oberflächentemperatur einer Patientengruppe für die Bestimmung der Dauer und Intensität von Gelenkentzündungen verwendet werden kann [5,6].

Damals wurde in Bath ein thermischer Provokationstest bei Kniegelenksentzündungen verwendet, der auf einer standardisierten Eispackung beruhte. Diese Form der Behandlung wird noch immer verwendet und führt zu einer deutlichen, wenn auch nur vorübergehenden Abnahme der Gelenktemperatur. Es konnte nachgewiesen werden, dass die Geschwindigkeit der Wiedererwärmung der Haut nach 10-minütiger Anwendung von 1 Kilogramm zerstoßenem Eis von der synovialen Durchblutung und der Intensität der Gelenkentzündung abhängt. Die mittlere Hauttemperatur des vorderen Anteil des Kniegelenks wurde entweder durch Infrarotradiometrie oder durch quantitative Thermographie [7] bestimmt.

In den siebziger Jahren und achtziger Jahre wurden zahlreiche neue nicht steroidale Antiphlogistika in die Rheumatologie eingeführt. Für die klinische Prüfung dieser Medikamente erwies sich die Infrarotthermographie als leistungsfähiges Werkzeug, das während der Therapie die Temperaturänderung der erkrankten Gelenke objektiv aufzeichnen konnte. Die Methode wurde auch erfolgreich in Tiermodellen zur Beurteilung der Entzündung verwendet. Es zeigte sich, dass die Dosis-Wirkungskurven direkt mit den Temperaturänderungen an den Gelenken der Versuchstiere korrelierten. Für die Prüfung dieser Medikamente bei Patienten mit rheumatoider Arthritis wurde das Prüf-

protokoll durch das Einfügen einer Auswaschungsperiode für die vorhergehende Medikation etwas modifiziert. Während dieser Wash-out Periode sollten zwar die Schmerzen reduziert, jedoch keine Entzündungshemmung erzielt werden. Zu diesem Zweck wurde praktisch von allen pharmazeutischen Firmen Paracetamol eingesetzt. Bacon et al. haben gezeigt [8], dass die Temperatur über den Interphalangeal- und den Metacarpal-Gelenken unter Paracetamol-Medikation rasch ansteigt, obwohl die Schmerzen ausreichend unterdrückt wurden. Größere Gelenke, wie Knie oder Sprunggelenke, erforderten mehr als eine Woche einer aktiven entzündungshemmenden Behandlung, um Temperatureffekte zu erzielen. Das allgemein gültige Protokoll, nach einer eine Woche dauernden Auswaschphase mit Paracetamol die zu prüfende Substanz einzusetzen. Regelmäßig kam bei zu geringer Dosis des Medikaments zu keiner Verringerung der Gelenktemperatur. Hingegen wurde bei einer wirkungsvollen Dosis zuerst über den kleinen Gelenken, später an den größeren Gelenken ein Temperaturabfall beobachtet. Durch Infrarotthermographie konnte eine objektive Abnahme der Gelenktemperatur als Ergebnis einer neuen und erfolgreichen Behandlungen gezeigt werden.

Nicht alle neuen Medikamente fanden ihren Weg in die Routinemedizin; einige mussten wegen unerwünschter Wirkungen zurückgenommen werden. Jedoch wurde die Möglichkeit, die Infrarotthermographie zum Nachweis einer effektiven Arthritisbehandlung einzusetzen, von allen beteiligten pharmazeutischen Firmen angenommen und die Studienergebnisse wurden in Peer-reviewten medizinischen Zeitschriften veröffentlicht. In der letzten Zeit hat sich die wissenschaftliche Aufmerksamkeit neuen biologischen Mittel zur Verminderung von Entzündung zugewendet, für deren Überprüfung auch die quantitative Infrarotthermographie eingesetzt werden kann [9].

Um den Einsatz und das Verständnis der Temperaturänderung von Gelenken zu fördern, haben Ring & Collins [4], bzw. Collins et al. [10] ein System für die quantitative Auswertung von Wärmebildern entwickelt. Dieses beruhte auf der Verteilung von Isothermen im Messareal in der zu untersuchenden Region. Der thermische Index wurde als der mittlere Temperaturunterschied zu einer Referenztemperatur errechnet. Diese Referenztemperatur wurde aus einer großen Studie mit 600 gesunden Personen abgeleitet, bei denen die durchschnittliche Temperatur der Sprunggelenke, Knie, Hände, Ellbogen und Schultern erhoben worden war. Viele der seinerzeitigen klinischen Versuche sahen Temperaturmessungen an den Hand-, Ellbogen-, Knie- und Sprung-Gelenken vor. Ein nor-

maler thermische Index, der an gesunden Kontrollpersonen in den beschriebenen Studien bestimmt wurde, hat einen Wert zwischen 1 und 2,5. Bei Arthritis fanden sich thermische Indizes zwischen 4 und 5, während bei arthritischen Gelenken die Werte zwischen 3 und 4 lagen. Besonders hohe Werte zwischen 6 und 7 waren bei Gicht und Gelenkinfektionen zu finden.

Die Reproduzierbarkeit der Temperaturmessung mit einem Radiometer über den Fingergelenken von Patienten mit rheumatoider Arthritis wurde in Australien untersucht. Die Messung zwischen drei Untersuchern variierte um maximal 0,2° C [11]. Doppelt so groß wie die interindividuellen Messunterschiede waren die Temperaturunterschiede zwischen Messungen am Morgen und am Abend, am Kniegelenk betrug die Differenz sogar 1,1 Grad. Generell war bei der abendlichen Messung die Standardabweichung der Messungen um 33% größer als am Morgen. Obliger und Mitarbeiter haben Normalwerte für die Hand angegeben, wobei die genaue Lokalisation des Messareals nicht eindeutig definiert wurde [12].

Normale Temperaturwerte für die Fingergelenke zu bestimmen, ist eine sehr schwierige Aufgabe. Diese Schwierigkeit entsteht teils aus der Tatsache, dass kalte Finger nicht notwendigerweise ein pathologischer Befund sind. Berührungsempfindliche Gelenke zeigten höhere Temperaturen als nicht empfindliche Gelenke, auch wenn ein breites Überlappen der Messwerte symptomatischer und nicht symptomatischer Gelenke beobachtet wurde [13]. Die Auswertung der Fingertemperaturen in der Referenzdatenbank normaler Thermogramme [14] des menschlichen Körpers, könnte möglicherweise einen Normalbereich von Fingergelenkstemperaturen in naher Zukunft etablieren.

Eine amerikanische Studie hat Röntgenbilder mit Wärmebildern der Fingergelenke verglichen, und niedrigere Temperaturen an Gelenken mit ausgeprägten Arthrosezeichen als bei Gelenken mit geringen degenerativen Röntgenzeichen gefunden [15]. Kürzlich wurden Thermogramme mit der dreidimensionalen photographisch erfassten Schwellung der Metacarpalgelenke verglichen und die Kombination beider Verfahren als objektives Verfahren für die Dokumentation der Arthritis der Hand empfohlen [16].

Gonarthrose und Gonarthrit

Ein sehr früh angewendetes Einsatzgebiet der Temperaturmessung mit Radiometern oder Infrarotkameras war es, Kniegelenke zu beurteilen. Engel stellte eine Methode vor, aus dem Temperaturprofil entlang des Gelenkspaltes des Kniegelenks einen thermischen Index zu berechnen [17]. Ring veröffentlichte normale

Temperaturwerte, die auf den Messungen von 102 entzündeten und 246 bländen Kniegelenken beruhten [18]. Francis Ring zeigte, dass die mittleren Temperaturen von gesunden, arthritisch und arthritischen Kniegelenken sich signifikant voneinander unterscheiden, wobei der Temperaturunterschied zwischen gesunden und arthritisch Gelenken 1,5 Grad, zwischen Arthrose und Arthritis 1 Grad beträgt [19]. Salisbury und Mitarbeiter haben versucht, Temperaturverteilungsmuster nicht krankhafter veränderter Gelenke zu beschreiben und die Häufigkeit bestimmter Temperaturwerte mit der Zahl der Bildpunkte in digitalen Wärmebildern in Beziehung gesetzt [20]. Ein Heat Distribution Index (HDI) wurde aus Mittelwert \pm 1 Standardabweichung der Gelenktemperatur definiert.

Vujcic schloss aus der Temperaturverteilung über den Kniegelenken auf das Vorliegen einer Chondromalazia patellae, wobei die höchste diagnostische Treffsicherheit bei jungen Patienten im Alter bis zu 25 Jahren beschrieben worden war [21]. Eine Studie aus Japan hat eine hohe Korrelation zwischen Osteophyten und normalisiertem thermischen Index gefunden [22]. Die mittlere Temperatur der Kniegelenke von 15 jungen Erwachsenen wurde am rechten Bein mit $30,2 \pm 0,5$ Grad und am linken Bein mit $30,2 \pm 0,6$ Grad angegeben. Die Temperaturwerte variierten bei Messwiederholung innerhalb von 24 Stunden um 0,2 Grad [23]. Die Wiedererwärmungskurve nach einem standardisiertem Kältereiz wurde bei entzündeten Kniegelenken von Patienten mit rheumatoider Arthritis als Ergebnisparameter eingesetzt [24,25].

Morbus Paget

Die frühen Beschreibungen der Osteitis Deformans durch Czerny (1873) [26] und Paget (1877) [27] beziehen sich auf eine "chronische Entzündung des Knochens". Eine Erhöhung der Oberflächentemperatur über einem aktiven Krankheitsherd wurde häufig berichtet und die Temperaturerhöhung kann bis zu 4°C betragen. Auch eine erhöhte Durchblutung im erkrankten Knochen wurde beschrieben. Im aktiven Stadium der Erkrankung wurde eine vermehrte periostale Vaskularisierung gefunden. Dieses Gefäßbett kann als arteriovenöser Shunt dienen und zur Beeinträchtigung der Herzfunktion führen.

In Bath (Großbritannien) sind zahlreiche Studien zur die Wirksamkeit von Kalzitonin und Bisphosphonaten bei M. Paget durchgeführt worden. Wie bei den bereits erwähnten klinischen Versuchen bei Gelenkerkrankungen, muss eine rigoros standardisierte Technik gefordert werden, um sinnvolle wissenschaftliche Daten zu erhalten. Es wurde gezeigt, dass während der Kalzitoninbehandlung ein Temperaturabfall von einer

zeitverzögertem Verminderung der alkalischen Phosphatase, dem üblicher Weise untersuchten biochemischen Marker der Osteoklastenaktivität, begleitet ist. Ein Krankheitsrezidiv und die Notwendigkeit einer neuerlichen Behandlung kann an den Ergebnissen der Infrarotthermographie abgelesen werden. Änderungen im thermischen Index gingen häufig dem neuerlichen Auftreten von Schmerzen und anderen Symptomen um 2 bis 3 Wochen voraus. Es wurde auch gezeigt, dass das Ausmaß der Temperaturerhöhung über dem Knochen mit der Intensität von Knochenschmerzen zusammenhing. Jene Patienten, die maximale Temperaturen hatten, beklagten sehr starke Knochenschmerzen. Ein mäßiger Schmerz wurde bei erhöhter Temperatur angegeben und Patienten mit normalen Temperaturwerten waren schmerzfrei. Die drastischsten Temperaturänderungen wurden am Schienbein beobachtet, da dort der Knochen sehr nah unter der Hautoberfläche liegt. In einem mathematischen Modell wiesen Ring & Davies nach [28], dass die Temperaturerhöhung am Schienbein hauptsächlich durch die Durchblutung des Knochens, und nicht durch eine metabolische Wärmeproduktion bedingt ist. Trotzdem wird der M. Paget häufig als metabolische Knochenkrankheit bezeichnet.

Erkrankungen der Wirbelsäule

Ankylosierende Spondylitis

Für die Beurteilung des M. Bechterew mittels Infrarotthermographie liegen nur ältere Publikationen vor. Ausgehend von einer Fallbeschreibung durch Cosh & Ring [29], haben Agarwal et al. bereits 1970 eine Serie von 31 Patienten mit röntgenologischen Zeichen einer Kreuzdarmgelenksentzündung publiziert [30], die alle auch thermographisch untersucht worden waren. Die Autoren fanden bei 23 der 31 Patienten eine Überwärmung über den Kreuzdarmbeingelenken und eine höhere durchschnittliche Blutsenkungsgeschwindigkeit bei Patienten mit positiven Thermogrammen als bei Patienten ohne Temperaturerhöhung über den Kreuzdarmbeingelenken.

Sadowska-Wroblewska et al. untersuchten mittels Infrarotthermographie 22 Spondylitispatienten und 100 gesunde Personen. Sie beschrieben bei Gesunden ein symmetrisches Temperaturprofil, das in der typischen Form bei Spondylitispatienten nicht zu finden war [31]. Signifikant unterschiedliche Temperaturen waren jedoch bei den Bechterewkranken im Vergleich zu Gesunden nicht zu finden.

Grennan & Caygill untersuchten 30 Patienten mit ankylosierender Spondylitis und verglichen deren Wärmebilder mit den Thermographien von 27 asymptomatischen Personen bzw. 13 Patienten mit nicht entzündlichen Kreuzschmerzen [32]. Nur 13 der Spondy-

litispatienten zeigten Temperatúrauffälligkeiten, keine pathologische Temperaturverteilung wurde bei den Personen beider Kontrollgruppen beobachtet. Es fand sich eine schwache Korrelation zwischen der klinischen Aktivität der Kreuzdarmbeinentzündung und positiven Thermographiebefunden. Die Autoren fanden die Thermographie für die Frühdiagnose der Kreuzdarmbeinentzündung nicht brauchbar, aber empfahlen die Wärmebilduntersuchung für die Verlaufsdokumentation individueller Patienten.

Eine Studie aus Schweden versuchte 1985 die Variabilität der Temperaturverteilung im Sakralbereich zu beschreiben und den Befunden von Patienten mit Kreuzdarmbeingelenksentzündung gegenüber zu stellen [33]. Zur Verbesserung des thermischen Kontrastes wurde die Kreuzdarmbeinregion mit 95% Äthylalkohol Besprüht. Allerdings ist es den Autoren nicht gelungen, die Temperaturverteilung des typischen Thermogramms der Kreuzdarmbeinregion einer gesunden Person eindeutig zu beschreiben.

Dr Tauchmannova aus Piestany hat wiederholt die Temperaturverteilung von Bechterewkranken in der Sakralregion beschrieben [34,35]. In diesen Untersuchungen hatte sich gezeigt, dass die Thermographie in Frühfällen der Kreuzdarmbeingelenksentzündung hilfreich für die Diagnose sein kann. Aber auch bei Patienten mit röntgenologisch ankylosierten Sakroilakgelenken wiesen deutliche Temperaturerhöhungen auf eine floride entzündliche Aktivität hin [35]. In den letzten 15 Jahren wurden keinerlei Untersuchungen mehr zur Thermographie des Rückens von Patienten mit ankylosierender Spondylitis veröffentlicht.

Skoliose

Patienten mit Skoliose der Wirbelsäule wurden bereits in den 70-iger Jahren des 20. Jahrhundert mittels Infrarotthermographie untersucht. Woodrough beschrieb sechs Temperaturverteilungsmuster am Rücken, wobei drei Muster bei Gesunden gefunden wurden [36, 37]. Bei Skoliose wurden erhöhte Temperaturen an der konkaven Seite der Wirbelsäulenkrümmung gefunden. Die Infrarotthermographie der Skoliose wurde in den 90-iger Jahren von polnischen Orthopäden [38] und Medizin-Informatikern [39] wieder aufgegriffen.

Eine Studie aus Deutschland hat bereits 1977 versucht, die normale Temperaturverteilung des menschlichen Rückens zu beschreiben [40]. Dazu wurde der Rücken in 10 Regionen aufgeteilt und zwar 5 über der Wirbelsäule nämlich Halswirbelsäule, oberes Drittel der Brustwirbelsäule, untere zwei Drittel der Brustwirbelsäule, Lendenwirbelsäule und Kreuzbein sowie 5 weitere Regionen die links und rechts neben der Wirbelsäule als Nackenregion, Schulter-, Rücken-, Lenden-

und Glutealregion beschrieben wurden. Das typische Temperaturniveau dieser Regionen wurde angegeben, wobei kalt einer Temperatur von 31°C oder weniger beschrieben, 32°C wurde als mäßig warm, 33- 34°C als warm und 35° C oder mehr als sehr warm bezeichnet. Die normalen Temperaturmuster wurden aus den Rückenthermogrammen von 58 gesunden Personen abgeleitet. Eindeutige Abweichungen vom normalen Rückenthermogramm bei 22 Patienten mit Bandscheibenvorfall an der Hals- oder Lendenwirbelsäule, 19 Patienten mit intraspinalen Tumoren, 6 Patienten mit Syringomyelie, 4 Patienten mit Wirbelsäulenmetastasen und 4 Patienten nach Wirbelsäulentrauma konnte von den Autoren nicht identifiziert werden.

Feldman und Nickoloff haben mit Flüssigkristallthermographie gezeigt, dass die Temperatur am Nacken und an den oberen Extremitäten symmetrisch verteilt ist [41]. Eine retrospektive Studie konnte in den durchschnittlichen Temperaturwerten von gesunden Kontrollpersonen und Patienten mit Rückenschmerzen keine Unterschiede finden [42]. Allerdings war der dargestellte Temperaturbereich in den Thermogrammen der Patienten deutlich größer als bei gesunden Kontrollen. Besonders wurde in der Studie darauf hingewiesen, dass heiße Rückenareale bzw. Kleine "Hot Spots" regelmäßig sehr berührungsempfindlich waren. Bereits Einsiedel-Lechtape und Mitarbeiter [40] haben "Hot spots" in normalen Rückenthermogrammen beschrieben, ohne dass ein Bezug zu pathologischen Befunden hergestellt werden konnte.

Wirbelblockierungen

Die paravertebrale Temperaturmessung wird seit langem von Chiropraktikern genützt. Obwohl es Standards für die Durchführung der Infrarotthermographie gibt [43], ist vor allem die Temperaturmessung mit paarigen Infrarotradiometern durch Chiropraktiker dokumentiert (44,45).

Hart & Owens untersuchten die Temperaturprofile, die von einem paarigen Radiometer entlang der Wirbelsäule in 5-minütigen Abständen während einer 31 Minuten dauernden Akklimatisation an die Raumtemperatur aufgezeichnet worden waren [44]. Sie beobachteten eine kontinuierliche Temperaturminderung am Rücken. Nach 16 Minuten bot die Temperatur eine weitgehende Stabilisierung. Es muss darauf hingewiesen werden, dass diese Ergebnisse nicht auf absoluten Temperaturwerten, sondern auf der Ähnlichkeit der Temperaturprofile entlang der Wirbelsäule beruhen.

Unterschiedliche Varianten des Auswertungsprogramms derartiger Temperaturprofile zeigten eine hohe Wiederholbarkeit der Ergebnisse zwischen einzelnen Untersuchern und den verschiedenen Variationen der

Auswertung [45]. Die Autoren wiesen jedoch darauf hin, dass die Konstrukt-Validität der paravertebralen Temperaturprofile noch nicht bekannt ist und der Zusammenhang zwischen manualmedizinischen Befunden und Temperaturveränderungen an der Rückenhaut noch erhoben werden muss.

Roy und Mitarbeiter haben in einer Reihe von Untersuchungen die Validität und Zuverlässigkeit der paravertebralen Temperaturmessung überprüft [46-48]. Es wurde eine gute Übereinstimmung zwischen kontaktthermometrisch und mittels Infrarotkamera erhobener Hauttemperatur gezeigt, wobei die mit Thermistoren gemessenen Temperaturwerte niedriger waren als die mittels Infrarotkamera erhobenen Temperaturwerte [46].

In einer weiteren Studien untersuchten Roy und Mitarbeiter die jene Akklimatisationszeit, nach der die Kerntemperatur und die Temperatur an Hals- bzw. Lendenwirbelsäule stabil erscheint [47]. Für die Kerntemperatur wurden stabile Werte 30 Minuten nach Beginn der Messung gefunden. Für die Hauttemperatur wurden sowohl für Thermistoren als auch für die Infrarotmessung zwischen 8 und 16 als auch 20 und 24 Minuten die geringsten Veränderungen der Temperaturwerte gefunden. Darüber hinaus wurde die Abhängigkeit der Hauttemperatur von der Raumtemperatur bestätigt.

Kürzlich berichteten Roy et al. die Abhängigkeit der Hauttemperatur von der Körperposition, in der die Messung durchgeführt wurde [48]. Es fanden sich etwas höhere Werte, wenn im Stehen gemessen worden war als bei der Messung in Bauchlage (rechts paravertebral $0.25^{\circ}\text{C} \pm 0.64^{\circ}\text{C}$, links paravertebral: $0.62^{\circ}\text{C} \pm 0.67^{\circ}\text{C}$).

Diakow und Mitarbeiter verglichen an 10 freiwilligen Probanden manualtherapeutische Befunde wie Blockierungen, Druckempfindlichkeit und Kibler-Falte mit den Befunden der Kontaktthermographie der Brust- und Lendenwirbelsäule und der Kreuzbeinregion [49]. Umschriebene hypertherme oder hypotherme Zonen (Temperaturunterschied zur Umgebung mindestens 1 Grad) galten als pathologische thermographische Befunde. Zwischen Thermographie und Blockierung fand sich eine Übereinstimmung von 64.7%, Druckdolenz und Wärmebild entsprachen in 63.7%, Kiblerfalten und Thermographie stimmten in 59.9% überein.

In einem Fallbericht zeigte sich ein blockiertes Kreuzdarmbeingelenk ähnlich überwärmt wie bei einer ileosacralarthritis [50]. Eine Serie von Manualtherapien war nicht nur von einer deutlichen Symptominderung, sondern auch von einer Abkühlung über dem Kreuzdarmbeingelenk begleitet.

Engel postulierte eine im Dermatome verteilte Minderung der Hauttemperatur im Fall einer Wirbelgelenkblockierung, wobei die Intensität der Schmerzen mit dem Ausmaß der Hypothermie korrelieren soll [51]. Als Ursache dieser Temperaturveränderung wird eine schmerzinduzierte Aktivierung des Sympathikus mit konsekutiver Vasokonstriktion vermutet. Damit können Störungen des Achsenorgans im Infrarot-Thermogramm des Rückens zu asymmetrischen Temperaturverläufen führen.

Kainz und Mitarbeiter haben 1992 versucht, den Effekt der Manipulation im Bereich der Wirbelsäule an 24 Patienten beiderlei Geschlechts im Alter von 24 bis 56 Jahren thermographisch zu dokumentieren [52]. Die Patienten boten vorwiegend Blockierungen der Brustwirbelsäule und Störungen im Bereich der Rippenwirbelgelenke. Die Registrierung der Oberflächentemperatur des Rückens erfolgte unmittelbar vor und sofort nach durchgeführter Manipulation. In einer Kontrollgruppe wurde die Einstellung unsachgemäß gehandhabt, der Bewegungsablauf jedoch beibehalten.

Erfolgreich durchgeführte Manipulationen führten zu einer sofortigen Veränderung des thermographischen Bildes, wobei es zu einer signifikanten Erniedrigung der Hauttemperatur (durchschnittlich um $0,45^{\circ}\text{K}$) nicht nur im Manipulationsbereich, sondern auch reflektorisch in kaudal davon gelegenen Abschnitten des Rückens kam. Erfolglos verlaufene Manipulationen und bewusst schlechte Einstellungen des zu manipulierenden Gelenkes zeigen in allen untersuchten Fällen aufgrund der lokalen Irritation einen geringen Anstieg der Oberflächentemperatur.

Ammer hat 1993 in der Zeitschrift Manuelle Medizin die Ergebnisse von 29 ambulanten Patienten mit vertebralem Schmerzsyndromen berichtet, bei denen vor der manuellen Untersuchung und unmittelbar nach der Manualtherapie Infrarotthermogramme des Rückens angefertigt worden waren [53]. Als Ergebnisparameter diente die Symmetrie der Wärmeabstrahlung. Dazu wurde der Rücken in vier Regionen (Halswirbelsäule, Schultergürtel, Brustwirbelsäule und Lendenwirbelsäule) unterteilt und Minimal-, Maximal- und mittlere Temperatur beider Seiten dieser Rückenabschnitte festgestellt. Alle Patienten boten zumindest eine Wirbelblockierung und alle zeigten ein asymmetrisches Rückenthermogramm. Nach Manualtherapie kam es bei einigen Patienten zu einer Verbesserung der Symmetrie des Rückenthermogramms. Obwohl bei wenigen Patienten eine verstärkte Wärmeabstrahlung nach manueller Therapie beobachtet werden konnte, fand sich im Durchschnitt eine signifikante Reduktion

der Oberflächentemperatur unmittelbar nach der therapeutischen Intervention.

Aus den oben dargestellten Ergebnissen, ergibt sich die Frage, ob nicht die manuelle Untersuchung alleine zu einer Veränderung der Oberflächentemperatur führen kann. Zur Beantwortung dieser Frage wurden 7 Symptom freie Frauen im Alter zwischen 26 und 46 Jahren untersucht [54]. Es wurden dazu nach einer 15 minütigen Anpassung an eine Raumtemperatur von 24°C Infrarotthermogramme der Nackenregion angefertigt. Dann wurde eine passive Seitbeugung der Halswirbelsäule vom Untersucher vorgenommen und die segmentale Beweglichkeit der Intervertebralgelenke C3- C7 geprüft. Im Falle nachgewiesener Blockierungen wurde eine Gelenkmobilisation am Ende der Untersuchungsreihe durchgeführt. Unmittelbar nach jedem Testmanöver wurde ein weiteres Thermogramm aufgezeichnet, sodass pro untersuchter Probandin 14 Thermogramme angefertigt wurden. Zwei Messareale wurden in Übereinstimmung mit der Untersuchungsanleitung aus der Universität Glamorgan definiert und die Seitendifferenz der Temperatur wurde berechnet.

Die mittlere Temperaturdifferenz zwischen dem rechten und dem linken Messareal betrug vor der Untersuchung 0.10 ± 0.08 °K. Alle Probandinnen boten ein hypomobiles Segment, 5 Personen an der rechten Seite (2 im Segment C4, 2 im Segment C6, 1 im Segment C7) und 2 Personen an der linken Seite (Segment C5 und C7). Die mittlere Temperatur des rechten Messareals verminderte sich an 6 Untersuchungsschritten signifikant zum Ausgangswert einschließlich nach Mobilisation, während sich das linke Messareal nur nach der Untersuchung des 7. Intervertebralgelenks und nach Mobilisation signifikant erniedrigte. Die Seitendifferenz der Temperaturen veränderte sich jedoch zu keinem Zeitpunkt im signifikanten Ausmaß.

Asymptomatische vertebrale Blockierungen und die manualmedizinische Untersuchung beeinflussen die Temperaturdifferenz zwischen rechter und linker Nackenhaut nicht. Trotzdem können einseitig nach manualmedizinischer Untersuchung signifikante Temperaturänderungen beobachtet werden, und die Mobilisation eines blockierten Segmentes kann beidseitig Temperaturänderungen bedingen.

Aus Kanada kommt eine Studie, in der die Veränderungen der paravertebralen Temperatur nach Manualtherapie auf Höhe L5 untersucht wurde [55]. 20 Personen mit Zeichen eines akuten Lumbalsyndroms wurden zufällig einer tatsächlichen oder einer scheinbaren Manualtherapie zugeteilt, wobei eine Manipulation mit Impuls auf Höhe L5 bei der tatsächlichen Therapie

durchgeführt wurde. Als Ergebnisparameter wurde die mittels Infrarotradiometer bestimmte paravertebrale Hauttemperatur auf Höhe L5 verwendet. Bei den Patienten wurde nach 8 Minuten dauernder Akklimatisation an die Raumtemperatur 2 Minuten vor, unmittelbar und 1, 3, 5 und 10 Minuten nach der Manualtherapie die Hauttemperatur gemessen.

Unmittelbar nach der Manipulation fand sich an der behandelten Seite ein Hauttemperaturanstieg von $0,2$ ° Fahrenheit, während nach der Pseudothérapie an keiner Körperseite eine signifikante Temperaturveränderung beobachtet worden war. 3 Minuten nach der Manualtherapie wurde an der behandelten Körperseite eine Zunahme der Hauttemperatur von durchschnittlich $0,6$ Grad Fahrenheit gemessen, während an der nicht behandelten Körperseite eine Abkühlung der Hauttemperatur gesehen wurde. Dies führte zu signifikanten Seiten-Unterschiede der Hauttemperatur.

In einer vorher durchgeführten Studie haben Roy und Mitarbeiter versucht, den Einfluss des lokalen Drucks auf die Hauttemperatur während einer Manualtherapie mittels Activator zu bestimmen. Hoher lokaler Druck und normaler Druck mit anschließendem Manipulationsimpuls führten zur lokalen Abkühlung, die jedoch im Falle der Manipulation innerhalb von 3 Minuten die Ausgangstemperatur wieder erreichte [56]. Gabrhel und Mitarbeiter haben unterschiedliche Temperaturverteilungen bei Patienten mit funktionellen Störungen der Wirbelgelenke und Rückenschmerzen, die durch Erkrankungen des Urogenitalsystems mitbedingt waren [57].

Kokzygodynie

In Taiwan wurde eine Korrelation zwischen der Schmerzintensität von Patienten mit Kokzygodynie und einer hyperthermen Zone im Bereich der Haut über dem Sakrum hergestellt und der Erfolg einer manualtherapeutischen Intervention an der Veränderung der Hauttemperatur über dem Kreuzbein beurteilt [58]. Ob die in der Studie beschriebene Veränderung der Temperaturverteilung in der Sakralregion tatsächlich einen relevanten Ergebnisparameter bei Patienten mit Kokzygodynie darstellt, kann aus den vorliegenden Daten nicht entschieden werden.

Unspezifische Kreuzschmerzen

Sherman und Mitarbeiter fand Zusammenhänge zwischen der Schmerzintensität und der Symmetrie der Verteilung der Oberflächentemperatur [59]. Während bei Knieschmerzen eine Unterscheidung zwischen symptomatischen und asymptomatischen Personen auf Grund des Wärmebildes in 98% möglich war, war die thermographische Differenzierung zwischen Gesun-

den und Kreuzschmerzpatienten nur in 56% erfolgreich. Zaproudina et al. fanden bei Patienten mit chronischen Kreuzschmerzen eine geringe Korrelation zwischen Schmerzintensität und der Temperaturdifferenz zwischen den Fußsohle der symptomatischen und asymptomatischen Seite [60]. An der Lendenregion wurde jedoch zwischen Gesunden und Kreuzschmerzpatienten keine unterschiedliche Temperaturverteilung beobachtet.

Weichteilrheumatismus

Muskelverspannung und -Verletzung

Muskelarbeit stellt die wichtigste metabolische Wärmequelle dar. Deshalb trägt das typische Muster der Muskelkontraktion zur Temperaturverteilung an der Körperoberfläche von Sportlern bei. [61,62]. Pathologische Bedingungen eines Muskelhartspanns oder myofasziale Maximalpunkte (trigger points) können als Zonen mit erhöhter Temperatur sichtbar werden [63]. Allerdings wurde nach Temperaturmessung mit einem in der Hand gehaltenen Radiometer keine Korrelation zwischen Hauttemperatur und der Druckschmerzschwelle an myofaszialen Maximalpunkten gefunden [64]. Eine anatomische Studie aus Israel argumentierte im Fall der Insertionstendinose des M.levator scapulae, der häufig als Hot Spot in Thermogrammen dieses druckempfindlichen Sehnenansatzes an der medialen Schulterblatdecke zu sehen ist, dass die Temperaturerhöhung durch einen entzündeten Schleimbeutel und nicht durch die lokale Veränderung von Muskelfasern bedingt sei. [65].

Akute Muskelverletzungen imponieren als Zonen mit erhöhter Temperatur [66], die durch entzündliche Veränderungen im Frühstadium einer Verletzung bedingt ist. Allerdings erscheinen lange bestehende Verletzungen und auch Narben als hypotherme Bereiche, die durch verringerte Muskelkontraktion und dadurch bedingte verringerte Wärmeproduktion verursacht werden. Kühle Zonen werden auch in der Nachbarschaft von Gelenken beobachtet, die wegen Schmerzen oder einer Entzündung einen eingeschränkten Bewegungsumfang zeigen [67]. Eine verringerte Oberflächentemperatur wurde mit dem Vorliegen einer Coxarthrose Hüfte [67] oder einer Schultersteife [69, 70] in Beziehung gebracht. Die Auswirkung der Muskelschwäche auf die Entwicklung einer Hypothermie bei Patienten mit Paresen wurde diskutiert [71].

Zerrungen und Prellungen

Bandverletzungen am Sprunggelenk [72] und der Meniskusverletzungen im Knie [73] können durch Infrarotthermographie erkannt werden. Manchmal können Ermüdungsbrüche des Knochens können schon ther-

mographisch entdeckt werden, bevor typische Änderungen in Röntgenbildern sichtbar werden [74]. Die Thermographie besitzt bei Stressfrakturen die gleiche diagnostische Vorhersagekraft wie eine Knochenszintigraphie..

Enthesopathie

Muskelüberlastung oder wiederholte Zerrungen können zu schmerzhaften Sehnenansätzen oder zu dolenten Schwellungen angrenzender Sehnnenscheiden und Schleimbeutel führen. Tendovaginitiden in der Hohlhand wurde erfolgreich durch Messung der Oberflächentemperatur [75] identifiziert Die akute Bursitis an der Spitze des Olekranons ist durch eine ausgeprägte umschriebene Erwärmung (Hot Spot) an der Ellbogenspitze charakterisiert [76]. Abbildung 1 zeigt eine akute Entzündung der Achillessehne eines Patienten, der an einer Spondylarthritis erkrankt ist.

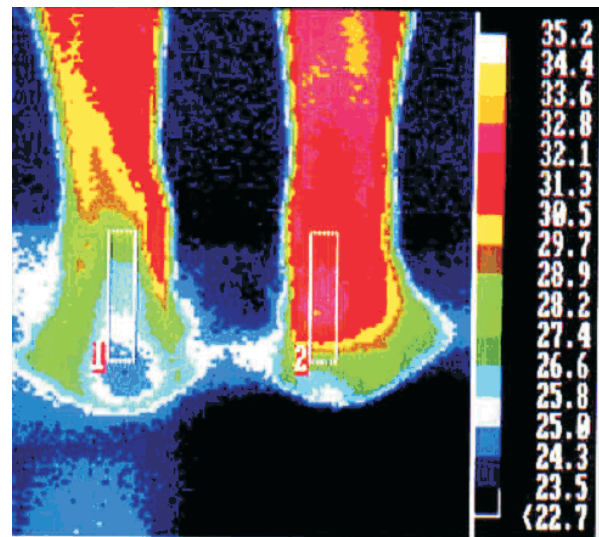


Abbildung 1
Akute Tendinitis der rechten Achillessehne bei einem Patienten entzündlicher Wirbelsäulenerkrankung

Tennis-Ellebogen

In Infrarotthermogrammen des Ellbogens sind Hot spots oft über schmerzhaften Muskelursprüngen der Finger- und Handstrecker am Ellbogen zu finden [77]. Die Infrarotthermographie konnte persistierende Sehneninsertionsprobleme in gleicher Weise nachweisen wie die Knochenszintigraphie [78]. Ein deutlicher Zusammenhang zwischen dem Nachweis von Hot spots am Ellbogen und einer niedrigen Druckschmerzschwelle am Epicondylus wurde beschrieben [79]. Das Verhalten solche warmen Zonen wurde auch erfolgreich als Ergebnisparameter zur Beurteilung von physikalischer [80,81] und chirurgischer Behandlung [82] genutzt. Bei Fibromyalgiepatienten sind beidseitige Hot Spots am Ellbogen ein häufiger Befund [83]. Abbildung 2 zeigt das Thermogramm eines Patienten mit

Tennisellbogen, der einen typischen Hot Spot im Bereich des Sehnenursprungs zeigt.

Golfer-Ellbogen

Schmerzhafte Ursprungstendinosen der Beugemuskeln an der medialen Seite des Ellbogens werden oft als Golfer-Ellbogen bezeichnet. Obwohl die Pathogenese des Schmerzsyndroms praktisch dieselbe ist wie beim Tennisellbogen, werden bei diesem Beschwerdebild Temperaturveränderungen nur im Ausnahmefall gefunden [84].

Periarthropathia humeroscapularis

Die Bezeichnung Periarthropathia humeroscapularis umfasst eine Anzahl von kombinierten Erkrankungen der periartikulären Strukturen des Schultergelenks. Am häufigsten kommen Ansatzveränderungen der Muskeln supraspinatus und infraspinatus vor, oft in Kombination mit Einklemmungssymptomen im subakromialen Raum. Lange bestehende Insertionstendinosen können zu Krankheitszeichen in Röntgenbildern oder Ultraschallbildern führen. Leider gibt es keine typischen Temperaturänderungen, die durch die Periarthropathie der Schulter [70, 85] verursacht werden. Es führt jedoch eine andauernde Bewegungseinschränkung im Schultergelenk zu einer Hypothermie der Schulterregion [69, 70, 86]. Abbildung 2 zeigt eine verminderte Oberflächentemperatur über dem linken Schulterregion eines Patienten mit eingeschränktem Bewegungsumfang des Schultergelenks.

Fibromyalgie

Die Begriffe Tender Points (Druckpunkte, wichtig als diagnostisches Kriterium der generalisierten Fibromyalgie) und Triggerpunkte (Maximalpunkte bzw Myogelosen, charakterisieren das myofasziale Schmerzsyndrom) dürfen nicht verwechselt werden. Tender Points und Triggerpunkte können im Thermogramm ein ähnliches Bild, nämlich Hot Spots zeigen. Falls dies zutrifft, sollten in den Thermogrammen von Fibromyalgie-Patienten zahlreiche Hot Spots an den typischen Lokalisationen der Tender Points zu finden sein. Eine Studie aus Italien konnte zwar keine unterschiedliche Muster der Wärmeverteilung bei Fibromyalgie-Patienten und Patienten mit degenerativen Wirbelsäulenveränderungen nachweisen [87], jedoch richteten sie über eine Übereinstimmung von warmen Zonen und schmerzhaften Muskeln in beiden Patientengruppen. Unsere eigenen thermographischen Untersuchungen bei Fibromyalgia fand eine diagnostische Genauigkeit von 60% von Hot Spots für Druckpunkte auf [88]. Die meisten Hot Spots wurden bei Fibromyalgiapatienten und die wenigsten bei gesunden Per-

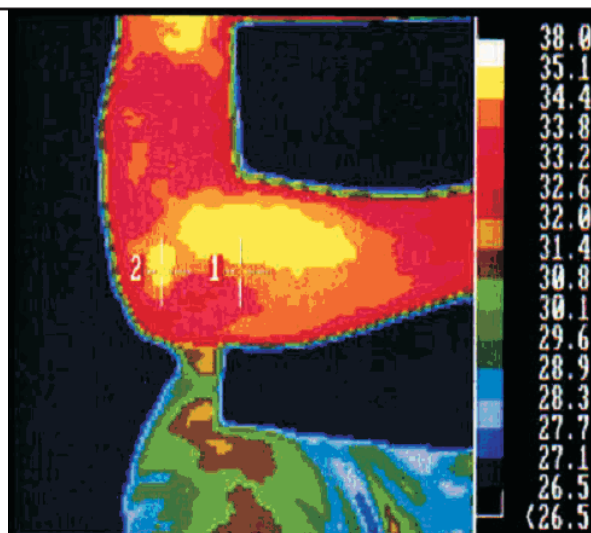


Abbildung 2
Tennisellbogen mit typischem Hot Spot im Bereich des Sehnenansatzes.

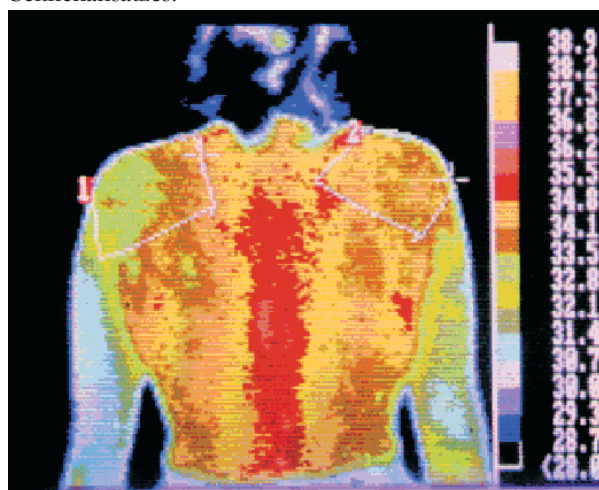


Abbildung 3
Verminderte Temperatur bei einer Patientin mit Schultersteife links

sonen gefunden. Mehr als 7 Hot Spots scheinen die Druckempfindlichkeit an mindestens 11 von 18 spezifischen Lokalisationen voraussagen zu können [88]. Basierend auf der Zahl der Hot Spots konnten 74,2% von 252 Personen (161 mit Fibromyalgie, 71 mit generalisierten Schmerzen, aber weniger als 11 Druckpunkten, und 20 gesunde Kontrollen) richtig zugeordnet werden [88]. Die Einschränkung Hot Spots nur an 16 oder 12 Druckpunkten zu zählen, erhöht die diagnostische Sensitivität der Zählung von Hot Spots [89]. Jedoch ist die Intra- und inter-individuelle Reproduzierbarkeit der Erkennung von Hot Spots ziemlich schlecht [90]. Eine Software unterstützte Erkennung von warmen oder kalten Punkten, die auf der Bestimmung von Temperaturgradienten im Umfeld von thermischen Unregelmäßigkeit beruht, könnte dieses Problem einer schlechter Wiederholbarkeit überwinden.

Peripheres Nervensystem

Nervenkompressions-Syndrome

Nervenkompressions-Syndrome kommen an typischen Lokalisationen des menschlichen Körpers vor, die durch anatomische Engpässe im Verlauf peripherer Nerven gekennzeichnet sind. Dort können die Nerven vermehrten inneren oder äußerem Druck ausgesetzt sein, der zu subjektiven Missempfindungen wie Prickeln oder taubes Gefühl, Schmerz, und schließlich Muskelschwäche und Atrophie führen kann.

Uematsu [91] hat bei Patienten mit partieller und vollständiger Schädigung peripherer Nerven gezeigt, dass das Ausmaß des Schadens durch die Temperaturreaktion auf die Verletzung unterschieden werden kann. Bei partieller Nervenläsion erscheint auf Grund der Aktivierung sympathischer Nervenfasern das Innervationsgebiet kühl. Völlig durchtrennte Nerven haben einen Verlust der sympathischen Innervation der Gefäße zur Folge und führen zu einer höheren Temperatur im betroffenen Hautgebiet. Die Spinalnerven, der Nervenplexus des Armes und der Mittelhandnerv im Karpaltunnel sind die am häufigsten betroffenen Nerven im Sinne einer Kompressionsneuropathie.

Eine Studie aus Deutschland hat thermographische Befunde mit den Ergebnissen des Schweißtest nach Minor bei monotopen Läsionen peripherer Nerven verglichen [92]. Bei allen Patienten mit Störung der Schweißproduktion wurde eine deutliche Asymmetrie der Temperaturverteilung gefunden, wobei das betroffene Hautareal anfangs hypertherm erschien und sich nach 4 bis 6 Monaten jedoch eine hypothermie einstellte.

Ash und Mitarbeiter untersuchten 87 Patienten mit radikulären Läsionen und 30 gesunde Personen mit einem Infrarotradiometer und einem Kontaktthermometer und konnten keine Korrelation zwischen Hauttemperatur und Oberflächensensibilität finden [93]. Die Autoren betonen das die thermographische Darstellung von sensorischen Dermatomen nicht plausibel ist und keine vorhersagbaren sympathischen Dermatome existieren..

Radikulopathie

Der vorgefallene Kern einer vertebrealen Bandscheibe kann den angrenzenden Spinalnerv, genauer die sensorischen und motorischen Fasern der dorsalen Wurzel des Spinalnervs komprimieren. Dies kann, muss aber nicht zu Symptomen einer Kompressionsneuropathie im Innervationsgebiet der betroffenen Fasern führen.

Wexler hat in eine speziellen Aufnahmetechnik für Infrarotthermogramme des Rückens entwickelt und be-

hauptet, Diskusschäden im Rückenthermogramm identifizieren zu können [94]. Der thermographische Nachweis von Bandscheibenschäden war bereits in den 70-iger und 80-iger Jahren des 20. Jahrhunderts ein kontrovers behandeltes Thema.

Duensing und Mitarbeiter haben die Infrarotbilder der Beine von Patienten mit radikulären Syndromen semi-quantitativ ausgewertet und im Regelfall im betroffenen Dermatom eine verminderte Infrarotabstrahlung gefunden (95). Die Autoren gaben drei mögliche Ursachen für die Verminderung der Hauttemperatur an, von denen die verminderte Muskeldurchblutung favorisiert wurde.

Gillström [96] fand bei 51 von 52 Patienten eine Übereinstimmung zwischen einem klinischen Ischiassyndrom und einem Temperaturunterschied der Beine von 1 °C oder mehr. Eine Unterscheidung eines L4/L5-Syndroms von einem S1-Syndrom war durch die Thermographie nicht möglich. In einer weiteren Studie nützten Gillström & Ehrnberg die Thermographie als Ergebnisparameter einer Autotraktionstherapie bei Patienten mit Ischialgie [97]. Gute Therapieergebnisse zeigten häufiger eine Verminderung der Temperaturasymmetrie als Patienten mit unveränderter Symptomatik.

De Werdt et al fanden bei Patienten mit persistierenden Schmerzen nach Bandscheibenoperation wegen radikulärer Kompression deutlich niedrigere Temperaturen am symptomatischen Fußrücken als am nicht schmerzhaften Bein[98]

Ein systematischer Review von Hoffman et al. [99] stellte 1991 fest, dass die Thermographie nur für Forschung und nicht als klinische Routineuntersuchung verwendet werden sollte. Diese Aussage basierte auf der Auswertung von 28 Arbeiten, die aus insgesamt 81 Publikationen ausgewählt worden waren.

Die Studie von McCulloch et al. [100], die methodisch ein hohes Niveau vorgesehen und aber nur teilweise auch umgesetzt hatte, beurteilte die Thermographie als nicht valide Methode. Allerdings erscheint auch die angewandte Methode der Aufnahme und Interpretation der Wärmebilder als unzureichend. Die gewählte Raumtemperatur von 20 zu 22°C könnte für die Erkennung von hypothermen Zonen zu niedrig gewesen sein. Die Auswertung der Thermogramme basierte auf dem Kriterium, dass mindestens 25% eines Dermatoms um 1°C kühler sein musste als die Gegenseite. Dieses Beurteilungskriterium mag für die Kontaktthermographie brauchbar sein, entspricht aber nicht den Anforderungen der quantitativen Infrarotthermo-

graphie. Auf die Problematik der Dermatombestimmung in Infrarotbildern, die durch eine mangelnde Standardisierung der Körperpositionierung während der Infrarotaufnahmen noch verstärkt wurde, wird hingewiesen.

Die Arbeit von Takahashi et al. [101] zeigte, dass das Temperaturdefizit, das durch Infrarotthermographie nachgewiesen wird, ein zusätzliches Krankheitszeichen bei Patienten mit Radikulopathie darstellt. Die hypothermen Zonen korrelierten nicht mit den sensiblen Dermatomen und nur wenig der Muskulatur des betroffenen Bereichs. Die diagnostische Sensitivität (22,9-36,1%) und der positive Voraussagewert (25,2-37,0%) waren für sowohl für muskuläre Symptome wie Druckempfindlichkeit oder Schwäche, als auch für Spontanschmerz und Empfindungsstörung niedrig. Demgegenüber wurden eine hohe diagnostische Spezifität (78,8-81,7%), eine hoher negative Voraussagewerte (68,5-86,2%) und eine hohe Diagnosegenauigkeit erreicht.

Nur die Publikationen von Kim & Cho [102] und Zhang et al. [103] teilten der Thermographie einen hohen Stellenwert für die Diagnose der lumbosakralen und zervikalen Radikulopathien zu. Allerdings haben diese Studien einige methodologische Schwächen. Obgleich eine hohe Anzahl von Patienten berichtet wurden, wurden gesunde Kontrollpersonen in der Untersuchung über lumbosakralen Radiculopathy nicht erwähnt. Die klinischen Symptome werden nicht beschrieben, und die Zuverlässigkeit des benutzten thermographischen fraglichen Diagnosekriteriums bleibt fraglich.

Koreanische Neurochirurgen haben an Patienten mit monosegmentaler Radikulopathie bei Diskusprolaps eine Korrelation zwischen der Schmerzintensität und der relativen Abkühlung des symptomatischen Beins beschrieben [104]. Bei Patienten mit geringen Schmerzen war das Bein um 0.26 ± 0.10 Grad kühler als die Gegenseite, mäßige Schmerzen waren von einer Temperaturminderung von 0.39 ± 0.19 Grad begleitet. Bei deutlichen Schmerzen war das betroffene Bein um 0.60 ± 0.26 Grad kühler als die Gegenseite und unerträgliche Schmerzen boten eine Temperaturdifferenz von 0.98 ± 0.41 Grad. Die relative Temperaturminderung war auch direkt vom Grad der Diskusprotrusion abhängig, wobei deutliche Hernien zu großen Temperaturänderungen führten. Eine Symptomdauer bis 2 Monate war ebenfalls von deutlichen Temperaturänderungen begleitet als radikuläre Schmerzen, die länger als 6 Monate bestanden

Eine chinesische Studie hat bestätigt, dass Gesunde eine symmetrische Temperaturverteilung an Lenden-

wirbelsäule und der Rückseite der Beine zeigen, wobei die Temperaturdifferenz maximal $0,5^\circ$ beträgt [105]. Als typisches Wärmebild einer Bandscheibenprotrusion wurde eine Hyperthermie auf Höhe des betroffenen Segmentes und eine Hypothermie des betroffenen Beins beschrieben, jedoch war die exakte Identifikation des betroffenen Wirbelsegmentes thermographisch nicht möglich. Es fand sich jedoch eine gute Korrelation zwischen Schmerzintensität und Ausmaß der Temperaturdifferenz an den Beinen. Allerdings fand sich sowohl bei Gesunden als auch Patienten ein hoher Anteil von irregulären Thermogrammen, sodass die Thermographie lediglich als zusätzliche diagnostische Maßnahme bei Bandscheibenerkrankungen eingesetzt werden sollte.

Thoracic Outlet Syndrome

Ähnlich wie die Fibromyalgie steht der Symptomenkomplex des Thoracic Outlet Syndroms (TOS) als eigenes Krankheitsbild unter andauernder Diskussion [106]. Übereinstimmung besteht, dass verschiedene Unterformen des TOS in Abhängigkeit der Schwere der Symptome unterscheiden werden müssen. Wärmebilder, die in bestimmten Körperpositionen aufgenommen werden, welche die Symptome des Patienten auslösen, können typische Temperaturasymmetrien in den Händen von Patienten mit vermutetem Thoracic Outlet Syndrome reproduzierbar darstellen [107, 108]. Temperaturmessungen aus Thermographien von Patienten, die diese Testpositionen durchgeführt haben, können von gleichen und von unterschiedlichen Begutachtern mit hoher Präzision [109] reproduziert werden.

Das ursprüngliche Untersuchungsprotokoll umfasste ein Manöver, in dem die Faust 30mal geöffnet und geschlossen wurde, bevor ein Wärmebild der Hand aufgenommen wurde. Da dieser Test zu keiner Erhöhung des Temperaturunterschiedes zwischen Zeigefinger und Kleinfinger führte, wurde der Faustschluss test aus dem Untersuchungsprotokoll [110] entfernt. Die Thermographie ist das einzige bildgebende Verfahren, das die subjektiven Symptome des milden TOS objektiv bestätigen kann. Die Infrarotthermographie wurde auch erfolgreich als Ergebnisparameter zur Beurteilung der Behandlung dieses Schmerzsyndroms [111] verwendet.

Bei einer Patientin mit mehreren Ursachen für die Symptome Paraesthesien und Kälte des 4 und 5, Finger, konnte die Thermographie zwar eine deutliche Abkühlung des kleinen Fingers zeigen, aber nicht alle Ursachen dieses Temperaturdefizit [112] nachweisen. Die thermographische Unterscheidung, ob Patienten an einem TOS oder einem Karpaltunnelsyndrom leiden, kann schwierig sein. Nur 66,3% der Patienten wurden richtig zu drei Diagnosegruppen zu-

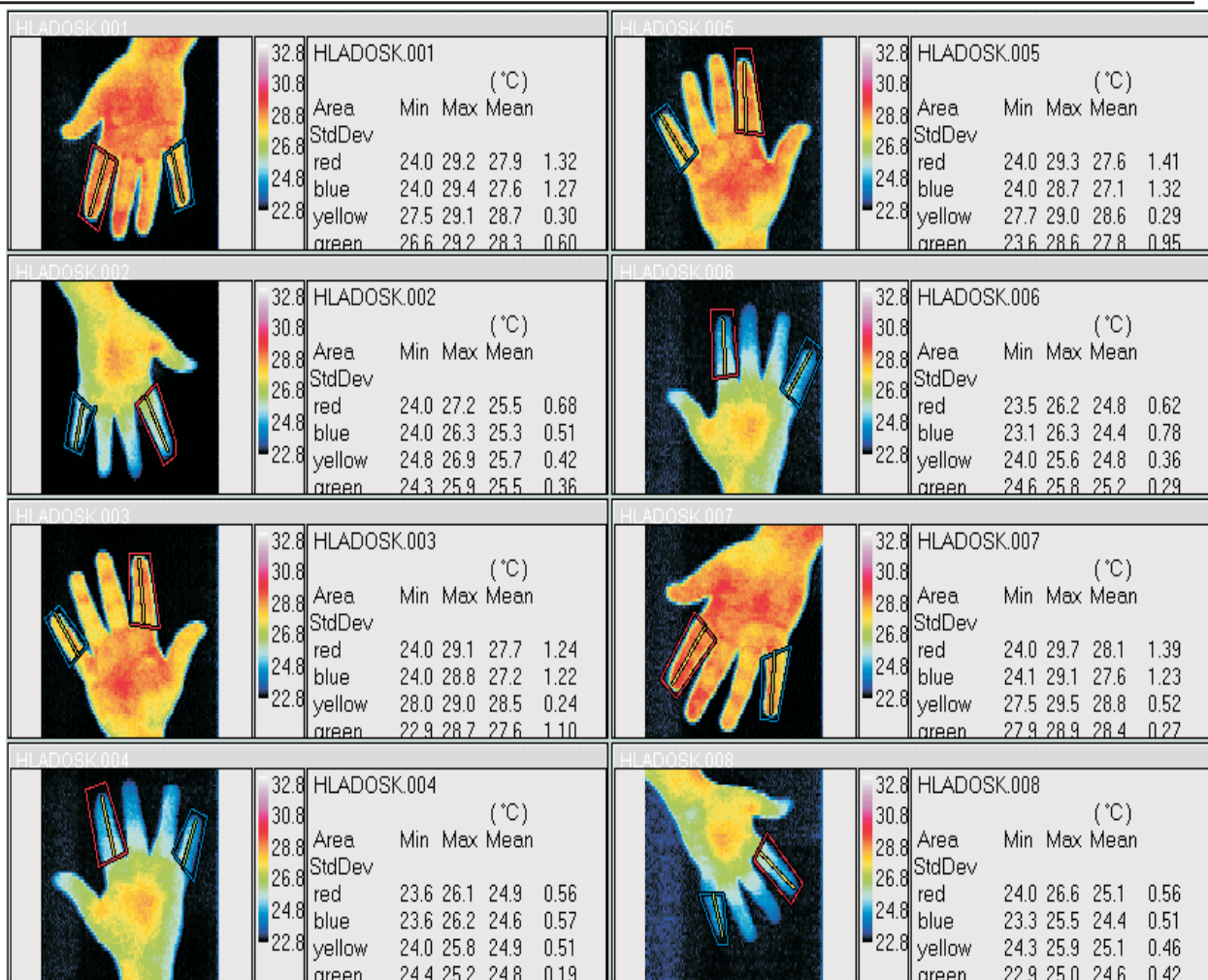


Abbildung 4 Serie von Wärmebildern eines Patienten mit themographisch gesichertem TOS an der rechten Hand und einem möglichen TOS an der linken Hand.

geteilt, wobei auf Grund des Wärmebildes kein einziger Patient mit Karpaltunnelsyndrome richtig zugeordnet worden war [113].

Karpaltunnelsyndrom (KTS)

Die Einklemmung des N.medianus im Karpaltunnel gilt als das häufigste peripher Nervenkompressionsyndrom. Eine Studie aus Schweden fand eine Prävalenz von 14,4% für Schmerz, Taubheitsgefühl und Kribbel-Parästhesien im Verteilungsgebiet des M. medianus. Die Prävalenz für ein klinisch diagnostiziertes Karpaltunnelsyndroms (KTS) war 3,8%, und 4,9% für pathologisch veränderte Nervenleitgeschwindigkeit des Mittelhandnerven. Ein klinisch und elektro-physiologisch bestätigtes KTS zeigte eine Prävalenz von 2,7% [114].

Die typische Verteilung von Symptomen führt zum klinischen Verdacht eines KTS [115], das durch eine Untersuchung der Nervenleitgeschwindigkeit bestätigt werden muss. Die typischen elektroneurographi-

schen Messergebnisse zeigen bei Patienten mit KTS eine hohe Reproduzierbarkeit zwischen denselben und unterschiedlichen Untersuchern [116]. In einer Studie, welche die Entwicklung der Nervenleitgeschwindigkeit über einen Zeitraum von 13 Jahren bei Patienten nach und ohne Entlastungsoperation des N.medianus untersucht hatte, konnte zeigen, dass die Mehrzahl der operierten Patienten die Nervenleitgeschwindigkeit innerhalb 12 Monate nach der Operation [117] deutlich beschleunigten. Nur 2 von 61 Patienten, die eine einfache Nervendekompression durch Spaltung des Ligamentum carpi transversum absolviert hatten, boten 2 bis 3 Jahre nach der Operation noch eine pathologische Nervenleitgeschwindigkeit [118].

Allerdings ist die Messung der Nervenleitgeschwindigkeit für den Patienten unangenehm und alternative Diagnoseverfahren sind willkommen. [119-121]. Ursprünglich wurde deshalb die Flüssigkristallthermographie für die Beurteilung von Patienten mit vermutetem KTS eingesetzt [122]. So et al. setzten die In-

frarotthermographie zur Bewertung von Kompressionssyndromen des Mittelhand- und des Ellenervens ein. Basierend auf einer Definition eines abnormalen Temperaturunterschiedes zur Gegenseite, fanden sie die Thermographie ohne jeden Wert für die Bestätigung der Diagnose und der elektrophysiologischen Untersuchung eindeutig unterlegen [123]. Hingegen berichtete Tchou eine hohe diagnostische Sensitivität und Spezifität der Infrarotthermographie bei Patienten mit einseitigem CTS. In dieser Untersuchung wurde das Messareal in Übereinstimmung mit dem sensiblen Innervationsbereichs des N. medianus definiert. Als pathologisch wurden die Thermogramme beurteilt, wenn in mehr als 25% des Messareals eine Temperaturerhöhung von mindestens 1°C im Vergleich zu der asymptomatischen Hand [124] zu finden war.

Ammer hat die Ergebnisse der Nervenleitgeschwindigkeit mit Thermogrammen von Patienten mit vermutetem KTS verglichen. Ein Temperaturunterschied zwischen dem 3. und 4. Finger von mindestens 1°C erreichte sowohl für die Nervenleitgeschwindigkeit als auch für die klinischen Symptome maximale diagnostische Spezifität wurden für den höchsten Wert (von 69%) der Sensitivität für pathologische elektrophysiologische Ergebnisse wurde gefunden, wenn die Temperatur an der Spitze des Mittelfingers um 1,2°C kleiner war als Temperatur über der Mittelhands [125].

Hobbins [126] kombinierte in seinen diagnostischen Überlegungen das thermische Muster mit dem zeitlichen Verlauf der Nervenverletzungen. Er postulierte das Auftreten eines kühlen Hautareals in der frühen Phase und einer warmen Zone in der späten Phase der Nervenkompression. Ammer et al. [127] untersuchten, wie viele Patienten mit einer distalen Latenz des Mittelhandsnervs von mehr als 6,0 Millisekunde ein hyperthermes Muster zeigen. Sie beobachteten eine geringfügige Vermehrung einer erhöhten Hauttemperatur bei Patienten mit ausgeprägten KTS, die anzeigt, dass die Kompression des N. medianus von einem Verlust der autonomen Funktion bei diesen Patienten begleitet wird.

Ammer [128] hat auch die Temperatur des Zeigefingers mit der Temperatur des sensiblen Innervationsgebiets des Mittelhandnerv am Handrücken verglichen und fast identische Messwerte für beide Bereiche gefunden. Eine ähnliche Relation wurde für den Ellenerv beschrieben. Aus diesen Daten wurde geschlossen, dass die Temperatur des Zeigefingers bzw. des kleinen Fingers in hohem Grade die Temperatur des sensiblen Innervationsgebiets des N. medianus bzw. des N. ulnaris repräsentiert.

Kürzlich wurden Thermogramme von Patienten mit Karpaltunnelsyndrom in einem Artifiziellem Netz-

werk verwendete, wobei 72.2% aller Hände (Gesunder und Erkrankter) richtig diagnostiziert wurden [129]. Der Prozentsatz korrekter Diagnosen stieg über 80% an, wenn nur die Bilder von Gesunden und Patienten mit ausgeprägten Karpaltunnelsyndrom berücksichtigt wurden.

Viele thermographische Untersuchungen über das KTS haben eine kurzzeitige Kälteanwendung verwendet, um den thermischen Kontrast zwischen betroffenen Fingern zu erhöhen.

Eine Studie aus England fand nach Kälteapplikation an Patienten, die wegen eines elektrophysiologisch nachgewiesenen Karpaltunnelsyndrom für eine Entlastungsoperation vorgesehen waren, präoperativ an den distalen Anteilend des Zeige- und Kleinfingers eine verzögerte Wiedererwärmung [130]. An der asymptomatischen Hand und an den proximalen Anteilen der Finger fanden sich keine thermischen Auffälligkeiten. Postoperativ wurde eine raschere Wiedererwärmung des distalen Zeigefingers als präoperativ gefunden.

Rujis und Mitarbeiter untersuchten 12 Patienten nach Verletzungen des N. Medianus oder N. ulnaris thermographisch nach einem Kaltwassertest. [131]. Es konnte gezeigt werden, dass das Wiedererwärmungsmuster mit der Wiederherstellung der sensorischen Funktion korrelierte. Patienten mit rascher Wiedererwärmung zeigten eine deutlich geringere Kälte-Intoleranz als Personen mit verzögerter Wiedererwärmung.

Eine langsame Wiedererwärmung nach Kälteexposition gilt als diagnostisches Zeichen für ein Raynaud-Phänomen [132]. Das gleich zeitige Vorkommen von KTS und Raynaud-Phänomen wurde in der Literatur [133, 134] berichtet. Bereits Maurice Raynaud berichtete über eine 26 jährige Frau, die während der Schwangerschaft Attacken von Blässe eines gefühllosen Zeigefingers entwickelt hatte [135].

Andere Kompressionssyndrome

Kein eindeutiges thermisches Muster wurde bei Kompression des N. ulnaris [123] berichtet. Eine Pilotstudie fand beim Vergleich der Hände von den Patienten mit Thoracic Outlet Syndrom (TOS) oder Kompression des Ellenervens am Ellenbogen nur bei einem von sieben Patienten mit Sulcus ulnaris Syndrom eine Temperaturasymmetrie an der betroffenen Hand [136]. Alle Patienten mit TOS, die während der Thermographie typische TOS-Tests durchführten, zeigten mindestens in einem Thermogramm ein asymmetrisches Temperaturmuster.

Lähmungen peripherer Nerven

Als Parese bezeichnet man eine Beeinträchtigung der Bewegungsfunktion aufgrund einer Schädigung des

Nervensystems. Eine Verminderung der Sensibilität kann gleichzeitig mit motorischem Defizit verbunden sein, ein Verlust der Sensibilität ist jedoch im Begriff Parese nicht inkludiert. Die meisten Temperaturzeichen der Parese sind deshalb Ausdruck mit der eingeschränkten Bewegungsfunktion.

Lähmung des Armplexus

Die Lähmung des Plexus brachialis ist eine schwerwiegende Folge von Verkehrsunfällen und Motoradfahrer sind sehr häufig betroffen. Die Schädigung der motorischen Nerven führt zur Lähmung, Muskelatrophie und verringerte Oberflächentemperatur. 0,5 bis 0,9% der Neugeborenen erwerben eine Plexusparese während der Geburt [137]. Eine frühzeitige Wiederherstellung der Oberflächentemperatur bei Babys mit Plexusparese geht der Restitution der Bewegungsfunktion voran, wie in einer Studie aus Japan [138] gezeigt hat.

Nervus Fazialis

Der 7. Hirnnerv versorgt die mimischen Muskeln des Gesichtes und ein erworbenes Defizit wird häufig Bell'sche Lähmung genannt. Diese Parese hat hinsichtlich einer vollen Wiederherstellung normalerweise eine gute Prognose. Die Thermographie wurde als Ergebnisparameter bei Akupunkturbehandlung der Gesichtslähmung [139,140] verwendet. Ammer et al. [141] beschrieben geringfügige Asymmetrien bei Patienten mit Fazialisparese, wobei an der betroffenen Seite häufiger eine Erwärmung als eine Abkühlung gefunden wurde. Bei Patienten mit einer Herpes zoster bedingten Gesichtslähmung, wurden höhere Temperaturunterschiede zur kontralateralen Seite gefunden als bei Patienten mit nicht durch Herpes verursachter Gesichtsparese [142].

Nervus Peroneus

Der N. peroneus kann im Rahmen einer metabolischen Neuropathie bei Patienten mit Stoffwechselerkrankungen oder durch intensiven Druck im Bereich des Fibulaköpfchens im Sinne einer Kompressionsneuropathie betroffen sein. Dieses kann zum Fallfuß führen, bei der Patient seinen Vorfuß nicht anheben kann. Das Wärmebild ist durch verringerte Temperaturen an der Vorderseite des Unterschenkels gekennzeichnet, die deutlich sichtbar werden können, nachdem der Patient einige Bewegungsübungen [143] durchgeführt hat.

Komplexes regionales Schmerzsyndrom (CRPS 1, M.Sudeck)

Eine Temperaturdifferenz von mehr 1°C zwischen dem erkrankten und dem nicht betroffenen Körperteil ist ein Diagnosekriterium des komplexen regionalen

Schmerzsyndroms (CRPS) [144]. Ammer untersuchte Patienten, die wegen eines Speichenbruchs konservativ mit einem Gipsverband behandelt worden waren [145]. Innerhalb 2 Stunden nach Gipsabnahme und 1 Woche später wurden Wärmebilder beider Hände angefertigt. Nach dem zweiten Thermogramm wurde ein Röntgenbild beider Hände aufgenommen. Der mittlere Temperaturunterschied zwischen der betroffenen und der gesunden Hand betrug nach Gipsabnahme 0,6 Grad und 0,63 Grad eine Woche später. In 21 von 41 Röntgenbildern wurden diskrete Veränderungen am Knochen gefunden, die das Vorliegen einer Algodystrophie vermuten ließen. Abbildung 4 fasst die Ergebnisse hinsichtlich der Röntgenbefunde zusammen. Abbildung 5 zeigt den zeitlichen Verlauf eines individuellen Patienten

Es wurde auch gezeigt, dass die Temperaturunterschiede während einer erfolgreichen Behandlung abnehmen und dieser Temperatureffekt von einer Schmerzreduktion, einer Abschwellung und Rückbildung von Röntgenzeichen begleitet ist [146].

Eine Störung der vaskulären Adaption und eine verzögerte Reaktion auf Temperaturreize wurde bei den Patienten beobachtet, die unter CRPS [147, 148] leiden. Diese Veränderungen wurden als Funktionsstörungen des autonomen Nervensystems interpretiert. Ein Kältereiz an der kontralateralen Seite der verletzten Gliedmaße wurde zur Frühdiagnose des CRPS empfohlen. Gulevich et al. [149] bestätigten die hohe diagnostische Sensitivität und Spezifität einer solchen Abkühlung für die Diagnose eines CRPS. Wasner et al. [150] erzielten ähnliche Resultate durch Abkühlen oder Erwärmung des gesamten Körpers. Conwell zeigte, dass die paradoxe Erwärmung der betroffenen Extremität bei Abkühlung an der kontralateralen Extremität gut mit den modifizierten IASP Kriterien für das CRPS übereinstimmt.[151].Vor kurzem fand eine holländische Studie, dass der Asymmetriefaktor, der aus Temperatur-Histogrammen an der betroffenen und nicht erkrankten Hand berechnet worden war, die beste diagnostische Aussage für CRPS zeigte, während die Differenz der Durchschnittstemperaturen nicht zwischen Krankheit und Gesundheit [152] unterscheiden konnte.

Durchführung der Thermographie

Die Parameter eines zuverlässigen thermographischen Untersuchungsanges sind wiederholt beschrieben worden. Die Veröffentlichung von Engel et al. [153] ist das Ergebnis einer europäischen Arbeitsgruppe über die Thermographie bei Erkrankungen des Bewegungsapparates aus dem Jahre 1978. Diese Arbeit bespricht Aspekte der Normierung einschließlich der Notwen-

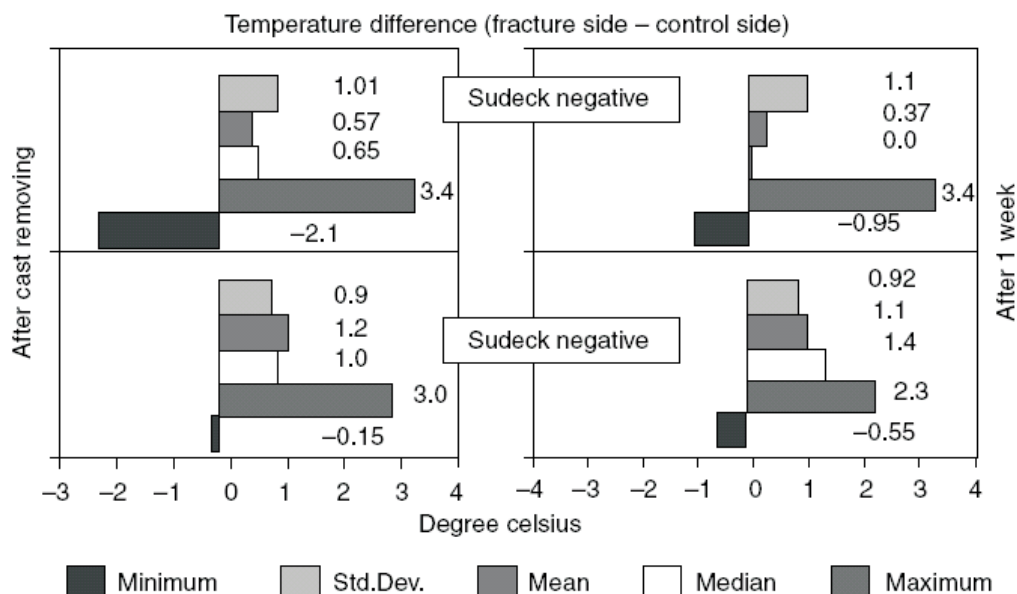


Abbildung 5

Temperaturwerte von Patienten mit und ohne Röntgenzeichen eines M.Sudeck

digkeit einer ausreichenden Temperaturregulierung des Untersuchungsraumes und die Bedeutung von standardisierten Bildausschnitten bei der Aufnahme von Wärmebildern. Ring und Ammer publizierten im Jahr 2000 [154] einen Überblick über notwendige Voraussetzungen einer zuverlässigen Technik für die Anfertigung und Beurteilung von Wärmebildern in der klinischen Medizin. Dieser Vorschlag wurde später erweitert worden, und führte zu einem korrigierten Satz von Standardansichten und dazugehörigen Messarealen für die quantitative Temperaturanalyse. Das Letzte ist für Normierung besonders wichtig, da üblicher Weise Messareale auf Grund subjektiver Überlegungen platziert wurden. Das hatte zur Folge, dass es in der Auswertung von Thermogrammen schwierig war, die Position der Messareale und damit auch die Messung zu reproduzieren, wenn keine Bezugspunkte für die Lage der Messregionen definiert worden waren. Die Wiederholbarkeit der Messung durch unterschiedliche Untersucher ist ohne Standardisierung ebenfalls gering und dies führt zu fehlerhaften und unakzeptablen Messdaten. Die Ergebnisse der Normierung der thermographischen Untersuchungstechnik einschließlich der Standardpositionen und Definition der Messareale wurden in einer multizentrischen Britisch-Polnischen Gruppe erarbeitet mit dem Ziel, eine Datenbank normaler Thermogramme gesunder Menschen aufzubauen. Das detaillierte Protokoll dieses Projektes wurde erst kürzlich publiziert [14] und kann nach wie vor auf der Webseite der Medical Imaging Research Unit der Waliser Universität von Glamorgan gefunden werden.

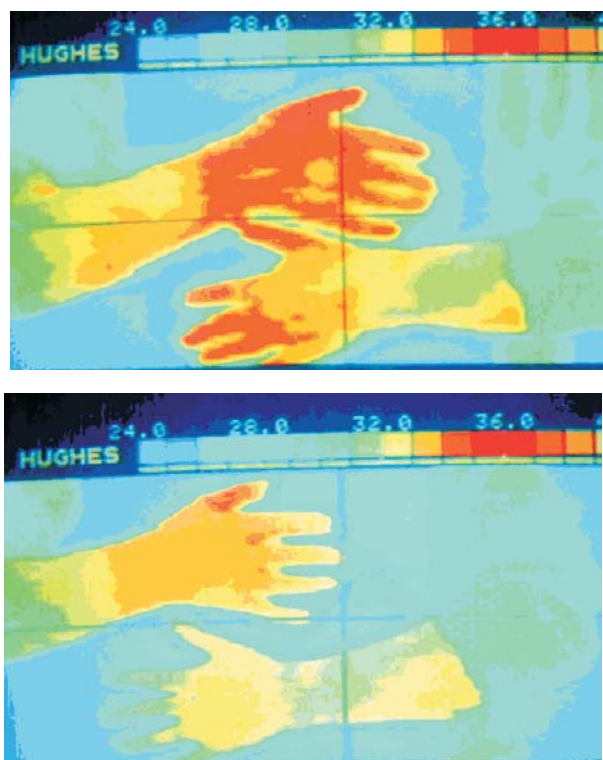


Abbildung 5

Frühes CRPS nach distalem Speichenbruch.
Oben: 2 Stunden nach Gipsabnahme;
Unten: 1 Woche später.

Raumtemperatur

Die Wahl der Raumtemperatur hat für den Einsatz der Thermographie bei Erkrankungen des Bewegungsapparates große Bedeutung. Entzündliche Affektionen

wie Gelenkentzündungen werden an den Extremitäten gut bei einer Raumtemperatur von 20°C entdeckt und für entzündliche Veränderungen am Rumpf können sogar 18°C günstig sein. Allerdings soll dabei die relative Feuchtigkeit nicht 45% übersteigen und die Luftbewegung im Raum darf nur gering sein. Der zu untersuchende Patient darf weder während der Akklimatisation an die Raumtemperatur noch während der Anfertigung der Wärmebilder einem Luftzug ausgesetzt sein. Bei anderen klinischen Fragestellungen insbesondere bei der Darstellung von reflektorischen Veränderungen, ist eine höhere Raumtemperatur von 22-24°C erforderlich, um vor allem thermoregulatorische Gefäßveränderungen zu vermeiden. In jedem Fall sollten darüber hinaus gehende Temperaturregulationsmechanismen wie Schwitzen (ab 25° Raumtemperatur) oder Kältezittern (ab 17° Raumtemperatur) in der Routinethermographie vermieden werden.

Klinische Untersuchung

Bei Patienten mit Erkrankungen des Bewegungsapparates, kann eine klinische Untersuchung in Verbindung mit der Thermographie wichtig sein. Die Kenntnis einer Medikation, des Bewegungsumfang von Gelenken, der Schmerzprovokation durch Bewegung oder in bestimmten Körperstellungen kann für die Interpretation von Wärmebildern große Bedeutung haben. Diese klinischen Daten sollten gemeinsam mit den Thermographien archiviert werden.

Die Analyse der Thermographie muss aber ausschließlich auf den gefundenen Temperaturwerten und ihrer Verteilung basieren. Die klinischen Befunde erleichtern die Interpretation der Temperaturwerte und sollen mit den thermischen Ergebnissen korreliert werden. Keinesfalls dürfen jedoch die Ergebnisse der Thermographie mit dem Pathomechanismen von Erkrankungen gleichgesetzt werden [155]. Das heißt eine hypertherme Zone darf nicht als Entzündung, oder ein kühles Areal als Bereich eines erhöhten Sympathikotonus bezeichnet werden.

Literatur

1. Horvath SM, Hollander JL. Intra-articular temperature as a measure of joint reaction. *J. Clin. Invest.*, 1949; 13, 615
2. Haimovici N. Wert der direkten, intraartikulären Temperaturmessung in der Diagnostik der Gelenkerkrankungen. *Akt. Rheumarol.* 1982; 7: 188-193
3. Collins AJ, Cosh JA. Temperature and biochemical studies of joint inflammation. *Ann. Rheum. Dis.*, 1970, 29, 386,
4. Ring EFJ, Collins AJ. Quantitative thermography. *Rheumatol. Phys. Med.* 1970, 10, 337.
5. Esselinckx W. et al. Thermographic assessment of three intra-articular prednisolone analogues given in rheumatoid arthritis. *Br. J. Clin. Pharm.*, 1978; 5, 447,

6. Bird HA, Ring EFJ, Bacon PA. A thermographic and clinical comparison of three intra-articular steroid preparations in rheumatoid arthritis. *Ann. Rheum. Dis.*, 1979; 38, 36.
7. Collins AJ, Ring EFJ. Measurement of inflammation in man and animals. *Br. J. Pharm.*, 1972; 44, 145,
8. Bacon PA, Ring EFJ, Collins AJ. Thermography in the assessment of anti rheumatic agents, in *Rheumatoid Arthritis*. Gordon JL, Hazleman BL, eds., Elsevier/North Holland Biomedical Press, Amsterdam, 1977, p. 105.
9. Brenner M, Braun C, Oster M, Gulko PS. Thermal signature analysis as a novel method for evaluating inflammatory arthritis activity. *Ann Rheum Dis* 2006; 65:306-311
10. Collins AJ, Ring EF, Cosh JA, Bacon PA. Quantitation of thermography in arthritis using multi-isothermal analysis. I. The thermographic index. *Ann. Rheum. Dis.*, 1974; 33, 113
11. Arnold MH, Preston SJL, Beller EM, Buchanan WW. Infra-red surface thermography. Evaluation of a new radiometry instrument for measuring skin temperature over joints. *Clin Rheumatol*, 1989, 8(2) 225-230
12. Oblinger W, Engel J-M, Franke M. thermographische Diagnostik der Arthritis peripherer Gelenke. *Z Rheumatol* 1985; 44: 77-81
13. Ammer K, Engelbert B, Kern E. The determination of normal temperature values of finger joints. *Thermol. Int.*, 2002; 12, 23
14. Ammer K. The Glamorgan Protocol for recording and evaluation of thermal images of the human body. *Thermology international* 2008, 18: 125-144
15. Varju G, Pieper CF, Renner JB, Kraus VB. Assessment of hand osteoarthritis: correlation between thermographic and radiographic methods. *Rheumatology* 2004;43:915-919
16. Spalding SJ, Kwoh CK, Boudreau R, Enama J, Lunich J, Huber D, Denes L, Hirsch R. Three-dimensional and thermal surface imaging produces reliable measures of joint shape and temperature: a potential tool for quantifying arthritis. *Arthritis Research & Therapy* 2008, 10:R10
17. Engel JM. Quantitative Thermographie des Kniegelenks. *Z. Rheumatol.* 1978; 37. 242-253.
18. Engel JM. Thermography in locomotor diseases. *Acta thermographica* 1980, 5: 11-13
19. Ring EFJ. Objective measurement of arthritis by thermography. *Acta thermographica* 1980, 5: 14- 16
20. Salisbury RS, Parr G, De Silva M, Hazleman BL, Page-Thomas DP. Heat distribution over normal and abnormal joints: thermal pattern and quantification. *Ann Rheum Dis* 1983; 42: 494-9.
21. Vujcic M, Nedeljkovic R. Thermography in the detection and follow up of chondromalacia patellae. *Ann Rheum Dis* 1991; 50:921-925
22. Warashina H, Hasegyawa Y, Tsuchiya H, Kitamura S, Yamauchi K-I, Torii Y, Kawasaki M, Sakano S. Clinical, radiographic, and thermographic assessment of osteoarthritis in the knee joints. *Ann Rheum Dis* 2002; 61: 852-854
23. Hildebrandt C, Raschner C. An Intra-Examiner Reliability Study of Knee Temperature Patterns With Medical Infrared Thermal Imaging. *Thermol inter* 2009, 19(3):73-76
24. Rusch D, Neeck G. Dynamische Thermographie der Kniegelenke bei rheumatoider Arthritis vor und nach vierwöchiger intensiver klinischer Behandlung. *ThermoMed* 1991; 7: 80-84

25. Rusch D, Follmann M, Boss B, Neeck G. Dynamic thermography of the knee joints in rheumatoid arthritis (RA) in the course of the first therapy of the patient with methylprednisolone. *Z Rheumatol* 59(Suppl 2) 131-135
26. Czerny V. Eine fokale Malazie des Unterschenkels. *Wien. Med. Wochenschr.*, 1873. 23, 895,
27. Paget J. On a form of chronic inflammation of bones. *Med. Chir. Transact.*, 60, 37, 1877.
28. Ring EFJ, Davies J. Thermal monitoring of Paget's disease of bone. *Thermology*, 3, 1990: 167
29. Cosh JA, Ring EFJ. Techniques of heat detection used in the assessment of rheumatic diseases. *J. Radiol. Electrol.* 1967, 48, 84.
30. Agarwal A., Lloyd KN, Dovey P. Thermography of the spine and sacro-iliac joints in spondylitis. *Rheum Phys Med* 1970, 10, 349-355.
31. Sadowska-Wroblewska M, Kruszewski S., Garwolińska H., Filipowicz-Sosnowska A. The thermographic examination of sacro-iliac joints. *Acta Thermographica*, 1976, 1, 54-62.
32. Grennan DM., Caygill L. Infra-red thermography in the assessment of sacro-iliac inflammation. *Rheum Rehabil* 1982, 21, 81-87
33. Jacobsson H, Vestersköld L. The thermographic pattern of the lower back with special reference to the sacro-iliac joints in health and inflammation. *Clinical rheumatology*, 1985, 4 (4) 426-432
34. Tauchmannova H, Svec V, Zlnay D. Thermography in Ankylosing Spondylitis. In Ring EFJ, Phillips N, eds, *Recent Advances in Medical Thermology*. Plenum Press, New York. 1984, pp 475-480
35. Tauchmannova H. Thermographie bei Morbus Bechterew. *Thermol Österreich* 1994, 4(3) 97-100
36. Woodrough RE. Thermographic screening for scoliosis in adolescents. *Acta Thermographica*, 1977. 2: 63-66
37. Woodrough RE. Telethermography of the back. *Acta Thermographica*, 1978, 3, 76-82.
38. Koprowski R, Konik H, Wróbel H. Computer Analysis of Thermograms In Vertebral Column Pathology Among The Children. *QIRT* 2000, paper 4
39. Dragan S, Konik H, Pratoski A, Orzechowski W. Application of thermography in diagnostics and prognostication of scoliosis treatment. *Acta Bioengineering & Biomechanics* 2002, 4(1) 63-70
40. Einsiedel-Lechtape H, Radomsky J, Decker K. Thermographic studies of the normal back and of spinal lesions. *Acta Thermographica* 1977, 2, 117-128.
41. Feldman F, Nickoloff EL. Normal Thermographic Standards for the Cervical Spine and Upper Extremities. *Skeletal Radiol* 1984, 12:235-249
42. Rubal BJ, Traycoff RB, Ewing KL. Liquid Crystal Thermography. A New Tool for Evaluating Low Back Pain. *Physical Therapy* 1982, 62(11) 1593-1596
43. Vlasuk SL. Standards for Thermography in Chiropractic Practice. In: Vear HJ (ed). *Chiropractic Standards of Practice and Quality of Care*. Aspen Publishers, Gaithersburg, Maryland, 1992, pp. 195-220
44. Hart J, Owens EF. Stability Of Paraspinal Thermal Patterns During Acclimation *J Manipulative Physiol Ther*; 2004; 27:109-17
45. Hart J, Omolo B, Boone WR et al. Reliability of three methods of computer-aided thermal pattern analysis. *J Can Chiropr Assoc* 2007; 51(3) 175-185
46. Roy RA, Boucher JP, Comtois AS. Validity of infrared thermal measurements of segmental paraspinal skin surface temperature. *J Manipulative Physiol Ther* 2006; 29:150-155.
47. Roy RA, Boucher JP, Comtois AS. Digitized infrared segmental thermometry: Time requirements for stable recordings. *J Manipulative Physiol Ther* 2006; 29: 468.e1-468.e10.
48. Roy RA, Boucher JP, Comtois AS. Consistency of Cutaneous Thermal Scanning Measures Using Prone and Standing Protocols: A Pilot Study. *J Manipulative Physiol Ther* 2010; 33: 238-240
49. Diakow PRP, Ouellet S, Lee S, Blackmore EJ Correlation of thermography with spinal dysfunction: preliminary results. *J Can Chiropr Assoc* 1988 32(2):77-80
50. Diakow PRP. Thermographic assessment of sacroiliac syndrome: report of a case. *J Can Chiropr Assoc* 1990; 34(3):131-134
51. Engel JM. Thermographische Objektivierung der segmentalen Neuropathophysiologie. *Manuelle Med* 1984; 22: 30-40
52. Kainz A, Ehn A, Bily W. Thermographische Objektivierung der Manualtherapie bei Patienten mit Wirbelsäulenbeschwerden. *Thermol Österr*; 1992; 2: 30-33
53. Ammer K. Thermographie bei Patienten mit Wirbelblockierungen *Manuelle Medizin* 1993; 31:118-121
54. Ammer K. Temperature changes after manual examination of the cervical spine. *Thermology international*; 2002; 12:147-152
55. Roy RA, Boucher JP, Comtois AS. Effects of a manually assisted mechanical force on cutaneous temperature. *J Manipulative Physiol Ther* 2008; 31:230-236.
56. Roy RA, Boucher JP, Comtois A. Paraspinal Cutaneous Temperature Modification After Spinal Manipulation At L5. *J Manipulative Physiol Ther* 2010; 33: 308-314
57. Gabrhel J, Popracová Z, Tauchmannová H, Chvojka Z. Thermographic Findings In The Lower Back: Can They Be Explained By A Reflex Mechanism? *Thermology international* 2010; 20(1) 28-352
58. Wu C-L, Yu K-L, Chuang H-Y. et al The Application of Infrared Thermography In The Assessment Of Patients With Coccygodynia Before And After Manual Therapy Combined With Diathermy. *J Manipulative Physiol Ther* 2009; 32:287-29
59. Sherman RA, Barja RH, Bruno GM. Thermographic correlates of chronic pain: analysis of 125 patients incorporating evaluations by a blind panel. *Arch Phys Med Rehabil*. 1987; 68(5):273-9.
60. Zaproudina N, Ming Z., Hänninen OOP. Plantar Infrared Thermography Measurements And Low Back Pain Intensity. *J Manipulative Physiol Ther* 2006; 29:219-223
61. Tauchmannova H, Gabrhel J, Cibak M. Thermographic findings in different sports, their value in the prevention of soft tissue injuries. *Thermol. Österr.* 1993; 3, 91-95,
62. Smith BL, Bandler MK, Goodman PH. Dominant forearm hyperthermia, A study of fifteen athletes. *Thermology*, 1986; 2, 25-28.
63. Fischer AA, Chang, CH. Temperature and pressure threshold measurements in trigger points. *Thermology*, 1986; 1, 212,

64. Radhakrishna M, Burnham R. Infrared skin temperature measurement cannot be used to detect myofascial tender spots. *Arch Phys Med Rehabil* 2001;82:902-5.
65. Menachem A, Kaplan O, Dekel S. Levator scapulae syndrome: an anatomic-clinical study. *Bul. Hosp. Jt. Dis.*, 1993, 53, 21,
66. Schmitt M, Guillot Y. Thermography and muscle injuries in sports medicine. in *Recent Advances in; Medical Thermography*, Ring, E.F.J. and Philips, J., eds., Plenum Press, London, 1984, p. 439.
67. Ammer K. Low muscular activity of the lower leg in patients with a painful ankle. *Thermol Österr.*, 1995; 5,103,
68. Kanie R. Thermographic evaluation of osteoarthritis of the hip. *Biomed. Thermol.*, 1995; 15, 72,
69. Vecchio PC. et al. Thermography of frozen shoulder and rotator cuff tendinitis. *Clin. Rheumatol.*, 1992; 11, 382,
70. Ammer K, Engelbert B, Hamerle S, Kern E, Solar S, Kuchar K. Thermography of the painful shoulder. *Eur. J. Thermol.*, 1998; 8, 93-100
71. Hobbins WB, Ammer K. Controversy: why is a paretic limb cold, high activity of the sympathetic nerve system or weakness of the muscles? *Thermol. Österr.*, 1996; 6, 42,
72. Ring EFJ, Ammer K. Thermal imaging in sports medicine. *Sports Med. Today*, 1998; 1, 108,
73. Gabrhel J, Tauchmannova H. Wärmebilder der Kniegelenke bei jugendlichen Sportlern. *Thermol. Österr.*, 1995; 5, 92,
74. Devereaux MD. et al. The diagnosis of stress fractures in athletes. *JAMA*, 1984; 252, 531,
75. Graber, J. Tendosynovitis detection in the hand. *Verh. Dtsch. Ges. Rheumatol.*, 1980; 6, 57,
76. Mayr H. Thermografische Befunde bei Schmerzen am Ellbogen. *Thermol. Österr.*, 1997; 7, p. 5-10,
77. Binder AI; Parr GR, Page Thomas P, Hazleman BL. Thermography of tennis elbow, in *Recent Advances in Medical Thermography*. Ring EFJ, Philips J, eds., Plenum Press, London, 1984, p. 513.
78. Thomas D, Savage JP. Persistent tennis elbow: evaluation by infrared thermography and nuclear medicine isotope scanning. *Thermology*, 3: 132; 1989.
79. Ammer K. Thermal evaluation of tennis elbow, in *The Thermal Image in Medicine and Biology*. Ammer K. Ring EFJ, eds., Uhlen Verlag, Wien, 1995, p. 214.
80. Devereaux MD, Hazleman BL, Thoma, PP. Chronic lateral humeral epicondylitis - a double-blind controlled assessment of pulsed electromagnetic field therapy. *Clin. Exp. Rheumatol.* 1985; 3, 333,
81. Ammer K, Solar S, Kern E, Birtalan L, Engelbert B. Thermographische und algometrische Kontrolle der physikalischen Therapie bei Patienten mit Epicondylopathia humeri radialis. *ThermoMed*, 1995,11, 55-67.
82. Meknas K, Odden-Miland A, Mercer JB, Castillejo M, Johansen O. Radiofrequency Microtenotomy A Promising Method for Treatment of Recalcitrant Lateral Epicondylitis. *Am J Sports Med* 40(10)
83. Ammer K, Schartelmüller T, Melnizky P. Thermography in fibromyalgia. *Biomed. Thermol.*, 1995; 15, 77
84. Ammer K. Only lateral, but not medial epicondylitis can be detected by thermography. *Thermol Österr.*, 1996; 6, 105,
85. Hirano T, Aoki K, Teranishi S, Sauizuki N, Fukuoka M. Clinical study of shoulder surface temperature in patients with periartthritis scapulohumeralis (abstract). *Biomed. Thermol.*, 1991; 11, 303.
86. Jeracitano D, Cooper RG, Lyon LJ, Jayson MIV. Abnormal temperature control suggesting sympathetic dysfunction in the shoulder skin of patients with frozen shoulder. *Br. J. Rheumatol.*, 1992; 31, 539,
87. Biasi G, Fioravanti A, Franci A, Marcolongo R. The role computerized telethermography in the diagnosis of fibromyalgia syndrome. *Minerva Medica*, 1994; 85, 451,
88. Ammer, K. Thermographic diagnosis of fibromyalgia. *Ann Rheum Dis. XIVEuropean League Against Rheumatism Congress, Abstracts*, 135,1999.
89. Ammer K. Thermal imaging: A diagnostic aid for fibromyalgia? *Thermology Int.* 2008 18 (2) 45-50
90. Ammer K, Engelbert B. Reproducibility of the Hot Spot Count In Patients With Fibromyalgia: An Intra- and Inter-Observer Comparison. *Thermology international* 2009, 19(2) 47-51
91. Uematsu S. Thermographic imaging of cutaneous sensory segment in patients with peripheral nerve injury. *J. Neurosurg.*, 1985; 62, 716-720.
92. Pulst St-M, Haller P. Thermographic Assessment of Impaired Sympathetic Function in Peripheral Nerve Injuries. *J Neurol* 1981, 226:35-42
93. Ash CJ, Shealy CN, Young PA, Van Beaumont W. Thermography and the sensory dermatome *Skeletal Radiol* 1986, 15:40-46.
94. Wexler C.E. Thermographic evaluation of trauma (spine) *Acta thermographica* 1980, 5: 3- 13
95. Duensing F, Becker P, Rittmeyer K. Thermographische Befunde bei lumbalen Bandscheibenprolapsen. *Arch Psychiat Nervenkr* 1973; 217:53-70
96. Gillström P. Thermography in Low Back Pain and Sciatica. *Arch Orthop Trauma Surg* 1985, 104:31-36
97. Gillström P, Ehrnberg A. Long-Term Results of Auto-traction in the Treatment of Lumbago and Sciatica. *Arch Orthop Trauma Surg* 1985, 104:294-298
98. de Weerd CJ, Journee HL, Hogenesch RI, Beks JWF. Sympathetic Dysfunction in Patients with Persistent Pain After Prolapsed Disc Surgery. A Thermographic Study. *Acta Neurochir (Wien)* 1987, 89:34-36
99. Hoffman RM, Kent DL, Deyo RA. Diagnostic accuracy and clinical utility of thermography for lumbar radiculopathy. A meta-analysis. *Spine*, 1991; 16, 623.
100. McCulloch, J. et al. Thermography as a diagnostic aid in sciatica. *J. Spinal Disord.*, 1993; 6, 427,
101. Takahashi Y, Takahashi K, Moriya H. Thermal deficit in lumbar radiculopathy. *Spine*, 1994; 19, 2443,
102. Kim YS, Cho YE. Pre- and postoperative thermographic imaging of lumbar disk herniations. *Biomed. Thermol.*, 1993; 13, 265,
103. Zhang HY, Kim YS, Cho YE. Thermatomal changes in cervical disc herniations. *Yonsei Med. J.*, 1999; 40, 401,
104. Zhang H-Y, Chin D-K., Cho Y-E, Kim Y-S, Correlation between Pain Scale and Infrared Thermogram in Lumbar Disc Herniations, *J Korean Neurosurg Soc* 1999, 28: 253-258
105. Feng T, Zhao P, Liang G, Gao Y, Wang S, Liu S. Diagnostic Significance of Topical Image of Infrared Thermo-

- graphy on The Patients with Lumbar Intervertebral Disc Protrusion- A Comparative Study on 45 Patients with Manipulative Treatment and 65 Normal Control. *CJIM* 1999; 5(3):176- 180
- 106.Cuetter AC, Bartoszek DM. The thoracic outlet syndrome: controversies, overdiagnosis, overtreatment and recommendations for management. *Muscle Nerve*, 1989; 12, 419,
- 107.Schartelmüller T, Ammer K. Thoracic outlet syndrome, in *The Thermal Image in Medicine and Biology*. Ammer, K. and Ring, E.F.J., eds., Uhlen Verlag, Wien, 1995, p. 201.
- 108.Schartelmüller T, Ammer K. Infrared thermography for the diagnosis of thoracic outlet syndrome. *Thermol. Österr*, 1996; 6, 130.
- 109.Melnizky P, Schartelmüller T, Ammer K. Prüfung der intra-und interindividuellen Verlässlichkeit der Auswertung von Infrarot-Thermogrammen. *Eur. J. Thermol.*, 1997; 7, 224.
- 110.Ammer K. Thermographie der Finger nach mechanischem Provokationstest. *ThermoMed*, 2003; 17/18,9,
- 111.Schartelmüller T, Melnizky P, Engelbert B. Infrarotthermographie zur Evaluierung des Erfolges physikalischer Therapie bei Patienten mit klinischem Verdacht auf Thoracic Outlet Syndrome. *Thermol. Int.*, 1999; 9, 20,
- 112.Schartelmüller T, Ammer K. Zervikaler Diskusprolaps, Thoracic Outlet Syndrom oder periphere arterielle Verschlusskrankheit- ein Fallbericht. *Eur. J. Thermol.* 1997, 7,146.
- 113.Ammer K. Diagnosis of nerve entrapment syndromes by thermal imaging, in *Proceedings of The First Joint BMES/ EMBS Conference. Serving Humanity, Advancing-Technology*, October 13-16, 1999,Atlanta, GA, USA, p. 1117.
114. Atroshi I. et al. Prevalence of carpal tunnel syndrome in a general population. *JAMA*.1999., 282, 153,
- 115.Ammer K, Mayr H, Thür H. Self-administered diagram for diagnosing carpal tunnel syndrome. *Eur. J. Phys. Med. Rehab.*, 1993; 3, 43,
- 116.Melnizky P, Ammer K, Schartelmüller T. Intra- und interindividuelle Verlässlichkeit der elektroneurographischen Untersuchung des Nervus medianus. *Österr. Z. Phys. Med. Rehab.*, 1996; 7, S83,
- 117.Schartelmüller T, Ammer K, Melnizky P. Natürliche und postoperative Entwicklung elektroneurographischer Untersuchungsergebnisse des N. medianus von Patienten mit Karpaltunnelsyndrom (CTS). *Österr. Z. Phys. Med.*, 1997; 7, 183,
- 118.Rosen HR. Ammer K, Rathkolb O, Fux B, Eckstein G, Matzinger H. Is surgical division of the carpal ligament sufficient in the treatment of carpal tunnel syndrome? *Chirurg* 1990, 61,130,
- 119.Herrick RT, Purohit R, Merrit TM, Smith LA. Thermography as a diagnostic tool for carpal tunnel syndrome, in *Medical Thermology.*, Abernathy M; Uematsu S, eds, American Academy of Thermology,1986, p. 124.
- 120.Herrick RT, Herrick SK, Thermography in the detection of carpal tunnel syndrome and other compressive neuropathies. *J. Hand Surg.*, 1987; 12A, 943-949,
- 121.Gateless D, Gilroy J, Nefey P. Thermographic evaluation of carpal tunnel syndrome during pregnancy. *Thermology*, 1988; 3, 21,
- 122.Meyers S, CrosD, Sherry B. Vermeire P. Liquid crystal thermography, quantitative studies of abnormalities in carpal tunnel syndrome. *Neurology*, 1989; 39,1465,
- 123.So YT, Olney RK, Aminoff MJ. Evaluation of thermography in the diagnosis of selected entrapment neuropathies. 1989; *Neurology*, 39,1,
- 124.Tchou S, Costich JF. Thermographic study of acute unilateral carpal tunnel syndromes. *Thermology* 1991; 3: 249-252,
- 125.Ammer K. Thermographische Diagnose von peripheren Nervenkompressionssyndromen. *ThermoMed*, 1991; 7, 15.,
- 126.Hobbins WB. Autonomic vasomotor skin changes in pain states: significant or insignificant? *Thermol. Österr.*, 1995; 5, 5
- 127.Ammer K. Engelbert B, Melnizky P, Schartelmüller T. The thermal image of patients suffering from carpal tunnel syndrome with a distal latency higher than 6.0 msec. *Thermol. Int.*, 1999, 9, 15,
- 128.Ammer K, Melnizky P. Determination of regions of interest on thermal images of the hands of patients suffering from carpal tunnel syndrome. *Thermol. Int.*, 1999, 9, 56,
- 129.Jesensek Papez B, Palfy M, Mertik M, Turk Z. Infrared thermography based on artificial intelligence as a screening method for carpal tunnel syndrome diagnosis. *J Int Med Res*. 2009;37(3):779-90
- 130.Robinson H, Howell G, Hardaker N, Parmar R, Richards J, Hughes P, Selve J. Investigation of a method of Thermal Imaging with the potential to assist in the diagnosis of Carpal Tunnel Syndrome. *Thermology international* 2010; 20(2) 53-59
- 131.Ruijs ACJ, Niehof SP, Selles RW, Jaquet JB, Daanen HAM, Hovius SER. Digital Rewarming Patterns After Median and Ulnar Nerve Injury. *J Hand Surg* 2009;34A:54-64.
- 132.Ammer K. Thermographic diagnosis of Raynaud's Phenomenon. *Skin Res. Technol.*, 1996. 2, 182,
- 133.Neundörfer B, Dietrich B, Braun B. Raynaud-Phänomen beim Karpaltunnelsyndrom. *Wien. Klin. Wochenschr.*, 1977, 89, 131-133
- 134.Grassi W. et al. Clinical diagnosis found in patients with Raynaud's phenomenon: a multicentre study. *Rheumatol. Int.*, 1998; 18, 17,
- 135.Raynaud M. De l'asphyxie locale et de la gangrène symétrique des extrémités. 1862.L.Leclerc, Libraire-Éditeur. Paris
- 136.Mayr H, Ammer K. Thermographische Diagnose von Nervenkompressionssyndromen der oberen Extremität mit Ausnahme des Karpaltunnelsyndroms (abstract). *Thermol. Österr.*, 1994; 4, 82
- 137.Ikegawa S, Mabuchi K, Taniguchi K, Susuki T, Fujimasa I; Atsumi K. Use of thermography in the diagnosis of obstetric palsy (abstract). *Thermol. Österr.*, 1997; 7, 31,
- 138.Mumenthaler M, Schliack H. Läsionen periphere Nerven. Georg Thieme Verlag, Stuttgart-New York, Auflage, 1982, p. 4.
- 139.Zhang D. Gao H, Wei Z; Wen B. Preliminary observation of imaging of facial temperature along meridians. *Zhen Ci Yan Jiu*. 1992;17(1):71-4
- 140.Zhang D. Wei Z, Wen B, Gao H, Peng Y, Wang F. Clinical observations on acupuncture treatment of peripheral facial paralysis aided by infra-red thermography - a preliminary report. *J. Tradit. Chin. Med.*, 1991; 1,139-145,
- 141.Ammer K, Melnizky P, Schartelmüller T. Thermographie bei Fazialisparese. *ThermoMed*, 1997; 13, 6-11.

- 142.Schartelmüller T, Melnizky P, Ammer, K. Gesichtsthermographie, Vergleich von Patienten mit Fazialisparese und akutem Herpes zoster ophthalmicus. Eur. J. Thermol., 8, 65,1998.
- 143.Melnizky P, Ammer K, Schartelmüller T. Thermographische Überprüfung der Heilgymnastik bei Patienten mit Peroneusparese. Thermol. Österr., 1995, 5, 97.
- 144.Wilson PR, Low PA, Bedder MD, Covington EC, Rauck RL.. Diagnostic algorithm for complex regional pain syndromes, in Reflex Sympathetic Dystrophy, A Re-appraisal. Jänig, W. and Stanton-Hicks, M., eds, Seattle, IASP Press, 1996, p. 93.
- 145.Ammer K. Thermographie nach gipsfixierter Radiusfraktur. Thermol. Österr., 1991. 1, 4-8.
- 146.Ammer K. Thermographische Therapieüberwachung bei M.Sudeck. ThermoMed, 1991; 7,112-115.
- 147.Cooke ED. Glick EN; Bowcock SA; Smith RE; Ward C,Almond NE; Beacham JA. Reflex sympathetic dystrophy (algoneurodystrophy): temperature studies in the upper limb. Br. J. Rheumatol. 1989, 8, 399-403
- 148.Herrick A. el-Hadidy K, Marsh D, Jayson M. Abnormal thermoregulatory responses in patients with reflex sympathetic dystrophy syndrome. J. Rheumatol., 1994; 21,1319.
- 149.Gulevich SJ. Conwell TD, Lane J, Lockwood B, Schwettmann RS, Rosenberg N, Goldman LB. Stress infrared telethermography is useful in the diagnosis of complex regional pain syndrome, type I(formerly reflex sympathetic dystrophy). Clin. J. Pain. 1997,13, 50,
- 150.Wasner G., Schattschneider J, Baron R. Skin temperature side differences - a diagnostic tool for CRPS? 2002; Pain, 98,19.
- 151.Conwell TD, Hobbins WB, Giordano J. Sensitivity, Specificity and Predictive Value of Infrared Cold Water Autonomic Functional Stress Testing As Compared with Modified IASP Criteria for CRPS. Thermol Int 2010, 20(2) 60-68
- 152.Huygen FJPM. Niehof S, Klein J, Zijlstra FJ. Computer-assisted skin videothermography is a highly sensitive quality tool in the diagnosis and monitoring of complex regional pain syndrome type I. Eur. J. Appl. Physiol., 2004; 91, 516.
- 153.Engel JM, Cosh JA, Ring EFJ, Page Thomas DP, Van Waes P, Schoenfeld DI. Thermography in locomotor diseases, recommended procedure. Anglo-dutch thermographic society group report. Eur. J. Rheumatol. Inflamm. 1979,2, 299-306,
- 154.Ring EFJ. Ammer K. The technique of infra red imaging in medicine Thermol. Int., 2000; 10, 7-14.
- 155.Ammer K. Missbrauch der thermographischen Untersuchung ThermoMed 1997;13:, 58-65

Kontaktadresse des Autors

OA.Prof Dr.med Kurt Ammer PhD

Institut für Physikalische Medizin und Rehabilitation,
Hanuschkrankenhaus, Heinrich Collinstr 30,
1140 Wien, Österreich

Email: KAmmer1950@aol.com