ETH zürich

ETH Library

Quantitative Erfassung lokaler Durchblutungsstörungen mittels dynamischer Thermographie

Doctoral Thesis

Author(s):
Geser, Hans Martin

Publication date:
1985

Permanent link:
https://doi.org/https://doi.org/10.3929/ethz-a-000351004

Rights / license:
In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

This page was generated automatically upon download from the ETH Zurich Research Collection.
For more information, please consult the Terms of use.

Diss. ETHZ Nr. 7862

QUANTITATIVE ERFASSUNG LOKALER DURCHBLUTUNGSSTÖRUNGEN MITTELS DYNAMISCHER THERMOGRAPHIE

Abhandlung

zur Erlangung des Titels eines

Doktors der Technischen Wissenschaften

der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

HANS MARTIN GESER

Dipl. EL.-Ing. ETHZ

geboren am 2. Juni 1956

von Gossau SG

Angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. M. Anliker, Referent

PD Dr. D. Stucki, Korreferent

Zürich 1985

ZUSAMMENFASSUNG

Die Computer-unterstützte dynamische Infrarotthermographie ermöglicht eine quantitative Erfassung und Beschreibung von thermodynamischen Vorgängen auf der Hautoberfläche. Als solche kann sie in verschiedenen Bereichen der medizinischen Diagnostik wichtige komplementäre funktionelle Informationen liefern über das allfällige Vorliegen von pathologischen Prozessen. Schwerpunkte der vorliegenden Arbeit sind die Entwicklung von Methoden zur Parametrisierung des Temperaturverhaltens der Gewebeoberfläche unter Berücksichtigung von Thermoregulationsmechanismen sowie die Abklärung der Relevanz der entwickelten Untersuchungs- und Auswertverfahren beim Einsatz in der Mammadiagnostik und in der Diagnostik von peripheren Zirkulationsstörungen.

Die Wiederaufwärmphase der Gewebeoberfläche nach vorgängiger Luftkühlung oder Kaltwasserexposition wird durch Aufnahme von Wärmebildern in periodischen Zeitabständen festgehalten. Zur Abspeicherung und Verarbeitung solcher Thermogrammsequenzen wurde die am Institut für Biomedizinische Technik der Universität und ETH Zürich aufgebaute Thermographieanlage sowohl bezüglich der Speicherkapazität als auch bezüglich der Rechenleistung erweitert. Eine Steigerung der Rechenleistung ergibt sich durch den Einsatz einer schnelleren Mikroprozessoreinheit. Die zeiteffiziente Speicherung der bis zu 24 Wärmebilder einer dynamischen Untersuchung erfolgt auf eine 35 MBytes-Festplatteneinheit, für die eine einfache Verwaltungssoftware entwickelt wurde. Zur Archivierung der grossen Datenmengen wurde das am Institut realisierte digitale Aufzeichnungsverfahren von Bilddaten auf Videokassetten durch geeignete Programmpakete aufgewertet.

Ergänzend und komplementär zu den konventionellen mammadiagnostischen Untersuchungsmethoden, die vorwiegend strukturelle Gewebeveränderungen erfassen, liefern thermographische Messverfahren funktionelle Informationen über den Wärmehaushalt der Brust, der beim Vorhandensein eines Krebstumors oft schon in einem frühen Tumorstadium gestört sein kann. Neue Erkenntnisse lassen sich in vielen Fällen aus der thermographischen Untersuchung und der quantitativen Analyse des dynamischen Temperaturverhaltens der Brustoberfläche nach forcierter Luftkühlung gewinnen. Die dynamische Untersuchung findet unter gleichen Bedingungen wie die statische Thermographie statt und dauert nur unwesentlich länger. Die Abkühlung erfolgt mittels zweier an einem schwenkbaren Hebelarm befestigten Ventilatoren und beträgt ca. 2.5 - 3 Grad C auf der Hautoberfläche. Während der Wiederaufwärmphase werden 20 Frontalthermogramme in variablen Zeitabständen zwischen minimal 3 und maximal 7.5 Sekunden aufgenommen und abgespeichert. Vor der Analyse der Sequenzen müssen die durch die Atmung der Patientin entstandenen Bewegungsartefakte auskorrigiert werden. Die automatische Bildkorrektur durch den Computer basiert auf einem für diese Zwecke angepassten und optimierten sequentiellen Algorithmus, der translatorische Verschiebungen der Thermogramme bezüglich des ersten Bildes der Sequenz ermöglicht. Das im Rahmen der Arbeit entwickelte Auswertverfahren der Brustthermogrammsequenzen stützt

sich vor allem auf diejenigen Kriterien, welche auch bei der plattenthermographischen Dynamikuntersuchung zur Beurteilung massgebend sind. Die entsprechenden Dynamikparameter werden zum Teil aus den Histogrammen von Einzelthermogrammen der Sequenz und von Differenzbildern der Abkühl- und Aufwärmphase abgeleitet. Weitere anomaliesensitive Parameter resultieren aus der detaillierten Analyse aufgrund eines Wärmebilanzmodells der nach speziellen Kriterien ausgewählten Zonen im Thermogramm, die eine auffällige Thermodynamik aufweisen. Die Klassifikation der Sequenzen aufgrund der Gesamtheit aller Parameter basiert auf den Ergebnissen einer multivariaten Diskriminanzanalyse, die an einem Lernkollektiv durchgeführt wurde. Das Kollektiv umfasst 162 nach bestimmten Kriterien ausgewählte, meist symptomatische Patientinnen ohne klinisch und mammographisch nachweisbare Brustkrebse und 51 Frauen mit histologisch gesicherten Karzinomen, die vorwiegend im Rahmen der senologischen Sprechstunden dynamisch thermographiert worden sind. Die Resultate der retrospektiven Klassifikation des Testkollektivs auf der Basis der dynamischen Thermographie allein sind vergleichbar mit denjenigen der statischen Thermographie und auch der Plattenthermographie : 72.5 % der Karzinomfälle und 80 % der klinisch negativen Fälle werden dynamisch richtig klassifiziert. Wird hingegen die dynamische Thermographie ergänzend zur statischen Thermographie eingesetzt, werden von den 35 Frauen ohne nachweisbare Karzinome mit auffälligen stationären Wärmebildern 40 % dynamisch unauffällig eingestuft, was einer Reduktion der thermographischen 'Falsch-Positiven-Rate' um zwei Fünftel entspricht. Es bleibt allerdings abzuklären, ob mit dem Nachweis einer unauffälligen Thermodynamik auch das Karzinomrisiko vermindert ist.

Die quantitative dynamische Infrarotthermographie erlaubt eine objektive Erfassung des Schweregrades von peripheren vasospastischen Erkrankungen wie primäre und sekundäre Raynaud-Syndrome oder Mikroangiopathien. Die im Normalfall auf die Kaltwasserexposition der Hände folgende Vasodilatation bewirkt eine massive reaktive Hyperthermie der Fingerspitzen, welche bei pathologischen Reaktionen verzögert und abgeschwächt auftreten oder vollständig fehlen kann. Die Beschreibung des thermodynamischen Verhaltens der Gewebeoberfläche basiert auf der Modellierung der lokalen Wärmebilanz und beinhaltet einen Ansatz für den Verlauf des instantanen Blutflusses. Die in das Modell eingehenden physiologischen Parameter werden durch optimale Anpassung der Modellkurve an den thermographisch gemessenen Temperaturverlauf mittels einer numerischen nichtlinearen Regression berechnet. Eine Reihe von Untersuchungen an Patienten und gesunden Probanden zeigt, dass zwischen den beiden Gruppen signifikante Unterschiede in den Werten dieser Modellparameter vorliegen. Sie können dadurch dem befundenden Arzt wertvolle objektive Beurteilungsgrundlagen für die Diagnostik und möglicherweise für die Therapiekontrolle liefern.

SUMMARY

Computer-assisted dynamic thermography of the skin surface allows for a quantitative documentation of thermodynamic processes in the underlying tissue. As such it can provide complementary functional information on possible pathologies in connection with various diseases. This paper concentrates on the development of methods to quantify characteristic features of the temperature variation of the body surface by taking into account the thermoregulatory mechanisms. Furthermore it also focusses on evaluating the relevance of these methods in the diagnosis of brest diseases and of peripheral circulatory disorders.

Time series of thermograms recorded after previous air cooling or cold water immersion provide the basic data needed to study thermal recovery. In order to accomodate and analyze these data in an efficient manner, the computer assisted thermography system developed earlier had to be upgraded in computing power as well as in storage capacity. An increase in computation performance was achieved by installing a faster central processing unit. To achieve a sufficiently fast digital recording of the data contained in up to 24 thermograms of a single sequence, a 35 MBytes harddisk was incorporated in the system. For archival storage purposes these digital image data were later transferred onto a video tape by way of specially devised digital recording procedures and corresponding software.

Conventional procedures in the diagnosis of breast diseases mostly pick up structural changes in breast tissue. Additional and complementary data can be obtained from temperature distribution measurements, which provide functional information on the heat balance of the breasts. Disorders in this heat balance can often be caused by a tumor even when it is in an early stage. In many cases, new diagnostically relevant data can be acquired through quantitative analysis of the dynamic temperature behaviour of the breast surface after a standardized cooling procedure. Such dynamic examinations are performed under the same conditions as static and require little additional time. Cooling is achieved by means of two fans attached to a swivel arm and is designed to decrease the skin temperature by 2.5 to 3 degrees centigrade. During the subsequent recovery 20 frontal thermograms are recorded at variable time intervals ranging from a minimum of 3 to a maximum of 7.5 seconds. Prior to analyzing the temperature distributions in corresponding regions of successive thermograms, the latter have to be geometrically matched by correcting for displacements caused by respiration. Automatic correction is performed by an optimized sequential algorithm, that allows for translational movements of the thermograms to match the first thermogram of the sequence. The quantitative analysis developed for breast thermogram sequences is based on those criteria most commonly used in the interpretation of plate thermograms. The corresponding parameters describing the thermodynamic behaviour of the breast surface are derived in part from the histograms of certain thermograms of the sequence and from histograms of certain subtraction images of

the cooling and recovery phases. Other sensitive parameters are derived from a detailed heat balance analysis of those regions which exhibit an abnormal temperature variation during the cooling and recovery phases. The classification of the sequences is based on the results of a discriminant analysis that was carried out on a test collective and that takes simultaneously into account the diagnostic information of several parameters. The test collective includes 162 selected symptomatic patients with negative clinical and negative radiological evidence and 51 patients with proven breast cancer. The result of the retrospective classification of the test collective is similar to that of static thermography as well as to that of plate thermography : 72.5 % of the patients with breast cancer and 80 % of the patients with negative clinical findings are classified correctly according to quantitative dynamic thermography alone. If, however, dynamic thermography is applied supplementary to the static examination, 40 % of the patients without tumors but with suspicious steady state thermograms show normal thermodynamic behaviour. This implies a reduction of the thermal 'false positive rate' of about two fifth. However it has yet to be explored in a future study whether negative thermodynamic findings indicate a lower carcinoma risk factor.

Quantitative dynamic thermography can also be utilized to achieve an objective evaluation of the severity of peripheral vasospastic diseases, such as primary and secondary Raynaud's syndrome, and microangiopathies. In normal subjects the vasodilatation following cold-water exposure of the hands produces a massive reactive hyperthermia of the finger tips. In patients with pathological features this reaction may be delayed and less pronounced, or it may not occur at all. A mathematical description of the thermodynamic behaviour of the skin and the underlying tissue is given in terms of the local heat balance, in which the pattern of the temporal variation of the blood flow rate is prescribed. The corresponding values of the physiological parameters are determined by the use of a nonlinear numerical regression of the theoretical results to obtain optimal matching to the thermographically measured temperature behaviour. A series of studies on patients and healthy subjects clearly indicates that there are significant differences in the values of the model parameters between the two groups. Therefore they may be employed as an objective basis for diagnosis and possibly for therapy monitoring.