Zeitschrift: Physiotherapeut : Zeitschrift des Schweizerischen Physiotherapeutenverbandes = Physiothérapeute : bulletin de la Fédération Suisse des Physiothérapeutes = Fisioterapista : bollettino della Federazione Svizzera dei Fisioterapisti

Herausgeber: Schweizerischer Physiotherapeuten-Verband

Band: - (1979)

Heft: 284

Artikel: Wert und Wirkungsmechanismen von Wärmeaplikationen auf die Haut

Autor: Senn, Edward

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-930504

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 20.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Wert und Wirkungsmechanismen von Wärmeapplikationen auf die Haut

Edward Senn
Universitätsspital Zürich
Rheumaklinik und Institut
für Physikalische Therapie
(Dir. Prof. Dr.med. A. Böni)

1. Heutiger Stellenwert der klassischen Wärmeapplikationen

Im Verlaufe der beiden letzten Jahrzehnte haben die passiven Massnahmen der physikalischen Therapie, zu welchen auch die Wärmeapplikationen gehören, ihre zentrale Stellung den immer zahlreicher und spezifischer werdenden krankengymnastischen Techniken abtreten müssen. Die verschiedenen Wirkungen von Wärmeapplikationen werden heute «nur noch» dazu benutzt, für die anschliessende, aktive Übungsbehandlung möglichst günstige Voraussetzungen zu schaffen. Diese Betonung der aktiven physischen — und damit auch psychischen — Mitarbeit des Patienten stellt innerhalb jeder Art von Rehabilitation einen echten Fortschritt dar. Leider hat mit dieser Verlagerung des Schwerpunktes innerhalb der Physiotherapie auch das Interesse am Verständnis für den Wert und die Wirkungsmechanismen der Wärmeapplikationen nachgelassen. Kliniker, die sich für besonders kritisch halten, zweifeln sogar grundsätzlich an der empirisch begründeten Wirksamkeit. Die Zweifel werden mit dem Hinweis begründet, die Wirkungsweise sei nicht einmal theoretisch bekannt. Ein Kommentar zum Lübecker Kongress für Physikalische Therapie vom Herbst 1976 bringt die heutige Situation krass zum Ausdruck. Unter dem Titel «Heisses Thema: Heisspackungen» stehen die folgenden zwei Bemerkungen: «Ob möglicherweise durch Heisspackungen bei den Patienten nur ein subjektiv angenehmes Gefühl hervorgerufen wird, oder ob 'nervale' oder 'humoral-hormonale' Wirkungen noch zusätzlich eine Rolle spielen mögen — keiner konnte etwas Verbindliches dazu sagen.» ... «Die in diesem Zusammenhang aufgeworfene Frage, weshalb bei einer lokal applizierten Heisspackung der ganze Patient eingewickelt und gefesselt werden müsse, vermochte keiner der Experten zu beantworten.» Diese weitverbreitete, wenn auch nicht immer bewusst derart deutlich ausgesprochene Haltung wird dann verständlich, wenn man sich nicht mehr auf die Grundlagenwissenschaft aller physiotherapeutischen Massnahmen, auf die physiologischen Regulationen, besinnt.

Zu dieser prinzipiellen Skepsis der Kliniker kommt noch der hartnäckige Trend zu einerseits immer neuen apparativen Techniken und andererseits zu den sog. athermischen Dosierungen elektromagnetischer Strahlungsenergien. An Stelle der Wirkung der Wärme werden unklare, unkontrollierbare, dafür umso geheimnisvollere Einflüsse auf die Körperzellen im Sinne einer allgemeinen Stoffwechselanregung in den Vordergrund geschoben.

Die vorliegende Übersicht versucht, die klassische Kombination der lokalen Wärmeapplikation mit einer Ganzpackung von der physiologischen, d.h. thermoregulatorischen Sicht her zu betrachten, um Wert und Wirkungsweise abgrenzen zu können. Die Körperreaktionen auf Wärmezufuhr müssen komplex sein, weil die Konstanthaltung der Kerntemperatur für alle Säuger zu einer der unentbehrlichen Säulen der Existenz geworden ist. Die Beschreibung der Wirkungsweise von Wärmeapplikationen auf die Haut erfordert deshalb das Zusammentragen einiger Détailkenntnisse.

2. Thermoregulatorische Vorgänge als Basis des Verständnisses

Erst die Würdigung des Evolutionsschrittes von den Reptilien (Kaltblüter) zu den Säugern (Warmblüter) lässt verstehen, welche Bedeutung der Zuführung resp. dem Entzug von Wärme zum resp. vom Körper zukommt. Die neuerrungene Eigenschaft der Konstanthaltung einer erstaunlich hohen Kerntemperatur garantiert den Säugern eine konstant hohe Gehirnaktivität — und damit auch eine schnelle motorische Aktivität — unabhängig von wechselnden Umwelttemperaturen. Diese Kerntemperatur, welche für eine derartige Gehirnleistung notwendig ist, ist derart hoch, dass eine Überwärmung des Körpers um nur wenige Grad C mit dem Leben nicht mehr vereinbar ist, weil wichtige labilgebaute Proteine denaturieren. Die Existenz der Säugetiere ist deshalb nur auf der Grundlage einer wirksamen, dominanten und gegenüber anderen homoeostatischen Systemen bevorzugten Thermoregulation möglich (18). Besonders aber gegen eine zu starke Überwärmung müssen frühzeitig alle nur denkbaren Massnahmen zur Einschränkung der weiteren Wärmeproduktion und zur zusätzlichen Abgabe von Wärme eingesetzt werden.

Zufuhr von Wärme über die Haut bedeutet deshalb in jedem Falle die Auslösung einer ganzen Reihe lebenswichtiger und den Gesamtkörper beherrschender Regulationsvorgänge.

3. Kritik an der Benutzung der Hauthyperämie als Beweis für die Wirksamkeit physiotherapeutischer Anwendungen

3.1. Die Dastre-Morat'sche Regel

Da der auffälligste Effekt jeder Wärmeanwendung auf die Haut die vorerst lokalisierte und

anschliessend sich generalisierende Hautrötung ist, wird bezüglich der Wirksamkeitsbeurteilung der thermoregulatorisch bedingten *Verschiebung* des *Blutvolumens* resp. des *Stromvolumens* von den inneren Organen (Körperkern) zur Haut (Körperschale) besondere Beachtung in der Beurteilung der Wirksamkeit der Anwendungen geschenkt. Diese Blut- und Stromvolumenverschiebung ist notwendig, um den Kern von der gefährlichen überschüssigen Wärme zu befreien, um diese über die Haut abgeben zu können (Strahlung, Konvektion, Konduktion, Schwitzen). Die funktionelle Zweiteilung des gesamten Kreislaufsystems in einen Kern- und einen Schalenteil und die entsprechenden Blutvolumenverschiebungen vom einen zum anderen Teil, wenn Wärme zugeführt oder entzogen wird, bezeichnet man gewöhnlich als die Dastre-Morat'sche Regel. Wer sich die Mühe nimmt, diese wichtige Gesetzmässigkeit bei *Dastre, A.F. & Morat, J.F.,* 1884, selbst nachzulesen*, ist erstaunt, dass es zwar im erwähnten Artikel um das sog. Ausbalancieren des Blutvolumens zwischen den Kreislaufanteilen der Haut und der inneren Organe geht, dass aber bei den Tierversuchen überhaupt keine thermischen Reize verwendet wurden, sondern dass die Beobachtungen unter starker Asphyxie oder während Reizung von Hautnerven gemacht wurden. Die von Dastre und Morat gemachten Resultate beziehen sich deshalb viel allgemeiner auf die Möglichkeit und Notwendigkeit der reflektorischen Verschiebung des nur beschränkt zur Verfügung stehenden Blutvolumens und Stromvolumens je nach Bedürfnis von einem zum anderen Organ oder Organsystem.

Die Blutvolumenverschiebungen, die sich auf Grund thermischer Reize einstellen, wurden später genauestens von *O. Müller* 1905 mit einer Partialwaage am liegenden Menschen untersucht. Aus den Resultaten geht klar hervor, dass die Extremitäten eindeutig als gesamtes der Schale zugerechnet werden müssen. Die Arme und Beine besitzen auf Grund ihrer besonderen Form ein im Verhältnis zum Volumen grosse Hautoberfläche und keinerlei innere Organe. Sie sind deshalb bezüglich Aufnahme und Abgabe von Wärme besonders zu berücksichtigen. Bei allen Wärmeanwendungen ist die Verschiebung des Blutvolumens in die Haut eine thermoregulatorisch unumgängliche Notwendigkeit. Das heisst aber nicht, dass diese gleichzeitig auch Ziel der Wärmeanwendung ist.

3.2. Die gegenseitige Konkurrenzierung zwischen Haut- und Muskeldurchblutung

Eine ähnliche Konkurrenzierung resp. ein ähnlicher Zwang zur Aufteilung wie zwischen Kern und Schale besteht zwischen dem Kreislauf der Haut und dem der darunterliegenden Muskulatur. Die Haut-Muskel-Gefässe zweigen sich im Versorgungsgebiet in Haut- und Muskeläste auf, sodass das Stromvolumen in jedem Falle aufgeteilt werden muss. Jede Mehrdurchblutung des einen Organs führt zu einer Minderdurchblutung des anderen, es sei denn, die Gesamtdurchblutung werde gesteigert. Dieser Zwang zur Zweiteilung des Stromvolumens wirkt sich wiederum bei den Extremitäten am deutlichsten aus. So berichten *Nukada & Müller* 1955, dass bei gesunden Versuchspersonen die maximal mögliche Arbeitszeit für eine dynamische Beinleistung umso länger sei, je kälter die Temperatur des Wasserbades (und damit der Haut über den arbeitenden Muskeln) gewählt wird, in welchem die Arbeit ausgeführt werden muss. Die Zunahme der möglichen Arbeitszeit wird durch «die Verschiebung des Blutstromes von der Haut in die Muskulatur erklärt.»
Die thermoregulatorisch bedingte Hauthyperämie als Folge von Wärmebelastungen ist in jedem Falle differenziert zu betrachten. Die Möglichkeit muss berücksichtigt werden, dass diese Mehrdurchblutung auf Kosten der Durchblutung der darunterliegenden Muskeln geht. Die Feststellung eines Hauterythems allein genügt deshalb nicht, die Wirksamkeit einer Massnahme zu beweisen.

3.3. Das Schlagwort von der konsensuellen Durchblutungsänderung

Unter einer konsensuellen Änderung der Durchblutung versteht man eine Durchblutungssteigerung oder -verminderung in benachbarten Körpergebieten im *gleiche Sinne* (konsensuell) wie im Gebiete, auf welches die Wärmebelastung resp. der Wärmeentzug direkt einwirkt. Bei Wärmeapplikationen auf die Haut kommen als benachbarte Gebiete kollateral gelegene Hautgebiete (21) und die zum gleichen und benachbarten Segmenten gehörigen Skelettmuskeln und inneren Organe in Frage. Eine solche gesetzmässige Ausbreitung einer Blutgefässreaktion in der Peripherie ist die Folge einer zentralen Ausbreitung (Irradiation) eines veränderten Vasomotorentonus (Aktivität sympathischer Neurone im Seitenhorn des Rückenmarkes). Konsensuelle Durchblutungsänderungen der Haut sind innerhalb des Hautgebietes jeder einzelnen Extremität, ferner zwischen den beiden oberen oder unteren Extremitäten sehr leicht möglich. Die Ausbreitung einer Hauthyperämie über die gesamte Körperoberfläche wird von den hypothalamischen Thermoregulationszentren gesteuert. Darüber hinaus bestehen sichere Beobachtungen bezüglich Mehrdurchblutungen innerer Organe bei einer gleichzeitig bestehenden Hauthyperämie in den entsprechenden Dermatomen. Ob parallel zur Haut auch in den entsprechenden Muskeln konsensuelle Durchblutungsänderungen nachgewiesen werden kön-

---

* «Ce balancement entre la circulation cutanée et la circulation viscérale est un fait remarquable; il se montre à nous en dehors de l'excitation asphyxique. La vaso-dilatation cutanée accompagnée d'élévation de la pression artérielle général et de la contraction des vaisseaux viscéraux, c'est-à-dire d'effects en tout semblables à ceux de l'asphyxie, s'observe quand on excite les nerfs cutané, comme l'ont montré Heidenhain et Grützner. Et d'autre part l'excitation du nerf dépresseur, outre son effet déprimant dû à la vaso-dilatation viscérale provoque encore une constriction des vaisseaux cutanés comme il résulte de nos propre recherches.»

nen, ist umstritten. Die Grösse der Muskeldurchblutung wird hauptsächlich von anderen Faktoren (Muskelaktivität, Muskelinnendruck) bestimmt.
Die Beziehung zwischen der Durchblutungsgrösse der Muskulatur resp. der inneren Organe zu derjenigen der Haut ist aber nicht nur gleichsinnig, konsensuell; es sei nochmals an den Zwang zur Stromvolumenaufteilung zwischen Haut und Muskulatur und — beim Vorhandensein der entsprechenden Ausgangssituation — an die Dastre-Morat'sche Regel der Stromvolumenverschiebung zwischen inneren Organen und der Haut erinnert. Die Durchblutungsgrösse eines bestimmten Organs (Muskulatur, inneres Organ) wird immer von vielen Faktoren resp. Gesetzmässigkeiten gleichzeitig bestimmt. Es geht nicht an, ein einzelnes Gesetz mit welchem eine physikalisch-therapeutische Massnahme gerechtfertigt werden soll, ungeachtet der anderen Faktoren hervorzuheben. Konsensuelle Durchblutungsänderungen sind möglich. Diese Möglichkeit darf aber nicht dazu missbraucht werden, die Wärmeanwendungen zu begründen oder zu rechtfertigen.

3.4. Therapieziel einer Wärmeapplikation auf die Haut

Die Hauthyperämie, wie sie bei vielen thermischen, mechanischen und elektrischen Anwendungen auftritt, ist im allgemeinen nicht das Ziel der Therapie, höchstens eine Nebenerscheinung.* Auch jene Verordnungen für Wärmeapplikationen, welche eine Mehrdurchblutung eines inneren Organs (z.B. Leber) bezwecken, sind heute in praxi selten geworden. Sogar die Absicht, eine Mehrdurchblutung von Skelettmuskeln mit Wärmeapplikationen auf die Haut erreichen zu wollen, ist aus zwei Gründen fragwürdig: Erstens ist eine zu geringe Ruhedurchblutung von Skelettmuskeln ausserordentlich selten** und im allgemeinen nicht die Ursache, sondern die Folge von Atrophien und Dystrophien, und zweitens kann die Muskeldurchblutung mühelos mit rhythmischen, auch isometrischen Muskelkontraktionen viel wirksamer gesteigert werden als dies selbst mit elektrischen Wärmeanwendungen möglich ist.
Das über örtliche Wärmeanwendungen auf die Haut und Ganzpackungen zu erreichende Ziel ist demgegenüber in den allermeisten Fällen eine *Muskelentspannung,* um dadurch sowohl eine Linderung des *spannungsbedingten Muskelschmerzes* als auch günstige *Voraussetzungen* für eine *krankengymnastische* Behandlung zu erzielen.
Die Muskelentspannung ist nie Folge einer muskulären Mehrdurchblutung. Im Gegenteil, durch die Muskelentspannung werden die Voraussetzungen für eine mögliche Mehrdurchblutung geschaffen. Die thermoregulatorische Muskelentspannung ist eine direkte Auswirkung der Wärmeeinwirkung auf die Haut.

4. Thermoregulatorische Bedeutung der Haut

4.1. Die Haut als Ein- und Austrittsfläche der Wärme

Die *Fläche* der Haut bestimmt einerseits die mögliche, andererseits die nicht vermeidbare Menge an Wärme, die verloren geht, resp. aufgenommen werden muss. Die Haut vermag Wärme durch Strahlung (Hauptteil), Konvektion, Konduktion und Schwitzen abzugeben und nimmt Wärme durch Bestrahlung (z.B. Rotlicht), Konvektion (Heissluftkasten mit Gebläse) und Konduktion (Peloide) auf. Die Aufnahme- und Abgabemenge an Wärme pro Fläche und Zeiteinheit kann innerhalb von Grenzen durch die Haut reguliert werden (vgl. 4.2.). Die Erwärmung resp. Abkühlung (39) des Körpervolumens infolge des Wärmedurchtritts durch die entsprechende Haut hängt vom Grössenverhältnis der Hautoberfläche zum darunterliegenden Volumen ab. Im Bereiche der Hände und Füsse, allenfalls noch des Ellenbogens und des Vorderarmes bedeckt eine relativ grosse Hautoberfläche eher kleine, flache oder stabförmige Körpervolumina, sodass mit einer spür- und messbaren Erwärmung z.B. der Gelenke gerechnet werden kann (Abb. 1,a). Die Erfahrungen über die günstige Wirkung bei der Morgensteifigkeit der Hände bestätigen diese Art der Wärmeeinwirkung auf subkutane mesenchymale Strukturen. Im Bereiche der Stammgelenke und des Rumpfes ist die auf jede Volumeneinheit verteilte Hautfläche (Abb. 1,b) derart klein, dass sich die Wärmewirkung auf die nervöse Auslösung thermoregulatorischer Reaktio-

Abb. 1 **Graphische Darstellung der ungefähren Verhältnisse von Hautoberfläche zu dazugehörigem Körpervolumen im Bereiche der Finger resp. Hände (a) und der grossen Stammgelenke, resp. des Rumpfes (b).**

Zur ungefähren Erfassung des Oberflächen/Volumen-Verhältnisses wurde der Einfachheit halber die komplizierte, eher zylindrische Körperform der Finger resp. des Rumpfes je durch eine Kugel mit einem Radius von 0.7 cm resp. 10 cm ersetzt. Damit ist in den beiden zu vergleichenden Körperteilen dieselbe grobe Formvereinfachung vorgenommen worden. Für die Kugel, welche den Finger-Hand-Bereich repräsentiert, wurde ein Radius von 0.7 cm gewählt: Die Oberfläche ($O = 4 r^2$) beträgt für diesen Radius 6.16 cm^2, das Volumen ($V \doteq 4/3\ r^3$) 1.44 cm^3 und das daraus resultierende Oberflächen/Volumen-Verhältnis **4.3 cm^2 / cm^3**. Im Gegenbeispiel, welches den Rumpfbereich repräsentiert, wurde ein Kugelradius von 10 cm angenommen: Die Oberfläche beträgt in diesem Falle 1257 cm^2, das Volumen 4190 cm^3, was ein Verhältnis von **0.3 cm^2 / cm^3** ergibt. — Damit wird jede Volumeneinheit im Bereiche der Finger und der Hand von einer Hautoberfläche bedeckt, die rund 14 mal grösser ist als im Bereiche des Rumpfes und der grossen Stammgelenke.

* Eine Ausnahme stellen die funktionellen Hautdurchblutungsstörungen, wie z.B. beim Raynaud-Syndrom, dar.

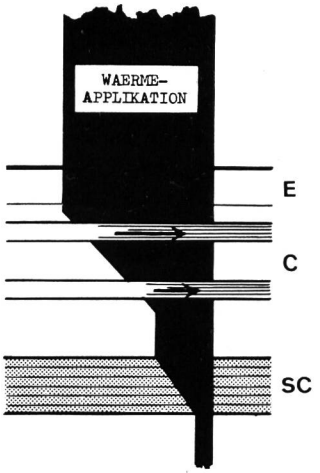
**Ausnahmen: Volkmannsche ischämische Kontraktur; Oedem in der Tibialis-anterior-Loge.

nen wie beispielsweise der Muskelentspannung beschränkt.
So ähnlich die Wärmeapplikationen einerseits auf Hände und Füsse, andererseits auf Rumpf und stammnahe Gelenke technisch auch sind, so verschieden sind doch ihre Wirkungsmechanismen.

4.2. Die Haut als aktives thermoregulatorisches Organ

Der Körper reguliert aktiv die Wärmekonduktion in beiden Richtungen quer durch die Haut. Regulierend wirkt die Veränderung der Hautdurchblutung und das Schwitzen. Eine *Durchblutungssteigerung,* die sich vorallem auf die oberflächlichen Gefässnetze bezieht, garantiert einen grossen Wärmetransport möglichst nahe an die Übergangszone zur Umgebung heran, sodass der Temperaturabfall über eine möglichst kurze Distanz (Temperaturgradient) optimal steil wird. Gleichzeitig erhöht eine solche Hyperämie auch den Wassergehalt der Haut, was mit einer Verbesserung der Wärmeleitfähigkeit verbunden ist. Das Schwitzen der Haut entzieht der Oberfläche durch die Wasserverdunstung nicht nur die Verdunstungswärme, sondern befeuchtet gleichzeitig die Epidermis, damit die sonst oft trockene Hornschicht der Oberhaut möglichst wärmeleitfähig wird. Eine Verbesserung der Wärmekonduktion durch die Haut bezieht sich natürlich immer auf den Wärmefluss in beiden Richtungen.
Umgekehrt erhöht eine *Erniedrigung* der *Hautdurchblutung,* die wiederum die oberflächlichsten Gefässnetze am stärksten betrifft, die Widerstände gegen die Wärmekonduktion.
Der Blutstrom in den parallel zur Hautfläche gelegenen Gefässnetzen der verschiedenen Hautschichten nimmt sowohl die von innen, wie von aussen kommende Wärme auf und transportiert sie zur Seite weg in die Tiefe des Körpers, um sie auf den Gesamtkörper resp. auf die gesamte Oberfläche des Körpers neu zu verteilen. Diese quer zur Wärmekonduktionsrichtung vor sich gehende *Wärmekonvektion* stellt eine Art dynamischen Wärmevorhang dar (Abb. 2). Wegen dieser thermoregulatorisch wirksamen Hautdurchblutung bleibt die durch eine Hyperämie und das Schwitzen erhöhte Wärmekonduktion auf den Austausch zwischen der Umgebung und den oberflächlichen Hautschichten beschränkt und bezieht sich erst sekundär und abgeschwächt auf den Wärmeaustausch zwischen der Haut und den tieferen Körperschichten.
Das *subkutane Fettgewebe* stellt ein zweites Hindernis für die Wärmekonduktion in beiden Richtungen dar, weil Fettgewebe rein physikalisch die Wärme schlecht leitet (20,23,36,41). Inwieweit das subkutane Fettgewebe analog dem braunen Fettgewebe selbst bei Bedarf noch Wärme produziert und damit zu einem isolierenden Heizkissen («insulating blanket», 13) wird, bleibt beim Menschen eine noch abzuklärende Frage.
Der Erwärmung tieferliegender Körperschichten durch Wärmekonduktion von aussen nach innen quer durch die Haut, sind somit in mehr als einer Hinsicht Grenzen gesetzt. Es braucht besondere Bedingungen (Hände, Füsse), dass mit einer solchen Erwärmung gerechnet werden kann.

Abb. 2 **Graphisch vereinfachte Darstellung der Grösse der Wärmekonduktion quer durch die Haut und Unterhaut während einer Wärmeanwendung auf die Haut.**



Der Wärmefluss wird durch die Blutgefässnetze der Haut und durch das subkutane Fettgewebe verringert resp. behindert. Die Wärme wird vom Blutstrom aufgenommen und weggeführt.

E Epidermis SC Subkutanes Fett
C Corium

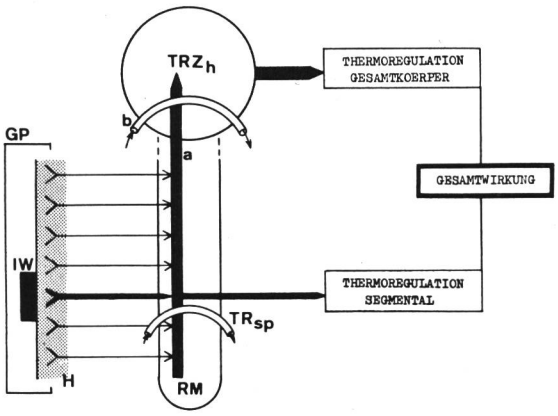
5. Thermoregulatorische Möglichkeiten des Körpers

5.1. Die supraspinalen und spinalen Thermoregulationszentren (Abb. 3)

Die Thermoregulationszentren (Zentrum für Wärmeabgabe und -produktion), die den Wärmehaushalt des Gesamtkörpers regulieren, liegen im Hypothalamus. Sie arbeiten auf Grund von zwei Regelgrössen (6), (a) der gemittelten Hauttemperatur, die durch die Gesamtheit der Thermorezeptoren der Haut erfasst und den Zentren vermittelt wird und (b) der Temperatur der Thermoregulationszentren selbst (12), die durch die sog. Hirntemperatur (Temperatur des arteriellen Blutes) gegeben wird. *Ganzpackungen,* wie sie in der physikalischen Medizin angelegt werden, sind somit ein adäquater Reiz für diese *hypothalamischen Thermoregulationszentren,* indem durch die erschwerte Wärmeabgabe nicht nur die Temperatur in der gesamten Haut, sondern auch des Körperkernes (arterielles Blut) ansteigt.
Das *Rückenmark* als jener Teil des Zentralnervensystems, der dem Rumpf und den Extremitäten segmental zugeordnet werden muss, stellt besonders für den efferenten Weg der hypothalamischen Thermoregulationszentren eine entscheidende Station dar. Die Aufgabe des Rückenmarks besteht wie bei der Motorik der Haltungen und Bewegungen darin, die aus höheren Zentren stammenden Entwürfe im Détail und in richtiger Dosierung auszuführen.

Selbst der durch eine Spinalisation abgetrennte Rückenmarksteil zeigt noch immer gewisse *autonome* motorische *Fähigkeiten.* Dasselbe gilt auch für die vegetative und animale Motorik im Rahmen der Thermoregulation, d.h. auch für die Vasomotorik und den Muskeltonus (16). In den letzten Jahren haben drei wichtige Forschungsgruppen die thermoregulatorischen Fähigkeiten chronisch spinalisierter Tiere untersucht: Einmal hat die Arbeitsgruppe um Rautenberg, Thauer, Simon, Iriki und Kosake seit 1963 an Hunden und Kaninchen gearbeitet (25,26,46); dann haben die Autoren Brück, Wünnenberg, Baum und Schwennicke seit ca. 1965 an Meerschweinchen Versuche durchgeführt (9,10) und letztlich haben Görke und Pierau seit 1972 die spinale Thermoregulation von Vögeln genauer abgeklärt (17,42). Ihre Ergebnisse zeigen übereinstimmend, dass chronisch spinalisierte Tiere im zentralnervös abgetrennten Teil noch immer eine Thermoregulation aufweisen. Die Reaktionen beschränken sich nicht nur auf die Durchblutung, sondern umfassen auch Tonusveränderungen der Muskulatur (7). Sogar das Kältezittern kann ausgelöst werden. Die dafür notwendigen Regelgrössen sind — analog denen der hypothalamischen Zentren — die gemittelte Hauttemperatur derjenigen Dermatome, die zu den betreffenden Rückenmarksabschnitten gehören, und die Temperatur der betreffenden Rückenmarksabschnitte selbst (24,37).
In Ergänzung zur Ganzpackung beeinflusst die *lokal* auf die Haut applizierte *Wärme* in erster Linie die Thermoregulation über die *segmental* dazugehörigen *Rückenmarksabschnitte* und erst in zweiter Linie die hypothalamischen Thermoregulationszentren. Die *Kombination* von *lokalen* Wärmeanwendungen mit *Ganzpackungen* ist somit eine *sinnvolle Kombination* von supraspinalen hypothalamischen und spinalen thermoregulatorischen Reaktionen (Abb. 3).

Abb. 3 **Darstellung der kombinierten Wirkung einer lokalen Wärmeanwendung mit einer Ganzpackung sowohl auf die Thermoregulationszentren des Hypothalamus als auch auf die der lokalen Anwendung entsprechenden Rückenmarksabschnitte.**



H	Haut mit Thermorezeptoren
IW	lokale Wärmeanwendung auf die Haut
GP	Ganzpackung
RM	Rückenmark
TR_{sp}	spinale Thermoregulation
TRZ_h	hypothalamische Thermoregulation
a,b	Regelgrössen für die Thermoregulationszentren:
	a) afferenter Weg der gemittelten Hauttemperatur
	b) (Blut) Temperatur des Thermoregulationszentrums

5.2. Die physikalischen und chemischen thermoregulatorischen Reaktionen

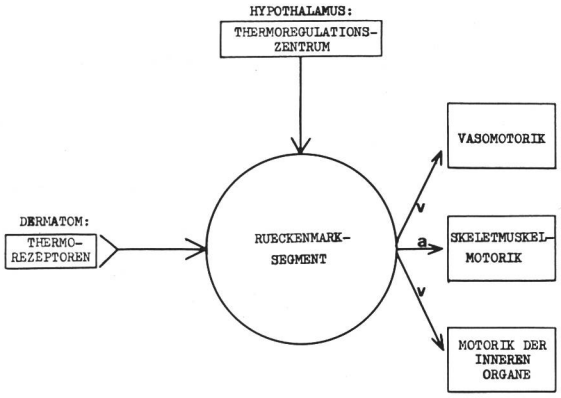
Wie eingangs betont wurde, vermag nur eine Vielzahl von Reaktionen die für Säuger lebenswichtige Konstanthaltung der Körpertemperatur zu garantieren. Der Körper setzt die verschiedensten Organsysteme ein, um einerseits die Wärmeabgabe (sog. physikalischer Teil der Thermoregulation) als auch die Wärmeproduktion (sog. chemischer Teil der Thermoregulation) zu regulieren: Das Herz-Kreislaufsystem (Regulation der Hautdurchblutung; Veränderung des Herz-Minutenvolumens), die Schweißsekretion, die Atmung (Wärmepolypnoe), den allgemeinen Muskeltonus (am auffälligsten: Das Kältezittern) und den Stoffwechsel der inneren Organe (bezeichnet als zitterfreie Wärmebildung).
Für die Physiotherapie entscheidend sind weniger die vielen vegetativen Reaktionen als vielmehr die starke Beteiligung der *animalen Motorik,* die u.a. auch für den *Muskeltonus* verantwortlich ist.

6.1. Der spinale Kältezitter-Mechanismus und die spinal-thermoregulatorisch bedingte Erschlaffung der Skelettmuskulatur

Der Stoffwechsel der inneren Organe (Leber, Nieren) liefert den Basisanteil der für den Körper notwendigen Wärme. Diese Wärmeproduktion kann hormonell (Katecholamine, Thyroxin) innerhalb allerdings enger Grenzen reguliert werden und steht damit auch im Dienste der Thermo*regulation.* Die in hohem Ausmasse mögliche Aktivitätsveränderung der Gesamtheit der Skelettmuskulatur aber ist bei den Säugern der *entscheidende* Faktor für die *Regulation* der Wärmeproduktion. Die Skelettmuskeln sind deshalb ein geeignetes Organ für die Produktion stark wechselnder Wärmemengen, weil sie einen beachtlichen Teil des Gesamtkörpers ausmachen, und weil der Wirkungsgrad der Muskelkontraktionen mit maximal 30% eher niedrig ist und damit gezwungenermassen gleichzeitig sehr viel Wärme produziert wird. Körperarbeit und Thermoregulation sind immer eng miteinander verbunden, weil der eine Vorgang immer auf die richtig dosierte Aktivität des anderen angewiesen ist. Bei Körperarbeit in warmer Umgebung beispielsweise können die thermoregulatorischen Möglichkeiten zum begrenzenden Faktor werden (4,30), oder beim Verharren in kalter Umgebung steht andererseits die Muskelarbeit unwillkürlich (Kältezittern) oder willkürlich (Körperbewegung als adäquates Verhalten) ganz im Dienste der Thermoregulation. Solche thermoregulatorisch bedingten Muskeltonusveränderungen lassen sich sowohl

am Tier als auch am Menschen elektromyographisch erfassen. Der Muskeltonus steigt als Antwort auf jegliche Abnahme der Haut- oder der Hirntemperatur (9,12,48) prompt und deutlich an. Diese Tonuszunahme ist äusserlich zunächst nicht sichtbar, unter Umständen (Neigung zu muskeltonusbedingten Schmerzen) bereits spürbar. Erst bei stärkerer Abkühlung der Haut resp. der Thermoregulationszentren werden die Erregungen der Motoneurone im Rückenmark gruppiert und synchronisiert, was zum Auftreten des bekannten Kältezitterns führt (spinaler Zittermechanismus). Sinn dieser erhöhten Aktivität der Skelettmuskulatur ist die notwendige Wärmebildung. Im umgekehrten Fall wird die Aktivität der Muskulatur gehemmt, wenn die eine oder andere Regeltemperatur ansteigt, um überflüssige Wärmebildung durch das Skelettmuskelsystem einzuschränken (spinal-thermoregulatorisch bedingte Erschlaffung).
Der *Zittermechanismus* (26) ist damit nur im Zusammenhang mit der Tonusregulierung der Skelettmuskeln im Dienste der Thermoregulation zu verstehen (22). Da die Motoneurone im Vorderhorn die letzte und entscheidende Station für die Aktivitätssteuerung der Skelettmuskeln sind, sind sie die direkte Ursache für die Tonushöhe und das Kältezittern. Die Aktivität der Motoneurone aber kann grundsätzlich immer einerseits von höheren Zentren (in diesem Beispiel von den hypothalamischen Thermoregulationszentren) und andererseits von der dazugehörigen Peripherie her (segmentale Thermorezeptoren) beeinflusst werden (Abb. 4).

Abb. 4 **Thermoregulatorische Ein- und Auswirkungen in bezug auf ein Rückenmarkssegment.**



a animales Nervensystem

v vegetatives Nervensystem

6.2. Die Parallelität der thermoregulatorisch bedingten Reaktionen der Skelettmuskeln und der glatten Muskulatur der inneren Organe

Die Tatsache, dass sehr viele Organsysteme auch für die Thermoregulation eingesetzt werden und damit durch Warm- und Kaltafferenzen aus der Haut beeinflussbar sind, zeigt die hervorragende Bedeutung der Thermoregulation. In diesem Zusammenhang sind auch die thermoregulatorisch bedingten, parallelen Aktivitätsveränderungen der *Skelettmuskeln* (animales Nervensystem) und der *glatten Muskulatur* des Magen-Darmtraktes (vegetative Steuerung) zu sehen. Eine Wärmeapplikation auf die Rumpfhaut hemmt nicht nur die Rumpfmuskulatur, sondern senkt gleichzeitig auch den Tonus und damit die motorische Aktivität des Magen-Darmtraktes (5), wie um auf weite Sicht die Energiezufuhr für die notwendige Thermoregulation zu steuern. Wärme auf die Bauchhaut ist bekanntlich ein weitverbreitetes und wirksames Hausmittel aus der Physiotherapie gegen schmerzhafte Magen-Darmkrämpfe.
Thermoregulatorische Regelgrössen beeinflussen somit gleichzeitg immer die *Vasomotorik,* die *Skelettmuskelmotorik* und die *Motorik innerer Organe* (Abb. 4).

7. Was nicht zur Sprache kam

Der vorliegende Übersichtsartikel will nur auf Wert und Wirkungsweisen von therapeutischen Wärmeapplikation auf die Haut vor dem Hintergrund der Thermoregulation hinweisen. Die menschliche Thermoregulation als ganzes kommt aus diesem Grunde nicht einmal als Überblick zur Darstellung. Es muss deshalb abschliessend betont werden, dass sich die Bedeutung thermoregulatorischer Vorgänge für die physikalische Therapie nicht auf die dargelegten Zusammenhänge beschränkt. Vorallem auf die möglichen Reaktionsmuster der verschiedenen Hautgefässe als Antwort auf lokale Wärme-und Kälteeinwirkungen (12,21,31,34), als Folge von Veränderungen der Kerntemperatur (50) oder während körperlichen Leistungen (38) konnte nicht eingegangen werden. Die Möglichkeit der zitterfreien Wärmebildung wurde nur erwähnt; Zustandekommen, Regulation und die Beziehungen zum sog. braunen Fettgewebe (3,44) konnten nicht zur Sprache kommen. Die therapeutisch wichtigen Fragen über die Möglichkeiten des Menschen zu einer künstlichen Akklimatisation an warme (33,43,45) und kalte (8,13,15,29) Umgebungen wurden nicht aufgeworfen. Auf eine Gegenüberstellung von lokalen Wärmeanwendungen und der Kyrotherapie wurde bewusst verzichtet, weil die Eistherapie auf ganz anderen Grundlagen basiert (11,19,27,28,32,49).
Kenntnisse über die Möglichkeiten und Auswirkungen thermoregulatorischer Reaktionen beim Menschen sind für das Verständnis, die Dosierung und den gezielten Einsatz sehr vieler physiotherapeutischer Massnahmen unentbehrlich.

8. Zusammenfassung und therapeutische Konsequenzen

1. Die Konstanthaltung der hohen Kern- und damit auch der Hirntemperatur ist eine vordringliche Aufgabe des Gesamtkörpers von Säugern. Eingriffe in den ausgewogenen Haushalt von Wärmeproduktion und -verlust wie sie Wärmeapplikation auf die Haut darstellen,

werden mit Reaktionen vieler Organsysteme beantwortet, die den gesamten Körper erfassen.
2. Auf Temperatur empfindliche Regulationszentren sind zumindest auf zwei Ebenen innerhalb des Zentralnervensystemes vorhanden: Die Thermoregulationszentren im Hypothalamus, die für den Wärmehaushalt im Gesamtkörper verantwortlich sind (Ganzpackungen), und das Rückenmark selbst, welches über spinale Reflexe Vasomotorik, Muskeltonus und Motorik der entsprechenden inneren Organe innerhalb des Segmentes steuert (lokale Wärmeanwendungen).
3. Die Kombination von lokalen Wärmeanwendungen mit einer Ganzpackung vereinigt die hemmende Wirkung auf den Muskeltonus, die sowohl vom Hypothalamus als auch vom Rückenmark ausgeht.
4. Der Erfolg jeder lokalen Wärmeanwendung hängt von der Berücksichtigung der Kerntemperatur (Wärmehaushalt des Gesamtkörpers) ab.
5. Wärmeapplikationen auf distale Teile der Extremitäten vermögen Strukturen des Bewegungsapparates direkt zu erwärmen, weil in diesen Körperteilen das Verhältnis zwischen Hautoberfläche zum entsprechenden Volumen gross ist. Wärmeapplikationen auf grosse Stammgelenke und auf den Rumpf wirken reflektorisch im Sinne der Muskeltonussenkung.
6. Wärmeanwendungen dienen im allgemeinen der Vorbereitung zu aktiven Massnahmen.
7. Die Hauthyperämie ist ein Begleitphänomen der Wärmeanwendungen auf die Haut. Ein Hauterythem allein ist im allgemeinen noch kein Beweis für eine günstige Wirkung einer Wärmeanwendung.

Anschrift des Verfassers: Dr.med. E. Senn,
leitender Arzt
Universitätsspital Zürich
Rheumaklinik und Institut
für physikalische Therapie
8091 Zürich

Literaturverzeichnis

1. Aschoff,J.: Die Vasodilatation einer Extremität bei örtlicher Kälteeinwirkung. Pflügers Arch.248: 178-182, 1944.
2. Aschoff,J.: Über die Kältedilatation der Extremität des Menschen in Eiswasser. Pflügers Arch.,248: 183-196, 1944.
3. Barnard,T.: Brown adipose tissue as an effector of nonshivering thermogenesis. Experientia, 33: 1124-1126, 1977.
4. Baum,E., Brück,K., Schwennicke,H.P.: Adaptive modifications in the thermoregulatory system of long-distance runners. J.Appl. Physiol.,40: 404-410, 1976.
5. Bisgard,J.D., Nye,D.: The influence of hot and cold application upon gastric and intestinal motor activity. Surg.Gyn.Obst.,71: 172-180, 1940.
6. Boulant,J.A., Hardy,J.D.: The effect of spinal and skin temperatures on the firing rate and thermosensifivity of preoptic neurones. J.Physiol.(Lond.),240: 639-660, 1974.
7. Brooks,C.McC., Koizumi,K., Malcolm,J.L.: Effects of changes in temperature on reactions of spinal cord. J.Neurophysiol.,18: 205-216, 1955.
8. Brück,K., Baum,E., Schwennicke,H.P.: Cold-adaptive modifications in man induced by repeated short-term cold-exposures and during a lo day and night cold exposure. Pflügers Arch.,363: 125-133, 1976.
9. Brück,K., Wünnenberg,W.: Die Steuerung des Kältezitterns beim Meerschweinchen. Pflügers Arch.,293: 215-225, 1967.
10. Brück,K., Wünnenberg,W.: Eine kälteadaptive Modifikation: Senkung der Schwellentemperatur für Kältezittern. Pflügers Arch.,293: 226-235, 1967.
11. Bugaj,R.: The cooling, analgesic and rewarming effects of ice massage on localised skin. Physical Therapy,55: 11-19, 1975.
12. Buguet,A.G.C., Livingstone,S.D., Reed,L.D., Limmer,R.E.: Cold-induced shivering in men with thermoneural skin temperatures. J.Appl.Physiol.,41: 142-145, 1976.
13. Carlson,D.L.: The role of catecholamines in cold adaption. Pharm.Rev.,18: 291-301, 1966.
14. Dastre,A.F., Morat,J.P.: Influence du sang asphyxique sur l'apparail nerveux de la circulation. Arch.physiol.-norm.pathol.,16: 1-45, 1884.
15. Davis,T.R.A.: Chamber cold acclimatization in man. J.Appl.Physiol.,16: 1011-1015, 1961.
16. Downey,J.A., Huckaba,C.E., Kelley,P.S., Tam,H.S., Darling,R.C., Cheh,H.Y.: Sweating responses to central and peripheral heating in spinal man. J.Appl.-Physiol.,40: 701-706, 1976.
17. Görke,K., Pierau,Fr.-K.: Generation of shivering by local spinal cooling in spinalized pigeons. Pflügers Arch.-Suppl. zu 368: R 22 Referat 108, 1977.
18. Hardy,J.D.: Physiology of temperature regulation. Physiol.Rev.,41: 521-606, 1961.
19. Harviksen,K.: Ice therapy in spasticity. Acta Neurol.-Scand., 38 suppl.,3: 79-84, 1962.
20. Haymes,E.M., Buskirk,E.R., Hodgson,J.L., Lundegren,H.M., Nicholas,W.C.: Heat tolerance of exercising lean and heavy prepubertal girls. J.Appl.Physiol.,-37: 566-571, 1974.
21. Hellon,R.F.: Local effects of temperature. Brit.med.-Bull.,19: 141-144, 1963.
22. Jansky,L.: Contribution of striated muscles to regulatory heat production. Experientia,33: 1123-1124, 1977.
23. Jéquier,E., Gygax,P.H., Pittet,Ph., Vannotti,A.: Increased thermal body insulation: relationship to the development of obesity. J.Appl.Physiol.,36: 674-678, 1974.
24. Jessen,C., Simon-Oppermann,Ch.: Production of temperature signals in the peripherally denervated spinal cord of the dog. Experientia,32: 484-485, 1976.
25. Kosaka,M., Simon,E.: Kältetremor wacher, chronisch spinalisierter Kaninchen im Vergleich zum Kältezittern intakter Tiere. Pflügers Arch.,302: 333-356, 1968.
26. Kosaka,M., Simon,E.: Der zentralnervöse spinale Mechanismus des Kältezitterns. Pflügers Arch.,302: 357-373, 1968.
27. Knutsson,E., Mattsson,E.: Effects of local cooling on monosynaptic reflexes in man. Scand.J. of Rehabil.Med.,1: 126-132, 1969.
28. Licht,S.: Local cryotherapy. Aus: «Therapeutic Heat and Cold»; ed by S. Licht: 2nd edition; (Physical Medicine Library Vol.2) pp 538-563, 1968.
29. Livingstone,S.D.: Changes in cold-induced vasodilatation during arctic exercises. J.Appl.Physiol,40: 455-457, 1976.
30. MacDougall,J.D., Reddan,W.G., Layton,C.R., Dempsey,J.A.: Effects of metabolic hyperthermia on performance during heavy prolonged exercise. J.Appl.Physiol.,37: 538-544, 1974.

31. McArdle,W.D., Magel,J.R., Lesmes,G.R., Pechar,C.S.: Metabolic and cardiovascular adjustment to work in air and water at 18, 25 and 33°C. J.Appl.-Physiol.,40: 85-90, 1976.
32. Mecomber,S.A., Herman,R.M.: Effects of local hypothermia on reflex and voluntary activity. Physical Therapy,51: 271-282, 1971.
33. Mitchell,D., Senay,L.C., Wyndham,C.H., van Rensburg,A.J., Rogers,C.C., Strydom,N.B.: Acclimatization in a hot, humid environment: energy exchange, body temperature, and sweating. J.Appl.Physiol.,40: 768-778, 1976.
34. Mosso,U.: L'action du chaud et du froid sur les vaisseaux sanguins. Arch.italiennes Biol.,12: 346-366, 1889.
35. Müller,O.: Über die Blutverteilung im menschlichen Körper unter dem Einfluss thermischer Reize. Arch.-Klin.Med.,82: 547-585, 1905.
36. Nadel,E.R., Holmér,I., Bergh,U., Astrand,P.O., Stolwijk,J.A.J.: Energy exchanges of swimming man. J.Appl.Physiol.,36: 465-471, 1974.
37. Necker,R., Rautenberg,W.: Effect of spinal deafferentation on temperature regulation and spinal thermosensitivity in pigeons. Pflügers Arch.,360: 287-299, 1975.
38. Nielsen,B.: Thermoregulation in rest and exercise. Acta Physiol.Scand.,76, Suppl.323: 1-74, 1969.
39. Nielsen,St.L., Lassen,N.A.: Measurement of digital blood pressure after local cooling. J.Appl.Physiol.,43: 907-910, 1977.
40. Nukada,A., Müller,E.A.: Hauttemperatur und Leistungsfähigkeit in Extremitäten bei dynamischer Arbeit. Int.Z.angew.Physiol.16: 61-73, 1955.
41. Petrowsky,J.S., Lind,A.R.: Insulative power of body fat on deep muscle temperatures and isometric endurance. J.Appl.Physiol.,39: 639-642, 1975.
42. Rautenberg,W.: Die Bedeutung der zentralnervösen Thermosensitivität für die Temperaturregulation der Taube. Z.vergl.Physiol.62: 235-266, 1969.
43. Roberts,M.F., Wenger,C.B., Stolwijk,J.A., Nadel, E.R.: Skin blood flow and sweating changes following exercise training and heat acclimation. J.Appl.Physiol.,-43: 133-137, 1977.
44. Seydoux,J., Girardier,L.: Control of brown fat thermogenesis by the sympathetic nervous system. Experientia,33: 1128-1130, 1977.
45. Shvartz,E., Shapiro,Y., Magazanik,A., Meroz,A., Birnfeld,H., Mechtinger,A., Shibolet,S.: Heat acclimation, physical fitness and responses to exercise in temperate and hot environnements. J.Appl.Physiol.,43: 678-683, 1977.
46. Simon,E., Klussman,F.W., Rautenberg,W., Kosaka,-M.: Kältezittern bei narkotisierten spinalen Hunden. Pflügers Arch.,291: 187-204, 1966.
47. Timbal,J., Boutelier,Ch. Loncle,M., Bougues,L.: Comparison of shivering in man exposed to cold in water and in air. Pflügers Arch.,365: 243-248, 1976.
48. Tsuchiya,K., Kozawa,E., Iriki,M.: Changes of gastrointestinal motility evoked by spinal cord cooling and heating. Pflügers Arch.,351: 275-286, 1974.
49. Urbscheit,N., Bishop,B.: Effects of cooling on the ankle jerk and H-response. Physical Therapy,50: 1041-1059, 1970.
50. Wyss,C.R., Brengelmann,G.L., Johnson,J.M., Rowell,L.B., Niederberger,M.: Control of skin blood flow, sweating, and heart rate: role of skin vs. core temperature. J.Appl.Physiol.,36: 726-733, 1974.