



Zoltán Katona

Interessantes aus der Medizintechnik



Zoltán Katona

Interessantes aus der Medizintechnik

Urania-Verlag Leipzig · Jena · Berlin

Autor: Dr.-Ing. Zoltán Katona, Medizinische Universität
»Ignaz Philipp Semmelweis«, Budapest
Originaltitel: A gyógyító technika (Heilende Technik).
Verlag Gondolat, Budapest 1977
Übersetzer: Almos Csongár, Berlin
Johann Arndt, Leipzig (Kapitel: Der lautlose
Schall in der Medizin)

1. Auflage 1984

1.-20. Tausend. Alle Rechte vorbehalten

© Katona, Zoltán, 1977

Neubearbeitete und ergänzte Fassung für die »akzent«-Reihe

© Urania-Verlag Leipzig/Jena/Berlin,

Verlag für populärwissenschaftliche Literatur, Leipzig 1984

VLN 212-475/71/84. LSV 3509

Lektor: Ewald Oetzel

Zeichnungen: Károly Miklós

**Fotos: Sándor Bernath (57, 81, 124, 125); Hochschul-, Film- und
Bildstelle der Karl-Marx-Universität Leipzig (68, 69, 70, 73); Aufn.
Weicker (128); VEB Transformatoren- und Röntgenwerk Dresden
(32, 34, 35, 55, 58, 67, 76); VEB Meßgerätewerk Zwönitz (25, 93,
120); alle anderen entstammen dem Archiv des Autors**

Einbandreihenentwurf: Helmut Selle

Typografie: Julia Strube

Printed in the German Democratic Republic

Gesamtherstellung: INTERDRUCK Graphischer Großbetrieb

Leipzig, Betrieb der ausgezeichneten Qualitätsarbeit, III/18/97

Best.-Nr.: 653 832 4

00450

Inhalt

- Siegeszug der Medizin** 7
- Elektrizität und Leben** 14
- Lebensrettender Stromstoß** 29
- Heilende Wärme** 50
- Der lautlose Schall in der Medizin** 61
- Welche Töne erzeugt das Herz?** 77
- Temperaturmessung im Dienst der Diagnostik** 80
- Ein Automat mißt den Blutdruck** 89
- Biotelemetrie** 97
- Elektronik in künstlichen Organen** 104
- Das Krankenhaus von morgen** 116

Siegeszug der Medizin

Die moderne Medizin kämpft mit allen ihr zur Verfügung stehenden Mitteln darum, Krankheiten zu verhüten und zu besiegen. In der Geschichte der jahrtausendealten Heilkunde, für die besonders das letzte Jahrhundert sensationelle Ergebnisse brachte, gibt es beachtenswerte Siege. Aber viele Probleme sind noch ungelöst. Der Arzt zwingt immer mehr Krankheiten zum Rückzug, doch treten anstelle der alten Krankheiten neue auf. Die Krankheitserreger, die noch nicht vernichtet sind, greifen auf neuen Wegen an. Die Anzahl der Krankheiten, die wir bisher nicht mit vollem Erfolg zu besiegen vermochten, ist deshalb noch recht groß. So können nach gewonnenen Schlachten weder der Forscher noch der heilende Arzt ruhen. Tausende von neuen Aufgaben warten auf sie. Obwohl wir von einer sich ständig verbessernden ärztlichen und medizinischen Versorgung sprechen können, wird doch die Arbeit des Arztes nicht weniger.

Die Anzahl der Erdbewohner wächst rapid. Vor wenigen Jahrzehnten lebten nur 2,5 Milliarden Menschen auf der Erde. Heute sind es bereits über 4,4 Milliarden. Diese Zahl wird sich bis zur Jahrtausendwende auf mehr als 6,5 Milliarden erhöhen. Es ist offensichtlich, daß sich damit auch die Anzahl der Menschen erhöht, die eine ärztliche Versorgung beanspruchen. Doch mit der Bevölkerungszahl wächst nicht in gleichem Maße die Anzahl der Mediziner. Außerdem ist die territoriale Verteilung der Ärzte nicht gleichmäßig, auch dort nicht, wo ihre Anzahl verhältnismäßig hoch ist. In einigen Gebieten der Vereinigten Staaten (unter anderem in Alaska) kommen auf 100 000 Einwohner kaum 70 Ärzte, während es in New

York 220 sind. In einzelnen unterentwickelten Ländern beträgt dieses Verhältnis kaum 1:100 000.

Die Anzahl der Menschen, die der ärztlichen Versorgung bedürfen, wird vor allem aber auch dadurch größer, daß sich das Durchschnittsalter (in entwickelten Ländern beträgt es bereits über 70 Jahre) beträchtlich erhöht hat. Ältere Menschen brauchen im allgemeinen öfter einen Arzt.

Es gibt noch einen weiteren Grund für die heute höhere Beanspruchung der Ärzteschaft. Wenn relativ viele früher schon jung an erblichen Krankheiten starben, so hatten sie sie nicht an ihre Nachkommen vererben können. Jetzt werden auch diese Menschen rechtzeitig geheilt, so daß sie fortpflanzungsfähig werden, und sie vererben mit größerer Wahrscheinlichkeit als gesunde Personen ihre Krankheiten oder die Anlage dazu.

Viele sehen eine wesentliche Ursache für die Zunahme von Krankheiten darin, daß der Mensch immer sorgloser die Möglichkeiten des modernen Lebens mißbraucht, seine Umwelt immer mehr verschmutzt und das biologische Gleichgewicht der Natur unvorteilhaft beeinflußt. Es ist leider nicht zu leugnen, daß die Häufigkeit der Erkrankungen des Kreislaufes, des Nerven- und des Verdauungssystems steigt, ganz zu schweigen von den Verkehrsunfällen, an deren Folgen sehr viele Menschen sterben oder für immer geschädigt bleiben.

In der modernen Medizin gewinnt die Verhütung der Krankheiten immer größere Bedeutung. Es ist ein altes Prinzip der Medizin, daß es besser und einfacher ist, Krankheiten vorzubeugen, als sie zu heilen. Aber dieses Prinzip kann man nur mit neuartigen, wirksamen Mitteln verwirklichen. Hierzu müssen die Ärzte viel mehr Untersuchungen als bisher durchführen. Besteht doch die Verhütung einer Krankheit im wesentlichen darin, daß man die »Krankheitskandidaten« bereits in dem Stadium entdeckt, wo sie sich noch nicht krank fühlen und noch keine Beschwerden haben. Man müßte also die gesamte Bevölkerung einer Reihenuntersuchung unterziehen, um anfällige Personen oder Kranke, die noch beschwerdefrei sind, herauszufinden. Es genügt nicht, nur während der traditionellen Untersuchungen beobachtete Kennwerte zu

messen. Man kann in dem Zustand, der einer Manifestierung von Krankheiten vorausgeht, nur mit geringfügigen Veränderungen der Lebensfunktionen des Kranken rechnen. Zur Bestimmung dieser kleinen, noch kaum wahrnehmbaren Abweichungen sind empfindlichere Untersuchungsverfahren und mehr Messungen notwendig als üblich.

Man darf auch nicht vergessen, daß sich immer mehr Ärzte und andere im Gesundheitswesen Tätige mit der intensiven Erforschung der rechtzeitigen Erkennung und Heilung des Krebses, der Krankheiten des Kreislaufsystems, der Vorbeugung und Heilung von Schäden des Nervensystems sowie der Wiedereingliederung (Rehabilitation) der Rekonvaleszenten in die Gesellschaft beschäftigen.

Die traditionelle medizinische Versorgung leidet also an Ärztemangel. Prinzipielle Überlegungen und Erfahrungen aus entwickelten Ländern zeigen, daß man die Probleme der Vorsorge und der Heilung nicht allein mit quantitativen Methoden, mit einer extensiven Entwicklung, also mit einer Erhöhung der Anzahl der Ärzte, des medizinischen Personals oder der Instrumente, lösen kann. Das Gesundheitswesen muß seine noch unbeantworteten Fragen vor allem mit einer intensiven Entwicklung lösen, auf die Weise also, daß die Wirksamkeit der Betreuung verbessert wird. Hierbei sind die Verbesserung der technischen Geräte zur Heilung und die Erhöhung ihrer Anzahl wichtige Aufgaben. Das in der medizinischen Tätigkeit benutzte Arsenal von Instrumenten und Methoden nennt man *Medizintechnik*.

Auch der Arzt vergangener Zeiten benutzte schon technische Mittel. Bei einem chirurgischen Eingriff verwendete er Messer, Scheren, Haken und Klammern; zum Richten ausgerenkter oder gebrochener Knochen Hebel; zum Stillen von Blutungen Aderzangen, Nähnadeln, Nähfaden usw. Diese Instrumente fertigten die Ärzte anfangs für ihre Zwecke selbst an. In dem Maße jedoch, wie die Rolle der Hilfsmittel wuchs, setzte sich auch hier die Arbeitsteilung durch. Fachleute, die die Forderungen des Arztes zu erfüllen verstanden, stellten die Instrumente her. Heute hat das industrielle Ausmaße angenommen.

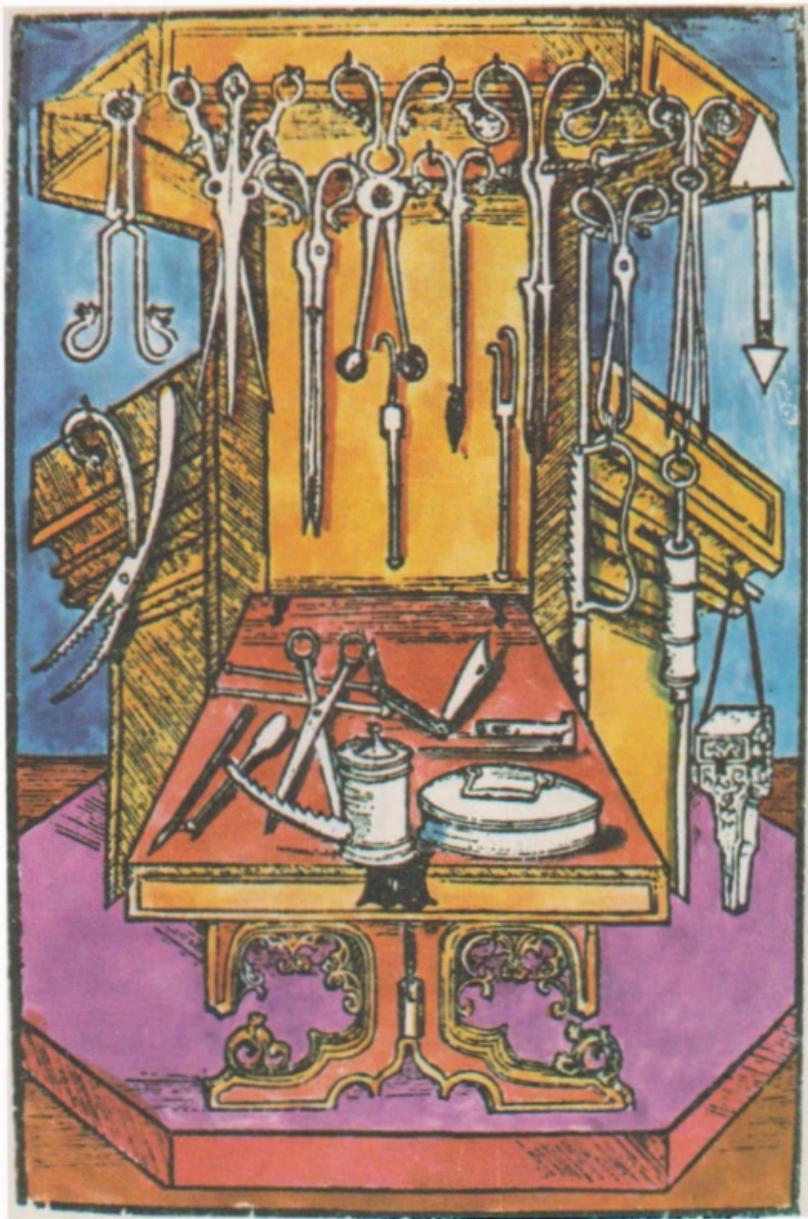
Ein Produkt der letzten anderthalb Jahrhunderte ist das medizinische Stethoskop. Nach Berichten hat es der französische Arzt Laennec (1718–1826) im Jahre 1816 erfunden. Er soll des öfteren in peinliche Situationen geraten sein, wenn er im Beisein des Kaisers gezwungen war, die Töne des Herzens und des Brustkorbs der Hofdamen abzuhören. Aus Gründen der Schicklichkeit konnte er sein Ohr dabei nicht an den Busen der Damen legen, wie es zu jener Zeit die Ärzte im allgemeinen taten. Deshalb fertigte er einen Holztrichter an, dessen weite Öffnung er auf den Busen der Patientin setzte; sein Ohr aber legte er an die enge Öffnung des Trichters. Dieses einfache Hörgerät hat man weiterentwickelt, zu einem Resonator ausgebildet, seine Oberfläche sorgsam poliert und mit einem besonderen Schutzlack überzogen. Später wurde das Stethoskop von dem zuverlässigeren Phonendoskop verdrängt. Dieses leitet die aufgefangenen Töne durch eine Glocke mit Membran und durch einen Schlauch unmittelbar zum Ohr des Arztes. Das Phonendoskop ist heute geradezu zum Symbol des Arztberufes geworden.

Immer wieder gelangten qualitativ neuartige Mittel in den Dienst der Heilkunde. So gelang es, billige und zuverlässige Quecksilber-Fieberthermometer herzustellen. Seit Ende des 18. Jahrhunderts wurde es in der ärztlichen Praxis üblich, die Körpertemperatur damit zu messen. Die Benutzung des Fieberthermometers verbreitete sich mit der Zeit über die Arztkreise hinaus und wurde allgemein üblich.

Die wissenschaftlich-technische Entwicklung unseres Jahrhunderts wirkte sich vor allem auch in der Medizin aus. Ärzte und Ingenieure erfanden immer empfindlichere und genauere Instrumente. Eine entscheidende Rolle dabei spielten die Elektrotechnik und die Elektronik.

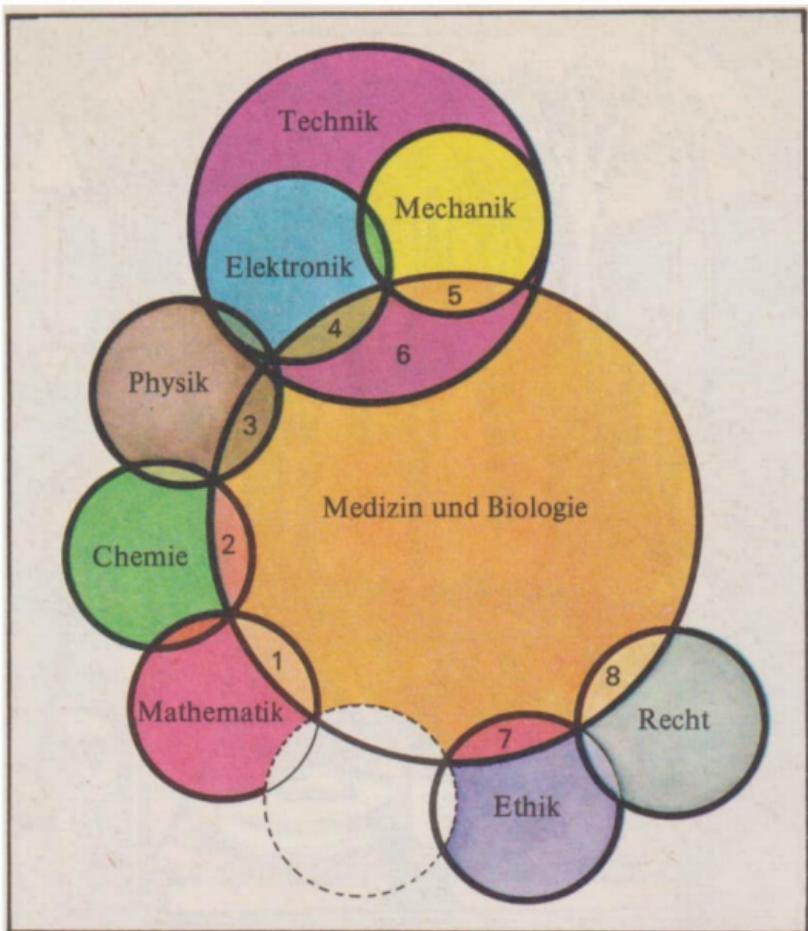
Die moderne Medizintechnik entstand aus der Verflechtung der Medizin und der Ingenieurwissenschaften, ein für den wissenschaftlich-technischen Fortschritt unserer Epoche typischer Vorgang.

Eine der Begleiterscheinungen der wissenschaftlich-technischen Revolution besteht darin, daß sich die Wissenschaften spezialisieren. Der hauptsächliche Grund dafür ist die schnelle Anhäufung wissenschaftlicher Er-



Chirurgische Instrumente des Mittelalters

gebnisse und Informationen. Deshalb müssen die Vertreter eines bestimmten Wissenschaftszweiges immer mehr Kenntnisse besitzen, wenn sie in ihrem Beruf erfolgreich arbeiten wollen. Da es aber nicht möglich ist, sich unendlich viel Wissen anzueignen, ist der Spezialist gezwun-



Medizin und Biologie überschneiden sich mit zahlreichen anderen Wissenschaftsgebieten, und so entstehen immer neue Wissenschaften der Grenzgebiete. 1 – Biometrie; 2 – Biochemie; 3 – Biophysik; 4 – medizinische Elektronik; 5 – Biomechanik; 6 – Biotechnik, Medizintechnik; 7 – Bioethik; 8 – Gerichtsmedizin, Recht

gen, sein Forschungsgebiet einzugehen, um fundierte Daten zu gewinnen.

Aus der Ausweitung der Kenntnisse in großem Maße entspringt jedoch auch ein der Spezialisierung und Differenzierung entgegengesetzter Prozeß, sozusagen als Ausgleich. Man nennt ihn Integration. Aus gemeinsamen Elementen voneinander entfernter Wissenschaftsgebiete bilden sich selbständige, neue Wissenschaften heraus. So entstanden z. B. die Informationstheorie, die Kybernetik,

die Systemtheorie, die Organisationswissenschaft und die Metrologie.

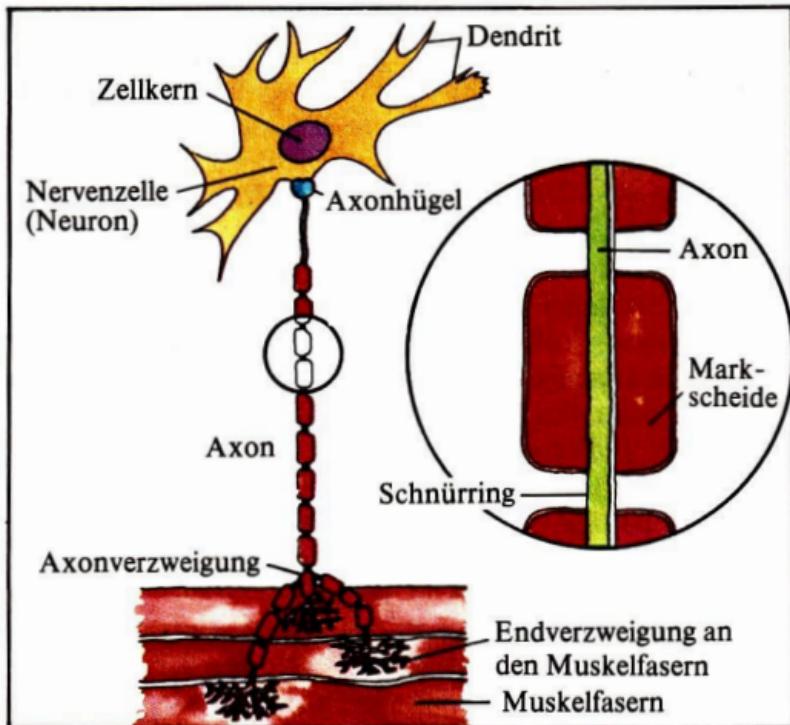
Es ist interessant zu beobachten, wie sich die Wissenschaftszweige in Grenzgebieten (interdisziplinäre Wissenschaften) der Medizin und der Biologie vermehren. In unserer skizzenhaften Übersicht haben wir auch die Beziehung voneinander weit entfernter Wissenschaftszweige beachtet, so den Zusammenhang zwischen der Medizin und der Rechtswissenschaft oder auch die sogenannte Bioethik, die sich mit ethischen Problemen der Forscher auf dem Gebiet der biologischen und medizinischen Wissenschaften beschäftigt, beispielsweise mit Fragen, die sich im Zusammenhang mit der Organtransplantation, der Geburtenregelung oder der genetischen Chirurgie ergeben.

Besonders auffällig ist das Eindringen der Elektronik in die Medizin und die ärztliche Praxis. Die Entwicklung der Elektronik in unserem Jahrhundert hat es dem Arzt ermöglicht, z. B. Herztransplantationen vorzunehmen oder künstliche Organe herzustellen und sie dauerhaft zu implantieren. Den gesellschaftlichen Nutzen der Herztransplantationen z. B. können wir in Frage stellen, denn es besteht wegen der geringen Anzahl der Herzspender nicht die Möglichkeit, einem jeden Kranken, der einer Herztransplantation bedarf, ein natürliches Herz einzupflanzen. Dessenungeachtet gehören Herztransplantationen zu den überwältigenden Ergebnissen der heutigen Medizin, wobei natürlich die medizinische Technik einen gewaltigen Anteil hat. Wir sprechen jetzt gar nicht von den sonstigen Wirkungen, etwa davon, daß die gelösten und ungelösten Probleme der Herztransplantation einen bedeutenden Anstoß zur Entwicklung künstlicher Herzkonstruktionen gegeben haben. Diese Wirkung ist aber sehr bedeutungsvoll, denn die Spezialisten rechnen damit, daß es noch in diesem Jahrhundert gelingt, das kranke Herz durch ein künstliches zu ersetzen.

Elektrizität und Leben

Schon zu jenen Zeiten, als man vom Wesen der Elektrizität noch nichts wußte, ist man durch Erfahrungen darauf gestoßen, daß es einen Zusammenhang zwischen dem lebenden Organismus und elektrischen Erscheinungen geben muß. So hat z. B. der römische Arzt Largus Scribonius im 1. Jahrhundert v. u. Z. seine Kranken, die an hartnäckigen Kopfschmerzen litten, dadurch kuriert, daß er auf ihre Köpfe »elektrische« Fische band. Auch Dioskurides, Plinius und Galenus benutzten die gleiche Therapie. Wir wissen natürlich nicht, wovon die Kranken gesund wurden, von der ziemlich schmerhaften Behandlung oder von der Furcht, die sie vor den Stromstößen hatten.

Es waren aber gerade die »elektrischen« Fische, die zu einer eingehenderen Untersuchung der elektrischen Erscheinungen des lebenden Organismus dienten. Mehrere Forscher, unter ihnen auch der berühmte Alexander von Humboldt (1769–1859), untersuchten die in Südamerika lebenden Zitterfische (*Electrophorus electricus*), deren Körper von Zeit zu Zeit sehr starke elektrische Stromstöße aussenden, die nicht selten sogar 800 V übersteigen. Diese langen, schmalen Tiere werden fast 2 m lang, und ihre Masse beträgt 15 bis 20 kg. Die Masse der Organe, die die ansehnliche Spannung erzeugen, die in erster Linie der Verteidigung und dem Nahrungserwerb dient, erreicht 6 bis 8 kg. Der im Mittelmeer vorkommende Zitterrochen (*Torpedo torpedo*) und der in den Binnengewässern Afrikas beheimatete Zitterwels (*Malapterurus electricus*) erzeugen ebenfalls eine beachtliche Spannung. Das hat der italienische Arzt Francesco Redi bereits 1671 beobachtet.



Wichtige Teile der Nervenzelle

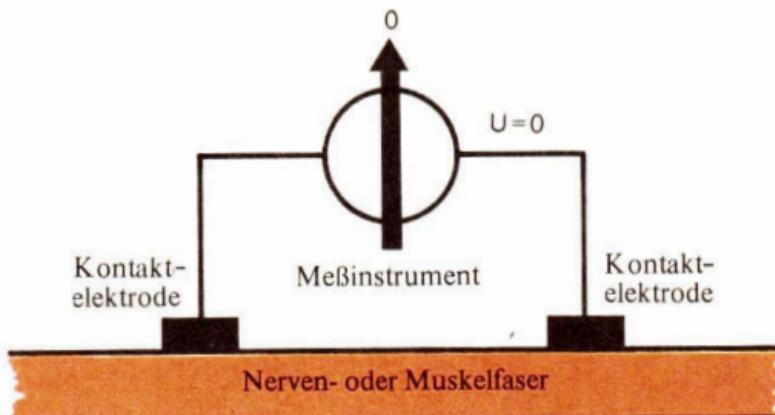
Aus den Erfahrungen, die man mit »elektrischen« Fischen gemacht hat, zogen Forscher die Schlußfolgerung, daß es eine spezielle Eigenschaft gewisser Lebewesen ist, elektrische Spannung zu erzeugen. Könnte nicht auch der menschliche Organismus mit elektrischen Erscheinungen in Verbindung stehen?

Die systematischere Erforschung der elektrischen Erscheinungen des lebenden Organismus begann im 18. Jahrhundert. In den achtziger Jahren dieses Jahrhunderts führte Luigi Galvani seine bekannten Versuche mit Froschschenkeln durch, wobei er entdeckte, daß man die Nerven und Muskeln des Froschschenkels mit elektrischem Strom reizen kann. Obwohl seine Erklärung falsch war, spornte sie zu weiteren Untersuchungen an. Bereits in der Mitte des 19. Jahrhunderts gelang es, mit Messungen zu beweisen, daß während der Tätigkeit des lebenden Organismus im allgemeinen ein elektrisches Potential auftritt, und zwar nicht nur bei bestimmten Lebewesen, sondern auch im Menschen.

Unter bestimmten Bedingungen kann man die peripheren Nerven, die die Sinnesorgane und die quergestreiften Muskeln mit dem Zentralnervensystem verbinden, aus dem lebenden Organismus herausnehmen und ihre Funktion zeitweilig aufrechterhalten. Wird an zwei Punkten eines isolierten Nervs ein sehr empfindliches Gleichspannungsmeßgerät angeschlossen, dann bleibt sein Zeiger in Ruhelage – als Zeichen dafür, daß es zwischen den beiden Punkten keinerlei Potentialdifferenz gibt. Wird nun der Nerv an einer Stelle eingeschnitten und daran der eine Pol des Gerätes angeschlossen, so daß er das Innere des Nervs berührt, zeigt das Meßgerät eine Potentialdifferenz an, wobei der Einschnittpunkt negativ und die äußere Oberfläche des Nervs positiv ist. Das vom Gerät angezeigte Potential beträgt 0,1 V und wird als Verletzungspotential bezeichnet. Da es auch in Ruhe auftritt, ist es üblich, es Ruhepotential des Nervs zu nennen.

Über diese zweifellos seltsame Erscheinung werden wir im folgenden Gedankenversuch weiteres erfahren. Wir nehmen ein Gefäß, das wir mit einer halbdurchlässigen Membran in zwei Teile teilen. Diese Membran hat die Eigenschaft, nur Ionen eines bestimmten Durchmessers durchzulassen. In die linke Seite des Gefäßes füllen wir Wasser mit gelöstem Kaliumchlorid, in die rechte jedoch eine wäßrige Lösung, die Protein enthält.

Woher kommt dieses Ruhepotential? Jede Zelle ist von einer halbdurchlässigen Membran umgrenzt, die für große Moleküle undurchlässig ist. Durch die unterschiedliche Verteilung von negativ geladenen Eiweißmolekülen und zahlreichen positiven und negativen Ionen auf beiden Seiten entsteht eine Membranspannung bis zu 90 mV. Wenn wir auf beide Seiten der Membran die Meßfühler eines Meßgerätes setzen, dann können wir einen Spannungsunterschied messen. Diese Spannung nennen wir, da sie durch eine halbdurchlässige Membran verursacht wird, Membranspannung. Es ist üblich, wegen der Diffusion, die diese erzeugt, von einer Diffusionsspannung zu sprechen. Durch theoretische Berechnungen kann man nachweisen, daß sie vom Konzentrationsunterschied auf beiden Seiten der Membran abhängt und davon, mit welcher Geschwindigkeit die Ionen in der Flüssigkeit wandern. In

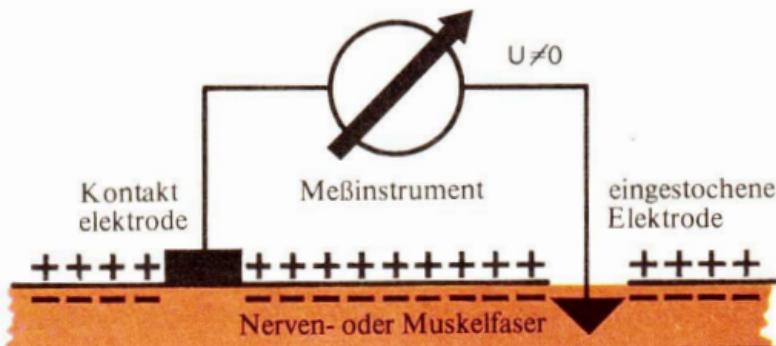


Das Meßinstrument zeigt zwischen zwei Punkten der sich in Ruhe befindenden Nervenfaser keinen Spannungsunterschied (Potentialdifferenz).

unserem Beispiel beträgt der Spannungswert am Nerv 58 mV (das mV ist der tausendste Teil des V), woran verschiedene Ionen beteiligt sind.

Mit Recht kann man fragen, was all das mit dem am Nerv meßbaren Ruhepotential zu tun hat. Nun, sehr viel. Man hat nämlich festgestellt, daß die Zellwand, die die Nervenzelle von ihrer Umgebung – dem sogenannten Extrazellularraum – trennt, im wesentlichen auch eine solche halbdurchlässige Membran ist, wie die in unserem

Das Meßinstrument zeigt zwischen dem Äußeren und dem Inneren der Zellwand eine Potentialdifferenz, obwohl sich die Nervenfaser im Ruhezustand befindet.



Versuch benutzte. So besteht an der Nervenzelle die Voraussetzung, daß die Membranspannung zustande kommt. Den Lösungen von zwei unterschiedlichen Konzentrationen im Versuch entsprechen einerseits innerhalb der Zelle das Protoplasma, der Zellkern und die Zellorganellen und andererseits die Körperflüssigkeit außerhalb und zwischen den Zellen. Im Ruhezustand ist die äußere Oberfläche der Nervenzelle positiv und das Innere negativ.

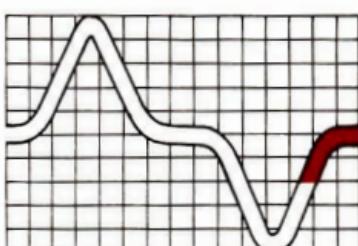
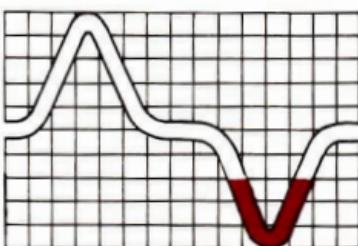
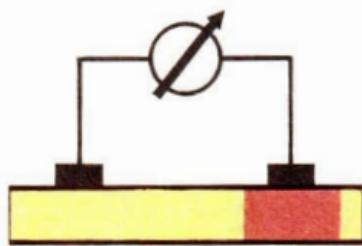
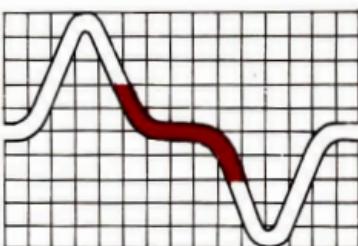
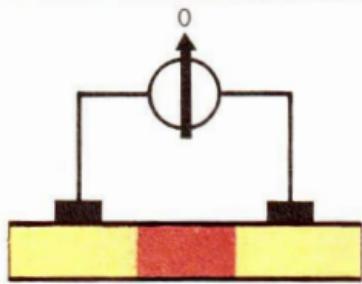
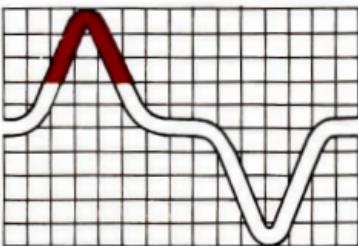
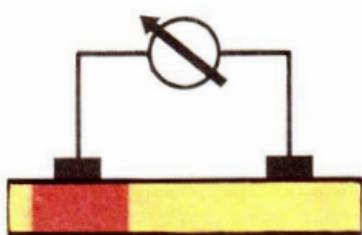
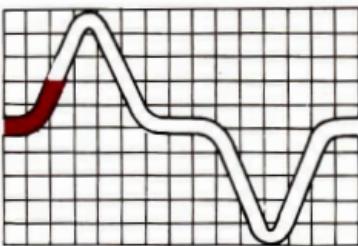
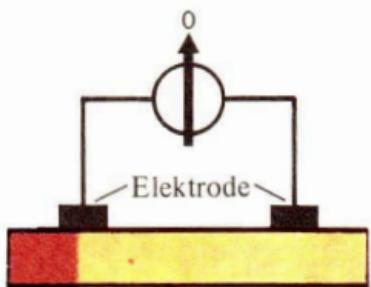
In unserem Gedankenversuch haben wir uns bisher mit einem in Ruhe befindlichen Nerv beschäftigt. Die Nervenzellen haben aber eine typische Eigenschaft: die Reizbarkeit. Darunter verstehen wir die Fähigkeit der Nervenzellen (und auch aller anderen Zellen), auf innere oder äußere Beeinflussung hin ihren Stoffwechsel zu verändern. Die Wirkung der Umgebung nennen wir Reiz und die Antwort darauf Reaktion. Ein Reiz kann eine Energieveränderung der Außenwelt irgendeiner Art sein, z. B. eine Temperaturveränderung, eine mechanische, chemische oder elektrische Wirkung usw.

In den Einzellern und den primitiven Mehrzellern antwortet jede Zelle in gleicher Weise auf den Reiz. In den höherentwickelten Organismen hat sich zwischen den Zellen eine Arbeitsteilung herausgebildet. So antworten die Muskelzellen auf einen Reiz und ziehen sich zusammen; die Drüsenzellen sondern Hormone ab; die Nervenzellen erfahren im Falle einer Reizeinwirkung eine Erregung; die Sinnesorgane (Augen, Ohren usw.) sind zur Reizaufnahme hervorragend geeignet.

Unter den möglichen Reizarten nimmt die Elektroenergie einen bevorzugten Platz ein. Sie ist leicht meßbar, schädigt bei ihrer Anwendung unter einem bestimmten zulässigen Wert nicht die Zellen, die Reizung kann auch beliebig oft wiederholt werden usw.

Reizen wir also unser Nervenpräparat elektrisch, und prüfen wir, was geschieht, wenn der Nerv reagiert. Wir

Wenn eine Erregung durch die Faser läuft, zeigt das Meßinstrument eine Potentialdifferenz an. Wenn wir deren Wert in der Zeitfolge aufzeichnen, erhalten wir eine zweiphasige Aktionsspannungskurve.



 Erregungsausbreitung

Abschnitte der zweiphasigen Aktionsspannungskurve

setzen nacheinander mehrere Meßgeräte an. Im Augenblick der Reizung zeigt noch kein Meßgerät an. Eine gewisse Zeit danach aber schlägt der Zeiger des Gerätes aus, das dem Reizort am nächsten ist. Dann folgen der Reihe nach auch die anderen. Die Reizwirkung geht sozusagen durch den ganzen Nerv. Diese Erscheinung nennen wir *Erregungsausbreitung*.

Wir wollen den Ausschlag eines Meßgerätes gründlicher prüfen. Der Meßfühler nahe dem Reizort wird negativ. Danach verschwindet die Spannung. Später nehmen wir erneut einen Spannungsstoß wahr, aber im Vergleich zum vorherigen mit umgekehrtem Vorzeichen. Für diese Erscheinung ist keine andere Erklärung möglich als die, daß sich der Ruhezustand der Nervenzelle infolge der Erregungsausbreitung durch den ganzen Nerv ändert und die bisher positive äußere Oberfläche im Vergleich zu den anderen Teilen des Nervs negativ wird. Wenn aber die Erregung abklingt, wird die ursprüngliche Situation wieder hergestellt.

Die Forscher haben die Ionen untersucht, die in der Nervenzelle und in der Zellsubstanz zu finden sind und die für die beschriebene Erscheinung verantwortlich sein können. Sie haben festgestellt, daß die Zellmembran im Ruhezustand von den in der Nervenzelle befindlichen Kalium-, Natrium- und Chloridionen viel leichter die Kaliumionen hindurchläßt als die beiden anderen. In Ruhe ist innerhalb der verschiedenen Zellen die Anzahl der Kaliumionen zehn- bis dreißigmal höher als die der übrigen Ionen. Im Extrazellularraum aber befinden sich die Natriumionen gegenüber den Kaliumionen in einem wenigstens zehnfachen Übergewicht. Im Ruhezustand können die Kaliumionen mit ihrer positiven Ladung leichter aus dem Zellinnern heraustreten, wogegen die Natriumionen nicht in die Zelle eindringen können. Im Falle einer Reizung aber verändert sich die Durchlässigkeit der Zellmembran: Die Kaliumionen können jetzt schwerer durch die Membran hindurchdringen, aber der Widerstand gegenüber den Natriumionen sinkt. Offenbar tragen in diesem Fall die außen überwiegenden positiven Natriumionen eine positive Ladung in das Zellinnere, so daß eine gegenüber der Ruhesituation veränderte Membranspannung auftritt.

Da der Zustand in der Ruhephase durch die Polarisation der Ionen entstanden ist, nennt man den in Ruhe stattfindenden Prozeß Polarisation, den während der Reizung aber Depolarisation. Dieser Zustand kann jedoch nur so lange andauern, wie die Durchlässigkeit der Zellwand infolge der Reizung verändert ist. Nach dem Abklingen der Erregung wird der ursprüngliche Zustand wieder hergestellt, und es wird für die Kaliumionen wieder leichter, die Membran zu durchdringen. Dann beginnt eine starke Wanderung von Kaliumionen vom Zellinnern nach außen, was so lange andauert, bis die ursprünglichen Spannungsverhältnisse wieder hergestellt sind. Diesen Prozeß nennt man Repolarisation, weil er die Depolarisation beendet.

Die Veränderung der Durchlässigkeit der Zellmembran kann man noch nicht eindeutig erklären. Nach neueren Vermutungen besitzt die Zellmembran die Eigenschaften eines Halbleiters. Auf dieser Grundlage kann man einen großen Teil der Eigenschaften erklären. Die Zellmembran ist als ein Filter zu verstehen, auf dem sich elektrisch geladene Flocken befinden, die, entsprechend dem augenblicklichen Zustand der Zelle, mehr oder weniger die Poren in der Membran versperren. Im wesentlichen ist also die Membran ein Filter, dessen Porengröße elektrisch steuerbar ist und durch das unter gegebenen Umständen die Kaliumionen und die Natriumionen auf verschiedene Art dringen können.

Wir wissen sehr wenig vom Mechanismus der Erregungsausbreitung. In den dreißiger Jahren war es üblich, alle Lebenssymptome als Summe elektrischer Wirkungen aufzufassen. Heutzutage geht man mit dieser Frage viel vorsichtiger um und betrachtet die sogenannte Aktionsspannung, die während der Reizung der Nerven auftritt, als Begleitphänomen.

Es gibt auch die Auffassung, daß sich die Erregung über den Nerv ausbreitet wie die elektrische Ladung in einer Leitung. Das stimmt aber nicht ganz. Ein grundlegender Unterschied besteht in der Ausbreitungsgeschwindigkeit, die im Nerv sehr viel niedriger ist. Wir können dies nur so erklären, daß sich im Nerv nicht die Energie, die im Zentralnervensystem entsteht, weiterverbreitet, sondern der Erregungszustand. Nerven verhalten sich wie eine

Kette von sich aneinanderschließenden Elementareinheiten (Zellabschnitte), von denen die erste ihren Zustand ändert, sobald sie gereizt wird (es tritt die Depolarisation auf). Dann kehrt sie wieder in ihren Ruhezustand zurück (sie repolarisiert sich). Inzwischen gibt sie aber ein Signal ab, wodurch die Einheit neben ihr gereizt und erregt wird und mit einem solchen Signal ihren nächsten Nachbarn »in Gang setzt«. Da die Einheit unmittelbar nach der Reizung einen erneuten Reiz nicht beantworten kann, weil sie sich dazu vorher regeneriert haben muß, kann sich die Erregung nur in einer Richtung ausbreiten.

Die Muskeln sind im allgemeinen durch die mit ihnen verbundenen Nerven reizbar, und ihre Erregung geht mit gut sichtbaren Veränderungen einher. Der Muskel verdickt und verkürzt sich in der Erregungsphase. Auf diese Art kann er eine mechanische Bewegung ausführen. Die Erregung verbreitet sich unwillkürlich in den quergestreiften Muskeln, die an der Bewegung beteiligt sind, mit einer Geschwindigkeit von 10 bis 15 m/s; in der glatten Muskulatur jedoch, die die Bewegung der inneren Organe ausführt, beträgt die Geschwindigkeit nur etwa 10 mm/s.

Erregungsprozesse verlaufen in den Nerven nicht kontinuierlich, sondern in Teilen, die in einer bestimmten Entfernung voneinander liegen. Diese Entfernung untereinander wird dadurch bestimmt, wie schnell eine Zelle aus einem Erregungszustand, den ein vorhergehender Reiz verursacht hat, in den Grundzustand zurückkehren kann, um erneut einen Reiz aufzunehmen. Auch der Muskel kann nach seiner Zusammenziehung (Kontraktion) in einer bestimmten Zeit seinen Ruhezustand, in dem er erneut reizbar ist, zurückgewinnen. Die Muskeln sind bis zu einem gewissen Maße auch in einem noch nicht völlig regenerierten Zustand reizbar. Wenn Reize, die über die Nerven den Muskel erregen, so dicht aufeinanderfolgen, daß der Muskel von der Kontraktion durch die vorhergehende Reizwirkung noch nicht erschlafft ist, ergibt sich eine erneute Kontraktion, die sich der vorhergehenden anschließt oder sie überlagert. Die Muskelkontraktion erreicht dann ihr Höchstmaß, wenn die nächsten Reize im Kontraktionsmaximum eintreffen. Das ist im allgemeinen dann der Fall, wenn die Reize in einem Abstand von un-

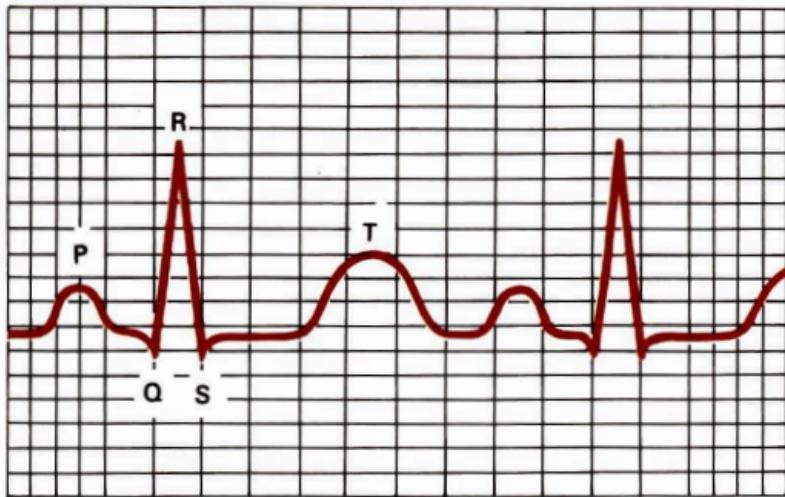
gefähr 0,05 s aufeinanderfolgen. In diesem Zustand erreicht der Muskel seine Höchstspannung, und nur eine winzige zitternde Bewegung, die auf der Oberfläche sichtbar ist, weist darauf hin, daß es sich um periodische Reize handelt. In diesem Zustand tritt ein Leistungsmaximum ein, und man kann aus dem Muskel keine größere mechanische Energie gewinnen.

Die elektrischen Spannungsänderungen, die man während der Muskeltätigkeit beobachten kann (die sogenannten Muskelaktionspotentiale), treten interessanterweise nicht erst mit der Kontraktion zugleich auf, sondern bereits mit Ankunft der Nervenerregung.

Der Entstehungsmechanismus der Muskelaktionspotentiale steht in Einklang mit dem, was wir im Zusammenhang mit den Nerven gesagt haben; auch hier ist es wahrscheinlich so, daß die elektrische Spannung nicht der Grund, sondern nur die Begleiterscheinung der Erregungsausbreitung ist. Wahrscheinlich spielen beim Zustandekommen der Kontraktion chemische Prozesse die Hauptrolle.

Eine wichtige und interessante biologische Regel ist das »Alles-oder-nichts«-Gesetz von Bowditch. Hiernach ist für jede Muskelfaser eine minimale Reizstärke erforderlich. Sie reagiert nicht auf einen Reiz, der eine geringere Wirkung hat als diese. Wenn aber der Reiz dieses Minimum, die *Reizschwelle*, überschreitet, zieht sich die Muskelfaser immer in gleicher Weise zusammen. Reizen wir ein aus vielen elementaren Fasern bestehendes Muskelbündel, dann nehmen wir mit der Reizsteigerung eine immer stärker werdende Kontraktion wahr. Die einzelnen Fasern im Bündel haben nämlich unterschiedliche Reizschwellen, und mit der Reizerhöhung ziehen sich immer mehr Fasern zusammen, schließlich auch die, deren Reizschwelle am höchsten liegt.

Das Herz, das den Organismus mit Blut versorgt, ist ein Organ, das aus quergestreiften Muskeln besteht. Die Wände seiner einzelnen Hohlräume ziehen sich in einer bestimmten Zeit und in einer bestimmten Reihenfolge zusammen. Die Erregung entsteht im Sinusknoten, in dem Teil des rechten Vorhofes, der an die großen Hohlvenen angrenzt. Sie breitet sich von den Vorkammern in Richtung



Typisches Elektrokardiogramm (EKG). Die Benennung der einzelnen Wellen stammt von Einthoven; sie wird auch heute noch benutzt.

Der erste Elektrokardiograph, der 1908 von der auch heute noch bestehenden englischen Firma Cambridge Instruments hergestellt wurde. Die zu untersuchende Person mußte ihre beiden Hände und ihr linkes Bein in mit Salzwasser gefüllte Gefäße tauchen, die als Elektroden dienten. Die Einrichtung wog über 100 kg.





Elektroenzephalogramm mit dem RFT Bioscript BST 1

der Kammern aus und wird vom sogenannten Herzaktionspotential begleitet. Zuerst ziehen sich die Vorhofteile zusammen. Dieser Tätigkeit entspricht im *Elektrokardiogramm* (EKG) die P-Welle. Danach folgt die Kontraktion der Kammern. Dies ist der Arbeitszyklus des Herzens, wenn das in den Kammern angestauta Blut in die Arterien gestoßen wird. Diesem Zyklus entspricht auf der EKG-Kurve die Q-R-S-Welle. In der Endphase erschlaffen die Kammern erneut und bereiten sich sozusagen auf den nachfolgenden Zyklus vor. Diesen Abschnitt kennzeichnet auf der EKG-Kurve die T-Welle.

Bei vielen Herzkrankheiten kann der Fachmann durch den Vergleich mit normalen EKG-Kurven genaue diagnostische Schlußfolgerungen ziehen. Natürlich stellt das Elektrokardiogramm auch nur eine der vielen möglichen



Das Gewicht dieses tragbaren Elektrokardiographen beträgt 4,7 kg. Das Gerät wird von Batterien gespeist.

Untersuchungen dar. Allein entscheidet es nichts. Außerdem kann seine Auswertung nur durch einen Fachmann erfolgen.

Auch die Gehirntätigkeit wird durch die Entstehung von Aktionspotentialen begleitet. Mit deren Aufnahme beschäftigt sich die *Elektroenzephalographie* (EEG). Die Gehirntätigkeit, die von außerordentlich komplexer Aktivität ist, wäre wesentlich schwerer durch Registrieren der Aktionspotentiale zu messen als die Herzaktivität. Während der Tätigkeit der Millionen und aber Millionen

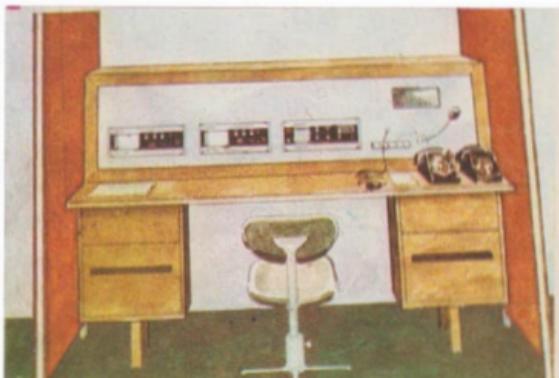


Mit diesem Gerät, einem finnischen Produkt, kann der Arzt im Krankenhaus durch das Telefon das Elektrokardiogramm eines Kranken, der sich zu Hause befindet, überprüfen. Der Kranke befestigt den Elektrokardiographen an sich selbst.

Ein Gerät, das die telefonische Übertragung der Herztöne ermöglicht, wird an den Telefonhörer angeschlossen.



Die Empfangsanlage im Krankenhaus, wo der Arzt das telefonisch übermittelte Elektrokardiogramm aufnehmen kann



Nervenzellen im Gehirn entstehen Millionen und aber Millionen Aktionspotentiale von verschiedener Größe, Gestalt und Frequenz. Deren Resultat wird mit 10 bis 32 Elektroden, die auf dem Kopfe des Patienten angeordnet sind, abgeleitet. Obwohl das auf diese Weise erhaltene Bild äußerst kompliziert ist, kann der Facharzt daraus, eine normale Gehirntätigkeit des Patienten vorausgesetzt, gewisse Schlüssefolgerungen ziehen.

Wenn wir die elektrischen Prozesse, die die Tätigkeit des lebenden Organismus begleiten, und den Mechanismus der Entstehung dieser Spannungen sowie die Tätigkeit des untersuchten Organs kennen, dann können wir theoretisch die Aktionsspannungskurve, die der normalen Tätigkeit entspricht, bestimmen. Dies ist in Verbindung mit Tests an gesunden Menschen eine Grundlage, die mit sehr großem Nutzen angewendet werden kann. Im Zusammenhang mit dem schon Gesagten können wir ähnlich z. B. von der Elektromyographie sprechen, die sich mit der Bewertung der Aktionsspannungen während der Muskeltätigkeit beschäftigt; von der Elektrogastrographie, die die Spannungen, die die Magentätigkeit begleiten, studiert; von der Elektroretinographie, die die mit der Funktion der Augen- netzhaut verbundene elektrische Tätigkeit prüft; von der Elektronystagmographie, die als elektrische Methode zum Nachweis der Bewegung des Augapfels dient.

Ein jedes dieser Verfahren stellt einen Beitrag zur Aufdeckung der elektrischen Prozesse dar, die die Lebenserscheinungen begleiten, zur Diagnostik der Krankheiten und somit indirekt zur Heilung.

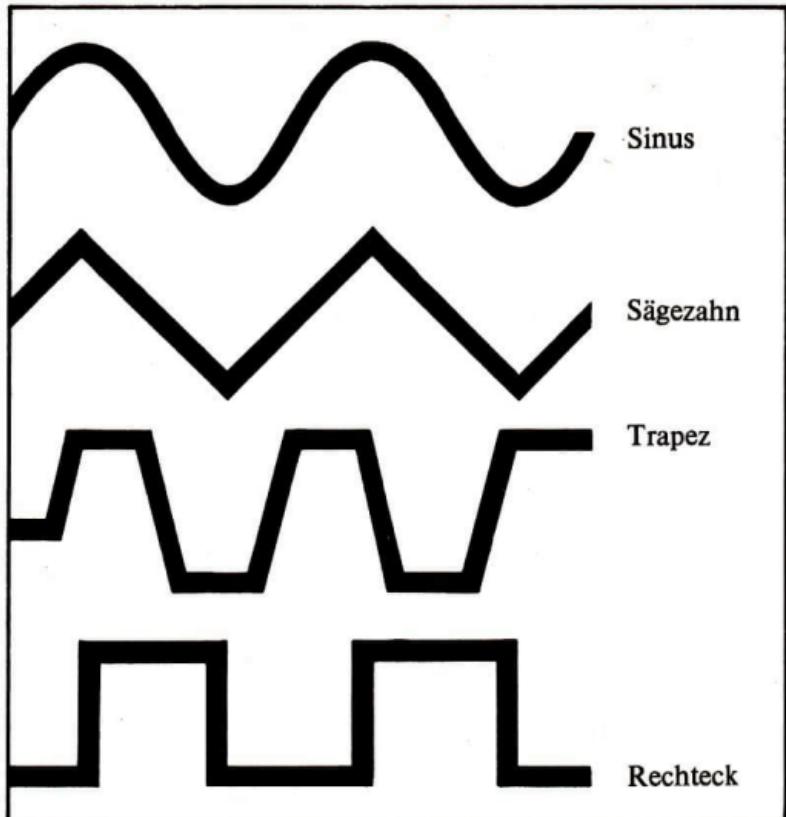
Lebensrettender Stromstoß

Die Wirkung des elektrischen Stromes auf den lebenden Organismus hängt mit der bereits erwähnten Erregbarkeit der lebenden Zellen zusammen.

Es ist interessant zu prüfen, welchen Einfluß die Kennwerte des elektrischen Stromes bei der Auslösung der Erregung haben. Hier denken wir zuerst an die Stromstärke. (Es ist eigentlich richtiger, statt von der Stromstärke von der Stromdichte – von der auf eine Kontakteinheit entfallenden Stromstärke – zu sprechen. Versuchsmessungen haben bestätigt, daß die zur Erregungsauslösung notwendige kleinste Stromdichte 10^{-5} A/cm^2 beträgt.) In der Regel gibt man folgende Informationswerte an: Der Mensch verspürt unter normalen Umständen schon eine Stromstärke von 0,001 A; 0,01 A verursachen bereits eine bedeutende Muskelzuckung, und mit der Sicherheitsnorm von 0,1 A ist ausreichend beachtet, daß die Dosis nicht in die Nähe der tödlichen Stromstärke gerät.

Auch die Stromrichtung ist für die Erregungsauslösung nicht gleichgültig. Es ist eine wichtige Regel, daß eine Erregung immer bevorzugt an der Kathode (negativ) zu stande kommt. Demgegenüber entsteht auf der Seite der Anode (positiv) beim Einschalten eine Behinderung. Es muß bemerkt werden, daß Gleichstrom nur zur Zeit des Ein- oder Ausschaltens eine Erregung auslöst, bei ständigem Stromfluß tritt eine elektrochemische Wirkung auf.

Von entscheidender Bedeutung ist auch die Form des Reizstromes. Von der Ein- und Ausschaltwirkung des Gleichstromes war schon die Rede. Früher hat man die Reizung mit Sinusstrom angewendet. Neuerdings ist die Reizung mit Rechteckimpulsen üblich. Die Anpassungs-



Zur Heilung angewendete Formen des Reizstromes. Am häufigsten benutzt man die Rechteckimpulse zur Reizung.

fähigkeit des Organismus kann die dabei auftretende schnelle Stromänderung nicht ausgleichen, und so kann man mit viel geringerer Intensität große Reizantworten erzielen.

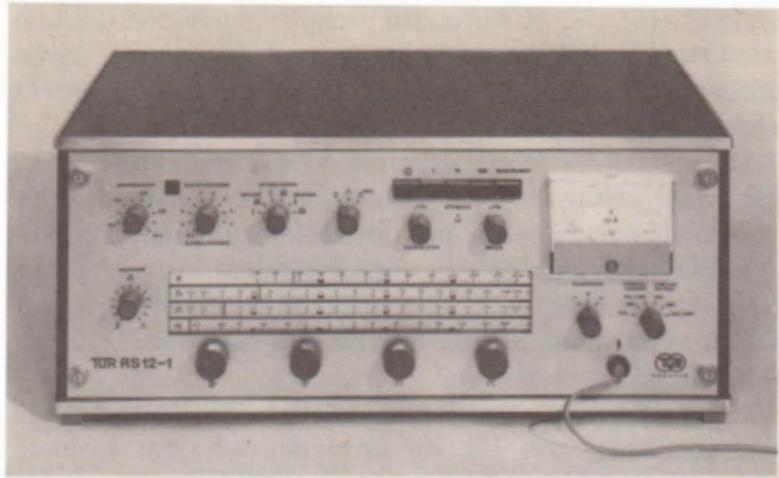
Auch die Frequenz des Reizstromes ist nicht ohne Einfluß. Bei einer sehr niedrigen Frequenz (unter 5 Hz) verhält sich der Organismus wie bei einer Reizung mit Gleichstrom, d. h., es tritt nur beim Ein- und Ausschalten eine Antwort auf. Bei ständiger Einschaltung kommt nämlich im Organismus ein starker Ionenstrom entgegengesetzter Richtung in Gang, der die Wirkung des Reizstromes neutralisiert. Bei einer sehr großen Frequenz (über 10kHz) entsteht auch keine Erregung, weil die Ionenprozesse, die in den Zellen des Organismus vor sich gehen,

den schnellen Veränderungen nicht folgen können. Wenn wir also eine wirksame Reizung erreichen wollen, dann müssen wir mittlere Frequenzen zwischen 20 und 1 000 Hz anwenden.

Die elektrische Erregbarkeit der lebenden Zellen können die Ärzte erfolgreich zur Beurteilung des Zustandes der verschiedenen Nerven- und Muskelerkrankungen benutzen. Die Reizbarkeitswerte werden nämlich von sehr vielen Krankheiten beeinflußt, also stellt die Veränderung dieser Daten eine wichtige Hilfe bei der Diagnose dar. Es lohnt sich, sie näher zu prüfen.

Einer der wichtigsten Kennwerte sind die Reizschwelle und die Rheobase. Mit ihr erreichen wir jene kleinste Stromstärke, die schon eine fortgeleitete Erregung oder eine Muskelkontraktion verursacht. Die verschiedenen Gewebe haben jeweils eine andere Rheobase. Auch die Reizschwelle der kranken Gewebe kann sich verändern. Die Rheobase indessen hängt von sehr vielen Faktoren ab, und deshalb ist sie allein kein genügend sicherer Wert. Wir können über das untersuchte Gewebe mehr erfahren, wenn wir in Betracht ziehen, daß man die Reizantwort durch einen kleineren, aber länger anhaltenden Reiz ebenso auslösen kann wie durch einen stärkeren Reiz von kürzerer Dauer. Die kleinste wirksame Impulszeit des Reizes, der einer zweifachen Rheobase entspricht, nennen wir die Chronaxie. Dies ist ein schon häufiger angegebener Wert als die Rheobase.

Die Reizwirkung des elektrischen Stromes benutzt man nicht nur in der Diagnostik. Es gibt zahlreiche Krankheiten, bei denen die durch elektrische Reizung erzeugte Muskelkontraktion auch die Heilung beschleunigen kann. Bei Muskel-, Nerven- und Gelenkverletzungen, bei Nervenlähmungen, Muskelkontraktionen und Verstauchungen ist die Reizbehandlung gut anwendbar. Sie kann z. B. auch in der Behandlung von Verdauungsstörungen, die sich aus der Darmtrügigkeit ergeben, bei der Nachbehandlung von Muskelkrämpfen oder zur Linderung von Muskelbeschwerden, die bei der Fettsucht auftreten, erfolgreich sein. Eine bemerkenswerte Anwendung der Reizströme ist das Training der Muskeln unter dem Gipsverband. Mit dieser Methode kann man den schon während einiger



Reizstromgerät TuR RS 12 für alle reizstromdiagnostischen und therapeutischen Methoden

Wochen erfolgenden Muskelschwund verhindern. Dies ist z. B. bei Sportlern sehr wichtig, die somit schon kurze Zeit nach der Entfernung des Gipsverbandes wieder trainieren können. Besonders verbreitet ist die Anwendung der Reizstrombehandlung bei den verschiedenen Erkrankungen des Herzens.

Der im Herzvorhof befindliche Sinusknoten dirigiert die rhythmische Herzaktivität in einer Weise, die heute noch nicht in all ihren Einzelheiten bekannt ist. Auf jeden Fall ist es eine Tatsache, daß die von diesem Knoten ausgehenden Reize zuerst die Muskulatur der Vorhöfe und dann, etwas später, die der Kammern zur Kontraktion bringen. Das Herzgewebe, das verschiedene Eigenschaften besitzt, leitet den Reiz des Sinusknotens zu den Kammern. Wenn bei der Reizbildung oder in der Reizleitung eine Störung auftritt, wird die Herzaktivität beeinträchtigt, und der Sinusknoten verliert seine Herrschaft über das Herz. In einem solchen Fall übernehmen die reizbildenden Sekundärorgane, die in der Kammermuskulatur zu finden sind, die Führung, und das Herz arbeitet weiter. Dieser besondere Zustand offenbart sich darin, daß die Anzahl der Herzschläge je Minute bedeutend sinkt, ja sogar bis zur Hälfte abfällt (das nennt man den Kammer-

rhythmus). Die Blutversorgung des Organismus wird jedoch auch gestört, und der Kranke wird oft so schwach, daß er nicht fähig ist, nennenswerte physische Kräfte zu entwickeln, und sogar das Liegen fällt ihm schwer. Oftmals reicht diese gesunkene Herztätigkeit auch nicht dazu aus, den Blutkreislauf des Herzens selbst aufrechtzuerhalten. Ein solcher Fall kann zum Stillstand des Herzens führen, oder aber einzelne Muskelfasern beginnen sich unkoordiniert zusammenzuziehen, d. h., das Herz beginnt zu fibrillieren (flimmern). Ein Flimmern kann auch dann auftreten, wenn Wirkungen den Organismus erreichen, die den Reizbildungseigenschaften oder den reizleitenden Eigenschaften schaden (Vergiftungen, Sauerstoffmangel, Schock u. a.). *Fibrillation* kommt oft bei Herzoperationen vor, bzw. in dem schweren Zustand nach einer Herzoperation. Häufig erscheint Fibrillation während der Hibernationsoperation (Operationen, die in unterkühltem Zustand durchgeführt werden), wenn die Körpertemperatur des Kranken unter 30°C sinkt.

Es ist eine einfache und trotzdem sensationelle Erkenntnis der modernen ärztlichen Versorgung, daß man in diesem Zustand das Herz des Kranken durch künstliche Reizung zur Arbeit befähigen muß und kann, um den Kranken durch die kritische Phase hindurchzuführen.

Es ist gelungen, zur Heilung der Unregelmäßigkeiten der Herztätigkeit all die Erfahrungen anzuwenden, die man im Laufe von Jahrhunderten über die biologischen Wirkungen des elektrischen Stromes gesammelt hat.

Wenn das Herz flimmert, dann muß man an die Herzmuskelfasern, die sich unregelmäßig zusammenziehen, einen Stromimpuls von einer bestimmten Intensität und Dauer geben, worauf sich diese plötzlich zusammenziehen und dann, wenn die Wirkung des Stromes vorüber ist, auf einmal erschlaffen (Defibrillation). Das ist der Augenblick, in dem der Sinusknoten, der versagt hatte, das Herz und dessen sämtliche Muskelfasern wieder unter seine Herrschaft zwingen kann, und dann beginnt erneut die normale Herztätigkeit. Nach dem Aufhören des Flimmerns muß man durch das Herz einen Strom von ungefähr 1 A fließen lassen, weil sonst die erwartete Wirkung nicht erfolgt. Eine kleine Stromstärke befähigt nämlich nicht jede Muskulatur



Notfall-Stimulator TuR RS 30 zur Reaktivierung der Herztätigkeit durch externe Elektrostimulation. Die Sonde mit den Elektroden wird in Nase oder Mund geschoben; der batteriegespeiste Impulsgenerator erzeugt Pacemaker-Impulse von etwa 1,5 ms mit den Frequenzen 70, 90 und 100 Imp./min.

zum Zusammenziehen, sie bleibt also wirkungslos; und was sogar noch schlechter ist, sie läßt das Herz, das eventuell von selbst in Ordnung gekommen wäre, erneut flimmern. Dies ist die Erklärung dafür, daß Stromunfälle sogar bei einer Netzspannung von 220 V einen tödlichen Ausgang haben können, nämlich dann, wenn das Herz ein Strom von 0,1 bis 0,2 A durchfließt, der Kammerflimmern verursacht. Wenn man das bei der Ersten Hilfe nicht erkennt oder wenn keine ausgebildete Person zugegen ist, um sich an einer fachgerechten Behandlung des Unfallkranken zu beteiligen, dann kann der erst nach vielen Minuten am Unfallort eintreffende Arzt eventuell nur noch den Tod feststellen. Demgegenüber haben die Hochspannungsunfälle (über 5 000–10 000 V) oft keinen sofortigen tödlichen Ausgang, sondern schwere Verbrennungen zur Folge. Obwohl der Starkstrom, wenn er das Herz durchströmt, eine krampfartige Herz zusammenziehung ver-

ursacht, kann das Herz jedoch nach der Stromunterbrechung genauso wieder in Gang kommen wie nach einer Defibrillation. Das ist natürlich nur möglich, wenn die Berührung nur kurze Zeit gedauert hat, wenn also der Verletzte nicht an der unter Spannung stehenden Leitung »geklebt« hat.

Den einige Ampere starken Strom, der zur Defibrillation erforderlich ist, darf man nur sehr kurze Zeit anwenden, um die Herzmuskelatur und die umgebenden Gewebe nicht zu schädigen. Der Widerstand des Herzens beträgt 50 bis 100 Ohm, d. h., für die Wirkung der notwendigen Stromstärke tritt im Herzen eine Leistung von über 100 W auf. Es stimmt, daß dieses nur für einen Bruchteil einer Sekunde wirkt, aber das ist trotzdem eine ziemlich bedeutende Leistung. Von der Größe der sich bildenden Wärmeenergie können wir uns einen ungefähren Begriff machen, wenn wir uns vorstellen, daß wir mit unserer Handfläche

Dringende medizinische Hilfe

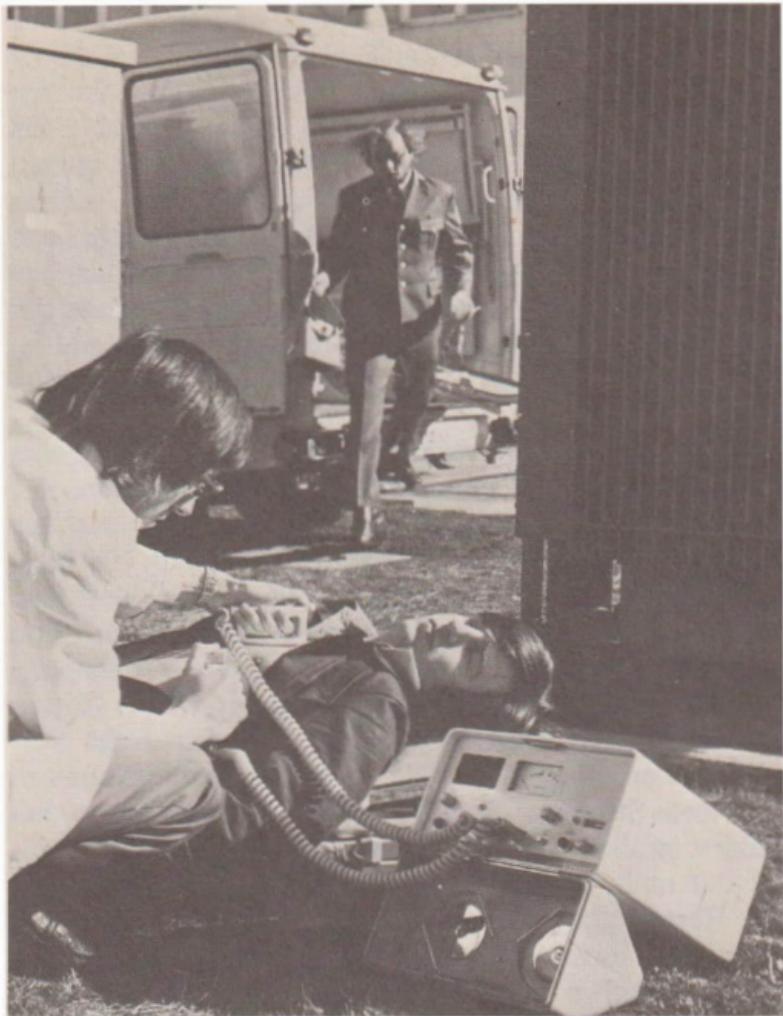


für einen Augenblick ein elektrisches Bügeleisen von einigen hundert Watt berühren. In einem solchen Falle gelangt die im Bügeleisen entstehende Hitze jedoch nur vermittels eines Wärmeleiters in unsere Handfläche.

Zuerst wurde die Defibrillation nur bei geöffnetem Brustkorb durchgeführt, indem das Herz mit löffelförmigen Elektroden umfaßt wurde. Man konnte diese Methode deshalb anfangs nur während einer Herzoperation anwenden. Es war nämlich schwer vorstellbar, daß man innerhalb von drei bis vier Minuten, vom Feststellen des Flimmerns an gerechnet, das Herz freilegen kann. Trotzdem gab es auch Beispiele für solche bravurösen Operationen – besonders in der Zeit, in der die Methoden der äußeren Herzmassage entstanden, mit denen man den Kranken so lange am Leben halten konnte, bis das Herz erreichbar wurde. Die späteren Versuche haben bewiesen, daß man das Flimmern auch bei geschlossenem Brustkorb mit Elektroden, die auf der Brust und auf dem Rücken aufgesetzt werden, zu beenden vermag. Hierbei muß von außen ein Strom bis zu 10 A fließen, damit ungefähr 1 A durch das Herz gelangen kann, was zur Defibrillation erforderlich ist.

Eine nicht geringe Schwierigkeit bei der Defibrillation von außen ist die gute Befestigung der großen äußeren Elektroden auf dem Brustkorb. Wenn der Übergangswiderstand nämlich groß ist, dann entstehen unter den Elektroden schwere Brandverletzungen. Ein Problem ist auch, daß die große Stromstärke nicht nur die Herzmuskeln reizt, sondern auch die Muskeln der Umgebung zu starkem Zusammenziehen zwingt. Das erfolgt so plötzlich, daß Verrenkungen, ein Sehnenriß oder sogar ein Knochenbruch eintreten können, wenn der Kranke nicht entsprechend vorbereitet ist. Man kann sich davor durch eine sorgfältige Elektrodentechnik schützen, aber man muß auch das Risiko eingehen, handelt es sich hier doch um einen lebensrettenden Eingriff.

Zur Defibrillation benutzt man zwei verschiedene Verfahren. Die eine Möglichkeit ist die, daß man für eine Zeit von 0,1 bis 0,2 s eine Wechselspannung von 50 Hz und einigen hundert Volt (maximal 1000) an das Herz anschließt. Die Zeiteinstellung löst man mit elektronischen



Das Herz eines Kranken, dem auf der Straße schlecht geworden ist, fibrilliert, und auch seine Atmung ist zum Stillstand gekommen. Der Arzt versucht, mit einem Hochspannungsdefibrillator die Störung zu beheben, während sein Gehilfe das Handbeatmungsgerät vorbereitet.

Schaltkreisen. Die Geräte werden in einer voll transistorisierten Ausführung hergestellt, damit sie nach dem Einschalten sofort betriebsfähig sind.

Bei der Anwendung der zweiten Methode entlädt man einen auf Hochspannung geladenen Kondensator auf den Kranken. Die Anfangsspannung des Kondensators beträgt

einige tausend Volt (maximal 7000), und diese entladen sich während einiger tausendstel Sekunden. Bei dieser Methode gelangt während einer Defibrillation von außen eine Energie von 300 bis 400 Ws in den Organismus. Da diese ziemlich hohe Energie während einer sehr kurzen Zeit wirksam ist, handelt es sich hier um einen äußerst hohen Spaltenstrom (ungefähr 50 A) und um eine sehr hohe Spaltenleistung (100–200 kW). Diese Zahlenwerte machen auch darauf aufmerksam, daß man bei einer solchen Behandlung sehr vorsichtig verfahren muß, was sowohl im Interesse des Kranken als auch der behandelnden Person liegt.

Bisher haben wir vereinfachend immer von einem Kammerflimmern gesprochen, bei dem der Bluttransport des Herzens ruht und sich der Kranke im Zustand des klinischen Todes befindet. Aber es gibt auch ein Vorhofflimmern. In einem solchen Falle ist die bluttransportierende Tätigkeit des Herzens weniger gestört, und obwohl keine Lebensgefahr besteht, ist die Behebung dieses Zustandes trotzdem wünschenswert, weil er spätere Komplikationen verursachen kann. Amerikanische Forscher haben erkannt, daß man auch das Vorhofflimmern mit einem Stromstoß heilen kann. Da man hier aber einen äußerst großen Stromstoß auf das arbeitende Herz anwenden muß, ist es nicht einerlei, in welchem Augenblick der Herztätigkeit man dieses tut. Es gibt nämlich eine Phase des Herzzyklus, in der das Herz gegenüber Reizen sehr empfindlich ist, und ein in einem solchen Augenblick eintreffender Reiz kann Kammerflimmern auslösen. Man hat im Interesse der Sicherheit der Behandlung die sogenannten synchronisierten Defibrillationsgeräte entwickelt, die die Herztätigkeit wahrnehmen und sichern, daß der zur Behandlung erforderliche Stromstoß wirklich nicht in dem gefährlichen Zeitabschnitt ausgelöst wird.

Es kommt auch vor, daß die Herzmuskulatur völlig ermattet und der Bluttransport deshalb aufhört. Diesen Zustand nennt man Asystolie. In einem solchen Falle hilft auch die Anwendung des Defibrillators nichts, denn das Herz ist stehengeblieben, weil entweder das reizbildende oder das reizleitende System nicht funktionieren.

Theoretische Erwägungen und praktische Erfahrungen

haben gezeigt, daß zur Regulierung der schwachen Herztätigkeit oder um das schlaffe Herz wieder in Gang zu setzen, eine Impulsserie erforderlich ist, von deren Größe das Herz gezwungen wird, sich immer wieder im Rhythmus eines normal arbeitenden Herzens zusammenzuziehen. Als am geeignetsten hierfür haben sich die Rechteckimpulse erwiesen. Die Impulsamplitude muß von der Größenordnung einiger Volt (3–15 V) sein, wenn man die Elektroden unmittelbar auf die Herzmuskulatur setzt. (Bei einem geschlossenen Brustkorb befestigt man die Elektroden auf der Brust und auf dem Rücken des Kranken, aber dann benötigt man eine Impulsamplitude von 100–200 V.) Wesentlich ist noch die Impulsdauer, die etwa 0,001 s betragen muß.

In den fünfziger Jahren haben sich die elektronischen Apparate, die zu einer dauerhaften rhythmischen Reizung geeignet sind, die Herzstimulatoren, verbreitet. Diese hatten, dem damaligen Niveau der Elektronik entsprechend, eine ziemliche Größe, so daß man sie nur bei liegenden Kranken und nur während einer vorübergehenden Behandlung benutzen konnte. Die Stimulatoren hatten die Aufgabe, dem Kranken über die kritische Phase nach einer Operation oder einem Herzinfarkt hinwegzuhelfen.

Leider beheben sie nicht immer die Reizbildungs- bzw. die Leitungsstörungen. Es kommt vor, daß das reizbildende und -leitende System endgültig schadhaft ist und der Kranke daher bis zum Ende seines Lebens einer künstlichen Herzreizung bedarf. Dafür waren die großen Reizgeräte offensichtlich nicht geeignet, abgesehen davon, daß bei der Einführung der Elektrokabel während einiger Tage schwere Entzündungen auftreten konnten. Man mußte also Geräte zur Herzreizung entwickeln, die man ganz und gar in den Körper des Kranken einpflanzen kann, die über eine entsprechend lange Zeit hindurch verlässlich arbeiten und die nicht geringe Aufgabe der Herzreizung erfüllen.

Es gab auch schon eine mittlere Entwicklungsphase. Es war bereits gelungen, Reizgeräte mit einer Batterie so klein herzustellen, daß Kranke sie bei sich tragen konnten. Man durfte aber die herkömmliche Methode des Elektrodenan schlusses wegen der bereits erwähnten Entzündungsgefahr

nicht anwenden. Dem half man erfängerisch ab. Das außerhalb des Körpers, z. B. in der Tasche des Kranken, plazierte Gerät arbeitete mit einem Radiosender, der hochfrequente Signale ausstrahlte. In den Körper des Kranken wurde ein Empfangsgerät eingepflanzt, das die Signale des Senders auffing und aus der eingestrahlten Energie entsprechende Reizimpulse herstellte, indem es die Trägerwellen von hoher Frequenz umgestaltete, demodulierte. Ein großer Vorteil dieser Lösung war, daß die eingebaute Abnehmereinheit passiv war, also keine Stromquelle enthielt, und die Betriebsenergie aus der elektrischen Energie gewonnen wurde, die der Sender ausstrahlte. Man konnte die Batterie in dem äußeren Sendegerät ohne Schwierigkeit austauschen, und im Falle eines Fehlers war es leicht möglich, dieses durch eine andere Sendeeinheit zu ersetzen. Wenn es erforderlich war, konnte man sogar die Kennwerte des Reizstromes regulieren. Das eingepflanzte Empfangsgerät war infolge seiner Einfachheit verhältnismäßig zuverlässig. Ein Nachteil aber war, daß sich der Kranke ständig um das Gerät kümmern mußte. Darüber hinaus hatte es schließlich den Charakter einer Prothese, deren Tragen den Kranken behindern konnte. Auch das hat dazu beigetragen, daß man diese Art der Herzreizgeräte nicht verbreitete.

Die Erfindung der Transistoren öffnete einen neuen Weg in der Entwicklung der Herzreizgeräte. Es gelang, kleine *Herzstimulatoren* zu bauen, die man ganz in den Körper des Kranken einpflanzen konnte. Die ersten dieser implantierbaren Stimulatoren (pacemaker, »Schrittmacher«) wurden vor ungefähr 15 bis 20 Jahren angefertigt, und da sie die Größe einer Streichholzschatzeln hatten, fanden sie z. B. in der Bauchhöhle oder im Brustraum Platz.

Aber auch hier tauchten Schwierigkeiten auf. Es war nicht die einzige Bedingung, daß das Gerät zuverlässig arbeitete, sondern es mußte auch gesichert werden, daß der Organismus den eingepflanzten Fremdkörper nicht austieß. Deshalb brachte man den Stimulator in einer gewebefreundlichen Hülle unter. War das Gerät z. B. in einem netzförmig gebildeten Teflonsack in der Bauchhöhle aufgehängt, umrankte der Organismus das Säckchen mit Bindegewebe, und der Schrittmacher war befestigt.

Neuerdings wird immer öfter eine aus Titan angefertigte Hülle dazu verwendet.

Eine zuverlässige Ausführung der Elektrodenkabel bereitet ebenfalls viel Sorgen. Den täglich ungefähr hunderttausend Herzkontraktionen entsprechen nämlich ebenso viele Reizungen. Heute benutzt man vieladige, wenn möglich in einer Doppelspirale gewundene Kabel. Es werden auch Kabel hergestellt, in denen bis zu 294 sehr dünne, rostfreie Drähte die notwendige Festigkeit sichern und außerdem etwa 49 dünne Silberfäden für eine gute elektrische Leitfähigkeit sorgen. Das Kabel ist durch einen Überzug aus Silikongummi isoliert. Dies bietet einen mechanischen Schutz und ist zugleich gewebefreundlich.

Die Ausarbeitung der geeigneten Methode zur Unterbringung der Elektroden war eine ernste Aufgabe. Früher hat man den Brustkorb und den Herzbeutel geöffnet und die sorgsam gestalteten Elektroden unmittelbar auf die Wand der Herzkammern genäht. Die Öffnung des Brustkorbes aber erhöhte das Risiko des Eingriffs bedeutend. Das war besonders dann der Fall, wenn man bei den gleichen Kranken aus verschiedenen Gründen (Batterieerschöpfung, Elektrodenbruch usw.) von Zeit zu Zeit ein neues Gerät anstelle des schadhaft gewordenen alten einpflanzen und auf diese Weise die Operation wiederholen mußte.

Diese Schwierigkeiten inspirierten die Forscher dazu, eine bessere und einfachere Methode der Elektrodeneinpflanzung auszuarbeiten. So wurden die intrakardialen Elektroden entwickelt. Hier wird nach einer örtlichen Betäubung die Elektrode mit dem blanken Ende in die Halsvene eingeführt und unter Röntgenkontrolle vorsichtig in die rechte Herzkammer geschoben. Das blanke Ende der Elektrode stellt mit dem Blut in der rechten Herzkammer und mit der Herzmuskulatur eine Leiterverbindung, die sich dort später festigt, mit dem Schrittmacher her. Diesen pflanzt man z. B. in der Achselhöhle unter die Haut. Das Elektrodenkabel, ebenfalls unter der Haut, verbindet die intrakardiale Elektrode mit dem Gerät. Die zweite Elektrode des Gerätes wird in die Nähe des Herzens unter die Haut gepflanzt.

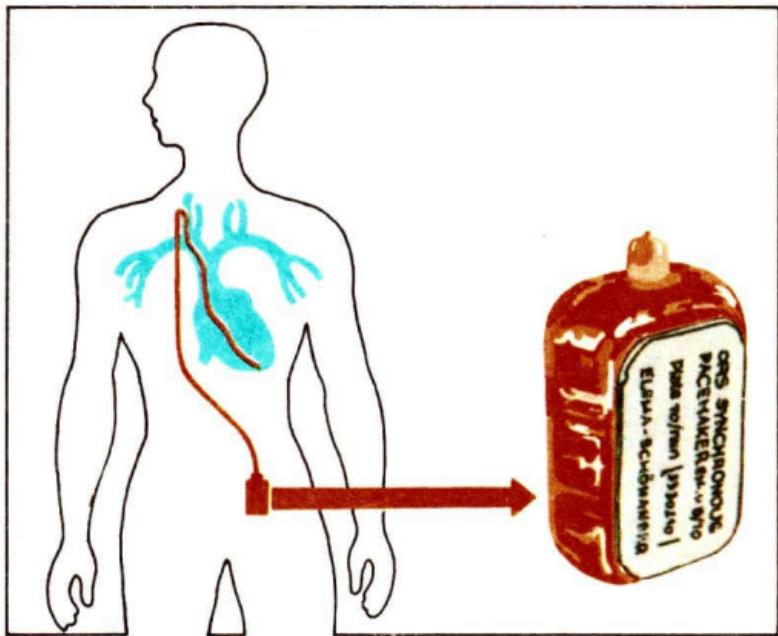
Bei den neueren Geräten ist oft auch eine dritte Elektrode notwendig, die zur Beobachtung der spontanen Herzaktivität, zur Detektierung, geeignet ist. Wegen ihrer Funktion wird sie meist Detektor oder Steuerelektrode genannt.

Die größte Schwierigkeit bereitet trotzdem die Versorgung des Gerätes mit Energie. Die winzige, den Schrittmacher speisende Batterie muß lange Zeit hindurch betriebsfähig sein. Wenn sie schwach wird, ist eine erneute Operation zur Auswechselung des Gerätes erforderlich. Auch wenn das heutzutage schon ein verhältnismäßig kleiner Eingriff ist, steht die Suche nach langlebigeren Schrittmachern weiterhin auf der Tagesordnung.¹ Einer der Wege zur Ausarbeitung langlebiger Batterien ist die Benutzung der radioaktiven Isotope.

Die radioaktive Batterie enthält das Isotop Plutonium 238. Dieses sendet Alphateilchen aus, seine Halbwertszeit beträgt 86 Jahre; d. h., die Intensität seiner Ausstrahlung sinkt während dieser Zeit auf die Hälfte. Da die Alphateilchen in einer ziemlich dünnen Metallplatte vollkommen absorbiert werden, ist die Strahlung leicht abschirmbar. Die den Schrittmacher speisende Batterie muß eine elektrische Leistung von ungefähr $200 \mu\text{W}$ (Mikrowatt) haben, die bei dem kleinen Wirkungsgrad mit der Transformation einer Wärmeleistung von ungefähr 100 mW zu gewinnen ist. Zur Herstellung einer Wärmeleistung dieser Größe sind 200 mg Plutonium 238 erforderlich. Diese Strahlenmaterialmenge paßt in eine Kugel von 10 mm Durchmesser.

In der umschließenden Kapsel wandelt sich die Energie des Plutoniums 238 in Wärme um, und dabei erwärmt sich die Wand der Kapsel auf ungefähr 100°C . Thermoelemente (Wärmeelemente) wandeln den zwischen der Kapsel und der Körpertemperatur auftretenden Temperaturunterschied in Elektroenergie um. Die Thermoelemente werden auf einen dünnen Polyamidstreifen aufgedampft. Auf einem Streifen von 1 m Länge haben rund 700 Elemente in einer Schlangenlinie Platz. Das Band wird aufgewickelt und mit der Plutoniumkapsel zusammengeklebt.

¹ Gegenwärtig beträgt die Lebensdauer der in der DDR verwendeten Geräte 5 bis 10 Jahre.



Bei den neueren Herzschrittmachern wird die Elektrode in den meisten Fällen nicht an die Herzmuskulatur genäht, sondern man führt eine besonders dafür entwickelte Elektrode durch die eine Halsvene in die entsprechende Herzkammer ein. Auf diese Weise kann auch ein eventuelles Auswechseln des Gerätes durch eine »einfache« Operation erfolgen.

Es tauchte auch der Gedanke auf, daß man die im lebenden Organismus wirkenden Energien auf irgendeine Art in Elektroenergie umwandeln und verwenden müßte. Einem solchen Plan zufolge möchte man die mechanischen Bewegungen der Lunge nutzbar machen. Zu diesem Zweck werden piezoelektrische Kristalle an einer Stelle zwischen Rippen und Wirbelsäule angebracht, wo während der Atmung die größte Bewegung entsteht. Piezoelektrische Kristalle liefern infolge mechanischer Deformation elektrische Spannung. Auf diese Weise gelingt es, eine Spannungsquelle zu schaffen, die zur Speisung eines Schrittmachers ausreicht. Auf ähnliche Art ist es möglich, auch die während der Herztätigkeit entstehende mechanische Energie auf piezoelektrische Weise in Elektroenergie umzuwandeln. Erfahrungsgemäß kann man während der Tätigkeit dieser Organe mit einer mechanischen Leistung

von 5 bis 10W rechnen, die zur Erzeugung der für die Schrittmacherfunktion notwendigen Leistung von einigen $10\ \mu\text{W}$ genügt. Beide Methoden hat man in Tierversuchen erprobt und gewann dabei gesicherte Ergebnisse.

Bei den Energiequellen, die im menschlichen Organismus verborgen sind, ist die Umbildung der chemischen Energie bedeutsam. Im Organismus entsteht reichlich chemische Energie. Ein großer Teil der Körperfeuchtigkeit besitzt z. B. eine Eigenschaft wie ein Elektrolyt der Galvanikelemente oder Akkumulatoren. Wenn wir in einen solchen Elektrolyten zwei Elektroden eines geeigneten, ausgewählten Materials tauchen, entsteht zwischen diesen eine Spannung von etwa 1V. Eine derartige Spannungsquelle kann man z. B. nach einer Spannungsvervielfältigung zur Speisung der eingesetzten Schrittmacher benutzen. Solche galvanischen Elemente liefern sogar Strom von 10 mA , der ausreichend ist. Zur Tätigkeit der Schrittmacher wird ein Durchschnittsstrom von ungefähr $50\ \mu\text{A}$ benötigt.

Das Elektrodenmaterial, das ähnlich den Galvanikelementen als Anode dient, dissoziiert auch hier in die als Elektrolyt auftretende Körperflüssigkeit. Nur umfangreichere Versuche können entscheiden, ob eine Lösung auf solchem Wege durchführbar ist.

Eine ernsthafte Möglichkeit bietet auch die Ausnutzung der Energie, die während der Bewegung des Körpers entsteht. Hier denken wir zuerst an die Bewegung in Verbindung mit dem Ortswechsel. Mit dieser Bewegungsenergie könnte man nämlich genauso den eingebauten Akkumulator des Schrittmachers füllen, wie in manchen Automatikuhren der die Armbanduhren betreibende Akkumulator mit der Bewegungsenergie aus der Handbewegung aufgeladen wird. Auch die Rolle der Bewegungen, die mit vegetativen Lebensfunktionen verbunden sind, darf nicht vernachlässigt werden. Außer an die Bewegung der Lunge kann man an die rhythmische Bewegung des Magens und des Darms, an die Peristaltik, denken. Hier kann man von einer mechanischen Leistung von ungefähr 10 bis 50 mW sprechen.

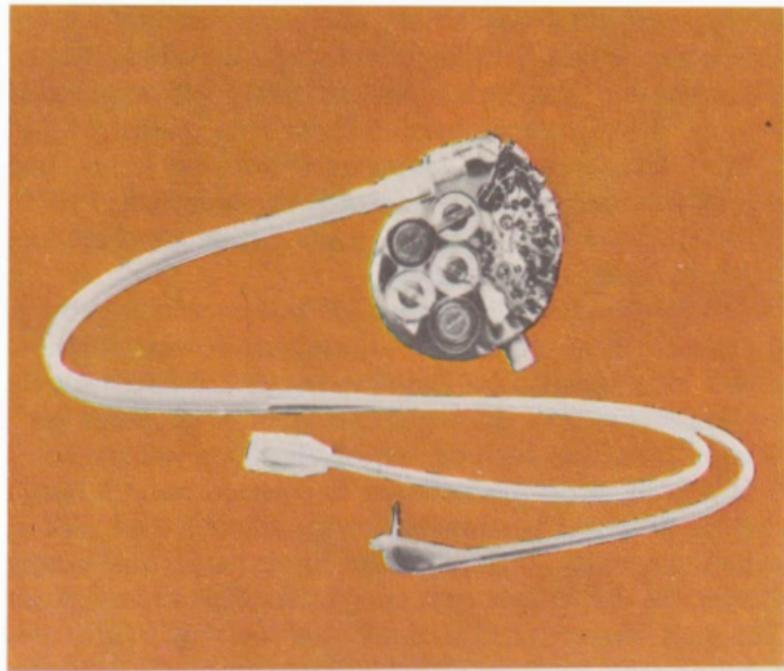
Auch der zwischen den unterschiedlichen Punkten des Organismus bestehende Temperaturunterschied stellt eine

bedeutende Kraftquelle dar, die man mit einfachsten Thermoelementen in elektrische Energie umwandeln kann. Zwischen der Oberfläche und dem Innern des Organismus besteht ein Temperaturunterschied von einigen Grad Celsius. Zwischen dem wärmsten Organ, der Leber, und den Gliedmaßen übersteigt dieser Unterschied sogar 10°C. Es könnte durchaus gelingen, diese Erscheinung als biologische Batterie auszunutzen.

Die Speisung der Schrittmacher (und eventuell anderer, dauerhaft eingesetzter elektronischer Konstruktionen) durch eine biologische Batterie wurde bis heute nur in Anfangsversuchen durchgeführt, aber man kann jetzt schon sagen, daß auch das physikalisch vorstellbar ist.

Ein Mangel der einfachsten Reizgeräte besteht darin, daß sie auf einer bestimmten Frequenz tätig sind, also je Minute ungefähr 70 Herzschläge hervorrufen, unabhängig davon, ob der Träger ruht oder irgendeine anstrengende Tätigkeit verrichtet. Das bedeutet für den Träger des Gerätes eine gewisse Einschränkung, weil die Herzfrequenz auch bei einer größeren körperlichen Beanspruchung nicht wächst, sich also nicht dem Bedarf des Organismus anpaßt, und das Herz deshalb nicht verstärkt mit sauerstoffreichem Blut beliefert wird. Erwünscht war also ein Gerät, das wenigstens auf zwei Frequenzen arbeitet und mit dem man bei körperlicher Belastung eine höhere Herzaktivität einstellen kann. Das Gerät löst unter normalen Umständen je Minute 70 Herzschläge aus. Wenn es von einer größeren Einheit ergänzt wird, dann kann sich die Frequenz des eingebauten Gerätes bis auf 125/min. erhöhen, was bereits einer erhöhten Belastung entspricht.

Ein Schrittmacher kann auch dann erforderlich sein, wenn die spontane Tätigkeit des Herzens noch nicht völlig erlahmt ist. Dabei kommt es allerdings vor, daß der Schrittmacher, obwohl das Herz spontan funktioniert, Reizimpulse abgibt. Wenn der künstliche Reiz nicht in einem dem spontanen Zyklus entsprechenden periodischen Abstand erfolgt, können Funktionsstörungen auftreten. Dies läßt sich vermeiden. Es wurde ein einpflanzbares Reizgerät entwickelt, das die elektrokardiographischen Signale aufnimmt, die die spontane Herzaktivität begleiten, und das



Not-Herzschriftmacher. Eine der zwei Zuleitungen ist die die Herztätigkeit empfindende Detektorelektrode, als dritte Elektrode dient das Metallteil des Gehäuses.

nur dann arbeitet, wenn die spontane Herztätigkeit ausfällt oder wenn das Herz sehr langsam (60 Schläge/min. oder weniger) schlägt. Diese Konstruktionen heißen Not-Pacemaker, was darauf hinweist, daß sie nur dann tätig sind, wenn die Notwendigkeit dazu besteht.

Die Steuerungsschrittmacher für die Kammern, die zu den Not-Pacemaker gehören, werden dann benutzt, wenn das Reizleitungssystem des Herzens Schaden nimmt und deshalb zwischen den Vorhöfen und den Kammern eine Übertragungsstörung auftritt, aber von Zeit zu Zeit mit einer spontanen Herztätigkeit zu rechnen ist. Diese Geräte bekommen – wie auch aus ihrem Namen hervorgeht – von der Muskulatur der Vorhöfe ein Steuersignal und geben im Abstand zur erwarteten R-Welle des EKG einen Reiz-impuls an die Kammer ab. Wenn die Kammerfrequenz den Wert von 70 Schlägen/min. nicht erreicht, dann arbeiten diese Schrittmacher mit ständiger Frequenz. Befindet

sich die spontane Herzfrequenz in einem Wertbereich von 70 bis 145 Schlägen/min., dann bleibt infolge der Verspätung von 0,01 ms der Reizimpuls wirkungslos, da er gerade in die Phase der Herztätigkeit fällt, in der sich die Herzmuskulatur in dem sogenannten Refraktärstadium befindet und nicht reizbar ist. Beschleunigt sich dagegen die Herztätigkeit übertrieben und die Anzahl der Herzschläge übersteigt 145/min., dann »verteilt« der Pacemaker Kammerreize im Verhältnis 2 : 1, und dann gibt nur jedes zweite Vorhof-EKG-Zeichen einen Reizimpuls an das Herz. Diese interessante Pacemaker-Art »gestattet« also nur 70 bis 145 Herzschläge je Minute. Davon abweichend, mischt er sich in die spontane Herztätigkeit ein und übernimmt die Führung des Herzrhythmus. Eine zweite Gruppe der Steuerpacemaker für die Kammer nennt man richtiger Kammer-Unterbrechungs-Pacemaker. Bei derartigen Geräten wird die Aktionsspannung, die die spontane Kammerattività begleitet, als Steuersignal benutzt, und dieses Zeichen leitet die Detektorelektrode auf den Eingang des Schrittmachers. Dieser hat jedoch eine Sperrfunktion, und solange ein Steuersignal auf ihm ist, arbeitet der Pacemaker nicht. Wenn aber innerhalb einer bestimmten Zeit (ungefähr bis zu 1 s) kein Sperrsignal von der Kammer kommt, beginnt der Pacemaker zu arbeiten und gibt einen Reizimpuls an die Muskulatur der Herzkammer.

Bei der Anwendung der verschiedenen Schrittmacher muß beachtet werden, daß diese Geräte mit unserem Herzen – dem gegen elektrische Einflüsse empfindlichsten Organ – in einer Leiterverbindung stehen. So muß man z. B. bei den äußeren Schrittmachern sehr darauf achten, daß die ausgeführten Elektroden in keiner Weise mit der Netzeleitung oder mit irgendwelchen an das Netz angeschlossenen Geräten (z. B. mit der Nachttischlampe, dem elektrischen Rasierapparat, der Kaffeemaschine usw.) in Berührung kommen. Man hat nämlich auf Grund der Analyse von Tierversuchen und elektrischen Unfällen festgestellt, daß schon eine Stromstärke von 15 bis 20 μ A Kammerflimmern auslösen kann, wenn dieser Strom unmittelbar das Herz und besonders den Sinusknoten durchfließt. Ein solch niedriger Stromwert kann leicht entstehen, sogar als Sickerstrom durch die Isolierung der Netzgeräte.

Beim Anschluß der im Wachzimmer benutzten und neben dem Bett stehenden Kontrollgeräte an den Kranken muß man deshalb mit großer Sorgfalt vorgehen. Es ist zweckmäßig, ausschließlich Geräte zu benutzen, die durch eine Batterie gespeist werden.

Auch elektrische oder magnetische Felder, die durch elektrische Geräte, die in der Nähe arbeiten, erzeugt werden, können eine Gefahr bedeuten und die Tätigkeit des eingesetzten Schrittmachers beeinflussen. Besonders bei Vorhof- oder Kammer-Steuerungs-Schrittmachern kann ihre störende Wirkung gefährlich sein. Es ist leicht einzusehen, zu welchen verhängnisvollen Folgen es führen kann, wenn der Kranke, mit einem Not-Pacemaker versehen, keine Herzaktivität mehr hat, aber auf der Detektorelektrode infolge einer äußeren Störquelle eine Störspannung erscheint. Dieses Störsignal behindert den Pacemaker, und das Herz bekommt keinen Reizimpuls.

Man baut natürlich gegen die äußeren Störungen in die Stromkreise der Schrittmacher entsprechende Filterelemente ein, und das Gerät selbst und auch die Elektrode sind entstört. Trotzdem ist es für einen Kranken mit einem Schrittmacher nicht ratsam, sich an Orten aufzuhalten, wo eine solche Wirkung auftreten kann. Also darf er z. B. nicht in den Strahlensbereich der magnetischen Metallsuchgeräte bei der Sicherheitskontrolle auf einem Flugplatz treten, und es ist nicht zweckmäßig, sich zu nah an Geräten mit hohen Frequenzen aufzuhalten (wie z. B. Fernsehapparat, Amateurfunkeinrichtung, Kunststoffschweißgerät, Geräte für Kurzwellenwärmebehandlung, Mikrowellenherd, Ionisator, Quarzlampe usw.). Bei einem chirurgischen Eingriff an solchen Patienten darf der Chirurg keine Instrumente mit hoher Frequenz benutzen.

Wegen dieser vielen Fehlermöglichkeiten ist auch bei einem Kranken mit einem Pacemaker Kammerflimmern nicht ausgeschlossen. In einem solchen Fall aber kann eine Defibrillation notwendig sein.

In die neuesten Schrittmacher wird ein Schutzstromkreis eingebaut, der die Geräte auch vor der schädigenden Wirkung großer Spannungsstöße schützt. So beginnt der Schrittmacher nach der Defibrillation mit einer Verspätung von einigen zehntel Sekunden wieder zu arbeiten, und die

Reizung des vom Flimmern befreiten Herzens ist gesichert.

Während der Einpflanzung muß die Elektrode sehr sorgfältig mit dem Pacemaker verbunden werden. Es ist darauf zu achten, daß das Kabel während der Operation und unter sterilen Umständen angeschlossen werden muß. Neben der Verläßlichkeit ist also der sehr einfache und schnelle Anschluß der Hauptgesichtspunkt. Dabei muß für die Verbindung ein vollständiger elektrischer Kontakt gesichert werden, der so abzudichten ist, daß in die Kontakte keine Körperfeuchtigkeit eindringen kann. Notfalls muß auch die elektrische Verbindung gelöst werden; man muß also eine lösbare Verbindung benutzen.

Die elektronischen Stromkreise des Schrittmachers und die Quecksilberelemente werden in einem mit Gas gefüllten Metallgehäuse untergebracht. So können die elektronischen Elemente in für sie idealen Umgebungen arbeiten, und sie sind vor dem Eindringen der Körperfeuchtigkeit geschützt. (Die älteren Metallgehäuse aus Epoxidharz haben ein gewisses Maß an Feuchtigkeit durchgelassen.) Das Metallgehäuse sichert schließlich auch eine entsprechende mechanische Festigkeit. Das Sichverziehen des Kunststoffgehäuses hat früher oft in den elektronischen Stromkreisen technische Fehler verursacht.)

Den Schrittmacher baut man in ein Titangehäuse ein; denn dieses Metall ist korrosionsbeständig und hat gewebefreundliche Eigenschaften. Titan wird in der Heilkunde schon seit ungefähr 20 Jahren als Knochenersatz verwendet. Auch die hier gewonnenen Erfahrungen bestätigen seine Anwendbarkeit. Die Außenseite des Gehäuses wird sorgsam poliert, damit auf ihr keine unreinigenden Stoffe haften bleiben.

Die Quecksilberbatterien erzeugen während ihrer Funktion Wasserstoff. Da das Gehäuse luftdicht abgeschlossen ist, kann der frei werdende Wasserstoff nicht entweichen. Zu seiner Bindung bringt man im Gehäuse ein chemisches Reagens unter. Dieses absorbiert bei 37 °C und normalem Druck ungefähr 100 ml Wasserstoff.

Heilende Wärme

Zu Beginn des Rundfunkhörens, als immer größere leistungsfähige Radiosender gebaut wurden, bemerkte man, daß sich bei den Personen, die in Sendestationen arbeiteten, abnorme Symptome zeigten. Hauptsächlich wurden Wirkungen auf das Nervensystem beobachtet. Aber bei länger dort Arbeitenden traten auch des öfteren Temperaturerhöhung und Fieber auf. Da diese Symptome mit keiner organischen Krankheit erklärt werden konnten, vermutete man, daß Radiowellen sie verursacht hatten. Man nannte dieses Fieber »Radiofieber«.

Eingehendere Untersuchungen haben gezeigt, daß man auch Kopfschmerzen, Ermüdbarkeit, Schlaflosigkeit, Unruhe, Reizbarkeit, Angstgefühl und noch eine Reihe sonstiger Symptome, die sich bei empfindlicheren Menschen zeigen, auf das Sündenregister der elektromagnetischen Wellen schreiben kann. Diese Beobachtungen haben darauf aufmerksam gemacht, daß in der Umgebung von Strahlungsquellen mit hoher Energie zum Schutze der dort Beschäftigten strenge Arbeitsschutzvorschriften eingeführt werden müsse. Durch Entstörung gelang es, die meisten Beschwerden gründlich zu beheben.

Aber nur in den Radiostationen beruhigten sich die Gemüter. In den Forschungslaboren sank das »Radiofieber« nicht. Intensiv wurden die physiologischen Wirkungen der elektromagnetischen Strahlen untersucht. Veröffentlichungen berichteten davon, daß durch sehr starke elektromagnetische Bestrahlungen innerhalb von Minuten Versuchstiere getötet worden waren; gleichzeitig entwickelten sich durch die Wirkung von Strahlen geringerer Intensität Seidenraupen schneller, und sie wur-

den größer als vordem; Papageien schlüpften schneller aus dem Ei, und das Körpergewicht neugeborener Ratten erhöhte sich rascher.

Außer diesen Erscheinungen interessierte die Wissenschaftler in erster Linie der Mechanismus, mit dem elektromagnetische Strahlung auf den lebenden Organismus wirkt. Zu dieser Zeit kannte man schon die elektrischen Prozesse, die sich im lebenden Organismus abspielen. Es schien also logisch zu sein, daß sich der Organismus, in dem elektrische Erscheinungen auftreten, dem äußeren elektromagnetischen Feld gegenüber nicht gleichgültig verhält. Man wußte schon früher, daß der Stromschlag eine Muskelzusammenziehung verursacht; ferner haben Du-Bois-Reymond und Rein bewiesen, daß die Reizwirkung auch von der Frequenz des Stromes abhängt und daß wir gegenüber elektrischen Schwingungen zwischen 50 bis 100 Hz am empfindlichsten sind. Die Empfindlichkeit sinkt bei Frequenzen sowohl unterhalb als auch oberhalb dieses Bereiches. Auf einer Frequenz von mehreren 100 kHz oder MHz war also keine Reizwirkung zu erwarten. Die Erfahrungen aber, die man während der Untersuchung der Beschäftigten der Rundfunksender gemacht hatte, schienen diese Ansicht zu widerlegen.

Aus der Physik wußte man schon, daß elektromagnetische Wellen in einem Medium absorbiert werden, wobei die elektromagnetische Energie zu Wärme wird und das Medium sich erwärmt. Man hat auch bei der Bestrahlung des lebenden Organismus eine Wärmeentwicklung festgestellt. Also tauchte der Verdacht auf, daß die Temperaturerhöhung, die durch die Bestrahlung eintritt, für die unangenehmen Erscheinungen verantwortlich ist. In den dreißiger Jahren hat Kovarschik in destilliertem Wasser schwimmende Fische mit elektromagnetischen Wellen bestrahlt, und zwar mit einer solchen Intensität, daß sich die Körpertemperatur der Fische in dem Wasser, das eine Temperatur von 24 °C hatte, auf 40 °C erhöhte. Die Fische starben nach einigen Minuten, während sich die Wassertemperatur insgesamt nur um einige Zehntel Grad erhöht hatte. Der Wissenschaftler setzte danach erneut Fische in das Bad, nachdem er vorher das Wasser auf 40 °C erwärmt hatte. Jetzt starben die Fische ohne Bestrahlung in genau

derselben Zeit. Hiermit ist bewiesen, daß sie nicht infolge irgendeiner spezifischen Wirkung verendet waren, sondern ausschließlich deshalb, weil sich ihre Körpertemperatur in einem beträchtlichen Maße erhöht hatte. (Vergessen wir nicht, daß die normale Körpertemperatur der Fische gleich der des Wassers ist!)

Die Schlußfolgerung aus diesem Experiment ist auch heute noch gültig. Außer der Temperaturerhöhung kennen wir noch keinerlei Wirkung, mit der die elektromagnetische Strahlung den lebenden Organismus beeinflussen könnte, obwohl sich in den letzten Jahrzehnten ein sehr reicher Erfahrungsschatz angehäuft hat. Interessante Beobachtungen wurden z. B. im zweiten Weltkrieg bei den Radarbedienern gemacht. Diese Soldaten waren darauf gekommen, daß die durch die Radareinrichtung ausgestrahlte, stark fokussierte Mikrowellenstrahlung wärmt. Das nutzten sie auch im Winter aus, indem sie ihre frierenden Hände einfach in das Strahlenbündel hielten, und einige Minuten später verspürten sie eine angenehme Wärme. Nur bei einer Bestrahlung von großer Intensität entsteht auf den bestrahlten Körperteilen eine Verbrennungsverletzung oder ein schwer heilendes Geschwür.

Man konnte die Vermutung ausschließen, die Techniker der Funkstationen wären irgendwelchen schädlichen elektrischen Wirkungen ausgesetzt. Aber aus den Untersuchungen leiteten einige vorausschauende Wissenschaftler die Erkenntnis ab, daß die Anwendung der Wärmewirkung von Radiowellen in der Heilkunde eine Perspektive hatte.

Die Wärmeanwendung gilt schon in der uralten Heilkunde als Heilmethode. Es sei nur an warme Salz- oder Schlammpackungen, an Wärmebäder oder auch an die zur »Hausapotheke« gehörende Heizdecke erinnert. All dies dient dazu, einen Teil des kranken Organismus zu erwärmen oder – anders formuliert – auf künstliche Weise an einer bestimmten Stelle Fieber zu erzeugen.

Der gemeinsame Nachteil des herkömmlichen Verfahrens der Temperaturerzeugung ist, daß die Wärmeenergie in der Wärmequelle (z. B. im Heizkissen), also außerhalb des Organismus, entsteht und durch eine Wärmeleitung in den Organismus gelangen muß. Infolgedessen ist die

Temperaturverteilung innerhalb des Gewebes nicht gleich. Am besten erwärmen sich die Körperoberfläche (die Haut) und die nahe gelegenen Fett- und oberen Muskelgewebe, während die tiefer gelegenen Gewebe und Organe (Muskeln, Gelenke) kaum ihre Temperatur erhöhen. Aber oft bedürfen diese tiefer liegenden Teile einer Wärmetherapie. Um in ihnen eine Temperaturerhöhung von einigen Grad zu erreichen, müßte man auf die Oberfläche des Körpers eine 70 bis 80°C erzeugende Wärmequelle setzen. Dies aber könnte der Kranke nicht ertragen, denn es würden Verbrennungswunden entstehen – von dem starken Schmerz ganz zu schweigen. (Befinden sich doch auch Schmerz empfindende Nervenenden in der Hautoberfläche.)

Groß war die Freude der Wissenschaftler, als sie erkannten, daß man mit elektrischem Strom im Innern des lebenden Organismus eine Temperaturerhöhung erzeugen kann, und zwar so, daß die Wärmeenergie im menschlichen Körper entsteht. Eigentlich ist die Infrarotlampe auch ein solches Gerät. Sie hat aber den Nachteil, daß die Strahlen sehr stark vom Gewebe absorbiert werden. Deshalb kann man mit ihnen höchstens eine Hautschicht von 2 bis 3 mm Stärke erwärmen. Die elektromagnetische Energie von der entsprechenden Frequenz aber dringt tiefer in das Gewebe ein und ruft im Körperinnern, z. B. auch in den tiefer liegenden Muskeln, eine ansehnliche Temperaturerhöhung hervor.

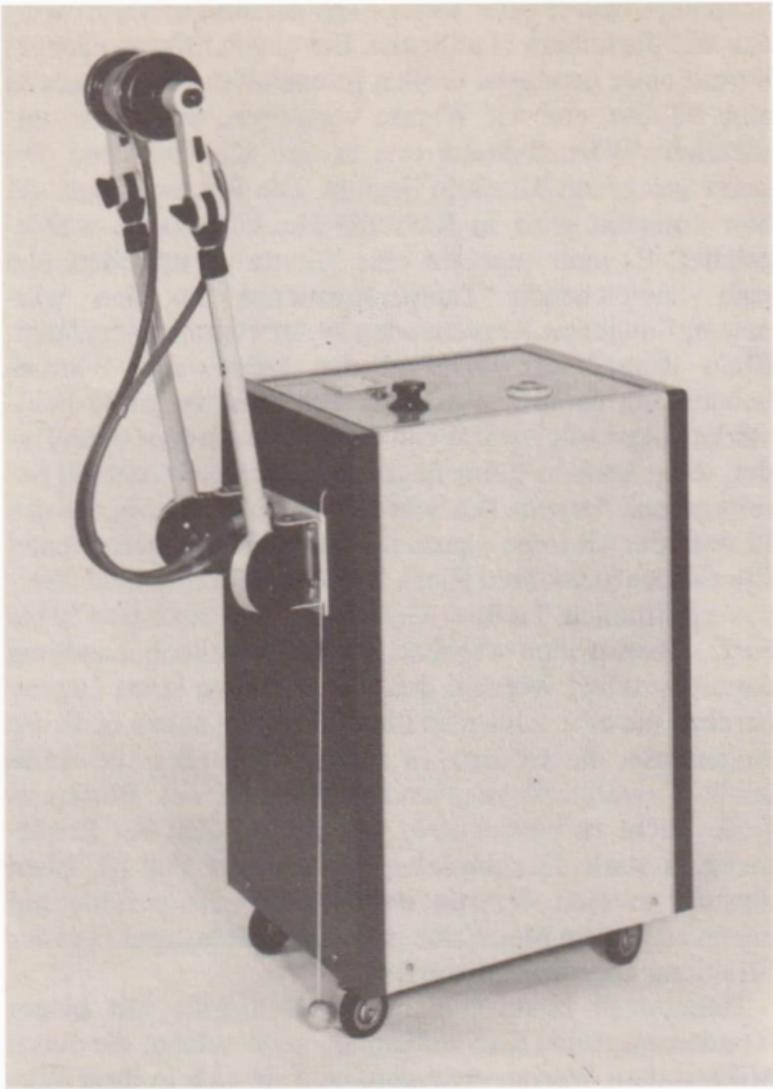
Bevor wir die physiologischen Fragen berühren, müssen wir ausführlicher über den Vorgang der elektrischen Temperaturerhöhung sprechen. Eine der charakteristischen Wirkungen des elektrischen Stromes ist die Wärme wirkung, die auch dann auftritt, wenn der elektrische Strom durch das lebende Gewebe fließt. Eben diese sogenannte Joulewirkung wurde vom ältesten Verfahren der elektrischen Wärmeerzeugung ausgenutzt. Man setzte an zwei gegenüber befindlichen Punkten des zu behandelnden Körperteils Metallelektroden auf und schloß sie an eine Hochfrequenzspannung (einige 100 kHz) an. Durch die Wirkung des durchfließenden Stromes kommt es im Verhältnis zum Quadrat der Stromstärke zu einer Wärmeentwicklung in den Geweben zwischen den Elektroden.

Hochfrequenz wurde deshalb benutzt, weil deren Reizwirkung vernachlässigt werden kann und während der Behandlung keine unangenehmen und schmerzhaften Muskelkrämpfe auftraten. Der Hauptnachteil dieser Behandlung war, daß sich die Elektroden auch bei sorgfältigstem Aufsetzen bewegen konnten, und auf Grund der schlechten Berührung entstand auf der Haut des Kranken eine Brandwunde. Deshalb benutzt man diese Methode nicht mehr.

Das auch heute noch angewandte Verfahren ist die sogenannte Kondensatorfeld-Methode. Der zu behandelnde Körperteil wird ohne metallische Berührung zwischen zwei Elektroden plaziert. Zu diesem Zeitpunkt fließt kein Leistungsstrom, denn es gibt keinen geschlossenen Stromkreis. Die zwei einander gegenüber angebrachten Elektroden verhalten sich aber so wie zwei Beläge eines Flächenkondensators, und durch diesen Kondensator kann ein Hochfrequenz-Verschiebungsstrom fließen.

Die im Gewebe frei werdende Wärmemenge hängt von den elektrischen Kennziffern der Gewebe ab, insbesondere von der Leitfähigkeit und von ihrer Dielektrizitätskonstante. Deren Werte sind für die einzelnen Gewebearten (Muskel, Haut, Fett) unterschiedlich. Bei der in der Heilkunde früher üblichen Anwendung von 20 bis 50 MHz hat sich leider herausgestellt, daß sich die Haut und das Fettgewebe ungefähr zehnmal besser erwärmen als die Muskulatur. Im Vergleich zur Heizdecke und zur Schlammpackung ist das ein bedeutendes Ergebnis. Aber auch diese Verfahren sind nicht dazu geeignet, die tiefer liegenden Gewebe ausreichend zu erwärmen. An Hand von Versuchen hat man beobachtet, daß die elektromagnetische Strahlung um so tiefer in den Körper eindringen kann, je höher ihre Frequenz ist.

Schon in den Jahren vor dem zweiten Weltkrieg ist es gelungen, dies zu beweisen, aber damals hat man es trotzdem noch nicht vermocht, Generatoren mit einer genügend hohen Leistung im Bereich der gewünschten Frequenz herzustellen. Die Elektronik wurde in den Kriegsjahren sehr entwickelt, und nach dem Krieg blieb eine ganze Reihe Radargeräte in den Arsenalen, mit denen man die Grundversuche durchführen konnte. Es wurde bewiesen, daß die



Kurzwellen-Therapiegerät TuR KW 4 mit einer Hochfrequenzleistung von 500 W, auch für monopolare Behandlungstechnik (mit Wirbelstromelektrode) geeignet; Arbeitsfrequenz: 27,12 MHz

übliche 2500-MHz-Frequenz-Strahlung der Radargeräte für die Ziele der Wärmetherapie geeignet ist. Da wir diese Wellen Mikrowellen nennen, bezeichnete man das Heilverfahren als Mikrowellen-Wärmetherapie.

Mit den Wärme erzeugenden Mikrowellengeräten konnte man auch erreichen, daß die tiefer liegenden

Schichten besser oder wenigstens genauso erwärmt werden wie die äußere Hautdecke. Bei einem Mikrowellengerät mit einer genügend großen Intensität dauert es nahezu eine Minute, ehe wir Wärme verspüren, weil die hauptsächliche Wärmebildung erst in den Knochen und den tiefer gelegenen Muskeln beginnt. Die Wärmemenge, die hier entsteht, wird in Richtung Hautoberfläche weitergeleitet. Es muß ungefähr eine Minute verstreichen, ehe eine ausreichende Temperaturmenge zu den wärmeempfindlichen Nervenenden in der Hautdecke gelangt. Eben deshalb ist während der Mikrowellen-Wärmebehandlung darauf zu achten, daß keine zu große Feldstärke eingestellt wird. Wenn der Kranke Brennen empfindet, dann können tiefer liegende Schichten eventuell bereits geschädigt sein. Die Schädigung besteht darin, daß das Eiweiß der Gewebe »gerinnt« (ähnlich dem geronnenen Eiweiß des gekochten Eies). Die Eiweißkörper sind überaus empfindlich. Zu ihrer Gerinnung genügen schon 50 bis 60°C. Ebenso muß während der Mikrowellenbehandlung darauf geachtet werden, daß die Strahlung keine Organe berührt, die eine schwache Blutzirkulation haben (z. B. die Augenlinse, die Hoden). In diesen ist nämlich die »kühlende«, »wärmearausgleichende« Wirkung des Blutkreislaufes nicht zu beobachten, wie das zur Zeit der Erwärmung in stark durchbluteten Organen der Fall ist. Eben deshalb müssen derartig empfindliche Körperteile mit einem aus einem Metallstab gefertigten Schutznetz vor der Strahlung abgeschirmt werden.

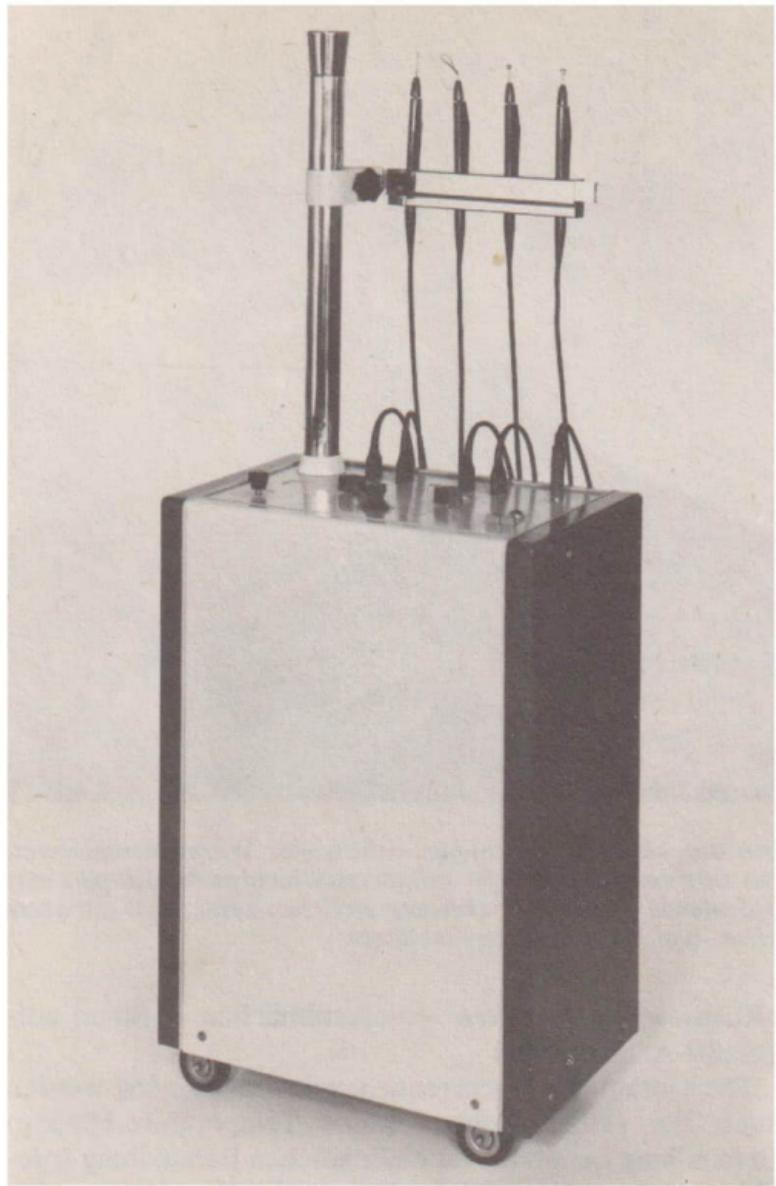
Heutzutage benutzt man sowohl Geräte mit einem Kondensatorfeld (Kurzwellen) als auch solche, die durch Mikrowellen Wärme erzeugen, weil sie sich in ihrer Wirkung ergänzen. Die Geräte für die Wärmetherapie sind hauptsächlich bei der Heilung von Rheumaerkrankungen erfolgreich. Dies ist keine geringe Sache, denn nach statistischen Angaben ist die Anzahl der Rheumaerkrankungen noch sehr groß. Anderen Daten zufolge werden 10 bis 15% des aufgewendeten Krankengeldes für Arbeitsstunden bezahlt, die wegen Rheumaerkrankungen ausfallen. Mit der erhöhten Lebenserwartung wächst wahrscheinlich die Anzahl von Rheumakranken, denn Rheuma ist wohl auch eine Krankheit der älteren Menschen. (Hier wird



Ein auf Dezimeterwellenlänge arbeitendes Wärmetherapiegerät, mit dem man in den tiefer gelegenen Schichten des Körpers eine bedeutende Temperaturerhöhung erreichen kann, ohne die obere Haut- und Fettschicht zu überhitzen

»Rheuma« im weiteren – volkstümlichen – Sinne aufgefaßt! Anm. d. Red.)

Die Geräte für Hochfrequenzwärmeverzeugung werden auch zur »athermischen« (ohne Temperaturerhöhung) Behandlung benutzt. Von einer solchen Behandlung sprechen wir dann, wenn wir im Körper des Kranken nur eine so kleine Wärmemenge erzeugen, die der Kranke nicht einmal spürt. Man könnte glauben, daß eine solche Behandlung wirkungslos ist. Die Erfahrung jedoch beweist das Gegenteil. Man hat wahrgenommen, daß diese Behandlung ohne ein Wärmegefühl bei akuten Entzündungen besonders vorteilhaft ist. Wenn wir nämlich in dem sogenannten schon erhitzten und entzündeten Herd eine starke



Dieses Universal-Großelektrochirurgiegerät TuRCh4 besitzt eine automatische Anpassungsschaltung und eine große Variationsbreite der Intensitätseinstellung.

Erwärmung hervorrufen würden, würden sich die mit der Entzündung verbundenen Stoffwechselstörungen erhöhen, und der Schmerz würde sich bis zur Unerträglichkeit

steigern. In einem solchen Falle hilft die »athermische« Behandlung, die wahrscheinlich zum Abbau der sich im entzündeten Körperteil angehäuften schädlichen Stoffe anregt. Man hat nämlich beobachtet, daß nach einer »athermischen« Behandlung auch eine lange anhaltende Gefäßerweiterung im Gefäßsystem des bestrahlten Gebietes auftritt und sich so die Durchblutung des Entzündungsherdes verbessert.

Auch in der Chirurgie ist die Wärmeerzeugung durch Hochfrequenz anwendbar. Das vielleicht wichtigste Instrument der Chirurgie ist das zum Schneiden der Gewebe benutzte scharfe Messer: das Skalpell. Dieses wichtige Instrument hat aber einen Nachteil. Wenn das Skalpell ein Blutgefäß durchtrennt, dann tritt eine Blutung auf. Die größeren Gefäße müssen einzeln abgebunden werden, während in den kleineren die Blutung durch Gerinnung zum Stillstand kommt. Dieser Vorgang geht aber ziemlich langsam vor sich, und andererseits verdeckt die Blutung das Operationsgebiet und macht es unübersichtlich. Das ist bei besonders präzisen (z. B. Augen-) Operationen nachteilig. Auch den Blutverlust darf man nicht übersehen. Der Wunsch des Chirurgen nach einem Verfahren, mit dessen Hilfe er »blutlos« schneiden kann, ist also verständlich.

Dieser spezielle Anspruch kann mit den Hochfrequenzgeräten für die Chirurgie befriedigt werden. Diese Geräte erzeugen Hochfrequenzstrom, den der Chirurg mit Hilfe entsprechender Elektroden dorthin lenken kann, wo er schneiden will. Die eine Elektrode ist eine große Metallplatte, die auf dem Schenkel oder der Hüfte des Kranken befestigt wird, die zweite Elektrode, die eigentlich schneidet, hat die Form eines Messers, einer Nadel, eines Ringes oder einer Kugel und ist so bemessen, daß der Chirurg sie genau an die Stelle des Schnittes setzen kann. Nachdem das Gerät eingeschaltet ist, tritt in der Nähe der großen Oberflächenelektrode eine verhältnismäßig geringe Stromdichte auf, die nur mit einer geringen Wärmeerzeugung verbunden ist, während in der Umgebung der kleinen aktiven Oberflächenelektrode die Stromdichte sehr groß wird. Hier entsteht deshalb plötzlich eine große Wärmemenge, die in wenigen Augenblicken die Zellflüssigkeit

bis zum Siedepunkt erhitzt. Durch den starken Dampfdruck »explodiert« die Zelle fast. Mit einer entsprechend schnellen Bewegung der aktiven Elektrode kann man erreichen, daß die Elektrode das Gewebe wie ein scharfes Skalpell »schneidet«. Ein wesentlicher Unterschied ist, daß hier keine Blutung auftritt, weil die entstandene Hitze das aus den zerschnittenen Adern aussickernde Blut sofort gerinnen läßt. Man muß bloß die größeren Adern abbinden. Wenn der Chirurg das Blut einer schon blutenden Wunde stillen will, dann benutzt er eine größere aktive Oberflächenelektrode (z. B. die kugelförmige). Diese Elektrode ist wegen ihrer geringeren Stromdichte weniger schnell, aber sie verursacht eine ausreichende Erwärmung, um das Blut gerinnen zu lassen. Es muß betont werden, daß man die stärkeren Adern nicht deshalb abbindet, weil man die Blutung nicht mit einer entsprechenden Elektrode und Stromdichte stillen könnte, sondern deshalb, weil dabei in der Ader ein »Blutpfropf« entstehen kann, der sich von dort eventuell löst, dann in den Blutkreislauf gelangt und unangenehme Komplikationen verursacht.

Der lautlose Schall in der Medizin

Es gibt zwei Arten von Wellen, die sich im Raum ausbreiten – die elektromagnetischen Wellen und die mechanischen Schwingungen. Der grundlegende Unterschied zwischen ihnen besteht darin, daß sich die elektromagnetischen Wellen unabhängig von der Materie, also auch im Vakuum, fortpflanzen, d. h. ausbreiten können, während die Ausbreitung der mechanischen Schwingungen nur in Gegenwart von elastischer Materie möglich ist.

Einen Bereich (eine Bandbreite) der mechanischen Schwingungen vermag auch der Mensch mit dem Ohr wahrzunehmen; dieser Bereich wird als hörbarer Schall bezeichnet. Die vom menschlichen Ohr nicht wahrnehmbaren mechanischen Schwingungen werden auf diesen hörbaren Bereich bezogen. Sie werden als *Ultraschall* bezeichnet. Die technisch noch erzeugbare Ultraschallfrequenz liegt im Bereich von 1 000 bis 10 000 MHz. Mechanische Schwingungen mit höheren Frequenzen reichen bereits in die Größenordnung der molekularen Wärmebewegungen.

Ultraschall unterscheidet sich vom hörbaren Schall nur darin, daß er für das menschliche Ohr nicht wahrnehmbar ist; im übrigen gehorcht er jedoch den gleichen physikalischen Gesetzen, allerdings mit einer Besonderheit, aus der sich ein wesentlicher Unterschied zwischen der Ausbreitung (Fortpflanzung) des Ultraschalls und des hörbaren Schalls ergibt. Die Wellenlänge des hörbaren Schalls umfaßt den Bereich (die Bandbreite) von einigen Dezimetern bis zu einigen Metern (er kann aus der Wellenlänge, aus der Schallgeschwindigkeit und der Frequenz berechnet werden), d. h., die Wellenlänge ist beim hörbaren Schall

größer als die Abmessungen der Schallquelle. Dadurch trennen sich die Schallwellen von der Schallquelle in Form von kugelförmigen Wellen. Sie breiten sich in alle Richtungen des Raums aus. Die so abgestrahlte Energie verteilt sich in Form von Kugelschalen, und die je Zeiteinheit durch eine Oberflächeneinheit tretende Schallenergie (die in W/cm^2 meßbare Leistungsdichte oder auch Schallintensität) nimmt mit dem Kugelradius quadratisch ab.

Da die Wellenlänge der Frequenz umgekehrt proportional ist, hat der Ultraschall mit den höheren Frequenzen kürzere Wellenlängen (so beträgt z. B. die Wellenlänge von Ultraschall mit einer Frequenz von 1 MHz in Luft 0,33 mm). Hieraus folgt, daß die Wellenlänge kleiner ist als die Maße der Schallquelle, also keine Kugelwellen, sondern Planwellen erzeugt werden, die gebündelt aus der Schallquelle treten. Deshalb nimmt die Ultraschallintensität nicht nach einem quadratischen Gesetz ab.

Die Geschwindigkeit des Ultraschalls – und das ist für die medizinische Anwendung des Ultraschalls von Interesse – ist in lebenden Geweben etwas größer als in der Luft (bei einer Frequenz von 1 MHz beträgt sie in Muskeln 1 568 m/s, in Knochen 3 360 m/s), d. h., in lebenden Geweben ergeben sich etwas größere Wellenlängen als in der Luft (z. B. bei 1 MHz in Muskeln 1,6 mm, in Knochen 3,4 mm).

Ultraschall pflanzt sich in einem elastischen Medium mit einer bestimmten Geschwindigkeit fort. Dabei nehmen mit zunehmender Entfernung von der Schallquelle die Amplitude der Ultraschallschwingungen und damit auch ihre Energie ab. Die Energieabnahme ist eine Folge der *Absorption*. Der Ultraschall tritt mit dem Medium, in dem er sich fortpflanzt, in Wechselwirkung, wobei ein Teil seiner Energie von diesem Medium absorbiert wird. Der größte Teil der absorbierten Energie wird in Wärme umgewandelt, während ein geringer Teil in diesem Medium irreversible strukturelle Veränderungen bewirkt.

Da die Absorption ihre Ursache in der Reibung zwischen den Teilchen eines Mediums hat, ist sie in den verschiedenen Stoffen unterschiedlich. Sie ist aber nicht nur vom Medium abhängig, sondern auch von der Frequenz des Ultraschalls, denn es ist nicht ohne Bedeutung, wieviel

Schwingungen die Teilchen des Mediums in der Zeiteinheit ausführen müssen.

Die Ultraschallabsorption ist für die Ultraschalltherapie von Bedeutung. Gerade sie ermöglicht die Umwandlung der eingestrahlten Ultraschallenergie im Gewebe in Wärme.

Ist jedoch das Medium, in dem sich der Ultraschall fortpflanzt, nicht homogen, dann tritt ebenso wie in der Optik an den Grenzflächen zwischen Medien mit unterschiedlichen Eigenschaften *Reflexion* auf. Solche Reflexionen sind von großer Bedeutung für die Ultraschall-diagnostik, bei der ja gerade das Reflexionsvermögen von Geweben mit unterschiedlichen akustischen Eigenschaften untersucht wird. Plötzliche Änderungen der Reflexion treten an den Grenzflächen zwischen Haut und Fett, Fett und Muskeln sowie Muskeln und Knochen auf. Wesentliche Veränderungen in den Kenngrößen des Ultraschalls kann man auch an den Grenzflächen von Körperteilen beobachten, die in unmittelbarem Kontakt zur Luft stehen (z. B. Körperhohlräume).

Trifft Ultraschall bei seiner Fortpflanzung auf ein Hindernis (z. B. auf einen Fremdkörper im menschlichen Körper), dann tritt ebenfalls Reflexion auf. Ist dieses Hindernis im Vergleich zur Wellenlänge des Ultraschalls klein, dann entsteht nur ein kleiner Ultraschallschatten, weil die Ultraschallwellen das Hindernis umgehen, d. h. ähnlich wie in der Optik gebeugt werden. Die Inhomogenitäten im Organismus (Zellen, Muskelfasern usw.) verursachen keine merkliche Beugung, weil sie im Vergleich zur Wellenlänge (2 mm bei 800 Hz!) vernachlässigbar klein sind (max. 0,1–0,2 mm).

Trifft Ultraschall auf Hindernisse, die im Vergleich zu seiner Wellenlänge groß sind (auf Organe oder Gewebeteile), dann ändert sich seine Richtung – es treten Brechung und Reflexion auf.

Sieht man von Fremdkörpern innerhalb des menschlichen Körpers ab, dann ergeben sich die stärksten Reflexionen an den Grenzflächen zwischen den Knochen und den sie umgebenden Geweben (vor allem Muskelgeweben) sowie zwischen Gewebe und Luft. Da jedoch die Knochensubstanzen sehr unterschiedliche Zusammensetzung

gen und die Knochen sehr unterschiedliche Formen haben, sind die Reflexionen des Ultraschalls an den Knochen recht unübersichtlich. Wesentlich übersichtlicher sind dagegen die Reflexionsverhältnisse an den Grenzflächen Gewebe–Luft, weil die Luft eine sehr geringe Dichte hat. Die Ultraschallwellen pflanzen sich also in Wasser oder in Körpergewebe fort, und wenn sie an ihre Grenzfläche zur Luft gelangen, tritt fast totale Reflexion auf.

An Grenzflächen zwischen Medien, deren akustisches Verhalten sich nur wenig unterscheidet, tritt nur eine geringe Reflexion auf, und der größte Teil der Ultraschallwellen tritt in das andere Medium über. Dabei ändert sich aber die Fortpflanzungsrichtung mehr oder weniger, d. h., es tritt *Brechung* auf. Treffen die Ultraschallwellen senkrecht auf eine solche Grenzfläche auf, dann pflanzen sich auch die reflektierten Wellen senkrecht fort, wobei stehende Wellen entstehen.

Von Ultraschall wird im Organismus eine Reihe von biologischen und medizinischen Effekten ausgelöst, die sich nicht nur auf die bestrahlten Organe und Gewebe begrenzen. Obwohl sich der komplexe Wirkungsmechanismus von Ultraschall nicht allein aus seinen physikalischen und chemischen Wirkungen erklären lässt, sind sie doch unbedingt als Ausgangspunkte für das Verständnis der Wirkungen des Ultraschalls zu betrachten. Wegen der Mängel in der Erklärung des Mikromechanismus ist man oft gezwungen, anzunehmen, daß die *biologischen Wirkungen* nicht unmittelbar ihre Ursache in der Ultraschallenergie haben, sondern durch den Ultraschall nur ein Veränderungs- bzw. Umwandlungsprozeß eingeleitet wird, der sich in spezifischen Reaktionen des Organismus äußert.

Ultraschall kann primäre und sekundäre Effekte (Wirkungen) auslösen. Die primären Effekte können auf der Grundlage von Gesetzen der Physik oder der Chemie direkt auf die Wirkung des Ultraschalls zurückgeführt werden. Sie begrenzen sich auf die bestrahlten Körperteile. Als sekundäre Effekte werden alle Prozesse bezeichnet, die infolge der Bestrahlung mit Ultraschall im Organismus überhaupt ausgelöst werden. Sie treten also nicht nur in den bestrahlten Teilen des Körpers auf.

Einen primären Charakter hat die mikromassierende Wirkung des Ultraschalls auf die Zellen; allerdings ist sie recht gering. Natürlich kann die mechanische Wirkung mit steigender Ultraschallintensität auch zur Zerstörung von Gewebe führen. Das wird z. B. bei der Anwendung von Ultraschall in der Chirurgie genutzt.

Wichtiger ist die durch Ultraschall im Gewebe erzeugte Wärme. Da die Ultraschallabsorption des menschlichen Körpergewebes in guter Näherung 0,33 (oder auch 33 %/cm) beträgt, wird ein Drittel der in ein Volumenelementeintretenden Ultraschallenergie in Wärme oder eine andere Energieform umgewandelt, und zwei Drittel werden weitergeleitet, so daß sie im folgenden Volumenelement mechanische und Wärmeeinwirkungen auslösen können.

Es ist offensichtlich, daß der durch den Ultraschall bedingte Temperaturanstieg in den in verschiedenen Tiefen liegenden Gewebschichten unterschiedlich ist und im allgemeinen nach innen abnimmt. Da sich die Absorptionskoeffizienten der einzelnen Gewebearten voneinander unterscheiden, ist die Erwärmung selektiv; es kann deshalb vorkommen, daß in tiefer liegenden Geweben mit einem höheren Absorptionskoeffizienten mehr Ultraschallenergie in Wärme umgewandelt wird als in den darüber liegenden, obwohl die Ultraschallintensität in den tiefer liegenden Schichten bereits wesentlich geringer ist.

Es ist bis heute noch nicht entschieden, inwieweit die biologischen Wirkungen des Ultraschalls auf mechanische und wieweit auf thermische Effekte zurückzuführen sind. Für die Wärmeeffekte spricht die Tatsache, daß die meisten durch Ultraschall thermisch auslösbarer günstigen therapeutischen Wirkungen auch nach anderen wärmeerzeugenden Verfahren erzielt werden können.

Wie Untersuchungen mit Ultraschallbestrahlung gezeigt haben, können nach diesem Verfahren auch chemische Effekte ausgelöst werden. Durch die Ultraschallbestrahlung werden die Diffusionsprozesse in den Zellen, die Depolymerisation des hochmolekularen Eiweißes und biochemische Oxydationsprozesse beschleunigt usw.

Ultraschallschwingungen werden nach dem piezoelektrischen Prinzip erzeugt. Wird an gewisse Kristalle eine Hochfrequenzspannung angelegt, dann werden sie in eine

dieser Frequenz entsprechende Schwingung versetzt. Manche Kristalle zeigen ein sehr gutes piezoelektrisches Verhalten und wandeln die ihnen zugeführte elektrische Energie mit einem hohen Wirkungsgrad in mechanische Schwingungsenergie um. Früher wurden die Ultraschall-schwinger (Schallköpfe) aus Quarzkristallen hergestellt, heute werden vorwiegend Bariumtitanatkeramiken angewendet, die bereits bei Erregerspannungen unter 100 V im Schwingungszustand gehalten werden können. Ihr Nachteil ist jedoch ihr niedriger Curiepunkt, so daß sie ihr magnetisches Verhalten bereits um 120 bis 130°C verlieren; aber auch schon bei niedrigen Temperaturen verschlechtern sich ihre magnetischen Eigenschaften. Deshalb sind die Temperaturen von Bariumtitanat-Schallköpfen (im allgemeinen durch Luftkühlung) zu begrenzen.

Der *Schallkopf* kann nach drei Verfahren mit dem Patienten in Kontakt gebracht werden: Bei der direkten Behandlung wird die Schwingungsfläche durch leichten Druck unmittelbar auf die Haut gedrückt, und zwar so, daß er möglichst über seine gesamte Fläche aufliegt. Luftspalte zwischen Körper- und Schallkopfoberfläche sind vor der Behandlung mit einer Kontaktflüssigkeit (z. B. mit Paraffin) auszufüllen, weil sonst die Ultraschallschwingungen an der Grenzfläche Kristall–Luft reflektiert werden, also nicht in den Körper eindringen.

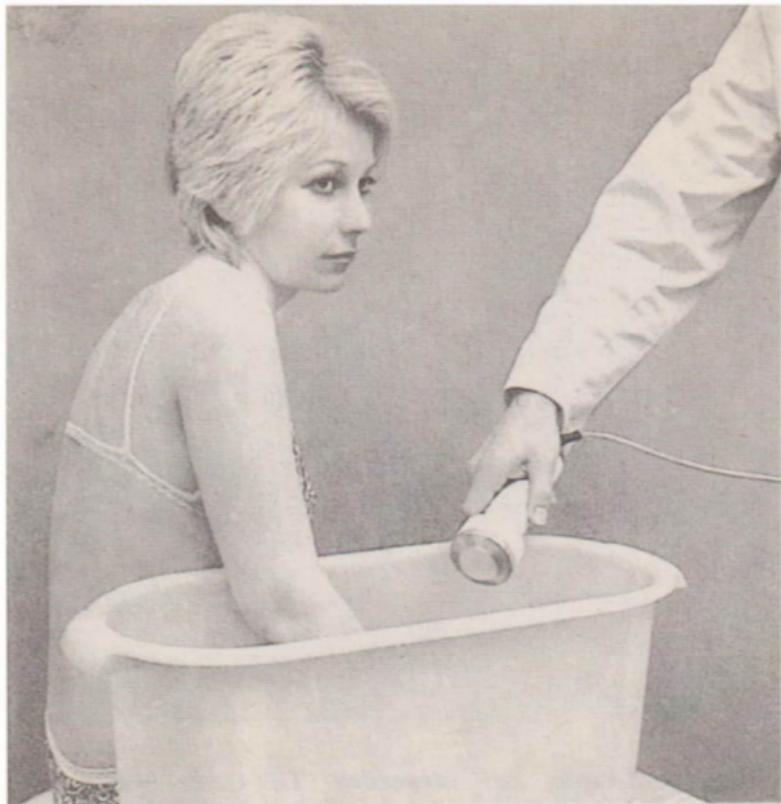
Kann der Schallkopf wegen zu starker Gliederung der Körperoberfläche nicht mit seiner ganzen Fläche in Kontakt mit der Haut gebracht werden (z. B. an den Fingern oder am Knöchel) oder würde das Andrücken Schmerzen verursachen, dann wird die Behandlung im Wasserbad (Unterwasserbehandlung) angewendet. Der zu behandelnde Teil des Körpers wird in Wasser getaucht, das Körpertemperatur hat und durch Kochen entgast worden ist, und der Schallkopf in einer Entfernung von 2 bis 3 cm vom Körperteil angeordnet. Vom Schallkopf wird die Schwingungsenergie auf das Wasser übertragen, von dem sie zu dem zu behandelnden Gewebe weitergeleitet wird. Bei der Wahl der Bestrahlungsrichtung ist darauf zu achten, daß nicht infolge von Reflexionen an den Wänden des Wassergefäßes höhere Schallintensitäten auftreten können, als sie für das Gewebe zulässig sind.



Ultraschalltherapie; das verwendete TuR-Gerät besitzt zwei Schallköpfe mit $6,4 \text{ cm}^2$ und $1,4 \text{ cm}^2$ strahlender Fläche.

Zur Behandlung einiger Körperteile (z. B. Augen, Ohren und Zähne) sind verschiedene Hilfsmittel erforderlich. Oft genügt in solchen Fällen ein mit Wasser gefüllter Gummischlauch, über den die Ultraschallwellen an die gewünschte Stelle übertragen werden können. Von den Herstellern von Ultraschallgeräten werden als Zubehör unterschiedliche trichter- oder zylinderförmige Wassergefäß aus Metall oder Plastik geliefert, mit deren Hilfe die Behandlung auf verhältnismäßig kleine Flächen konzentriert werden kann.

Bei der Bestrahlung mit Ultraschall muß bekannt sein, welcher Anteil der eingestrahlten Energie im Organismus wirksam ist. Diese *Dosierung* ist vor allem wegen der Reproduzierbarkeit wichtig, aber auch deshalb von Bedeutung, weil oberhalb einer bestimmten Schallintensität der Ultraschall für den Organismus schädlich sein kann.



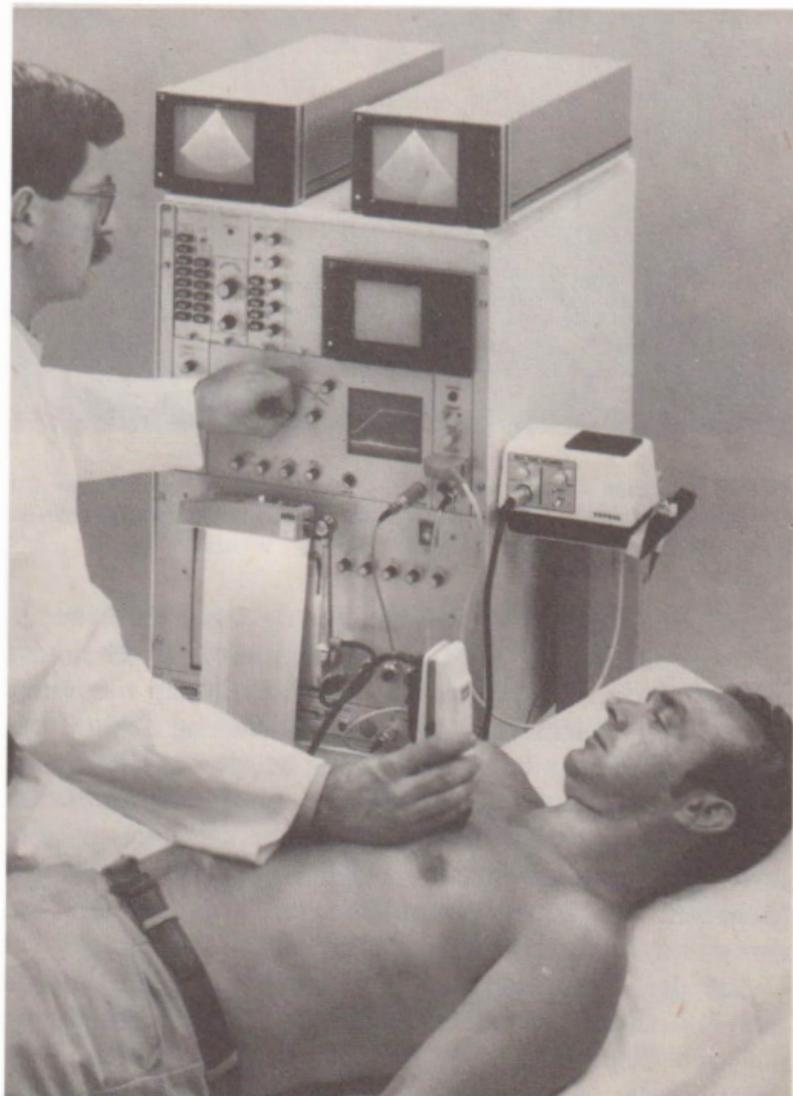
Indirekte Behandlung mit Ultraschall, bei der sich zwischen dem Schallkopf und dem Körperteil eine entgaste Flüssigkeit, meist Wasser, befindet

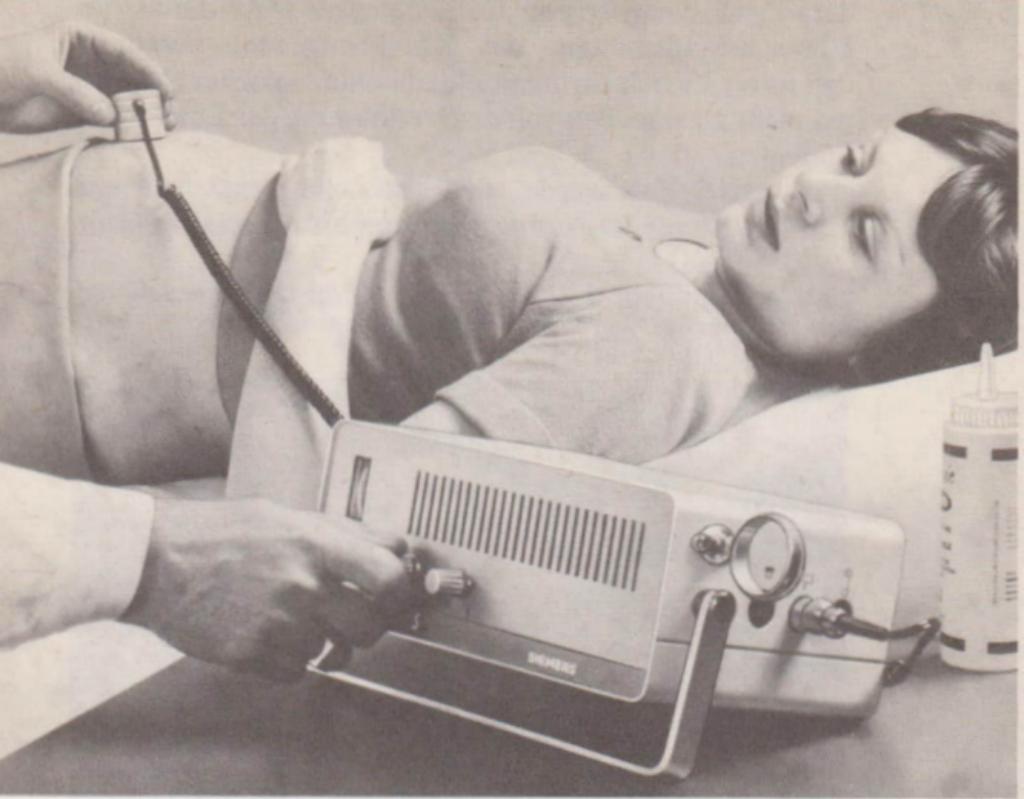
Die mechanische (Mikromassage) und die wärmeerzeugende Wirkung der therapeutischen Behandlung mit Ultraschall konnten in der Praxis bereits bewiesen werden. Und obwohl der Wirkungsmechanismus in diesen Fällen noch nicht genügend geklärt werden konnte, stellt die *Ultraschalltherapie* heute ein anerkanntes und in breitem Umfang angewendetes Verfahren der Physiotherapie dar. Die überzeugendsten Ergebnisse wurden bei der Behandlung von Entzündungen und degenerativen Gelenkerkrankungen rheumatischen Ursprungs, bei der Rehabilitation von Muskelverletzungen, in gynäkologischen und dermatologischen Fällen, bei verschiedenen Behandlungen des Magen-Darm-Trakts usw. erzielt. Bei

derartigen langwierigen Erkrankungen wird durch die Ultraschallbehandlung die Krankheitsdauer verkürzt; daraus ergibt sich ein unmittelbarer ökonomischer Nutzen, gar nicht zu sprechen von der Verkürzung der Leiden des Patienten.

In letzter Zeit wurde auch beobachtet, daß man mit Ultraschall eine Besserung bei erworbener Kurzsichtigkeit

Echokardiographische Untersuchung, die oft einen Verzicht auf das wesentlich risikovollere Herzkatetheren ermöglicht





Mit Hilfe eines Ultraschallgerätes, das nach dem Prinzip des Dopplereffekts arbeitet, kann die fetale Herzaktivität bereits von der 9. Woche der Schwangerschaft an verfolgt werden.

erreichen kann. Das besonders Interessante an dieser in ihren Einzelheiten noch nicht bekannten Erscheinung besteht darin, daß selbst bei der Bestrahlung nur eines Auges auch beim anderen eine Besserung festgestellt wurde. Für eine solche Behandlung wurde ein Ultraschall mit einer Frequenz von 850 kHz mit einer Schallintensität von $1,5 \text{ W/cm}^2$ angewendet. Eine Heilbehandlung umfaßte jeweils 5 Minuten Bestrahlung täglich über 20 Tage. Bei der Mehrzahl der behandelten Patienten konnte eine Besserung um etwa 1 Dioptrie nachgewiesen werden.

Auf der Grundlage der Ultraschallabsorption könnte man in Analogie zur Durchleuchtung mit Röntgenstrahlung auf den Gedanken kommen, die unterschiedliche Absorption der verschiedenen Gewebearten für die Dia-

gnostik zu nutzen. Und weil auch das Maß der Ultraschallabsorption der einzelnen Gewebearten wesentlich von der Absorption der Röntgenstrahlen abweicht, konnte erwartet werden, daß man mit Hilfe des Ultraschalls auch solche inneren Erscheinungen zu erkennen vermag, die bis jetzt mit Hilfe der Röntgenstrahlung nicht deutlich gemacht werden konnten. Diese Erwartungen haben sich jedoch nicht erfüllt, weil die Absorptionskoeffizienten der einzelnen Gewebearten verhältnismäßig nahe beieinander liegen. Die Absorption der Knochen ist zwar wesentlich höher als die der weichen Gewebe; das eröffnet aber im Vergleich zur Durchleuchtung mit Röntgenstrahlen keine neuen Möglichkeiten, denn auch im letztgenannten Fall ergeben die Knochen die stärksten Schatten.

In breiterem Umfang wird bis jetzt nur die Echoenzephalographie angewendet, deren Vorteile im Vergleich zur verhältnismäßig umständlichen Röntgendifchleuchtung auf der Hand liegen.

Zunehmende Verbreitung findet gegenwärtig die Ultraschalldiagnostik in der Kardiologie, wobei man mit den neuesten Verfahren eine fast räumliche Darstellung des Herzens erreichen kann. Das ist wichtig, weil die Form der Herzmuskulatur, ihre Größe und Verengungen oder Unvollständigkeit der Herzkappen usw. bei verschiedenen Herzerkrankungen von entscheidender Bedeutung sind. In der Diagnostik zur Vorbereitung eines herzchirurgischen Eingriffs kann man durch Ultraschallverfahren Informationen erhalten, auf die kaum verzichtet werden kann.

Starke Verbreitung finden gegenwärtig auch die Ultraschallgeräte in der Geburtshilfe. Das ist vor allem darauf zurückzuführen, daß wegen der geringen Strahlungs-(Schall-)Intensität keine Schädigung des Embryos befürchtet zu werden braucht. So kann bereits zu einem recht frühen Zeitpunkt (vom 30. Tag der Schwangerschaft an) die fetale Herztätigkeit kontrolliert werden; das ist eine einmalige Möglichkeit, die dieses Verfahren eröffnet. Die Herztätigkeit kann auch im zweidimensionalen Verfahren dargestellt werden, nach dem nicht nur die fetale Herztätigkeit als solche, sondern auch ihre Unregelmäßigkeiten nachgewiesen werden können.

Nach dem Ultraschallverfahren kann auch die Lage der

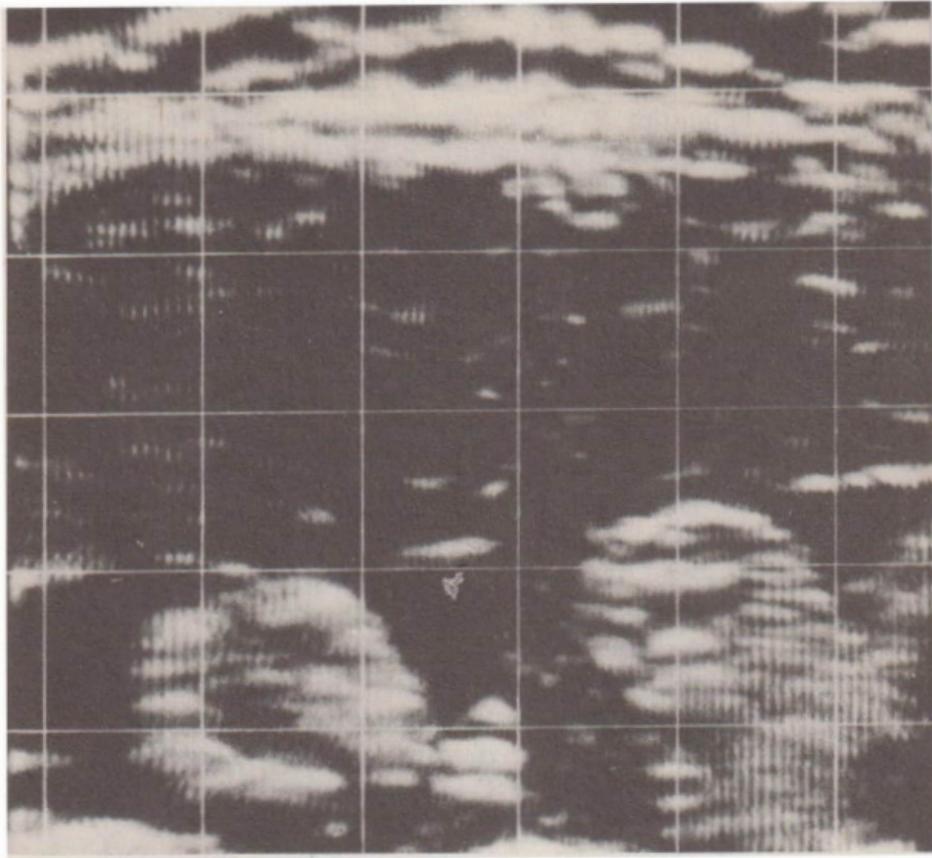
Plazenta bestimmt werden; das ist bei verschiedenen Unregelmäßigkeiten notwendig. Auch kann nach einem solchen Verfahren der Schädeldurchmesser des Fötus gemessen werden. Das gilt auch für den Beckendurchmesser der Mutter, so daß man bereits vor der Entbindung Disproportionen erkennen kann, die eventuell eine normale Entbindung ausschließen.

Die Bestimmung des Schädeldurchmessers erlaubt auch wichtige Schlußfolgerungen bezüglich der fetalen Reife. Von der 32. Woche der Schwangerschaft an wächst der fetale Schädeldurchmesser um 1 bis 3 mm je Woche, und erfahrungsgemäß stellt ein Schädeldurchmesser von über 80 mm einen Hinweis auf einen lebensfähigen Fötus dar. Von einigen Wissenschaftlern wurden auch Tabellen zusammengestellt, aus denen man auf der Grundlage des Schädeldurchmessers mit guter Sicherheit auf das Körpergewicht des zu entbindenden Kindes schließen kann.

Mit Hilfe des zweidimensionalen Verfahrens lassen sich Schädel und Steißbereich des Fötus gut unterscheiden. Das gestattet es, die Lage des Fötus in der Gebärmutter zu bestimmen. Nach diesem Verfahren kann jedoch auch bereits zu einem sehr frühen Zeitpunkt eine Zwillingsschwangerschaft nachgewiesen werden.

Das Verfahren der Ultraschalldiagnostik ist auch eine wertvolle Hilfe in der Gynäkologie, vor allem bei der Unterscheidung der verschiedenen Geschwulstvorgänge von einer Schwangerschaft. Die gutartige Zyste ist ein Hohlraum, der mit Flüssigkeit gefüllt ist, und ergibt dadurch fast keinerlei Reflexionen, während die bösartigen Tumore eine festere Struktur haben und dadurch eine ganze Reihe reflektierender Grenzflächen aufweisen. Sie ergeben deshalb ein unregelmäßiges Reflexionsbild.

Das Auge eignet sich ideal für ultraschalldiagnostische Untersuchungen, weil es einfach aufgebaut, sein Gewebe akustisch durchlässig ist und seine Schichten durch scharfe Grenzflächen voneinander getrennt sind. Dadurch können sowohl Abweichungen in der Geometrie des Auges als auch in seiner Struktur (Tumorbildungen, Fremdkörper usw.) im Reflexionsbild gut erkannt werden. Das Ultraschallreflexionsverfahren ist in der Augenheilkunde besonders dann von großem Nutzen, wenn das Auge wegen



Im Ultraschallechogramm ist die Lage der Plazenta gut zu erkennen. Die Aufnahme wurde in der 32. Schwangerschaftswoche gemacht.

anderer Erkrankungen für sichtbares Licht undurchlässig, eine Untersuchung mit dem Augenspiegel also nicht möglich ist.

Ultraschall wird bereits seit langem zur Suche nach Fremdkörpern angewendet. Er gestattet, selbst 1 mm lange und 0,1 mm dicke Splitter nachzuweisen, die mit Röntgenstrahlung nicht zu erkennen sind. Gut erkennbar sind Netzhautablösungen; das ist besonders dann wichtig, wenn z. B. das Auge wegen Grauen Stars mit üblichen optischen Geräten nicht untersucht werden kann. Im Ultraschall-echogramm können auch Lage und Größe von Tumoren gut ausgemacht werden.

Bei einer anderen Gruppe von Ultraschallanwendungen, als sie die diagnostischen Verfahren (mit Ultraschallintensitäten unter 50 W/cm^2) darstellen, tritt an den Bestrahlungsstellen eine so hohe Schallintensität auf, daß sie bereits zerstörend wirkt, natürlich mit einem bestimmten therapeutischen Ziel. Zu dieser Gruppe gehört auch die Ultraschallchirurgie, die vor allem in der Neurochirurgie angewendet wird, wobei durch Fokussierung der Strahlungsbündel mehrerer Schallköpfe in einem definierten Punkt des Gehirns eine Ultraschallintensität von ungefähr 1000 W/cm^2 erzeugt werden kann. Durch Variation der Behandlungsdauer kann die Temperatur der im Brennpunkt liegenden Gewebe bei einer Genauigkeit von $\pm 0,3\text{ K}$ eingestellt werden. Durch die hohe Intensität des Ultraschalls werden die im Brennpunkt liegenden Gewebeteile zerstört. Nach diesem Verfahren kann man Krankheiten heilen, die ihre Ursache in einer pathologischen Funktion irgendeines Bereichs des Zentralnervensystems haben (z. B. die Parkinsonsche Krankheit, die Hyperkinese, Phantomschmerzen bei Amputierten, unzugängliche Tumore). Dieses chirurgische Verfahren hat den Vorteil, daß es völlig blutlos ist und der operierte Patient praktisch auf eigenen Füßen den Operationsraum verlassen kann. Die Ultraschalldosis kann genau eingestellt werden, der zu zerstörende Bereich kann eine beliebige Form haben, und die Wirkung des Ultraschalls ist selektiv, weil das vaskuläre System selbst bei hoher Ultraschallintensität nicht geschädigt wird, obwohl die grauen und die weißen Hirnbereiche im Brennpunkt zersetzt werden.

Auch in der Stomatologie wird die Ultraschallenergie angewendet. In Analogie zu den industriellen Ultraschallbohrgeräten wurden Ultraschallzahnbohrer entwickelt. Mit solchen Bohrern können die im Zahnloch befindlichen und in einer Flüssigkeit suspendierten Schleifmittelteilchen in hochfrequente Schwingungen versetzt werden. Da man diese mechanischen Schwingungen nicht fühlen kann und auch keine nennenswerte Wärme erzeugt wird, ist das Bohren mit einem solchen Gerät fast schmerzfrei.

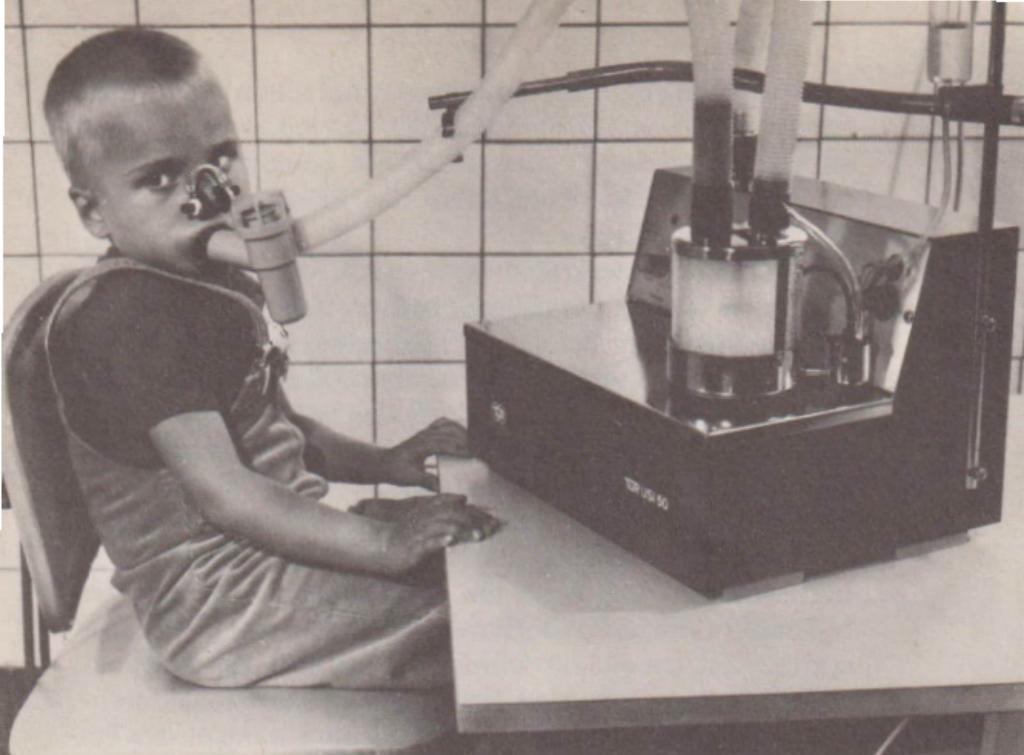
Mit Erfolg werden in der Stomatologie Ultraschallgeräte zur Entfernung des Zahnteins eingesetzt. Mit dem Schallkopf eines solchen Geräts braucht man die abgelagerte

Zahnsteinschicht kaum zu berühren, und schon löst sie sich leicht ab. Dieses Verfahren hat den Vorteil, daß die Zahnemaille nicht verletzt wird, die Zähne keine mechanische Einwirkung erleiden und auch das kranke Zahnfleisch nicht beeinträchtigt wird.

Auch bei Steinerkrankungen wurde versucht, die mechanische Wirkung des Ultraschalls zu nutzen. Ergebnisse wurden vor allem bei der Zerkleinerung von Gallen- und Nierensteinen erzielt. Im Versuchsstadium befindet sich auch noch das Ultraschallskalpell, das im wesentlichen ein mit Ultraschall in Schwingungen versetztes Skalpell darstellt und dadurch bedeutend leichter durch die Gewebe geführt werden kann, weil der Widerstand gegen das Eindringen der Klinge durch die longitudinalen Schwingungen herabgesetzt wird. Auch ein nach ähnlichem Prinzip arbeitendes Gerät zum Einführen der Nadeln von Injektionspritzen ist entwickelt worden. Hier führt die Einstichnadel die longitudinalen Schwingungen aus und durchsticht dadurch leichter die Hautschichten, kann besser gezielt werden, und der Einstich ist weniger schmerhaft.

Große Bedeutung hat die Ultraschallenergie in der Aerosoltherapie, bei der durch Inhalation die Medikamente in die Luftwege des Patienten gebracht werden. Ein Aerosol ist eine Suspension von sehr kleinen festen oder flüssigen Teilchen in einem Gas. Der Durchmesser der suspendierten Teilchen muß im Bereich von einigen Mikrometern liegen, weil größere nicht in die Alveolen gelangen können, sondern sich bereits in den oberen Luftwegen ablagern. Sind sie dagegen kleiner, dann dringen sie in die Lungenbläschen ein, aus denen sie beim folgenden Ausatmen wieder herausgetragen werden. Bei den modernsten Geräten wird die mechanische Wirkung der Ultraschallenergie genutzt. Mit Hilfe der fokussierten Strahlung eines kalottenförmigen Bariumtitanatkristalls kann ein sehr kleiner Teilchen enthaltender Flüssigkeitsnebel gebildet werden. Durch die richtige Wahl der Viskosität der zu zerstäubenden Flüssigkeit und der Intensität des Ultraschalls kann man die Teilchengröße beliebig regeln. Die Aerosoltherapie wird z. B. zur Heilung von Asthmaleidenen mit Erfolg angewendet.

Für verschiedene Mechanismen zur Führung von Blin-



Das Ultraschall-Inhalationsgerät TuR US 50 erzeugt zur dosierbaren Einzelinhalaion Ultraschallaerosole mit hoher Tiefenwirkung.

den wird Ultraschall ebenfalls genutzt. Mit solchen Mechanismen sollen sich Blinde im Straßenverkehr orientieren können. Von einem kleinen batteriegespeisten Gerät werden Ultraschallwellen gesendet, die von in der Nähe befindlichen Hindernissen reflektiert werden. Die Reflexionsdauer ist von der Entfernung des Hindernisses abhängig. Bei nahen Hindernissen gibt das Gerät ein Tonsignal, oder ein Vibrator in der Hand der blinden Person zeigt das Vorhandensein und die Entfernung dieses Hindernisses an. Es wurden auch Blindenführungsgeräte entwickelt, die in Brillen eingebaut sind und bis auf Entfernnungen von 6 bis 8 m Hindernisse anzeigen. Der Benutzer solcher Geräte kann die Ultraschallwellen durch Bewegen seines Kopfes in die gewünschte Richtung lenken. Der Charakter von mit dem Kopfhörer wahrnehmbarem Schall ist von der Größe und der Gestalt des reflektierenden Objekts abhängig.

Welche Töne erzeugt das Herz?

In unserem Organismus spielen sich zahlreiche physiologische Prozesse ab, die nicht nur von elektrischen, sondern auch von anderen physikalischen Phänomenen begleitet werden. Das Herz erzeugt z. B. während seiner Tätigkeit Töne, auf die Körperflüssigkeiten wirkt ein unterschiedlicher Druck usw. Durch die Bestimmung der physikalischen Größen können wir wichtige Daten über den Gesundheits- oder Krankheitszustand des Organismus gewinnen. Diese Daten können wir mit elektronischen Mitteln messen. Hierzu ist es jedoch erforderlich, die unterschiedlichen Symptome vorher in elektrische Prozesse umzuwandeln. Diesem Ziel dienen die verschiedenen Wandler. Zum Beispiel dient zur Umwandlung der Herztöne in elektrische Signale das Herzschallmikrophon, zur Umwandlung des Blutdruckes in elektrische Signale der piezoelektrische Wandler.

Sehen wir uns einige interessante Beispiele an. Zuerst sprechen wir über den Phonokardiographen.

Schon der griechische Arzt Hippokrates, der vor mehr als 2000 Jahren lebte, beschrieb die Auskultation, d. h. das Abhören des Brustkorbes. Auch heute spielt diese Untersuchungsmethode keine geringere Rolle. Dank der Elektronik ist ihre Bedeutung noch gewachsen. Besonders die die Herztätigkeit begleitenden Geräusche sind zur Feststellung der Regelwidrigkeiten der Herztätigkeit sehr wichtig.

Die während der Herztätigkeit entstehenden Töne werden durch die Herzmuskulatur, die Herzklappen und die Sehnenbogen, durch die sich dem Herzen anschließenden Schlagadern und selbst durch das strömende Blut

hervorgerufen. Diese Töne erscheinen auch auf der Wand des Brustkorbes. Die Töne, die der Arzt beim Abhören mit dem bloßen Ohr oder mit dem als Resonator arbeitenden Stethoskop wahrnimmt, hängen nicht nur von der gesunden oder kranken Herztätigkeit ab, sondern auch vom subjektiven Gehör des Arztes.

Die sich aus der relativen Unempfindlichkeit des Ohres ergebenden Probleme kann man mit dem elektronischen Stethoskop überbrücken. Dies ist ein Apparat, der mit einem Mikrophon die Herztöne auffängt und sie nach einer elektronischen Verstärkung in einer Hörmuschel oder einem Lautsprecher hörbar werden läßt. Das Gerät hat den großen Vorteil, daß der Arzt die Verstärkung seinem eigenen Gehör entsprechend einstellen kann. Wenn er sich z. B. bei einem Straßenunfall durch Abhören ein Bild von der verletzten Herztätigkeit machen muß, dann kann das elektronische Stethoskop auch mit einer solch großen Lautstärke dienen, daß der Arzt sogar im Straßenlärm die schwachen Herztöne genau beobachten kann. Leider kann man Herztöne aus dem für das menschliche Ohr nicht wahrnehmbaren Frequenzbereich mit einem einfachen elektronischen Stethoskop auch nicht hörbar machen.

Hier hilft dem Arzt ein Gerät, das als Phonokardiograph bezeichnet wird. Es macht nämlich die Herztöne, und zwar auch die mit dem Ohr nicht wahrnehmenden, sichtbar. Das geschieht so, daß man von der Brustkorbwand mit einem sehr empfindlichen Mikrophon die Herztöne auffängt und verstärkt. Diese verstärkten Signale werden mit einem Registrierapparat auf einem sich bewegenden Papier- oder Filmstreifen fixiert. So kann man auch die feinen Eigentümlichkeiten der Herztöne untersuchen.

Von großer Bedeutung in der Phonokardiographie ist die Möglichkeit, die Herztöne auf Frequenzbereiche aufzulösen, die gesondert überprüfbar sind. Dies ist deshalb nützlich, weil die Töne des gesunden Herzens erfahrungsgemäß weniger hohe Frequenzen enthalten, sie ähneln eher den musikalischen Tönen. Demgegenüber entstehen im kranken Herzen turbulente Strömungen, und diese sind mit dem Auftreten höherer Frequenzkomponenten verbunden. Wenn man also mit dem Phonokardiographen die niederen und höheren Frequenzbereiche gesondert prüfen kann,

dann gibt das von vornherein eine Information darüber, ob das Herz gesund ist oder nicht. Natürlich ist die Auswertung der Phonokardiogramme eine viel kompliziertere Aufgabe, und der Arzt, der die Untersuchung durchführt, muß Hunderte von Phonokardiogrammen ausgewertet haben, um schnell und zuverlässig die wahrgenommenen kranken Herztöne erklären zu können. Eines jedoch ist sicher, durch den Phonokardiographen ist eine genauere und bestimmtere Antwort möglich als beim Abhören mit dem Ohr, obwohl auch der sehr erfahrene Arzt auf diese Methode nicht verzichten kann.

Die von der Brustkorbwand abgeleiteten Herztöne sind nicht streng identisch mit den im Herzen entstandenen Tönen. Die schallschluckende Eigenschaft der in der Brusthöhle befindlichen Organe und die Filtereigenschaft der Brustkorbwand verzerrn nämlich die ursprünglichen Herztöne. Das Charakteristikum dieser Verzerrung ist, daß wir in Richtung höherer Frequenzen immer kleinere Amplituden erhalten. Dieser Umstand stört bei der Beobachtung mit dem menschlichen Ohr nicht, weil das Ohr eben für Töne höherer Frequenzen empfindlicher ist. Das »Ohr« des Phonokardiographen dagegen ist linear, es mißt also unabhängig von der Frequenz Töne gleicher Wellenbreite als Töne gleicher Stärke, d. h., sie müssen künstlich verzerrt werden, damit an der Auswertung die tieferen und höheren Herztöne gleichbedeutend »teilnehmen«. In der Elektronik sind solche Aufgaben mit Frequenzfiltern verhältnismäßig leicht zu lösen. Da aber die Filterwirkung der Brustkorbwand von Individuum zu Individuum wechselt, wäre es manchmal – wenn auch nicht während der Routineuntersuchungen – notwendig, die Herztöne an ihrem »Ursprungsort« zu beobachten. Auch dafür eröffnet sich durch die moderne, mit Miniaturelementen arbeitende Elektronik eine Möglichkeit. Es werden nämlich winzige Herzschallmikrophone von 2 bis 3 cm Durchmesser hergestellt, die man durch die zum Herzen führenden Venen in das Herz einführen kann.

Temperaturmessung im Dienst der Diagnostik

Es braucht nicht betont zu werden, welche Bedeutung der Messung der Temperatur in der Arbeit des Arztes kommt. Ein jahrhundertealtes Mittel dafür ist der billige, leicht zu handhabende und einfache Quecksilbermesser. Neben seinen Vorteilen sind die Nachteile, die seinen Anwendungsbereich einschränken, weniger bekannt. Diese sind: Er hat ein verhältnismäßig großes Ausmaß, seine Masse ist entsprechend, daher braucht er mehrere Minuten, um die richtige Temperatur anzuzeigen; er entzieht dem zu messenden Bereich viel Wärme und verfälscht so das Meßergebnis (daher muß man das Quecksilberthermometer mehrere Minuten in der Achselhöhle behalten, damit der Organismus die Wärmemenge, die durch das kalte Thermometer entzogen worden ist, ersetzen kann; dazu braucht man die lange Zeit, denn das Instrument würde sich bereits innerhalb von zwei bis drei Minuten einstellen); man kann mit ihm nur in bestimmten Hohlräumen des Körpers die Temperatur messen (Achselhöhle, Darmausgang, Mundhöhle); diese sind zur Temperaturmessung geeignet, obwohl den Arzt neuerdings auch die Temperatur anderer Körpergegenden interessiert (Hautoberfläche, Magen, Luftröhre oder Venen). Weitere Nachteile sind, daß das Thermometer zerbrechlich und das Quecksilber, das aus dem zerbrochenen Thermometer ausläuft, giftig ist. Außerdem könnte der Kranke mit dem Thermometer auch »manipulieren«, indem er das Meßergebnis verfälscht, je nachdem, ob er kräcker oder gesünder als in Wirklichkeit erscheinen will.

Elektronische Thermometer, die entweder ein Thermoelement oder neuerdings einen Halbleiter (Thermistor) als



Das elektrische Arztthermometer mißt nicht nur in der Achselhöhle schneller und genauer das Fieber, sondern ist auch zur Bestimmung der Temperatur geeignet, die im Magen oder zwischen den Muskeln herrscht.

Wärmefühler benutzen, haben derartige Nachteile nicht.

Das wärmeempfindliche Element, das sehr klein ist, ermöglicht z. B. auch, daß man es in eine schmale Injektionsnadel einbaut, und so kann man den Wärmefühler zwischen die Muskeln stechen, wo man die Wärmewirkung der örtlichen Prozesse prüfen kann. Mit einer solchen Nadel kann man sogar in die Schädelhöhle eindringen und dort z. B. die Liquor-Raum-Temperatur messen. Ebenfalls ist es gelungen, mit einem solchen Thermometer festzustellen, daß zur Zeit des Eireifeprozesses in der Gebärmutter der Frau eine höhere Temperatur herrscht.

Es gelang schließlich auch, die Temperatur der Hautoberfläche zu messen. Eine bemerkenswerte Tatsache ist z. B., daß die Hauttemperatur der Frauen um fast 1°C niedriger ist als die der Männer, obgleich ihre Temperatur (rektal und axillar gemessen) meist gleich ist.

Die Ärzte betrachteten auch schon vor der Erfindung des Quecksilberthermometers die Temperatur der Körperoberfläche als eine sehr wichtige diagnostische Information. So suchten z. B. Ärzte des alten Griechenland die Stelle der tiefer liegenden Geschwüre, indem sie die Körperoberfläche dünn mit feuchtem Schlamm bestrichen und beobachteten, an welcher Stelle dieser zuerst trocknete. Aus der Zeit des Hippokrates erhalten gebliebene bildliche Darstellungen zeigen, daß griechische Ärzte mit der Handfläche die Körperoberfläche des Kranken betasteten, um sich über die Temperaturverhältnisse der Körperoberfläche zu informieren.

Im wahrsten Sinne des Wortes ist auch das Bild, das durch die unterschiedliche Trockenzeit der Schlammsschicht entsteht, ein Thermogramm. Im 19. Jahrhundert verwendete Sir John Herschel, der Sohn Sir William Herschels, des Entdeckers der Infrarotstrahlung, erstmals die Bezeichnung Thermographie, als er »Bilder« erhielt, indem er auf Papierstreifen, die mit einer in Alkohol vermischten Rußschicht bestrichen waren, Infrarotstrahlung projizierte.

Im Jahre 1929 stellte der Deutsche Marianus Czerny das erste infrarotempfindliche Gerät her. Obwohl es recht umständlich arbeitete, ist es doch erwähnenswert.

Czerny benutzte zu seinen Versuchen Germaniumlinsen, weil die üblichen Glaslinsen einen großen Teil der infraroten Strahlen nicht durchlassen. Er konstruierte ein Lichterzeugungsgerät, das zwei luftverdünnte Kammern hatte. Diese wurden durch eine dünne Folie aus Nitrozellulose getrennt. In die eine Kammer goß er erhitztes Öl, dessen Dämpfe sich ebenso auf der Folie niederschlugen, wie sich im Winter die Innenseite des Fensters beschlägt. In der anderen Kammer bildete ein optisches System auf der Rückseite der Folie das von der Infrarotstrahlung ausgesandte Bild eines Gegenstandes ab. Wo sie von mehr Infrarotstrahlen erreicht wurde, erwärme sich die Folie besser. An anderen Stellen dagegen blieb sie kühler. Dementsprechend war über der Ölkammer der Öldampf, der sich auf der Folie niedergeschlagen hatte, an den wärmeren Stellen dünner, an den kühleren Stellen aber dicker. Wenn er diesen Film mit sichtbarem Licht beleuchtete, dann

entstanden Farbringe, wie sie auf den Ölflecken, die auf der Wasseroberfläche schwimmen, zu sehen sind. Aus diesen Ringen konnte er herauslesen, welche Stellen der Folie mehr und welche weniger infrarote Bestrahlung erhalten hatten. Dieses Bild konnte man auch fotografieren, und nach seiner Eichung war sogar die Temperatur einzelner Punkte des untersuchten Gegenstandes festzustellen.

Die Thermovision, die sichtbar werdenden Positionen der »Wärmelandkarte«, kannte man auch schon im zweiten Weltkrieg. Mit Hilfe des Mittels, das man »Seher im Dunkel«, Noktovisor, nannte, war es auch möglich, nachts die erhitzen Rohre der Geschütze zu überwachen.

Die Grundlage der modernen Thermographie bildete die Erkenntnis von J. D. Hardy aus dem Jahre 1954. Er bewies, daß die menschliche Haut die auf sie fallenden Infrarotstrahlen absorbiert und gleichzeitig eine ähnlich vollkommene infrarote Strahlungsfähigkeit besitzt. Dieses Prinzip wird ausnahmslos von allen thermographischen Geräten angewandt.

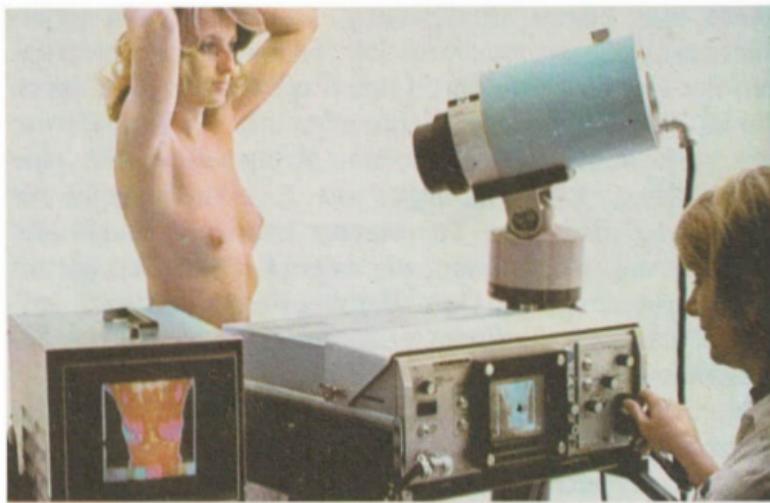
Ein Spiegelsystem projiziert die von der Körperoberfläche ausgesandte infrarote Strahlung auf die wichtigste Einheit des Thermographen, auf den Detektor. Für die infrarote Strahlung enthält der kleine Oberflächendetektor eine empfindliche Schicht. Ein solcher Stoff ist z. B. Indium-Antimon, das auf die Wirkung infraroter Strahlen hin seine elektrische Leitfähigkeit verändert, und zwar leitet es um so besser den Strom, je stärker die infrarote Einstrahlung ist. Es entsteht ein elektrisches Signal von wechselnder Größe, das auf dem Bildschirm des Oszilloskops dargestellt wird. Auf diesem kommt durch die vom Kranken ausgesandte infrarote Strahlung ein verhältnismäßig helles schwarz-weißes Bild zustande. Es hängt also von der Temperatur der Körperoberfläche ab, ob der Ton des Bildes dunkler oder heller (grau) wird.

Wie kann das Gerät z. B. den gesamten Brustkorb des Kranken abtasten? Der Detektor »sieht« nämlich auf einmal nur einen verhältnismäßig kleinen Teil der Körperoberfläche. Zur Abtastung verwendet man das bei Fernsehaufnahmen angewandte Prinzip der Bildauflösung. Danach »tastet« der Detektor die zu untersuchende Ober-

fläche ab, indem er in horizontaler Reihenfolge abstrahlt und danach eine Zeile tiefer rückt. Er verfährt in genau derselben Reihenfolge, wie wir eine Buchseite lesen. Ein doppeltes Spiegelsystem gewährleistet den Zeilenabbruch. Wenn sich der Drehspiegel, der die Form des Querschnitts eines Sechseckes hat, schnell dreht, dann »sieht« der Detektor von dem Kranken eine horizontale Linie. Aber gleichzeitig bewegt sich auch der andere Spiegel, und der vorher gewonnene Bildpunkt verschiebt sich auch in vertikaler Richtung. Infolge der gleichzeitigen Bewegung dieser beiden Spiegel löst sich das durch das Gerät wahrgenommene Bild in ungefähr 4000 Elementarpunkte auf. Von all dem bemerkt das Auge des untersuchenden Arztes nichts, weil sich das Bild auf dem Bildschirm des Gerätes in genau derselben Form zusammensetzt und die Nachbeleuchtungszeit des darstellenden Bildschirmes größer ist als die Zeit der Bildzusammensetzung. Auf dem Bildschirm erhalten wir also eine Wärmelandkarte, auf der den wärmeren Punkten eine hellere und den kälteren eine dunklere Schattierung entspricht.

Der infrarotempfindliche Detektor ist ein Indium-Antimon-Kristall von ungefähr $0,5 \text{ mm} \cdot 0,5 \text{ mm}$ Oberfläche, der auf -196°C abgekühlt wird, um das elektrische »Rauschen«, das von seiner eigenen Temperatur abhängt, einzuschränken. Die Abkühlung erfolgt mit flüssigem Stickstoff.

Oftmals wird die Bewertung des Thermogramms dadurch erschwert, daß die Stellen von unterschiedlicher Temperatur nur in ihren unterschiedlichen Grautönen voneinander abweichen. Die Einführung des Farbfernsehens bot eine interessante neuere Möglichkeit an. Wir benutzen zur Darstellung des Thermogramms die Bildröhre eines Farbfernsehgerätes, und die verschiedenen Farben vertreten die Oberflächen unterschiedlicher Temperatur. Wir müssen noch betonen, daß es sich hier nicht um natürliche Farben handelt, haben doch diese nur in einem für unsere Augen sichtbaren Spektrum einen Sinn. Die infraroten Strahlen aber nimmt unser Auge nicht wahr. Wenn wir jedoch den unterschiedlichen Temperaturen willkürlich bestimmte Farben zuordnen, erleichtern wir im großen und ganzen die Beurteilung des erhaltenen Thermo-



Thermographie zur Früherkennung des Brustkrebses mit Hilfe einer Fernsehanlage. Auf dem Monitor erscheint ein farbiges Bild, das Thermogramm.

gramms. Gewöhnlich bezeichnen die dem Rot ähnelnden, als »warm« bezeichneten Farben die wärmeren Teile, während die Schattierungen des psychologisch als »kalte Tönung« beurteilten Blaus die kälteren Teile bedeuten. So erhalten wir sehr anschauliche, farbige Aufnahmen, die auch dem Nichtfachmann schon von weitem die ungleiche Temperaturverteilung verraten.

Aus den Thermogrammen konnte man noch mehr herauslesen, als man die Isotherme, d. h. Linien, die Punkte gleicher Temperatur verbinden, auch auf das Bild brachte. Aus diesen Linien kann man nicht nur darauf schließen, welche Teile kälter oder wärmer sind, sondern auch genau die Temperatur der einzelnen Teile bestimmen.

Die Thermographie verwendete man zuerst zur Früherkennung des Brustkrebses. Ray N. Lawson bzw. J. Gershon-Cohen, der Vater der Thermographie, haben in den fünfziger Jahren durch Messen festgestellt, daß die Temperatur der krebskranken Brust um 1 bis 2°C höher ist als die Temperatur des entsprechenden Punktes einer gesunden Brust. Zu ihren ersten Versuchen verwendeten sie jedoch noch nicht einen Thermographen, sondern ein Quecksilberkontaktthermometer bzw. ein elektrisches

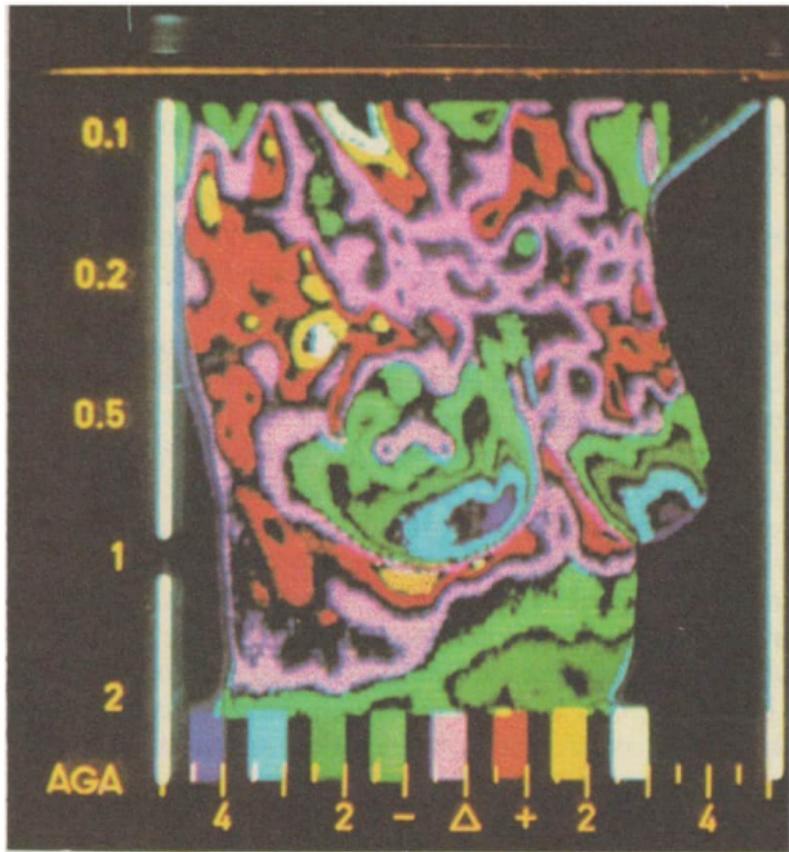
Gerät zur Temperaturmessung, das mit einem Oberflächenfühler versehen war. Die Temperaturveränderungen der Haut werden durch den Stoffwechsel oder durch die im Kreislaufsystem auftretenden lokalen Veränderungen verursacht, z. B. durch eine Krebswucherung, eine Entzündung, innere Blutungen usw. Eine im Vergleich zur Umgebung niedrigere Temperatur kann auf krankhafte Veränderungen hinweisen, wie sie bei Krankheiten, die mit der Verringerung der Durchblutung verbunden sind, auftreten, z. B. im Falle einer Gefäßverengung, einer Arterienverkalkung usw.

Natürlich muß man bei der Auswertung der Daten des Thermogramms vorsichtig sein. Es gibt auch Fälle, wo auf der Körperoberfläche eine höhere oder niedrigere Temperatur gemessen wird, und doch kann nicht die Rede von einer Krankheit sein. Die Temperatur der Brust einer schwangeren Frau ist höher als normalerweise, und das ist doch auf keinen Fall ein krankhafter Prozeß. Den Temperaturunterschied zwischen den symmetrischen Körperoberflächen muß man z. B. ebenfalls vorsichtig bewerten. Die in Gebrauch befindlichen thermographischen Geräte sind sehr empfindlich, sie weisen schon einen Temperaturunterschied von $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ aus. Solche geringen Differenzen haben jedoch heute noch keinerlei diagnostische Bedeutung.

Während der Herstellung des Thermogramms muß man bei der Plazierung des Gerätes und bei der Temperierung der kranken Körperoberfläche sorgsam vorgehen. Im



Thermogramm eines Kopfes



Farbiges Thermogramm mit der Eichskala zum Erkennen der Temperaturabweichungen

Untersuchungszimmer dürfen sich keine Heizkörper (Wärmestrahl器) befinden, und den Kranken muß man etwa fünf bis zehn Minuten unbekleidet warten lassen. So können sich die Temperaturabweichungen, die durch die Kleidung verursacht wurden, ausgleichen.

Die Thermographie ist auch in der Geburtshilfe zum Nachweis der Schwangerschaft und zur Bestimmung der Lage der Plazenta anwendbar. In der Dermatologie kann man mit ihrer Hilfe auch Temperaturabweichungen, die durch einige Hautkrankheiten verursacht werden, feststellen. Sie kann auch nach der Abheilung größerer Wunden Anwendung finden, und sie ist auch ein wertvolles Mittel beim Nachweis der pharmazeutischen Wirkung bei

den unterschiedlichen Arzneimitteluntersuchungen, wenn sich das Medikament auf den Kreislauf oder auf die Hauttemperatur auswirkt. Auch bei der Aufklärung verschiedener Entzündungen, so z. B. von Gelenkentzündungen, ist sie ein nützliches Hilfsmittel.

Während der meisten Infrarotuntersuchungen genügt es, den Bildschirm des Monitors, der die Wärmelandkarte darstellt, zu fotografieren, z. B. mit einem Fotoapparat des Polaroidsystems, um einen Überblick über die Temperaturverteilung zu bekommen. In bestimmten Fällen aber ist es wünschenswert, den Temperaturveränderungen auch auf den Grund zu gehen. Dann wird im allgemeinen mit einer Filmkamera das auf dem Monitor wechselnde Bild aufgenommen und später zurückgespielt. Zu einzelnen Geräten benutzt man einen Videorekorder, der ähnlich wie beim Speichern des Fernsehprogramms die Veränderungen des Thermogramms auf ein Magnetband bringt. Danach kann man von diesem Band die Aufnahme zu jeder Zeit zurückspielen. Ein besonderer Vorteil dieser Lösung ist, daß das Thermogramm vom Videomagnetophon sogar auf den Schirm eines Fernsehgerätes aufspielbar ist.

Ein Automat mißt den Blutdruck

Die Stärke und Veränderung des Druckes im arteriellen Kreislauf ist bei der Diagnose fast jeder Krankheit von entscheidender Bedeutung. Der Internist mißt den Blutdruck während der allgemeinen Untersuchung. Ferner wird der Blutdruck bei der Untersuchung, die einer Operation vorausgeht, während der Operation und in der kritischen Phase danach gemessen. Der Sportarzt ist neugierig auf den Blutdruck des Wettkämpfers vor und nach dem Training, und für den Spezialisten der Weltraummedizin ist der Blutdruck des Kosmonauten wichtig.

Im alltäglichen Sinne ist der Blutdruck des gesunden Menschen »konstant«. Sein aktueller Wert hängt allerdings von der physischen und seelischen Belastung, von der Tageszeit und auch vom Wetter ab, ja infolge der Witterung kann der Blutdruck von einem Augenblick zum anderen schwanken. Der Blutdruck hat während seiner rhythmischen Schwankungen im lebenden Organismus niemals den Wert Null, sondern er wechselt zwischen einem Maximum und einem Minimum. Da das Maximum mit der Zusammenziehung des Herzens (Systole) zusammenhängt, nennt man den höchsten Schwankungswert systolischen Blutdruck. Der geringste Druck, der mit der Erschlaffung und Entspannung (in der Sprache der Medizin: mit der Diastole) zusammenhängt, wird als diastolischer Blutdruck bezeichnet. Wenn der Arzt also sagt, daß unser Blutdruck z. B. 140/90 ist, dann bedeutet das, daß der systolische Druck 140 (und zwar in Quecksilbermillimeter gemessen) und der diastolische Druck 90 mmHg beträgt.¹ Beide An-

¹ 100 mm Hg = 13,5 kPa (kPa = Kilo-Pascal)

gaben spielen eine wichtige Rolle bei der Beurteilung des Zustandes des Herzens und des Blutkreislaufsystems sowie einer eventuellen Krankheit. Wenn man z. B. im alltäglichen Sinne von einem »hohen Blutdruck« spricht, dann denkt man vor allem an den höheren Wert, der vom normalen systolischen Druck abweicht. In der Beurteilung unseres Blutdruckes kommt dem Wert des diastolischen Druckes jedoch eine ebenso wichtige, wenn nicht noch wichtigere Rolle zu. Die allgemein bekannte »Regel«, daß der Blutdruck, in mmHg gemessen, um 100 höher als das Lebensalter sein soll, bezieht sich ebenfalls auf den systolischen Blutdruck. Dieser Zusammenhang ist aber nur annähernd gültig. Ein Blutdruck, der von der Regel abweicht, bedeutet also noch nicht unbedingt eine Krankheit. Während des Laufens z. B. erhöht sich der Blutdruck, damit der Organismus zum Ausgleich des größeren Bedarfs an Sauerstoff mehr Blut erhält.

Der Blutdruck hängt auch von der Stelle des Messens ab. Es ist also nicht gleichgültig, ob man ihn in einer großen Arterie, die sich in der Nähe des Herzens befindet (z. B. in der Hals- oder in der Armarterie), oder weiter vom Herzen entfernt (z. B. in der Beinschlagader oder in der Pulsader des Handgelenkes) mißt. Der Blutdruckwert ist also nur dann vollständig, wenn er auch aussagt, in welcher Ader er gemessen wurde. Je weiter wir uns vom Herzen entfernen (je mehr wir an der Peripherie messen), um so niedriger werden der systolische und der diastolische Wert, um so weniger schwankt der Druck. In den Haargefäßen (Kapillaren) des gesunden Menschen z. B. ist der Blutdruck konstant, der systolische und der diastolische Druckwert gleichen einander aus. Der Grund hierfür ist, daß die Wände der Arterien elastisch sind und so wie ein mechanischer Dämpfer wirken, der die Druckschwingungen ausgleicht. Wenn sich z. B. infolge einer Arterienverkalzung die Schlagadern versteifen, verlieren sie ihre Elastizität, dann hört ihre dämpfende Wirkung auf, und man kann auch in den Kapillaren eine Druckschwankung feststellen.

Bei der Zusammenziehung des Herzens fließt nahezu 1 dl Blut aus der linken Kammer in die Aorta und von dort in die Arterien. Die während des Ausstoßens auftretende

Druckerhöhung verbreitet sich mit einer Geschwindigkeit von ungefähr 100 m/s in den Adern. Daraus folgt, daß die sich vom Herzen entfernende Druckwelle ihren Maximalwert, d. h. den systolischen Druck, immer später erreicht. Im Vergleich zum Druckmaximum, das in der linken Kammer gemessen werden kann, zeigt sich z. B. der systolische Druck ungefähr 0,2 s später in den Arterien der Gliedmaßen. Infolge dieser Phasenverspätung zeigt sich der systolische Druck nicht zur gleichen Zeit an den verschiedenen Stellen des Arteriensystems, d. h., die Benennung weist nur darauf hin, daß der an den gegebenen Stellen gemessene systolische Druck infolge der Systole des Herzens zustande gekommen ist.

Für die Diagnose ist es wünschenswert, an den gegebenen Stellen die genauen zeitlichen Veränderungen des Blutdrucks zu registrieren. Mit den gegenwärtigen Methoden ist dies nur möglich, wenn wir das Blutgefäßsystem öffnen und ein Katheterrohr, eine Metallkanüle oder einen Miniatur-Druck-Transformator zu dem Punkt des Blutgefäßsystems führen (sogar bis in die Herzkammern), an dem wir messen wollen. Dieses direkte (blutige) Druckmeßverfahren ist ein kleinerer chirurgischer Eingriff.

Die indirekten (unblutigen) Blutdruckmeßverfahren haben ein etwas ungenaueres Ergebnis, weil sie nur zwei charakteristische Punkte der Zeitfunktion des Blutdruckes, den systolischen und den diastolischen Blutdruck, liefern. Trotzdem gehören sie zu den am häufigsten durchgeführten ärztlichen Messungen, und ihre Anwendungsbereiche erweitern sich immer mehr.

Dies wird auch dadurch bestätigt, daß sie außer ihrer traditionellen diagnostischen Anwendung eine wichtige Rolle in den sich neuerdings entwickelnden Methoden (z. B. bei der Intensivbeobachtung, in den mehrphasigen Reihenuntersuchungen, in der Luftfahrtmedizin usw.) erhalten.

Ein gemeinsames Charakteristikum der Geräte für die indirekte Messung des Blutdruckes ist, daß sie die Messung ohne ein Öffnen des Blutgefäßsystems ermöglichen. Am bekanntesten sind die üblichen Blutdruckmesser mit Quecksilbermanometer.

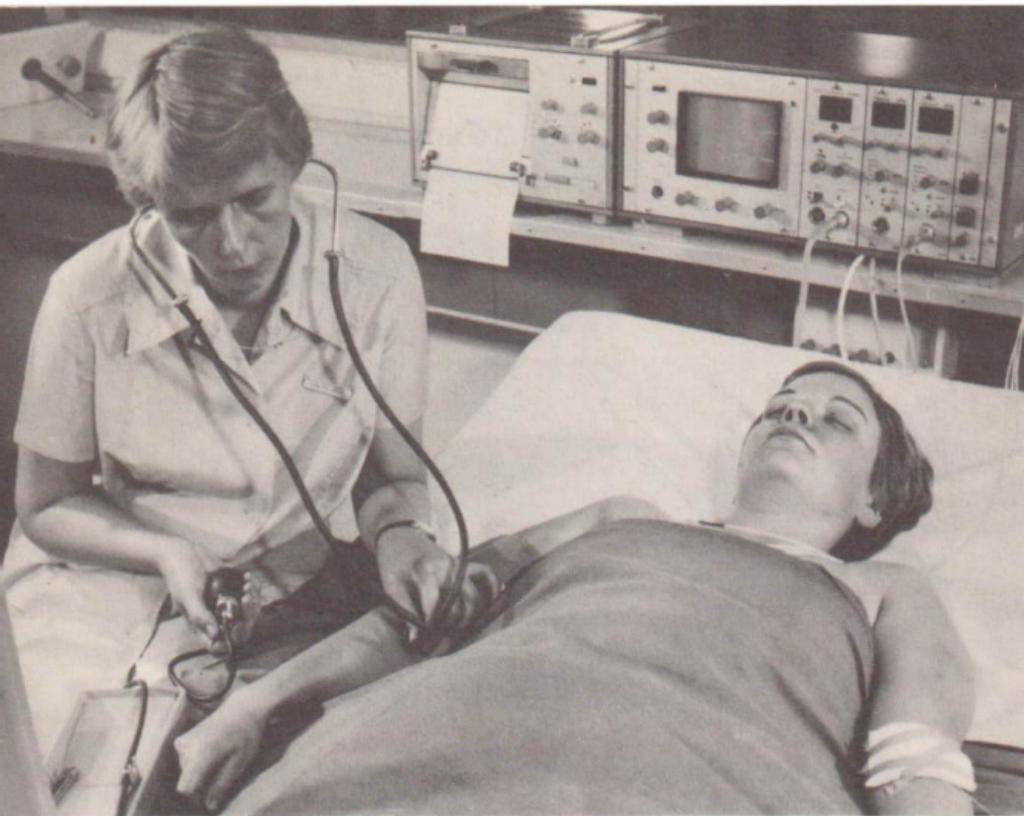
Auf dem Oberarm der untersuchten Person wird eine

Gummimanschette befestigt, die mit einem Gummiball aufgepumpt werden kann. In der Manschette wird ein Überdruck erzeugt, der höher ist als der systolische Druck in der sich darunter befindlichen Schlagader (in der Arterie). (Der in den Manschetten herrschende Druck wird durch ein an diese angeschlossenes Quecksilber- oder Dosenmanometer angezeigt.) Dieser Überdruck verschließt die Arterie während des gesamten Herzzyklus. Also fließt in ihr kein Blut. Danach wird durch das Öffnen eines Nadelventils langsam der Manschettendruck verringert. Wenn dieser den Wert des systolischen Druckes erreicht, öffnet sich die abgeschnürte Arterie für eine sehr kurze Zeit, und in ihr fließt Blut in den Unterarm. Mit der weiteren Verringerung des Manschettendruckes öffnet sich die Arterie im Rhythmus der Herztätigkeit für längere Zeit. Das geschieht so lange, bis der Manschettendruck unter den Wert des diastolischen Druckes sinkt. Von diesem Zeitpunkt an ist die Arterie während des ganzen Herzzyklus geöffnet.

Wenn man während dieses Prozesses feststellen kann, in welchem Augenblick der Manschettendruck mit dem systolischen bzw. diastolischen Druck übereinstimmt, dann kann man in diesem Augenblick den Druckwert ablesen. Zur Bestimmung dieser zwei Zeitpunkte wurden mehrere Verfahren ausgearbeitet. Am ältesten ist die von Riva-Rocci eingeführte Abtastmethode,. Sie beruht auf der Beobachtung, daß infolge des plötzlich beginnenden Kreislaufes in der Unterarmarterie eine Pulswelle wahrnehmbar ist, wenn der Manschettendruck unter den systolischen Druck sinkt. Mit dieser Methode kann man den systolischen Druck verhältnismäßig genau bestimmen.

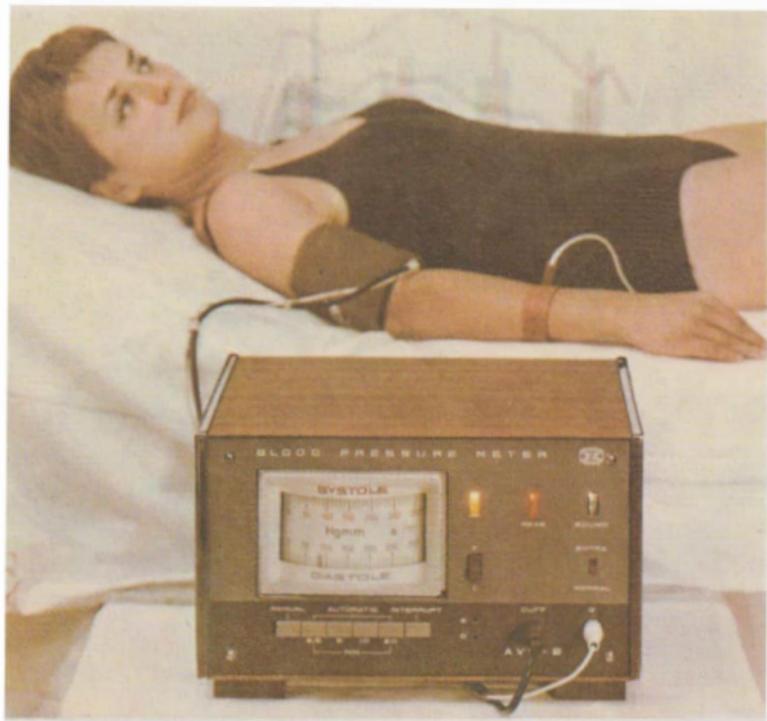
Am verbreitetsten ist in der indirekten Blutdruckmessung die Abhörmethode, die Beobachtung der Korotkow-Geräusche. Diese Töne hat der russische Physiologe Korotkow erkannt. Ihr Entstehungsmechanismus ist auch heute noch umstritten. Wahrscheinlich erzeugt in der abgeschnürten Ader der plötzlich einsetzende Blutstrom einen Wirbel, dessen Geräusch man in der Ellenbeuge mit dem über der Arterie aufgesetzten Phonendoskop wahrnehmen kann.

Solange der Manschettendruck über dem systolischen



Untersuchung mit dem RFT Biomonitor II

Druck liegt, hören wir natürlich keine Geräusche, denn die Manschette schnürt die Arterie zu. Wenn der Manschettendruck unter den systolischen Druck sinkt, dann öffnet sich die zugeschnürte Arterie für eine kurze Zeit, und eine geringe Menge Blut fließt unter der Manschette hindurch. Zu diesem Zeitpunkt ist in der Ellenbeuge ein kurzer, klickender Ton zu hören: ein Korotkow-Geräusch. Es ist das erste Geräusch, das nach der Lockerung der Manschette zu hören ist. Während der weiteren Senkung des Manschettendruckes dringen mit jedem Herzzyklus immer neue »Blutstöße« in den unter der Manschette liegenden Aderabschnitt, und damit sind gleichzeitig wieder Korotkow-Geräusche wahrnehmbar. Wenn der Manschettendruck den diastolischen Druck erreicht, öffnet sich die bisher z. T. zugeschnürte Arterie



Der automatische Blutdruckmesser misst den Blutdruck des Patienten automatisch in den im Gerät eingestellten Zeitabständen und markiert den jeweils gemessenen Wert vor der nächsten Messung.

völlig, der Blutstrom wird nicht mehr behindert, also hören auch die Korotkow-Geräusche auf. In dem Augenblick, in dem das letzte Korotkow-Geräusch zu hören ist, entspricht der Manschettendruck dem diastolischen Druck.

Das Phonendoskop muß sehr genau aufgesetzt werden, weil schon eine Abweichung von einigen Millimetern die Intensität der hörbaren Geräusche und damit die Zuverlässigkeit der Messung in bedeutendem Maße beeinflußt.

Der Vorteil dieser Methode ist, daß man auch den diastolischen Druck messen kann. Wenn der diastolische Druck erreicht ist, verschwinden nämlich die Korotkow-Geräusche oder klingen wenigstens ab.

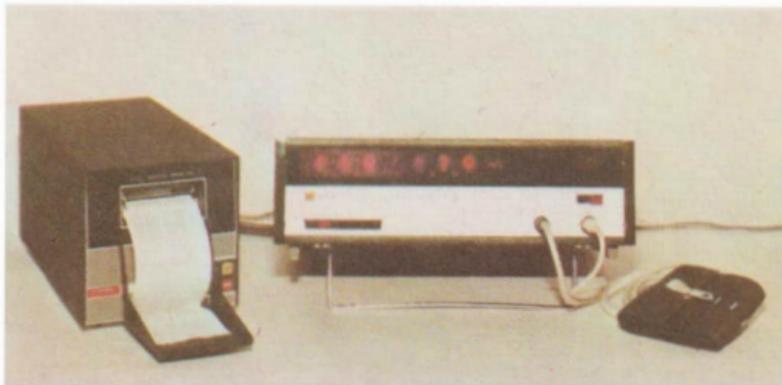
Ein schwacher Punkt der heute üblichen Messung mit dem Handblutdruckmesser ist die Beobachtung mit dem Phonendoskop. Die Wahrnehmung der Korotkow-Geräusche hängt nämlich von zahlreichen äußereren und inne-

ren Faktoren ab: Das Gehör, die Abgespanntheit sowie die Disposition des Arztes beeinflussen die genaue Beobachtung; die Störungen der Umgebung, die Resonatoreigenschaften des Phonendoskops erschweren die Beobachtung; die Genauigkeit der Messung wird beeinflußt durch die Dicke der Fett- und Muskelgewebe zwischen der Arterie und dem Phonendoskop, durch das Nachlassen der Elastizität der Arterienwand oder durch die Versteifung der Gefäßwand, durch Muskelvibration usw. Auch dadurch wird die Genauigkeit der Messung gestört, daß die Verringerung des Manschettendruckes nicht gleichmäßig abläuft oder daß die Messung verhältnismäßig lange dauert. So können sich die Kreislaufverhältnisse des abgeschnürten Körperteils in großem Maßstab verändern.

Bei der Lösung der Schwierigkeiten war es erforderlich, die manuell zu betreibenden Geräte im Interesse einer objektiveren Blutdruckmessung gegen elektronische Meßmethoden einzutauschen. In diesen elektronischen Geräten wird das Phonendoskop durch ein Mikrofon und durch einen nachgeschalteten elektronischen Verstärker vertreten.

Die elektronischen Blutdruckmesser sind – außer mit dem Vorteil objektiverer Messung – mit einem automatischen Leitungssystem ergänzt, und sie können leicht zu einem automatischen Meßgerät umgestaltet werden.

Ein in Ungarn hergestelltes digitales Blutdruckmeßgerät, bei dem ein Zahlendrucker die gemessenen Werte auf einen Papierstreifen druckt



Diese Geräte wiederholen den Meßprozeß selbsttätig in einer an den Geräten eingestellten Zeit. Ihre Anwendung ist dort erforderlich, wo bei einem einzigen Patienten wiederholt in kurzen Zeitabständen der Blutdruck gemessen werden muß, z. B. im Zustand nach einer Operation, während einer Intensivbeobachtung, zur Zeit der Einnahme stark wirkender Arzneimittel, während arbeitsphysiologischer Untersuchungen usw. Diese Geräte, die automatisch den Blutdruck messen, versieht man mit einer Reihe weiterer Ergänzungen. Man befähigt sie z. B. dazu, die gemessenen Daten selbstständig zu registrieren, bei großen, nicht zulässigen Änderungen der Blutdruckwerte durch Ton- und Lichtsignale zu alarmieren, die monotonen Veränderungen der gemessenen Daten rechtzeitig wahrzunehmen und zu signalisieren, die den gemessenen und signalisierten Blutdruckwerten entsprechenden elektrischen Signale zwecks weiterer Verarbeitung auszugeben sowie nach einem Knopfdruck zu jeder Zeit einen neuen Meßvorgang beginnen zu können, und das sogar aus der Ferne.

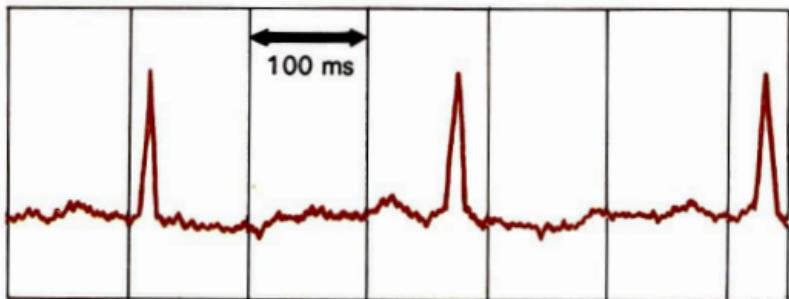
Biotelemetrie

In der Geschichte der medizinischen Wissenschaft hat zuerst Einthoven im Jahre 1906 eine Fernmessung durchgeführt. Mit seinem Namen ist die wissenschaftliche Begründung der Elektrokardiographie verbunden. Infolge der primitiven technischen Bedingungen zur Zeit der Jahrhundertwende waren seine Geräte ziemlich plump. Der Elektrokardiograph, den er zu seinen Untersuchungen benutzte, mochte 150 bis 200 kg gewogen haben. Einmal mußte er in einem 1,5 km von seinem Laboratorium entfernten Krankenhaus eine EKG-Untersuchung durchführen. Offensichtlich war nicht daran zu denken, das ungeschlachte Gerät in das Krankenhaus zu transportieren. Aber der Zustand des Kranken gestattete es auch nicht, daß man ihn zum Gerät brachte. Damals kam Einthoven auf die geniale Idee, das Gerät und den Kranken durch ein langes Kabel zusammenzuschalten. Da es sich um die Messung einer biologischen Quantität handelt, wurde der Name Biotelemetrie allgemein akzeptiert.

In engerem Sinne verstehen wir heute unter Biotelemetrie die Fernmessung ohne eine Leitung.

Diese Fernmessung wird heute Telemetrie genannt. Der erste, der mit einem tragbaren Sender experimentierte, war Griffin im Jahre 1950. Er entwickelte einen 250 g schweren Radiosender, um mit dessen Hilfe den Zug der Möwen zu beobachten. Sein Versuch scheiterte, weil die Möwen den noch relativ schweren Sender nicht tragen konnten.

Dagegen hatte schon im Jahre 1947 Holter von einem gelungenen Versuch am Menschen berichten können. Es gelang ihm, das Elektroenzephalogramm eines Radfahrers auf telemetrischem Wege festzuhalten. Die untersuchte



Auch in der medizinischen Forschung benutzt man die Fernmessung. In den Schädel der Versuchskatze ist ein Fernmeßsender eingebaut, mit dessen Hilfe in einer Entfernung von 10 bis 20 m der Blutdruck, die Herzfrequenz und die Geschwindigkeit des in der Gehirnarterie auftretenden Blutstroms des sich frei bewegenden Tieres registriert werden können.

Person fuhr mit dem 40 kg schweren Sendegerät auf dem Rücken im Laboratorium um einen Tisch herum Rad.

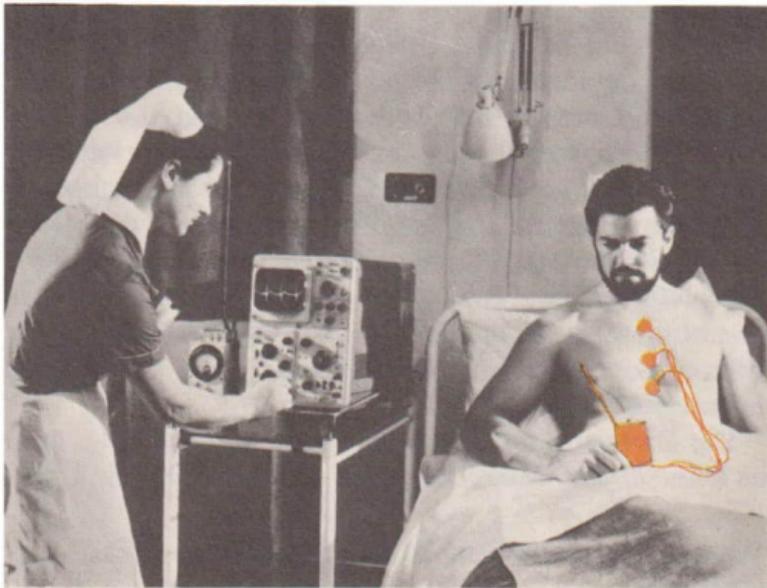
In den fünfziger Jahren gelang es – hauptsächlich dank der Transistortechnik –, auch die medizinischen Geräte in immer kleinerer Ausführung herzustellen. Also eröffnete sich die Möglichkeit zur routinemäßigen Anwendung der Biotelemetrie. Wie funktioniert so ein Gerät?

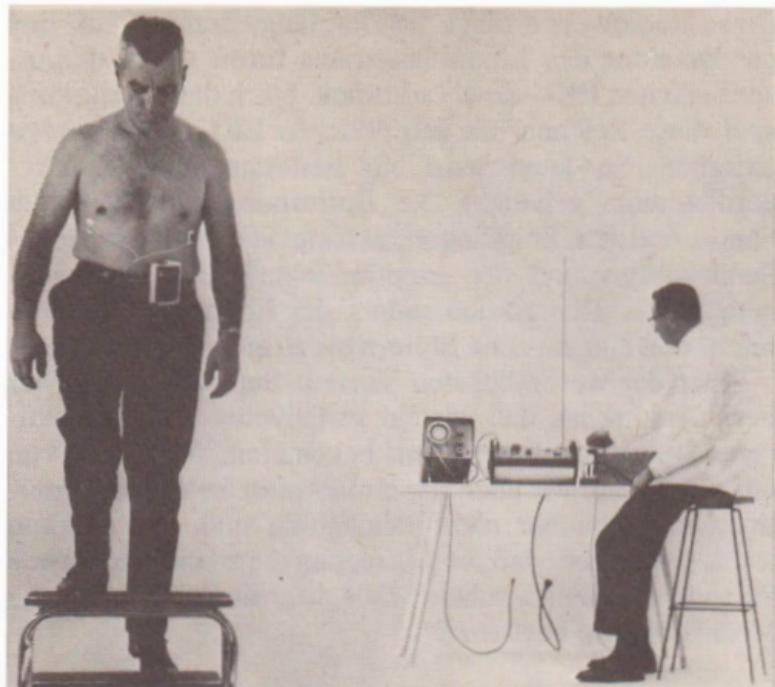
Auch hierbei nimmt man die Aktionsspannung des Herzens mittels auf der Körperoberfläche angeordneter Elektroden auf, die an unterschiedlichen Punkten des Brustkorbes angebracht werden, damit die Elektrodenkabel die Bewegung des Kranken nicht stören. Mit der aufgenommenen Spannung wird der EKG-Verstärker gesteuert. Die verstärkten Signale gelangen auf einen Modulator des Senderverstärkers, später strahlt die Antenne die modulierten hochfrequenten Zeichen in den Raum.

Diese Radiowellen fängt die Empfängerantenne auf, und der Detektor des Empfangsgerätes formt sie zu den ursprünglichen EKG-Zeichen zurück. Nach der Verstärkung sind diese Zeichen mit den üblichen EKG-Geräten registrierbar. So kann man ein herkömmliches Elektrokardiogramm erhalten. Die Entfernung zwischen dem Sende- und dem Empfangsgerät hängt von der Leistung des Sendegerätes und der Empfindlichkeit des Empfangsgerätes ab. Der Aktionsradius der üblichen Telemeter reicht von einigen zehn Metern bis zu einigen Kilometern.

Einer der wesentlichsten Vorteile der Anwendung der Fernmessung ist, daß wir ein verlässlicheres und objektiveres Untersuchungsergebnis bekommen. Wir wissen von uns selbst, daß wir auch der einfachsten ärztlichen Untersuchung gegenüber nicht gleichgültig sind, und es kann leicht geschehen, daß die Aufregung die zu untersuchende Person in einem solchen Maße beeinflußt, daß falsche Meßergebnisse entstehen.

Das Elektrokardiogramm des Kranken wird von einem (neben seiner Hand befindlichen) kleinen Sender zum Empfangsgerät auf dem fahrbaren Gestell übermittelt. Auf dem Oszilloskop ist das übliche EKG zu sehen. Selbstverständlich können das Sende- und das Empfangsgerät auch viel weiter voneinander entfernt sein.



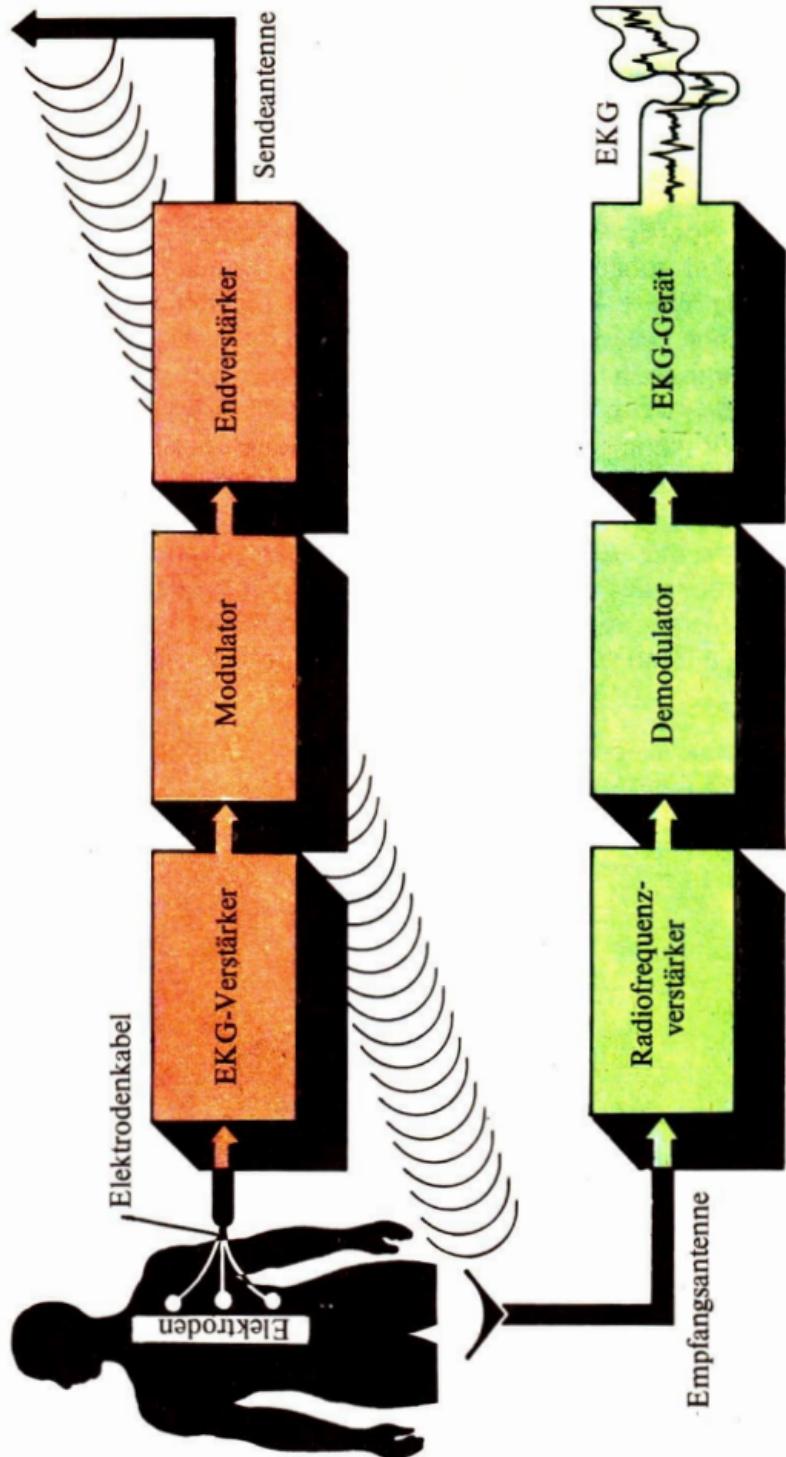


Die Anwendung des Teleelektrokardiographen ist vorteilhaft, wenn der Arzt eine Untersuchung durchführt, während der Kranke physisch belastet wird. So sind auch Krankheiten erkennbar, deren Symptome im Ruhezustand, z. B. im Liegen, nicht auftreten.

Es ist eine bekannte Erscheinung, daß der Blutdruck einzelner Personen auf Grund der Aufregung während der ärztlichen Untersuchung bedeutend ansteigt, doch gibt es dafür keinen organischen Grund. Alle Datenverschiebungen infolge psychischer Wirkungen kann man umgehen, wenn die Untersuchung nicht in Anwesenheit des Arztes erfolgt, sondern der Kranke mit einem an ihm befestigten Telemetersender z. B. in einem angenehmen Zimmer Platz nimmt oder im Garten des Krankenhauses spazierengeht, während der Arzt am Empfangsgerät seine Lebensfunktionen beobachtet.

Die Biotelemeter sind ferner auch dann wichtig, wenn es keine andere Möglichkeit für den Arzt gibt, die Unter-

Vereinfachtes Blockschaltbild eines Telemetriesende- und Empfangsgerätes



suchung unmittelbar durchzuführen. Diese Situation ist z. B. in der Raumfahrt gegeben. Ein ähnliches Beispiel gibt es in der sportärztlichen Praxis, wenn während des Trainings die Aufgabe besteht, die Belastbarkeit des Wettkämpfers festzustellen. Deren Bestimmung ist ohne ein Telemetriegerät nur möglich, wenn man das Training des Sportlers von Zeit zu Zeit unterbricht und in den Pausen schnell die augenblicklichen Daten fixiert. Auf diese Weise kann man jedoch nicht feststellen, was geschieht, wenn sich der Langläufer z. B. »verspannt«. Die biologischen Daten des Läufers haben sich längst verändert, wenn der Arzt an Ort und Stelle erscheint.

Wir gelangen zu weitaus verlässlicheren Ergebnissen, wenn wir an den Sportlern Telemetriesender von kleinem Ausmaß anbringen und der Sportarzt mit Hilfe eines am Rande der Bahn befindlichen Empfangsgerätes die Herzfrequenz des Sportlers, sein EKG u. a. beobachtet.

Eine wichtige Rolle spielen die Biotelemeter auch in der Rehabilitation. Gegenwärtig beurteilt der Arzt anhand

Untersuchung während des Lauftrainings mit Hilfe eines Biotelemeters





Elektrokardiographische Untersuchung einer Speerwerferin während des Trainings

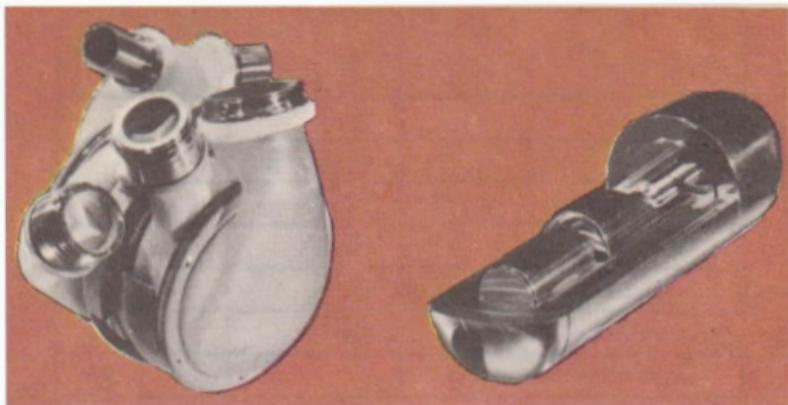
einer Untersuchung, während der der Patient physisch künstlich belastet wird, ob dieser nach überstandener schwerer Krankheit wieder arbeitsfähig ist. Die untersuchte Person muß z. B. zum Zwecke der Belastung einige Stufen auf und ab gehen, währenddessen der Arzt beobachtet, wie sie die Belastung verträgt. Es kann leicht vorkommen, daß die während der Untersuchung als gesund befundene Person nach der Rückkehr an den Arbeitsplatz erneut die Anzeichen ihrer Krankheit verspürt. Einer der Gründe dafür kann sein, daß es nicht gelungen ist, die Belastbarkeit des Kranken festzustellen. Vielleicht hat er zu früh die Arbeit wieder aufgenommen, oder er hat erneut eine Tätigkeit zu verrichten, die seinem Zustand nicht zumutbar ist. Mit Hilfe von Biotelemetern ist es möglich, einen Menschen genau am Arbeitsplatz zu untersuchen, denn das 400 bis 500 g schwere Sendegerät stört dabei nicht. So kann man exakt messen, ob sich die aus der gewohnten Arbeit ergebende physische oder geistige Belastung nicht schädlich auf die untersuchte Person auswirkt. Ebenso kann man auch durch Biotelemeter verlässliche Ergebnisse für Berufseignungen erhalten.

Elektronik in künstlichen Organen

Wir wissen aus der Geschichte der Medizin, daß man schon seit sehr langer Zeit verschiedene künstliche menschliche Organe – Hände, Füße, Knochenersatz – benutzt. Natürlich dienten diese einfachen Organe in erster Linie kosmetischen Zielen, und ihr Zweck war es, eine körperliche Unzulänglichkeit ihres Trägers zu verdecken.

Obwohl künstliche Gliedmaßen (Beine u. a.) schon verhältnismäßig lange Zeit in Gebrauch sind, wurde es trotzdem erst durch die sich in unserem Jahrhundert vollziehende wissenschaftlich-technische Entwicklung möglich, die Bewegung der künstlichen Gliedmaßen zu verfeinern, künstliche Organe zu entwickeln, die sich der Funktion des verlorengegangenen natürlichen Organs nähern.

Die als Hilfsmittel für Invaliden hergestellten Geräte kann man in drei große Gruppen einstufen. Die im engsten Sinne auch als künstliche Organe zu bezeichnenden Geräte werden so gestaltet, daß sie dem verlorengegangenen Organ ähneln. Solche sind z. B. die künstlichen Füße oder künstlichen Hände, die auf dem Fuß- oder Handstumpf des Invaliden anzubringen sind. Sie ahmen sowohl in ihrer Form als auch in ihren mechanischen Bewegungen die natürlichen Organe nach. In anderen Fällen gibt es keine Methode dafür, oder es ist wenigstens sehr umständlich, das verlorene Organ genau zu imitieren. Dann muß man sich damit zufriedengeben, daß nur die Funktion des verlorenen oder nicht funktionierenden Organs ersetzt wird. Ein solcher Ersatz ist z. B. das Fahrzeug für Schwerbeschädigte, das wenigstens die Unbeweglichkeit aufhebt und dem Lahmen einen Ortswechsel gestattet. Bei Teillähmungen können assistierende, unterstützende Geräte



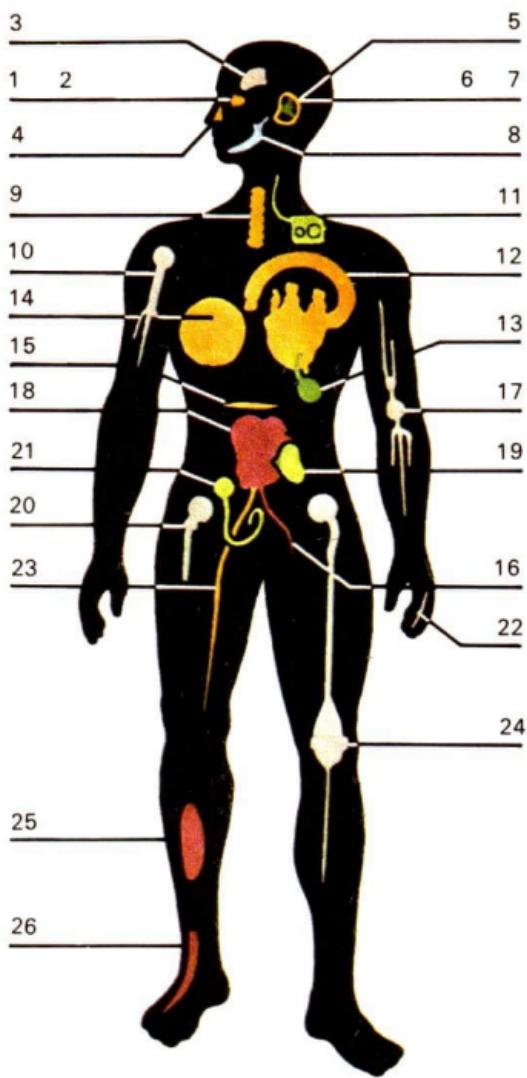
Die Implantation eines künstlichen Herzens wird als eine aussichtsreichere Methode angesehen als die Organtransplantation. Heute kann man schon künstliche Herzen herstellen, die fast die gleichen Ausmaße haben wie das natürliche Herz und eine vollwertige Prothese darstellen. Die größte Schwierigkeit aber bereitet die Energieversorgung. Auch hier experimentiert man mit nuklearen Batterien. Auf dem Bild sind die vollständige Herzprothese und die Nuklearbatterie zu sehen. Die experimentelle Anwendung dieser Konstruktion ist Mitte der achtziger Jahre geplant.

verwendet werden, wenn das fragliche Organ selbst zwar bewegungsfähig ist, aber z. B. die nervale Steuerung infolge einer Krankheit (z. B. Paralyse) oder Verletzung fehlt oder von geringem Nutzen ist.

Wenn irgendein menschliches Organ (z. B. das Ohr oder sogar das Herz) funktionsunfähig wird oder der Mensch es verliert (was auch durch eine Beinamputation geschehen kann), dann muß die fehlende Funktion des Organs ersetzt werden. Das einfachste Beispiel ist vielleicht das Hörgerät. Das Ohr des schwerhörigen Menschen wird den Lauten der Umgebung gegenüber unempfindlich, und er hört nur die stärkeren Geräusche. In einem solchen Falle verstärkt er die Geräusche der Umgebung mit einem winzigen elektronischen Apparat, und diese stärkeren Töne kann der Schwerhörige hören. In diesem Beispiel ist von dem Ersatz des einen Sinnesorgans, richtiger gesagt, von seiner Unterstützung, die Rede. Aber es muß hinzugefügt werden, daß diese Methode nur bei Schwerhörigkeit Anwendung finden kann, weil wir bei völliger Taubheit für den Ersatz eines Ohres kein technisches Mittel haben.

	Metall	Kunststoff	Transplantation	Keramik	Elektronik
1. Augapfel		●			
2. Hornhaut		●	●		
3. Schädelknochen	●		●	●	
4. Nasenbein		●			
5. Trommelfell		●			
6. Gehörknöchelchen		●			
7. Gehörverbesserungsgeräte					●
8. Kieferknochen				●	
9. Luftröhre		●			
10. Schultergelenk	●				
11. Blutdruckregler					●
12. Herz		●	●		
13. Schrittmacher					●
14. Lunge		●	●		
15. Zwerchfell		●			
16. Blut			●		
17. Ellbogengelenk	●				
18. Leber			●		
19. Niere			●		●
20. Hüftgelenk	●			●	
21. Blasenstimulator					●
22. Fingerglied	●				
23. Schlagadern		●			
24. Kniegelenk	●				
25. Haut		●	●		
26. Sehne		●	●		

Vielerlei künstliche Konstruktionen werden heute schon routinemäßig angewendet. Es gibt Fälle, in denen ein natürliches Organ von einem Menschen (eventuell aus einem Tier) in einen anderen Menschen eingepflanzt wird. Aber in sehr vielen Fällen ersetzt man die verlorenen oder funktionsunfähigen Organe durch Prothesen, die auf technischem Wege hergestellt werden. Aus der Tabelle ist auch ersichtlich, aus welchen Materialien die künstlichen Organe im allgemeinen bestehen.



Wirkliche Erfolge hat man zum Ersatz des verlorenen Gliedes bei einer Arm- oder Beinamputation erzielt. Diese künstlichen Gliedmaßen sind meistens nicht nur ein passives Mittel, sondern sie sind auch mit Hilfe pneumatischer oder elektrischer Energie bewegbar. Heutzutage sind hauptsächlich Prothesen gebräuchlich, die mit elektrischen Batterien oder Akkumulatoren betätigt werden. Die künstliche Hand hat bewegliche Finger, mit denen Gegenstände ergriffen und losgelassen werden können.



Ein elektrisches Fahrzeug, das durch eine Bewegung mit dem verkrüppelten rechten Arm des Jungen gesteuert werden kann. Die Fahrgeschwindigkeit beträgt ungefähr 5 km/h. Solche Fahrzeuge wurden individuell auch für Opfer der Contergan-Tragödie in der BRD angefertigt.

Die Bewegung der künstlichen Gliedmaßen ist in einem einfacheren Fall durch einstudierte Bewegungen lenkbar. Es gibt viele solcher künstlicher Handkonstruktionen, bei denen mit einer leicht einzuübenden Schulterbewegung die

Finger zum Schließen oder zum Öffnen gebracht werden. Neuerdings scheint eine mit Muskelaktionsspannungen gelenkte Hand zweckmäßiger zu sein. Die verschiedenen Funktionen (das Öffnen und Schließen der Finger, das Wenden des Gelenkes in der einen oder anderen Richtung usw.) können durch Biopotentiale gesteuert werden, die bei der Anspannung der im Armstumpf verlaufenden Muskeln entstehen. Hiermit ist es gelungen, eine künstliche Hand herzustellen, die auch zarte Bewegungen ausführen kann, mit der ihr Träger z. B. ein Ei aufheben kann, ohne daß es zerbricht; ebenso kann er mit dem Druck zweier Finger der künstlichen Hand auch einen Stuhl emporheben. Die Druckkraft der Finger ändert sich nämlich entsprechend dem Bedarf automatisch.

Auch zur Vervollkommenung des künstlichen Beines werden große Anstrengungen gemacht. Schon die einfachste, starre künstliche Konstruktion konnte die Stützfunktion des Beines versehen, jedoch nicht die komplexe Funktion des natürlichen Beines ersetzen. Deshalb führt man neuerdings Versuche mit Beinprothesen durch, die über Knöchel und Kniegelenke verfügen und in denen eine geordnete Bewegung einzelner Teile des Beines durch eine elektronische Steuereinheit gesichert wird. Man will auch zur Steuerung der künstlichen Beine die in den Beinmuskeln auftretenden Aktionsspannungen benutzen. Auf diese Weise hofft man, Beinprothesen zu verwirklichen, mit denen ihr Träger, fast ohne zu hinken, gehen kann.

Die Forschungen über eine künstliche Sehkraft stecken noch im Anfangsstadium. Ihre Bedeutung brauchen wir nicht besonders zu betonen.

Bei diesen Forschungen ist man von der vielversprechenden Beobachtung ausgegangen, daß ein Blinder während einer elektrischen Reizung des Sehzentrums Lichtblitze »sehen« kann. Wenn man mit genügend vielen eingebauten Elektroden eine bestimmte Reizkombination hervorruft, dann sieht der blinde Mensch ein aus Lichtblitzen zusammengesetztes Bild. Durch eine entsprechende Kodierung hat man erreicht, daß die Versuchsperson als Wirkung der Reizkombinationen verschiedene geometrische Figuren gesehen hat. Wenn dannach die Elektroden mit elektrischen Signalen gesteuert



Mit modernen elektronischen Mitteln ist es schon möglich, Kinder mit angeborener Schwerhörigkeit oder Taubheit die Wahrnehmung der mechanischen Schwingungen der Töne zu lehren. Den vom Lehrer ausgesprochenen Ton »hört« das Kind zugleich mit dem Kopfhörer und durch den am Handgelenk aufgesetzten Vibrator.

wurden, die von einer auf der Stirn des Blinden angebrachten Fernsehkamera ausgingen, dann nahm die blinde Versuchsperson auch ein Rasterbild wahr, das dem durch die Kamera »gesehenen« Bild grob ähnelte. Natürlich müssen noch zahlreiche Schwierigkeiten überwunden

werden, ehe diese Versuche zu einem befriedigenden Ergebnis führen. In erster Linie muß die Anzahl der eingepflanzten Elektroden erhöht werden, um das durch die Kamera gesehene Bild dem Sehzentrum um so detaillierter übermitteln zu können. Dies stellt unerhörte Anforderungen an die Miniaturisierung der technischen Geräte. Auch die Steuerung der in das Gewebe des Gehirns eingepflanzten Elektroden verursacht Probleme. Man experimentiert damit, die unter dem Schädelknochen eingepflanzten Empfänger durch die Zeichen eines außerhalb der Haut untergebrachten hochfrequenten Sendegerätes zu steuern. Die Einpflanzung wirft ebenfalls Meßprobleme auf. Aber auch die Zuverlässigkeit der elektronischen Elemente ist eine wichtige Forderung, denn die Implantation kann nur

Die Hände dieser Frau sind gelähmt. Mit den Füßen betätigt sie eine elektrische Schreibmaschine, die durch eine Tastatur mit licht-elektrischen oder druckempfindlichen Elementen gesteuert wird.





Eine elektrische Schreibmaschine, die auch eine armamputierte Person betätigen kann. Statt Tasten hat die Schreibmaschine lichtempfindliche Schalter, die mit einer auf die Brille montierten Lampe mit starkem, gebündeltem Licht angestrahlt werden müssen. Die angestrahlten Zeichen schreibt die Schreibmaschine nacheinander aus.

durch eine sehr komplizierte Operation realisiert werden. Es wird mit 100 bis 300 eingepflanzten Elektroden gearbeitet. Erste Versuche am Menschen sind bereits erfolgt. Ihre Ergebnisse berechtigen zu großen Hoffnungen.

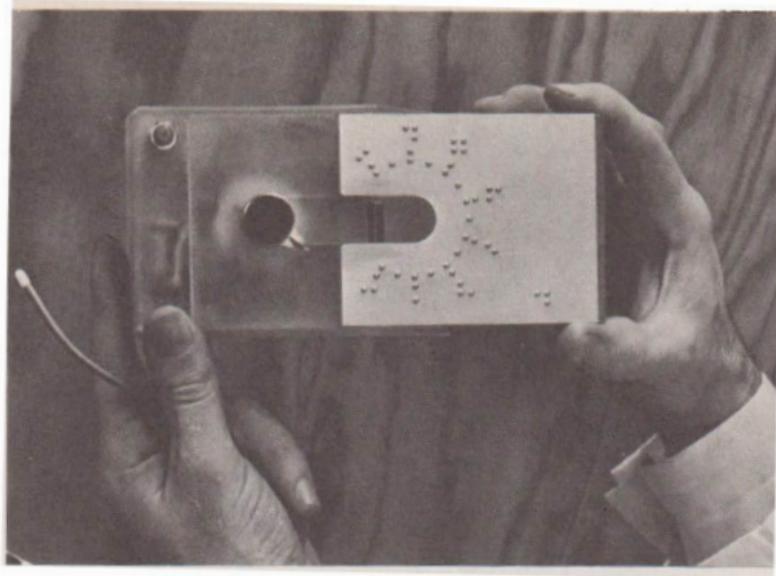
Die Anpassungsfähigkeit des lebenden Organismus ermöglicht, daß bei mangelhafter oder ausgefallener Funktion einzelner seiner Teile automatisch für einen Ersatz der fehlenden Funktion »gesorgt« wird. Diese Anpassungsfähigkeit ist natürlich auch für Invalide charakteristisch. Es ist z. B. allgemein bekannt, wie sehr sich das Gehör und der Tastsinn der Blinden verfeinern. Eigentlich imitiert die Medizintechnik diese natürlichen Beispiele dann, wenn sie die fehlende Organfunktion mit anderen Mitteln oder wenigstens durch die Steuerung anderer Organe zu ersetzen versucht.

Ein Beispiel dieser Bestrebung ist ein Schreibmaschinensystem, für Personen konstruiert, die nicht fähig sind,



Wenn Arme und Hände gelähmt sind, dann kann der Beschädigte auch die einfachsten Bewegungen nicht ausführen. Für solche Fälle hat man den auf dem Bild sichtbaren Manipulator konstruiert, den der Kranke durch Blasen in das vor seinem Mund sichtbare Rohr steuert.

mit ihren Händen die normale Schreibmaschine zu bedienen. Wenn die Funktion der Hände des Invaliden unzuverlässig wird und er nicht auf der kleinen Tastatur der Schreibmaschine arbeiten kann, weil er immer neben die



Elektrisches Fieberthermometer, auf dem das Meßergebnis auch in Blindenschrift angegeben wird

gewünschten Buchstaben greift, ist eine elektronische Tastatur, die größer als die normale ist, gut anwendbar. Zu ihrer Betätigung ist eine sehr geringe Energie erforderlich. Der Bediener steuert mit der Berührung der Tasten eine elektrische Schreibmaschine. Diese Schreibmaschinentastatur kann auch so gestaltet werden, daß die invalide Person sie auch mit ihren Füßen, ihren Handknochen und eventuell auch mit einem vom Mund gehaltenen Stab betätigen kann.

Einem ähnlichen Ziel dient auch die Schreibmaschine, die der Kranke mit Saugen oder Blasen durch ein in seinem Mund befindliches Rohr steuern kann.

Diese Schreibmaschinen sind nicht nur Arbeitsmittel, sondern sie können auch für invalide, die nicht sprechen können und deren Hände zum Schreiben nicht fähig sind, die einzige Verbindung zu ihrer Umwelt bedeuten.

Verschiedenartige Invalidenfahrzeuge dienen im weiteren Sinne als Ersatz der fehlenden Organfunktion. Sie ermöglichen einen Ortswechsel der Gehunfähigen. Die Funktion der Füße wird durch technische Mittel ersetzt, die Steuerung aber einem anderen Organ, z. B. den Hän-

den, übertragen. Das einfachste Invalidenfahrzeug bewegt sein Eigentümer mit der Kraft seiner Arme. Es gibt jedoch auch Fahrzeuge, in denen ein Elektro- oder ein Benzinmotor die notwendige Leistung zur Fortbewegung bringt, während der Invalide nur die Aufgabe der Steuerung versieht. Es ist auch eine Lösung bekannt, bei der die im Fahrzeug sitzende Person das Starten, Anhalten sowie Lenken mit Augenbewegung steuert.

Es kommt oft als Folgeerscheinung verschiedener Krankheiten vor, daß eine teilweise Lähmung eintritt und die verbliebene Aktivität der üblichen Organtätigkeit nicht genügt. Bei Rückgratverletzungen z. B. funktioniert die Hand des Kranken oft nicht ausreichend. Man hat deshalb ein Gerät konstruiert, das die verbliebene Funktion der Hand und der Finger unterstützt.

Das Wesen dieses Systems besteht darin, daß auf die lahmen Finger Ringe gesteckt werden, deren Bewegung durch einen Elektromotor erfolgt. Die erforderliche Energie liefert ein Elektroelement, während die Bewegungsrichtungen durch die Aktionsspannung geleitet werden, die während der Tätigkeit sämtlicher im Arm verlaufender Muskeln ausgelöst wird. Mit Hilfe dieser Konstruktion kann eine gelähmte Person essen, telefonieren und in bestimmten Fällen sogar schreiben.

Man hat für Blinde Meßinstrumente ausgearbeitet, auf denen der gemessene Wert nicht nur visuell, sondern auch in Brailleschrift erscheint. Der blinde Bediener kann also diese Instrumente durch Tasten ablesen. So wird z. B. zu Tischrechenmaschinen eine Ergänzungseinheit hergestellt, bei der man sowohl die Eingabetasten als auch das Resultatfeld mit Braillezeichen versehen hat.

Das Krankenhaus von morgen

Die Beschleunigung des wissenschaftlichen Fortschritts in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts wirkte sich auch auf die medizinische Wissenschaft aus, die sich bisher eher auf Grund von Erfahrungen entwickelt hatte. Die neuen medizinischen Erkenntnisse, wie z. B. die Einführung der Narkose in die Chirurgie, die Verbreitung der antiseptischen und aseptischen Behandlung, später die medizinische Anwendung der Röntgenstrahlung, begannen die traditionelle, starre Struktur der Krankenhäuser zu sprengen. Seit Beginn der ersten Jahrzehnte des 20. Jahrhunderts drängte man auf den Bau von Monoblockkrankenhäusern oder ganzen Krankenhauskomplexen. Man baute turmartige, sich in vertikaler Richtung erstreckende Klinikgebäude. Mit der Konzentration der Krankenhäuser wurde im Vergleich zur Pavillonbauweise eine 40%ige Einsparung der Kosten für Instandhaltung, Heizung und Transport erzielt.

Die Änderung der Krankenhausstruktur und die immer stärker werdende Mechanisierung der ärztlichen Tätigkeit stellten ganz neue Anforderungen an die im Krankenhaus Tätigen.

Ist aber zu befürchten, daß sich das Krankenhaus zu einer Art »Gesundheitsfabrik« umgestaltet? Die Praxis bei uns zeigt, daß davon wohl nicht die Rede sein kann. Im Krankenhaus droht keine Technisierung der Heiltätigkeit, und sie wird auch nicht unpersönlich werden. Das oberste Gebot wird auch weiterhin die Heilung des Menschen sein.

In den letzten zwei Jahrzehnten konnten wir Zeugen einer grundlegenden Änderung in der Krankenhauspflege sein. Die Aufteilung der Kranken nach ihrem Zustand löste

die spezialisierte Betreuung ab. Man hat nämlich erkannt, daß bei Kranken, die sich in einem akuten schweren Zustand befinden, nicht die Heilung der Ursache die vor dringlichste Aufgabe ist, sondern die Aufrechterhaltung bzw. Regelung der grundlegenden Lebensfunktionen (Blutkreislauf, Atmung, Gleichgewicht des Flüssigkeits haushaltes). Die Grundkrankheit kann erst dann geheilt werden, wenn es gelungen ist, die Lebensgefahr zu bannen, und der Kranke den akuten Zustand überstanden hat.

Im Interesse einer solchen systematischen Pflege müssen die traditionelle Struktur des Krankenhauses, die Ausbildung des Personals, die Qualität und die Menge der angewandten mechanischen Mittel, gegebenenfalls auch noch die architektonische Gestaltung des Krankenhauses reformiert werden. Als einfachste Forderung genügt es, daran zu denken, daß die Kranken, die intensiv behandelt werden müssen, in ein Bett gebracht werden, das frei im Raum steht, damit es von allen Seiten erreichbar ist, und das man mit sperrigen Geräten umgeben kann. Ein solches Bett braucht also einen mehrfach größeren Platz als eine traditionelle Pflegeeinheit. Solche speziellen Anforderungen ergeben sich auch hinsichtlich der Gebäudearchitektur. Auf den Intensivstationen sind heute Klimaanlagen nicht mehr zu entbehren. Die Klimatisierung funktioniert jedoch nur dann vollständig, wenn eine geschützte und luftdicht schließende Eingangstür vorhanden ist, der Krankensaal ohne Fenster gebaut wird usw.

Aus der Unterbringung der Kranken nach der Schwere ihres Krankheitszustandes folgt, daß man die weniger akuten Fälle getrennt von der Intensivpflege-Einheit behandeln muß.

Obwohl diese Pflegeform der traditionellen Krankenhausstruktur am meisten entspricht, gibt es dennoch in diesem Fall spezielle Forderungen. Die Patienten, die subintensiv gepflegt werden, sind in der Regel schon gehfähig (Rekonvaleszenten, auf die ärztliche Untersuchung Vorbereitete usw.). Sie essen daher nicht im Bett, sondern im Speiseraum, der der Pflegeeinheit angeschlossen ist. Auf diesen Stationen befindet sich verständlicherweise auch weniger Pflegepersonal. Das ist auch der Grund dafür, daß die von einer Schwester zu pflegenden Kranken in

räumlich zusammengehörenden Zimmern untergebracht werden, um hiermit auch die Länge der Wege zu verkürzen.

In dieser Kategorisierung bilden jene Patienten die dritte Gruppe, die zu langwierigen Untersuchungen erscheinen, bzw. chronische Kranke, die sich aber nicht in einem lebensgefährlichen Zustand befinden. Diese müßten eigentlich nach heutigen Auffassungen gar nicht in Krankenhäusern, sondern in hotelähnlichen Gebäuden, die dem Krankenhaus angeschlossen sind, untergebracht werden. Die Patienten, die hier wohnen, besuchen also das Krankenhaus als ambulant zu behandelnde Patienten und kehren nach ihrer Behandlung oder nach der Untersuchung in das »Krankenhaushotel« zurück. Obwohl dieses »Hotel« ein Teil des Krankenhauskomplexes ist, ist der Zusammenhang nur sehr lose, denn die hier untergebrachten Kranken versorgen sich selbst.

Die hochgradige Mechanisierung der Versorgung im Gesundheitswesen beeinflußt grundlegend die Tätigkeit im Krankenhaus. Während der Arzt früher zur Diagnose mit Ausnahme des Stethoskops, des Fieberthermometers und des Blutdruckmessers kaum Geräte benutzte, ist heute ein wichtiger Teil der ärztlichen Versorgung die Feststellung der Krankheit mit Hilfe technischer Geräte. Bevor sich der Arzt über die Krankheitsursache äußert oder über eine Behandlung, eine Heilmethode entscheidet bzw. eine solche vorschlägt, benutzt er zur Fundierung seiner Diagnose eine ganze Reihe von Geräten, hauptsächlich elektronische. Er ist auch bestrebt, die Wirksamkeit der angewendeten Therapie immer wieder aufs neue durch Untersuchungen, die mit Hilfe von Geräten durchgeführt werden, zu überprüfen. Obwohl ein jeder betont, daß man aus dem Heilungsprozeß das Verhältnis zwischen dem Kranken und dem Arzt nicht verdrängen kann, ist es in Wirklichkeit dennoch so, daß der Kranke mit immer mehr Geräten in Berührung kommt, und er muß erfahren, daß immer mehr selbsttätige Meßinstrumente seine wichtigen biologischen Werte während einer Untersuchung bestimmen. Erst am Ende der Untersuchung kommt er mit einem Arzt oder auch einigen Ärzten zusammen. Doch auch sie richten an ihn Fragen, die von anderer Art sind, als es der



Ein Holzschnitt aus dem 16. Jahrhundert, der das Innere des Pariser l'Hôtel-Dieu-Krankenhauses darstellt

Kranke von der traditionellen Versorgung her gewöhnt ist, denn in ihren Händen befinden sich die von den Geräten gelieferten Werte, die Befunde, die sachlich und ohne jeden subjektiven Fehler sind.

Das beschriebene System zur Feststellung und Erkennung von Krankheiten ist noch entwicklungsfähig. Es ist durchaus möglich, überall in Krankenhäusern Computer einzusetzen. In immer mehr Krankenhäusern (in Ungarn z. B. zuerst in Szekszárd) gibt es ein auf Datenverarbeitungsanlagen beruhendes Informationssystem.

Computer haben auch auf dem Gebiet des Gesundheitswesens ihre Anwendbarkeit zuerst in der allgemeinen Verwaltung bewiesen. Die Sicherung der täglichen Versorgung mit Medikamenten, die Verfügbarkeit und die Nachbestellung der unentbehrlichen Mittel der Krankenhausarbeit (gewaschene Textilien, sterilisierte Instrumente, Blut, Impfstoffe usw.) sowie die Automatisierung der Verwaltung des Krankenhauses sind als gelöste Aufgaben zu betrachten. Datenverarbeitungsanlagen hielten jedoch auch Einzug in die ärztliche Forschungsarbeit. In einer Bibliothek vermag ein Computer Millionen von Daten zu speichern, die die Fachleute interessieren; er arbeitet den zur Forschungsarbeit unentbehrlichen Dokumenta-



Patientenüberwachung auf einer Intensivstation

tionsstoff auf; er beobachtet die Themen, die für die spezielle Tätigkeit des jeweiligen Krankenhauses wichtig sind usw.

Den Computern gebührt aber auch ein Platz in der unmittelbaren Tätigkeit des heilenden Arztes. In vielen Krankenhäusern (auch in Ungarn) beobachtet ein Computer den Zustand auf dem Operationstisch oder den im Intensiv-Wachzimmer liegenden Kranken. Nimmt er eine Veränderung wahr, die einen Grund zur Besorgnis gibt, dann macht er darauf aufmerksam, indem er ein Alarmsignal übermittelt. Es gibt bereits vollständig mit elektro-

nischen Datenverarbeitungsanlagen ausgestattete Krankenhäuser. In diesen wird von Beginn der Aufnahme des Kranken an jeder sich auf diesen beziehende wesentlichere Moment durch EDV erfaßt, so daß die in der Speichereinheit vorhandenen Daten jederzeit abrufbar sind.

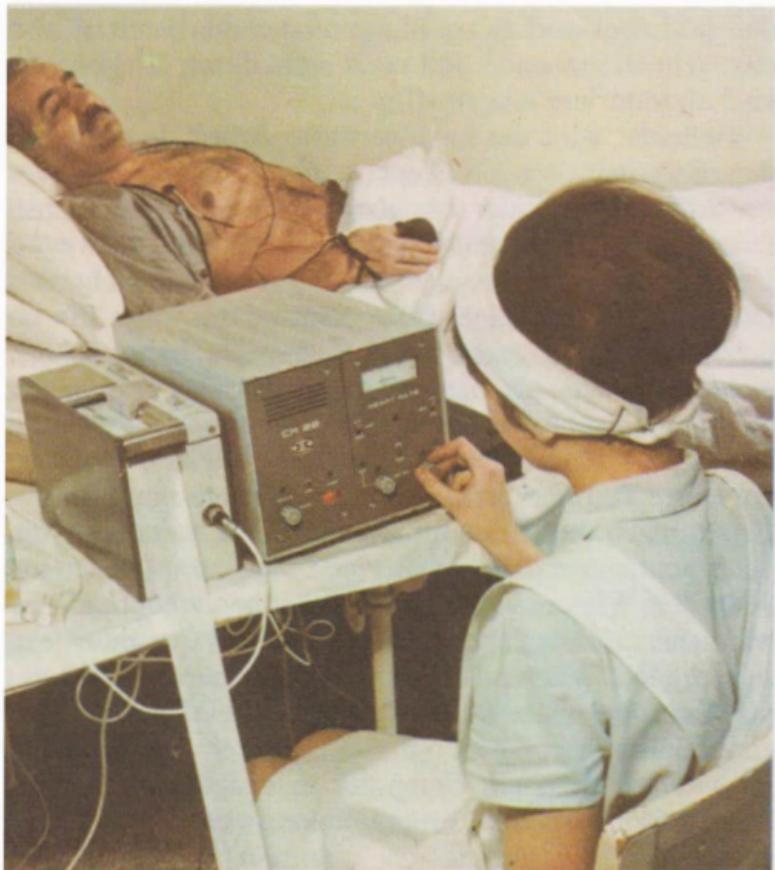
Aus dem Bannkreis der Computer können sich auch diejenigen nicht lösen, die in der Krankenhausarbeit eine leitende Funktion ausüben. Verfügt z. B. der Stationsarzt während der Visite am Vormittag, daß von dem einen Kranken Blut zur Untersuchung im Laboratorium abgenommen werden muß, »schreibt« die den Arzt begleitende Oberschwester diese Angabe mit Hilfe eines entsprechenden Gerätes in die Speichereinheit der elektronischen Anlage. Die Visite ist vielleicht noch gar nicht zu Ende, wenn das Rufgerät der Laborschwester schon mitteilt, daß sie den Computer anrufen soll. Und dann kann es passieren, daß der Computer darauf aufmerksam macht, daß das Laboratorium zur Blutuntersuchung bereit ist, aber das zu untersuchende Blut noch nicht durch die Rohrpost im Laboratorium eingetroffen ist.

Vielleicht wird die hochwertigste Arbeit dennoch von den diagnostizierenden Computern verrichtet. Auf Grund der mitgeteilten Daten schreiben sie die wahrscheinlichste Diagnose aus. Sie nennen eventuell auch noch die weitere Untersuchung dessen, was im Interesse der sichereren Diagnose zweckmäßigerweise noch zu tun wäre. Ein üblicher Einwurf dagegen ist, daß eine »Rechenmaschine« nicht mehr kann, als man sie gelehrt hat. Das Lehren aber bleibt eine Sache des Menschen. Das stimmt. Aber wenn in das Gedächtnis dieser Maschine Hunderte und aber Hunderte von hervorragenden Arztwissenschaftlern ihre Erfahrungen und Erkenntnisse eingegeben, kann ein Computer heutzutage doch schon eine Diagnose aufstellen und – aus dem Wissensschatz vieler Menschen schöpfend – ein wirksames Heilverfahren vorschlagen. Der Computer lernt sehr schnell. Während ein Arzt sich an einer etwa 20 Jahre umfassenden organisierten Ausbildung beteiligen muß und einige Jahre Praxis benötigt, um ein guter »Diagnostiker« zu werden, kann ein Computer in einigen Wochen für diagnostische Zwecke programmiert werden; und diese anfängliche »Wissensmenge« kann nicht nur das Wissen

und die Erfahrung eines, sondern das Wissen und die Erfahrungen zahlreicher hervorragender Ärzte umfassen.

Man argumentiert auch damit, daß die elektronische Datenverarbeitungsanlage über keine Intuition verfügt. Auch das stimmt. Aber dafür arbeitet sie sehr schnell, und sie kann ohne Intuitionen – während einer bestimmten Zeit – alle vorstellbaren Varianten durchspielen. Oft wird gegenüber einem Rechner der Vorwurf erhoben, daß er durcheinanderkommt, wenn er einem neuen Komplex von Symptomen gegenübersteht, wie er ihm bis dahin noch nicht begegnet war. Aber was vermag ein Arzt zu unter-

Die charakteristischen Daten des Schwerkranken kann man auch kontinuierlich mit einem Gerät messen, das sich neben dem Bett befindet.



nehmen, wenn er einer Krankheit gegenübersteht, die ihm unbekannt ist, über die er nichts gelernt (oder das Gelernte bereits vergessen) hat? Er identifiziert sie doch als irgend eine ihm bekannte Krankheit (evtl.), während es der diagnostische Computer ehrlich »eingesteh«, daß ihm eine solche Krankheit noch nicht begegnet ist. (Und wir meinen, daß dieses richtiger ist!) Verfügt eine Maschine über ein lernfähiges Programm, dann kann sie schließlich selbst aus eigenen »Erfahrungen« — aus ihren »Erfolgen« und »Mißerfolgen« gleichermaßen — »von sich aus« klüger werden.

Aus dem Gesagten zeichnet sich jene Entwicklungstendenz ab, die die Rekonstruktion der funktionierenden Krankenhäuser bzw. die Hauptumrisse künftiger Krankenhäuser bestimmt. Es ist offensichtlich, daß ein Krankenhaus, das in jeder Hinsicht moderne Prinzipien verwirklicht, auch heute noch ein Wunsch ist, weil auch beim Bau und Betrieb von Krankenhäusern Fragen der wirtschaftlichen Möglichkeiten den ersten Platz einnehmen müssen. Eine Umformung des Gesundheitswesens ist sehr kostenaufwendig, und selbst das reichste Land wäre nicht in der Lage, diese Umgestaltung auf einmal durchzuführen.

Vor einiger Zeit wurden auf einer Schweizer Medizinelektronik-Konferenz zahlreiche Vorträge über die Automatisierung der Krankenhäuser durch Computer gehalten. Die Vortragenden stimmten im wesentlichen darin überein, daß die Computertechnik in das Krankenhausssystem eingeführt werden muß. Nur war man sich in den Methoden nicht einig. Und diese Abweichungen sind dortzulande hauptsächlich durch die Unterschiedlichkeit des wirtschaftlichen Hintergrundes begründet. Es fiel auch auf, daß man selbst das, was man zweckmäßigerweise in einheitlicher Form verwirklichen sollte, auf unterschiedliche Weise realisiert. Einer der Gründe hierfür ist der rücksichtslose Konkurrenzkampf, der sich auch auf dem Gebiet des Gesundheitswesens in kapitalistischen Ländern geltend macht.

Gerade in dieser Hinsicht sind die sozialistischen Staaten in einem bedeutenden Vorteil. Weder ihre politischen, gesellschaftlichen noch wirtschaftlichen Interessen stehen

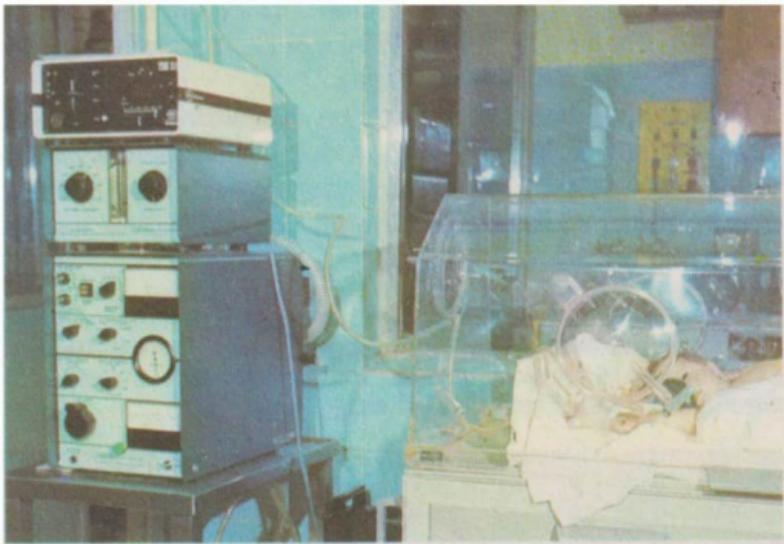
zueinander in einem Gegensatz, und die Tätigkeit des Gesundheitswesens sowie der Krankenhäuser entwickelt sich entsprechend den Möglichkeiten des wissenschaftlich-technischen Fortschritts.

Dennoch – eine Möglichkeit ist bloß eine Möglichkeit! Von allein verwirklicht sie sich nicht!

Ein immer wiederkehrendes Problem im Zusammenhang mit der Einführung der Computertechnologie (nicht nur im Gesundheitswesen, sondern allgemein) ist zweifellos die Ökonomie. Viele erwarten, daß mit der Elektronik die Prozesse sofort billiger werden, daß viele Arbeitskräfte freigesetzt werden. Das ist jedoch zunächst nicht immer und überall der Fall, denn die herkömmlichen Verfahren müssen überarbeitet werden, bevor der Computer eingesetzt werden kann; dazu werden Organisatoren und

Mit diesem Digitalgerät kann man den pH-Wert des Blutes, seinen pO_2 - und pCO_2 -Wert bestimmen. Zu dieser Untersuchung sind insgesamt 50 Mikroliter Blut je Probe erforderlich.





Zur Versorgung von Neu- und Frühgeburten nach der Geburt verwendet man Inkubatoren. In diesen kann man die für die Neugeborenen günstigste Temperatur und Luftfeuchtigkeit einstellen. Dadurch wird die Anpassung an die neue Umgebung erleichtert. Wenn das Neugeborene nicht atmet, muß es künstlich mit dem lebenspendenden Sauerstoff versorgt werden. Hierzu dient der elektronisch steuerbare Respirator (links im Bild).

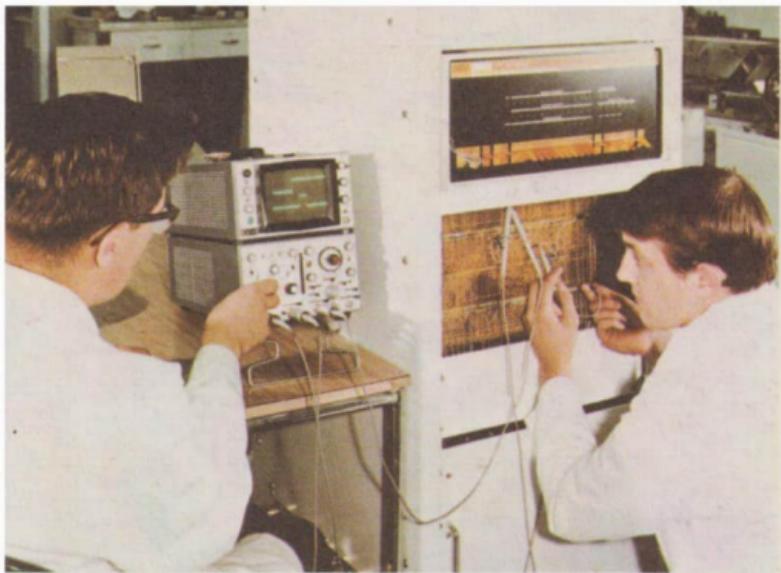
Mathematiker gebraucht, und oft ist eine vollständige Umorganisation notwendig. Und bevor ein Computer richtig wirksam wird, stellt es sich heraus, daß die Kosten gestiegen sind und vielleicht sogar noch qualifiziertere Fachleute benötigt werden. Heute wissen wir, daß durch die Rechnertechnologie die Prozesse effektiver und ökonomischer, aber nicht billiger werden; einen wesentlichen Erfolg stellen die höhere Zuverlässigkeit und Geschwindigkeit dar. Auf das Gesundheitswesen übertragen, heißt das: Es ist möglich, daß sich die spezifischen Kosten mit der Einführung des Computers erhöhen; dabei entstehen aber in Geld nur schwer auszudrückende Vorteile. Es wird weniger Kranke geben, die Kranken leiden weniger, sie bleiben über einen längeren Zeitraum arbeitsfähig, das durchschnittliche Lebensalter erhöht sich, und die vorbeugende Betrachtungsweise erhält einen höheren Stellenwert. In den meisten Krankenhäusern, die mit einem

Computer ausgestattet sind, nimmt die Zeit des Krankenhausaufenthalts der Patienten ab (im Durchschnitt von 14 bis 15 Tagen auf 12 bis 13 Tage).

Die eigentlichen ökonomischen Auswirkungen zeigen sich letztlich nicht im Haushalt des Gesundheitswesens, sondern an anderen Stellen (z. B. dort, wo der Kranke über einen nunmehr kürzeren Zeitraum von der Arbeit wegen Krankheit befreit sein muß).

Die verantwortungsvolle Routinearbeit im Laboratorium erleichtern Laborautomaten, die nach Einsetzen der Proben die programmierten Untersuchungen der Reihenfolge nach automatisch durchführen. Das Ergebnis wird ausgedruckt.





Überprüfung des Rechenautomaten, der die automatische Blutuntersuchung leitet und bewertet. Wenn solche Einrichtungen benutzt werden, dann braucht man in den Krankenhäusern unbedingt Ingenieure, die die kontinuierliche und störfreie Funktion der Gerätesysteme sichern.

Die Anwendung des Computers führt – über höhere Kosten – letztlich doch zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit und der Effektivität. Über die Zukunft der »Computerisierung« darf man deshalb nur unter Ablegung von Kleingläubigkeit und Rückständigkeit nachdenken.

Zweifellos, einfach ist die Sache nicht. Ein auf dem Informationssystem der Computer tätiges Krankenhaus ähnelt kaum einem traditionellen Krankenhaus.

Ein alter Wunsch der Ärzte ist es, sich nicht nur mit der Wiederherstellung des kranken, eventuell schon sehr kranken Menschen beschäftigen zu müssen, sondern eine Möglichkeit zur Vorbeugung zu haben. Während der jahrhundertelangen Entwicklung des Gesundheitswesens ist schon viel in dieser Richtung getan worden, aber die eigentlich großen Schritte stehen noch aus. Beispielsweise ist die sogenannte mehrphasige Reihenuntersuchung effektiver, als es die bereits eingeführten Reihenuntersuchungen (Lungenuntersuchung, Krebsuntersuchung usw.) sind. Hierunter versteht man jene diagnostische



Blick vom zentralen Bedienpult eines Computer-Tomographen (in der Radiologischen Klinik der Karl-Marx-Universität Leipzig) durch das Sichtfenster auf das im Nebenraum befindliche Somatom

Tätigkeit, bei der man die Untersuchungen nicht nach den Gesichtspunkten einer bestimmten Krankheit zusammenstellt, sondern mit einer Untersuchungsreihe klären will, zu welchen Krankheiten die zu untersuchende Person neigt und ob es notwendig ist, eventuell ihre Lebensweise zu ändern, den Arbeitsplatz oder den Wohnort zu wechseln, um späteren schweren Krankheiten vorzubeugen. Krankenhäuser, in denen mehrphasige Reihenuntersuchungen erfolgen, werden sich wahrscheinlich nur mit der Aufstellung der Diagnose beschäftigen, es wird in ihnen eventuell keine Behandlungseinheiten geben. Aber ihre Ratschläge haben gesellschaftliches Niveau.

Wir könnten noch lange die strukturellen und begrifflichen Veränderungen aufzählen, die die heute entstehenden modernen Krankenhäuser charakterisieren. Doch dafür ist an dieser Stelle kein Raum mehr.

»akzent« – die Taschenbuchreihe mit vielseitiger Thematik: Mensch und Gesellschaft, Leben und Umwelt, Naturwissenschaft und Technik. – Lebendiges Wissen für jedermann, anregend und aktuell, konkret und bildhaft.

Weitere Bände:

- Marcinek, Droht eine nächste Kaltzeit?
Nichelmann, Licht und Leben
Mletzko/Mletzko, Die Uhr des Lebens
Farkas, Wandernde Tierwelt
Conrad, Kommunikation 2000
Naumann, Unerschöpfliche Energiequellen
Scheikov, Leben und Symmetrie