

H. Rohracher / K. Inanaga

Die Mikro- vibration

Ihre biologische Funktion
und ihre klinisch-diagnostische Bedeutung

Mit einem technischen Anhang von
H. Steinringer, Universität Wien,
über Aufbau und Einrichtung
eines Mikrovibrations-Laboratoriums

Verlag Hans Huber Bern
Stuttgart Wien



4643

Jo Koelch

Rohracher/Inanaga: Die Mikrovibration

Eigentum des
Psychologischen Instituts
der Universität Heidelberg

Eigentum des
Psychologischen Instituts
der Universität Heidelberg

~~Nr. 50 Roh~~

Die Mikrovibration **ausgesondert am:*

Ihre biologische Funktion
und ihre klinisch-diagnostische Bedeutung

11.11.11

Von
Prof. Dr. H. ROHRACHER, Universität Wien
und
Prof. Dr. K. INANAGA, Kurume-Universität, Kyushu, Japan

Mit einem technischen Anhang von H. STEINRINGER, Universität Wien,
über Aufbau und Einrichtung eines Mikrovibrations-Laboratoriums

Eigentum des
Psychologischen Instituts
der Universität Heidelberg



Eigentum des
Psychologischen Instituts
der Universität Heidelberg

Verlag Hans Huber Bern Stuttgart Wien

Inhaltsverzeichnis

1. Teil von Prof. Dr. HUBERT ROHRACHER, Wien

Vorwort	9
Zur Geschichte der Mikrovibrations-Forschung	11
Beschreibung der Mikrovibration	16
Abnahme und Registrierung der Mikrovibration	21
Auswertungsmethoden	23
Entstehung der Mikrovibration	26
1. Die kardio-vaskuläre Hypothese	27
2. Die neuromuskuläre Hypothese	31
3. Theorie der alternierenden Faserkontraktionen	36
4. Statistische Untersuchungen zum Problem der MV-Entstehung	41
Mikrovibration und Konstanz der Körpertemperatur	43
1. Experimentelle Ergebnisse (Warmblüter- und Kaltblüter, Winterschläfer, Neugeborene, Vögel)	43
2. Theorie der Temperaturkonstanz der Warmblüter	53
Psychologische Ergebnisse	62
1. Die Mikrovibration als Indikator psychischer Spannung	62
2. Konditionierung der Mikrovibrations-Amplitude	68
3. Mikrovibrations-Unterschiede zwischen Gesunden und Neurotikern, Schizophrenen und Hirngeschädigten	68
Phylogenetische Aspekte der Mikrovibration	71
Zusammenfassung	74
Literaturverzeichnis zum 1. Teil	76

2. Teil von Prof. Dr. KAZUTOYO INANAGA, Kurume/Japan

Vorwort	81
Neurophysiologische Grundlagen der Mikrovibration	83
1. Die Frequenz der MV; Unterschiede an verschiedenen Körperstellen	84
2. Die Beziehung der MV zu anderen körperlichen Rhythmen	86
3. Mikrovibration und Elektromyogramm (EMG)	88
4. Die Beziehung der MV zum zentralen und autonomen Nervensystem	89
5. Körpertemperatur und MV	90
6. Ein möglicher Entstehungsmechanismus der MV	91
7. Weitere Bemerkungen über die Entstehung der MV	93
8. Die Beziehung zwischen MV und autonomen Nervensystem	93
9. MV und Makrotremor	93
Mikrovibration und biologische Information	95
Verwendung der MV in der Pharmakologie	105

Alle Rechte vorbehalten
© 1969 by Verlag Hans Huber Bern
Satz und Druck: Druckerei Walter Fischer Bern
In der Schweiz gedruckt

A. Versuche an Tieren	105
1. Die Tierart und die Untersuchungsmethoden	105
2. Pharmakologische Wirkungen auf die MV	106
3. Reizung von Gehirnzentren und die Auswirkung auf die MV	107
B. Experimente am Menschen	109
1. Einige Faktoren, die die MV beeinflussen	109
2. MV bei Entspannung und Beruhigung – der Einfluß der Tranquilizer	109
3. Aktivierung der MV und der Einfluß von Drogen	111
4. Einfluß von Drogen auf die MV des Menschen	112
5. MV als Methode zur Bestimmung der Wirkung von Analgetica	112
6. Zur Anwendung der MV in der klinischen Psychopharmakologie	116
Muskelbeanspruchung und MV	126
Anwendung der MV in der klinischen Medizin	128
A. Anwendung in der Neurologie	128
B. Anwendung in der psychosomatischen Medizin	131
1. Schlaf, autogenes Training, Meditation (Gebet) und MV	131
2. Beziehungen zwischen MV und Emotionen	132
3. Musik und MV	132
C. Anwendung der MV in der Psychiatrie	133
1. Die MV-Frequenzverteilung bei Schizophrenie und Neurose	133
2. Atypische Psychose und die Frequenzverteilung der MV	134
3. Veränderungen der Frequenzverteilung der MV durch Phospheneinfluß	136
D. Anwendung der MV in der Hals-Nasen-Ohren-Medizin	138
1. Autonomes Nervensystem und MV	138
2. MV und die Prüfung der Funktion des Vestibularapparates	139
3. Eine Klassifikationsmethode von MV-Aufzeichnungen	142
4. MV bei Patienten mit bösartigem Oberkiefer tumor	143
5. Die Anwendung der MV auf die Untersuchung des Gehörs	145
Literaturverzeichnis zum 2. Teil	148

Technischer Anhang von HERMANN STEINRINGER, Wien

Aufbau und Einrichtung eines Mikrovibrations-Laboratoriums	
1. Raum	153
2. Abnahmegeräte (Pick-ups)	153
3. Übertragungs-System (Verstärker)	156
4. Registrierung	157
5. Speicherung	158
6. Auswertung	159

Sachregister	161
--------------------	-----

1. Teil

von H. ROHRACHER

Vorwort

Dieses Buch ist ein zusammenfassender Bericht über experimentelle und klinische Untersuchungen, aus denen sich ergeben hat, daß der Körper des Menschen und der warmblütigen Tiere während des ganzen Lebens ununterbrochen von rhythmischen Mikrobewegungen erschüttert wird. Diese Bewegungen sind so klein, daß man sie weder sieht noch empfindet; um sie sichtbar zu machen, muß man sie mit einem Mikroskop vergrößern oder in elektrische Spannungen transformieren, die man verstärken und in Form von Schwingungen registrieren kann. Diese Registrierungen haben gezeigt, daß in unserem Körper von der Geburt bis zum Tode ununterbrochen solche Mikrobewegungen stattfinden – auch im Schlaf und in der Narkose – und daß dadurch ein permanentes «Vibrieren» des ganzen Körpers entsteht; aus diesem Grund wurde vorgeschlagen, diese Bewegungen «Mikrovibration» zu nennen.

Die Existenz der Mikrovibration wird heute nicht mehr bestritten; sie wurde seit meinen ersten Publikationen (1946, 1949) durch zahlreiche experimentelle Untersuchungen bestätigt (wobei manchmal andere Namen – «minor tremor», «normal tremor at rest», «physiological tremor» – verwendet wurden). Im Gegensatz zu der Übereinstimmung über die Existenz der Mikrovibration bestehen über ihre Entstehung noch sehr verschiedene Hypothesen; ihre Darstellung und kritische Besprechung gehört zu den wichtigsten Aufgaben dieses Buches.

Ich bin sehr glücklich, daß sich Herr Professor Dr. KAZUTOYO INANAGA von der Kurume-Universität in Kyushu bereit erklärt hat, in diesem Buch über seine eigenen Mikrovibrationsforschungen und über die zahlreichen experimentellen und klinischen Untersuchungen seiner japanischen Kollegen zu berichten. Prof. INANAGA hat im Jahre 1952 in Zusammenarbeit mit Dr. HISANOBU SUGANO am Daumenballen bei Muskelkontraktionen einen «slight tremor» von ungefähr 10 Hz entdeckt; nachdem er im Jahre 1955 von den Mikrovibrations-Untersuchungen in Wien erfahren hatte, entstand durch ständigen Erfahrungsaustausch eine sehr fruchtbare Zusammenarbeit, die bei den Besuchen von Prof. INANAGA und Dr. SUGANO in Wien auch zu freundschaftlichen persönlichen Beziehungen führte. Im Jahre 1967 erschien in Japan ein von INANAGA herausgegebenes Buch «Microvibration» (Igaku Shoin Ltd., Tokyo), in welchem über Untersuchungen aus sechzehn japani-

schen Instituten und Kliniken berichtet wird. Die schwierige Übersetzung des japanisch geschriebenen Manuskriptes von Prof. INANAGA wurde von Frau Dr. IDA FLEISS und den Herren Dr. JOSEF KREINER, Dr. A. MIZUTA und Dr. IKEUCHI durchgeführt; ich danke ihnen für die viele Mühe, die sie darauf verwendeten.

Großen Dank schulde ich der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, die meine Mikrovibrations-Untersuchungen seit dem Jahre 1945 laufend unterstützt hat; ohne diese Hilfe wäre es mir nicht möglich gewesen, die Versuchsreihen durchzuführen, über die in diesem Buche berichtet wird.

Meine Mitarbeiter – durch sieben Jahre Frau Dr. HELGA HONZ-SWAROFSKY, in letzter Zeit die Herren Dr. HERBERT BAUER und Dr. ROMAN FERSTL – haben durch ihre Anregungen und ihre Hilfsbereitschaft viel zum Fortschritt meiner Arbeiten beigetragen; ich danke ihnen dafür, ebenso dem Labortechniker HERMANN STEINRINGER, der ein neues Pick-up entwickelte und den technischen Anhang dieses Buches schrieb.

Dem *Verlag Hans Huber* in Bern danke ich für die gute Zusammenarbeit und für die Bereitschaft, die zahlreichen Abbildungen aufzunehmen.

Die Tatsache, daß ein japanischer und ein österreichischer Autor gemeinsam ein Buch über Untersuchungen aus dem gleichen Forschungsgebiet publizieren, ist ein Beweis dafür, daß in unserer Zeit die Zusammenarbeit von Wissenschaftlern, die in entgegengesetzten Teilen der Erdkugel leben, keine Schwierigkeiten bereitet.

Wien, im April 1969

H. ROHRACHER

Zur Geschichte der Mikrovibrations-Forschung

Mikrobewegungen des menschlichen Körpers, die man weder sieht noch empfindet und deren Existenz niemand erwartet, können nur durch einen Zufall entdeckt werden. Es bedarf dazu eines besonders günstigen Zufalls, weil diese Mikrobewegungen nur sichtbar werden, wenn der Körper mit einem Gerät in Kontakt kommt, das kleinste Bewegungen vergrößert und registriert.

Ein solcher Zufall ergab sich im März 1944 bei gehirnelektrischen Experimenten, bei denen ich mit sehr hohen Verstärkungen arbeitete, um festzustellen, ob man die im Gehirn stattfindenden elektrischen Prozesse auch durch ihre Induktionswirkung registrieren könne. Nach den Gesetzen der Physik steht es außer Zweifel, daß die im Gehirn auftretenden Wechselströme in ihrer Umgebung elektrische und magnetische Felder erzeugen; theoretisch müßte es daher möglich sein, diese Felder durch ihre Induktion auf eine um den Kopf gelegte, aus vielen Drahtwindungen bestehende Spule zu erfassen. Nach vielen erfolglosen Versuchen mit großen Drahtspulen ließ ich – auf Vorschlag des Labortechnikers Ing. MARCO – eine kleine, mit Eisen abgeschirmte Spule mit 10 000 Windungen aus 0,1 mm Kupferdraht herstellen; sie hatte eine Mittelachse, mit welcher man sie in beliebiger Lage an den Kopf halten konnte. Schon beim ersten Versuch zeigten sich große Schwingungen von etwa 10 pro Sekunde, also von der Frequenz der Alpha-Wellen des Gehirns; sie waren aber viel größer als die mit Elektroden abgeleiteten Alpha-Wellen, konnten daher nicht deren Induktionswirkung sein. Wurde die Spule nicht am Kopf, sondern auf der Brust, am Bauch oder am Oberschenkel aufgelegt, so traten ebenfalls Schwingungen von etwa 10 Hz auf; und wurde die Spule mit ausgestreckten Armen möglichst weit vom Körper weggehalten, so daß ein leichter Tremor der Arme und Hände entstand, so wurden die Schwingungen viel größer. Auf Grund dieser Versuche war es leicht, die richtige Erklärung zu finden: die Schwingungen waren wirklich durch Induktionswirkung entstanden, aber nicht durch Induktion der Gehirnströme, sondern durch unsichtbare kleine Bewegungen der Spule gegen das magnetische Feld der Erde. Diese Hypothese war leicht zu kontrollieren: ich befestigte die Spule an einem Gestell und brachte sie in möglichste Nähe des Kopfes, ohne daß sie ihn berührte – es traten keinerlei Schwingungen auf; sie

waren aber sofort wieder vorhanden, wenn man die Spule irgendwo auf den liegenden Körper auflegte. Durch diese Experimente war erwiesen, daß der Körper des Menschen ununterbrochen unsichtbar kleine Bewegungen ausführt, durch welche die Spule gegen das Magnetfeld der Erde bewegt wird, so daß Induktionsströme im Rhythmus dieser Bewegungen entstehen; und es war verständlich, daß diese Mikrobewegungen bisher nicht bekannt sein konnten, weil ihre Feststellung nur mit hoher elektronischer Verstärkung möglich ist (Abb. 1 a).

Zur weiteren Kontrolle wurden Experimente mit allen damals erreichbaren Geräten durchgeführt, mit denen mechanische Impulse in elektrische Spannungsschwankungen transformiert werden können (Mikrophone, deren Membran an den Körper angelegt wurde, piezoelektrische Pick-ups, wie sie als Tonabnehmer verwendet werden, schließlich der elektrodynamische Erschütterungsaufnehmer von Philips). Bei diesen Kontrollversuchen ergaben sich von allen Stellen des menschlichen Körpers – auch bei größtmöglicher Entspannung – ununterbrochen Schwingungen von 7 bis 18 Hz, wobei manchmal eine deutliche Gliederung im Rhythmus des Herzschlages zu sehen war. Es konnte daher nicht mehr daran gezweifelt werden, daß der ruhende und entspannte menschliche Körper ständig rhythmische, außerordentlich kleine und daher unsichtbare Bewegungen von 7 bis 18 pro Sekunde ausführt. Ich nannte diese Bewegungen, die ein ununterbrochenes, mikroskopisch kleines «Vibriieren» des ganzen Körpers bewirken, zuerst «Körpervibration» und später «Mikrovibration».

Bei allen diesen Experimenten wurde selbstverständlich mit größter Sorgfalt darauf geachtet, daß die Registrierungen durch äußere Einflüsse – z. B. durch die Bodenerschütterungen, die beim Gehen im Versuchsraum entstehen – nicht gestört werden. Bei solchen Kontrollversuchen wurde eine höchst überraschende und verwirrende Tatsache festgestellt: wenn man die Verstärkung auf das erreichbare Maximum steigerte, so konnten auch vom Steinboden des Laboratoriums und ebenso vom Erdboden eines benachbarten Gartens ständig vorhandene Mikrobewegungen von 10 bis etwa 25 Hz registriert werden; ihre Amplitude betrug im Durchschnitt etwa ein Hundertstel der menschlichen Mikrovibration. Viel später (1950) habe ich festgestellt, daß diese «Erdvibration» in hohem Grade vom Straßenverkehr abhängt, – ihre Amplitude ist in der Nacht viel kleiner als am Tag, an Sonntagen kleiner als an Werktagen – ferner daß sie an verschiedenen Orten geringe Frequenzunterschiede aufweist und daß sie im Hochgebirge sehr klein wird, auf sehr hohen Bergen überhaupt nicht nachgewiesen werden kann (z. B. am Jungfrauoch in der Schweiz, 3457 Meter). In der geo-

physikalischen Literatur fand ich dazu nur die Feststellung von C. ANGENHEISTER und R. KÖHLER (1936), daß nach künstlichen, durch Sprengung erzeugten Erdbeben Bodenschwingungen von ungefähr 10 Hz auftreten, die als Eigenresonanzen der Erdkrinde aufgefaßt werden. Ich konnte seither diese Erdvibrationen, die wegen ihrer Frequenzgleichheit mit der organischen Mikrovibration auch biologisch interessant sind, nicht weiter untersuchen; sie müssen als Störquelle bei Mikrovibrations-Messungen unbedingt beachtet werden (man kann solche Messungen nur in Räumen mit erschütterungsfreiem Fußboden durch-

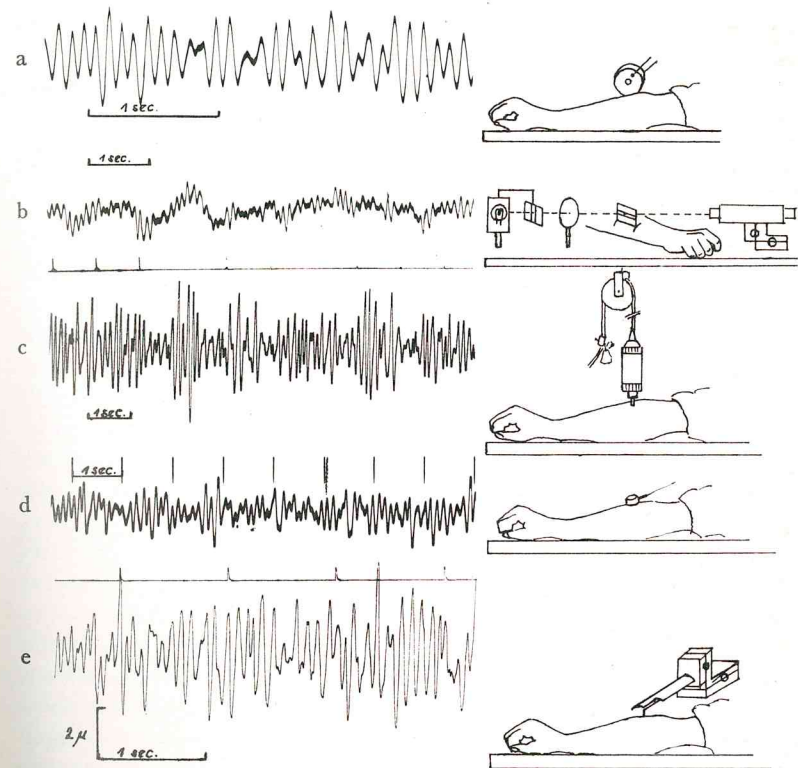


Abb. 1. Mikrovibration, mit 5 verschiedenen Methoden von Unterarm abgenommen. a = Induktions-Spule, b = mikroskopische Registrierung mit Spaltblende, c = Erschütterungsaufnehmer der Firma Philips, d = japanisches piezoelektrisches Pick-up der Firma Kohden, e = Dehnungs-Meßstreifen Pick-up nach H. Steinringer.

führen und darf nur Verstärkungen verwenden, bei denen die Erdvibration nicht registriert wird).

Mit dem Philips-Erschütterungsaufnehmer konnte auch die Größe der Mikrovibration ungefähr bestimmt werden; sie liegt bei möglicher Entspannung im Durchschnitt zwischen 2 und 5 Mikron, kann aber bis auf 0,5 Mikron sinken (Abb. 1 c).

Da sich der Philips-Erschütterungsaufnehmer als Vibrations-Pick-up sehr bewährt hat, wird er im Wiener Laboratorium als Standard-Gerät verwendet. Er besteht aus einem vollkommen geschlossenen Metallzylinder, der einen starken Permanent-Magneten umschließt, in dessen Innerem sich eine gefedert aufgehängte Spule befindet. Das Gerät wird als Ganzes auf den Körper, dessen Bewegungen untersucht werden sollen, aufgesetzt, also zur Abnahme der Mikrovibration z. B. auf den Unterarm (Abb. 1 c). Jede Bewegung des Metallzylinders bringt die Spule im Inneren aus ihrer Ruhelage, wodurch unter der Einwirkung des Magnetfeldes ein Induktionsstrom entsteht; diese Induktionsströme, die in ihrer Frequenz genau dem Rhythmus der einwirkenden Bewegungen entsprechen, werden durch ein abgeschirmtes Kabel, das am oberen Ende des Metallzylinders herausgeführt ist, zum Verstärker geleitet. Die Vorzüge des Philips-Erschütterungsaufnehmers liegen in seiner hohen Empfindlichkeit und in seiner robusten Konstruktion, so daß auch Personen mit geringer technischer Erfahrung mit dem Gerät arbeiten können; ein Nachteil für seine Verwendung als MV-Pick-up ist sein hohes Gewicht (600 Gramm) und der Umstand, daß er senkrecht auf die untersuchte Körperstelle aufgesetzt werden muß. Um dies zu erreichen, mußte eine Aufhänge-Vorrichtung konstruiert werden, die aus einer kugelgelagerten Rolle besteht, über deren Gleitrille das Ableitkabel des Erschütterungs-Aufnehmers geführt wird; auf der Gegenseite ist am Kabel ein Gewicht befestigt, das den Auflagedruck des Aufnehmers auf etwa 150 Gramm herabsetzt. Die Rolle selbst ist mit einem Gummiband an einem Gestänge aufgehängt (Abb. 1 c).

Gegen diese Versuchsanordnung wurde eingewendet, daß durch die Aufhänge-Vorrichtung störende Eigenschwingungen entstehen könnten. Dieser Einwand ist prinzipiell berechtigt; man kann aber diese Störschwingungen durch entsprechende Wahl der Gummibänder in ihrer Frequenz so stark herabsetzen, daß sie außerhalb der MV-Frequenzen liegen. Zahlreiche Kontrollversuche durch Vergleiche mit anderen, komplizierteren Pick-ups zeigten, daß die Abweichungen in den registrierten Schwingungen gering waren. Ein überzeugender Beweis für die Brauchbarkeit des Philips-Gerätes als MV-Pick-up wurde durch Experimente erbracht, bei denen die Mikrovibration ohne elektrische

Zwischenglieder unmittelbar durch direkte mikroskopische Vergrößerung registriert wurde. Bei diesen von A. MARKO im Jahre 1948 durchgeführten Versuchen – sie werden im folgenden (S. 21) genau beschrieben – ergaben sich die gleichen Mikrovibrations-Frequenzen wie mit dem Philips-Erschütterungsaufnehmer (Abb. 1 b).

Seit 25 Jahren habe ich mich ständig und intensiv bemüht, ein Pick-up zu finden, das alle Forderungen erfüllt, die man an einen idealen Mikrovibrations-Aufnehmer stellen muß. Ein solcher Aufnehmer müßte sehr klein und sehr leicht sein, so daß man ihn überall am Körper anbringen kann; er müßte außerdem sehr empfindlich und temperaturunabhängig sein und überdies direkte Wegmessungen ermöglichen, so daß aus den registrierten Amplituden unmittelbar die Größe der Mikrovibrationen entnommen werden kann (das Philips-Gerät mißt die Beschleunigung). Ein Pick-up, das alle diese Forderungen erfüllt, gibt es noch nicht; die japanischen piezoelektrischen Pick-ups sind zwar sehr leicht und klein, aber ziemlich temperaturabhängig und überdies ebenfalls Beschleunigungsmesser. Das von STEINRINGER konstruierte Dehnungsmeßstreifen-Pick-up (siehe Anhang) ermöglicht zwar reine Wegmessungen und ist sehr empfindlich, aber es muß zur Vermeidung von Störungen fest mit dem Boden des Versuchsplatzes verbunden sein, ist also nicht transportabel. Einzelheiten der verschiedenen MV-Pick-ups behandelt H. STEINRINGER im technischen Anhang dieses Buches.

Meine erste Publikation über die Mikrovibration erschien 1946 im «Anzeiger der Österreichischen Akademie der Wissenschaften»; im Jahre 1949 folgte eine ausführliche Monographie «Mechanische Mikroschwingungen des menschlichen Körpers» (Verlag Urban & Schwarzenberg, Wien).

Eine neue, außerordentlich fruchtbare Ära der Mikrovibrationsforschung begann mit den Experimenten von INANAGA und SUGANO im Jahre 1952 in Japan. Die Publikationen dieser beiden Autoren führten dazu, daß an japanischen Instituten und Kliniken zahlreiche physiologische, pharmakologische und klinische Mikrovibrations-Untersuchungen durchgeführt wurden, die viele neue interessante Resultate erbrachten. Es ist den japanischen Forschern zu danken, daß die Mikrovibrations-Registrierung in die klinische Arbeit eingeführt und auf ihre diagnostische Brauchbarkeit geprüft wurde. Über diese Untersuchungen und über die Veränderungen der Mikrovibration unter dem Einfluß verschiedener Pharmaka wird von INANAGA im zweiten Teil dieses Buches ausführlich berichtet.

Beschreibung der Mikrovibration

Die Registrierung der Mikrovibration ergibt ununterbrochene Schwingungen von wechselnder Größe und Schwingungszahl (Abb. 1). Die Schwingungszahl (= Frequenz) der Mikrovibration liegt bei gesunden erwachsenen Personen zwischen 4 und 18 Schwingungen pro Sekunde; ihre Größe (= Amplitude) schwankt beim sitzenden, möglichst entspannten Menschen zwischen 0,5 und 10 Mikron (1 Mikron = 1 Tausendstel Millimeter). Wegen ihrer Kleinheit ist die Mikrovibration unsichtbar; sie erzeugt auch keine Empfindungen. In der Art ihrer Bewegung ist sie dem sichtbaren Zittern (Tremor), wie es in der Kälte oder bei starker Erregung auftritt, sehr ähnlich; sie unterscheidet sich aber vom makroskopischen Kälte- oder Affektzittern nicht nur durch ihre Kleinheit, sondern noch durch zwei weitere wichtige Merkmale; 1. der Makrotremor tritt beim gesunden Menschen nur in bestimmten Reizsituationen (Kälte, Erregung) auf, die Mikrovibration hingegen ist immer vorhanden (sie ist daher nicht wie das Makrozittern eine Reaktion auf Reize, sondern eine spontane ununterbrochene biologische Aktivität des Organismus); 2. der Makrotremor, auch der pathologische (z. B. bei Parkinsonscher Erkrankung), verschwindet im Schlaf und in der Narkose, während die Mikrovibration kontinuierlich bestehen bleibt. Die Mikrovibration ist ein permanenter, während des ganzen Lebens niemals aussetzender unsichtbarer Mikrotremor.

Die Mikrovibration ist ein sehr unregelmäßiger Bewegungsvorgang; nur selten sind die einzelnen, aufeinanderfolgenden Schwingungen gleich groß. Im Gegensatz zur wechselnden Größe der Einzelschwingungen kommt es bei Registrierungen von Körperteilen, die in der Nähe von Arterien liegen, oft zu gleichbleibenden Gliederungen des Schwingungsbildes im Pulsrhythmus; auch die Erschütterung des Körpers durch die Herztätigkeit (Ballistokardiogramm) kann zu solchen Gliederungen führen. Es ist daher fast unmöglich, die Mikrovibration vollkommen isoliert zu registrieren, weil an den meisten Stellen des Körpers auch pulsatorische oder kardiale Bewegungseffekte auftreten; daher ist es verständlich, daß manche Autoren den Mikrotremor ausschließlich als Resultat dieser beiden Komponenten auffaßten. Wie später gezeigt wird, läßt sich diese Annahme widerlegen und eine muskuläre Ursache der Mikrovibration nachweisen. In der Praxis muß

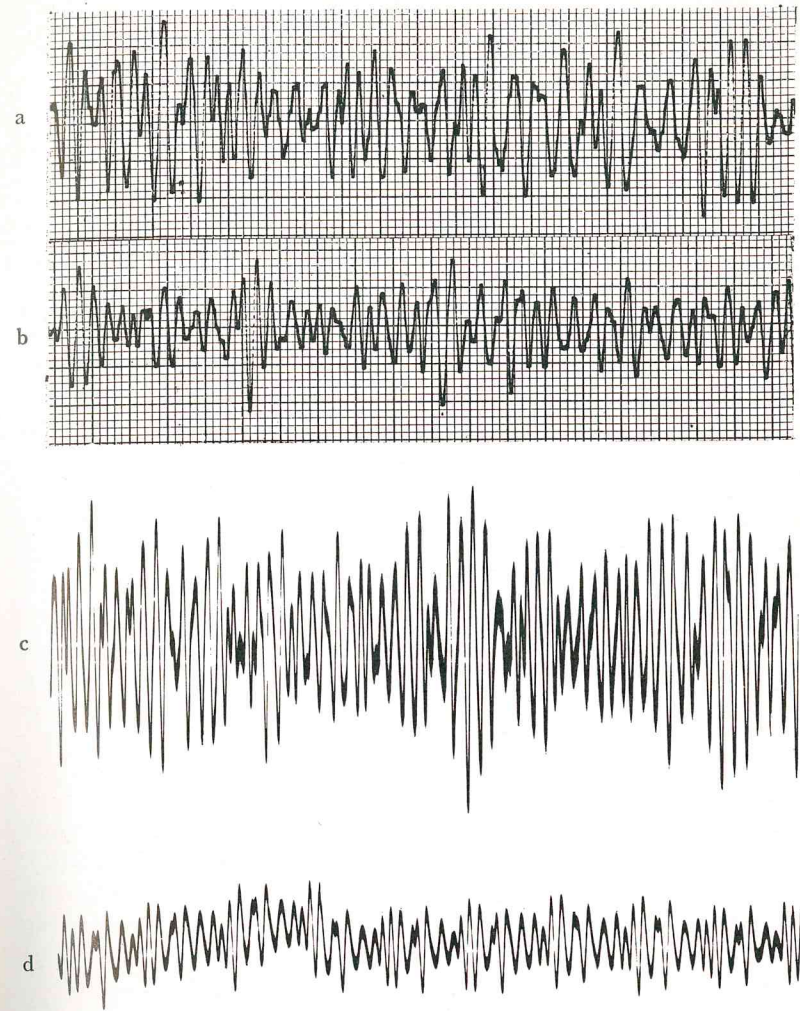


Abb. 2. Mikrovibration in Schlaf und Narkose. a = Wachzustand, b = tiefer Schlaf (gleiche Person), c = Wachzustand, d = Narkose.

man, wenn man nahezu ungestörte Registrierungen erhalten will, die Mikroviibration von den großen Muskelpartien des Körpers (Quadrizeps oder Glutaeus maximus) abnehmen. Vollkommen reine Mikroviibrationen lassen sich nur im Tierversuch nach Ausschaltung des Herzens registrieren; darüber wird noch ausführlich berichtet.

Die Mikroviibration ist am lebenden Organismus *immer* nachweisbar. Von der Geburt bis zum Tode – und auch noch lange Zeit nach dem Tode – setzt sie niemals aus, nicht einmal für die Dauer einer Zehntel-Sekunde. Im tiefen Schlaf sinkt ihre Amplitude bis auf ein Drittel ihrer Größe im Wachzustand; auch in der Narkose verändert sich je nach dem verwendeten Narkotikum ihre Größe, aber sie bleibt immer bestehen (Abb. 2). Nach dem Tode (d. h. nach dem Aufhören des Elektrokardiogramms) konnte die Mikroviibration mit abnehmender Amplitude noch bis 72 Minuten lang registriert werden (S. 32 ff.).

Die Amplitude der Mikroviibration ist bei Männern höher als bei Frauen, die Frequenz niedriger; die Unterschiede sind statistisch sehr signifikant. Auch die Konstitution ist von Bedeutung; bei 20 jungen Polizisten mit eher athletischem Körperbau und kräftiger Muskulatur ergab die MV-Registrierung im Vergleich zu einer Gruppe von Männern aus verschiedenen Berufen fast doppelt so hohe Amplituden. Rassenunterschiede wurden bisher nur in einem Fall untersucht: HONZ und YAMAOKA fanden zwischen 38 Japanern, die sich vorübergehend in Wien aufhielten, und 38 Österreichern sehr signifikante Unterschiede in Frequenz und Amplitude der Mikroviibration (Japaner 9.35 Hz : Österreicher 7.80 Hz bei 5.70 : 10.32 Mikron Amplitude).

Aber auch bei derselben Person finden sich große Unterschiede je nach der Körperstelle, von der die Mikroviibration abgenommen wird. HONZ fand bei einem 21jährigen Mädchen an 68 Körperstellen Differenzen der MV-Frequenz von 5.2 bis 11.9 Hz, der Amplituden von 5.1 bis 20.4 Mikron (Abb. 3). Die Versuchsperson lag bei der Registrierung auf einer dicken Schaumgummi-Matratze, die auf einer 20 cm dicken Sandschicht ausgebreitet war, um die Erdvibration auszuschalten.

Muskelspannung führt zu Vergrößerung der Amplitude; schon zwischen Liegen, Sitzen und Stehen – also zwischen drei Graden verschiedener Spannung der Gesamtmuskulatur – ergeben sich beträchtliche Unterschiede der MV-Amplitude (im Durchschnitt von 7 Personen im Liegen 3.3, im Sitzen auf einem sehr bequemen Siesta-Liegestuhl 3.2 und im Stehen 5.4 Mikron; Abb. 4). Die Mikroviibration wurde dabei immer an derselben Stelle (Schulter) abgenommen. Schon die bloße Vorstellung von Muskelkontraktionen (z. B. Faustballen) genügt, um die Amplitude zu vergrößern. Pharmaka, die auf die Muskulatur wir-

ken, verändern die Mikroviibration in charakteristischer Weise: Muskelrelaxantia und zentralnervös angreifende Sedativa reduzieren die MV-Amplitude, Stimulantia erhöhen sie. Darüber wird später ausführlich berichtet.

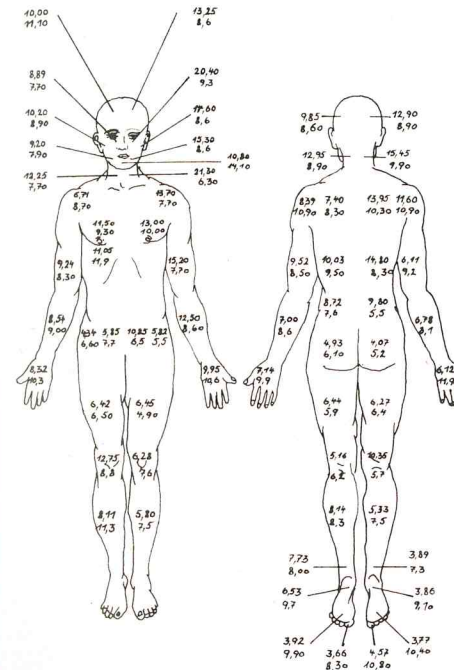


Abb. 3. Mikroviibration von verschiedenen Körperstellen mit gleicher Verstärkung (Abnahme mit Philips-Erschütterungsaufnehmer). Die oberen Zahlen geben die Amplitude in Mikron, die unteren die Frequenz in Hertz.

Groß ist die Wirkung psychischer Spannung und Erregung; schon bei geringen Graden steigt die Amplitude stark an, so daß die MV-Registrierung als Methode zur Feststellung psychischer Spannungen verwendet werden konnte. Auch darüber wird ausführlich referiert werden.

Mikroviibrationen gibt es nur bei warmblütigen Lebewesen; Kaltblüter haben keine Mikroviibration (s. S. 44). Diese Tatsache ist von besonders großer Bedeutung, weil sie die Annahme nahelegt, daß die muskulären Vorgänge, aus denen die Mikroviibration entsteht, mit der Konstanz der Körpertemperatur der Warmblüter in Zusammenhang stehen.

Eine biologische Interpretation der Mikroviibration ist nur möglich, wenn über ihre Entstehung Klarheit besteht. Über die Entstehung der Mikroviibration wurden zwei Auffassungen vertreten: amerikanische Autoren behaupteten in den letzten Jahren, daß die Mikroviibration («normal tremor at rest») ausschließlich auf die Erschütterung des Körpers durch die Herztätigkeit zurückzuführen sei, während japanische Autoren und ich selbst schon seit den ersten Registrierungen der Mikroviibration annahmen, daß sie durch ständige Muskelaktivität entstehe. Für beide Auffassungen werden experimentelle Argumente angeführt; die Entscheidung zwischen beiden bildet gegenwärtig das Grundproblem der Mikroviibrationsforschung.

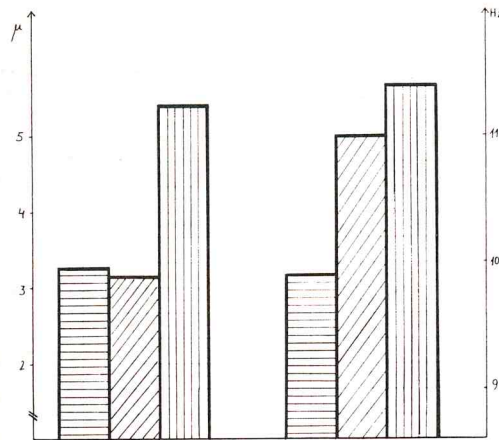


Abb. 4. Amplitude und Frequenz der Mikroviibration beim Liegen, Sitzen und Stehen (abgenommen von der rechten Schulter, Durchschnitt von 7 Personen, Amplitude in Mikron).

Abnahme und Registrierung der Mikroviibration

Um die Mikroviibration sichtbar zu machen, muß man an irgendeiner Stelle des Körpers ein Gerät auflegen, auf welches sich die Mikrobewegungen übertragen, so daß das Gerät oder ein Teil von ihm dieselben Bewegungen ausführt wie der darunter befindliche Körperteil. Theoretisch sehr einfach, in der Praxis aber ziemlich schwierig ist die optisch-mikroskopische Registrierung: irgendwo am Körper, z. B. auf der Dorsalseite des Unterarms, wird eine Spaltblende aufgeklebt (ein Metallplättchen mit einem winzigen horizontalen Spalt, der von einer starken Lichtquelle beleuchtet wird); die Spaltblende wird in solcher Weise angebracht, daß sie sich unmittelbar vor dem Objektiv eines Mikroskops befindet, an dessen Okular-Seite eine Kamera für Papierfilm (z. B. EKG-Kamera) den bewegten Lichtstrahl aufnimmt. Vor dem Objektiv der Kamera befindet sich eine zweite Blende mit vertikalem Spalt, so daß die senkrechten Bewegungen des waagrechten Spaltes am Unterarm eine punktförmige Abbildung dieser Bewegungen auf dem Papierfilm ergeben. Es muß dafür gesorgt werden (z. B. durch große Gewichte auf dem Versuchstisch – mindestens 100 Kilogramm), daß sich die Mikroviibration nicht auf den Tisch und auf das Mikroskop übertragen kann, wodurch jede Registrierung unmöglich würde (weil sich Arm, Spaltblende und Mikroskop in gleicher Weise bewegen). Die optisch-mikroskopische MV-Registrierung, wie sie von MARKO durchgeführt wurde (Abb. 1 b), ist in vieler Hinsicht ideal: sie vermeidet alle Fehlerquellen, die durch elektrische Zwischenglieder entstehen, und sie ist eine reine Wegmessung, d. h. sie gibt die Mikrobewegungen der untersuchten Körperstelle richtig und getreu in vergrößerter Form wieder. Leider ist dieses Verfahren für Routine-Untersuchungen unbrauchbar; die genaue Einstellung der Spaltblende, der Beleuchtung und der Kamera erfordert viel Zeit und muß nach jeder kleinsten Bewegung der Versuchsperson neuerlich durchgeführt werden.

Man muß daher Geräte verwenden, die man am Körper auflegen kann, ohne daß geringfügige Lageveränderungen immer neue Einstellungen notwendig machen. Bei allen Geräten dieser Art werden die von der untersuchten Körperstelle übernommenen Mikrobewegungen in elektrische Impulse umgewandelt (dadurch, daß sie Verschiebungen einer Spule in einem Magnetfeld oder Änderungen des Druckes in

einem piezoelektrischen System oder einem Dehnungsmeßstreifen bewirken). Auf diese Weise wird zwar der Rhythmus der Mikrobewegungen richtig wiedergegeben, aber meist nicht die Größe der Bewegung (die Länge der dabei zurückgelegten Strecke); gemessen wird mit solchen Geräten die Beschleunigung oder Geschwindigkeit, d. h. die Zu- oder Abnahme der Kraft, mit welcher das Pick-up bewegt wurde (Beschleunigung), oder die Zeit, in welcher die Bewegung ablief (Geschwindigkeit). Da die Strecke, die von den Mikrovibrationen in der Zeiteinheit zurückgelegt wird, im Bereich von Mikron liegt, sind die Unterschiede gegenüber der reinen Wegmessung gering (weil bei einer Weglänge von wenigen Mikron nur sehr kleine Änderungen der Geschwindigkeit auftreten können). Für Routineuntersuchungen genügen daher Beschleunigungs- oder Geschwindigkeitsmesser, also die piezoelektrischen oder elektrodynamischen Pick-ups (Abb. 1 c, d); für besonders wichtige Forschungsarbeiten ist ein reiner Wegmesser vorzuziehen, weil man dabei ein vollkommen richtiges Bild der Mikrobewegungen erhält und bei günstiger Anordnung sofort die Amplitude in Mikron ablesen kann. Eine solche Versuchsanordnung wurde vom Labortechniker des Wiener-Institutes STEINRINGER mit Hilfe von Dehnungsmeßstreifen konstruiert; sie ist im Anhang beschrieben. Für Routine-Untersuchungen ist sie auch noch nicht ideal, weil das Gerät auf einem erschütterungsfreien Block fixiert sein muß. Ideal wäre ein sehr kleines, von jeder Fixierung unabhängiges und an jeder Körperstelle anlegbares Gerät von sehr geringem Gewicht und hoher Empfindlichkeit (Abb. 1 d). Ein solches Pick-up gibt es noch nicht.

Eine weitere Möglichkeit ist nur kurz zu erwähnen, weil sie für längere Versuchsreihen kaum in Frage kommt: die kapazitive Abnahme. In einen Schwingkreis (z. B. 100 kHz) wird ein Kondensator eingeordnet, der aus zwei großen Metallplatten besteht, zwischen welche die Hand oder der Arm geschoben wird, ohne die obere Platte zu berühren; die Mikrobewegungen der Hand verändern die Kapazität des Kondensators und die Registrierung dieser Veränderungen ergibt ein getreues Bild der ablaufenden Bewegungen. Die Methode ist nur zu Messungen der MV-Frequenz, nicht aber der MV-Amplitude geeignet, weil der Abstand zwischen der Hand der Versuchsperson und der darüber liegenden Kondensator-Platte von Person zu Person nicht genau gleich eingestellt werden kann. Abb. 1 zeigt MV-Registrierungen mit verschiedenen Abnahme-Methoden.

Zur MV-Registrierung ist jedes schreibende Gerät (Elektrokardiograph, Elektro-Enzephalograph) geeignet; auch die Verstärkung durch diese Geräte ist im allgemeinen ausreichend.

Auswertung der MV-Registrierungen

Zur Darstellung der Mittelwerte von Frequenz und Amplitude der Mikrovibration gibt es zwei Möglichkeiten: 1. die Feststellung der Durchschnitts-Frequenz innerhalb einer bestimmten Zeit und 2. die Feststellung der Frequenz-Verteilung.

ad 1.: aus einer genügend langen Registrierung (z. B. 30 Sekunden) wird die Durchschnitts-Frequenz – d. h. die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde – berechnet (es werden die in 30 Sekunden aufgetretenen Schwingungen gezählt – z. B. 336 – und durch 30 dividiert, daher

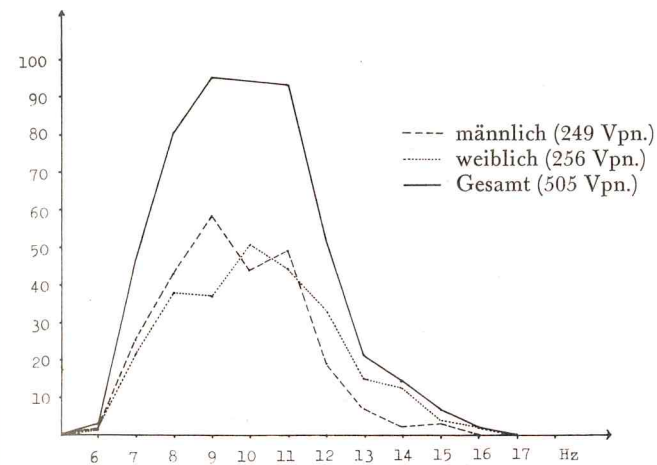


Abb. 5. Durchschnittsfrequenz der Mikrovibration von 505 Personen bei Entspannung, abgenommen mit Philips-Erschütterungsaufnehmer von der Dorsal-seite des linken Unterarmes.

Durchschnittsfrequenz 11.2 Hz). Auf diese Weise erhält man für jede Versuchsperson einen Durchschnittswert; hat man die Auswertung bei vielen Personen durchgeführt, kann man die Verteilung der Durchschnitts-Frequenzen in einer Kurve darstellen. Abb. 5 zeigt eine solche Verteilungs-Kurve von 505 Personen; die Abszisse zeigt die Frequenzen, die Ordinate die Anzahl der Personen für jede Durchschnittsfre-

quenz. Für diese Auswertung genügen MV-Registrierungen mit langsamer Ablaufgeschwindigkeit (z. B. 12 mm pro Sekunde). Analoge Auswertungen lassen sich für die Amplituden durchführen.

ad 2.: Viel genauer und aufschlußreicher ist die Feststellung der Häufigkeit der einzelnen Frequenzen innerhalb einer bestimmten Zeit. Solche Auswertungen können nur aus Registrierungen mit großer Ablaufgeschwindigkeit (z. B. 100 mm pro Sekunde) durchgeführt werden, weil die Frequenz jeder einzelnen Schwingung bestimmt werden muß (dazu wird die Wellenlänge jeder Schwingung in Millimeter gemessen – z. B. 11 mm – und die Ablaufgeschwindigkeit durch diesen Wert dividiert – $100 : 11 = 9.09$ Hz). Man muß genügend viele aufeinanderfolgende Einzelschwingungen (z. B. 200) messen und erhält dann eine

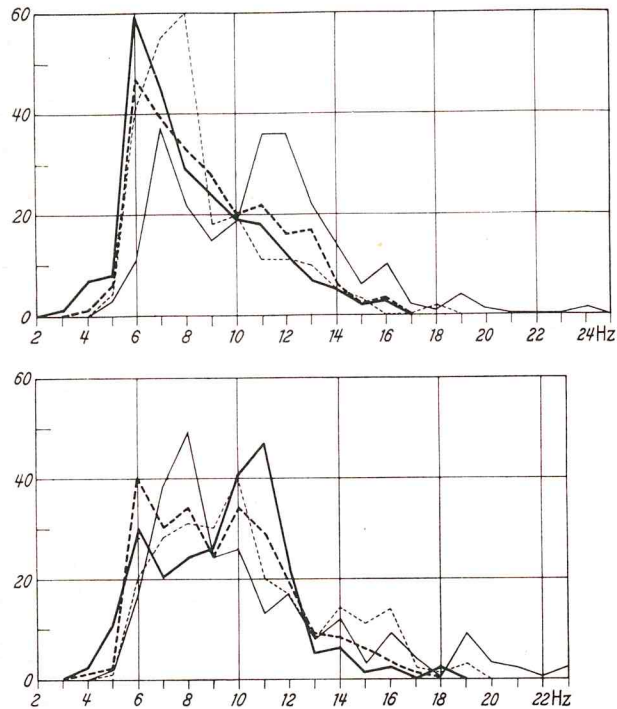


Abb. 6. Mikrovibrations-Frequenzverteilung von 2 Personen innerhalb eines halben Jahres, gewonnen aus Messungen von je 200 Einzelschwingungen. — = 1. Abschnitt (2.–7. April 1962); - - - - = 2. Abschnitt (7.–12. Mai 1962); ···· = 3. Abschnitt (25.–30. Juni 1962); — · — = 4. Abschnitt (16. November bis 1. Dezember 1962).

Frequenz-Verteilungskurve für jede Versuchsperson (auf der Abszisse sind die Frequenzen aufgetragen, die Ordinate zeigt, wie oft die einzelnen Frequenzen bei der Versuchsperson vorkommen).

Vergleichende Untersuchungen von HONZ-SWAROFSKY an 3 Personen mit oftmaligen Registrierungen innerhalb eines Jahres (in jeder Jahreszeit eine Woche lang jeden Tag) ergaben sehr große individuelle Unterschiede in der Frequenzverteilung, aber hohe Konstanz dieser Verteilung bei derselben Person (HONZ-SWAROFSKY 1964); Abb. 6.

Schließlich sind noch die elektronischen Auswertungsgeräte zu erwähnen, die schon während der Registrierung die Anzahl der einzelnen Frequenzen in Form einer Zacke aufzeichnen (Frequenz-Analysatoren), sowie die Möglichkeit der Auswertung mit Hilfe von Computern und elektronischen Kurvenauswertern, mit denen sich enorme Arbeits- und Zeiteinsparungen erreichen lassen.

Entstehung der Mikrovibration

Schon in meinen ersten Publikationen (1949) habe ich die Hypothese vertreten, daß der Ursprung der Mikrovibration in alternierenden Kontraktionen einzelner Fasern der quergestreiften Muskulatur zu suchen sei. INANAGA und andere japanische Forscher haben ebenfalls die muskuläre Entstehung der Mikrovibration behauptet; INANAGA hat über die Erregungsprozesse in den Ganglienzellen des Rückenmarks, die zur Mikrovibration führen, eine eigene Hypothese aufgestellt (S. 91 f.). Die Argumente für den muskulären Ursprung der Mikrovibration werden später ausführlich dargestellt; zu ihnen gehört auch die Tatsache, daß die Frequenzen der elektrischen Muskel-Aktionsströme im gleichen Bereich liegen wie die Frequenzen der Mikrovibration. Gegen die Verlässlichkeit der Frequenzbestimmung bei MV-Registrierungen hat WILLIAMS 1956 in seiner «Resonanz-Hypothese» eingewendet, daß die Frequenz durch das jeweils verwendete Aufnehmer-System bestimmt werde; das Pick-up und der Körperteil, auf dem es aufliegt, bilden zusammen ein Schwingungs-System, welches durch die vom Körper ausgehenden Impulse in Resonanz versetzt werde. Die Frequenz entspreche daher nicht den physiologischen Mikrobewegungen, sondern sei ein Resonanz-Effekt, der von den Eigenschaften des Gesamtsystems abhängt. Die Tatsache der Mikrovibration wird von WILLIAMS nicht bezweifelt (er hat selbst Untersuchungen mit Neurotikern und Schizophrenen durchgeführt, S. 68 f.); auswertbar sei aber nur die MV-Amplitude. Eine öffentliche Diskussion zu dieser Frage, die zwischen WILLIAMS und mir im «Psychological Review» (1964) stattfand, führte zu keiner Einigung. Heute ist das Problem durch die Registrierungen mit dem Dehnungs-Meßstreifen-Pick-up von STEININGER gelöst; dieses Pick-up – es ist im Anhang beschrieben (S. 156) – schließt jede Resonanzwirkung aus und gibt die Bewegungen der Körperstelle, auf die es angelegt wird, vollkommen getreu wieder. Die Schwingungen, die mit diesem Gerät registriert wurden, entsprechen in ihrer Frequenz fast vollkommen den von WILLIAMS mit seinem piezoelektrischen Accelerations-Pick-up registrierten Schwingungen.

Gegen die Hypothese der muskulären MV-Entstehung wenden sich mit experimentellen Resultaten die Vertreter der cardio-vaskulären Entstehung der Mikrovibration.

1. Die kardio-vaskuläre (ballistokardiographische) Hypothese

Die Hypothese, daß die Mikrovibration durch ständige Erschütterung des menschlichen Körpers durch die Herztätigkeit entstehe und daher ein «ballistokardiographischer Effekt» sei, wurde auf Grund von experimentellen Resultaten in sehr entschiedener Weise von BRUMLIK (Northwestern University Medical School Chicago) und von VAN BUSKIRK in Zusammenarbeit mit FINK (University of Maryland, Baltimore) vertreten. «Ballistokardiographische Effekte» sind Erschütterungen des Körpers, die durch den Ausstoß des Blutes aus dem Herzen und durch den Rückstoß der Aorta bewirkt werden (in drei Richtungen: Kopf-Fuß, rechts-links, Brust-Rücken). Die genannten Autoren bezeichnen als «physiologic tremor» oder «normal tremor» die oszillierenden Bewegungen, die beim gesunden Menschen bei willkürlichen oder unwillkürlichen Muskelkontraktionen auftreten (zum erstenmal beschrieben von SCHÄFER und Mitarbeiter 1886). Im Gegensatz zu diesem längst bekannten und spürbaren Tremor sind die Mikrobewegungen, die von den beiden Autoren «tremor at rest» («Ruhetremor») genannt werden und die auch bei entspannter Muskulatur vorhanden sind, unsichtbar klein; «normal tremor at rest is invisible to the naked eye, lies entirely in micron range, and must be detected and amplified electronically for study». (BRUMLIK 1964, S. 174). Diese Definition entspricht vollkommen der Mikrovibration, wie ich sie bereits 1946 beschrieben habe, nachdem sie 1944 bei den früher beschriebenen zu ganz anderen Zwecken durchgeführten Experimenten mit der Induktions-Spule zum ersten Mal registriert worden war. Wer in Amerika die ersten Registrierungen des «normal tremor at rest» durchführte, konnte ich nicht feststellen.

BRUMLIK verwendete zur Abnahme einen Beschleunigungsaufnehmer (Gulton AVR-250), der auch Berechnungen der Amplitude in Mikron ermöglichte. Abgenommen wurde der Tremor am häufigsten von der Dorsalseite des Mittelfingers der freihängenden Hand, aber auch vom Handgelenk, Ellbogen und Schultergelenk; die dabei registrierten Tremor-Frequenzen lagen zwischen 5 und 9 Hz bei Amplituden zwischen 6 und 34 Mikron.

Die Experimente BRUMLIKS führten zu folgenden Resultaten (gewonnen am Ruhetremor des Mittelfingers):

1. Im Schlaf sinkt die Amplitude des Tremors von 12–16 Mikron (mit Spitzen von 60 bis 80) auf 9–12 Mikron;
2. eine neuromuskuläre Lähmung durch Succinylcholin bei einem jungen Mann mit künstlicher Beatmung führte zu geringen Änderungen der Wellenform des Fingertremors;

3. Sperrung der Blutzufuhr durch eine am Oberarm angelegte Blutdruck-Manschette führte auch nach drei Minuten zu keiner Änderung des Tremors (Anzahl der Vpn. nicht angegeben);
4. gleichzeitige Registrierung des Ballistokardiogramms ergab klare Zuordnung zu Einzelschwingungen des Tremors, d. h. die höchsten Amplituden traten im Ballistokardiogramm und beim Tremor im gleichen Rhythmus auf.

VAN BUSKIRK und FINK untersuchten an 161 gesunden Personen, an 12 Patienten mit Erkrankungen des Halsmarks und an 62 Patienten mit Muskelschwäche der oberen Extremitäten den «normal tremor» mit Hilfe einer photoelektrischen Anordnung, die am Mittelglied des Zeigefingers befestigt war. Sie fanden Durchschnittsfrequenzen des Tremors von 5 bis 13 Hz mit zeitweisen Einschüben von 20 bis 25 Hz. Bei zwei Patienten mit multipler Sklerose waren die Amplituden extrem niedrig, bei einem dritten Patienten mit derselben Krankheit war überhaupt kein Tremor registrierbar; von den 62 Patienten mit Störungen an den oberen Extremitäten infolge Rückenmarkserkrankungen wiesen 11 reduzierte, 3 erhöhte Amplituden auf, 3 zeigten Einstreuungen langsamer Frequenzen (4–5 Hz). Andere Resultate als BRUMLIK erhielten die Autoren bei Sperrung der Blutzufuhr mit einer Blutdruck-Manschette: innerhalb der 3. bis 8. Minute nach Anlegen der Manschette verschwand der Tremor bei 5 Personen, bei einer weiteren wurde die Amplitude kleiner. Im Tierversuch zeigte sich am narkotisierten Hund ein Tremor von 8–14 Hz, dessen Amplituden nach Durchschneidung der dorsalen Wurzeln kleiner wurden («the tremor persisted but with a reduction in amplitude»); bei einem zweiten Tier wurden die dorsalen und ventralen Wurzeln durchschnitten und später auch noch die zur untersuchten Extremität gehörigen Rückenmark-Segmente; der Tremor blieb bestehen, doch wurde die Amplitude im ersten und zweiten Experiment kleiner («the tremor remained but with reduced amplitude»).

Weitere, besonders interessante Tierversuche wurden von BRUMLIK in Zusammenarbeit mit MIER, PETROVICK und JENSEN durchgeführt. Narkotisierte Hunde wurden in ein Gestell gebracht, in welchem die Beine frei nach unten hingen; der Tremor wurde mit einem kleinen Beschleunigungsaufnehmer von einer Pfote gleichzeitig mit EEG, EKG, EMG, Atmung und Vibrokardiogramm registriert. («Vibrokardiogramm»: ein Beschleunigungsmesser «wurde an der vorderen Brustwand über der Herzspitze befestigt, womit der Herzstoß und die Vibrationen bei jedem Herzschlag aufgezeichnet wurden – im Sinne eines sog. Vibrokardiogramms»; AGRESS u. FIELDS 1961). Komplette neuro-

muskuläre Lähmung durch Succinylcholin führte in zwei Versuchen nach Eintritt des Atemstillstandes und nach Aufhören der zerebralen Potentiale zu keiner Änderung des Pfotentremors, der mit 3,75 im ersten, 9 Hz im zweiten Versuch bei sehr hoher Amplitude – 50 Mikron – weiter bestand. Durchschneidung des Rückenmarkes in Höhe des 12. Thorakalsegmentes brachte «keinerlei Beeinflussung des Elektroenzephalogrammes und des Elektromyogrammes», auch der Tremor blieb unverändert und wurde erst nach Injektion von Succinylcholin und Atemstillstand kleiner, ebenso das Vibrogramm, bis beide verschwanden, obwohl im EKG noch starkes Herzflimmern zu sehen war. Bei Atemstillstand durch Injektion von Kaliumchlorid ergaben sich im wesentlichen gleiche Resultate, ebenso bei Atemstillstand nach einer Überdosis eines Barbiturates (Nembutal). Tötung durch Erstickten (Inhalation von Kohlenmonoxydgas) bewirkte nach Herzstillstand Verschwinden des Tremors (in der Abbildung zu diesem Versuch ist der Tremor an zwei Pfoten noch mit großen Amplituden vorhanden, obwohl das Vibrokardiogramm sehr klein oder überhaupt nicht mehr zu sehen ist). Durchtrennung des Rückenmarks in der Höhe des 5. Cervikalsegmentes mit gleichzeitiger Resektion der dorsalen und ventralen Wurzeln C1–C8 führte zu einer Verminderung der Amplitude. Aus den Abbildungen läßt sich feststellen, daß die Größe des Vibrogrammes mit der Größe des Tremors nicht korreliert und daß außer im Nembutal-Versuch der Tremor nicht vollkommen aufhörte, so daß er bei höherer Verstärkung wahrscheinlich noch gut meßbar gewesen wäre.

BRUMLIK kommt zu dem Schluß, «that normal tremor at rest is wholly a cardiorespiratory phenomenon – a modified high-frequency lateral acceleration ballistocardiogram» (S. 117); man solle daher die Bezeichnung «Tremor» ersetzen durch «laterales BKG». Er nimmt an, daß der Herzschlag den ganzen Körper so stark erschüttert, daß auch die vollkommen entspannten Extremitäten dadurch in eine Schwingungs-Serie versetzt werden «by a shock traveling up and down the extremity» (S. 175). «Reflected waves decay until the next heartbeat, adding and subtracting in phase-relationship with each other» (S. 175). Auch VAN BUSKIRK and FINK kommen zu der Ansicht, «that tremor at rest is a ballistocardiographic effect, as is also probably the case with the physiologic tremor of voluntary muscle contraction» (S. 369). Ebenso BRUMLIK, MIER, PETROVICK und JENSEN: «Der normale Ruhetremor wird beim Hund, ebenso wie beim Menschen, allein als cardiorespiratorisches Phänomen aufgefaßt» (S. 608).

Diese Behauptungen sind nicht mit allen Resultaten der Autoren vereinbar; z. B. nicht mit der Tatsache, daß die Amplitude nach Unter-

brechung der Nervenleitungen kleiner wird, obwohl die Herztätigkeit dadurch nicht beeinflußt wird. Ein klarer Widerspruch besteht zwischen der ballistocardiographischen Interpretation und den Registrierungen von SUGANO, YOSHIY, SAKAMOTO und von mir unmittelbar nach dem klinischen Tod mit Stillstand des Herzens: die Mikrovibration besteht noch lange mit abnehmender Amplitude weiter, obwohl ballistocardiographische Erschütterungen nicht mehr stattfinden können, weil das Herz nicht mehr schlägt. (Über solche Experimente wird später ausführlich berichtet, S. 32 f.) Es muß daher eine Hypothese gesucht werden, die imstande ist, sowohl die Ergebnisse von BRUMLIK und VAN BUSKIRK wie das Weiterbestehen der Mikrovibration nach Stillstand des Herzens (und alle anderen MV-Befunde) zu erklären. Diese Forderungen werden durch die Annahme erfüllt, daß die Mikrovibration (= «normal tremor at rest») aus zwei Komponenten besteht: einer cardiovascularen (Puls und Herzschlag) und einer neuromuskulären (Kontraktionen der quergestreiften Muskulatur). Werden die Nervenleitungen zum Rückenmark unterbrochen oder die entsprechenden Rückenmarks-Segmente zerstört, so bleibt nur die cardiovascular Komponente übrig (daher Abnahme der Amplitude in den Tier-Experimenten von VAN BUSKIRK und FINK, ebenso bei multipler Sklerose); wird die Herztätigkeit ausgeschaltet, so bleibt nur die neuro-muskuläre Komponente noch eine Weile bestehen, weil die Ganglienzellen des Rückenmarks ihre Impulse noch einige Zeit produzieren (d. h. daß in den Tierversuchen von SUGANO, YOSHIY, SAKAMOTO und mir die «reine» Mikrovibration ohne cardiale Störung registriert werden konnte).

Mit dieser Hypothese lassen sich alle bisher erzielten experimentellen Resultate erklären. Dabei ist zu bedenken, daß die von BRUMLIK und VAN BUSKIRK bevorzugte Registrierung von einem Finger oder von der Pfote eines Tieres besonders ungünstig ist, weil dort wegen der Kleinheit der Muskeln die cardiale und pulsatorische Komponente besonders stark und die neuromuskuläre Komponente besonders schwach zur Auswirkung kommt. Daß sich zwischen Fingertremor und Ballistocardiogramm eindeutige Zuordnungen ergeben, ist daher nicht verwunderlich – nur sind mit diesen Zuordnungen nicht alle Schwingungen des «tremor at rest» erklärbar (nämlich diejenigen nicht, die nach dem Tode noch bestehen oder die bei multipler Sklerose usw. fehlen).

Zusammenfassend läßt sich zur ballistocardiographischen Hypothese feststellen, daß sie nur eine Komponente der Mikrovibration erfaßt. Wenn die Mikrovibration ausschließlich aus Effekten der Körpererschütterung durch die Herztätigkeit bestünde, dann müßte sie nach Stillstand des Herzens vollständig verschwinden und nach Unterbre-

chung der nervösen Muskelversorgung in unverminderter Amplitude weiter bestehen, ebenso bei Erkrankungen des Rückenmarks. Es ergibt sich daher sowohl aus den Experimenten von BRUMLIK und VAN BUSKIRK-FINK sowie denjenigen von SUGANO, YOSHIY, SAKAMOTO wie aus meinen eigenen Versuchen nur eine einzige Erklärung der Mikrovibration: die Zwei-Komponenten-Theorie, die annimmt, daß in den registrierten Schwingungen cardiale (= ballistocardiographische und pulsatorische) und neuromuskuläre Effekte enthalten sind. Für die Richtigkeit dieser Theorie, die außer von japanischen Autoren (Beitrag INANAGA, S. 88) auch in Amerika von STUART und seinen Mitarbeitern vertreten wurde (STUART, ELDRED, HEMINGWAY, KAWAMURA 1963), sprechen noch viele andere experimentelle Resultate, auf welche in den folgenden Ausführungen kurz eingegangen wird.

2. Die neuromuskuläre Hypothese

Das entscheidende Experiment zur Ausschaltung von Muskelkontraktionen bei Tremoruntersuchungen ist zweifellos die Durchtrennung der motorischen Nervenleitungen vom Rückenmark zur untersuchten Muskulatur («dorsale Wurzeln»); auf diese Weise wird eine schlaffe Lähmung erzeugt, d. h. der Muskel kann sich nicht mehr kontrahieren, weil ihn die motorischen Erregungen nicht mehr erreichen. Man kann noch einen Schritt weitergehen und auch die Nervenleitungen, die vom Muskel in das Rückenmark führen («ventrale Wurzeln») durchschneiden; dadurch werden die Erregungen, die in den Rezeptoren (Muskelspindeln) des Muskels entstehen und die im Rückenmark oder im Gehirn neue motorische Erregungen auslösen können, ausgeschaltet. In beiden Fällen kommt es, wie zuerst SUGANO (1957) und später VAN BUSKIRK und FINK (1962) feststellten, zu einer Reduktion der MV-Amplitude; diese Tatsache wurde oben als Folge des Ausfalles der neuromuskulären Komponente interpretiert, so daß nur die Kardialkomponente übrig bleibt.

Das entscheidende Experiment zur Ausschaltung von pulsatorischen und ballistocardiographischen Effekten – d. h. zur Beseitigung der Körper-Erschütterung durch die Herztätigkeit und den Blutkreislauf – ist zweifellos die Stilllegung des Herzens durch Tötung des Versuchstieres und Durchschneidung der Arterien. Solche Versuche haben gezeigt, daß die Mikrovibration nach dem klinischen Tod noch etwa 1 bis 2 Stunden lang bestehen bleibt. Unmittelbar nach dem Eintritt des Todes – z. B. nach Durchschneidung der beiden Halsschlagadern im Tierversuch –

wird die Amplitude kleiner, doch treten weiterhin ununterbrochene MV-Schwingungen auf. Im ersten Versuch, den ich schon 1953 in Zusammenarbeit mit SCHRÖCKSNADL in Innsbruck durchführte, wurde ein großes Meerschweinchen durch Herzstich getötet und dann das Herz so rasch als möglich herausgenommen, was 12 Minuten in Anspruch nahm; es zeigten sich zunächst durch 25 Minuten noch ununterbrochene Mikro- vibrationen mit etwa $\frac{1}{5}$ der Normalamplitude, die dann immer kleiner wurden und schließlich mit immer längeren Leerphasen in Einzelzuckungen übergingen (die letzte in der 52. Minute). Ein zweites Meer- schweinchen wurde durch Genickschlag getötet, dann wurde das Rückenmark unterhalb der medulla oblongata durchschnitten; auch bei diesem Tier blieb die Mikro- vibration mit reduzierter Amplitude zunächst ununterbrochen bestehen; sie verschwand dann für zunehmend längere Zeiten und trat in der 72. Minute zum letzten Male auf. An einem Kaninchen wurde das Weiterbestehen der Mikro- vibration nach dem Tode 1957 von SUGANO, an einem Hund 1963 von YOSHIY in Japan und 1967 von SAKAMOTO mit Mitarbeitern an Kaninchen mit gleich- zeitiger Registrierung des Ballistokardiogramms bestätigt.

Da diese Resultate von großer theoretischer Bedeutung sind, habe ich 1967 fünf weitere Tierversuche durchgeführt, bei denen die Halsschlag- adern durchschnitten und außer der Mikro- vibration immer auch das Elektrokardiogramm und einmal auch die Bodenerschütterungen regi- striert wurden. In allen fünf Experimenten war die Mikro- vibration in der oben beschriebenen Weise 60 bis 90 Minuten nach dem Verschwin- den des EKG mit abnehmender Amplitude nachweisbar. Ich beschreibe den letzten Versuch ausführlicher, um die Methodik darzustellen. Ein Kaninchen (1200 Gramm schwer) wurde mit Pentothal (ein Gramm auf 5 cm³ intramuskulär) narkotisiert. Das Tier wurde auf einen Betonblock von 500 Kilogramm gelegt, der auf einer von Boden des Versuchs- raumes mechanisch isolierten Betonplatte stand. An einer Eisenschiene, die an einem stehenden Betonpfeiler des Labors befestigt war, wurden zwei Philips-Erschütterungsaufnehmer mit der im Wiener-Labor übli- chen Aufhänge-Vorrichtung befestigt (das Kabel des Erschütterungs- Aufnehmers läuft über eine kugelgelagerte Rolle, die mit einem Gummi- band am Eisenträger des Betonpfeilers hängt). Der erste Erschütte- rungs-Aufnehmer wurde am Oberschenkel des Kaninchens nahe beim Kreuzbein angelegt, der zweite unmittelbar neben dem Tier am Beton- block. Die dazugehörigen zwei Verstärker waren vorher auf genau gleiche Verstärkung eingestellt worden, d. h. auf jenen Verstärkungs- grad, bei welchem die vom Betonblock abgenommenen Bodenerschütte- rungen nicht größer waren als ein Millimeter im Durchschnitt. Der

Versuch wurde an einem Sonntag-Vormittag durchgeführt, weil zu die- ser Zeit die Bodenerschütterungen durch den Straßenverkehr sehr ge- ring sind. Zur Abnahme des Elektrokardiogramms wurden zwei Nadel- elektroden verwendet. Nach einer längeren Registrierung vom narkoti- sierten Tier wurde der Balg in der Halsgegend geöffnet, alle Blutgefäße wurden durchtrennt, wobei reichlich Blut ausfloß, und dann wurde mit einem Messer das Rückgrat und Rückenmark durchschnitten, so daß der Kopf des Kaninchens bis auf kleine Hautreste vom Körper durch eine klaffende große Wunde getrennt war. Dann wurde die Registrierung wieder aufgenommen. Die Mikro- vibration war mit reduzierter Ampli- tude noch durch 95 Minuten ununterbrochen vorhanden; manchmal traten große krampfartige Schwingungen auf. Dann nahm die MV- Amplitude allmählich ab, sie erreichte aber erst in der 95. Minute das Minimum von einem Millimeter, also das Ausmaß der Bodenerschütte- rung. Das Elektrokardiogramm bestand mit bestimmten Formänderun- gen und abnehmender R-Zacke bis zur 65. Minute; nach vollkommenem Aufhören der Herzmuskel-Aktivität blieb die Mikro- vibration noch 30 Minuten erhalten. Die Frequenzverteilung bei vier Kaninchen vor und nach dem Tode zeigt Abb. 7.

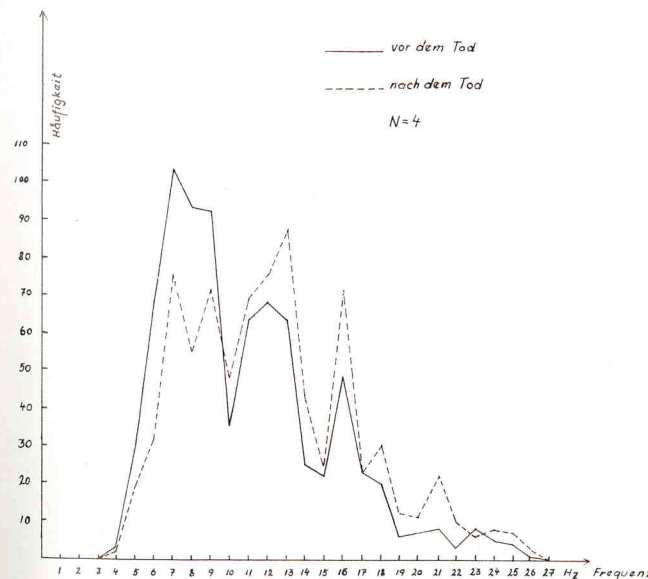


Abb. 7. Mikro- vibrations-Frequenzen von 4 Kaninchen vor und nach dem Tode (= Durchschneidung der Halsarterien). Häufigkeitsverteilung. MV abgenom- men mit Philips-Erschütterungsaufnehmer vom Oberschenkel.

Mit diesen Versuchen am pulslosen und dezerebrierten Tier ist der Beweis erbracht, daß die Mikrovibration ein selbständiger, von Puls und Herz Tätigkeit unabhängiger Vorgang ist, der den klinischen Tod von allen Lebensvorgängen am längsten überdauert. Da in diesen Experimenten alle Prozesse im Organismus, die den Körper in Erschütterung versetzen können, ausgeschaltet und externe Störungen durch Bodenerschütterungen unter genauer Kontrolle gehalten wurden, bleibt zur Erklärung der Mikrovibration nur noch die Annahme, daß sie durch bisher nicht bekannte Mikroprozesse in der quergestreiften Muskulatur entsteht.

Es gibt noch andere Argumente für die muskuläre Entstehung der Mikrovibration; vor allem die Tatsache, daß die Frequenz der Muskel-Aktionsströme mit der Durchschnittsfrequenz der Mikrovibration übereinstimmt. Bekanntlich entstehen bei der Kontraktion von Muskelfasern elektrische Ströme, die man mit Platten- oder Nadelelektroden ableiten und nach entsprechender Verstärkung registrieren kann («Elektromyogramm»). Schon in den Registrierungen mit dem unverstärkten Saitengalvanometer von DENNY-BROWN im Jahre 1929 zeigten sich bei leichter Dehnung des *M. soleus* der Katze niemals Frequenzen über 10 Hz; meist lagen sie zwischen 5 und 7 Hz. LINDSLEY fand 1935 an Einzelfasern des menschlichen Bizeps bei geringster Kontraktion Aktionsströme zwischen 5 und 6 Hz, bei stärkerer Kontraktion um 11 Hz. Dieses Resultat wurde 1942 von GUALTIEROTTI und MILLA bestätigt; von Einzelfasern des menschlichen Bizeps und Trizeps registrierten sie Aktionsströme von 6 bis 14 Hz, wobei diese Frequenzen auch bei maximaler Kontraktion unverändert blieben. Die einzige gleichzeitige Registrierung von Aktionsströmen und zugehöriger Muskelbewegung stammt von GORDON und HOLBOURN in Oxford (1948); am *M. crureus* der Katze wurden zwei feine, an den Spitzen sehr nahe beieinanderliegende Drahtelektroden angesetzt, die mit einem zwischen ihnen liegenden dünnen Stift verbunden waren, dessen Bewegungen auf ein piezoelektrisches System übertragen wurden. Auf diese Weise gelang es, die Aktivität von einzelnen motorischen Einheiten sowohl elektrisch wie mechanisch zu erfassen; bei leichter Streckung des Muskels ergaben sich sowohl in der muskelelektrischen wie in der bewegungsmechanischen Registrierung Frequenzen von fast genau 10 Hz (Abb. 8).

Ein weiteres, sehr beweiskräftiges Argument für die muskuläre Entstehung der Mikrovibration ergibt sich aus Experimenten mit pharmakologischer Veränderung der Muskelaktivität. Einen Tierversuch dieser Art habe ich 1953 im Pharmakologischen Institut der Universität Wien mit Lysthenon durchgeführt – einer Substanz, welche die moto-

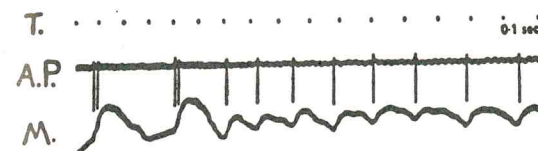


Abb. 8. Gleichzeitige Registrierung der Muskel-Aktionsströme (A. P. = Aktionspotentiale) und der Muskelbewegungen (M) von GORDON und HOLBOURN.

rischen Endplatten blockiert und dadurch die Innervation der Muskulatur reduziert, also einen gewissen Grad von «künstlicher Lähmung» erzeugt. Ein Hund erhielt intravenös zuerst 50 Gamma/kg, dann 100 Gamma/kg Lysthenon; die Vibration wurde vor und nach der Injektion mit dem Philips-Erschütterungsaufnehmer vom linken Oberschenkel abgenommen. Das Tier mußte künstlich beatmet werden, so daß Registrierungen wegen der Erschütterungen durch das Atmungsgerät nur in den kurzen Pausen, während welcher die Beatmung unterbrochen werden konnte, durchgeführt werden konnten. Nach der 50-Gamma-Injektion ergab sich eine kurzzeitige Reduktion der Amplitude mit eingestreuten großen Zacken; nach der 100-Gamma-Injektion sank die Amplitude auf etwa ein Drittel ihrer Größe vor der Injektion. In der Frequenz trat keine Änderung ein.

Eine Vibrations-Registrierung am Menschen unter Lysthenon-Einwirkung wurde in der Psychiatrischen Universitätsklinik in Wien durchgeführt. Ein Patient erhielt in Pentothal-Narkose vor dem Elektroschock i. v. 1,2 g/kg Lysthenon. Während kurzer Unterbrechungen der künstlichen Beatmung konnte die Mikrovibration registriert werden. Die Amplitude stieg unmittelbar nach der Injektion sehr stark an (bis auf das Doppelte des Ruhewertes); nach einigen Sekunden begann sie zu sinken, wobei aber die Hälfte des Normalwertes nie unterschritten wurde. Trotz der hohen Dosierung, die bewirkte, daß makroskopisch keinerlei Krampferscheinungen während des Schocks zu bemerken waren, blieb die Mikrovibration mit der Hälfte der Normalamplitude erhalten (Abb. 2).

Seither wurden von japanischen Autoren nahezu alle Pharmaka, die auf die Muskelaktivität wirken, mit Hilfe der Mikrovibration untersucht, wobei sich eindeutige Resultate ergaben, so daß an der Existenz einer muskulären MV-Komponente nicht mehr gezweifelt werden kann. Über die Einzelheiten wird im zweiten Teil von Prof. INANAGA berichtet. In Deutschland haben LIENERT und GRÖGLER mit einigen viel verwendeten Tranquillizern (Meproamat und Carisoprodol) ebenfalls signifikante Reduktionen der MV-Amplitude festgestellt (siehe S. 65).

Schließlich sind auch noch zwei Experimente zu erwähnen, bei denen eine Steigerung der motorischen Aktivität zu einer Erhöhung der MV-Amplitude führte. SUGANO und INANAGA stellten im Tierversuch fest, daß elektrische Reizung der motorischen Rinde zu Erhöhung der MV-Amplitude führt (1960). Am entspannten, liegenden Menschen lassen sich Steigerungen der motorischen Aktivität, wie ALLERS und SCHEMINZKY schon 1926 mit anderen Methoden feststellten, durch die bloße Vorstellung von Bewegungen erzeugen. LUHAN hat im Psychologischen Institut der Universität Wien bei 40 Personen in liegender Stellung die Mikrovibration registriert und dabei Bewegungsvorstellungen (Faustballen, Aufspringen, Kniebeugen und Schwimmen) erzeugen lassen. Es ergab sich bei insgesamt 282 Bewegungsvorstellungen eine durchschnittliche Amplitudenvergrößerung von 69,6 %, d. h. die Mikrovibration war bei Bewegungsvorstellungen durchschnittlich um mehr als die Hälfte größer als bei ruhigem Liegen.

3. Theorie der alternierenden Faserkontraktionen

Wenn die Mikrovibration durch Kontraktionen der quergestreiften Muskulatur entsteht, so kann es sich dabei nur um Kontraktionen von sehr geringem Ausmaß handeln – so gering, daß die dadurch entstehende Mikrobewegung des ganzen Körpers unsichtbar bleibt und keinerlei Empfindungen auslöst. «Geringes Ausmaß» kann dabei nicht bedeuten, daß sich die Muskelfasern nur in geringem Grade kontrahieren, denn sie unterliegen dem «Alles-oder-Nichts-Gesetz», das nur Maximalkontraktionen der einzelnen Fasern zuläßt. Es können daher Muskelkontraktionen geringen Grades nur dadurch zustandekommen, daß sich innerhalb des Muskels nur sehr wenige Fasern kontrahieren; auf diese Weise entstehen sehr kleine Kontraktionsbewegungen, die sich mechanisch auf die Knochen übertragen, mit denen der Muskel verbunden ist, und dadurch das Skelett in minimale Bewegung versetzen. Da die Mikrovibration immer vorhanden ist und jederzeit an allen Stellen des Körpers nachgewiesen werden kann, muß man annehmen, daß ununterbrochen in der ganzen quergestreiften Muskulatur Kontraktionen einzelner Fasern stattfinden – bald hier, bald dort, in raschem Wechsel innerhalb jeden Muskels bald diese, bald jene zu einer motorischen Einheit gehörende Fasergruppe erfassend. So ergibt sich eine «Theorie der permanenten alternierenden Muskelkontraktionen»: in der gesamten Muskulatur der warmblütigen Lebewesen finden während des ganzen Lebens ununterbrochen Kontraktionen einzelner Mus-

kelfasern statt, wobei in raschem Wechsel immer andere Fasergruppen zur Kontraktion gelangen; die Übertragung der mikroskopisch kleinen Kontraktionsbewegungen jedes Muskels auf das Knochensystem und die übrigen Körperteile ergibt als Resultante den ununterbrochenen Mikrotremor des ganzen Körpers – die Mikrovibration.

Diese Annahme steht in guter Übereinstimmung mit der Tatsache, daß die Mikrovibration eine höchst unregelmäßige Bewegung ist; d. h., daß sie in solcher Weise erfolgt, daß dabei die Richtung der Bewegung ständig wechselt und die einzelnen Körperteile gleichzeitig in verschiedene Richtungen bewegt werden. Um zu verstehen, was mit dieser Beschreibung gemeint ist, stelle man sich den Körper im Zustand des sichtbaren Kälte- oder Affekttremors vor: bei diesen makroskopischen Zitter- und Schlotterbewegungen wird der ganze Körper durch unkoordinierte Muskelkontraktionen in allen möglichen Richtungen geschüttelt – es entsteht ein Durcheinander von rasch folgenden, in verschiedener Richtung ablaufenden Einzelbewegungen, deren Resultierende den allgemeinen Tremor ergibt.

Genauso muß man sich die Mikrovibration vorstellen: eine Resultante aus höchst ungeordneten, gleichzeitig an vielen Körperstellen in verschiedener Richtung ablaufenden Mikrobewegungen, die alle Gewebe und Organe und das ganze Knochensystem ständig erzittern lassen. Die Berechtigung zu dieser Darstellung der Mikrovibration ergibt sich aus der Tatsache, daß man mit jedem beliebigen Pick-up von jeder Stelle des Körpers jederzeit Mikrovibrationen abnehmen kann; jedes Pick-up ist aber «richtungsempfindlich», d. h. es nimmt nur (oder bevorzugt) mechanische Impulse auf, die in einer bestimmten Richtung verlaufen. Da man vom Körper des Menschen von jeder beliebigen Stelle jederzeit mit Pick-ups von beliebiger Richtungsempfindlichkeit Mikrovibrationen registrieren kann, müssen sich diese Bewegungen in allen Richtungen abspielen. Daraus folgt, daß zu gleicher Zeit in vielen Muskeln unkoordinierte Kontraktionen stattfinden müssen. Auf diese Weise gelangt man ebenfalls zu der Hypothese, daß die Mikrovibration durch alternierende, über die ganze Muskulatur verteilte Kontraktionen einzelner Muskelfasern zustandekommt. Anders formuliert: der ununterbrochene Mikrotremor entsteht dadurch, daß sich ständig in verschiedenen Muskeln abwechselnd einzelne Fasern kontrahieren und dadurch den ganzen Körper ununterbrochen in unregelmäßige Mikrobewegung versetzen.

Diese «Theorie der ununterbrochenen alternierenden Faserkontraktionen» befindet sich auch mit dem histologischen Feinaufbau der Muskulatur in Übereinstimmung. Als «motorische Einheit» (motor unit)

bezeichnet man die von einer einzigen Ganglienzelle des Rückenmarkes (Vorderhornzelle) durch ihren Neuriten versorgten Muskelfasern. Reizversuche mit Mikroelektroden haben gezeigt, daß sich jede motorische Nervenfasern an ihrem Ende in viele Endzweige aufspaltet, von denen jeder eine Muskelfaser versorgt; es werden daher von einer einzigen motorischen Rückenmarkszelle und ihrem Neuriten viele Muskelfasern innerviert, d. h. die Erregung dieser einzigen Ganglienzelle versetzt viele Muskelfasern in Kontraktion. Ihre Anzahl variiert mit der Größe des Muskels; «so gehören bei sehr kleinen, z. B. den Augenmuskeln, nur 8 bis 20 Fibrillen zu einer motorischen Einheit; motorische Einheiten großer Skelettmuskeln enthalten dagegen oft mehrere hundert bis über tausend Fibrillen» (STEINBRECHER 1965, 3). Besonders interessant ist dabei die Tatsache, daß die zur gleichen motorischen Einheit gehörenden Muskelfasern nicht parallel nahe aneinander liegen und dadurch ein Muskelbündel bilden, sondern «daß die zu einer Einheit gehörenden Muskelfasern weit über den Muskel verstreut sind und nur selten zwei zur gleichen Einheit gehörende Fasern unmittelbar nebeneinander liegen» (RUDOLPH, 1962).

Die Aktivität einer einzigen motorischen Einheit bewirkt daher Kontraktionen vieler, an verschiedenen Stellen des Muskels befindlicher Muskelfasern; und wenn solche Kontraktionen in vielen Muskeln gleichzeitig stattfinden und die Rückenmarkszellen, aus denen die Impulse stammen, in rascher Folge wechseln, so kann daraus nichts anderes entstehen als eine ungeordnete und sehr unregelmäßige Mikrobewegung des ganzen Körpers. Jede Faserkontraktion oder «Zuckung» besteht ja in einer minimalen Bewegung des Muskelgewebes, die sich auf die benachbarten Muskelpartien und auf die Knochen überträgt, an denen die Sehnen des Muskels festgewachsen sind. Das Zustandekommen eines permanenten Mikrotremors aller Körperteile, d. h. der Mikrovibration, ist durch diese Theorie der alternierenden Faserkontraktionen vollkommen erklärt.

Zu dieser Hypothese scheint die Tatsache in Widerspruch zu stehen, daß im Zustand der Entspannung und im Schlaf zwar immer ununterbrochene Mikrovibrationen, aber keine Muskelaktionsströme nachweisbar sind. Da die Mikrovibration bei warmblütigen Lebewesen ununterbrochen vorhanden ist, müßten, wenn sie durch Muskelkontraktionen entstünde, auch ununterbrochene Aktionsströme registrierbar sein. Dies trifft aber nicht zu: «Im entspannten normalen Muskel läßt sich keine elektrische Aktivität nachweisen» (BUCHTHAL, S. 11); «Im tiefen Schlaf lassen sich von den Skelettmuskeln keine Aktionspotentiale ableiten, sie sind in Ruhe» (REIN-SCHNEIDER, S. 473); «Normalerweise herrscht

in einem entspannten Muskel elektrische Stille» (STEINBRECHER, S. 8). Auch MAYER betont, daß «bei Ruheableitung im entspannten, reflektorisch unbeeinflussten, gesunden Muskel sich normalerweise keine Aktionspotentiale ableiten lassen» (MAYER, S. 6).

Im Gegensatz dazu ist die Mikrovibration immer – auch bei maximaler Entspannung, im tiefen Schlaf und in der Narkose – nachweisbar. Wenn sie durch Kontraktionen von Muskelfasern entsteht – und daran ist nach den obigen Ausführungen kaum zu zweifeln –, müssen ununterbrochen Kontraktionsvorgänge stattfinden; aber es muß sich dabei um Kontraktionsprozesse handeln, die mit der Methode der Aktionsstrom-Registrierung nicht erfaßt werden. Es scheint daher zwischen der Annahme ununterbrochener Faserkontraktionen und dem Fehlen von Aktionsströmen in Ruhe und Schlaf ein klarer Widerspruch zu bestehen.

Dieser Widerspruch löst sich auf, wenn man die Methodik der Ableitung von Muskel-Aktionsströmen in Betracht zieht. Man verwendet dazu feinste konzentrische Nadelelektroden, die in den Muskel eingestochen werden; sie bestehen aus einer Hohlnadel mit 0,65 mm Durchmesser, in deren Innerem sich isoliert ein Platindraht von 0,07 mm Durchmesser befindet, der die differente Elektrode gegenüber dem Mantel der Hohlnadel bildet; die Ableitungsoberfläche wird mit 0,4 mm² angegeben (MAYER, 1965; STEINBRECHER, 1965). Es hängt vom Zufall ab, ob bei entspannter Muskulatur oder im Schlaf an der Stelle des Muskels, an welcher sich das Ende der Nadelelektrode befindet, eine Muskelfaser liegt, die im Laufe der alternierenden Kontraktionen in Aktivität versetzt wird; und wenn dieser Zufall eintritt, so treten nur einige wenige Zuckungen auf, dann ist das Elektromyogramm wieder «stumm». Auch STUART und seine Mitarbeiter vertreten die Meinung, daß das Fehlen von Aktionsströmen des «ruhenden» Muskels damit zusammenhängt, daß es nicht gelingt, die wenigen aktiven motorischen Einheiten mit der Elektrode aufzufinden: «Direct demonstration of a neuromuscular component of the residual tremor in muscle at rest is difficult, as «resting» muscle is generally reported to show no electromyographic activity. This may arise, however, from failure to find the few motor units that are active» (STUART, ELDER, HEMINGWAY, KAWAMURA, 1963). Mit dieser Zufallsabhängigkeit des Auffindens der wenigen gerade kontrahierten Muskelfasern dürfte es zusammenhängen, daß manche erfahrene Praktiker der Elektromyographie behaupten, hin und wieder doch auch in Ruhe Aktionsströme gefunden zu haben, die dann als unwillkürliche Muskelspannungen interpretiert werden. Auch die Verstärkung spielt dabei eine Rolle: «Normalerweise herrscht in

einem entspannten Muskel elektrische Stille, im Oszillographen entsteht eine isoelektrische Linie (Nulllinie); sie bedeutet aber nicht, daß der ruhende Muskel keinerlei elektrische Aktivität produziert. Die Darstellung des sog. Grundtonus erfordert aber eine weitaus größere Potentialverstärkung als sie in der klinischen Myographie üblich und wünschenswert ist.» (STEINBRECHER, S. 8)

Mit der «Theorie der alternierenden Faserkontraktionen» läßt sich sowohl die Entstehung der ununterbrochenen Mikrobewegung unseres Körpers wie auch das Fehlen von Muskel-Aktionsströmen bei Entspannung und im Schlaf befriedigend erklären. Nach dieser Theorie ist es falsch, von «ruhender Muskulatur» zu sprechen; die Muskulatur befindet sich während des ganzen Lebens niemals in Ruhe – ununterbrochen finden in ihr alternierende Kontraktionen einzelner Fasern statt, die in ihrer Gesamtheit den ganzen Körper in einen dauernden Mikrotremor versetzen. Durch die Annahme einer ständigen alternierenden Muskelaktivität findet auch noch ein anderes Problem seine Lösung, das ebenfalls in Zusammenhang mit dem Fehlen von Aktionsströmen bei Entspannung auftrat: das *Tonus-Problem*. Als «Muskeltonus» bezeichnet man bekanntlich die dauernd vorhandene «Grundspannung» der Muskulatur, die auch beim entspannten oder schlafenden Menschen bestehen bleibt und erst mit dem Tode (oder durch Lähmung) in Erschlaffung übergeht. Das Fehlen von Aktionsströmen bei Entspannung und im Schlaf führte zu Zweifeln darüber, ob der Tonus durch Kontraktionen entstehe. Diese Zweifel lassen sich durch die «Theorie der permanenten alternierenden Faserkontraktionen» beseitigen; der Tonus eines Muskels ist die Spannungs-Resultante aus der Gesamtheit der jeweils gerade in Aktion befindlichen Einzelfasern. Der Muskeltonus ist nicht eine dauernde geringe Grundspannung aller Teile des Muskels, sondern das Ergebnis ständig wechselnder Einzelkontraktionen. Diese Hypothese, die ich 1949 vorgeschlagen habe, wurde seither auch von anderen Autoren vertreten; so betont SCHÄFER, daß sich im Tonus die «Fasern alternierend, und zwar immer nur wenige zu gleicher Zeit, kontrahieren» (1956, S. 201), und RUDOLPH erklärt, der Tonus sei «nicht auf eine schwache kontinuierliche Verkürzung aller Muskelfasern zurückzuführen, sondern auf die Aktivität nur weniger motorischer Einheiten; nacheinander werden immer andere Einheiten aktiviert» (1956).

4. Statistische Untersuchungen zum Problem der Mikrovibrations-Entstehung

Als besonders verlässliche Methode zur Feststellung von verborgenen periodischen Rhythmen bei biologischen Prozessen gilt die Summierung der einzelnen Schwingungen, die innerhalb gleicher, aufeinanderfolgender Zeitabschnitte im Verlauf einer längeren Registrierung auftreten. Wenn man z. B. die Mikrovibration und gleichzeitig auf einem zweiten Kanal das Elektrokardiogramm registriert, so hat man in der großen Zacke des EKG (R-Zacke) ein regelmäßig wiederkehrendes Signal zur Abgrenzung von gleichen Zeitabschnitten; man kann mit elektronischen Geräten die einzelnen Schwingungen, die zwischen zwei R-Zacken auftreten, aufeinanderfolgend summieren, sozusagen aufeinander kopieren, (die R-Zacke ist in diesem Fall der «Trigger»). Dabei werden die Einzelschwingungen, die innerhalb dieser summierten Zeitabschnitte mit immer gleicher Phase vorhanden sind, in ihren Amplituden addiert, während die phasenverschiedenen Schwingungen je nach ihrer Lage zueinander sich wechselseitig erhöhen, vermindern oder aufheben. Dieses Verfahren benützt man bekanntlich auch zur Auffindung der «evozierten Potentiale» bei gehirnelektrischen Registrierungen.

Für die Untersuchung der Mikrovibration ergeben sich dabei folgende Möglichkeiten: 1. wenn es in der Mikrovibration Schwingungen gibt, die sich in immer gleicher Weise wiederholen, so würden sie in der Summenkurve mit erhöhter Amplitude zur Darstellung kommen, während die anderen, unregelmäßig auftretenden Schwingungen sich wechselseitig weitgehend aufheben würden; die immer gleichen, also periodischen Schwingungen würden in der Summenkurve – z. B. nach 100 Aufsummierungen gleicher Zeitabschnitte – sehr deutlich hervortreten. 2. wenn es in der Mikrovibration keine periodischen Schwingungen, sondern nur unregelmäßig auftretende Einzelschwingungen gibt (also eine Zufallsverteilung von verschiedenfrequenten Einzelschwingungen), so müßte die Summation schließlich eine fast gerade Linie ergeben, weil sich die Einzelschwingungen wechselseitig aufheben. Diese Methode ist daher geeignet, aus MV-Registrierungen regelmäßig wiederkehrende, also periodische Prozesse herauszufinden; findet man solche Prozesse, so ist anzunehmen, daß sie in rhythmischen organischen Vorgängen, z. B. Herzschlag oder Atmung ihre Ursache haben.

An sieben Personen haben YAP und BOSHER solche Summierungen durchgeführt. Der Tremor wurde mit einem Beschleunigungs-Aufneh-

mer vom Zeigefinger der bequem sitzenden Versuchsperson, manchmal gleichzeitig von beiden Zeigefingern abgenommen, außerdem wurde das Ballistokardiogramm (die Kopf-Fuß-Bewegung bei der Erschütterung durch den Herzschlag) sowie das Elektrokardiogramm registriert, dessen R-Zacke als Trigger benützt wurde. Das Hauptresultat dieser Untersuchungen war die Feststellung zweier Tremor-Rhythmen (8 bis 12 Hz als dominanten, 17 bis 30 Hz als sporadischen Rhythmus). Aus der Tatsache, daß die Verwendung des Kardiogramms als Trigger eine Schwingung von 8 bis 10 als Mittelwert ergibt, schließen die Autoren, daß «cardiac action as the origin of normal finger-tremor is confirmed» (S. 202), obwohl zwischen Tremor-Mittelwert und Ballistokardiogramm-Mittelwert keine Synchronität und Frequenzgleichheit besteht. Frequenzen von 13 bis 17 Hz werden nicht erwähnt – sie sind offenbar durch die Aufsummierung verschwunden, bestehen also aus sehr unregelmäßigen phasenverschiedenen Einzelschwingungen; nach den obigen Ausführungen sind sie daher nicht auf Puls oder Herztätigkeit zurückführbar. Die in der Summenkurve vorhandenen Frequenzen von 17 bis 30 Hz sind nach Meinung der Autoren möglicherweise ein Artefakt.

Ein anderes mathematisches Verfahren wurde von BAUER und FERSTL im Wiener MV-Labor verwendet. Sie stellten fest, mit welcher Häufigkeit die einzelnen Frequenzen der Mikroviibration aufeinanderfolgend auftreten; man kann dann berechnen, ob dieser Häufigkeitsgrad im Bereich des Zufalls liegt (dann hat man es mit sehr unregelmäßigen, nicht-periodischen Schwingungen zu tun) oder ob gleiche Frequenzen öfter aufeinanderfolgen als es einer Zufallsverteilung der Aufeinanderfolge entspricht (dann ist in den Schwingungen ein bestimmter, sich wiederholender Rhythmus enthalten, der auf biologische Periodizität hinweist). Es zeigte sich, daß bei den Frequenzen über 10 Hz keine «überzufälligen», also sich öfter als zufällig wiederholenden Folgen von Einzelschwingungen vorhanden waren, während bei den Frequenzen unter 10 Hz eine Häufung überzufällig gleicher Schwingungsfolgen festgestellt werden konnte; daraus kann man schließen, daß in diesem Frequenzbereich eine Periodizität vorliegt. Die Autoren vertreten daher die Hypothese, daß die Frequenz über 10 Hz nicht durch periodische Organprozesse (Puls, Herzschlag) zustandekomme; es ist kaum möglich, daß ein Organprozeß, der selbst in einem strengen Rhythmus abläuft, Serien von Einzelschwingungen erzeugt, die einer Zufallsverteilung nahekommen. Die Schwingungen unter 10 Hz hingegen sind wahrscheinlich durch einen solchen rhythmischen Vorgang – z. B. Erschütterung durch Puls oder Herztätigkeit – beeinflußt. Man müßte daher bei MV-Auswertung beide Frequenzanteile getrennt verarbeiten.

Mikrovibration und Konstanz der Körpertemperatur

1. Experimentelle Ergebnisse

Das interessanteste und auffälligste Resultat der bisherigen Mikroviibrations-Forschung ist die Tatsache, daß nur warmblütige Lebewesen Mikroviibrationen aufweisen; zwischen Warmblütigkeit (Homiothermie) und Mikroviibration scheint daher ein kausaler Zusammenhang zu bestehen. «Warmblütigkeit» bedeutet, daß ein Organismus im Stande ist, seine Körpertemperatur auf dem Niveau von 36,5 Grad Celsius oder mehr konstant zu halten; dadurch werden die warmblütigen Lebewesen von der Außentemperatur weitgehend unabhängig; sie bleiben trotz des Wechsels der Jahreszeiten ununterbrochen aktionsfähig.

Die Normaltemperatur des menschlichen Blutes von 36,5 bis 37,4 Grad Celsius ist die günstigste Temperatur für den Ablauf aller lebenswichtigen chemischen Organprozesse, vor allem auch für die Funktion der Ganglienzellen der Hirnrinde und damit für die geistige Leistung; sinkt die Hirntemperatur, so kommt es zu Bewußtseinstäubung und Bewußtlosigkeit, steigt die Hirntemperatur, so entsteht die ungeordnete Aktivität, deren psychische Auswirkung aus den Fieberdelirien bekannt ist. Es ist keine Übertreibung, wenn man behauptet, daß ohne Konstanthaltung der Körpertemperatur die menschliche Kultur nicht hätte entstehen können, weil die gleichbleibende Körpertemperatur die unerläßliche Voraussetzung für die ununterbrochene geistige Leistungsfähigkeit bildet.

Es wird angenommen, daß im vorderen Teil des Hypothalamus ein Temperatur-Regulationszentrum liegt, das auf Abkühlung reagiert und durch die Impulse gesteuert wird, die aus den Kälte- und Wärmerezeptoren der Haut einlangen. Um die Körpertemperatur konstant zu halten, muß der Organismus einerseits die Abgabe von Wärme steigern oder reduzieren (physikalische Wärmeregulation) und andererseits die Eigenproduktion von Wärme regulieren können (chemische Wärmeregulation). Die Wärme-Abgabe wird bei Kälte durch Verengung der Blutgefäße verringert, bei Hitze durch ihre Erweiterung erhöht; außerdem kann durch die Sekretion von Schweiß und dessen Verdunstung dem Körper sehr viel Wärme entzogen werden. Mit diesen Regeleinrichtungen allein kann aber die Körpertemperatur nicht konstant ge-

halten werden; dazu ist es notwendig, daß ununterbrochen Wärme erzeugt wird, um den jeweils eingetretenen Wärmeverlust auszugleichen. Hier liegen die offenen Probleme der Temperatur-Konstanz: auf welche Weise erzeugt der Organismus immer – auch in Ruhe, im Schlaf und in der Narkose – genau die Wärmemengen, die jeweils nötig sind, um die Bluttemperatur auf 36,5 Grad konstant zu halten.

Fünf Tatsachen berechtigen zu der Hypothese, daß zwischen Mikrovibration und Konstanz der Körpertemperatur kausale Zusammenhänge bestehen: 1. Kaltblütige Lebewesen haben keine Mikrovibration (Abb. 9, S. 46), 2. bei wechselwarmen Tieren (Winterschläfern) findet man im Winterschlaf nur kurze, vereinzelte Serien von kleinen Mikrovibrationen, die von langen Leerphasen unterbrochen werden; im Wachzustand hingegen ununterbrochene, normale Mikrovibrationen (Abb. 10), 3. Tiere mit erhöhter Körpertemperatur (Vögel) haben höhere MV-Frequenzen, 4. bei Menschen mit Fieber ist die MV-Frequenz höher als bei gesunden Menschen, 5. unmittelbar nach der Geburt – d. h. in der Zeit, in welcher sich die selbständige Wärmeproduktion erst zu entwickeln beginnt – ist die MV-Frequenz viel niedriger und unregelmäßiger als später. Dazu kommen noch Resultate aus Experimenten mit Wechsel der Außentemperatur (die Versuchspersonen wurden von warmen in kalte Räume gebracht und umgekehrt); dabei zeigten sich charakteristische Änderungen von Frequenz und Amplitude der Mikrovibration. Über diese Resultate, die sich als Regelprozesse zur Konstanthaltung der Körpertemperatur interpretieren lassen, wird später berichtet.

Untersuchungen an Kaltblütern. Die ersten MV-Registrierungen an kaltblütigen Tieren führten keineswegs zu dem Eindruck, daß die Mikrovibration bei diesen Lebewesen nicht vorhanden sei – im Gegenteil, sie trat zunächst sehr deutlich in Erscheinung. Bei diesen Versuchen, die ich im Dezember 1947 mit Prof. Dr. SCHEMINZKY im Physiologischen Institut der Universität Innsbruck durchführte, wurden Frösche verwendet, die längere Zeit im kalten Froschkeller des Institutes gelebt hatten. Das Versuchstier wurde dekapitiert (der Kopf wurde mit einer ins Maul eingeführten Schere abgeschnitten, so daß das Unterkiefer erhalten blieb) und an der Unterlippe mit einer Froschklammer in einem Abschirmgehäuse aufgehängt. Als Pick-up wurde ein piezoelektrischer Tonabnehmer verwendet (d. h. ein Plattenspieler-Pick-up), das an einem kugelgelagerten Hebel nach der Art eines Tonarms befestigt war. An Stelle der Phonographen-Nadel zur Tonabnahme wurde eine dünnere, etwas längere Nadel eingesetzt, die in die Muskulatur oder in den Knochen der herabhängenden hinteren Extre-

mität des Frosches eingestochen wurde. Es zeigten sich bei sechs Versuchstieren rhythmische Vibrationen von etwa 17 Hz, die nach dem Tod des Tieres, in der Amplitude langsam abnehmend, aufhörten. Als SCHEMINZKY und ich im Jahre 1950 die Experimente wieder aufnahmen, gelang es uns trotz genau gleicher Versuchsanordnung nicht, die früheren Ergebnisse zu verifizieren; es zeigt sich an den Fröschen keinerlei Mikrovibration. In den Registrierungen war lediglich der Herzschlag mit einer kurzen Nacherschütterung zu sehen; die Strecke zwischen den Herzschlägen war vollkommen schwingungsfrei. Diese Resultate ergaben sich nicht nur bei zahlreichen Tieren aus dem Froschkeller des Instituts, sondern auch an frisch gefangenen Fröschen und an mehreren Kröten; es konnte niemals die geringste Mikrovibration, auch nicht in Form von Einzelschwingungen, festgestellt werden, obwohl die Verstärkung gegenüber den Versuchen im Jahre 1947 noch gesteigert wurde.

Eine Erklärung dieser widerspruchsvollen Resultate ergab sich aus Untersuchungen von SCHRIEVER und CEBULLA, die festgestellt hatten, daß Frösche, die längere Zeit bei niedriger Temperatur gehalten worden waren, auf einen Einzelreiz nicht mit einer Einzelzuckung, sondern mit lang dauernden tetanischen Zuckungen reagieren; dies gilt auch, «wenn die Tiere bereits viele Stunden, selbst ein oder zwei Tage, wieder Zimmertemperatur angenommen haben» (SCHRIEVER und CEBULLA, 1939). Da die Versuche, bei denen Mikrovibrationen an Fröschen registriert worden waren, im Dezember des Jahres 1947 an Tieren gemacht wurden, die kurze Zeit vorher aus dem kalten Froschkeller geholt worden waren, während die erfolglosen Experimente im Sommer stattfanden, war die Erklärung der widersprechenden Befunde in der von SCHRIEVER und CEBULLA beschriebenen gesteigerten Erregbarkeit unterkühlter Frösche zu suchen. Kontrollversuche, die ich im Sommer 1954 durchführte, bestätigten diese Vermutung: bei unterkühlten (24 Stunden im Kühlschranks gehaltenen) Tieren ergab sich ausnahmslos eine nahezu ständig vorhandene Mikrovibration von 14 Hz (auch noch zwei Stunden nach der Dekapitation), während bei Tieren, die in Zimmertemperatur gehalten worden waren, keinerlei Mikrovibration nachweisbar war. Die Tatsache, daß am Frosch und an der Kröte unter natürlichen Lebensverhältnissen keine Mikrovibration festgestellt werden konnte, veranlaßte mich, möglichst viele verschiedene warm- und kaltblütige Tiere zu untersuchen. Im Physiologischen Institut der Universität Innsbruck, im städtischen Schlachthof von Innsbruck und im Tiergarten Schönbrunn in Wien wurden Registrierungen an folgenden Warmblütern durchgeführt: Maus, Meerschweinchen, Kaninchen, Hund,

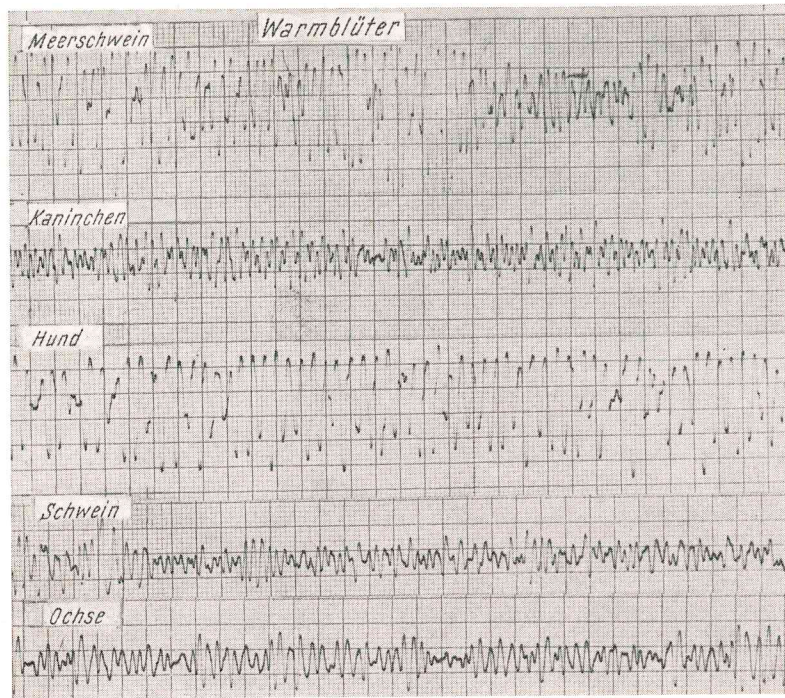


Abb. 9a

Schaf, Schwein, verschiedene Rinder, Nilpferd und Elefant; an Kaltblütern: Frosch, Kröte, eine große Egelschnecke, eine Wasserotter von 1 Meter Länge, zwei Pantherschildkröten von je 20 kg, zwei Elefantenschildkröten von 40 bzw. 80 kg, zwei kleine Schildkröten und ein Mississippi-Alligator von ca. 2,5 m Länge. Alle diese Tiere wurden in ihren Käfigen, die auf einer Temperatur von 28 Grad gehalten waren, untersucht. Bei allen Warmblütern – auch bei den Dickhäutern – fand sich die Mikrovibration ununterbrochen in ungefähr gleicher Frequenz und Amplitude wie beim Menschen, während sie bei allen Kaltblütern fehlte: bei den letzteren ergab die Registrierung gerade Striche, bei manchen unterbrochen von kleinen Schwankungen im Rhythmus der Herzaktivität mit leeren Zwischenstrecken (Abb. 9). Bei einem Frosch, einer kleinen Schildkröte und einer Wasserotter wurden außerdem Erwärmungsversuche durchgeführt; der Frosch wurde in einen Thermostaten gegeben, bis dessen Thermometer 50 Grad zeigte; die unmittelbar darauf folgende Registrierung ergab große Ausschläge im Herzrhythmus, aber keine Mikrovibration. Die Schildkröte und die

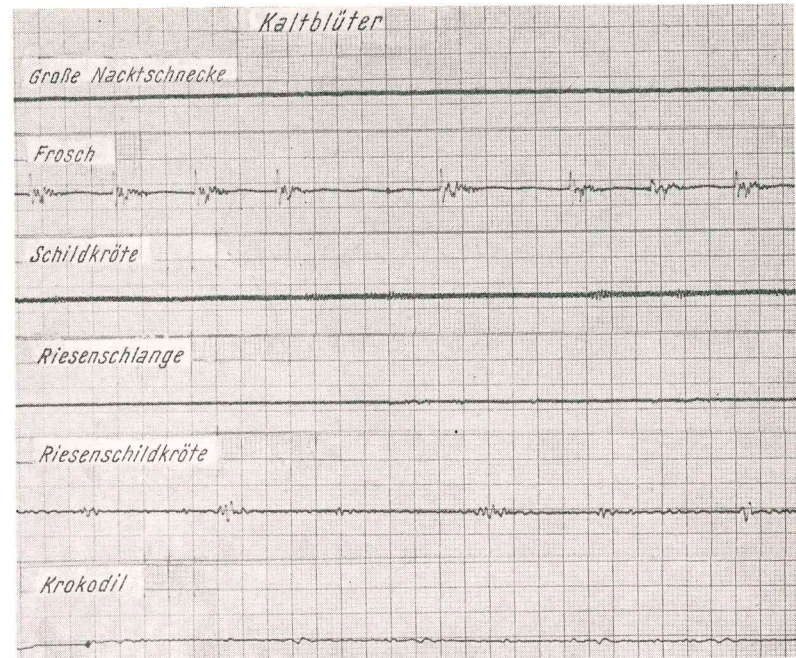


Abb. 9b. Mikrovibration bei warm- und kaltblütigen Tieren.

Wasserotter wurden durch Bestrahlung bis auf 40 Grad Umgebungstemperatur erwärmt; auch in diesen Fällen konnte keine Mikrovibration nachgewiesen werden.

Schließlich wurden im Dezember 1953 noch einige *winterschlafende Tiere* – Garten- und Siebenschläfer – an der Biologischen Station Wilhelminenberg in Wien untersucht. Die Tiere befanden sich in kleinen, in einem Freiluftkäfig aufgehängten Holzkästen, die sich am Boden öffnen ließen, so daß die schlafenden eingerollten Tiere leicht herausgenommen werden konnten. Die Außentemperatur zur Zeit der Versuche betrug 3,8 Grad Celsius bei 62 % Luftfeuchtigkeit. Die vorausgegangenen Tage und Wochen waren beträchtlich wärmer gewesen, so daß die Tiere sich erst seit kurzer Zeit in Schlaf befanden. Die herausgenommenen Tiere wurden in der Nähe des Käfigs auf ein Kissen gelegt; der Erschütterungsaufnehmer war an einer Rolle aufgehängt und konnte von oben her an das Tier angelegt werden.

Bei einem Gartenschläfer und einem Siebenschläfer, die sich in tiefem Schlaf befanden, zeigten sich neben einem sehr langsamen Herz-

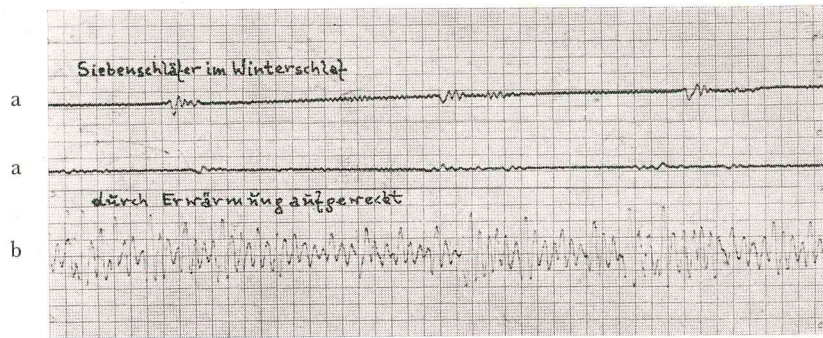


Abb. 10. Mikrovibration bei Winterschläfern. a = im Winterschlaf, b = nach dem Erwachen.

rhythmus einzelne, von langen schwingungsfreien Strecken unterbrochene winzige Vibrationen von etwa 6 Hz. Eines der beiden Tiere wurde durch einen längeren Aufenthalt im geheizten Zimmer zum Erwachen gebracht; darauf traten große, kontinuierliche Schwingungen von etwa 6,5 Hz auf (Abb. 10).

Obwohl nach diesen Ergebnissen nicht mehr daran zu zweifeln war, daß die Mikrovibration nur bei warmblütigen Lebewesen besteht, hätte ich gerne auch noch mit Tieren experimentiert, deren Lebensbedingungen sich von denjenigen des Menschen und der Landtiere wesentlich unterscheiden: mit Kalt- und Warmblütern, die im Wasser leben. Bei Fischen war es leicht, brauchbare Versuchsbedingungen zu schaffen: ein großer Karpfen wurde in ein wassergefülltes Gefäß gebracht, das ihm wenig Bewegungsfreiheit ließ; sobald er sich beruhigt hatte, wurde der Philips-Erschütterungsaufnehmer mit einem sattelförmigen Ansatz an seinem Rücken angelegt – es zeigten sich während der Zeiten, in denen sich das Tier ruhig verhielt, keinerlei Mikrovibrationen. Ein Versuch mit einem zweiten Karpfen brachte dasselbe Resultat.

Sehr schwierig war es, eine Möglichkeit zur Untersuchung warmblütiger Meerestiere zu finden. Erkundigungen bei Zoologen ergaben, daß in Santa Monica in Kalifornien in einem Aquarium Delphine gehalten werden. Als im Jahre 1964 ein Mitarbeiter, Dozent Dr. Manfred HAIDER, zu einem Studienaufenthalt nach Los Angeles reiste, bat ich ihn, an einem Delphin in Santa Monica MV-Registrierungen durchzuführen, und gab ihm zu diesem Zweck zwei japanische piezoelektrische Pick-ups mit. Mit diesen Geräten hat HAIDER einen weiblichen, 112 Kilo schweren Delphin auf folgende Weise untersucht: das Tier wurde

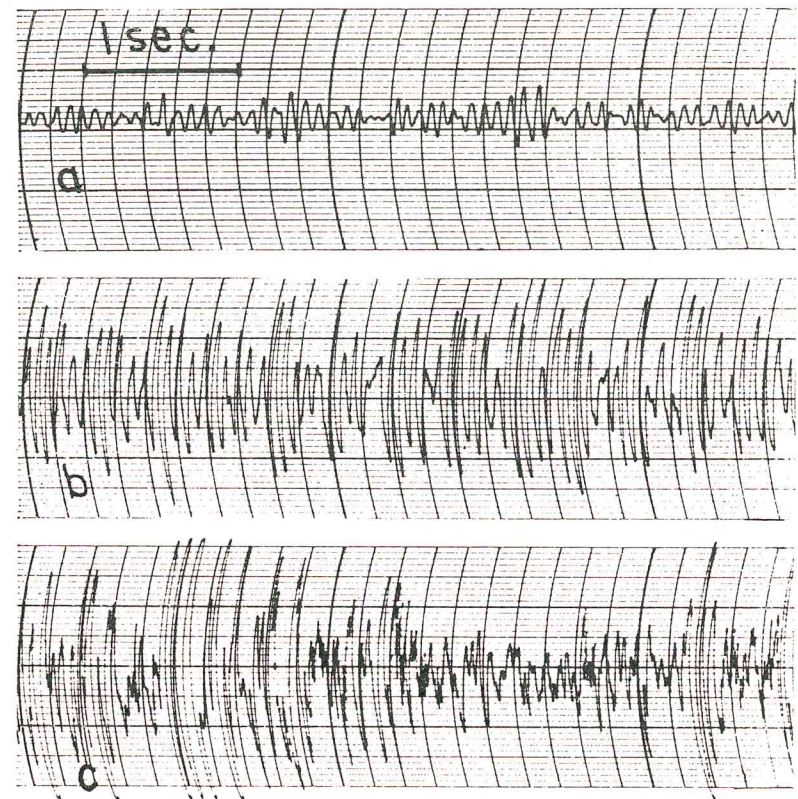


Abb. 11. Mikrovibration eines Delphins. a = Mikrovibration vom Unterarm eines Menschen, b = mit gleichem Pick-up vom Rücken eines aus dem Wasser genommenen, feucht gelagerten Delphins, c = vom schwimmenden Delphin (abgenommen mit japanischem piezo-elektrischen Pick-up von M. HAIDER).

aus dem Bassin genommen, auf ein feuchtes Schaumgummilager gelegt und mit feuchten Tüchern bedeckt; dann wurde das Pick-up an verschiedenen Körperstellen angelegt – überall ergaben sich ununterbrochene Serien von Mikrovibrationen mit einer mittleren Frequenz von 13 pro Sekunde (Abb. 11). Dann wurde das Tier wieder in das Wasser gebracht und das Pick-up an seinem Rücken angeklebt; wieder zeigten sich ununterbrochene MV-Schwingungen von 13 Hz, deren Amplitude mit der Bewegung des Tieres anstieg (sie war beim Schwimmen höher als in Ruhe). Registrierungen vom Unterarm des Menschen im Laufe dieser Versuche – also unter denselben Temperaturverhältnissen – er-

gaben mittlere MV-Frequenzen von 11 Hz. Die Amplitude war beim Delphin in Ruhe etwa 3 bis 4mal so groß wie beim Menschen.

Vögel. Nach den Registrierungen an Säugetieren mußte festgestellt werden, ob auch die zweite große Gruppe der Warmblüter – die Vögel – Mikro vibrationen aufweist; solche Untersuchungen waren auch deshalb besonders interessant, weil die normale Körpertemperatur der Vögel viel höher ist als bei den Säugetieren (nämlich zwischen 40 und 42 Grad Celsius). Meine Mitarbeiter führten 1961 mit viel Geduld und Ausdauer zahlreiche Messungen an verschiedenen Vögeln an der Biologischen Station Wilhelminenberg durch, wo die Tiere an die Nähe von Menschen gewöhnt sind und im Freien in ihrer natürlichen Umgebung leichter für kurze Registrierungen ruhig gehalten werden konnten. Bei allen untersuchten Vögeln – Drossel, Huhn, Rabe, Krähe, Gans – war die Mikro vibration immer kontinuierlich vorhanden, die Frequenzen lagen aber beträchtlich höher als beim Menschen und den Säugetieren, nämlich zwischen 13 und 30 Hz mit einer Häufung zwischen 16 und 22 Hz. Man kann daher annehmen, daß zwischen der Höhe der Körpertemperatur und der MV-Frequenz ein kausaler Zusammenhang bestehe.

Fieber. Ein solcher Zusammenhang war bereits früher durch MV-Messungen an fiebernden Kranken nahegelegt worden. In einem Wiener Krankenhaus hat auf meine Bitte Dr. Georg KAISER an 10 Kranken mit Fieber zwischen 38 und 39,7 Grad MV-Registrierungen durchgeführt; sie zeigten eine Durchschnittsfrequenz von 12,1, also eine deutliche Erhöhung gegenüber dem Durchschnitt der Gesunden mit etwa 10 Hz. Bei zwei Patienten mit Temperaturen über 39 Grad lag die Durchschnittsfrequenz bei 14,0 und 14,2 Hz.

Neugeborene. Um festzustellen, ob sich die Mikro vibration am Beginn der selbständigen Wärme produktion von der Erwachsenen-Vibration unterscheidet, wurden Registrierungen an Menschen und Tieren unmittelbar nach der Geburt durchgeführt. Für die Registrierung an fünf neugeborenen Kindern wurde ein sorgfältig abgeschirmtes, piezoelektrisches Plattenspieler-Nadel-Pick-up verwendet; an Stelle der Nadel wurde ein Eisenstift mit abgerundetem Ende eingesetzt. Das Pick-up war mit Hilfe eines Schwingtisches für den Frequenzbereich von 3–30 Hz geeicht worden, so daß auch einigermaßen genaue Amplitudenmessungen in Mikron möglich waren. Das Pick-up war mit einem dünnen Faden in solcher Weise an einem Trägergestell aufgehängt,

daß daraus – wie in Vorversuchen festgestellt wurde – keine Störschwingungen entstehen konnten. Etwa 20 Minuten nach der Geburt und der darauffolgenden Reinigung des Kindes wurden in Bauchlage vom rechten und linken M. glutaeus maximus und vom rechten und linken Oberarm Registrierungen durchgeführt. Manche Neugeborene waren sehr unruhig, so daß lange Aufnahmen gemacht werden mußten, von denen nur einzelne Stücke ausgewertet werden konnten; bei einigen Kindern gelang die Registrierung am Oberarm wegen ihrer Unruhe überhaupt nicht. Nach 24 und 48 Stunden wurden die Registrierungen an den gleichen Stellen wiederholt; weitere Wiederholungen waren leider nicht möglich, weil die Kinder nicht mehr verfügbar waren. Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse der Frequenz- und Amplitudenauswertung von 5 Neugeborenen. Da sich oft Schwingungsbilder ergaben, bei denen einer gut erkennbaren, ziemlich regelmäßigen Grundschwingung kleine, raschere Frequenzen überlagert waren, wurde die Frequenz auswertung zweifach – mit und ohne Überlagerung – durchgeführt. Die Frequenzen der überlagerten Schwingung stehen in Klammern.

Tabelle 1. Mittelwerte der MV-Frequenzen und -Amplituden von 5 Neugeborenen

	M. Glutaeus rechts	links	Oberarm rechts	links
am 1. Versuchstag	5,24 (6,49) 41,28	5,41 (6,59) 41,60	5,86 (7,96) 33,15	5,92 (7,10) 22,88
am 2. Versuchstag	5,68 (6,75) 22,87	5,67 (6,45) 27,35	6,58 (7,97) 23,37	5,98 (8,61) 21,79
am 3. Versuchstag	5,47 (6,50) 36,25	5,82 (6,49) 29,76	5,95 (7,29) 26,74	5,92 (7,08) 28,32

Die erste Zahl gibt die Frequenz der Grundschwingung, die daneben stehende eingeklammerte Zahl die Frequenz der überlagerten Schwingung an. Darunter Amplituden in Mikron.

Aus der Tabelle ergibt sich, daß die durchschnittliche Frequenz der Grundschwingung beim Neugeborenen in den ersten Lebenstagen um etwa 1,5–2 Hz tiefer liegt als beim Erwachsenen; die Frequenz des Oberarms ist – wie bei den Erwachsenen – höher als am Glutaeus. Die Amplitude ist beträchtlich größer als beim Erwachsenen in Entspannung (meist etwa 4–6mal größer, auch in den kleinsten Werten noch

mindestens doppelt so groß). Dabei ist zu bedenken, daß die Kinder meist unruhig waren, wodurch erhöhte MV-Amplituden entstehen. Die niedrigsten gemessenen Werte am Oberarm dürften als Entspannungswerte gelten.

Versuche an Meerschweinchen. Aus der Tatsache, daß die MV-Frequenz des Menschen in der Zeit nach der Geburt niedriger, die MV-Amplitude jedoch beträchtlich höher ist als beim Erwachsenen, ergab sich die Frage, innerhalb welcher Zeit diese beiden Werte ihr Normalmaß erreichen. Da zu genügend langen Messungen an Menschen keine Möglichkeit bestand, wurden Registrierungen an neugeborenen Meerschweinchen bis zur Erreichung der MV-Werte erwachsener Meerschweinchen durchgeführt. Für die Versuche standen ein gravidus Meerschweinchen und ein gleichaltriges Kontrolltier zur Verfügung. Leider konnten die Messungen, da unmittelbar nach der Geburt der zwei Jungen ein Fehler in der Versuchsanordnung auftrat, erst am 4. Lebenstag beginnen. Sie wurden durch drei Wochen täglich am Vormittag sowohl an den beiden erwachsenen Tieren wie an den zwei Neugeborenen durchgeführt. Wegen der dichten Behaarung der alten Tiere konnte nicht das leichte Phonographen-Pick-up wie bei den neugebore-

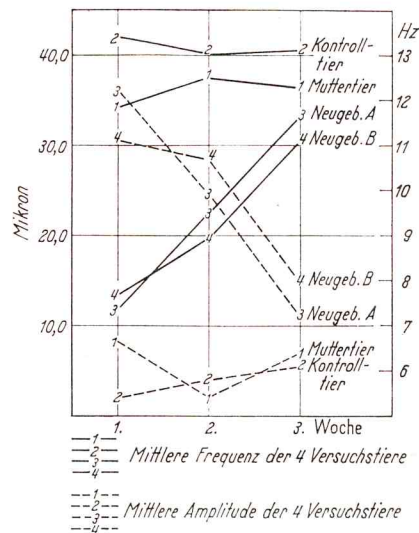


Abb. 12. Frequenz und Amplitude der Mikroviibration von 2 neugeborenen Meerschweinchen im Vergleich zu 2 erwachsenen Meerschweinchen (Muttertier und Kontrolltier) im Verlauf von 3 Wochen.

nen Menschen verwendet werden, weil die seitlich einwirkende Reibung durch die Haare Störungen erbracht hätte; es wurde daher die Standard-Versuchsordnung, die sich für die MV-Registrierung an Menschen bewährt hatte – Philips-Erschütterungsaufnehmer PR 9260 – etwas abgeändert, um sie für kleine Tiere benutzen zu können (an Stelle des Auflagestifts wurde ein sattelförmiger Ansatz verwendet, der am Rücken der Versuchstiere angelegt wurde, außerdem wurde der Aufgedruck durch ein Gegengewicht auf 130 g vermindert).

Die Ergebnisse waren eindeutig: während bei den erwachsenen Tieren in den drei Versuchswochen in Frequenz und Amplitude nur geringe Schwankungen auftraten, stieg in dieser Zeit die Frequenz bei den jungen Tieren kontinuierlich von 7,5 auf 11 Hz, während die Amplitude von 30 Mikron auf etwa 15 Mikron sank (Abb. 12).

2. Theorie der Temperaturkonstanz der Warmblüter

Wärme entsteht innerhalb des Organismus durch die chemischen Umsetzungen des Stoffwechsels; es ist üblich, geradezu von «Verbrennungsprozessen» zu sprechen. Solche Prozesse finden in vielen inneren Organen statt, «aber die Wärmemengen, die hierdurch entstehen, sind so gering, daß sie für den Gesamtwärmehaushalt nur eine unwesentliche Rolle spielen. Demgegenüber ist der Kohlehydratstoffwechsel der Masse der quergestreiften Muskulatur für die allgemeine Wärmeproduktion und besonders zur Erzeugung von Zusatzwärme im Bedarfsfall von allergrößter Bedeutung» (KILLIAN, 1966, 45). Die Leber, die oft als wichtiger Wärmeproduzent bezeichnet wurde, soll nach neuesten Untersuchungen in erster Linie als Glykogen-Speicher dienen (KILLIAN, 1966, 46). Es ist «unzweifelhaft, daß Stoffwechselveränderungen in der Skelettmuskulatur beim Zustandekommen der chemischen Wärmeregulation die Hauptrolle spielen» (BYKOW, 1960).

Das Hauptproblem der Temperaturkonstanz bildet die Frage, auf welche Weise der Organismus bei «ruhender» Muskulatur, also beim entspannten sitzenden oder liegenden und besonders beim schlafenden Menschen soviel Wärme produziert, daß die Temperatur des Blutes nicht unter 36,5 Grad Celsius sinkt. DURIG hat die Frage klar formuliert: «Der umstrittene Punkt liegt darin, ob eine Mehrproduktion von Wärme auch ohne jede Muskularbeit, ohne Muskelzittern und Muskelspannung und die dadurch bedingten gesteigerten chemischen Umsetzungen zustande kommt.» Nach Darlegung der einschlägigen Forschungsergebnisse schreibt DURIG: «Zusammenfassend kann gesagt

werden, daß die Frage, ob außer durch willkürliche oder reflektorische Muskelkontraktionen und Muskelzittern eine Umsatzsteigerung zum Zwecke der Lieferung von Wärme für die Wärmeregulation in Betracht kommt, also ob es in den Muskeln eine chemische Regulation ohne Aktion gibt, keineswegs entschieden ist» (DURIG, 1935). Zur Beantwortung dieser Frage wurde angenommen, daß auch der ruhende Muskel Wärme produziere, wobei es unklar blieb, auf welche Weise dies geschieht. So erzeugt nach ROSEMANN «der ruhende Muskel bereits Wärme, die für die Steuerung des allgemeinen Wärmehaushalts von Bedeutung ist . . . Die Impulse hierfür erreichen ihn auf dem Weg sympathischer Nerven. Die Stoffwechselforgänge im Muskel sind bereits bei körperlicher Ruhe an sich schon recht lebhaft» (ROSEMANN, 1950). Ein anderer Wärmetheoretiker, ISENSCHMID, erklärt: «Die Muskeln haben schon in der Ruhe einen relativ lebhaften Stoffwechsel, so daß RICHEL die Wärmebildung in unserer Muskulatur in der Ruhe auf drei Viertel der gesamten Wärmebildung schätzen konnte» (ISENSCHMID, 1962). Diese Behauptungen enthalten einen inneren Widerspruch, wenn man die Ausdrucksweise «ruhender Muskel» genau nimmt; denn wenn der Muskel ruht, kann er offenbar keine Wärme produzieren – es müssen in ihm chemische Prozesse stattfinden, die nach Meinung ROSEMANNS und ISENSCHMIDS vom vegetativen Nervensystem ausgelöst werden. «Der quergestreifte Muskel enthält außer den motorischen Nerven vom zerebrospinalen System auch regelmäßig Fasern vom vegetativen System; letztere vermitteln Impulse für den ruhenden Muskel, die zur Steuerung des Wärmehaushalts beitragen» (ROSEMANN). ISENSCHMID erklärt, man dürfe es «als erwiesen erachten, daß die Muskeln auch nach völliger motorischer Lähmung an der chemischen Wärmeregulation teilnehmen, und zwar durch Vermittlung des vegetativen Nervensystems».

Ob diese Annahme stimmt oder nicht – die Frage, auf welche Weise in der Muskulatur auch bei Entspannung und im Schlaf ständig Wärme produziert werden kann, ohne daß nachweisbare Kontraktionen stattfinden, ist noch offen. Eine befriedigende Antwort auf diese Frage ergibt sich erst aus der oben dargestellten Theorie der permanenten alternierenden Kontraktionen einzelner, über den ganzen Körper verteilter Muskelfasern, die den ständigen Mikrotremor des ganzen Körpers bewirken. Da dieser Mikrotremor nur bei Warmblütern besteht, könnte die Wärme, die durch die permanent ablaufenden alternierenden Faserkontraktionen laufend produziert wird, die Konstanthaltung der Körpertemperatur in Ruhe, im Schlaf und in der Narkose bewirken; d. h. es müßte durch diese Kontraktionen bei ruhiger Körperlage und voll-

kommener Entspannung und ebenso im Schlaf ununterbrochen so viel Wärme erzeugt werden, daß die Temperatur des Blutes nicht unter 36,5 Grad Celsius sinkt.

Eine direkte experimentelle Messung der Wärmemenge, die ein ruhendes Lebewesen in seiner entspannten Muskulatur erzeugt, ist undurchführbar; der direkte experimentelle Nachweis der hypothetischen alternierenden Faserkontraktionen wäre methodisch zwar möglich, würde aber einen sehr großen apparativen Aufwand erfordern (man müßte z. B. in einen sehr großen Muskel sehr viele Nadelelektroden einstechen und durch lange Zeit beobachten, ob vereinzelt Aktionsströme auftreten). Solange solche Experimente nicht vorliegen, ist man auf theoretische Überlegungen und Berechnungen angewiesen.

Eine solche Berechnungsmöglichkeit ergibt sich aus folgender Fragestellung: wenn die Wärmemengen, die bei Entspannung oder im Schlaf durch alternierende Faserkontraktionen in der gesamten Muskulatur produziert werden, zur Konstanthaltung der Körpertemperatur ausreichen sollen – wieviel Muskulatur muß dann ständig an diesen Kontraktionen beteiligt sein? Anders formuliert: wie groß ist der Prozentsatz der gesamten Muskulatur, der sich immer in Kontraktion befinden muß, damit genug Wärme erzeugt wird, um die Temperatur des Körpers bei Entspannung auf 36,5 Grad zu halten? Ist der Prozentsatz hoch, dann ist die aufgestellte Hypothese falsch, weil an der Entstehung der Mikrovibration nur sehr kleine Muskelprozente beteiligt sein können, sonst müßte man auch in Ruhe Muskelaktionsströme finden; ist dieser Prozentsatz aber niedrig, dann kann die Hypothese richtig sein.

Dieser Prozentsatz ist außerordentlich niedrig: ein Anteil von nur 2,5 % der gesamten Muskulatur eines erwachsenen Menschen muß sich alternierend ununterbrochen in Kontraktion befinden, um die 1700 großen Kalorien pro Tag zu erzeugen, die zur Konstanthaltung der Körpertemperatur nötig sind. Dieses Resultat ergibt sich aus folgender Berechnung: nach den berühmt gewordenen Untersuchungen des englischen Physiologen HILL produziert 1 Gramm Muskulatur bei einer einzigen Kontraktion 0,003 kleine Kalorien, bei 10 Zuckungen daher 0,03 kleine Kalorien pro Sekunde; daraus ergeben sich für eine Minute 1,80, für eine Stunde 108 und für einen Tag 2592 kleine Kalorien für ein Gramm kontrahierter Muskulatur. Das Gewicht der gesamten Muskulatur des erwachsenen Menschen ist mit 38 % des Körpergewichtes anzunehmen (SIEGLBAUER), so daß es bei einem 70 kg schweren Menschen 26,6 kg beträgt. Wenn ein Gramm Muskel bei 10 Kontraktionen pro Sekunde in 24 Stunden 2592 kleine Kalorien produziert, so müssen

zur Produktion von 1700 großen Kalorien (= 1 700 000 kleine Kalorien) 656 Gramm Muskulatur (= 1 700 000 : 2592) sich ständig in Kontraktion befinden. 656 Gramm sind 2,44 % von 26 600 Gramm, d. h. des Gesamtgewichtes der Muskulatur eines Menschen von 70 kg Körpergewicht.

Nur 2,5 % der Gesamtmuskulatur des erwachsenen Menschen müssen an den permanenten alternierenden Faserkontraktionen teilnehmen, damit seine Körpertemperatur in Ruhe und im Schlaf konstant bleibt. Dieser Anteil ist außerordentlich klein; aber er ist groß genug, um den ganzen Körper in ununterbrochene Erschütterungen zu versetzen, d. h. die registrierbare Mikrovibration zu erzeugen. Nicht registrierbar – oder nur durch Zufall registrierbar – sind die dabei auftretenden Muskelaktions-Ströme, weil mit den Nadelelektroden nur selten eine Faser erfaßt wird, die sich gerade in Kontraktion befindet.

Die «Theorie der Homiothermie», die sich aus den dargestellten Überlegungen ergibt, läßt sich in folgender Formulierung zusammenfassen: in allen Muskeln der warmblütigen Lebewesen finden während des ganzen Lebens ununterbrochen alternierende, über die gesamte quergestreifte Muskulatur verteilte Kontraktionen von Fasern einzelner motorischer Einheiten statt; die dabei ablaufenden chemischen Prozesse produzieren so viel Wärme, daß das durch die Muskeln fließende Blut immer auf den biologisch richtigen Temperaturgrad aufgewärmt wird. Beim ruhenden erwachsenen Menschen genügt es, daß sich in ständigem Wechsel jeweils ein Anteil von 2,5 % der Gesamtmuskulatur in Kontraktion befindet, um die Blut-Temperatur auf 36 bis 37 Grad Celsius konstant zu halten.

Nach den bisher durchgeführten, sehr unvollständigen Experimenten über das Verhalten der Mikrovibration bei Wechsel der Außentemperatur ist es wahrscheinlich, daß die alternierenden Faserkontraktionen auch an der Regulation der Wärmeproduktion in der Muskulatur – d. h. an der Anpassung der Wärmeproduktion an den jeweiligen Bedarf – beteiligt sind. Gesichert ist durch die Wiener Experimente die Feststellung, daß beim Wechsel von Wärme (25 Grad) in Kälte (4 Grad) eine Erhöhung der MV-Frequenz bei Reduktion der Amplitude auftritt. Sieht man von der Amplituden-Reduktion ab – sie kann im kalten Raum durch Verminderung des Pulsanteils infolge der Drosselung des peripheren Kreislaufes bei Kälte entstehen –, so ergibt sich die Frage, ob durch die geringe Steigerung der MV-Frequenz – genauer gesagt: der Frequenz der alternierenden Faserkontraktionen – eine wirksame Steigerung der Wärmeproduktion erreicht werden kann. Im Durchschnitt von 10 Personen erhöhte sich die Frequenz der Mikro-

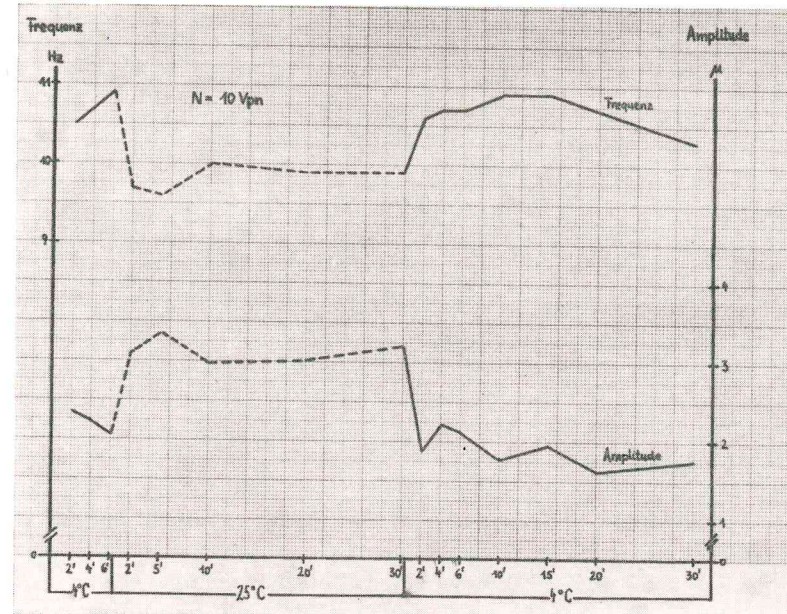


Abb. 13. Frequenz und Amplitude der Mikrovibration bei Wechsel von Kälte (4 Grad Celsius) und Wärme (25 Grad Celsius). In der Abszisse ist eingetragen, nach wieviel Minuten Aufenthalt in Kälte bzw. Wärme die Registrierungen durchgeführt wurden. Die linke Ordinate gibt die Frequenz an (in Hz = Schwingungen pro Sekunde), die rechte Ordinate die Amplitude (in Mikron = 1/1000 mm). Die Abbildung stammt aus der Untersuchung von H. Swarofsky. Die Mikrovibration bei Affekten und Temperaturänderungen (ungedruckte Dissertation, Phil. Fakultät, Wien 1959).

vibration bei 4 Grad Celsius gegenüber vorher 25 Grad um ungefähr eine Schwingung pro Sekunde (Abb. 13). Dieser Unterschied erscheint geringfügig; in Wirklichkeit bedeutet eine solche Frequenzsteigerung der alternierenden Faserkontraktionen bei einer Beteiligung von nur 2,5 % der Gesamtmuskulatur eine Zunahme der Wärmeproduktion um 7074 kleine Kalorien pro Stunde. Die Frequenzsteigerung der alternierenden Muskelaktivität ist daher ein sehr wirksames Verfahren zur raschen und exakten Anpassung der Wärmeproduktion an den jeweiligen Bedarf. Zur Feinregulation der Wärme-Erzeugung ist somit die Steigerung der Kontraktionsfrequenz sehr geeignet, zumal sie außerordentlich rasch einsetzt (um MV-Änderungen durch Bewegung zu vermeiden, durften die Versuchspersonen nur ganz langsam vom warmen in den nahe gelegenen kalten Raum gehen, wo erst das Pick-up angelegt

werden mußte; bei der ersten Messung, etwa 2 Minuten nach dem Verlassen des warmen Raumes, war die Frequenz bereits erhöht). Es muß aber gesagt werden, daß es zu diesem Thema auch überraschende, nicht interpretierbare Resultate gibt: bei einer Person, an welcher innerhalb eines Jahres zu jeder Jahreszeit Kalt-Warm-Experimente durchgeführt wurden, stieg zwar im Herbst und Winter die Frequenz in der Kälte um 0,8 Hz, im Frühling und Sommer hingegen sank sie (um 0,8 bzw. 0,3 Hz); bei der Rückkunft in die Wärme (25 Grad) sank sie im Herbst und Winter um 0,7 Hz, stieg aber im Frühling und Sommer um 0,4 Hz. Eine Erklärung läßt sich noch nicht geben, weitere Versuche sind noch im Gange.

Über die Auslösung der organischen Prozesse zur Erhöhung und zur Reduktion der Wärmeproduktion bestehen in der Physiologie ziemlich klare Vorstellungen: es scheint ein biologischer Regelkreis vorzuliegen, dessen «Meßfühler» im Hypothalamus liegt (ein Gangliensystem, das nach BENZINGER schon auf Schwankungen der Blut-Temperatur von $\frac{1}{10}$ Grad reagiert). Bei der nervösen «Information» dieses Meßfühlers spielt ebenfalls eine Frequenzregulation die entscheidende Rolle (mit der am Warm- oder Kaltrezeptor der Haut bestehenden Temperatur ändert sich die Impulsfrequenz der in das Zwischenhirn führenden Nervenfasern – HENSEL und ZOTTERMAN, 1951). Vollkommen unklar aber ist gegenwärtig noch das Zustandekommen der gesteigerten Frequenz der alternierenden Kontraktionen; soweit ich den Stand der gegenwärtigen muskelphysiologischen Forschung kenne, kommt dafür nur eine vermehrte Beteiligung kürzerer Muskelfasern in Betracht (weil eine Variation der Kontraktionsfrequenz von Muskelfasern unmöglich zu sein scheint). Nach dieser – sehr unsicheren – Annahme müßten bei zunehmender Kälte zunächst immer mehr die kurzen Fasern in der Muskulatur an den alternierenden Kontraktionen beteiligt und dadurch die Wärme-Erzeugung erhöht werden; erst wenn dieses Vorgehen nicht mehr ausreicht, um die Temperatur konstant zu halten, wird das makroskopische Kältezittern eingeschaltet – eine Notmaßnahme des Organismus, um durch alternierende unregelmäßige Kontraktionen großer Anteile der Muskulatur den durch die Abkühlung entstandenen hohen Wärmebedarf zu decken.

Die Konstanzhaltung der Körpertemperatur erfolgt mit hoher Präzision; daraus ergibt sich, daß die muskulären Vorgänge, die der Wärmebildung dienen, sehr genau abgestuft werden müssen. Andererseits muß es beim ruhenden Organismus eine optimale Verteilung der aufeinander folgenden alternierenden Faserkontraktionen geben, so daß auf möglichst ökonomische Art mit geringstem Energieverbrauch die Auf-

wärmung des kreisenden Blutes erreicht wird; d. h. es müssen sich in der Aufeinanderfolge dieser Kontraktionen nicht nur immer andere Fasern kontrahieren als unmittelbar vorher, sondern es sollen die kontrahierten Fasern in solcher Art wechseln, daß das bei der Passage muskelfreier Regionen abgekühlte Blut durch die neuen Kontraktionen wieder so viel Wärme erhält, wie zur Erhaltung der Temperaturkonstanz notwendig ist. Zweifellos ist die Temperatur des Blutes die Resultante aller jeweils stattfindenden Faserkontraktionen (und außerdem der Außentemperatur, also der Wärmeabgabe an der Körperperipherie). Da sich aber die Präzision der Konstanzhaltung nur aus dem Zusammenwirken aller wärmeproduzierenden Muskelaktionen ergeben kann, müssen die einzelnen muskulären Faserkontraktionen in die allgemeine Wärmeregulation eingeordnet sein; sie bilden den entscheidenden Faktor in dem Regelkreis, der aus den Wärme- und Kälte-Rezeptoren der Haut, dem zentralen «Meßfühler» des Regulations-Zentrums im Zwischenhirn und aus den wärmeproduzierenden Muskelaktionen besteht. Daraus folgt, daß es eine Art «Programm» für die alternierenden Faserkontraktionen geben muß, das beim ruhenden Organismus und bei behaglicher Außentemperatur in der einfachsten Art abläuft; ändert sich die Außentemperatur, so muß dieses Programm entsprechend geändert und dadurch die Zahl der Faserkontraktionen vermehrt werden, eventuell bis zum Einsatz ganzer großer Muskelpartien (makroskopisches Kältezittern). Anders formuliert: die Auswahl der jeweils aktivierten motorischen Einheiten erfolgt wahrscheinlich im Gehirn, das Programm für die Impulse an die Vorderhornzellen des Rückenmarks wird nach dem jeweiligen Wärmebedarf zentral aufgestellt, so daß immer ganz bestimmte Vorderhornzellen aktiviert und ganz bestimmte motorische Einheiten zur Kontraktion veranlaßt werden. Es wäre interessant, die Frage zu behandeln, ob sich für den ruhenden Organismus in körperwarmer Umgebung eine Verteilung der Faserkontraktionen errechnen läßt, die das Optimum an Ökonomie der Wärmeproduktion darstellt.

Unter dem Aspekt der alternierenden Faserkontraktionen läßt sich auch noch eine andere, ebenfalls interessante Frage stellen und beantworten: die Frage, auf welche Weise das Optimum der Wärmeerzeugung und -verteilung im Organismus erreicht wird. Es steht außer Zweifel, daß der Transport und die Verteilung der Wärme in die einzelnen Organe durch den Blutkreislauf erfolgt; der Übergang der Wärme aus dem strömenden Blut auf die umgebenden Gewebe erfolgt durch die Wände der Blutgefäße. Auf die gleiche Weise wird die Wärme aus den Muskeln aufgenommen; durch das kreisende Blut ge-

langt die Wärme in die Organe, die selbst keine oder nur unwesentliche Wärmemengen produzieren, vor allem in das Gehirn, dessen Funktionsfähigkeit von der konstanten Temperatur von 37 Grad in hohem Maße abhängt.

Das Prinzip der «Heizung» in unserem Körper zur Erhaltung seiner konstanten Temperatur ist ein Verfahren, das von der wissenschaftlichen Heizungstechnik noch nicht verwendet worden ist: es ist nicht eine Zentralheizung mit einer einzigen Wärmequelle, sondern eine Flüssigkeits-Umlauf-Heizung, bei welcher die Wärme durch sehr kleine, aber außerordentlich viele, in den Umlauf eingeschaltete chemische Wärmeproduzenten geliefert wird, die aber jeweils nur sehr kleine Mengen erzeugen. Anders formuliert: die kreisende Blutflüssigkeit der organischen Umlauf-Heizung wird auf ihrem Weg immer wieder aufgewärmt, so oft sie einen Muskel passiert, so daß die an den wenig geschützten Stellen (z. B. an den Hand- und Kniegelenken) verlorene Wärme rasch wieder ersetzt wird. Es ist ein «Vielfach-Aufheizungs-System» – eine grandiose Leistung der natürlichen Entwicklung, bei welcher überdies noch durch ein thermostatisches Regelsystem eine höchst präzise Konstanthaltung der Temperatur erreicht wird.

Um ein solches «multiples» Heizsystem optimal zu gestalten, müssen die einzelnen Heizungsstellen, d. h. die Muskeln, in solcher Weise über den ganzen Körper verteilt sein, daß das kreisende Blut nach dem Passieren muskelfreier Stellen und nach Wärmeabgabe an die einzelnen Organe immer wieder neue Wärmemengen erhält. Daraus ergibt sich, daß die Anordnung der Muskeln im Warmblüter-Organismus nicht nur durch die Forderung bestimmt ist, daß der Bewegungsapparat der Extremitäten und des Rumpfes richtig funktioniert, sondern auch durch die Notwendigkeit, die Blutwärme immer wieder zu ergänzen. Durch diese beiden Forderungen werden die morphologischen Entwicklungsmöglichkeiten der Warmblüter begrenzt; nur Körperformen, die beide Forderungen erfüllen, sind lebensfähig. Bei Kaltblütern fällt die Notwendigkeit der ständigen Bluterwärmung fort; ihr Körperbau ist daher auch ganz anders konstruiert – er ist eher auf Wärmeaufnahme aus der Umgebung abgestellt, z. B. durch die große Oberfläche des Körpers bei Schlangen und Reptilien. Natürlich spielen bei der Konstanthaltung der Körpertemperatur noch andere Faktoren eine große Rolle: die Strömungsgeschwindigkeit des Blutes, die Weite der Blutgefäße, der Schutz gegen Wärmeverluste durch Fettgewebe und Behaarung usw. – alle diese Faktoren müssen aufeinander abgestimmt sein, um das Optimum der Wärmeverteilung zu erreichen.

Die Unterschiede, die im Kreislaufsystem zwischen Warm- und Kalt-

blütern bestehen, wurden schon früh als Faktoren der Temperaturkonstanz gedeutet; so die Tatsache, daß Kaltblüter keine oder nur ungenügend geschiedene Herzventrikel und Herzgefäße aufweisen im Gegensatz zu der vollkommenen Sonderung der vier Herzventrikel und der Arterien des Körpers und Lungenkreislaufes bei den Säugetieren und Vögeln; durch die vollkommene Trennung der Herzkammern entstehen zwei völlig getrennte Kreislaufsysteme, wodurch eine Mischung des arteriellen und venösen Blutes und damit Wärmeverluste unmöglich werden. Die Blutkörperchen der Warmblüter sind kleiner als diejenigen der Kaltblüter, was eine Vergrößerung der Blutoberfläche für den Wärmetransport und die Ausbildung feinerer Kapillarnetze ermöglicht (FÜRBRINGER, 1888; BUDDENBROCK, 1967).

Psychologische Ergebnisse

1. Die Mikrovibration als Indikator psychischer Spannung

Starke psychische Spannungen führen bekanntlich zu spürbaren Muskelspannungen. Es war daher anzunehmen, daß die Amplitude der Mikrovibration als Indikator für den psychischen Spannungszustand verwendet werden könne. Diese Vermutung hat sich in mehreren Untersuchungen bestätigt; dabei ist aber ausdrücklich darauf hinzuweisen, daß bei allen diesen Untersuchungen in der Kurvenauswertung auch die kardial-pulsatorische Komponente enthalten ist, weil eine gesonderte Erfassung der muskulären Anteile nicht möglich war (die Auswertungsarbeit wäre dadurch überaus mühsam und zeitraubend geworden, doch besteht Aussicht, durch elektronische Methoden eine getrennte Auswertung zu ermöglichen). JÄHNL verglich in einer Dissertation des Wiener Psychologischen Instituts an 50 Personen die Mikrovibration in drei verschiedenen Zuständen: zuerst in der «Erwartungsspannung», d. h. in der aus der Versuchssituation entstehenden Spannung; die Versuchsperson mußte sich sofort nach ihrer Ankunft im Versuchsraum auf ein Bett legen und sich den Vibrations-Aufnehmer am linken Unterarm anlegen lassen, was zusammen mit den herumstehenden elektrischen Meßgeräten auf die meisten Menschen mehr oder weniger beunruhigend wirkt und daher die «Erwartungsspannung» auslöst. Dann wurde eine leichte Entspannungs- und Beruhigungs-Suggestion (nach der Methode von SCHULTZ) gegeben, worauf eine psychische Belastung durch Intelligenz-Tests folgte (die Tafeln B und C aus dem Matrizen-Test von Raven und einige Rechen- und Merkaufgaben). In jeder der drei Versuchsphasen wurde die Mikrovibration 30 Sekunden lang registriert, was auf dem Papierfilm ein Kurvenbild von 180 cm Länge ergab; die Schwingungen der mittleren 10 Sekunden jeder Versuchs-Phase wurden nach Frequenz und Amplitude genau gemessen. In der Frequenz zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den drei psychischen Zuständen (nur 0,1 bis 0,2 Hz). Hingegen ergab der Amplituden-Vergleich sehr beträchtliche Differenzen zwischen Erwartungsspannung und psychischer Belastung einerseits und dem Zustand der Entspannung andererseits: in der Entspannung verminderte sich die Amplitude gegenüber der Erwartungsspannung im Durchschnitt

um 32 0/0, und bei der Belastung durch die Intelligenzaufgaben stieg sie um 48 0/0 der Entspannungsamplitude an, d. h. sie wurde gegenüber der Entspannung um nahezu die Hälfte größer (Abb. 14).

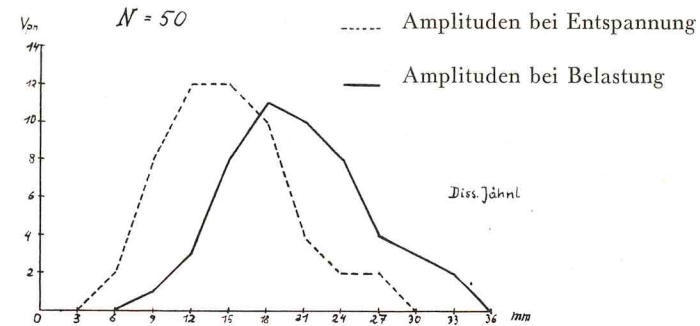


Abb. 14. Mikrovibrations-Amplitude von 50 Personen bei Entspannung und psychischer Belastung (Intelligenz-Tests). ILSE JÄHNL, 1959.

Zwischen Erwartungs-Spannung und psychischer Belastung bestand keine signifikante Differenz (nur rund 2 0/0), was verständlich ist, weil es sich in beiden Fällen um psychische Zustände handelt, die eine hohe Spannungs-Komponente aufweisen.

Eine Spannungs-Komponente besteht auch bei Affekten. SWAROFSKY versuchte in einer Dissertation des Psychologischen Instituts der Universität Wien bei 27 Personen durch Ankündigung eines elektrischen Schlages eine affektive Spannung zu erzeugen: es ergab sich eine durchschnittliche Erhöhung der Amplitude der Mikrovibration im Vergleich zur Entspannung von 26,3 0/0. Diese Amplitudenerhöhung trat aber nicht bei allen 27 Personen auf, sondern nur bei 17; bei den restlichen 10 Personen war die Mikrovibration im Affekt und in der Entspannung ungefähr gleich groß, woraus aber nicht geschlossen werden darf, daß der Affekt wirkungslos blieb; viel wahrscheinlicher ist es, daß die 10 Personen nicht entspannen konnten, sondern weiterhin in der «Situations-Spannung» verharrten. Berechnet man die Amplitudensteigerung nur von den 17 Personen, bei denen sie bestand, so ergibt sich ein Wert von 49 0/0 der Entspannungsamplitude. In einer zweiten Versuchsreihe mit 25 Studenten wurde dadurch ein Affektzustand zu erzeugen versucht, daß durch ein fingiertes Telefongespräch angekündigt wurde, der Professor komme, um sich das Experiment anzusehen: es trat eine durchschnittliche Amplitudensteigerung von 14,5 0/0 auf. Beide Prozentwerte aus diesen Affektversuchen sind statistisch sehr signifikant.

Psychische Spannung kann auch durch leichte Schockerlebnisse entstehen, wie sie zum Beispiel bei plötzlich einsetzendem Lärm zustandekommen. Da es sehr wenige Untersuchungen über objektive Lärmwirkung gibt, sollte in einer Dissertation den Einfluß von plötzlich einsetzendem Motorgeräusch auf die Mikrovibration untersucht werden. In diesen von GRUBER durchgeführten Experimenten wurde wie in der oben erwähnten Untersuchung von JÄHNL zuerst die Mikrovibration in der Erwartungsspannung registriert. Leider waren die äußeren Bedingungen ungünstig, weil sich die Versuchspersonen im gleichen Raum wie die Registriergeräte aufhalten mußten, damit das Starten eines außerhalb dieses Raumes befindlichen Benzinmotors gut gehört werden konnte (im Versuchsraum konnte der Motor nicht aufgestellt werden, weil er Bodenerschütterungen verursacht hätte). Wie eine nachträgliche Geräuschmessung durch die Technische Hochschule ergab, erzeugte der Motor im Versuchsraum einen Lärm von 87 Phon bei 75 bis 7000 Hz. Die zweite Registrierung wurde in «Entspannung» durchgeführt, wobei aber keine Suggestion gegeben, sondern nur gesagt wurde, die Versuchsperson soll sich möglichst entspannen und ruhig vor sich hin dösen; nach etwa 30 Sekunden dieser Entspannungsphase wurde der Motor gestartet und wieder etwa 30 Sekunden lang registriert. Bei den 50 Personen, bei denen dieses Experiment durchgeführt wurde, ergab sich zwischen Entspannungsamplitude und Lärmamplitude eine statistisch sehr signifikante Amplitudenvergrößerung von durchschnittlich 15,8 %. Gegenüber der «Erwartungsspannung» zu Versuchsbeginn bestand bei Lärm nur eine sehr geringe Erhöhung der Amplitude bei den 31 Männern (um 3 %); bei den weiblichen Versuchspersonen hingegen war die Amplitude der Mikrovibration bei Lärm zwar um 20 % der Entspannungsgröße höher, aber beträchtlich niedriger als die Amplitude der Erwartungs-Spannung bei der ersten Aufnahme (um 19 %). Es trat also im Durchschnitt bei Lärm gegenüber leichter Entspannung eine Amplitudenerhöhung der Mikrovibration um 15,8 % auf, aber die Amplitude war im Durchschnitt immer noch kleiner als bei der Erwartungs-Spannung der ersten Registrierung. Bei 7 Personen der im obigen Durchschnitt enthaltenen 50 Versuchspersonen trat bei Lärm keine Erhöhung oder sogar eine Verminderung gegenüber der Entspannung ein; es ist möglich, daß es sich dabei wieder um Menschen handelt, die sich von der Situations-Spannung nicht freimachen können und daher zu keiner wirklichen Entspannung gelangten.

Wenn die Mikrovibration als Spannungs-Indikator verwendet werden kann, so müßte sie auch als objektives Maß für die individuellen Unterschiede in der dauernden «Gespanntheit» («Rigidität») dienen

können. OBERHUBER hat 52 Studenten mit 9 Rigiditäts-Tests untersucht und MV-Registrierungen in Entspannung, affektiver Spannung (Pistolen-schuß) und kognitiver Spannung (Rechenaufgaben) durchgeführt. Leider ergaben sich zwischen den einzelnen Rigiditäts-Tests nur niedere Korrelationen, so daß angenommen werden muß, daß sie verschiedene Persönlichkeits-Merkmale messen, die mehr oder weniger mit «Gespanntheit» zusammenhängen; es mußten daher die Einzeltests mit den MV-Werten korreliert werden, wobei sich Koeffizienten von nur 0,36 bis 0,42 ergaben. Statistisch gesichert ist auch in diesen Versuchen der Zusammenhang zwischen affektiver Spannung und MV-Amplitude (Steigerung um durchschnittlich 28,2 % gegen Entspannung), wobei auch die Frequenz eine durchschnittliche Steigerung um 9,8 % aufwies.

Als brauchbarer Indikator für Spannungslösung oder «Entspannung» hat sich die Mikrovibration in pharmakologischen Untersuchungen von LIENERT und GRÖGLER mit spannungsreduzierenden Präparaten (Tranquillizern) erwiesen. Es wurden drei Gruppen von je 15 Personen gebildet; jede Gruppe erhielt zunächst als Aufgabe einen Teil des Merkfähigkeits-Tests aus dem Intelligenz-Test von AMTHAUER (Auswendiglernen von Wörtern), um eine psychische Spannung zu erzeugen, wodurch bei allen drei Gruppen die MV-Amplitude signifikant anstieg. Dann erhielt die erste Gruppe ein Leerpräparat (warme Limonade), die zweite 400 Milligramm Meprobamat in warmer Limonade, die dritte 350 Milligramm Carisoprodol in Limonade, worauf die Gruppenzusammensetzung gewechselt wurde, so daß schließlich jede der 45 jeden der drei Versuche (reine Limonade, Meprobamat, Carisoprodol) im Blindversuch durchmachte. Es wußte niemand, wann er nur Limonade und wann er die Limonade mit den Tranquillizern erhalten hatte. Darauf wurde wieder mit dem Intelligenz-Test psychische Spannung erzeugt. Bei der Gruppe ohne Präparat stieg die Amplitude fast genau so stark an wie im Vorversuch, bei der Meprobamat-Gruppe stieg sie zwar ebenfalls, blieb aber signifikant unter der Größe des Anstieges im Vorversuch, ebenso bei der Carisoprodol-Gruppe, doch lag die dabei erreichte Amplitude noch weit unter derjenigen der zweiten Gruppe (d. h. daß «die muskelrelaxierende Wirkung von 350 mg Carisoprodol wesentlich stärker ist als die von 400 mg Meprobamat», LIENERT-GRÖGLER, 1961, S. 6). Die Wirkung zahlreicher Relaxantia auf die Amplitude der Mikrovibration wurde in vielen japanischen Untersuchungen festgestellt (s. S. 106, 117 f.), so daß diese Wirkung außer Zweifel steht.

Die Brauchbarkeit der MV-Amplitude als Indikator für den Grad der «Aktiviertheit» wurde von KUNA, GOLENHOFEN und LIENERT unter-

sucht. Die Autoren gingen dabei von der Annahme aus, daß die MV-Amplitude als Aktiviertheits-Indikator verwendbar sei, wenn sie zwischen drei psychischen Beanspruchungen – Entspannung, Merken von Wörtern, komplexe Additions- und Subtraktionsaufgaben unter Zeitdruck – signifikant zu diskriminieren vermag. Bei 20 Personen stieg die Amplitude mit zunehmender Beanspruchung signifikant an, doch ergab die Gegenüberstellung der Extrembedingungen (Entspannung – stärkste Beanspruchung) nur einen Gültigkeitskoeffizienten von 0,38, was die individualdiagnostische Anwendbarkeit der MV-Amplitude als Aktiviertheits-Indikator fraglich erscheinen läßt, während sie beim Vergleich von Gruppen nach Meinung der Autoren ausreichend zwischen verschiedenen Beanspruchungs-Graden differenziert.

KUNA, GOLENHOFEN und LIENERT haben gleichzeitig mit der Mikro-vibration die Muskel-Aktionsströme registriert (mit 3×7 cm Silberplatten von beiden Unterarmen). Auch hier ergab sich eine hohe Korrelation zu den Beanspruchungs-Graden, wenn man die Durchschnitte aller Beanspruchungsgrade der 20 Personen gegenüberstellt (0,80), aber nur niedere, wenn man die individuellen Durchschnittswerte korreliert (0,14). Dies «bedeutet, daß MV-Amplitude und Muskel-Aktionsströme bei den einzelnen Versuchspersonen nicht konform gehen, was verständlich ist, wenn man bedenkt, daß eine bestimmte Muskelaktivität je nach Körpermasse unterschiedliche Vibrationsgrößen erzeugt» (S. 472). Die hohe Gruppenkorrelation zeigt, «daß jede Steigerung der MV-Amplitude mit einer äquivalenten Steigerung der Muskelaktionsströme verbunden ist» (S. 472). Abschließend erklären die Autoren: «Die MV-Amplituden-Registrierung kann (als Aktiviertheits-Indikator) für gruppendiagnostische Aufgaben unbedingt, für individualdiagnostische Zwecke dagegen nur bedingt empfohlen werden» (S. 475).

Aktivierung entsteht auch durch Schmerz. Japanische Autoren haben Tierversuche über die Brauchbarkeit der MV-Amplitude als Schmerzindikator durchgeführt (siehe S. 112); an Menschen wurde in Wien von SCHWAPPACH der Grad der subjektiven Schmerzempfindung mit der MV-Amplitude verglichen. Bei 60 Patienten eines Unfall-Krankenhauses, die einen Unterarm-Bruch erlitten hatten (Fraktur des Radius und des Processus styloides der Ulna) wurde unmittelbar nach Abnahme des Gipsverbandes sowie 2, 10 und 24 Tage nachher die Mikro-vibration registriert. Als allgemeines Resultat ergab sich, daß die Amplituden unmittelbar nach der Gipsabnahme am höchsten waren, sich aber im Laufe der drei Wochen langen Nachbehandlung dem Normalwert näherten (im Durchschnitt unmittelbar nach Gipsabnahme 3,6 Mikron, nach 2 Tagen 3,1, nach 10 Tagen 2,8 und nach 24 Tagen 2,7). Die

Unterschiede zwischen der ersten und letzten Registrierung sind sehr signifikant.

Bei jeder der vier Registrierungen innerhalb von 26 Tagen mußten die Patienten in einer Skala von 1 bis 5 den Grad des Schmerzes angeben, der bei der Untersuchung auftrat; von den 60 Patienten ergaben sich daher 240 Schmerz-Skalierungen, deren Korrelation mit den MV-Amplituden und -Frequenzen hochsignifikante Zusammenhänge zeigten: Schmerzempfindung und MV-Amplituden + 0,65, Schmerzempfindung und MV-Frequenzen – 0,43; d. h. je stärker die subjektive Schmerzempfindung, desto höher die Amplitude und desto niedriger die Frequenz der Mikro-vibration (Abb. 15).

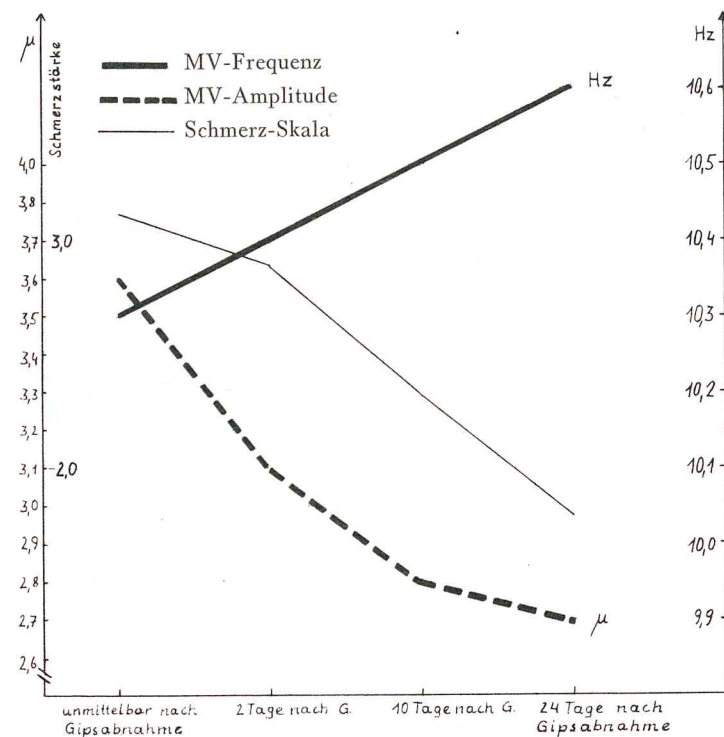


Abb. 15. Änderungen von Frequenz und Amplitude der Mikro-vibration nach Gipsabnahme bei Armfrakturen und bei Abnahme der Schmerzempfindungen. Durchschnitt von 60 Personen. MV abgenommen mit Philips-Erschütterungsaufnehmer. Aus unveröffentl. Diss. von ILSE SCHWAPPACH, Wien 1966.

2. Konditionierung der Mikrovibrations-Amplitude

Zu den psychologischen Resultaten der MV-Forschung ist auch noch die Tatsache zu rechnen, daß die Mikrovibration bis zu einem gewissen Grad konditionierbar ist (d. h., daß man sie zu einem «bedingten Reflex» machen kann, der auf einen neutralen Reiz auftritt, wenn dieser vorher zusammen mit dem adäquaten biologischen Reiz geboten wurde). REIFFENSTEIN (1967) hat im Wiener-Laboratorium folgende Einzelversuche durchgeführt: 26 Personen wurden im Einzelversuch aus einem warmen Raum (20 Grad Celsius) in einen kalten Raum (4 Grad Celsius) gebracht, in welchem die aus früheren Kälte-Versuchen bekannte Verminderung der MV-Amplitude mit Erhöhung der Frequenz auftrat. Der kalte Raum war mit grünem Licht beleuchtet, außerdem war dort ein Gerät aufgestellt, das einen Summton erzeugte und als «Kältemaschine» bezeichnet wurde (in Wahrheit bestand es aus einem Lautsprecher, der einen Ton von 500 Hz erzeugte). Jede Versuchsperson mußte sich 4 Minuten in diesem kalten Raum aufhalten; dann wurde sie wieder in den warmen Raum gebracht, wo nach 15 Minuten Aufwärmzeit eine grüne Beleuchtung eingeschaltet und die «Kältemaschine» mit dem Summton eine Minute lang in Betrieb gesetzt wurde (grünes Licht und Summton waren also der «konditionelle Reiz»). Bei allen 26 Versuchspersonen trat darauf eine signifikante Verminderung der MV-Amplitude um ca. 15 bis 20 % gegenüber einer Kontrollgruppe ein; diese Amplituden-Verminderung blieb ca. 30 Sekunden bestehen. Es war also eine komplette Konditionierung der Mikrovibration erreicht worden, obwohl der biologische Reiz (Kälte) und der konditionelle Reiz (grünes Licht und Summton der «Kältemaschine») nur ein einziges Mal durch 4 Minuten gleichzeitig geboten worden war. An der Frequenz war keine Konditionierung feststellbar; man könnte daraus schließen, daß die Vasokonstriktion der peripheren Gefäße, auf welche die Amplituden-Reduktion bei Kälte vielleicht zurückzuführen ist, leichter konditionierbar ist als die wahrscheinlich zentral regulierte Erhöhung der MV-Frequenz.

3. Mikrovibrations-Unterschiede zwischen Gesunden, Neurotikern, Schizophrenen und Gehirngeschädigten

Die erste Untersuchung über MV-Differenzen zwischen Gesunden, Neurotikern und Schizophrenen wurde 1956 von WILLIAMS mit einer piezoelektrischen Versuchsanordnung am Maudsley-Hospital in Lon-

don durchgeführt. Er verglich die Mikrovibration von 16 Gesunden, 16 Neurotikern und 16 Schizophrenen, je zur Hälfte männlich und weiblich, bei Entspannung und in einer «Stress-Situation», also bei starker psychischer Belastung. Die Stress-Situation wurde durch die Methode des Sprech-Echos («feed back of speech») erzeugt: die Versuchsperson mußte laut lesen und hörte gleichzeitig über einen Kopfhörer ihre eigene Stimme mit 0,2 Sekunden Verzögerung, was als außerordentlich verwirrend und störend erlebt wird. Die Versuche wurden in drei Phasen durchgeführt: nach etwa 5 Minuten zur Beruhigung wurde der Auftrag erteilt, sich zu entspannen, und dann die Mikrovibration 10 Minuten lang registriert; darauf folgte der «Sprech-Echo-Versuch», mit dem die Versuchspersonen vorher vertraut gemacht worden waren, mit 5 Minuten Registrierung und dann eine neuerliche Entspannung mit 10 Minuten Registrierung. Zwischen Stress-Situation und Entspannung ergaben sich sehr große Unterschiede in der Amplitude der Mikrovibration, wobei überdies sehr signifikante Differenzen zwischen den Gesunden, Neurotikern und Schizophrenen auftraten. Bei den Gesunden stieg die Größe der Mikrovibration bei Stress um 89,2 % der Entspannung an, bei den Neurotikern um 133,8 % und bei den Schizophrenen um 105,5 % (diese Werte sind aus den leider in Logarithmen angegebenen Werten von WILLIAMS errechnet). In der Entspannung waren die Unterschiede kleiner; die Amplitude der Neurotiker war im Vergleich zur Mikrovibration der Gesunden um 3,5 %, die Amplitude der Schizophrenen um 17 % größer. Interessant ist ferner, daß die Mikrovibration der Neurotiker, die in der Entspannung fast genau gleich groß ist wie bei den Gesunden, bei Stress sogar über diejenige der Schizophrenen ansteigt, um dann bei Entspannung auf die Größe der Gesunden abzusinken. Die zweite Entspannung nach der Belastung ergab bei allen drei Gruppen etwas niedrigere Werte als die erste.

Auch zwischen Männern und Frauen fand WILLIAMS signifikante Unterschiede: die männliche Amplitude ist größer als die der Frauen und steigt bei Stress im gleichen Verhältnis mehr an als die weibliche Amplitude. WILLIAMS führte alle seine Experimente zur Kontrolle zweimal durch und fand zwischen den Resultaten der beiden Versuchsreihen keine signifikanten Unterschiede, so daß seine Ergebnisse als verlässlich im Sinne von «reliabel» gelten dürfen.

Gegen die Versuche von WILLIAMS hat HUBER eingewendet, daß die beim Sprechen im Kehlkopf entstehenden Schwingungen, die sich auf den ganzen Körper übertragen, zu Veränderungen der Mikrovibration hätten führen können. HUBER hat daher an 28 Neurotikern – «reine» Neurosen ohne Mischfälle – und an 28 Gesunden, die in Persönlich-

keits-Tests keinerlei neurotische Symptome zeigten, einen anderen Stress-Belastungsversuch durchgeführt: es mußten drei Kolonnen von dreistelligen Zahlen, die optisch geboten wurden, im Kopf addiert und gleichzeitig ein Text, der über Kopfhörer geboten wurde und viele Jahreszahlen enthielt, aufmerksam verfolgt werden – mit dem Hinweis, daß am Ende des Versuches sowohl die Summen der addierten Zahlen wie auch eine Inhaltsangabe des gehörten Textes verlangt würden. Die Auswertung mit Hilfe einer Varianzanalyse ergab, daß unter Stress nicht nur die MV-Amplitude, sondern auch die MV-Frequenz zunahm – zwar nur um 3 bis 9 %, aber noch signifikant, jedoch ohne Unterschied zwischen Gesunden und Neurotikern. Sehr hoch, nämlich 35 bis 44 % gegenüber der Entspannung, war die Zunahme der Amplitude unter Stress, jedoch – im Gegensatz zu den Resultaten von WILLIAMS – ohne statistisch relevanten Unterschied zwischen Neurotikern und Gesunden. Hingegen war die Frequenz bei den Neurotikern in allen Versuchsphasen höher als bei den Gesunden (um 0,7 bis 1,0 Hz), was von HUBER im Sinne überschießender, unökonomischer Energieverwertung interpretiert wurde. Ein Nebenresultat dieser Untersuchung war die Feststellung, daß bei den Gesunden die Zuwachsraten von Amplitude und Frequenz hoch negativ korrelierten (unter Stress $-0,54$ bis $-0,60$), worin HUBER einen «energetischen Ausgleichseffekt» sieht; sowohl Frequenz wie Amplitude seien gleichwertige Faktoren der Energiemobilisation – steigt einer von ihnen, so kommt es zu einer relativen Reduktion des anderen – «relativ», weil trotz negativer Korrelation unter Stress beide ansteigen. Schließlich hat HUBER durch komplizierte statistische Methoden die Verlässlichkeit der MV-Frequenz als «Aktivitäts-Indikator» untersucht und Reliabilitäts-Koeffizienten von 0,49 bis 0,90 gefunden; für die MV-Amplitude liegen sie zwischen 0,64 und 0,93.

Große, sehr signifikante Differenzen fanden sich zwischen normalen und geistig retardierten Kindern. WALLACE verglich Frequenz und Amplitude der Mikrovibration von 24 gesunden, auf ihre normale geistige Entwicklung getesteten Kindern und Jugendlichen von 4 bis 7 Jahren mit 103 Kindern einer Pflegeanstalt und Hirngeschädigten-Station. Die Unterschiede waren statistisch sehr (d. h. an der 1-%-Grenze) signifikant: bei der pathologischen Gruppe ist die MV-Frequenz niedriger (im Durchschnitt 10,4 Hz) und die Amplitude höher (2,5 Mikron) als bei der gesunden Gruppe (11,9 Hz und 1,6 Mikron). Die Unterschiede zwischen den drei Formen des Schwachsinn – debil, imbezill, idiotisch – waren gering.

Phylogenetische Aspekte

Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß die Entstehung der Warmblütigkeit (= Konstanz der Körpertemperatur) in der Entwicklung der Lebewesen auch zu morphologischen Veränderungen führte: die Ausbildung von vier Herzkammern zur Trennung des venösen und arteriellen Kreislaufes, wodurch Wärmeverluste vermieden werden, die Entstehung des Federkleides der Vögel und der Pelzbehaarung der meisten Säuger.

Die Konstanthaltung der Körpertemperatur ermöglicht es den Warmblütern, trotz des Temperaturwechsels der Jahreszeiten und der verschiedenen Klimazonen ununterbrochen wach und aktiv zu bleiben. Die ununterbrochene, von den Jahreszeiten unabhängige geistige Leistungsfähigkeit des Menschen hat ihre Grundlage in der Konstanz der Wärme seines Blutes, das den Ganglienzellen der Hirnrinde auch im strengen Winter so viel Wärme zuführt, daß sie aktionsfähig bleiben. Eine weitere Wirkung der Warmblütigkeit ist die Möglichkeit von Lebendgeburten und des Ausbrütens von Eiern durch die eigene Körperwärme.

Wenn die Konstanz der Körpertemperatur durch permanente alternierende Kontraktionen einzelner Muskelfasern zustandekommt, so muß es in der Entwicklungsgeschichte der warmblütigen Lebewesen einmal eine Phase gegeben haben, in welcher diese Kontraktionen allmählich entstanden sind; anders formuliert: es muß in der Phylogenese ein Stadium gegeben haben, in welchem die Mikrovibration zum ersten Mal aufgetreten ist. Es ist nicht möglich, darüber auch nur einigermaßen begründete Hypothesen aufzustellen; am naheliegendsten ist die Annahme, daß das permanente Mikrozittern aus dem Makrozittern bei Kälte entstanden ist und daß sich daraus die ununterbrochene alternierende Kontraktion von Einzelfasern entwickelt hat. Dazu kam dann das Federkleid der Vögel und die Behaarung der Pelztiere und der frühen anthropomorphen Lebewesen, die zusammen mit der konstanten Wärmeproduktion die Überwindung großer Temperaturunterschiede zwischen den Jahreszeiten und den Klimazonen möglich machte.

Ein anderer phylogenetischer Aspekt der Mikrovibration ergibt sich aus folgender Überlegung: wenn der Körper der warmblütigen Lebewesen ununterbrochen erschüttert wird, so wird dadurch die Endolymph-Flüssigkeit in den Bogengängen des Labyrinthes im Innenohr

in ständiger Bewegung gehalten, so daß die dort befindlichen Rezeptoren ununterbrochen gereizt werden. In der Literatur wird berichtet, daß auch bei ruhendem Körper aus dem Labyrinth dauernd Erregungen in das Gehirn fließen («Die Ableitung der Aktionspotentiale des N. vestibularis ergab, daß in «Ruhestellung» eine große Zahl der Sinneszellen fortgesetzte Impulse in gleichmäßigem Rhythmus abfeuert», REIN, 1964). Diese ununterbrochenen Erregungen, deren Ursache wahrscheinlich in der Mikrovibration zu suchen ist, könnten die Grundlage der Lageempfindungen des ruhenden Menschen bilden. Einen Hinweis für die Richtigkeit dieser Hypothese haben die Untersuchungen von NAGAFUCHI geliefert, der zeigen konnte, daß Kranke mit Gleichgewichts-Störungen verschiedener Genese signifikant höhere MV-Frequenzen und niederere MV-Amplituden aufweisen als gesunde Menschen (NAGAFUCHI, 1969). Aus dieser Hypothese ergibt sich als Konsequenz, daß die Kaltblüter, da bei ihnen die Mikrovibration fehlt, aus dem Labyrinth weniger Informationen über ihre Körperlage erhalten als die warmblütigen Lebewesen, so daß es ihnen schwerer fallen müßte, ihr Gleichgewicht zu erhalten. Es könnte sein, daß dies mit dem Körperbau vieler Kaltblüter – z. B. der Amphibien und Reptilien – zusammenhängt: diese Tiere haben sehr kurze Beine und meist einen kräftigen langen Schwanz als Körperstütze, oder sie bewegen sich, indem sie auf dem Bauch kriechen – sie benötigen daher nicht die feinen Lageempfindungen wie viele Warmblüter, die ihren Körper auf hohen dünnen Beinen oder sogar im aufrechten Gang mit zwei Füßen im Gleichgewicht halten müssen. Solche Überlegungen zeigen neuerlich, daß die Mikrovibration auch für phylogenetische Hypothesen von Bedeutung ist; wenn die skizzierte Vermutung richtig ist, konnten sich Lebewesen mit Körperformen, deren Fortbewegung einen sehr präzise funktionierenden Gleichgewichts-Sinn erfordert, erst durch die Entstehung der Mikrovibration entwickeln. Da auch die Warmblütigkeit erst durch die Mikrovibration (genauer: durch die permanenten alternierenden Faserkontraktionen der Muskulatur) entstanden ist, kann man annehmen, daß die zwei wichtigsten organischen Grundlagen für die Existenz der Säugetiere und der Vögel – Warmblütigkeit und präzise Gleichgewichts-Regulation – in der Stammesgeschichte ungefähr gleichzeitig aufgetreten sind.

Dazu kommt noch ein dritter phylogenetischer Aspekt der Mikrovibration. Von LINDSLEY, MAGOUN und MORUZZI wurde bekanntlich mit sehr beweiskräftigen experimentellen Befunden eine «Theorie des Bewußtseins» aufgestellt, nach welcher das wache Bewußtsein dadurch entsteht, daß aus der *Formatio reticularis* im verlängerten Mark stän-

dig Erregungen in die ganze Hirnrinde fließen, wo sie eine «unspezifische allgemeine Aktivierung» bewirken; diese unspezifische Aktivierung ist die Voraussetzung für die Wirksamkeit der spezifischen Erregungen aus den Sinnesorganen und damit auch die Voraussetzung für die bewußten Erlebnisse. Die unspezifischen Erregungen der Ganglienzellen in der *Formatio reticularis* entstehen dort nicht von selbst, sondern werden ihnen durch Abzweigungen (Kollateralen) aus den Sinnesnerven zugeleitet; von allen Sinnesleitungen führen solche Nebenäste in die *Formatio reticularis* – auch von den Nervenfasern, die aus den Sinnesorganen der Muskeln in das Rückenmark und von dort in das Gehirn führen. Da in der gesamten Muskulatur der Warmblüter ununterbrochen alternierende Faserkontraktionen stattfinden, fließen dadurch ununterbrochen Erregungsimpulse in die *Formatio reticularis* und von dort in die Hirnrinde, so daß dort immer unspezifische Erregungen einlangen. Wenn man daraus Schlüsse auf den Grad der Bewußtseinsklarheit ziehen wollte, müßte man annehmen, daß die Warmblüter ein viel «wacheres» Bewußtsein haben als die kaltblütigen Lebewesen. Im Schlaf sinkt die Amplitude der Mikrovibration auf ein Drittel ihrer Größe im Wachzustand, so daß auch die Impulse, die aus den Sinnesorganen der Muskelfasern in die *Formatio reticularis* fließen, beträchtlich reduziert sind; erst wenn wir uns am Morgen durch Strecken und Räkeln, d. h. durch Muskelkontraktionen, wieder in das wache Dasein überführen, steigt die Menge der muskulären Erregungen an und damit auch die unspezifische kortikale Aktivierung, bis der gewohnte Grad der «Bewußtseinsshelligkeit» erreicht ist.

Zusammenfassung

Mikrovibration ist der permanente unsichtbare Mikrotremor des Warmblüter-Organismus. Ihre Frequenz liegt zwischen 4 und 18 Schwingungen pro Sekunde mit einer klaren Häufung bei 7 bis 13 pro Sekunde; die Amplitude beträgt bei möglicher Entspannung 0,5 bis 10 Mikron. Die Registrierung der Mikrovibration erfolgt am einfachsten durch Pick-ups für mechanische Impulse, in denen die aufgenommenen Bewegungen in elektrische Spannungen transformiert werden, die auf übliche Weise verstärkt und einem Registriergerät (Kardiograph, Enzephalograph) zugeführt werden. In den registrierten Schwingungen kommen außer der Mikrovibration je nach der Abnahmestelle mehr oder weniger auch die Erschütterungen des Körpers durch den Puls und den Herzschlag zur Darstellung. Nach den bisher vorliegenden Untersuchungen können im allgemeinen die Schwingungen über 10 pro Sekunde als echte Mikrovibration betrachtet werden.

Als Ursache der Mikrovibration sind ununterbrochene, alternierende, über die ganze Muskulatur verteilte Kontraktionen einzelner motorischer Einheiten anzunehmen. Diese alternierenden Kontraktionen, die gleichzeitig in vielen Muskeln stattfinden, versetzen den ganzen Körper in eine sehr unregelmäßige, dem makroskopischen Zittern ähnliche Mikrobewegung, die von der Geburt bis zum Tode niemals aussetzt. Dies ergibt sich aus der Tatsache, daß die Mikrovibration an jeder beliebigen Stelle unseres Körpers nachgewiesen werden kann und daß sie auch in Ruhe, im tiefen Schlaf und in der Narkose immer und ununterbrochen vorhanden ist. Dadurch unterscheidet sich die Mikrovibration vom sichtbaren Makrotremor, der nur bei Kälte oder Affekt auftritt, also eine Reaktion darstellt, während der Mikrotremor als ständige Eigenaktion des Organismus zu betrachten ist. Durch die ununterbrochenen alternierenden Faserkontraktionen, die der Mikrovibration zugrunde liegen, kommt der Muskeltonus zustande, der auf diese Weise eine einfache Erklärung findet und nicht als Zustand, sondern als permanenter wechselnder Kontraktionsvorgang der quergestreiften Muskulatur zu betrachten ist. Eine Berechnung der Wärmemengen, die durch die ständigen alternierenden Faserkontraktionen produziert werden können, hat ergeben, daß sich beim ruhenden Menschen nur ein Anteil von 2,5 % der Gesamtmuskulatur ständig in alternieren-

der Kontraktion befinden muß, um die Wärme zu erzeugen, die zur Konstanthaltung der Körpertemperatur notwendig ist. Da die Mikrovibration bei allen bisher untersuchten Warmblütern einschließlich Delphin und Winterschläfern, nie aber bei Kaltblütern nachgewiesen werden konnte, ist anzunehmen, daß die ihr zugrundeliegende dauernde alternierende Muskelaktivität die Grundlage der Temperaturkonstanz des Warmblüter-Organismus bildet. Nach vorläufigen, noch unvollständigen Versuchen scheint sie auch bei der Temperatur-Regelung eine entscheidende Rolle zu spielen.

Die Amplitude der Mikrovibration hat sich in psychologischen Experimenten als brauchbarer Indikator für psychische Spannung und Erregung erwiesen. Auch zur Untersuchung von Pharmaka mit entspannender Wirkung ist sie geeignet.

Theoretische Überlegungen führen zu der Vermutung, daß die Mikrovibration durch die ununterbrochene Erschütterung des ganzen Körpers einen Dauerreiz für die Endolymphflüssigkeit im Labyrinth darstellt und dadurch zu der Feinregulierung des Gleichgewichtes bei den Bewegungen der warmblütigen Lebewesen beiträgt.

Literatur zum 1. Teil

- ALLERS, R. und SCHEMINZKY, F.: Pflügers Archiv f. Physiologie 212 (1926).
- ANGENHEISTER, G.: Bodenschwingungen (in: Ergebnisse d. exakten Naturwissenschaften, hrsg. v. HUND und TRENDELENBURG), Bd. 15, Berlin 1936.
- BAUER, A. und FERSTL, R.: Untersuchungen zur Periodizität der Mikrovibration, noch unveröffentlicht.
- BENZINGER, T. H.: The human Thermostat. Naval Medical Research Institute, Bethesda, Cal., 1966.
- BRUMLIK, J.: On the nature of normal tremor, Neurology, 12, Nr. 3 (1962).
- BRUMLIK, J., MIER, M., PETROVICK, M. und JENSEN, H. P.: Experimentelle Untersuchungen über eine Form von Ruhetremor an den Extremitäten von gesunden Hunden. Pflügers Arch. 278, 597 (1964).
- BUCHTHAL, F.: Einführung in die Elektromyographie. München 1958.
- BUDDENBROCK, W. v.: Vergleichende Physiologie IV. Basel 1967.
- BUSKIRK, C. van, and FINK, R. A.: Physiologic Tremor. Neurology 12, 361 (1962).
- BYKOW, K. M.: Lehrbuch der Physiologie. Volk u. Gesundheit-Verlag, Berlin 1960.
- DURIG, A.: Handwörterbuch der Naturwissenschaften, Bd. 10, S. 427. Jena 1935.
- FÜRBRINGER, M.: Untersuchungen z. Morphologie u. Systematik d. Vögel. Bd. II, S. 16339. Amsterdam u. Jena 1888.
- GORDON, G. and HOLBOURN, A. H. S.: J. Physiology 1948, S. 457.
- GRUBER, THERESIA: Die Wirkung des Lärms auf die Mikrovibration des Menschen. Phil. Diss. Univ. Wien 1959 (unveröffentlicht).
- GUALTIEROTTI, T. und MILLA, E.: Pflügers Archiv f. Physiologie 245, 424 (1942).
- HAIDER, M. and LINDSLEY, D. B.: Science 146, 1181 (1964).
- HENSEL, H. und ZOTTERMANN, Y.: Acta physiologica Scandinavica 23, 291 (1951).
- HONZ-SWAROFSKY, HELGA: Untersuchungen über die intraindividuelle Konstanz der Mikrovibrations-Frequenz. Zeitschr. menschl. Vererb. u. Konstitutionslehre 37, 584 (1964).
- HUBER, H. P.: Mikrovibration als Stress-Indikator bei Neurotikern und Gesunden. Archiv f. d. ges. Psychol. 117, 166 (1965).
- INANAGA, K. und SUGANO, H.: Studies on Minor Tremor. Japanese J. of Physiol. 10, 246 (1960).
- INANAGA, K. (Editor): Microvibration, Physiological Basis and Clinical Application. Igaku Shoin Ltd., Tokyo 1966.
- JÄHNEL-HELLER, ILSE: Ztschr. f. Psychotherapie u. mediz. Psychol. 9, 34 (1959).
- KILLIAN, H.: Der Kälte-Unfall, Allgemeine Unterkühlung. München-Deisenhofen 1966.
- KÖHLER, R.: Eigenschwingungen im Boden. Seismische Untersuchungen Göttingen Nr. 24 (1936).
- KUNA, HERTA, GOLENHOFEN, K. und LIENERT, G. A.: Zuverlässigkeit und Gültigkeit der Mikrovibrations-Amplitude als Aktiviertheits-Indikator. Z. exper. u. angew. Psychol. 9, 455 (1964).
- LANDOIS-ROSEMANN: Physiologie des Menschen. 26. Aufl., S. 715, 647. München 1950.
- LINDSLEY, D. B.: Amer. J. Physiol. 144, 90 (1933).
- LIENERT, G. A. und GRÖGLER, E.: Ärztliche Forschung 15, 3 (1961).
- LUHAN, W.: Körpervibration bei vorgestellten Bewegungen. Phil. Diss. Univ. Wien 1959 (unveröffentlicht).
- MARCO, A.: Mikroskopie 14, 102 (1959).
- MAYER, K.: Klinik und Elektromyographie der Spontanaktivität des menschlichen Skelettmuskels. Springer Verlag, Berlin 1965.
- OBERHUBER, ELISABETH: Mikrovibration und Rigidität. Diss. Univ. Wien 1965 (unveröffentlicht).
- REIFFENSTEIN, L.: Experimente über die Konditionierbarkeit der Mikrovibration. Z. f. exper. u. angew. Psychol. 14, 483 (1967).
- REIN, H. und SCHNEIDER, M.: Physiologie des Menschen. 14. Aufl. Berlin 1960.
- ROHRACHER, H.: Schwingungen im menschlichen Organismus. Anz. Phil.-hist. Kl. Öst. Akad. Wiss. 18, 230 (1946).
- Mechanische Mikroschwingungen des menschlichen Körpers. Urban & Schwarzenberg, Wien 1949.
 - Neue Untersuchungen über biologische Mikroschwingungen. Anz. phil.-hist. Kl. Öst. Akad. Wiss. 17 (1954).
 - Neue Untersuchungen über die Mikrovibration des menschlichen Körpers. Anz. phil.-hist. Kl. Öst. Akad. Wiss. 3, 1958.
 - Ständige Muskelaktivität («Mikrovibration»), Tonus und Konstanz der Körpertemperatur. Zschr. f. Biologie 111/1, 1959.
 - Permanente rhythmische Mikrobewegungen des Warmblüter Organismus («Mikrovibration»). Die Naturwissenschaften 7, 145 (1962).
 - Die Mikrovibration bei Neugeborenen. Pflügers Arch. ges. Physiologie 278, 3 (1963).
 - Permanente Muskelaktivität und Konstanz der Körpertemperatur. Hippokraties 35, 13 (1964).
 - Microvibration, Permanent Muscle-Activity and Constancy of Body-Temperature. Perceptual and Motor Skills 19, 198 (1964).
 - Probleme der Mikrovibrations-Forschung. Otologia Fukuoka 12, 209 (1966).
- RUDOLPH, G.: Ann. Univ. Saraviensis Medizin 1956.
- SAKAMOTO, M., TAKESUE, M., NAGAFUCHI, M. and KAWATA, S.: Study on the Mechanism of Microvibration. Otologia Fukuoka 13, Suppl. 1, 157 (1967).
- SUGANO, H.: Studies on the Microvibration. Kurume Med. J. 4, 97 (1957).
- SUGANO, H. and INANAGA, K.: Studies on Minor Tremor. Japanese J. of Physiol. 10, 246 (1960).
- SCHAEFER, H.: Ärztliche Forschung 3, 185 (1949).
- SCHWAPPACH, ROSALIA: Die Mikrovibration als Indikator funktioneller Regeneration. Diss. Univ. Wien 1966 (unveröffentlicht).
- SIEGLBAUER, F.: Lehrbuch d. normalen Anatomie des Menschen, 8. Aufl., S. 210. München 1958.
- STEINBRECHER, W.: Elektromyographie in Klinik und Praxis. Stuttgart 1965.

- STUART, D. G., ELDRED, E., HEMINGWAY, A. and KAWAMURA, Y.: Neural Regulation of the Rhythm of Shivering, aus «Temperature - its measurement in science and industry», Vol. 3, Part 3. Reinhold Publ. Corp., New York 1963.
- WALLACE, JOHN L.: Die Mikrovibration bei geistig retardierten und normalen Kindern. Diss. Univ. Wien 1963 (unveröffentlicht).
- WILLIAMS, J. G.: A new measure of muscle tension and its application to psychiatr. patients. Phil. D. Thesis Univ. London 1956. A Resonance Theory of «Microvibrations». *Psychol. Review* 70, 547 (1963); 71, 526 (1964).
- YAP, C. B. and BOSHER, B.: The Frequency and Pattern of normal Tremor. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.* 22, 197 (1967).
- YOSHII, N., INABA, E. and ARAI, S.: Experimental Studies on the Minor Tremor of Body Surface on Dogs and Rabbits. *Medical Journal of Osaka Univ.* 15, 4 (1965).
- ZOTTERMANN, Y. and HENSEL, H.: *Acta physiol. Scand.* 23, 291 (1951).

2. Teil

von K. INANAGA

Für die Analyse der MV wurde ein einfacher automatischer Frequenzanalysator verwendet. Die Zusammenhänge zwischen den Frequenzbereichen wurden mit Hilfe der Auto- und Cross-Korrelation genauer untersucht. Dr. KATO und seine Kollegen haben die Frage, inwiefern bei biologischen Informationsprozessen die MV eine Rolle spielt, zu erforschen begonnen. Es hat sich gezeigt, daß die Untersuchung der MV des einzelnen Muskels auch für die Physiologie der Muskelaktivität verwendbar ist.

Die MV steht in engster Beziehung zum Muskeltonus, der sich bei verschieden starker psychischer Aktivität verändert. Der Zusammenhang zwischen MV und den Gefühlsveränderungen ist nachgewiesen. Es wurde auch versucht, Gefühlsveränderungen mit Hilfe der MV zu diagnostizieren. Die Reaktion auf Stress ergibt charakteristische Bilder, so daß die MV auch für die Analyse bestimmter Persönlichkeitsbereiche geeignet sein könnte. In der Psychiatrie gilt als sicher, daß die MV zur Differenzierung zwischen Psychosen und Neurosen geeignet ist.

Es ist jetzt 25 Jahre her, seit Prof. ROHRACHER die MV entdeckt hat. In Japan sind die Studien in großem Umfang betrieben worden. Die MV-Forschung ist auch für die Zukunft erfolversprechend.

Kurume, Japan, im April 1969

K. INANAGA

Neurophysiologische Grundlagen der Mikrovibration

Seit SCHÄFER (1886) und GRIFFITHS (1886) gibt es Untersuchungen, durch die die Entstehung des Tremors weitgehend erklärt werden kann. Die Frequenz des Tremors wurde von JASPERS und ANDREWS (1938) gemessen, wobei sie beim gesunden Menschen zwei Bereiche fanden: Das Alpha-Band mit 8–12 Hz und das Beta-Band mit 13–20 Hz. Diese Frequenzen entsprechen den Alpha- und Betawellen des EEGs. Der Rhythmus des Tremors ähnelt somit sehr demjenigen der gehirnelektrischen Potentialschwankungen. Es wurde daher oft versucht, zwischen beiden Vorgängen eine Beziehung aufzufinden, so von LINDQUIST (1941). Diese Untersuchung ergab, daß zwischen den Potentialschwankungen im Gehirn und dem «shivering» («Vibration») keine Beziehung besteht.

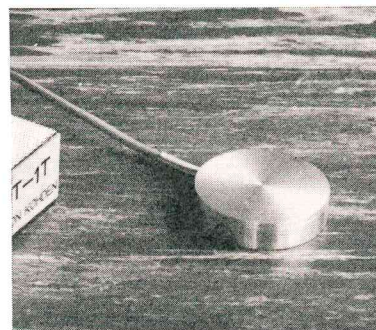


Abbildung 1. Piezoelektrisches Pick-up der Firma Nihon Kohden in Tokyo zur Abnahme der Mikrovibration.

Im Gegensatz zum «shivering» (Makrotremor) steht die 1943 von ROHRACHER in Wien entdeckte «Mikrovibration» (MV). Die Amplitude der MV ist so klein, daß man besonders empfindliche Pick-ups und hohe Verstärkungen benötigt, um sie registrieren zu können. Da bis jetzt kein für diesen Zweck in jeder Hinsicht geeignetes Pick-up hergestellt werden konnte – z. B. fehlt noch immer ein kleines, sehr leichtes Pick-up, das unmittelbar die Größe der Mikrobewegung in

Mikron wiedergibt (reine Wegmessung) – ist die Erforschung der MV erschwert. Abb. 1 zeigt ein von der Firma Nihon Kohden in Tokio hergestelltes piezoelektrisches MV-Pick-up.

1. Die Frequenz der MV;
Unterschiede an verschiedenen Körperstellen

Die Mikro vibration variiert interindividuell und je nach Abnahmestelle. Untersucht man aber dieselbe Person in möglichst gleicher körperlicher und psychischer Verfassung und nimmt dabei die MV von derselben Körperstelle ab, so erhält man Schwingungen mit nahezu gleicher Amplitude und gleicher Frequenz. Bei der Abnahme vom Daumenballen zeigen sich z. B. beim normalen Menschen immer am häufigsten 8–13 Hz (Alpha-), 13–20 Hz (Beta-) und 4–8 Hz (Theta-Wellen). Die Wellenform bleibt bei derselben Versuchsperson und der-

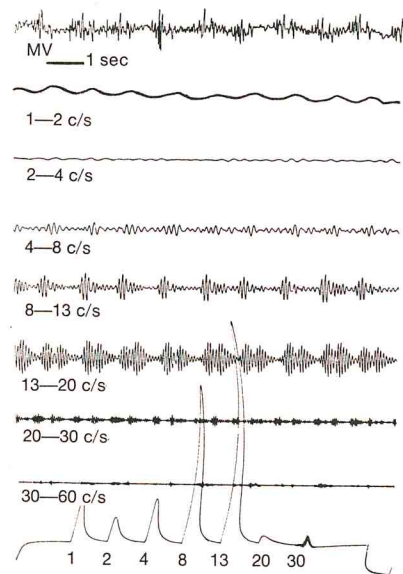


Abbildung 2. MV vom Daumenballen der linken Hand mit automatischer Frequenzanalyse. Die oberste Kurve zeigt die Original-Registrierung der MV, die Kurven darunter geben die in der MV-Registrierung enthaltenen Anteile in den einzelnen Frequenzbereichen wieder; die unterste Kurve zeigt in der Höhe der vertikalen Ausschläge die Integration der einzelnen, darunter angegebenen Frequenzanteile.

selben Abnahmestelle weitgehend konstant. Es ist auch gleich, ob die Abnahme von der linken oder von der rechten Hand erfolgt – genau gesagt: der Beta-Bereich überwiegt leicht bei der rechten Hand (Abb. 2 und 3).

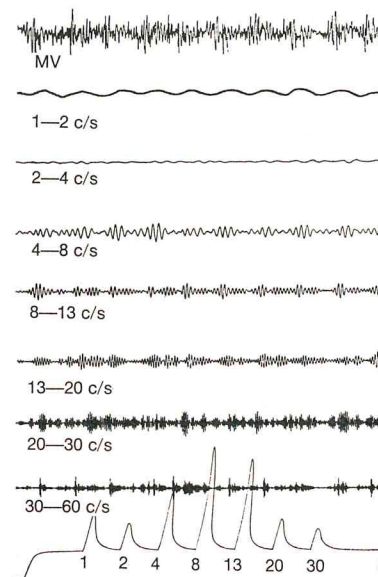


Abbildung 3. MV vom Daumenballen der rechten Hand. Erklärung wie bei Abbildung 2.

Bei einer Abnahmestelle, unter der sich wenig Muskeln befinden, ist die Frequenz niedriger als an einer, die über einem Muskelpaket liegt. Die MV-Frequenz des Augenmuskels liegt hauptsächlich im Beta-Band (13–20 Hz), siehe Abb. 4.

Außer den Experimenten am Menschen wurden noch Versuche an Tieren durchgeführt, z. B. an Katzen, bei welchen die MV im Bereich von 8–30 Hz liegt, oder an Kaninchen 8–40 Hz, (mit einer Häufung bei etwa 15 Hz), beim Hund 8–30 Hz (Häufung bei 14 Hz), bei Meerschweinchen Häufung bei 13 Hz. Die Amplitude der MV nimmt mit der Spannung der Muskeln zu. Wenn die MV direkt am freigelegten Muskel abgenommen wird, ist die Frequenz höher als bei Abnahme von der Oberfläche der Haut. Beim Menschen wurde festgestellt, daß sich auch die Frequenz je nach dem Spannungszustand der Muskeln verändert und entsprechend verändern sich auch die Anteile im Alpha-

und Beta-Bereich. Die Frequenz der MV im Ruhezustand liegt überwiegend im Alpha-Bereich (8–13 Hz), bei geistiger Anspannung überwiegt der Beta-Bereich (13–20 Hz). Bei Epileptikern sind die Theta-Frequenzen (4–8 Hz) im Vergleich zum gesunden Menschen auffallend häufiger. Diese Tatsachen zeigen, daß die MV aufs engste mit der Spannung der Muskeln zusammenhängt. Der Eigenrhythmus der motorischen Rückenmarkszellen wirkt sich vermutlich im Alpha-Bereich aus. Die MV verändert sich je nach dem Zustand des Rückenmarks und der Muskulatur (DITCHBURN, 1953).

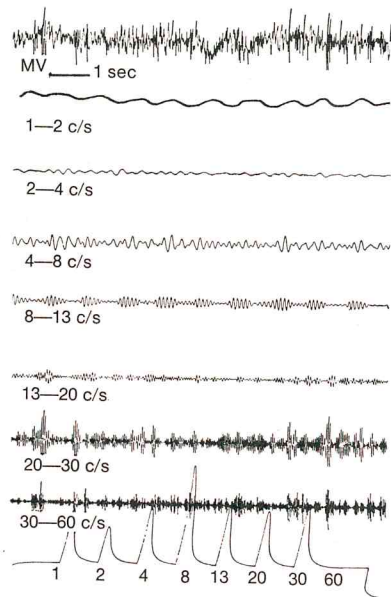


Abbildung 4. MV vom Augenlid. Analyse wie in Abbildung 2.

2. Die Beziehung der MV zu anderen körperlichen Rhythmen

Besonders wichtig ist der Einfluß von Herzschlag und Atmung auf die MV. Die Atmung ist im Vergleich zu der MV-Frequenz langsam; sie kommt daher als störender Faktor nicht in Frage. Hingegen steht der Herzschlag immer in Beziehung zur Wellenform der MV. Er wirkt sich in der Gliederung der MV-Schwingungen sehr stark aus. Besonders im entspannten Zustand zeigt sich, daß der Rhythmus des Herzschlages in den Registrierungen eindeutig zu beobachten ist. ITO (1962), OZAKI

(1962) und Mitarbeiter sowie YOSHII et al. und IDO (1964) haben die Frequenzen der MV sorgfältig analysiert. Nach ITO besteht die registrierte Vibration aus den eigentlichen MV-Wellen und dem Rhythmus des Herzschlages. OZAKI behauptet, daß die MV durch den Herzschlag und den Muskeltonus entsteht. YOSHII hat gezeigt, daß die erste und zweite Welle aus dem Herzschlag sich nach Entfernung des Herzens verliert, aber die MV selbst bestehen bleibt. Nach IIDA beträgt die Frequenz der MV beim Menschen 1–2 Hz, 7–13 Hz und 17–19 Hz und innerhalb dieser drei Frequenzbereiche bestehen Häufungen bei bestimmten Frequenzen. Der erste Bereich stammt aus dem Herzschlag, der zweite Bereich komme aus «noise» und der dritte Bereich sei nichts anderes als «residual motor activity». Nach BRUMLIK, BUSKIRK et al. (1962) entspricht die MV einer ballistokardiographischen Aufzeichnung des Herzschlages. Gegen diese Hypothese spricht aber die Tatsache, daß die MV nach Entfernung des Herzens mit verkleinerter Amplitude weiterbesteht (SUGANO, 1957). Man kann annehmen, daß die MV durch den Einfluß des Herzschlages bis zu einem gewissen Grad verstärkt und im Rhythmus verändert wird. Im Entspannungszustand wirkt sich der Herzschlag am stärksten aus, weil die MV-Amplitude am kleinsten ist.

Wie bereits erwähnt, ist die MV in ihrer Frequenz den Gehirnwellen sehr ähnlich. Es entstand daher die Frage, ob vielleicht eine Veränderung der Gehirnwellen mit einer Veränderung der MV parallel geht. Diese Frage ist zu verneinen; z. B. im Schlafzustand befinden sich die Gehirnwellen im Delta-Bereich, die MV zeigt aber den Alpha-Rhythmus und den Theta-Bereich. Es ergibt sich daher keine Beziehung zwischen MV und Gehirnwellen. Normalerweise ähneln sich die MV und Gehirnwellen im Zustand der Narkose, aber die Frequenzen sind nie gleich (MURAJAMA, 1960).

3. Mikrovibration und Elektromyogramm (EMG)

Aus der Tatsache, daß die MV sich je nach dem Spannungszustand der Muskeln verändert, folgt, daß Beziehungen zwischen MV und EMG bestehen müssen. SUGANO (1957) und MARSHALL (1956) haben behauptet, daß das EMG sich nicht immer ganz gleich wie die MV verändert. HIROISHI et al. (1951) und LIPPOLD et al. (1957) dagegen haben gezeigt, daß sich das EMG gleich wie die MV verändert.

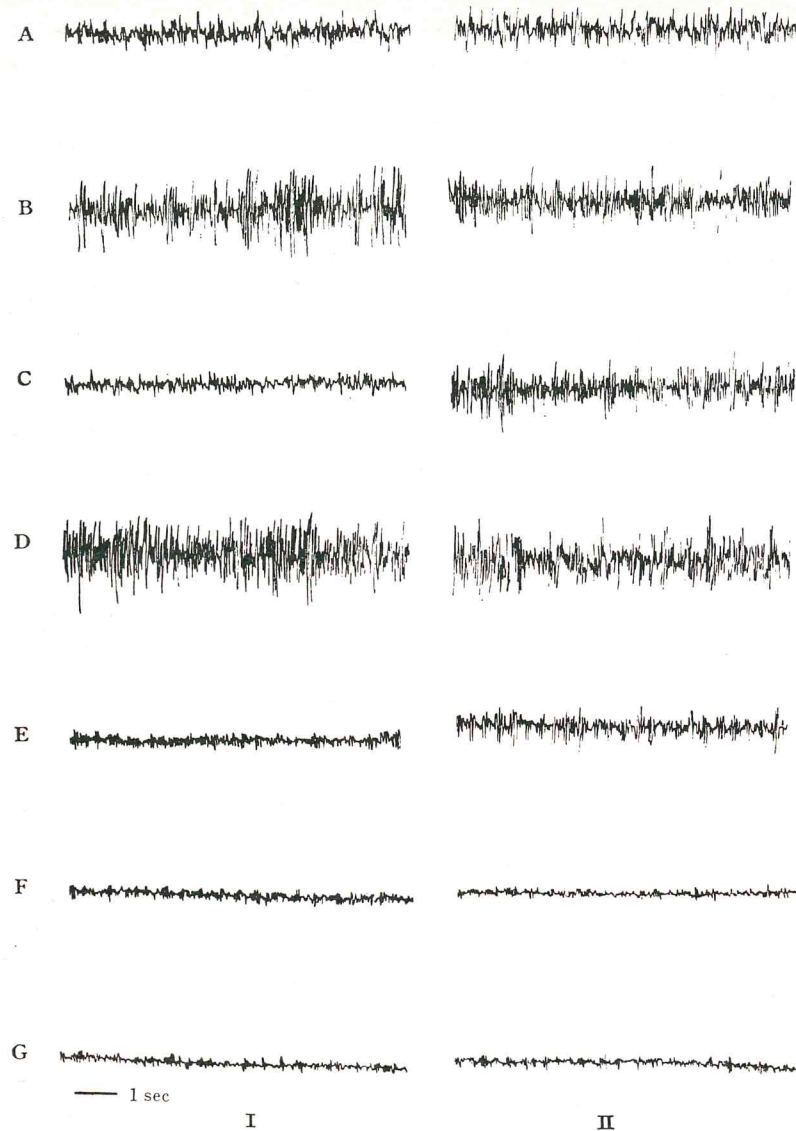


Abbildung 5. Auswirkung der Durchtrennung der dorsalen und ventralen Wurzeln des Rückenmarks.

I: MV der rechten Körperhälfte.

II: MV der linken Körperhälfte.

A: Kontrollaufnahme vor der Operation (Katze als Versuchstier).

B: Eine Minute nach der Durchtrennung der rechten dorsalen Wurzeln.

C: Dreißig Minuten danach.

D: Direkt nach der Injektion von Aminocordin (Nilcethamid).

E: Zehn Minuten nach der Durchtrennung der linken dorsalen Wurzeln.

F: Zehn Minuten nach der Durchtrennung der rechten und linken ventralen Wurzeln.

G: Nach Injektion von Aminocordin.

4. Die Beziehung der MV zum zentralen und autonomen Nervensystem

Wenn man bei einer Katze die Nerven im untersten Bereich des Rückenmarks durchschneidet, zeigt sich eine Steigerung der MV-Amplitude in den entsprechenden Muskeln. Nach Erreichen eines Höhepunktes aber verringert sich die Frequenz ganz plötzlich. Wenn die afferenten Bahnen durchschnitten werden, verändert sich die MV an der Rückseite der Beine, aber sie hört nie ganz auf. Durchschneidet man aber das Rückenmark ganz, so verstärkt sich die MV an der Rückseite der Beine, um nach dem Erreichen eines Höhepunktes wieder langsam geringer zu werden. Nach einer Stunde hört die MV ganz auf. Die MV der nichtdurchschnittenen Seite vermindert sich nur wenig (Abb. 5). Wenn man den Unterlappen der area praeoptica durchschneidet, wird die MV viel kleiner und verschwindet für kurze Zeiten. Die MV der nichtdurchschnittenen Seite wird ebenfalls verkleinert, aber verliert sich nicht ganz. Wenn man dazu Nilcethamide gibt, entsteht die MV erneut wieder. Zusammenfassend kann gesagt werden, daß bei der Durchtrennung der Hinterhörner die MV stark verkleinert wird, bei der Durchtrennung der Vorderhörner hört sie fast auf. Diese Tatsachen zeigen, daß die MV mit Impulsen aus dem Rückenmark zusammenhängt.

Wenn man die sakralen Leitungen durchschneidet und die durchschnittenen Nervenenden reizt, dann entsteht wieder eine MV, aber mit geringerer Amplitude. Auch die Reizung des Rückenmarks verstärkt die MV, da sie, wie oben erwähnt, ohne Impulse aus dem Gehirn entstehen kann, obwohl das Gehirn natürlich einen starken Einfluß ausübt. Die Frequenz der MV vergrößert sich unter dem Einfluß von Nilcethamiden oder durch elektrische Reizung des Gehirns. Wenn man die kontralaterale Gehirnhälfte der Katze entfernt, wird die MV-Frequenz des rechten Hinterbeines kleiner, im Gegensatz dazu bleibt die Frequenz der linken Seite unverändert oder vergrößert sich sogar. Diese asymmetrische Veränderung verliert sich aber nach einigen Tagen, wie SUGANO (1958) zeigte. Durch die elektrische Reizung einer Gehirnhälfte vergrößert sich die MV der korrespondierenden Körperhälfte. Es wird behauptet, daß sich eine «suppressor area» hinter der motorischen Region befindet, welche die Verringerung der MV bewirken soll. Durch Reizung in der Gehörregion und im vorderen primären Sehzentrum wird die MV-Amplitude kleiner. Im Kleinhirn bewirkt die Stimulierung des frontalen Teils eine Verkleinerung, des occipitalen Teils eine Erhöhung der Amplituden. Auch die Reizung des nucleus caudatus hat im gerin-

gen Maße eine steigernde Wirkung. Die Reizung des occipitalen Teils des primären Sehzentrams und des retikulären Systems wirkt sich ebenfalls auf die MV aus (die Reizung des rückwärtigen Teils des primären Sehzentrams ruft sowohl eine Verkleinerung als auch eine Vergrößerung der MV-Amplituden hervor). Beim Kaninchen konnte man einen großen Bereich in der area praeoptica feststellen, dessen Reizung eine amplitudenverkleinernde Wirkung hat.

5. Körpertemperatur und MV

ROHRACHER stellte fest, daß die MV nur bei warmblütigen Tieren besteht, während bei Kaltblütern wie Fisch, Schlange, Frosch oder Insekt keine MV nachweisbar ist. Während des Winterschlafs ist die MV sehr klein und oft unterbrochen. Nach Beendigung des Winterschlafs erreicht sie wieder ihre normale Größe. Da beim Warmblüter die Kontraktion von 1 Gramm Muskel eine Wärmemenge von 0,003 Kalorien entstehen läßt, können nach einer Berechnung von ROHRACHER bei einem 70 kg schweren Menschen durch alternierende Kontraktionen von nur 2,5 % der Gesamtmuskulatur 1700 Kalorien erzeugt werden. Die MV hat nach der Hypothese ROHRACHERS die Aufgabe, die Kör-

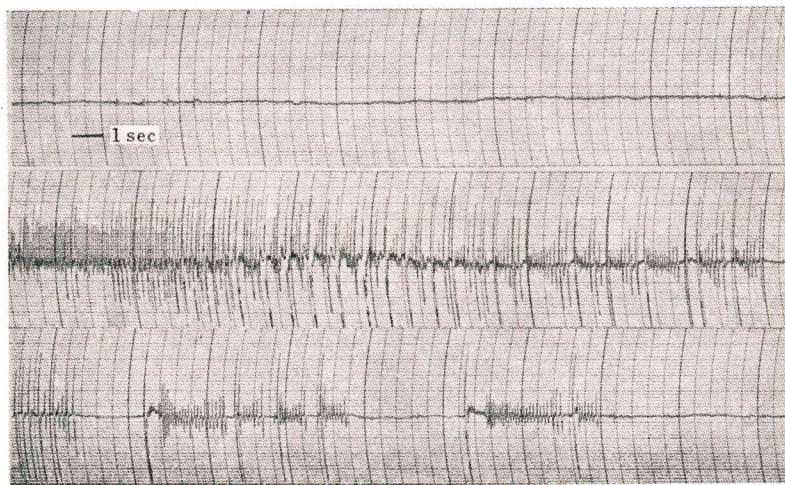


Abbildung 6. MV bei Kaltblütern nach Injektion von Strychnin.

pertemperatur konstant zu halten und zu regulieren. Die Kaltblüter brauchen keinen Körpertemperatur-Regulator, daher zeigt sich bei ihnen auch keine MV. Es wird aber behauptet, daß auch Schlangen die Körpertemperatur erhöhen können, und zwar durch Kontraktionen, die Schwingungen von 2–8 Hz ergeben. Diese Schwingungen sind sichtbar; sie sind sehr ähnlich dem Kältezittern des Menschen (INOUE, 1960). Die in Abb. 6 dargestellten Ergebnisse aus Versuchen mit Strychnin zeigen, daß es auch bei Kaltblütern unter bestimmten Umständen Mikrovibrationen gibt. Aus der Tatsache, daß die MV eine Auswirkung der Muskelaktivität ist, läßt sich die Vermutung ableiten, daß dabei das fusio-motorische System von Bedeutung ist. Das temperaturregulierende System hängt mit den Gamma-Fasern der Muskulatur zusammen. Deshalb ist aber noch nicht entschieden, welche Art der Muskelinnervation für die Entstehung der MV verantwortlich ist. Wie HUNT und KUFFLER (1959) festgestellt haben, zeigen die Kaltblüter keine Differenzierung im Gamma-motorischen System. Wahrscheinlich besteht bei ihnen die MV deshalb nicht, weil sie kein System für ihre Entstehung besitzen. Ich habe mit Kaninchen experimentiert. Wenn die Hinterbeine des Kaninchens im Wasser mit 50° Celsius steckten, verringerte sich die Frequenz der MV. Dieses Resultat spricht für die Theorie, daß die MV mit dem temperaturregulierenden System in Zusammenhang steht.

6. Ein möglicher Entstehungsmechanismus der MV

Wie ich bereits ausgeführt habe, hängt die MV mit der Spannung der Muskeln zusammen. Es ist nicht zu bezweifeln, daß die MV durch die Gesamtheit der Kontraktionen der einzelnen jeweils innervierten Muskelfasern entsteht. Für die Kontraktion der Muskelfasern und die Regulierung des Muskeltonus spielen die Impulse eine große Rolle, die aus den Muskelspindeln und dem Golgi-Apparat in das Rückenmark gelangen. Diese afferenten Impulse gelangen im Rückenmark zu den motorischen Neuronen des Vorderhorns, deren efferente Erregungen die Kontraktion der Muskelfasern bewirken. Im Vorderhorn des Rückenmarks liegen auch die kleinen Ganglienzellen, die man als «Gamma-motorisches System» bezeichnet. Man nimmt an, daß von diesen kleinen Zellen über dünne Nervenfasern Impulse in die Muskelspindeln fließen, die bei Warmblütern zwar keine Änderung der Länge einer Faser, wohl aber eine Änderung der Empfindlichkeit ihrer Rezeptoren herbeiführen. Dadurch können in den Muskelspindeln afferente Erre-

gungen ausgelöst werden, die im Rückenmark die motorischen Neuronen aktivieren und dadurch Kontraktionen der Muskelfasern bewirken. Da sich von den Muskeln niederfrequente Entladungen nachweisen lassen und die MV auch bei nichtkontrahierter Muskulatur ununterbrochen nachweisbar ist, kann man annehmen, daß die MV mit dem Gamma-motorischen System in einem Zusammenhang steht. Unterstützt wird diese Hypothese durch die Tatsache, daß zwischen Gamma-motorischem System und bestimmten Hirnregionen Beziehungen bestehen. ELDRED (1952) nimmt an, daß in der capsula interna ein System zur Aktivierung des Gamma-motorischen Systems vorhanden ist, während in der Gegend des colliculus inferior hemmende Ganglienzellen liegen sollen. Auch GRANIT und KAADA (1952) nehmen Beziehungen zwischen bestimmten Hirnteilen und dem Gamma-motorischen System an: besonders zur bulboretikulären Region, zum occipitalen Anteil des Kleinhirns, zur vorderen Sehregion und zum Linsenkern. Diese Annahme wird durch meine Experimente (z. B.: Reizung der area praeoptica) bestätigt. Es ist bekannt, daß durch Reizung des Gehörorgans ein Anstieg des retikulären Erregungsniveaus, begleitet von einer Erhöhung des Muskeltonus, zustande kommt. Diese Beispiele stehen mit der angenommenen Beziehung zum Gamma-motorischen System in Übereinstimmung. HALLIDAY und REDFEARN (1956) nehmen an, daß sich die Frequenz des normalen Tremors (Alpha-Bereich 8–13 Hz) auf den Eigenrhythmus der Rückenmarksneuronen zurückführen lasse. CRAIN hat 1963 festgestellt, daß schon bei einem Kind von 6 Wochen vom Rückenmark elektrische Spannungsschwankungen von 5 Hz abgeleitet werden können. DENNY-BROWN (1929) hat festgestellt, daß die Frequenz bei Kontraktion einer einzelnen motorischen Einheit bei 5–8 Hz liegt, daß aber unregelmäßige Frequenzen entstehen, wenn viele motorische Einheiten kontrahiert werden. MORITA (1956) hat am Kaninchen mit isoliertem Rückenmark durch 10-Hz-Impulse regelmäßige Muskelkontraktionen erreicht. Möglicherweise sind solche Impulse für die Entstehung der MV verantwortlich. Bei Rückenmark-Epilepsie-Kranken ist der Theta-Bereich überwiegend, bei anderen Rückenmarkserkrankungen ist oft keine MV nachweisbar. Aus dieser Tatsache kann man schließen, daß die motorischen Neuronen des Rückenmarks die Frequenz der MV bestimmen.

Daß sich die MV mit dem Alter verändert, interessiert besonders den Wissenschaftler, der sich mit der Entstehung und Entwicklung des Lebens befaßt. Gleich nach der Geburt ist die Frequenz der MV im Theta-Bereich (4–8 Hz). Sie geht etwa 7 Tage nach der Geburt in den Alpha-Bereich über (ROHRACHER, 1963).

7. Weitere Bemerkungen über die Entstehung der MV

Die Frequenz der MV hängt von der Länge der Muskelfasern ab, daher ist diese Frequenz an den einzelnen Körperteilen verschieden. Aber wie BISHOP et al. (1948) behaupten, wechselt sie nicht; dagegen berichten HALLIDAY (1956) und YOSHII (1963) einen Anstieg der Frequenz, während INOUE (1960) eine Frequenzverringerng feststellen konnte. Diese Ergebnisse sind also nicht einheitlich.

MARSHALL (1956) nahm Bezug auf die Theorie, daß die MV durch einen Regelmechanismus des Dehnungsreflexes verursacht wird. Er zeigte, daß der Tremor unabhängig von der Entfernung der Aufnahme-stelle vom Rückenmark und vom Alter der Versuchsperson ist. Er nahm an, daß der Muskel eine Art Tiefpaßfilter ist und Frequenzen unter 15 Hz in den Muskelfibrillen in eine mechanische Schwingung umgewandelt werden könne, aber höhere Frequenzen ausgefiltert werden.

BUSKIRK (1962) betonte den besonderen Einfluß des Herzschlages auf den Ursprung der MV, obwohl die MV selbst nach der Durchtrennung des Rückenmarks und der Hinterhörner weiter besteht (dabei sinkt die Amplitude der MV deutlich, SUGANO).

8. Die Beziehung zwischen MV und autonomen Nervensystem

Es gibt keine klaren Resultate über die Beziehungen zwischen MV und dem autonomen Nervensystem. YOSHII (1965) berichtet, daß Azetylcholin die MV beschleunigt und Atropin verlangsamt. Aber nach INOUE (1960) wird die MV durch Azetylcholin verlangsamt und durch Adrenalin beschleunigt. INANAGA (1962) weist dabei auf die Zunahme der MV im Theta-Band hin. In bezug auf das Parkinsonsche Zittern berichtet CONSTAS (1962), daß Adrenalin das Vibrieren verstärkt. Man kann bis heute die Beziehung der MV zum autonomen Nervensystem nicht eindeutig darstellen. Nach den neuesten Ergebnissen von SUGANO ist die MV für Untersuchungen über die Funktionen des autonomen Nervensystems verwendbar.

9. MV und Makrotremor

Die Frequenz des sichtbaren Tremors ist der der MV sehr ähnlich. In bezug auf den Entstehungsmechanismus von MV und Makrotremor gibt es folgende Unterschiede und Ähnlichkeiten:

a) Der Makrotremor tritt beim gesunden Menschen nur vorübergehend als Reaktion auf bestimmte Situationen (Kälte, Erregung) auf, während die MV immer vorhanden ist.

b) Der Makrotremor, auch der pathologische, z. B. bei Parkinson-Kranken, verschwindet im Schlaf und in der Narkose. Die MV bleibt bestehen.

c) Der Makrotremor wird durch die elektrische Reizung der ventrolateralen Anteile des Hypothalamus verlangsamt, die MV wird durch dieselbe Reizung ebenfalls verlangsamt. Durch die Reizung des Tegmentums (BIRZIS u. a., 1957), des kaudalen Hypothalamus, des lateralen roten Kerns, des tractus mamillothalamicus wird der Tremor beschleunigt. Auch die MV verhält sich so. Der Tremor verschwindet nach Zerstörung des kaudalen Hypothalamus und nach Entfernung des Rückenmarks. Auch die MV hört in diesen Fällen auf.

Mikrovibration und biologische Information

SATO (1966) und andere Autoren haben die registrierte MV mathematisch und statistisch ausgewertet. Einige Resultate dieser Analyse werden im Folgenden wiedergegeben, ohne auf die dabei verwendeten mathematischen Verfahren einzugehen.

1. Jede Schwingung ist charakterisiert durch Frequenz (= Anzahl der Schwingungen pro Sekunde) und Amplitude (= Größe oder Höhe der Schwingung). Dies gilt natürlich auch für die Schwingungen, die man registriert, wenn man die elektrischen Potentialschwankungen des Gehirns ableitet oder die MV abnimmt. Innerhalb der aufeinanderfolgenden einzelnen Schwingungen können gleiche Schwingungsserien regelmäßig wiederkehren («periodische Rhythmen») oder es können immer andere Schwingungen aufeinanderfolgen (maximal unregelmäßig arhythmischer Schwingungsverlauf). Um festzustellen, ob in einer Serie von aufeinanderfolgenden Schwingungen ein periodischer Rhythmus enthalten ist, kann man die Methode der Autokorrelation verwenden. Dabei wird entweder durch eine Berechnung (die Zahlenwerte für die aufeinanderfolgenden Frequenzen und Amplituden werden nach bestimmten Formeln miteinander korreliert) oder durch elektronische Auswertegeräte festgestellt, mit welchem Häufigkeitsgrad bestimmte Schwingungen in immer gleicher Aufeinanderfolge auftreten. Abb. 7 zeigt Autokorrelogramme von EEG und MV, welche von SATO berechnet wurden. Der Unterschied zwischen den gehirnelektrischen Wellen und den MV-Schwingungen besteht darin, daß bei den letzteren eine eindeutige Gliederung besteht, die durch den Herzschlag zustande kommt. Daß der Herzschlag in der MV eine Rolle spielt, zeigen auch die Abb. 8 und 9. Sie stammen aus Versuchen, bei denen einem Kaninchen die Halsnerven durchtrennt und dann der Vagus gereizt wurde. Dadurch hört der Herzschlag je nach der Stärke der Reizung momentan auf. Die MV wird dadurch sehr klein, ja verschwindet sogar. Manchmal bleibt sie aber trotz des Aufhörens der Herztätigkeit bestehen (z. B. Abb. 8, II), ja es gibt sogar Fälle, in denen sie größer wird (Abb. 9 V).

Durch Auto- und Crosskorrelationen, auf deren Einzelheiten hier nicht eingegangen werden kann, haben SATO und OZAKI (1962) gezeigt,

daß der Einfluß der Herztätigkeit auf die MV außer Zweifel steht. Die Abb. 10, 11 und 12 (SATO, 1966) zeigen einige Werte solcher Korrelationen. Es zeigte sich aber auch, daß die MV nicht nur aus den Wirkungen des Herzschlages oder Pulses besteht; vor allem aus Experimenten, in welchen der Oberarm durch eine Blutdruck-Manschette abgeschnürt wurde, wodurch der Puls im Unterarm und in der Hand ausgeschaltet wurde. Die Hauptschwankungen der MV verschwanden dadurch nicht, sie wurden manchmal sogar größer. Abb. 12 zeigt die Resultate der Autokorrelationen aus solchen Versuchen. Auch YOSHII et

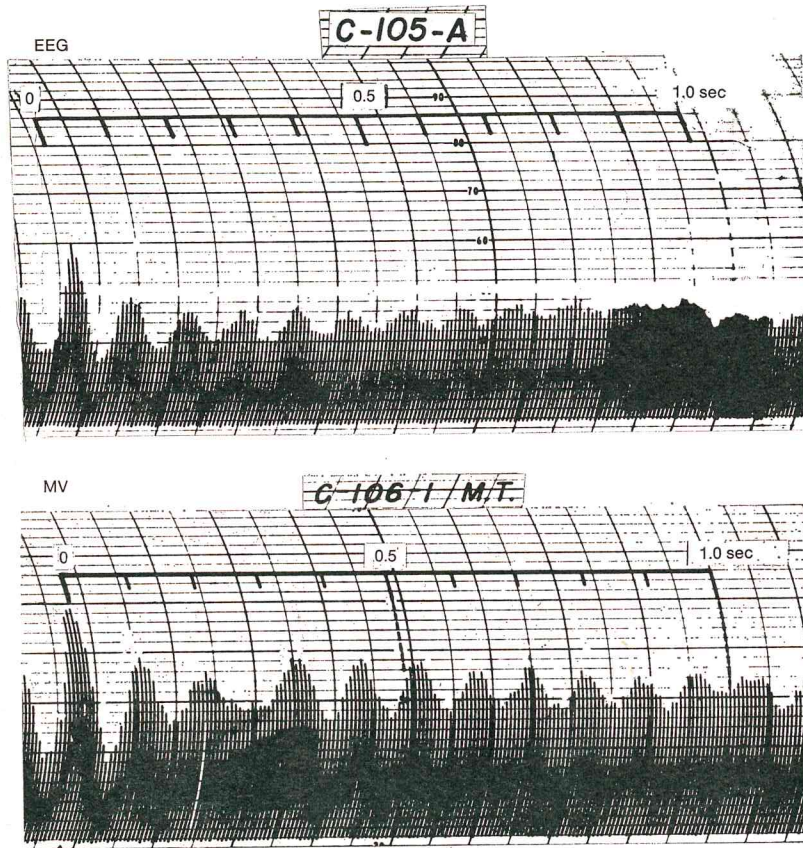


Abbildung 7. Autokorrelogramm EEG (A) und MV (B). Beim EEG (Grundperiode 11.5 Hz) zeigt sich ein kontinuierlicher Abfall, bei der MV (Grundperiode 10.5 Hz) ist dies nur in geringem Ausmaß der Fall.

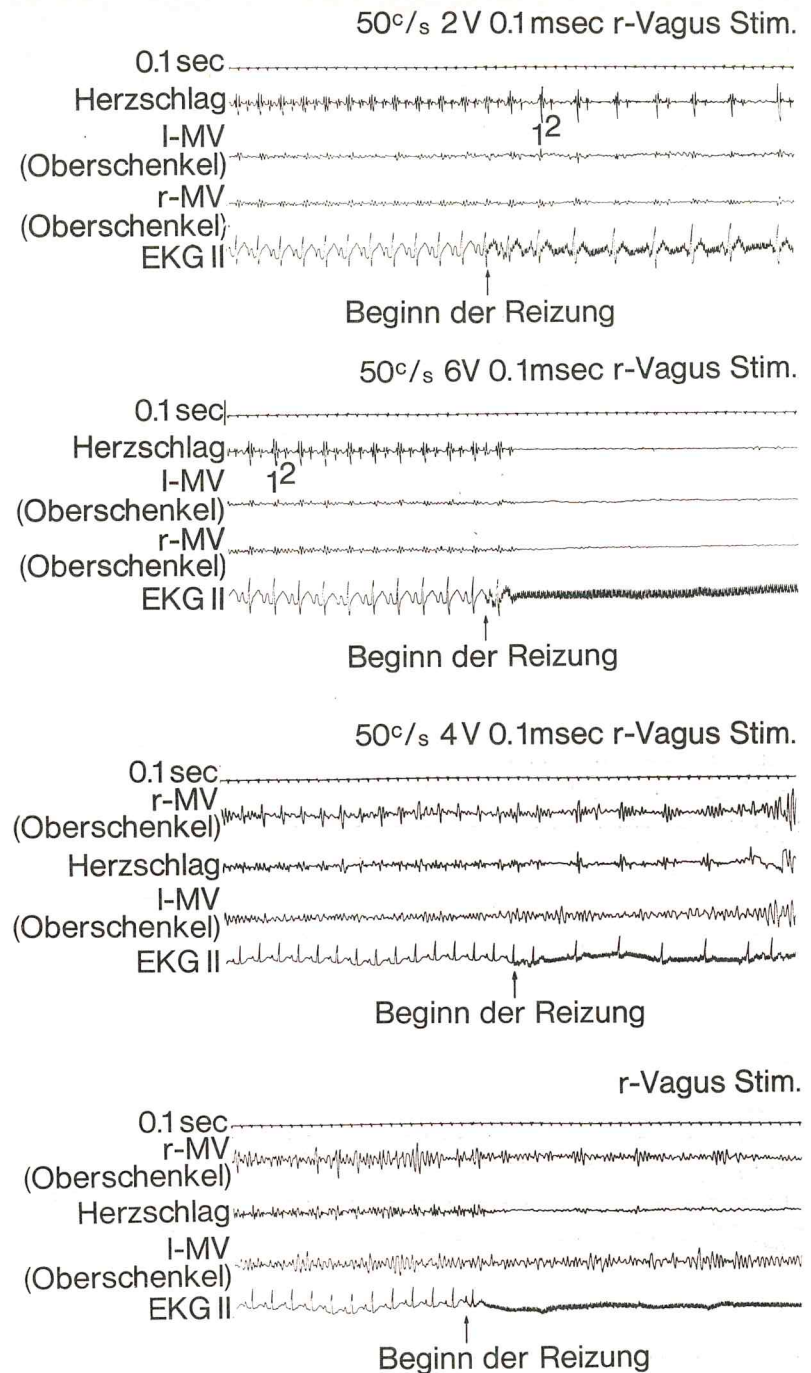


Abbildung 8. MV des Kaninchens nach Durchtrennung der Halsnerven bei Vagus-Reizung, die zu momentanem Stillstand der Herztätigkeit führen kann, z. B. in den unteren Registrierungen; dabei blieb die MV in einem Falle (links) bestehen, im anderen hörte sie ebenfalls auf (rechts).

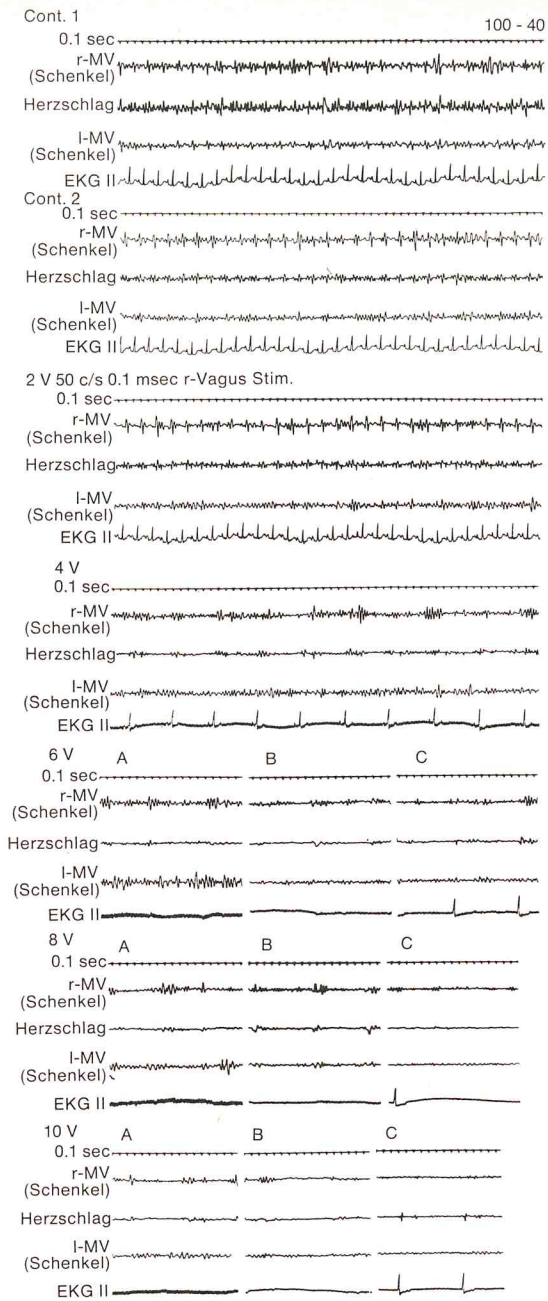


Abbildung 9. Derselbe Versuch wie Abbildung 8 mit zunehmender Reizstärke von 2 bis 10 V. Obwohl die Herzätigkeit aufhörte, blieb die MV bestehen.

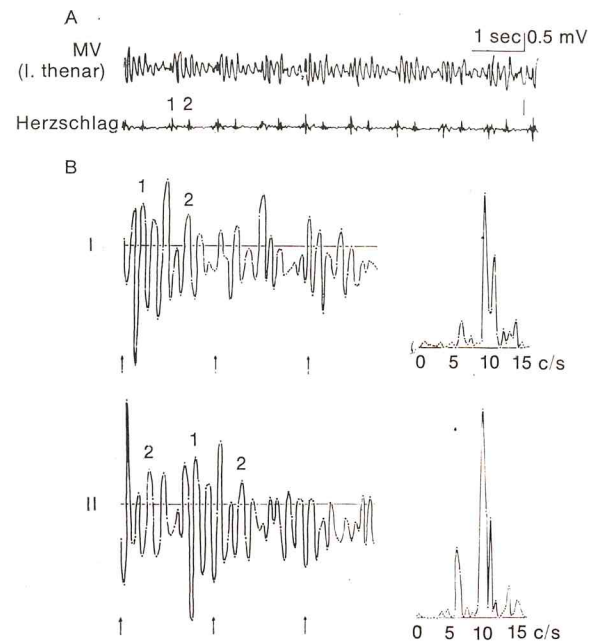


Abbildung 10. A = Registrierung von MV und Herzschlag, B = Großkorrelogramme von MV und Herzschlag. Die Ziffern 1 und 2 in B I und B II weisen auf konstante Muster, die durch bestimmte Phasen des Herzschlags bewirkt werden. Daneben die Frequenzhistogramme der korrelierten MV-Schwingungen.

al. (1963) haben gezeigt, daß die MV z. B. des Daumens durch den Pulsschlag nicht beeinflusst ist.

2. Die Abb. 13 zeigt, daß sich von verschiedenen Körperstellen verschiedene Frequenzspektren ergeben. Abb. 14 beweist, daß die Frequenzspektren von MV und EEG ganz verschiedene Verläufe zeigen, so daß zwischen MV und gehirnelektrischen Vorgängen keine direkte Beziehung angenommen werden kann. Dies wird auch durch die Registrierung im Schlaf bestätigt, bei welcher im EEG die langsamen Schlafwellen zu sehen sind, während die MV unverändert bleibt (Abb. 15). Schließlich wurde noch ein Experiment mit einer künstlichen Lähmung der Hüfte durchgeführt, wobei die MV der gelähmten Seite kleiner wurde (die MV wurde vom Oberschenkel abgenommen). Abb. 16 zeigt die Ergebnisse einer Frequenzanalyse. Da die Ein-

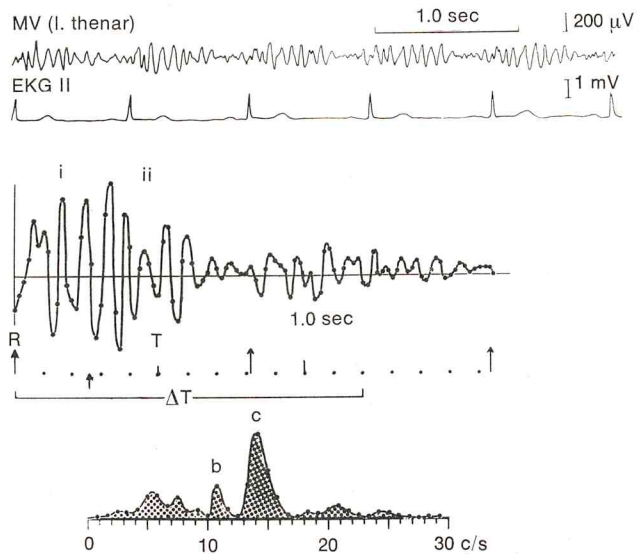


Abbildung 11. Oben: MV und EKG, darunter Großkorrelogramm und Frequenzhistogramm. R und T bezeichnen die Zeitpunkte, in denen die R- bzw. T-Zacke des EKG erscheint, die von ihnen beeinflussten Schwingungsmuster sind mit i und ii bezeichnet.

wirkung des Herzschlages auf den gesunden und den gelähmten Teil gleich ist und trotzdem die MV am gelähmten Teil deutlich kleiner ist als am gesunden, ist durch diesen Versuch neuerlich bewiesen, daß außer dem Herzschlag noch ein anderer Faktor – der Muskeltonus oder das Nervensystem selbst – an der Entstehung der MV beteiligt ist.

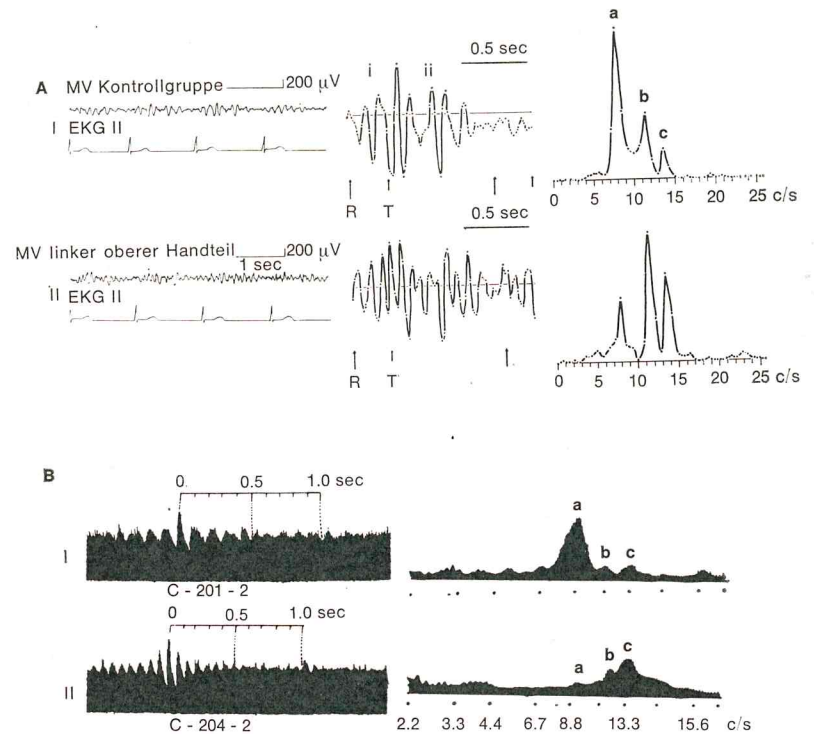


Abbildung 12. Änderungen der Groß- (A) und Autokorrelation (B) von MV und EKG bei Unterbindung des Pulsschlages. Im Großkorrelogramm verschwindet die Gliederung, das Frequenzhistogramm zeigt andere Frequenzhäufungen.

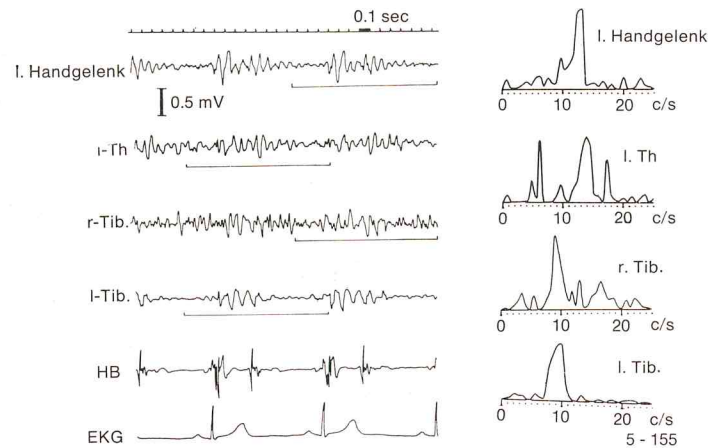


Abbildung 13. MV-Registrierungen vom Handgelenk, Daumenballen, rechten und linken Schienbein. Die Frequenzanalysen (rechts) zeigen die Verschiedenheiten der Frequenzhäufigkeiten an diesen Körperstellen.

Erklärung zu Auto- und Groß-Korrelation: bei der Großkorrelation werden zwei Prozesse (z. B. die Mikrovibration und das EKG) in solcher Weise auf Übereinstimmung – z. B. des Schwingungsverlaufes – geprüft, daß zwei zeitlich gleich lange Teilstrecken der beiden Registrierungen in gleichbleibenden Zeitabschnitten (z. B. $\frac{1}{10}$ Sekunde) gegeneinander so oft verschoben und dabei jedesmal korreliert werden, bis die ganze Dauer der beiden Prozesse durchschritten ist. Bei der Autokorrelation wird nur ein einziger Prozeß nach dem eben beschriebenen Verfahren mit sich selbst korreliert, d. h. die Schwingungen innerhalb einer bestimmten Zeit (z. B. einer Sekunde) werden gegeneinander in gleich großen Zeitschritten so oft verschoben und jedesmal korreliert, bis die ganze Prozeßdauer (also z. B. eine Sekunde) durchschritten ist. Durch beide Methoden werden periodisch wiederkehrende Schwingungsmuster erkennbar; die Großkorrelation ermöglicht daher die Aufstellung von Hypothesen darüber, ob einer der beiden Vorgänge den anderen beeinflußt.

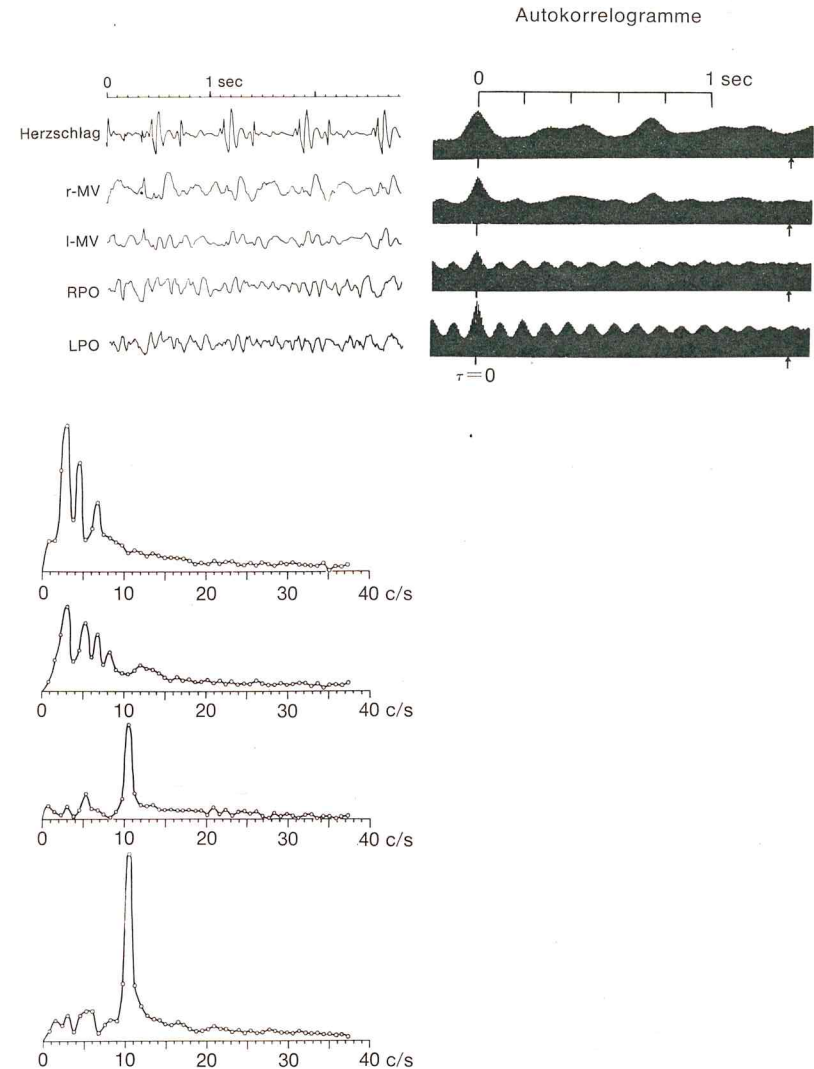


Abbildung 14. MV-Registrierungen (oben) und EEG von gleichen Kopfstellen (parietal-occipital). Die Autokorrelationen und Frequenzanalysen ergeben verschiedene Verteilungen, daher keine Beziehung zwischen MV und EEG.

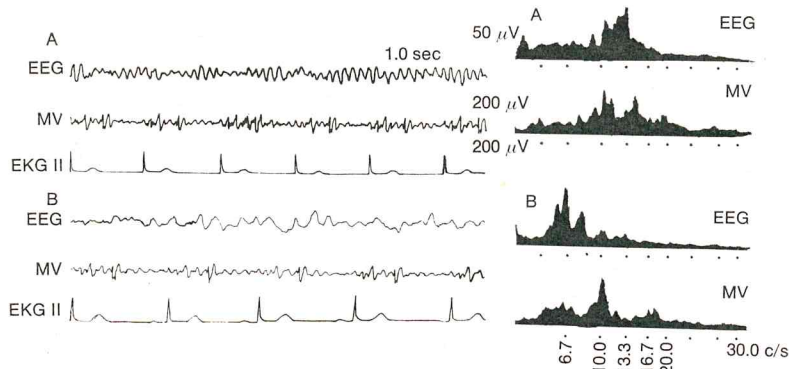


Abbildung 15. EEG und MV im Wachzustand (A) und im Schlaf (B).

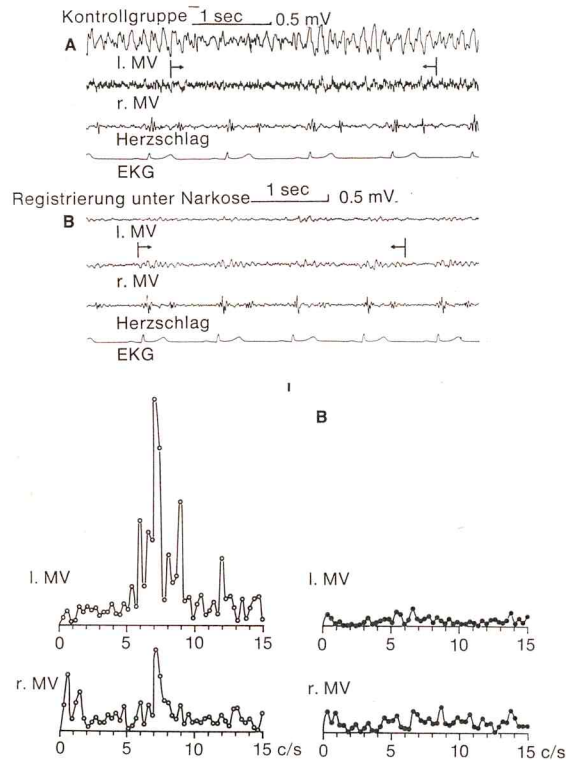


Abbildung 16. MV vom Oberschenkel bei künstlicher Lähmung der Hüfte («Lendenwirbel-Narkose»). A ohne, B mit Lähmung. Darunter die Frequenzhistogramme, links vor, rechts nach der Lähmung.

Verwendung der MV in der Pharmakologie

Die Parameter der MV hängen von der Aktivität der Muskeln und von Impulsen aus dem Nervensystem ab; daher sind MV-Registrierungen geeignet, über die Wirkung von verschiedenen Pharmaka auf Muskulatur und Nervensystem Aufschluß zu geben. Auch in der Untersuchung von Sedativa hat die MV-Registrierung in letzter Zeit an Bedeutung gewonnen. Ein zusammenfassender Bericht wurde von TANAKA (1966) erstattet; die folgenden Ausführungen sind diesem Bericht entnommen.

A. VERSUCHE AN TIEREN

1. Die Tierart und die Untersuchungs-Methoden

Hunde, Katzen und Kaninchen sind für MV-Untersuchungen geeignet. Kleinere Tiere wie Mäuse oder Ratten sind nicht verwendbar, weil das Pick-up mehr als 2 Gramm wiegt und durch sein Eigengewicht die MV dieser Tiere beeinflussen könnte. Bei Kaninchen entfernt man zuerst die Haare von der Aufnahmestelle. Dann wird das Pick-up mittels einer Binde, einem Klebstoff oder mit Klebestreifen befestigt. Der für die MV-Untersuchungen geeignetste Körperteil ist die äußere Seite der Hinterbeine. Man kann aber auch auf dem Rücken ein Pick-up befestigen. An den übrigen Körperteilen wirkt sich die Bewegung durch die Atmung und den Puls stärker aus. Das Kaninchen atmet im Sommer, besonders bei hoher Temperatur, sehr schnell, wodurch sich die Atmungsbewegung bis zu den Beinen fortpflanzen kann und die MV daher sehr schwer zu isolieren ist.

Bei der Fixierung des Kaninchens ohne Narkose stören die Bewegungen, die durch die Unruhe des Tieres bedingt sind. Statt der Fixierung kann das Kaninchen in eine Hängematte gelegt werden oder mittels Gurten aufgehängt werden (SUGIYAMA, 1964). Diese Methode kann man auch bei Hunden anwenden. Bei der Katze ist die MV-Aufnahme ohne Narkose fast unmöglich. Es hat sich bewährt, 20 mg pro kg Pentobarbital in den Bauch zu injizieren. Bei der narkotisierten Katze kann man ohne Fixierung arbeiten.

2. Pharmakologische Wirkungen auf die MV

a) *Die MV bei Tieren.* Bei Tieren treten schnelle Schwingungen sehr zahlreich auf. Die normale Frequenz beträgt an den Hinterbeinen der Katze 10 bis 20 Hz, beim Kaninchen 20 bis 30 Hz. Bei diesem zeigen sich gelegentlich Schwingungen von 40 Hz, aber auch die gleichen Frequenzen wie bei Aufnahmen am Menschen. Die MV-Amplitude der Katze im Ruhezustand beträgt 1–10 Mikron, beim Kaninchen 0,05–2 Mikron. In gereiztem Zustand ist die MV-Amplitude größer. Bei Spannung der Muskeln verändert sich die Frequenz unregelmäßig.

Bis jetzt gibt es noch nicht genügend Untersuchungen, inwieweit die MV bei den einzelnen Tiergattungen oder bei Abnahme von verschiedenen Körperstellen variiert. Als Ergebnis einer mehrstündigen Beobachtung fanden sich Frequenzschwankungen von 100 %. In einer anderen Untersuchung nur von 50 %. Nach KAJITANI (1960) liegt die Frequenzschwankung in einem Bereich von 20 %.

b) *Narkotika.* Alle Betäubungsmittel verkleinern die MV-Amplitude und vermindern die Frequenz. Hexobarbitol bewirkt eine plötzliche Vergrößerung der MV-Amplituden, aber zugleich eine Verminderung der Frequenz. Im EEG bewirken solche Betäubungsmittel große Amplituden, die MV hingegen verkleinert sich deutlich. Bei noch größeren Dosen wird das EEG ganz flach und die MV verliert sich fast vollkommen. Betäubung durch Äther reduziert die MV stark. Dies ergibt sich vielleicht daraus, daß durch die Reizung des Geruchsinnens im vegetativen Nervensystem eine besondere Hemmungswirkung auf die MV entsteht, nicht aber durch die direkte Wirkung des Äthers als Betäubungsmittel, so vermutet MURAYAMA (1960). Wenn man den Äther durch eine Kanüle einführt, dann zeigt sich keine Hemmungswirkung, sondern die MV vergrößert sich genau so wie die Wellen des EEGs. Durch Verstärkung des Betäubungszustandes wird die MV auf jeden Fall reduziert. Dasselbe Ergebnis wie mit Äther erhält man mit Hexobarbitol, Thiopentol und Pentobarbitol. Urethan wirkt auf die MV am wenigsten ein. Die Veränderung der MV kann man vielleicht wie die des EEGs als Maßstab für den Grad der Betäubung verwenden.

c) *Tranquillizer.* Chlorpromazin hemmt die MV in vielen Fällen. Bei Verwendung in kleinen Dosen (1 bis 2 mg/kg) tritt die MV-Vergrößerung bei spontaner Bewegung nicht mehr auf, die Frequenz wird verkleinert. Bei der Verwendung von größeren Dosen (5 mg/kg) verliert sich die MV fast vollkommen. Das gleiche kann man bei Phenothiazin

beobachten. Reserpine wirken auf die MV fast nicht (SUGIYAMA, 1964). Meprobamate bewirken eine Lockerung der Muskeln und senken die MV-Amplitude. Mittel, wie Chlordiazepoxid und Diazepam hemmen die MV.

d) *Entspannungsmittel.* Die MV wird durch Entspannungsmittel gehemmt. Wenn die Entspannungsmittel auf die Synapsen des Rückenmarks oder die Endplatten der Nerven einwirken, so erniedrigt sich dadurch die Frequenz der MV. Mephensesin, das auf die Synapsen des Rückenmarks einwirkt, verkleinert die MV stark, aber nur bei Dosen von 10 bis 20 mg/kg. Durch die Verwendung von größeren Dosen verschwindet die MV vollkommen. Die Wirkungsdauer ist aber verhältnismäßig kurz – etwa 10 Minuten. Succinylcholin, Gallamin und Tubocurarin wirken auf die Synapsen der Nerven ein und haben die gleiche Wirkung wie Mephensesin. Durch die Verwendung genügend großer Dosen verschwindet die MV ebenfalls. Die Pulserschütterung bleibt jedoch erhalten.

e) *Anti-Epileptica.* Bei Verwendung durchschnittlicher Dosen von Anti-Epileptica zeigt sich keine klare Einwirkung auf die MV. Sowohl Vergrößerungen als auch Verkleinerungen der Amplitude konnten beobachtet werden. Bei Verwendung von Phenobarbital (1 bis 10 mg/kg) verkleinert sich die MV-Amplitude. Die Anwendung von Diphenylhydantoin bewirkt zuerst eine Verkleinerung und dann eine Vergrößerung der MV-Amplitude. Procain hat bei einer Dosis von 5 mg/kg keinen Einfluß, bei einer Dosis von 10 mg/kg eine Hemmungswirkung (KAJITANI, 1960).

f) *Sonstige Medikamente.* Morphin hat nur geringen Einfluß auf die MV. Adrenalin, Acetylcholin und Atropin zeigen nur wenig Einfluß. Ganz allgemein kann man sagen, daß die für das autonome Nervensystem wirksamen Substanzen nur eine geringe Wirkung auf die MV haben.

3. Reizung von Gehirnzentren und die Auswirkung auf die MV

a) *Reizung der formatio reticularis.* Die Wirkungen einer elektrischen Mittelhirnreizung des nicht narkotisierten Kaninchens (200 Hz, 1 Volt, einige Sekunden) sind noch ungeklärt; es kommt sowohl zu Erhöhungen (bis zum Zehnfachen) wie zu Reduktionen der Amplitude

(meist weniger als die Hälfte); die Frequenz verändert sich dabei nur geringfügig.

Nach Aufhören der Reizung kann man eine Veränderung der MV als after-effect feststellen – d. h. man kann eine einige Minuten dauernde Beeinflussung in Richtung einer Vergrößerung der Amplitude beobachten (KAJITANI, 1960). Anti-Epilepsie-Medikamente wie Phenobarbital etc. hemmen die MV. Procaïn hemmt die Vergrößerungstendenz der MV. Dieser sogenannte «antiextensor» hemmt den über dem retikulären System liegenden Teil (TANAKA und ITO, 1962), aber auch den unter dem retikulären System liegenden Teil des Mittelhirns. Diese beiden Teile werden in ihrer Auswirkung auf die MV in gleicher Weise beeinflusst (TANAKA und KAJITANI, 1960).

b) *Reizung des Bodens des Sehzentrums.* Wenn man den Boden des primären Sehzentrums beim nicht narkotisierten Kaninchen reizt, wird die MV im allgemeinen reduziert, in Ausnahmefällen vergrößert. Die Ergebnisse hängen von den Reizstellen ab (ITO und TANAKA, 1962). Bei der Katze entstand der deutlichste Hemmungseffekt an der area hypothalamica posterior (SUGANO und INANAGA, 1960); Hemmungseffekte entstehen aber auch durch die Reizung des hinteren und unteren Bodens des primären Sehzentrums. Der Vergrößerungseffekt entsteht am leichtesten durch die Reizung des oberen Teiles dieses Zentrums (INOUE, 1960). Durch Reizung des hinteren Teiles des Sehzentrums hingegen ist fast immer ein Hemmungseffekt der MV zu beobachten.

c) *Hippocampus u. a.* Reizt man den Hippocampus elektrisch, dann vergrößert sich die MV, doch bleibt sie bei weiterer Verstärkung des Reizes wider Erwarten gleich (SUGANO und KUHARA, 1961). Die zerebralen Spannungsschwankungen, die sich durch die Reizung des Hippocampus vergrößern, nennt man häufig auch «tonic-clonic seizure». Die MV an sich bleibt immer ohne wesentliche Veränderungen; die Reizung des Hippocampus beeinflusst die Gehirnwellen stärker als die MV (ITO und TANAKA, 1962). Die Reizung des Schweifkerns und der capsula interna beeinflusst die MV, die Reizung des Linsenkerns, des bulbus olfactorius und der Vierhügelregion hemmt die MV (INOUE und SUGANO).

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die MV durch die Reizung der einzelnen Gehirnregionen nicht sehr wesentlich verändert wird, außer durch die Reizung des Riechzentrums (KUHARA und NAGASAKI, 1961).

B. EXPERIMENTE AM MENSCHEN

1. Einige Faktoren, die die MV beeinflussen

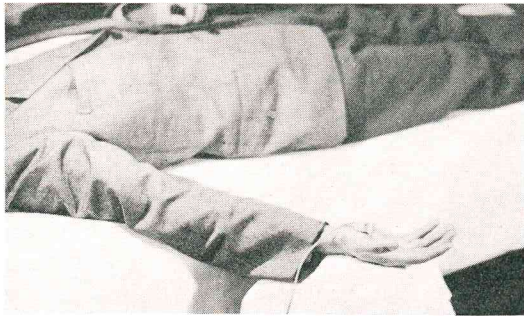
Bei MV-Untersuchungen am Menschen muß man sehr vorsichtig sein, weil oft unbedeutend Scheinendes großen Einfluß hat (z. B. beeinflusst nach den Untersuchungen von TANAKA die Körperhaltung die MV). Im Folgenden sollen einige wirksame Faktoren beschrieben werden. Abb. 17 a zeigt die zur Abnahme der MV allgemein geeignetste Körperhaltung. Nach Experimenten mit 5 männlichen und 2 weiblichen Versuchspersonen zeigten sich folgende Unterschiede: 12,3 Hz bei liegender Körperhaltung, 10,3 Hz bei sitzender Stellung, Arme auf einen Tisch gelegt 8,7 Hz.

Wahrscheinlich liegt die Ursache dieser Unterschiede der MV-Frequenzen in der verschiedenen Muskelspannung (ITO, 1961). Die Lage der Arme zum Herz hat wenig Einfluß. Dies zeigt Abb. 17: Bei a ist die Frequenz der MV am höchsten (etwa 12 Hz), bei b 8 Hz, bei c 6,5 Hz. Bei diesen Experimenten wurde die Frequenz höher, wenn die Lage des Armes relativ zum Herzen erhöht wurde. Der Grad der Entspannung des Daumens war bei a am geringsten und bei c am stärksten. Daher ist die Lage in c für die Abnahme der MV am geeignetsten.

Bei der Registrierung der MV zeigt sich eine Gliederung nach dem Rhythmus des Pulses. Die MV-Schwingungen sind je nach Muskel verschieden, weil jeder Muskel einen anderen Dämpfungsgrad besitzt; dadurch entstehen die Unterschiede der MV-Frequenz je nach der Auf-lagestelle des Pick-ups. Wenn man Tieren große Mengen von Entspannungsmedikamenten gibt, dann bleibt nur die Pulsschwankung übrig; daraus folgt, daß die MV eine Mischung dieser zwei Bewegungen – der Pulsschwankung und der Muskelaktivität – ist.

2. MV bei Entspannung und Beruhigung – der Einfluß der Tranquillizer

In beruhigtem Zustand kommen sehr häufig Alpha-Wellen statt der schnellen Wellen vor, die vor Eintritt der Beruhigung, am Anfang des Experiments dominierend waren. Die Zeit bis zum Auftreten der Alpha-Wellen nennen wir «Beruhigungsphase». Diese Phase kann durch bestimmte Reize unterbrochen werden. Tabelle 1 zeigt die Resultate von 10 männlichen Studenten. Wenn die Beruhigungsphase länger als 10 Minuten dauert, kann man meist keine schnellen Wellen mehr



A



B

Abb. 17



C

Abbildung 17. Einfluß der Körperhaltung auf die MV.

feststellen; daher wurde von uns die Beruhigungsphase allgemein mit 10 Minuten angenommen. Der individuelle Unterschied ist aber sehr groß. 68 % der Versuchspersonen zeigten eine volle Beruhigung innerhalb von 5 Minuten. Durch die Verwendung von Meprobamat, Ectyl-urea oder Chlorzoxazon wurde die Beruhigungsphase verkürzt.

3. Aktivierung der MV und Einfluß von Drogen

RIEHL (1960) hat ein Maß für den Grad der Aktivierung in einer mathematischen Formel dargestellt, die man auch für die MV verwenden kann: $U_A = \text{activation-unit} = \text{Frequenz/Amplitude}$. Mit dieser Formel berechnet man die Aktivierungseinheit für jede Minute des Experiments; der Wert von U_A wird allmählich kleiner und nach einigen Minuten wird die Kurve flach. Die Zeit, während der sich die Aktivierungseinheit verringert, ist die «Beruhigungsphase». Es kann daher an dem Verlauf der Kurve von U_A der Einfluß von Tranquillizern festgestellt werden. In der Formel U_A dominiert die Frequenz; die Amplitude der MV wird im Gegensatz zu den Gehirnwellen, für die U_A ent-

wickelt wurde, bei der Beruhigung größer. Deshalb berechnet man U_{Δ} besser Frequenz mal Amplitude. U_{Δ} ist dann das Differential der Zeit (t), daher wird U_{Δ} mit t integriert; dadurch erhält man das gesamte Variationsvolumen. Wenn man die U_{Δ} der 3. Minute differenziert und den Wert innerhalb von 3 Minuten nach dem Beginn eines Versuches als 100 %ige Beruhigung annimmt, so kann man ihn mit dem Wert nach der Verabreichung von Tranquillizern vergleichen; bei Mepro-
 $mat = (U_{\Delta})_t = 73\%$ (13 Vpn.). Bei Whisky = $(U_{\Delta})_t = 70\%$ (8 Vpn., ITO, 1962).

4. Einfluß von Drogen auf die MV des Menschen

Um den Einfluß von Medikamenten festzustellen, wird allgemein die MV-Frequenz-Analyse angewendet. Alkohol verstärkt das Theta-Band (OHARA, 1960); Schlaftabletten, Narkotika oder Muskelentspannungsdrogen hemmen die MV. Ovarialhormon verstärkt die Theta-Wellen, Gelbkörperhormon verstärkt die Beta-Wellen (UENO, 1959). Durch Adrenalin nimmt das Theta-Band zu (SATO, 1959).

5. MV als Methode zur Bestimmung der Wirkung von Analgetica

Bei der Entwicklung neuer Medikamente zur Schmerzbekämpfung werden viele verschiedene Methoden angewandt, um ihre Wirkung zu bestimmen. Besonders häufig wurde die Messung der Schmerz-Schwelle verwendet, deren Niveau durch die Medikamente erhöht werden soll; die Resultate sind oft widerspruchsvoll, denn auch schwache Reize können in der Nähe der Schwelle Schmerz auslösen (PFEIFFER, 1948). NAGASAKI, KATSUDA und ihre Mitarbeiter (1965, 1966) haben sich bemüht, eine objektive Methode zur Schmerzbestimmung zu finden, indem sie die Atembewegungen, die Pulsfrequenz, die Darmbewegungen und verschiedene Verhaltensreaktionen registrierten. Auch die Mikro-vibration wurde verwendet und die Bezeichnung «MV-pain-response» eingeführt. Diese Untersuchungen sind noch im Gange; es wird daher nur ein Überblick auf Grund der Arbeiten von YOKOO (1965) und KUWAE (1965) gegeben.

a) Die Versuchsmethodik. Ein Modell der Versuchsanordnung zeigt Abb. 18. Ein ruhiger Hund (8–10 kg schwer) eignet sich am besten für diese Versuche. Als Schmerzreiz wurde ein elektrischer Stromstoß in

die Zahnpulpa verwendet; dadurch wird nur Schmerz und keine andere Empfindung erzeugt, außerdem ist die Wirkung des Schmerzes auf das Verhalten leicht zu beobachten und die Situation der Schmerzempfindung beim Menschen sehr ähnlich (BOREUS, 1955).

b) Charakterisierung der Schmerzreaktion in der MV. a) Als Schmerzreiz wurde Wechselstrom von 10, 20, 40 und 80 Hz verwendet; die MV wurde von der Hüfte des Hundes abgenommen. Wie Abb. 19 zeigt, scheint die günstigste Reizfrequenz bei 20 Hz zu liegen; bei dieser Frequenz erscheint die gleichmäßigste MV-Schwingung. Auch nicht

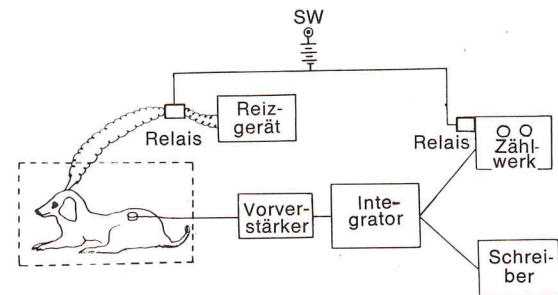


Abbildung 18. Versuchsanordnung zur MV- und EEG-Registrierung vom Hund.

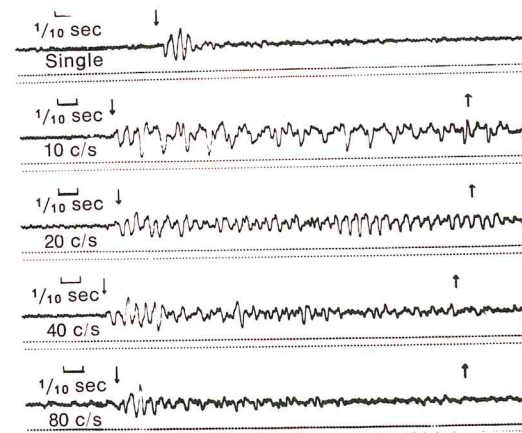


Abbildung 19. MV des Hundes bei Schmerzreizen, erzeugt durch elektrische Pulpareizung mit verschiedenen Frequenzen.

schmerzhafte Reize (z. B. ein lauter Ton oder ein helles Licht) wurden verwendet; sie bewirken manchmal ebenfalls Frequenzänderungen. Als Reaktion auf den Schmerzreiz ist die Zunahme im Frequenzbereich von 5–10 Hz der MV am auffallendsten; besonders groß ist aber auch die Frequenz-Zunahme im 20-Hz-Bereich.

β) Als Reizdauer scheinen 2,0 Sekunden am geeignetsten (bei 0,5 und 1,0 Sekunden ist die Reaktion sehr klein, bei 3,0 Sekunden zu groß, in beiden Fällen ist auch die Streuung der Verhaltensreaktionen relativ groß).

γ) Versuche mit der Anordnung, die Abb. 18 zeigt, wurden an 6 Hunden durchgeführt. Zur Auswertung wurde die Reizstärke in Volt auf der Abszisse, die MV-Frequenz nach einer besonderen, den Puls berücksichtigenden Berechnung auf der Ordinate eines Koordinatensystems aufgetragen. Es zeigte sich, daß sich die Reaktion linear mit der Reizstärke vergrößert. Der niedrigste Reiz-Reaktionswert, der diese Eigenschaft zeigt, liegt bei ca. 4–5 Hz; den Reizwert, der den Reaktionswert 5 ergibt, bezeichnen wir als MV-Schmerz-Schwellenwert. Es gibt unter den Versuchstieren große individuelle Unterschiede (wahrscheinlich lassen sie sich durch den verschiedenen elektrischen Widerstand der Zahnpulpa oder durch eine unterschiedliche Schmerzempfindlichkeit erklären). Wenn man die Versuche an einem einzigen Tier durch längere Zeit durchführt, bleibt die Anzahl der Bestimmungsfehler unter 10 % und bilden daher kein Hindernis für die Bestimmung der Schmerzstillung durch Medikamente.

δ) Die Schmerzempfindung der elektrischen Reizung der Pulpa hat charakteristische Wirkungen wie Kaubewegungen, Schlecken, Lippenbewegungen, Öffnen des Maules und Heben des Kopfes sowie Winseln bei starken Reizen zur Folge. Aus dem Vergleich mit diesen Reaktionen ergibt sich, daß der MV-Schmerz-Schwellenwert ziemlich hoch liegt.

c) *Bestimmungsmethode für die Wirkung der Schmerzstillung.* Es wurde eine Berechnungsmethode entwickelt, mit deren Hilfe sich die MV-Schmerz-Reaktionswerte vor und nach Verabreichung eines schmerzstillenden Mittels einigermaßen genau vergleichen und zahlenmäßig darstellen lassen. Näher kann hier nicht darauf eingegangen werden. Bei subkutaner Verabreichung von Morphinen ist bei geringen Mengen ein Ansteigen des Schwellenwertes fast nicht zu beobachten, doch nimmt der MV-Schmerz-Reaktionswert sehr stark ab. Versuche wurden außer mit Morphinen mit Aminobuten, Codeinen und Sulpyrinen durchgeführt, wobei sich im großen und ganzen gleichartige Verläufe der Schmerzstillung ergaben (da bei Codeinen und Sulpyrinen Vergif-

tungserscheinungen auftreten, z. B. Krämpfe, waren Messungen mit höheren Dosen nicht möglich). Die erzielten Resultate zeigen sehr gute Übereinstimmung mit klinischen Ergebnissen (LASAGNA, 1964).

Bei Betäubungsmitteln wie Thiopenthal-Natrium, Äther u. a. bleibt die Reduktion des MV-Schmerz-Reaktionswertes gering, solange nicht ein Betäubungszustand eintritt. Medikamente zur Muskelentspannung wie d-tubocurarin oder Mephenesin bewirken zwar eine klare Reduktion dieser Reaktion, aber die Kurve der angewandten Menge und diejenige der Schmerzstillung laufen nicht parallel.

Ist die MV-Schmerzreaktion wirklich ein Schmerz-Indikator? Die Zunahme der MV-Frequenz wurde von uns als Schmerz-Charakteristikum betrachtet; es fragt sich aber, ob diese Annahme richtig ist. Die MV steht in engem Zusammenhang mit der Spannung der Skelettmuskulatur; sie entsteht vermutlich durch Rückenmarks-Reflexe, wird aber von einem übergeordneten Zentrum beeinflusst. Auch Impulse aus der *Formatio reticularis* führen zu einer Vergrößerung der MV, ebenso Angst, Schmerz und andere psychische Zustände. Man könnte sich unter Berücksichtigung dieser Tatsachen folgenden Verlauf vorstellen: Schmerz – Reizung der *Formatio reticularis* – Aktivierung eines unbekanntes Gehirnzentrums – Verstärkung der Muskelspannung – Vergrößerung der MV-Amplitude. Die Verstärkung der Muskelspannung des ganzen Körpers bei starken Schmerzen war die Erfahrungstatsache, von welcher NAGASAKI und seine Mitarbeiter (1965, 1966) bei ihren Versuchen ausgingen.

Die Feststellung von RADOUCO-THOMAS (1962), daß bei Reizung der Zahnpulpa eine Vergrößerung der Muskelaktionsströme (im EMG) auftritt, haben wir bei einer Wiederholung dieses Versuches bestätigen können; ebenso, daß Morphium diese Reaktion unterdrückt.

d) *Vorteile und Grenzen der Methode.* Die MV-Methode erlaubt eine zahlenmäßig erfassbare Messung der Schmerzreaktion und der Verringerung der Stärke dieser Reaktion; sie vermeidet dadurch den schwachen Punkt bisheriger Methoden, die nur die Hebung des Schmerzschwellenwertes berücksichtigten, und ermöglicht eine rationellere Bestimmung der Wirkung einer Schmerzstillung. Aus noch unveröffentlichten Resultaten ergibt sich, daß die Wirkung von Gegenmitteln gegen die Schmerzstillung durch Morphium, z. B. durch Reserpin oder Nalorphin, sehr unterschiedlich ist, was durch Messung des Schwellenwertes allein nicht feststellbar ist. Durch die Untersuchung dieser Gegenmittel mit Hilfe des MV-Schmerz-Reaktionswertes konnte gezeigt werden, daß die Gegenwirkung der Reserpine keine echte ist.

Wünschenswert wären Untersuchungen über Zusammenhänge zwischen Schmerzreaktion und Reizleitungsweg; es besteht die Möglichkeit, daß die Schmerzreaktion, sofern sie auf die Schmerzstelle beschränkt ist, nicht mit einem Rückenmarksreflex oder einem höheren Zentrum zusammenhängt (ISBELL, 1956). KUWAE (1965) hat einen Versuch mit einer Gehirnoperation gemacht. Obwohl nach Entfernung der Region vor den oberen Kniehöckern mit freiem Auge keine Veränderung der Schmerzreaktion beim Versuchstier zu beobachten war, war die MV-Schmerzreaktion sehr stark verringert. Dadurch ist erwiesen, daß für das Zustandekommen des linearen Verlaufes von Reiz- und Reaktionsstärke das Vorhandensein eines höheren intakten Zentrums notwendig ist. Ein Vorteil der MV-Methode besteht auch darin, daß die MV gleichzeitig mit EEG, EMG, EKG, mit Blutdruck und Atembewegung registriert werden kann, so daß unmittelbare Vergleiche möglich sind. Da die MV auf Skelettmuskelspannung bzw. -entspannung zurückzuführen ist, ist darauf zu achten, daß Medikamente, welche die Muskulatur entspannen, wodurch auch die MV-Schmerzreaktion kleiner wird, nicht mit Schmerzstillern verwechselt werden. Der MV-Versuch ist nicht nur für eine Überprüfung von Medikamenten geeignet, sondern auch für eine genaue qualitative Untersuchung ihrer Komponenten.

6. Zur Anwendung der Mikrovibration in der klinischen Psychopharmakologie

Wenn man bedenkt, daß der Tonus der Muskulatur mit der MV in Beziehung steht, darf man wohl annehmen, daß auch der Stimmungswechsel mit der MV eng zusammenhängt. Deshalb ist auch zu erwarten, daß die MV beim Studium der klinischen Psychopharmakologie Anwendung finden wird.

Eine Untersuchung über den Einfluß der Psychopharmaka auf die MV wurde von KURITA (1958) durchgeführt. KURITA beobachtete den Einfluß von Chlorpromazin auf die MV bei Schizophrenen und konstatierte, daß in fast allen Fällen eine Veränderung der MV eintritt. Bei der intramuskulären Injektion von Chlorpromazin fällt die MV-Amplitude sofort ab, während sie bei dessen sehr prolongierter oraler Applikation steigt. Er teilte mit, daß vor dem Erscheinen des Parkinsonsyndroms eine Tendenz zur graduellen Steigerung der Amplitude und zugleich zur Verlangsamung der MV zu beobachten sei.

Später mehrten sich derartige Arzneimittel durch die Erfindung

neuer Psychopharmaka, und ihr Anwendungsgebiet in der Klinik wurde ständig breiter. Dementsprechend hat sich das von der Psychopharmakotherapie eingenommene Gebiet in der psychiatrischen Behandlung immer mehr vergrößert.

Es zeigte sich, daß es bei der Beschreibung der durch Psychopharmaka ausgelösten Änderungen der MV des menschlichen Körpers nützlicher ist, die Änderung in der Frequenzverteilung heranzuziehen als die in der Amplitude. Dazu kann ein automatischer Frequenzanalysator, der zur Analyse der Frequenz des EEG dient, benutzt werden. Es gibt aber verschiedene Einteilungsmethoden der Frequenzbänder der MV. Z. B. teilt man sie in 3 Teile, ϑ -Band (4–8 Hz), α -Band (8–13 Hz) und β -Band (13–20 Hz). Weiter kann man das Band von 8–13 Hz in Teile von je 1 Hz, oder das Band von 6–13 Hz in 7 Teile unterteilen.

Die Zeichen ϑ , α und β sind im Folgenden entsprechend der Einteilung der Bänder des EEG angewandt, d. h., wie oben gesagt, stellt das ϑ -Band eine Abteilung von 4–8 Hz, das α -Band eine von 8–13 Hz und das β -Band eine von 13–20 Hz dar.

a) *Veränderungen der MV durch Psychopharmaka.* Zunächst sei darüber berichtet, wie sich die MV durch akute Gabe der Psychopharmaka, d. h. durch deren einmalige Verabreichung ändern kann. Zu beachten ist hier, daß sogar bei Dosierung der gleichen Menge ein und desselben Medikamentes das Einzelindividuum darauf in verschiedener Weise reagiert. Da aber betreffs dieser unterschiedlichen Wirkungen der Medikamente die Tendenz zur Nivellierung besteht, gehen wir auf deren mittlere Wirkungsweise ein.

a) Tranquillizer im weiteren Sinne

aa) Reserpin

Bei intramuskulärer Injektion von 0,5 mg Reserpin ist eine Zunahme im α -Band (nachfolgend kurz α genannt) und eine Abnahme des β zu finden. Eine Veränderung des ϑ wird nicht deutlich¹.

bb) Phenothiazinderivate

Chlorpromazin. Bei intramuskulärer Injektion von 25 mg Chlorpromazin

¹ Die Ab- und Zunahme eines jeden Frequenzbandes spricht für die Erniedrigung und Erhöhung des prozentualen Energie-Anteils im jeweiligen Band. Werden die durch die Apparatur zur Frequenzanalyse gewonnenen Integralwerte jedes Bandes = ϑ' , α' und β' gesetzt, so ist der prozentuale Energie-Anteil des α -Bandes

$$= 100 \times \frac{\alpha'^2}{\alpha'^2 + \beta'^2 + \vartheta'^2}$$

zin nimmt das α zu und β ab. Anfangs wurde angenommen, daß sich eine Tendenz zur Abnahme zeige, später wurde aber auch die Zunahme beobachtet. Eine endgültige Aussage darüber läßt sich noch nicht machen.

Levomepromazin. Bei intramuskulärer Injektion von 25 mg Levomepromazin nimmt das α zu und ϑ ab. Das β zeigt keine starke Veränderung.

Prochlorperazin. Bei intramuskulärer Injektion von 5 mg Prochlorperazin nimmt das α zu und ϑ ab. Das β zeigt keine starke Veränderung.

Perphenazin. Bei intramuskulärer Injektion von 2 mg Perphenazin nimmt das α zu und ϑ ab; ausgeprägte β -Veränderungen fehlen.

Promethazin hydrochlorid. Bei intramuskulärer Injektion von 25 mg Promethazin nimmt das α zu und β ab, dabei ändert sich das ϑ nicht sonderlich (INANAGA et al.).

β) Andere Mittel

Bei peroraler Verabreichung von 20 mg Azacyclonol nimmt das α ab und ϑ zu. Das β neigt zur Abnahme.

aa) Thymoleptika

Imipramin. Bei intramuskulärer Injektion von 25 mg Imipramin zeigen alle, α , β und ϑ , fast keine Veränderungen; die 3 Komponenten, α , ϑ und β , scheinen sich in jedem einzelnen Fall in verschiedener Weise miteinander auszugleichen.

bb) Psychomotorstimulantia oder zentralnervöse Stimulantia

Diphenylmethanderivate

Pipradrol. Bei intramuskulärer Injektion von 0,5 mg und 1 mg Pipradrol nimmt das α ab und β zu; das ϑ verändert sich nicht. Bei peroraler Pipradrol-Gabe von 2 mg hingegen ist die Abnahme von α und die Zunahme von ϑ bemerkbar, β -Veränderungen fehlen.

Methylphenidat. Bei peroraler Gabe von 10 mg Methylphenidat nehmen das α und ϑ ab und β nimmt zu.

Dimethylaminoethanol (DMAE). Bei peroraler Gabe von 20 mg DMAE nimmt α in geringem Maße ab, β nimmt zu und ϑ ab.

Die Beobachtungen über die obenerwähnten Psychopharmaka sind in der folgenden Tabelle wiedergegeben (Tab. 5).

Diese Resultate lassen sich folgendermaßen zusammenfassen: Die Neuroleptika, insbesondere Neuroplegika wie gerade Chlorpromazin und Reserpin führen eine Zunahme des α und eine Abnahme von ϑ und β oder eines von beiden herbei; bei Medikation der Psychomotorstimulantia wie Pipradrol, DMAE u. dgl. steigt die Erscheinungshäufigkeit des α und die des β an. Das ϑ zeigt keine konstante Veränderung.

Ferner konnte INANAGA nach Kaffeetrinken, der als Mittel für seelische Anregung bekannt ist, die Abnahme von α , die Zunahme des β und eine leichte Abnahme des ϑ feststellen. Als Thymoleptikum wirkt das Imipramin, welches unter den Antidepressantia vorzugsweise die Fähigkeit hat, depressive Zustände recht elektiv zu bessern und dazu auf das Zentralnervensystem beruhigend zu wirken, im Sinne einer Reizwirkung auf die 3 Komponenten, α , ϑ und β , in Richtung einer

Psychotropic drugs	Band		
	ϑ	α	β
<i>Tranquillizer</i>			
Reserpine	↕	↑	↓
Chlorpromazine	↕	↑	↓
Levomepromazine	↓	↑	↕
Prochlorperazine	↓	↑	↕
Perphenazine	↓	↑	↕
Promethazine	↕	↑	↓
Azacyclonol	↑	↓	↓
<i>Antidepressantia</i>			
Imipramine	↕	↕	↕
Pipradrol	↑	↓	↑
Methylphenidate	↓	↓	↑
Dimethylaminoethanol	↓	↓	↑

Tabelle 5. Veränderungen der MV durch akute Verabreichung der Psychopharmaka. Zu- und Abnahme der Erscheinungshäufigkeit des ϑ -, α - und β -Bandes. ↑ zeigt die Zunahme der Erscheinungshäufigkeit; ↓ deren Abnahme; ↕ undeutliche Tendenz.

Ausbalancierung. Das Azacyclonol, welches wohl zu den Neuroleptika gehört, ist eine Allotropie des Pipradrols und nimmt unter den Neuroleptika eine recht spezifische Stellung ein. Bemerkenswert ist, daß dieses Mittel, das in der Wirkung auf die MV von anderen Tranquillizern ziemlich verschieden ist, dem Pipradrol sehr ähnlich wirkt.

Infolgedessen kann man sagen, daß zentralhemmend wirkende Arzneimittel – wie die Neuroleptika – die Neigung zum Anstieg des α aufweisen, während Arzneimittel mit einer Reizwirkung auf das Zentralnervensystem – wie die Psychomotorstimulantia oder Kaffee – die Neigung zum Abfall des α zeigen.

Setzt man nun das MV-Verhalten zu den Psychosen und psycho-

physiologischen Vorgängen in Beziehung, so ergibt sich Folgendes: Alle untersuchten Fälle wurden in 3 Gruppen: 1. klinisch normale Personen, 2. klinische Schizophrene und 3. Neurotiker eingeteilt; dann wurde die Erscheinungshäufigkeit der MV in diesen Gruppen miteinander verglichen. Das α erscheint in der Gruppe der Normalen am häufigsten. Die Häufigkeit verringert sich in der Gruppe der Neurotiker ziemlich und in der Gruppe der Schizophrenen ganz erheblich. Am häufigsten erscheint das ϑ bei Neurotikern und das β bei Schizophrenen. Der neurotische Patient mit starken Angstgefühlen zeigt gewöhnlich ein geringeres α als der ohne solche (NAKAZAWA). Vergleicht man bei Angstneurotikern die Zeit, in der schwere Symptome vorhanden sind, mit Zeiten, in denen die Symptome durch Hypnotherapie abgeklungen sind, so ergibt sich, daß in der letzteren das α zu- und das ϑ abnimmt. INANAGA und KURAUCHI beschrieben, daß, wenn man einem Gesunden unter Hypnose eine Angst- oder Schmerzsuggestio gibt, das α abfällt, während es ansteigt, wenn man ihm eine angenehme Empfindung oder eine psychosomatische Entspannung vermittelt. OHARA berichtet, daß bei normalen Personen eine durch Geistesarbeit verursachte seelische Spannung die Zunahme von ϑ und die Abnahme von α , und eine seelische Entspannung die Zunahme von α auslöst, und daß eine durch opticoakustische Reizung hervorgerufene sexuelle Erregung die Zunahme von ϑ und die Abnahme von α bringt, während eine unter Hypnose hervorgerufene Suggestio einer Gemütsruhe eine ausgeprägte α -Prävalenz erscheinen läßt.

Nach diesen Beobachtungen liegt der Schluß nahe, daß die Erscheinungshäufigkeit von α beim Gesunden viel größer ist als bei Neurotikern und Schizophrenen und daß sie sich oft selbst bei Neurotikern bei Besserung der Symptome steigern kann.

Es ist auch denkbar, daß beim normalen Menschen die Gemütsruhe viel leichter gewonnen wird als bei Psychosen und Neurosen und daß es auch dem Neurotiker mit der Besserung der Symptome leichter wird, seine Gemütsruhe wiederzugewinnen. Damit stellt sich auch die Zunahme von α ein. Auch beim Normalen kommen die Abnahme von α und die Zunahme von ϑ oder β unter den die Gemütsruhe störenden Bedingungen wie Geistesspannung, Unruhe, Erregung u. a. vor.

Aus diesen Tatsachen wird die klinische Bedeutung der durch Gabe der Psychopharmaka bedingten Veränderungen der MV ziemlich genau verständlich. Daraus folgt, daß die MV als objektiver Indikator für die Einflüsse der Psychopharmaka auf den menschlichen Körper sowie für deren Einflüsse auf die psychophysiologischen Vorgänge von großem Nutzen ist.

b) *Veränderungen der MV durch die Psychopharmakotherapie.* Die zu langdauernder Behandlung verwendeten Psychopharmaka schienen auf den menschlichen Organismus Einflüsse auszuüben, die sich von der akuten Dosierung unterscheiden. Deshalb wird hier berichtet, wie die dauernde Abgabe der Psychopharmaka die MV verändert und wie eng die Beziehungen der Veränderungen der MV zu den Erfolgen der Psychopharmakotherapie sind.

An 7 Schizophrenen, die mit Fluphenazin behandelt wurden, beobachteten MUKASA und Mitarb. die MV in Abständen von einer Woche, vor Beginn der Kur, eine Woche nach Dosierung von täglich 1,5 mg des Mittels, dann eine Woche nach Dosierung von 3,0 mg und weiterhin eine Woche nach Dosierung von 4,5 mg sowie schließlich eine Woche nach Beendigung der Kur. Zu diesen Versuchen diente ein Frequenzanalysator mit 7 Bändern von ϑ_1 (4–6 Hz), ϑ_2 (6–8 Hz), α_1 (8–10,5 Hz), α_2 (10,5–13 Hz), β_1 (13–18 Hz), β_2 (18–23 Hz) und β_3 (23–30 Hz). Sie wiesen darauf hin, daß, obwohl vor der Kur das α_1 prävalent war und das ϑ_2 und α_2 auch eine höhere Erscheinungshäufigkeit zeigten, die α -Prävalenz im Verlaufe der Behandlung immer auffälliger wurde und dieser Zustand sogar nach Beendigung der Kur anhielt. Die Verteilung der Durchschnittswerte in diesen 7 Fällen veränderte sich aber dadurch nicht wesentlich.

Zehn Schizophrenen verschrieb YAMAUCHI peroral Perphenazin, und zwar täglich 3,0 mg für 5 Tage und vom 6. Tage an 4,0 mg für weitere 5 Tage, und bestimmte die MV vor Beginn und am 10. Tage der Kur mit Hilfe eines Frequenzanalysators mit 7 Bändern von ϑ_1 (6–7 Hz), ϑ_2 (7–8 Hz), α_1 (8–9,5 Hz), α_2 (9,5–11 Hz), α_3 (11–12,5 Hz), β_1 (12,5–14 Hz) und β_2 (14–16 Hz). Der Durchschnitt in den 10 Fällen ergab einen auffallenden Anstieg des ϑ und β , und die Abnahme des α . In jedem einzelnen Fall aber, dessen Symptome sich durch die Behandlung beheben ließen, war eine Zunahme des α zu finden. Es scheint daher zwecklos zu sein, die Durchschnittswerte aller Fälle als eine einheitliche Gruppe zu untersuchen, ohne die klinischen Erscheinungen in jedem Einzelfall zu beachten.

Daß diese Beobachtungen mit Perphenazin ziemlich ausgeprägte Veränderungen im Durchschnittstyp der Frequenzverteilung ergaben, ist vielleicht auf die geringe Zahl der untersuchten Fälle zurückzuführen. Vergleichende Betrachtungen über die Frequenzverteilung der MV in 2 Gruppen von je 40 unter fast gleichen Bedingungen befindlichen Schizophrenen, von denen eine Gruppe sich noch in der Psychopharmakotherapie befand und die andere in keiner physikalisch-chemischen Behandlung stand, zeigten fast keine signifikanten Unterschiede. Wenn

auch diese Unterschiede vorhanden zu sein scheinen, so sind sie doch induktivstatistisch nicht bedeutsam, so daß es keinen Sinn hätte, in der Pharmakotherapie befindliche Patienten als eine Gruppe summarisch zu beobachten (YAMAUCHI).

Darauf wurde die Untersuchung über die Einflüsse von Fluphenazin auf die MV an 17 Schizophrenen unter kritischer Würdigung jedes einzelnen Falles durchgeführt. Bei der nacheinanderfolgenden täglichen Fluphenazin-Gabe von 1,0, 2,0 und 3,0 mg alle 5 Tage erfolgte die Bestimmung der MV vor Beginn und am 5., 10. und 15. Tage der Kur. Danach wurde auch diese Kur fortgesetzt und der Behandlungserfolg zur Zeit des Kurabschlusses mit der MV verglichen. In den Fällen, wo die Frequenzverteilung der MV vor der Dosierung eine typische Form dargestellt hatte, waren unabhängig vom Vorhandensein der durch Fluphenazin-Gabe bedingten MV-Veränderungen nur geringe Veränderungen der Symptome nachweisbar, während in anderen Fällen, die vor der Behandlung eine atypische Verteilungsform aufgewiesen hatten, durch die Medikation sich der Übergang in die typische Form oder die Neigung dazu im Verlaufe der Behandlung zeigte.

In den letztgenannten Fällen wurden viele therapeutische Erfolge verzeichnet (YAMAUCHI).

Fast das Gleiche konnte man auch bei Triflupromazin-Medikation feststellen. Es wurde nämlich mitgeteilt, daß in den Fällen, die durch die Behandlung eine auffallende Steigerung der Erscheinungshäufigkeit vom α oder einen deutlichen Übergang in die typische Form zeigten, gute therapeutische Erfolge erzielt wurden (YAMAUCHI).

Die mit Thioridazin behandelten Fälle wurden in 2 Gruppen, und zwar mit und ohne Erfolg, geteilt und aus dem Vergleich der MV vor Beginn und am Ende der Kur zwischen diesen 2 Gruppen ergab sich, daß die Frequenzverteilung am Ende der Kur in der Gruppe mit ausgezeichnetem Erfolg im Gegensatz zu der Gruppe ohne Besserung eine typische, und zwar ziemlich gleichbleibende Form zeigt.

Mit Hilfe eines Frequenzanalysators, dessen Band von 6–13 Hz in Teile von je 1 Hz unterteilt war, beobachteten MUKASA et al. Veränderungen der MV bei mit Chlorpromazin behandelten Fällen. Nach ihrer Angabe soll die Erscheinungshäufigkeit des Bandes von 11–12 Hz in der Erfolgsgruppe während der Kur fast gleich und am größten sein. Auch die Frequenzverteilung stellt eine gleichbleibende Form dar, während sie in der «Nichterfolgsgruppe» sehr wechselnd ist, was die Zusammenhänge zwischen der MV und dem therapeutischen Erfolg der Psychopharmaka deutlich erkennen läßt (Abb. 20).

Wir halten es für notwendig, auf die Zusammenhänge zwischen der

MV und dem Parkinsonsyndrom, welches oft die Behandlung mit Phenothiazinderivaten begleitet, hinzuweisen. Wenn auch das Parkinsonsyndrom bei akuter Dosierung nicht erscheint, so tritt es doch oft bei Dauerbehandlung auf; dabei nimmt z. B. das α ab und das ϑ zu. Nebenbei bemerkt, unter den Phenothiazinderivaten ist das Perphenazin ein Mittel, welches das Parkinsonsyndrom relativ leicht hervorrufen kann.

Während der Behandlung mit Chlorpromazin beobachtet KURITA, daß die Frequenz der MV vor dem Erscheinen des Parkinsonsyndroms die Neigung zur Verlangsamung hat. Manche Parkinsonkranken zeigen zum ϑ -Band von 4–8 Hz gehörige Schwingungen, und bei Dosierung von Antiparkinsonpharmaka wie Diethazin nimmt das α zu und ϑ ab.

Aus diesen Befunden ist zu schließen, daß die Zunahme des ϑ bei

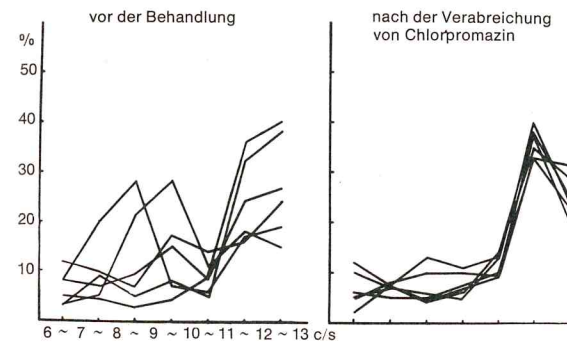


Abbildung 20 a. 6 Fälle der MV mit Behandlungserfolg. Links: vor der Kur. Rechts: während der Kur mit Behandlungserfolg.

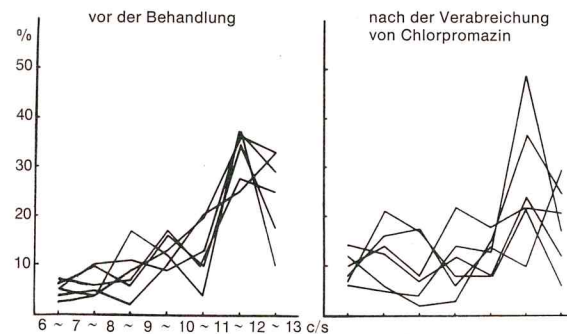


Abbildung 20 b. 6 Fälle der MV ohne Behandlungserfolg. Links: vor der Kur. Rechts: während der Kur.

dauernder Gabe von Perphenazin die Manifestation des Parkinsonsyndroms andeutet.

Während der Behandlung mit den 3 Medikamenten, Perphenazin, Fluphenazin und Triflupromazin kam das Parkinsonsyndrom mit der Steigerung der Erscheinungshäufigkeit des ϑ -Bandes zur Beobachtung. Dabei vergrößerte sich die MV-Amplitude (YAMAUCHI).

Bei Melancholikern wurde eine Dauerschlafkur mit Chlorpromazin,

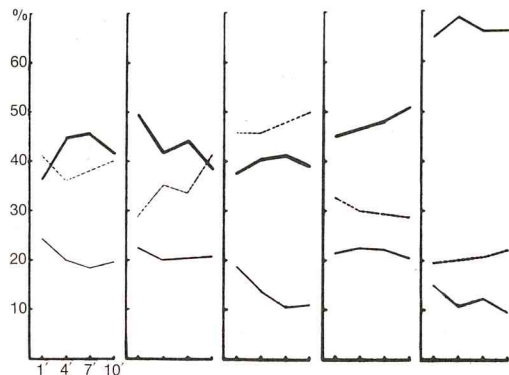


Abbildung 21. 5 Fälle (Gruppe A) ausgezeichneten Erfolgs, der durch Dauerschlafkur mit Chlorpromazin, Sulfonal und Isomytal erzielt wurde. Veränderungen des prozentualen Energieanteils von α , β und ϑ im Verlaufe der Behandlung. Dicke Linie: α . Punktierte Linie: β . Dünne Linie: ϑ . Ordinate: Energie in %. Abszisse: Zeitverlauf (Minute) nach Bettruhe.

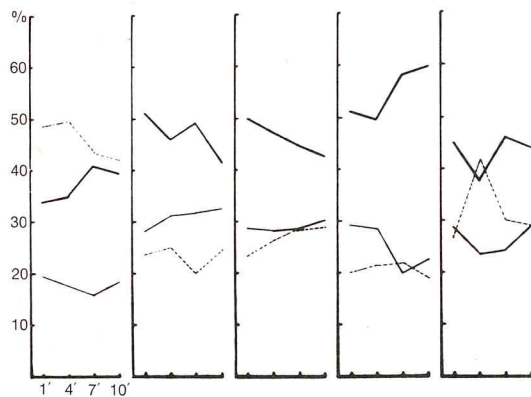


Abbildung 22. Veränderungen der MV bei Fällen (Gruppe B) ohne so gute Erfolge wie in Gruppe A im Verlaufe der Behandlung.

Sulfonal und Amobarbital in Gemischen vorgenommen. Es standen hier Parallelversuche bei der MV von 5 durch diese Kur geheilten Kranken und der MV von 5 Patienten zur Verfügung, die fast keine Besserung der Symptome zeigten. Bei den gebesserten Patienten war eine auffallende Zunahme des α nach Beendigung der Kur zu beobachten, während bei den Kranken ohne Behandlungserfolg das α nicht zunahm und unverändert wie vor der Kur blieb (INANAGA und ISHIBASHI) (Abb. 21 und 22).

Die obenerwähnten Beobachtungsergebnisse seien folgendermaßen kurz zusammengefaßt: Es besteht eine deutliche Korrelation zwischen dem mit Tranquillizern, insbesondere mit Neuroplegika erzielten Behandlungserfolg und den Veränderungen in der Frequenzverteilung der MV.

Wenn die Symptome durch die Pharmakotherapie verbessert werden, steigt die Erscheinungshäufigkeit des α -Bandes an und die Frequenzverteilung geht in eine typische Form über. Der Gipfel der Erscheinungshäufigkeit liegt meistens bei dem Band von 11–12 Hz. Demgegenüber ist in den Fällen ohne Behandlungserfolg keine Zunahme des α erkennbar, und die Veränderung der Frequenzverteilung ist atypisch.

Damit wird verständlich, daß eine auffallende Zunahme der Erscheinungshäufigkeit des ϑ -Bandes und die Veränderung in der Amplitude die Manifestation des Parkinsonsyndroms andeuten können. Es sei aber noch hinzugefügt, daß in extremen Fällen die MV verschwindet und an ihrer Stelle der Tremor in den Vordergrund rückt. Deshalb ist die Hypothese aufgestellt worden, daß, wenn das β -Band in der Frequenzverteilung der MV prävalent ist, die relative Spannung des Parasympathicus erscheint, und daß, im Gegensatz dazu, wenn das ϑ -Band prävalent ist, der Sympathicus relativ vorherrscht (INANAGA und SATO). Trifft die α -Prävalenz als Ausdruck des Parkinsonsyndroms für dieses Gesetz nicht zu, so soll man das Phänomen als einen durch Amplitudensteigerung stattfindenden Übergang der MV in den Tremor betrachten.

Muskelbeanspruchung und MV

YOSHII et al. (1963, 1965) haben die Wirkung des Muskeltrainings auf die MV angewandt. Abb. 23 zeigt den Unterschied der MV je nach den verschiedenen Muskeln und je nach den einzelnen Vpn. Wenn man das Resultat des Frequenzspektrums und seine Höhepunkte beobachtet, kann man daraus interessante Schlüsse ziehen.

In den folgenden Bildern sind senkrecht von links: Delta (1-1,5; 1,5-2; 2-2,5; 2,5-3; 3-3,5; 3,5-4); Theta (4-5; 5-6; 6-7; 7-8); Alpha (8-9; 9-10; 10-11; 11-12; 12-13); Beta (13-14; 14-16; 18-20); Epsilon (20-22; 22-24; 24-27; 27-30).

Bei einer Vp., die länger als 3 Jahre Tennis gespielt hat, waren die MV-Amplituden am Sprungbein (= das stärker beanspruchte Bein) höher als am anderen Bein. Durch solche Beispiele wird es wahrscheinlich, daß sich die Entwicklung der Muskulatur auf die MV-Amplitude sehr stark auswirkt. Hingegen zeigte sich im MV-Frequenz-Spektrum

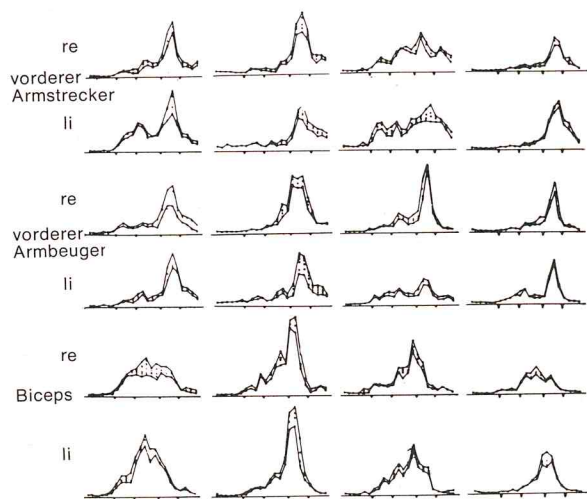


Abbildung 23. MV-Frequenzen und -Amplituden bei verschiedenen Muskeln von 4 Personen (die Punkte auf der Abszisse: 1 = Delta, 2 = Theta, 3 = Alpha, 4 = Beta).

kein eindeutiger Unterschied. Was die Frequenz betrifft, ist das Theta-Band in der Kindheit dominierend; in der Jugendzeit ist das Beta-Band überwiegend.

Die Beziehung zwischen MV und der Pulsunterbindung wurde auf folgende Weise untersucht: ein MV-Pick-up wurde auf die in der Ellenbogenkapsel liegende Arterie angelegt und die MV mit dem Pulsschlag registriert; es zeigten sich große MV-Amplituden im Delta- und Theta-Band. Wenn man den Oberarm abbiegt, so verschwinden die Delta- und Theta-Elemente. In einem anderen Versuch wurde das Pick-up auf den Oberarmbeuger einer liegenden Person gelegt. Diese Person lag im Bett und streckte die Arme aus. Auf den Arm wurden Gewichte gelegt (0,5 kg, dann 1 kg, 2 kg). Die Zeit der Gewichtsaufgabe betrug je eine Minute. Durch diese Gewichte wurde die MV-Amplitude größer, besonders die Amplitude im Alpha-, Beta- und Epsilon-Band. Je schwerer das Gewicht war, desto höher wurde die Amplitude im Theta-Band. Nach Entfernung des Gewichts wurde die MV der Versuchsperson nach 1 bis 2 Minuten wieder normal (Abb. 24). Auch

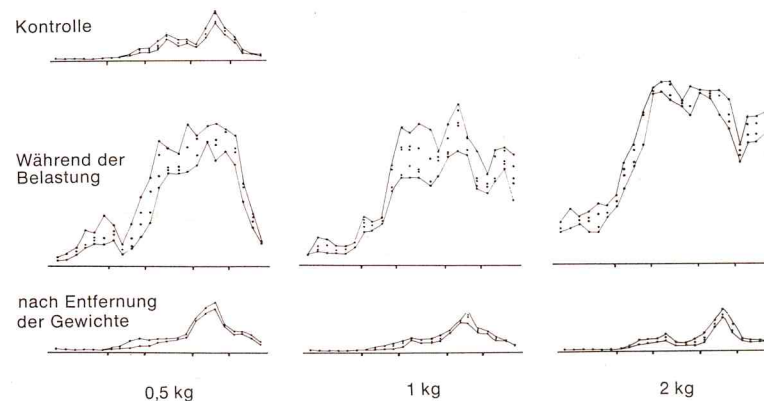


Abbildung 24. Amplitudenzunahme bei Gewichtsbelastung (Frequenzen wie in Abbildung 23).

am Streckermuskel des Oberarms wurde die MV-Amplitude durch ein Gewicht im Alpha-, Beta- und Epsilon-Band größer: je schwerer das Gewicht war, desto größer wurde die Amplitude im Theta- und Delta-Band, besonders im Theta-Band. Nach Entfernung des Gewichts normalisierte sich die MV (bei 0,5 kg nach 1 Minute 30 Sekunden; bei 1 kg nach 2 Minuten, bei 2 kg nach 3 Minuten).

Anwendung der MV in der klinischen Medizin

A. ANWENDUNG DER MV IN DER NEUROLOGIE

Es gibt nur wenige Untersuchungen über MV-Veränderungen bei Erkrankungen des Nervensystems. SUGANO hat mit Katzen experimentiert und den Einfluß der Rückenmarks-Nerven auf die MV untersucht. Am Menschen sind derartige Untersuchungen interessanter (Abb. 25). Ein 21-jähriger Patient, dessen Wirbelsäule bei einem Unfall verletzt wurde (Querschnitts-Lähmung), diente als Versuchsperson (14 Tage nach dem Unfall). MV und EKG wurden gleichzeitig registriert (OZAKI et al.,

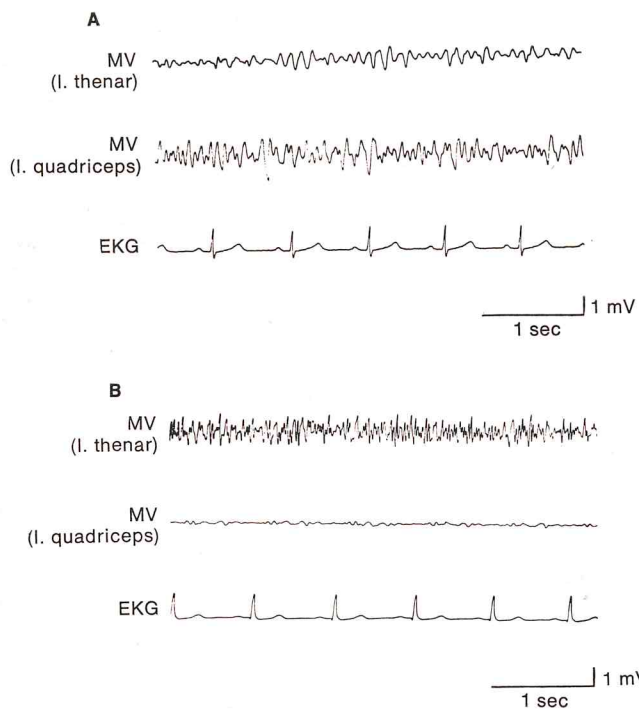


Abbildung 25. Vergleich der MV von einem Gesunden (A) und einem Kranken mit Querschnittslähmung (B).

1966). In Abb. 25 werden im Vergleich dazu Registrierungen an gesunden Versuchspersonen gezeigt. Die MV am quadrizeps verschwindet beim Kranken fast vollkommen, es bleibt nur der «factor due to ballistocardiogramm» übrig. Aus solchen Versuchen ergibt sich, daß das Rückenmark großen Einfluß auf die Entstehung der MV hat. YOSHII et al. haben Experimente mit Poliomyelitis-Kranken durchgeführt. Die MV wurde von gesunden und von erkrankten Stellen abgenommen und miteinander verglichen. Die Amplitude der MV an den erkrankten Muskeln war kleiner als die an gesunden, aber die Frequenz war an den erkrankten Teilen größer als an den gesunden. Nach SUGANO dominierte das Theta-Band am musculus quadrizeps femoris eines querschnittgelähmten Patienten (unterer Teil gelähmt). Bei Hemiplegia-Patienten zeigt sich die MV-Frequenz im Theta-Band und Alpha-Band stärker an der gelähmten Seite als an der gesunden. TATEISHI (1963) hat die MV von den Augenlidern eines Patienten abgeleitet, dessen Gesichtsnerv gelähmt war, und festgestellt, daß die MV-Frequenz während des Genesungsprozesses sich allmählich an die MV-Frequenz des Gesunden angleicht. Im Folgenden wird die Beziehung zwischen autonomem Nervensystem und MV besonders im Zusammenhang mit den Gehirnwellen beschrieben. INANAGA und SATO (1957) haben darüber berichtet. Vermutlich gibt es jetzt in Japan 200 000 bis 300 000 Personen, deren Gehirn verletzt ist; 70 % bis 90 % davon haben die Sprechfähigkeit verloren. Bei diesen Patienten wurde bisher die sogenannte «speech therapy» angewendet (HIROTO und TATEISHI, 1963). Wir versuchten, die MV solcher Patienten zu untersuchen. Als Pick-up verwendeten wir ein piezoelektrisches (Durchmesser = 3 cm, Dicke 1,5 cm, Gewicht 1,5 g). Als Meßstelle haben wir statt des Daumenballens die Bauchdecke gewählt (je 3 cm rechts und links vom Nabel), weil diese Stelle besonders stabil ist. Bei den Registrierungen wurde auf die Zimmertemperatur genau geachtet (Behaglichkeitstemperatur) und eine angenehme Atmosphäre herzustellen versucht. Einige Minuten nachdem sich die Vpn. hingelegt hatten und Beruhigung eingetreten war, ließen wir Vokale aussprechen (a, e, i, o, u). Sofort darauf haben wir mit einem Stroboskop (10 c/sec) Phosphenreize gegeben und die Veränderung der MV registriert. Als Vpn. dienten uns Patienten vom 5. bis zum 15. Lebensjahr; die Patienten erhielten jeden Tag «speech therapy» und Chlordiazepoxid. Wir registrierten die MV vor der Therapie, 14 Tage nach der Behandlung, 1, 2 und 3 Monate danach. Unter den Patienten befanden sich folgende Fälle: Athetose (7 Vpn.), Tremor (2 Vpn.), motorische Aphasie (2 Vpn.) und 2 Vpn., deren Krankheitsbild gemischt war. Im Versuch ließen wir die Vpn. Vokale

aussprechen und registrierten die MV dabei. Als Kontrolle diente eine Person (18 Jahre alt, männlich); bei ihr vergrößerte sich die MV-Welle nur während der Aussprache der Vokale. Beim Athetose-Kranken (11-jähriges Mädchen) war ein Monat nach der Therapie eine allmähliche Annäherung der MV an die Werte des Normalen bemerkbar. Diese Vp. begann ziemlich fließend zu sprechen, und die Zeit, die sie für die Aussprache der Vokale brauchte, wurde kürzer. Die MV-Wellen waren im Gegensatz zur Athetose sehr klein. Nach der Therapie begann sich die Amplitude der MV zu vergrößern und näherte sich allmählich der des Normalen.

Bei Gehirngeschädigten mit Sprachstörungen ist es sehr schwierig, die Dosen der Medikamente zu bestimmen. Vielleicht kann die MV-Forschung in dieser Hinsicht Hilfe bringen, indem man die Einwirkung des Medikaments auf den Heilungsfortschritt durch Chlordiazepoxide untersucht. Durch MV-Registrierungen kann man bestimmen, wie lange man dieses Medikament verabreichen soll; wenn man es 1 bis 2 Monate verwendet, beginnt die MV stabil zu werden. Wird das Medikament noch einen weiteren Monat gegeben, zeigt sich kein weiterer Einfluß auf die MV, d. h. in diesem Fall hat die Wirkung des Medikaments aufgehört, und weitere Heilungsfortschritte würden nur durch «speech therapy» erzielt werden können.

Im Hinblick auf das Feststellen der Krankheitsstadien ist die MV von großer Bedeutung. Durch Phosphenreizung mittels Stroboskop (10 Hz) wurde die MV rhythmisch größer.

Bei Athetose-Kranken werden durch Verabreichung von Chlordiazepoxiden die MV-Wellen fast normal. Bei Registrierungen an der Bauchdecke ist die Häufigkeit des Theta-Bandes im Vergleich zu der des Alpha-Bandes relativ hoch. Durch die Anwendung von Beruhigungsdosen wurden die Alpha-Wellen zuerst stärker, dann verstärkten sich die Theta-Wellen, und die Beta-Wellen wurden langsamer. Dieser Fall zeigt die Brauchbarkeit der MV in der Kontroll-Therapie bei den Gehirngeschädigten. Auch für Patienten mit erkrankten Gesichtsnerven mußte sich die MV einsetzen lassen. Es wurde die MV an der kranken und an der gesunden Gesichtshälfte solcher Patienten registriert, und nach der MV-Analyse wurde ATP und Vitamin B₁ als Medikament verabreicht. Mit dieser Therapie wurden bis jetzt sehr gute Erfolge erzielt. Auch in diesem Fall ist die MV zur Feststellung der Heilungsphasen verwendbar.

B. DIE ANWENDUNG DER MV IN DER PSYCHOSOMATISCHEN MEDIZIN

Bei den psychosomatischen Erkrankungen ist die Homöostase des autonomen Nervensystems gestört, daraus ergeben sich verschiedene Krankheitsmerkmale. Die MV ist von psychischen Faktoren, die mit dem autonomen Nervensystem zusammenhängen, sehr abhängig, daher sind folgende Versuche durchgeführt worden.

1. Schlaf, autogenes Training, Meditation (Gebet) und MV

Diese drei Vorgänge haben alle eine psychische Beruhigung zur Folge. Wir haben sie daher in diesem Kapitel zusammengefaßt. INANAGA und KURAUCHI (1959) haben bei hypnotisierten Versuchspersonen Veränderungen der MV beobachtet. In beruhigtem Zustand nahm die MV im Alpha-Band zu; im erregten Zustand nimmt die Häufigkeit der MV-Frequenzen außerhalb des Alpha-Bandes zu. OHARA (1960) hat an 4 männlichen Nervenkranken die Veränderungen der MV beobachtet. Zuerst wurde die MV 10 Minuten nach dem Eintreten der Beruhigung registriert. Nachher mußten die Versuchspersonen vom Bett aufstehen, und der Versuchsleiter hypnotisierte sie mit Suggestionen, welche die Vpn. in einen sehr angenehmen Zustand versetzen sollten. Die Vpn. waren vorher nach der Wolberg-Skala untersucht worden. Im Zustand der Hypnose trat deutlich eine Dominanz des Alpha-Bandes auf. Den gleichen Versuch hat IKEMI (1966) gemacht und festgestellt, daß die MV sich je nach der Instruktion verändert. Wenn die Amplitude der MV im beruhigten Zustand als 1 bezeichnet wird, dann beträgt sie im Zustand des Zorns 3,8; im Zustand der Bewegung 2,7; im Zustand der Trauer 1,7; im Zustand der Furcht 1,5.

In weiteren Versuchen wurden die MV-Veränderungen durch autogenes Training beobachtet. OHARA (1960) hat den Vpn. suggeriert, vollkommen ruhig zu sein. In diesem Zustand hat er dann die MV abgeleitet, und es zeigte sich ein deutliches Überwiegen des Alpha-Bandes gegenüber dem Beta- und Theta-Band.

Gebet: Die MV-Veränderungen durch das Gebet haben KUWAHARA et al. (1965) untersucht. Bei 6 Vpn. zeigten sich die größten MV-Amplituden im Alpha-Band kurz vor dem Gebet. Bei zwei weiteren Vpn. befanden sich die größten MV-Amplituden im Theta-Band. Zusammenfassend kann gesagt werden: bei den Vpn., die durch das Gebet vollkommen beruhigt wurden, tritt das Alpha-Band klarer hervor.

2. Beziehungen zwischen MV und Emotionen

Zuerst soll die Einwirkung der Angst auf die Veränderung der MV beschrieben werden. Nach OHARA (1960) zeigte sich das Theta-Band stärker bei den Angstneurotikern, das Alpha-Band war verhältnismäßig niedrig; je nach dem Genesungszustand tritt das Alpha-Band wieder stärker hervor.

Rauschzustand: Den Rausch kann man in zwei Gruppen einteilen: in den psychischen (= Berausung z. B. durch Musik) und den physischen (z. B. durch Alkohol). Nach ICHIHARA (1963) verändert sich das Muster (pattern) der Gehirnwellen beim psychischen und beim physischen Rausch deutlich. Nach INANAGA (1960) überwiegt in der MV das Theta-Band im Zustand der Angst, Depression oder Reizung; wenn das Beta-Band überwiegt, so weist das möglicherweise auf einen Depressionszustand hin.

3. Musik und MV

Vpn. waren 10 normale gesunde Frauen und Männer. 10 Minuten nach Eintreten der Beruhigung wurde diesen 10 Personen drei Minuten lang Musik geboten; dann wurde die MV von den Augenlidern abgeleitet. Kurz nach dem Beginn der Musik nimmt die Häufigkeit des Beta-Bandes zu; die des Theta-Bandes nimmt plötzlich ab. HOMMA (1966) hat an 173 Studenten einen ähnlichen Versuch gemacht. Ein weiterer Versuch mit Musik wurde mit 40 Frauen im Alter zwischen 20 und 61 Jahren durchgeführt. Je 10 Männer und Frauen wurden zu einer Versuchsgruppe zusammengefaßt. Nach der Beruhigung hörten sie 5 Minuten die 6. Symphonie von Beethoven. Dann kam eine Pause, nachher wieder 5 Minuten Musik (Tschaikowsky, Pathétique). Die 2. Gruppe hatte die gleiche Versuchsanordnung, nur die Reihenfolge der Musikstücke wurde umgekehrt. Die MV wurde vom Daumen abgenommen. Die MV wurde mit dem Counter nach jeder zweiten Minute 30 Sekunden lang registriert. Die Musik wirkt wie ein Thymoleptikum auf den Menschen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß das Prozent des Alpha-Bandes bei Tschaikowskys Pathétique abnimmt und bei Beethovens 6. Symphonie zunimmt. Bei der Gruppe, in welcher zuerst die 6. Symphonie gehört wurde, nimmt das Alpha-Band kaum zu; dies läßt sich vielleicht so erklären, daß der Zustand der Beruhigung durch die 6. Symphonie verzögert wurde; durch die darauffolgende Pathétique

von Tschaikowsky nimmt das Alpha-Band plötzlich ab, und Theta und Beta nehmen zu. Um den Beruhigungs-Zustand wieder herzustellen, eignet sich eine «reizende» Musik wie die Pathétique von Tschaikowsky besser als eine «beruhigende» Musik wie die 6. Symphonie von Beethoven. Wenn man die Ergebnisse genauer untersucht, stellt sich heraus, daß das Muster (pattern) der MV interindividuell mehr oder weniger unterschiedlich ist. Außer den psychischen und physischen Faktoren spielt bei der MV auch der Charakter der Vpn. eine Rolle (abgesehen von dem künstlerischen Geschmack und der musikalischen Bildung des Einzelnen).

C. DIE ANWENDUNG DER MV IN DER PSYCHIATRIE

Auf das Gebiet der Psychiatrie wurde die MV von INANAGA (1960) und seinen Mitarbeitern angewendet. NAKAZAWA (1961) hat die Frequenzverteilung der MV bei Geisteskranken untersucht. Die MV wurde dabei vom Ballen des Daumens der linken Hand abgenommen. Mit Hilfe eines automatischen Frequenzanalysators wurde dabei die MV in Abständen von 10 Sekunden in folgenden Frequenzbereichen aufgenommen: $\Delta_1 = 1-2$ Hz; $\Delta_2 = 2-4$ Hz; $\Theta = 4-8$ Hz; $\text{Alpha} = 8-13$ Hz; $\text{Beta}_1 = 13-20$ Hz; $\text{Beta}_2 = 20-30$ Hz; $\text{Beta}_3 = 30-60$ Hz.

1. Die MV-Frequenzverteilung bei Schizophrenie und Neurose

Versuchspersonen waren dabei 46 nach dem Zufall ausgewählte Schizophrenen und 42 Neurotiker aus ambulanten Patienten des Universitäts-spitales. In keinem Fall wurden Medikamente verabreicht. Bei allen Krankheitszuständen wurden die relativen Häufigkeiten der Theta-, Alpha- und Beta-Wellen festgestellt. Abb. 26 zeigt die Mittelwerte je nach Krankheit und vergleicht sie mit dem Mittelwert einer Gruppe von 48 geistig Normalen. Wie auf den ersten Blick erkennbar ist, ist der Häufigkeitskoeffizient der Alpha-Wellen bei geistig Normalen am höchsten, bei der Gruppe der Schizophrenen am niedrigsten. Die Neurotiker liegen in der Mitte. Umgekehrt ist jedoch der Häufigkeitskoeffizient der Beta-Wellen bei Schizophrenen am höchsten, bei den Normalen am niedrigsten. Die Neurotiker liegen wiederum dazwischen. Die Neurotiker wurden nach dem Stärkegrad der subjektiv beschriebenen Angst in die Gruppen «unsicher++», «unsicher+» und «unsicher-» eingeteilt und die Frequenzverteilung der MV bei diesen 3 Gruppen

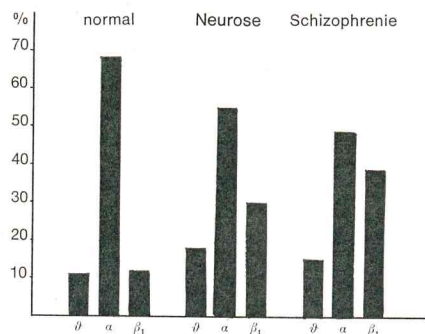


Abbildung 26. Häufigkeiten von Alpha-, Beta- und Theta-Frequenzen bei 48 Gesunden, 42 Neurotikern und 46 Schizophrenen (Nakazawa 1961).

untersucht. Die 9 Vpn. der Gruppe «unsicher++» sind ausgesprochene Angstneurotiker. Die Vpn. der Gruppe «unsicher+» leiden an verschiedenen Neurosearten, 11 davon klagten über Angstgefühle. Die Gruppe «unsicher-» umfaßt 22 Vpn. Der Häufigkeitskoeffizient von Alpha-Wellen ist bei der Gruppe «unsicher++» im Vergleich zu den anderen Gruppen sehr niedrig, während der Häufigkeitskoeffizient von Beta-Wellen hoch zu sein pflegt. Zusammengefaßt zeigt sich als Ergebnis der Anwendung von Signifikanztests (t-Test), daß bei den Alpha-Wellen zwischen Normalen und Schizophrenen sowie zwischen den 3 Gruppen der Neurotiker ein klarer Unterschied besteht, der am Signifikanzniveau von 5 % gesichert ist. Sowohl bei Schizophrenen wie bei Neurotikern ist der Häufigkeitskoeffizient der Alpha-Wellen niedriger als bei Normalen. Bei den Beta-Wellen kann ein klarer Unterschied am 5-%-Signifikanzniveau zwischen Normalen und Schizophrenen und Neurotikern festgestellt werden.

2. Atypische Psychose und die Frequenzverteilung der MV

Es wurden die Frequenzverteilungen der MV bei 15 Vpn. untersucht, bei denen atypische Psychosen diagnostiziert waren. Der Ablauf dieser Krankheiten ist jeweils periodisch. Zwischen den einzelnen Krankheitsperioden ist eine klare Normalperiode zu beobachten. Dieser Verlauf ist verschieden vom Zyklus des manisch-depressiven Irreseins. Es wäre nun wünschenswert, denselben Patienten sowohl während der Krankheitsperiode als auch während der gesunden Periode untersuchen zu können. Aus verschiedenen Gründen konnte ein solcher Versuch nur

bei einer einzigen Patientin durchgeführt werden, 5 Vpn. wurden in ihrer Normalperiode, 9 Vpn. nur in ihrer Krankheitsperiode untersucht; dazu kommt die Patientin, die in beiden Perioden untersucht wurde, so daß insgesamt 6 Personen in der Normal- und 10 Personen in der Krankheitsperiode untersucht wurden. Dabei wurde die durchschnittliche Frequenzverteilung festgestellt. Abb. 27 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Frequenzen in den einzelnen Bändern. Der Häufigkeitskoeffizient von Alpha-Wellen ist in der gesunden Periode höher. Wenn man einen Vergleich mit Abb. 26 durchführt, so zeigt sich, daß die Frequenzverteilung in der kranken Periode den Schizophrenen sehr ähnlich ist. Die Frequenzverteilung in der gesunden Periode weist im Vergleich zu geistig Normalen einen niedrigen Häufigkeitskoeffizienten von Alpha-Wellen auf, während die Beta-Wellen hoch liegen. Die Verteilung ist also verschieden von derjenigen bei normalen Personen.

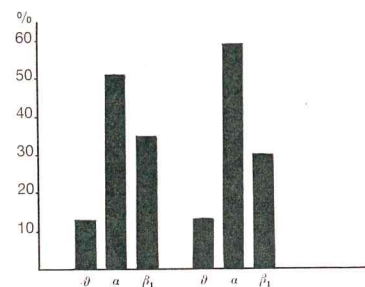


Abbildung 27. Häufigkeit der Frequenzen bei 15 Patienten mit atypischen Psychosen in der kranken (a) und gesunden (b) Periode.

3. Veränderungen der Frequenzverteilung der MV durch Phospheneinfluß

Zunächst eine kurze Erklärung, warum ein solcher Versuch durchgeführt wurde: die MV-Frequenzverteilung kann für die Beurteilung des Spannungszustandes der Skelettmuskulatur verwendet werden, aber auch als ein psychophysiologisches Kriterium des Angstgefühles, wie es durch Untersuchungen an Geisteskranken nachgewiesen wurde. Wenn man die MV besonders zum letzteren Zweck einsetzen will, dann erscheint es notwendig, die Vpn. in einen Erregungszustand zu versetzen und die Verschiedenheit der Reaktion in der Frequenzverteilung der Mikrovibration zu untersuchen. So haben z. B. MALMO und SHAGASS (1949) Neurotiker und Schizophrene mit akuten Symptomen in Erregung versetzt, und zwar durch einen Hitze-Schmerz auf der Stirn. Die Reaktion wurde durch die gleichzeitige Registrierung der Fingerbewegung des EMG, des Pulses, der Atmung, der GSR usw. beobachtet. MALMO und SHAGASS (1949) berichten, daß die Fingerbewegungen und das EMG am besten als psychophysiologisches Charakteristikum des Angstzustandes geeignet wären. Daher hat NAKAZAWA (1961) die MV-Veränderungen bei Phosphenreizen untersucht, wobei er Lichtreize von 15 Hz während 10 Sekunden verwendete. Als Versuchspersonen wurden Neurotiker der Gruppe «unsicher++» (9 Personen), der Gruppe «unsicher+» (11 Personen) und aus der Gruppe «unsicher-» (22 Personen), zusammen also 42 Neurotiker ausgewählt, zudem 26 Schizophrene und 24 Gesunde. Beim Vergleich der Veränderung des Häufigkeitskoeffizienten der Alpha-Wellen 10 Sekunden unmittelbar vor dem Versuch und 10 Sekunden nach dem Versuch, zeigt die Gruppe «unsicher+» der Neurotiker eine relative Erhöhung des Häufigkeitskoeffizienten von Alpha-Wellen; die Gruppe «unsicher-» der Neurotiker eine relative Verminderung von Alpha-Wellen. Bei den geistig Normalen findet sich, abgesehen von wenigen Ausnahmen, keine Veränderung. Je stärker das Angstgefühl bei Neurotikern ist, desto stärker vermindert sich der Häufigkeitskoeffizient der Alpha-Wellen. Die Veränderungen bei Schizophrenen stehen im Gegensatz zu den Neurotikern mit starken Angstgefühlen. Es findet sich selten eine Abnahme des Häufigkeitskoeffizienten der Alpha-Wellen, dagegen öfters eine leichte oder mittlere Zunahme des Koeffizienten der Alpha-Wellen.

Noch eine kurze Überlegung zum Ergebnis der Untersuchung von Neurosen und Schizophrenie: bei Schizophrenen liegt im Gegensatz zu Normalen der Häufigkeitskoeffizient der Alpha-Wellen niedrig, jener der Beta-Wellen höher. Dieses Ergebnis ist nach unserem derzeitigen

Wissen auf den Unterschied im Spannungszustand der Skelettmuskulatur zurückzuführen. Wie bekannt ist, sind bei Schizophrenen oft ein besonders derber Gesichtsausdruck und eckige oder zackige Körperbewegungen zu beobachten. Die bei Schizophrenen festgestellte Frequenzverteilung der MV dürfte auch auf die Erhöhung der Skelettmuskelspannung der Patienten hinweisen. Über die Frequenzverteilung bei den atypischen Psychosen kann man wahrscheinlich dasselbe behaupten; je stärker das subjektive Angstgefühl bei Neurosen, desto niedriger ist der Häufigkeitskoeffizient der Alpha-Wellen, dagegen liegt derjenige der Beta-Wellen hoch. Das beweist den Zusammenhang zwischen der Angst und der Muskelspannung. Die Reaktion der MV auf Phosphenreize wirft weitere interessante Fragen auf. Wie oben ausgeführt, fällt bei Neurotikern mit starken Angstgefühlen der Häufigkeitskoeffizient der Alpha-Wellen klar ab, während die Beta-Wellen allgemein zunehmen. Es gibt darunter aber andere Fälle, bei denen die Theta-Wellen stark zunehmen, was als Steigerung der Muskelspannung zu interpretieren ist. Die Gesunden zeigen nur ganz geringe Veränderungen. Die Reaktion der Schizophrenen weist eine ganz besondere Eigenart auf. Die meisten zeigen eine Erhöhung des Koeffizienten der Alpha-Wellen durch Lichtreize; eine solche Reaktion war keineswegs zu erwarten. Ob es sich dabei um eine besondere Eigenart der Schizophrenie als Krankheit handelt, ist im gegenwärtigen Moment noch nicht entscheidbar. Da bei einer leichten Erhöhung der Muskelspannung auch eine Erhöhung des Häufigkeitskoeffizienten der Alpha-Wellen auftreten wird, ist möglicherweise diese Eigenart der Schizophrenie eine atypische Veränderung. Wenn man daraus schließt, daß bei Schizophrenie durch einen Reiz eine Entspannung der Muskulatur erfolgt, so besteht die Möglichkeit zur Annahme einer Absonderlichkeit der Nervenstruktur im Zusammenhang mit der Reiz-Muskelspannung; daher könnte diese Reaktion auch eine besondere Eigenart der Schizophrenie sein. Vielleicht zeigt die Zunahme des Häufigkeitskoeffizienten der Alpha-Wellen bei Lichtreiz eine Abweichung des «feedback» im Zusammenhang mit der Entspannung der Skelettmuskeln bei Schizophrenie an. Da für die Schizophrenie bisher keine körperlichen oder biologischen Besonderheiten gefunden wurden, könnte man erwarten, daß durch weitere Fortschritte der MV-Forschung eine psychiatrisch-klinische Anwendung möglich wird.

Bisher wurden die Ergebnisse der Anwendung der MV bei einigen Krankheiten auf dem Gebiet der Psychiatrie auf Grund der Versuche von NAKAZAWA (1961) zusammengefaßt. Wie durch Versuche an Normalen bereits klar geworden ist, bringt eine Veränderung des Span-

nungszustandes der Skelettmuskeln auch eine Änderung in der Frequenzverteilung der MV mit sich. Auch die Untersuchungsergebnisse der MV bei Neurose, Schizophrenie und atypischer Psychose können nach dem jetzigen Stand unseres Wissens als eine Veränderung der Muskelspannung interpretiert werden. Nach dieser Ansicht besteht daher keine Besonderheit der Frequenzverteilung der MV bei einzelnen Krankheiten. Dies dürfte zeigen, daß beim gegenwärtigen Stand unserer Forschung die klinische Anwendung der MV im Gebiet der Psychiatrie beschränkt ist, ebenso beim psychophysiologischen Studium von Angstzuständen. Vielleicht darf man erwarten, daß die MV in Zukunft immer mehr als Hilfsmittel des psychophysiologischen Studiums über Spannungszustände der Muskeln eingesetzt wird, weil die Registrierung und Quantifizierung der MV als Indikator der Muskelspannung verhältnismäßig leicht durchgeführt werden kann.

D. ANWENDUNG DER MV IN DER HALS-NASEN-OHREN-MEDIZIN

Die folgenden Untersuchungen stammen aus den Arbeiten von KAWATA et al. (1961, 1963, 1964).

1. Autonomes Nervensystem und MV

Bei Patienten der Menierschen Krankheit unterscheiden sich autonomes Nervensystem der linken und rechten Körperhälfte sehr stark voneinander; darauf ist hier nicht genauer einzugehen. Durch Adrenalin-Sonden-Versuche (O. MUCK, 1930) kann man den Unterschied des autonomen Nervensystems von links und rechts bestimmen. Das autonome Nervensystem wirkt einerseits ergotrop-sympathikoton, andererseits trophotrop-vagoton. KAWATA et al. haben bei Patienten der Menierschen Krankheit den Unterschied zwischen autonomen Nervensystem der beiden Körperhälften durch die MV auf folgende Weise untersucht. Zunächst wurde an 10 gesunden Versuchspersonen die zeitliche Veränderung der MV im Zustand des ruhigen Liegens (20 Minuten) registriert, und zwar in Abständen von je 5 Minuten (Abb. 28). Alle Versuchspersonen waren Rechtshänder. Bei der rechten Hand dominiert das Alpha-Band stärker als bei der linken. 17 Patienten mit Menierscher Krankheit wurden mit der gleichen Methode untersucht. Diese Kranken wurden je nach der erkrankten Seite in Gruppen zusammengefaßt. Bei den linksseitig erkrankten Versuchspersonen fallen die Pro-

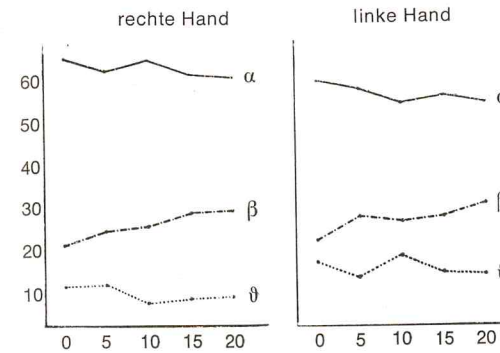


Abbildung 28. MV der rechten und linken Hand im Verlauf von 20 Minuten ruhigem Liegen bei Gesunden (Abszisse = Minuten).

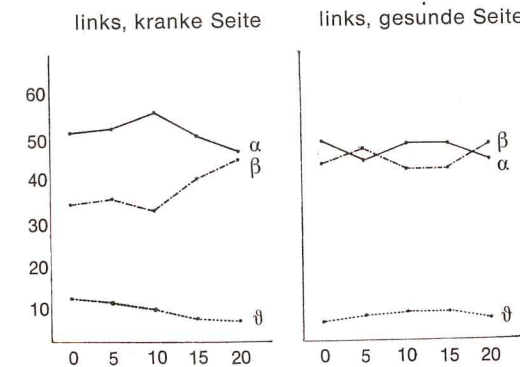


Abbildung 29. MV wie in Abbildung 28 bei 17 Patienten mit Menierscher Krankheit.

zent-Werte im Alpha-Bereich nach 10 Minuten ab (Abb. 29 zeigt den unregelmäßigen Ablauf der MV bei diesen Kranken).

2. MV und die Prüfung der Funktion des Vestibularapparates

Bei den Stellreflexen lassen sich Halsstellreflex und Gleichgewichtsreflex unterscheiden. KAWATA bemühte sich, den Halsstellreflex bei gesunden Menschen aufzuzeichnen und stellte folgenden Versuch an: ein erwachsener Mensch wird eine bestimmte Zeit waagrecht mit dem Gesicht nach oben liegend ruhen gelassen; nur sein Kopf wird aktiv

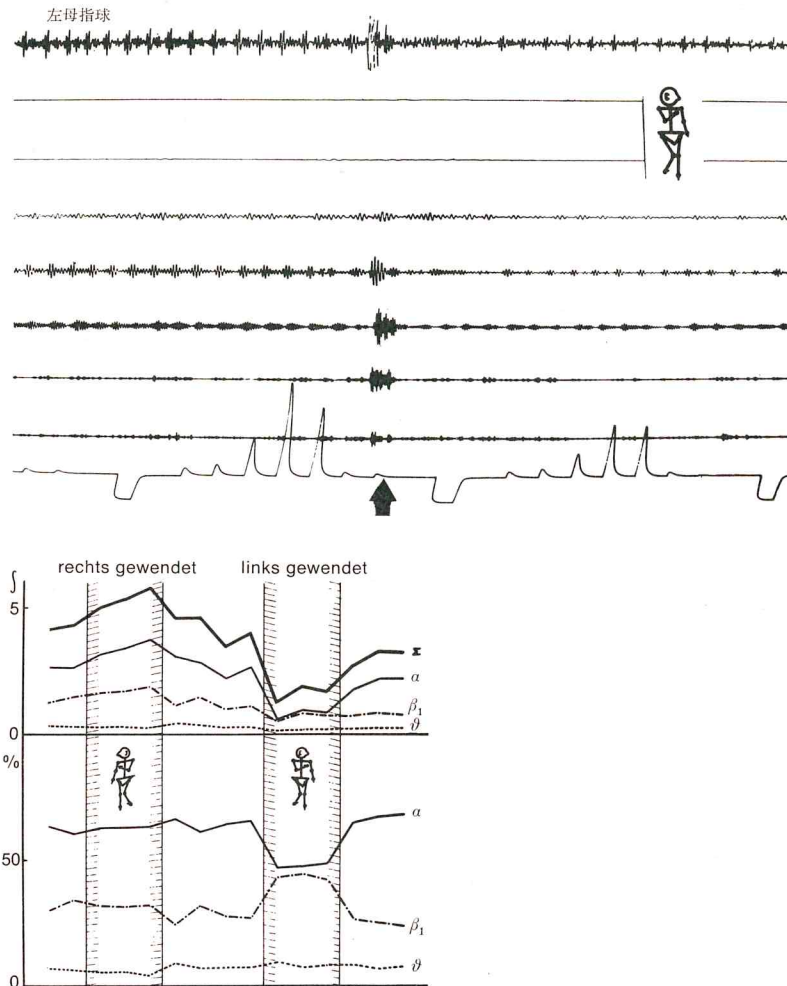


Abbildung 30. MV-Veränderungen bei Kopfwendungen einer liegenden Person. Erklärung im Text.

von rechts nach links und von links nach rechts bewegt. Dabei wird vom Daumenballen die MV abgenommen. Es zeigt sich, daß mit der Veränderung der Kopfposition auch eine Veränderung der Schwingungen der MV einhergeht; z. B. wenn man die MV vom Daumenballen jener Hand registriert, wohin der Kopf bewegt wird, so nimmt die Amplitude zu (vergleiche dazu die Abb. 30 und 31). Diese Veränderung

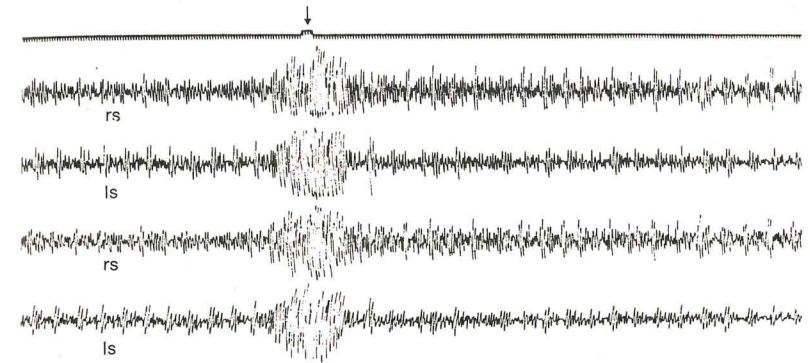


Abbildung 31. Einfluß einer starken Drehbewegung auf die MV, Beginn beim Pfeil.

läßt sich außer aus den Registrierungen vom Daumenballen auch bei MV-Amplituden von anderen Körperstellen klar erkennen. Die Tatsache, daß der Halsstellreflex durch die MV festgestellt werden kann, erscheint sehr interessant.

KAWATA und seine Mitarbeiter haben ferner die Versuchspersonen mit einem Rotationsstuhl in Drehung versetzt und dabei entdeckt, daß sich schon in der Zeit vor dem Auftreten des Nystagmus bereits eine Veränderung der MV zeigt, die einer Spannungsänderung der Muskeln entspricht; sie verwenden diese Erkenntnisse bei der Diagnose verschiedener Krankheitszustände, die mit Störungen der Vestibularfunktion verbunden sind.

3. Eine Klassifikationsmethode von MV-Aufzeichnungen

KAWATA (1963) entwickelte und gebrauchte folgende Methode für den Vergleich von MV-Registrierungen: durch Verwendung eines Frequenzanalysators werden die Schwingungen in Theta-Wellen (4–8 Hz), Alpha-Wellen (8–13 Hz) und Beta-Wellen (13–20 Hz) eingeteilt. Als Vergleichswert dient die Summe der Integralwerte (Flächen) der drei Frequenzanteile einer MV-Aufzeichnung von einer Minute Dauer.

$$\Sigma_{\text{count}^2} = \text{Theta}_{\text{count}^2} + \text{Alpha}_{\text{count}^2} + \text{Beta}_{\text{count}^2}$$

count² bezeichnet dabei den Integralwert des jeweiligen Frequenzbereiches in einer MV-Aufzeichnung von einer Minute Dauer. Σ_{count^2} wird in Einheiten zu je 1000 angegeben. Die Bestimmung von Σ_{count^2} erfolgt zu fünf Zeitpunkten einer Registrierung, und zwar nach 0, 5, 10, 15 und 20 Minuten nach dem Ende der Beruhigungsphase. Dadurch soll die Variation von Σ_{count^2} während einer Zeit von 20 Minuten erfaßt werden.

Wenn man in einem Koordinatensystem auf der Abszisse die Zeitpunkte der fünf Registrierungen und auf der Ordinate die Σ_{count^2} -Werte der einzelnen Registrierphasen aufträgt, erhält man eine Verlaufskurve, die über die Variation der MV während eines Versuches Aufschluß gibt. Nach der charakteristischen Verlaufstendenz dieser Kurve lassen sich vier verschiedene Typen unterscheiden:

N-Typus (Normaltypus): Die Kurve verläuft in waagrechter Richtung. Die Σ_{count^2} -Werte variieren um weniger als 1000 Einheiten. Dieser Typus ist sehr häufig bei gesunden Personen zu finden.

A-Typus (ascending type): Die Kurve steigt mit zunehmender Versuchsdauer. Der Σ_{count^2} -Wert ist nach 20 Minuten Versuchsdauer um mindestens 1000 Einheiten höher als zu Beginn des Versuches.

D-Typus (descending type): Die Kurve sinkt mit zunehmender Versuchsdauer. Der Σ_{count^2} -Wert liegt nach 20 Minuten Versuchsdauer um mindestens 1000 Einheiten niedriger als zu Beginn des Versuches.

L-Typus (labiler Typus): Die Kurve zeigt im Zeitablauf Variationen in beiden Richtungen um mindestens 1000 Einheiten.

Der Grad des Anstieges der Kurve wird durch die Zahl, welche vor der Bezeichnung des Verlaufstypus steht, angegeben. Eine Variation des Σ_{count^2} -Wertes von Beginn und Ende des Versuches um 1000 Einheiten wird mit 0, um 2000 Einheiten mit 1, um 3000 Einheiten mit 2 usw. bezeichnet.

Außer der Stärke und der Art des Verlaufes der Kurve wird auch noch das relativ am häufigsten und das relativ am seltensten aufgetre-

tene Frequenzband angegeben. Ferner wird als Index des häufigsten und des seltensten Frequenzbandes der Grad der relativen Häufigkeit ihres Auftretens angegeben. Auf Grund der verschiedenen Verlaufstypen wird diese Klassifizierungsmethode «N-A-D-L-Klassifikation» genannt. Ein Beispiel einer solchen «N-A-D-L-Klassifikation» einer MV-Registrierung wäre:

$$2 A_0 \beta_1 \vartheta_1$$

Der Σ_{count^2} -Wert beträgt zu allen Zeitpunkten der Registrierung durchschnittlich 2000 (daher 2 als erstes Symbol). Die Kurve zeigt ansteigende Tendenz, und zwar um 1000 Punkte zwischen Beginn und Ende des Experimentes (daher das Symbol A mit dem Index 0). Während allen fünf Registrierphasen war das Beta-Band am häufigsten und das Theta-Band am seltensten vertreten (daher als erstes Symbol β mit dem Index 1 und als zweites ϑ mit dem Index 1). Die Indices des dominanten und seltensten Frequenzbandes sind wie folgt bestimmt:

2 = bei allen fünf Registrierungen dominant oder am seltensten.

1 = bei vier der fünf Registrierungen dominant oder am seltensten.

0 = bei weniger als vier Registrierungen dominant oder am seltensten.

4. MV bei Patienten mit bösartigem Oberkiefer tumor

Gegen die übliche Diagnose auf Grund einer Gewebeprobe des erkrankten Körperteils und der pathologisch-histologischen Untersuchung dieses Gewebes ist natürlich nichts einzuwenden. Wenn es aber gelänge, eine bösartige Geschwulst im Inneren des Körpers durch eine andere Methode außer der Röntgenuntersuchung zu diagnostizieren, so wäre dies in verschiedener Hinsicht sehr wertvoll. Aus diesem Gedankengang heraus hat KAWATA (1963) MV-Registrierungen von Patienten mit bösartigen Oberkiefer tumoren, die hauptsächlich in der Kieferhöhle entstehen, durchgeführt und sie mit der MV von Patienten mit nicht bösartigen Tumoren verglichen, die im Anfangsstadium und auch im weiteren Verlauf den bösartigen Tumoren sehr ähnlich sind (vergleiche Tabelle Block). Für diese Untersuchungen war die oben beschriebene N-A-D-L-Klassifikation sehr nützlich. Als Pick-up wurde ein gewöhnlicher Beschleunigungsaufnehmer der Firma Nihon-Kohden verwendet (Auflagefläche 4,5 cm², Gewicht 20 g). Dieses Pick-up wird waagrecht auf die Wange neben die Nase gelegt. Nach einer Beruhigungsphase wird 20 Minuten hindurch alle 5 Minuten eine Aufnahme von einer Minute Dauer zuerst von der linken, dann von der rechten Wange durchgeführt. Es wurden dazu Patienten mit klinisch diagnosti-

zierten bösartigen Oberkiefertumoren ausgewählt, die vor der Operation standen (35 Fälle mit histologisch nachgewiesener bösartiger Geschwulst, 23 Männer und 12 Frauen). Die Ergebnisse der MV-Registrierung wurden in der N-A-D-L-Klassifikation dargestellt. Das Quantitätsniveau des Σ_{count^2} -Wertes der kranken Körperseite war größer als jenes auf der gesunden Seite.

Die Verlaufstypen dieser Untersuchung waren: auf der kranken Seite wurde der N-Typ in 11,4 %, der A-Typ in 22,9 %, der D-Typ in 42,8 % und der L-Typ in 22,9 % aller Fälle beobachtet. Auf der gesunden Seite fand sich der N-Typ in 17,1 %, der A-Typ in 20,0 %, der D-Typ in 28,6 % und der L-Typ in 34,3 % der Fälle. Während der L-Typ bei Gesunden über 60 % beträgt, fällt er bei Kranken stark ab. Auf der kranken Seite ist der D-Typ zunehmend, der L-Typ ist auf beiden Seiten zu finden, aber besonders auf der gesunden Seite überwiegend.

Die Frequenzverteilung: Auf der kranken Seite sind bei 42,8 % Alpha-Wellen vorherrschend, bei 51,4 % Beta-Wellen, bei 5,7 % sind Alpha- und Beta-Wellen gleich. Auf der gesunden Seite haben 60 % Alpha-Wellen, 40 % Beta-Wellen vorherrschend und 10 % einen Häufigkeitskoeffizienten unter 10 % von Theta-Wellen. Es ergeben sich 22 Fälle, bei denen die mittlere Höhe des Σ_{count^2} 2990 beträgt. Als Kontrollversuch wurde bei 24 Fällen von chronischer Entzündung der Kieferhöhle oder der Nasennebenhöhle die MV registriert. 4 Fälle davon waren einseitig, 20 Fälle beidseitig erkrankt. Auf den ersten Blick ergibt die N-A-D-L-Klassifikation klar, daß der N-Typ bei beiden fast 60 % beträgt und auch fast kein Unterschied zu Gesunden zu bemerken ist. Bei der Frequenzstruktur zeigte sich, daß die Beta-Wellen vorherrschend sind.

Wie oben angeführt, ist die von der Wange abgenommene MV bei Tumoren des Oberkiefers am größten im Vergleich zu Gesunden, und zwar durchschnittlich dreimal so groß.

Die Ursache für diese außergewöhnlich große Schwankungsbreite der MV bei Oberkiefertumoren ist nicht klar; wahrscheinlich wird man annehmen können, daß eine außergewöhnliche Beschleunigung des Stoffwechsels des kranken Teiles Hand in Hand mit einer Tonussteigerung geht.

5. Die Anwendung der MV auf die Untersuchung des Gehörs

Den Einfluß von Gehörreizen auf die MV haben zuerst KAWATA und seine Mitarbeiter studiert. Ein Teil ihrer Ergebnisse wurde 1958 publiziert. Dabei wurden reine Töne zwischen 1500–8000 Hz bei 90 db als Reiz verwendet und bei Registrierungen vom Daumenballen eine Amplitudenzunahme der 8- bis 13-Hz-Wellen festgestellt. Die durch den akustischen Reiz hervorgerufene Erregung des Gehörzentrums gelangt in das Rückenmark; von hier wird sie durch das motorische Nervensystem den Muskeln übermittelt. Die MV-Methode wurde auch bei Untersuchungen des Hörvermögens von Kleinkindern angewendet. Zunächst wurden 31 Vpn. im Alter von 1 Monat bis 6 Jahren in 2 Gruppen geteilt; die erste enthält 11 gesunde Vpn. mit normalem Hörvermögen, die zweite 20 Kinder, die schwerhörig sind bzw. eine verzögerte Sprachentwicklung aufweisen. Die MV beider Gruppen wurde verglichen. Da es sich um Kleinkinder handelte, mußte für die Registrierung möglichst die Zeit des Mittagschlafes oder die Nacht ausgewählt werden; ein natürlicher Schlummerzustand ist für die Durchführung solcher Registrierungen besonders erwünscht. Wenn es aus verschiedenen Gründen nicht möglich war, den natürlichen Schlafzustand zu erreichen, wurden Zäpfchen zur Beruhigung verwendet. Als MV-Pick-up wurde ein Beschleunigungsmesser mit 20 g verwendet, abgenommen wurde vom Daumen. Als Reiz wurden reine Töne (1000 Hz), weißes Rauschen, Musikinstrumenten-Töne von Tonbändern usw. mit 70, 90 und 110 db je 3 Sekunden lang in den Kopfhörer gesendet. Das Ergebnis der MV-Registrierung zeigt, daß gleichzeitig mit dem Einsetzen des Reizes verhältnismäßig große Schwingungsänderungen auftreten (On-Effekt), ebensolche sind nach dem Ende des Reizes zu sehen (off-Effekt), und zwar besonders im Bereich der Beta-Wellen (13–20 Hz). Gleichzeitig wurde am Scheitel und an der Stirn eine EEG-Aufnahme durchgeführt; der Vergleich mit der MV ergibt eine ziemlich enge Wechselbeziehung, d. h. auch im Schlaf zeigen sich MV-Reaktionen auf Gehörreize; gesunde Kinder reagieren bei 110 db sehr gut, die Reaktion vermindert sich bei 90 bzw. 70 db. Kranke Kinder zeigen von 70 bis 110 db eine schlechte Reaktion. Allerdings ist zu beachten, daß die MV-Reaktion im leichten Schlaf auch durch Aufwachen zustandekommen kann; diese Möglichkeit ist sehr zu beachten. In einer weiteren Versuchsreihe wurden mehrere Pick-ups an verschiedenen Körperstellen angebracht, und zwar an der Stirn, am Augenlid, an der Wange, an einer Handfläche und am Unterschenkel (auf beiden Körperhälften symmetrisch). Als Reize wurden bei diesem Versuch reine Töne von 1000 Hz in einer

Lautstärke von 90 db verwendet. Die Veränderung der MV war am größten an den Augenlidern, von wo sie am besten abgenommen werden konnte. Eine sehr gute Reaktion war auch an der Wange und den Handflächen zu erhalten, hingegen an der Stirn und am Unterschenkel keine. Bei Versuchspersonen mit normalem Gehör wurde versucht, mit dieser Methode einen Unterschied zwischen rechts und links festzustellen. Es ergab sich aber keine zeitliche oder andere Verschiedenheit der Reaktion an den Augenlidern, auf deren Seite der Hörreiz gegeben wurde, und der anderen Seite. Interessant ist, daß bei Patienten mit peripherer Neurotabes im Gesicht auf jener Seite, auf der die Neurotabes besteht, bei 90 db weißem Rauschen keine MV-Veränderung feststellbar ist. Auch bei ganz tauben Personen ist bei 90 db keine Veränderung zu messen. Versuche mit anderen Reizen, z. B. kaltes Wasser in den äußeren Gehörgang (1 cm³, 20 Grad Celsius), ergaben ähnliche Veränderungen und keinen Unterschied zum Lautreiz. Diese Reaktion ist also nicht nur bei einem Hörreiz zu beobachten, sondern bei allen Reizen, die über den Gehörgang auf das ZNS wirken.

Um verlässliche Versuche mit Lautreizen durchzuführen, muß zuerst die Vp. in eine ruhige Lage versetzt werden. Bei Erwachsenen ist eine Vorbereitungszeit von etwa 18 Minuten notwendig. Dann wird der Lautreiz, und zwar 30 db weißes Rauschen 3 Sekunden lang in Abständen von 10, 20 und 60 Sekunden jeweils 10mal gesendet. Natürlich muß zwischen jedem Versuch eine längere Ruhezeit eingeschaltet werden. Das Ergebnis lautet: bei einer Reizdauer von 10 Sekunden können ab dem 2. Reiz fast keine Veränderungen mehr beobachtet werden. Bei einer Reizdauer von 20 Sekunden sind bis zum 6. Reiz Veränderungen zu beobachten. Bei einer Reizdauer von 60 Sekunden sind bei allen zehn Reizungen Reaktionen zu beobachten. Die Gewöhnungswirkungen sind also klar zu erkennen. Es müssen daher zwischen allen Reizen mindestens 60 Sekunden dauernde Ruhepausen eingeschaltet werden. Nach diesen Vorversuchen wurde mit den Registrierungen an Normalen und Schwerhörigen begonnen; es wurden bei 66 Personen die Reaktion auf Lautreize verglichen. Je nach dem Typus nehmen die MV-Schwingungen zu, vermindern sich oder bleiben unverändert; dabei ist auch die Bewegung der Grundlinie und die Beobachtung von Spike-Ansammlungen interessant. Bei der Amplitudenzunahme lassen sich 3 Arten unterscheiden. Für Typ 1 ist die on-response charakteristisch. Sie tritt sofort nach Beginn des Reizes auf und besteht aus einer Aufeinanderfolge von sehr großen spitzen Schwingungen. Typ 2: off-response; sie setzt sofort nach dem Ende des Reizes ein und besteht aus großen, spitzen Schwingungen in Abständen.

Typ 3: inter mediate-response; die Reaktion ist während der ganzen Reizdauer zu beobachten. Aus verschiedenen Gründen wurde Typ 2 nicht beachtet und als Charakteristikum nur die positive Reaktion von Typ 1 und 3 betrachtet. Zur Feststellung der Reaktionszeit wurden 691 Beispiele von Amplitudenzunahmen untersucht. Die häufigste Latenzzeit betrug 0,2 Sekunden, die kürzeste Reaktionsdauer 0,5 Sekunden; es gab aber auch Fälle, bei denen schwer zu sagen war, wo die Reaktion aufhört. Wenn man on-response und inter mediate-response als positive Reaktionen betrachtet, so fällt auf, daß die Grenze bei 30 db liegt; was darüber hinausgeht, steigt graduell mit der Lautstärke von 80 bis 100 % an (Abb. 32). Die erste Gehörreaktion tritt daher vermutlich bei etwa 30 db auf. Die MV-Registrierung erfaßt die durch den Lautreiz verursachte Änderung der Muskelspannung rund um das Auge; sie kann daher als Methode für eine von außen her durchgeführte Untersuchung des Gehörvermögens verwendet werden.

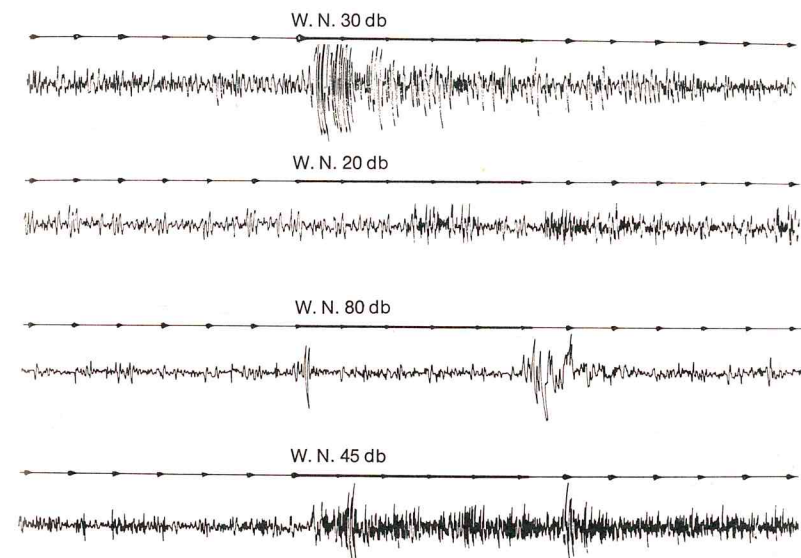


Abbildung 32. MV-Reaktionen auf akustische Reize verschiedener Stärke.

Literatur zum 2. Teil

- BIRZIS, L. and HEMINGWAY, A.: Shivering as a result of brain stimulation. *J. Neurophysiol.* 20, 91 (1957).
- BOREUS, L. O. and SANDBERG, F.: A comparative study of different algometric methods in animals and man. *Acta pharm. tox. kbh.* 11, 198 (1955).
- BRUMLIK, J.: On the nature of normal tremor. *Neurology* 12, 159 (1962).
- BUSKIRK, C. V. and FINK, R. A.: Physiologic tremor. *Neurology* 12, 361 (1962).
- CONSTAS, C.: The effects of adrenaline, noradrenaline and isoprenaline on Parkinsonian tremor. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiat.* 25, 116 (1962).
- CRAIN, S. M. and PETERSON, E. R.: Bioelectric activity in long-term culture of spinal cord tissues. *Science* 141, 427 (1963).
- DENNY-BROWN, D.: On the nature of postural reflexes. *Proc. Roy. Soc.* 104 B, 252 (1929).
- DITCHBURN, R. W. and GINSBORG, B. L.: On voluntary eye movement during fixation. *J. Physiol.* 119, 1 (1953).
- ELDRED, EL., GRANIT, R. and MERTON, P. A.: Supraspinal control of the muscle spindles and its significance. *J. Physiol.* 122, 498 (1953).
- GRANIT, R., JOB, C. and KAADA, B. R.: Activation of muscle spindles in pinna reflex. *Acta Physiol. Scand.* 27, 161 (1952).
- GRANIT, R. and KAADA, B. R.: Influence of stimulation of central nervous structures on muscle spindles in cat. *Acta Physiol. Scand.* 27, 130 (1952).
- GRIFFITHS, W.: On the rhythm of muscular response to volitional impulses in man. *J. Physiol.* 9, 39 (1888).
- HAIDER, M. and LINDSLEY, D. B.: Microvibration in man and dolphine. *Science* 146, 1181 (1965).
- HALIDAY, A. M. and REDFLEARN, J. W. T.: An analysis of the frequencies of finger tremor in healthy subjects. *J. Physiol.* 134, 600 (1956).
- HIROISHI, M. and KAWAOKA, H.: A new concept of entity of fixatory pseudonystagmus. *Jap. J. Ophth.* 61, 327 (1957).
- HIROTO, I. and TATEISHI, A.: Dysarthria and minor tremor in cerebral palsy. *Kurume Med. J.* 10, 275 (1963).
- HUNT, C. C.: The reflex activity of mammalian small nerve fibers. *J. Physiol.* 115, 436 (1951).
- HUNT, C. C. and KUFFLER, S. W.: Further study of efferent nerve fibers to mammalian muscle spindles. *J. Physiol.* 113, 183 (1951).
- ICHIHARA, T.: Physiological studies on the effect of alcohol on normal subjects. *Psychiat. Neurol. Jap.* 65, 558 (1963).
- IIDA, M., OKABE, Y. and FUJIWARA, R.: Frequency analysis of physiologic tremor. *Folia Psychiat. Neurol. Jap.* 18, 277 (1964).
- INANAGA, K. and SUGANO, H.: An idea on alpha rhythm. *Kyushu Mem. Med. Sci.* 3, 199 (1953).
- INANAGA, K. and KURAUCHI, H.: Hypnotic suggestion and minor tremor. *Kyushu Neuro-psychiatry* 7, 183 (1959).
- INANAGA, K. and SATO, T.: Psychotropic drugs and minor tremor. *Psychiat. Neurol. Jap.* 61, 1957 (1959).
- INANAGA, K.: Minor tremor and psychotherapeutic drugs. *Adv. Neurol. Sci.* 5, 663 (1960).
- INANAGA, K., SATO, T. and SHIGETO, O.: The effect of promethazine hydrochloride on the minor tremor. *Kyushu J. Med. Sci.* 11, 59 (1960).
- INANAGA, K.: On the microvibration. *Clinical EEG*, 2, 127 (1960).
- Microvibration on the body surface. Igakushuppan Co., Tokyo 1961.
- INANAGA, K. and ISHIBASHI, A.: Serial observation of minor tremor, before, during and after prolonged sleep treatment. *Brain and Nerve* 14, 489 (1961).
- INANAGA, K. (edit.): Microvibration – Physiological basis and clinical application. Igaku Shoin, Tokyo 1966.
- INOUE, S.: Studies on minor tremor. *Fukuoka Acta med.* 51, 1240 (1960).
- ISELL, H.: Trends in research on opiate addiction. *Trans. and Studies Coll. Physicians. Phil.* 24, 1 (1956).
- ITO, K.: Studies on the minor tremor (1). The influence of postural change on the frequency of human minor tremor. *Yonago Acta Medica* 5, 32 (1961).
- Studies on the minor tremor (2). «Settle down time» of human minor tremor. *Yonago Acta Medica* 6, 11 (1962).
- ITO, K. and TANAKA, K.: Studies on the minor tremor (4). Effects of brain stimulation on the minor tremor in rabbits. *Yonago Acta Medica* 6, 29 (1962).
- KAWATA, S.: Some otological aspects of the microvibration and its findings. *Otologia Fukuoka* 7, 129 (1961).
- KAWATA, S., SAKAMOTO, M., TAKESUE, M., NISHIDA, Y., NOGITA, K. and SATO, K.: On the microvibration of cheek surface in patients with maxillary cancer (A new classification of microvibration curve «NADL»). *Otologia Fukuoka* 9, 249 (1963).
- KAWATA, S. and NAGAFUCHI, M.: The changes in microvibration and electroencephalogram of young children by auditory stimuli. *Otologia Fukuoka* 10, 98 (1964).
- KUHARA, K.: Neurophysiological study on the relation of hippocampal electrical activity with minor tremor in rabbit. *J. Kurume Med. Assoc.* 24, 1057 (1961).
- KURITA, S.: The effect of chlorpromazine on the minor tremor. *Kyushu J. Med. Sci.* 9, 236 (1958).
- KUWAE, A.: Pharmacological studies on «minor tremor pain response». *J. Kurume Med. Assoc.* 28, 1351 (1965).
- KUWAHARA, M., AKIMOTO, T. and KURAUCHI, H.: An electroencephalographic study of «Sinsokan» Prayer. *J. Jap. Psychosomat. Soc.* 5, 241 (1965).
- LASAGNA, L.: The clinical evaluation of morphine and its substitutes as analgesics. *Pharmacol. Rev.* 16, 48 (1964).
- LINDQUIST, T.: Finger tremor and alpha waves of electroencephalogram. *Acta Med. Scand.* 108, 580 (1941).
- LIPPOLD, O. C. J., REDFLEARN, J. W. T. and VUCO, J.: The rhythmical activity of groups of motor units in the voluntary contraction of muscle. *J. Physiol.* 137, 473 (1957).
- MALMO, R. B. and SHAGASS, C.: Physiologic studies of reaction to stress in anxiety and early schizophrenia. *Psychosomatic Med.* 11, 9 (1949).

- MARSHALL, J. and WALSH, E. G.: Physiological tremor. *J. Neurol. Neurosurg. and Psychiat.* 19, 260 (1956).
- MORITA, M.: Pharmacology of E. M. G. Recent Advance of Basic Medicine (Pharmacology) 163. Ishiyaku Syuppan, Tokyo 1956.
- MUCK, O.: Bericht über die bisherigen Untersuchungsergebnisse mit dem Adrenalin-Sondenversuch (1922-1929). *Mschr. Ohrenheilk.* 1237-1262 (1930).
- MURAYAMA, H.: The relation of the depth of anesthesia to the minor tremor and the accompanying phenomenon. *Fukuoka Acta Med.* 51, 48 (1960).
- NAKAZAWA, Y.: Study on the frequency distribution of minor tremor. *Kyushu Neuro-Psychiat.* 9, 17 (1960).
- OHARA, S.: On the relation of minor tremor with psychological and physical changes. *Acta Medica* 30, 3856 (1960).
- OHARA, S., ISHIBASHI, A. and SAKURAI, S.: Observations of minor tremor after the injection of adrenaline. *Acta Medica* 30, 3871 (1960).
- OZAKI, T., SATO, K., AWAZU, T., MIMURA, K., HONDA, N., TERAMOTO, S. and KITAJIMA, K.: Some observations on minor tremors related to heart beat. *Jap. J. Physiol.* 12, 484 (1962).
- Some observations on the effect of sensory stimulation upon minor tremors in man. *Jap. J. Physiol.* 13, 24 (1963).
- PFEIFFER, C. C., und Mitarbeiter: Experimental methods for studying analgesia. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 51, 21 (1948).
- RADOUCO-THOMAS, C., NÖSAL, G. and RADOUCO-THOMAS, S.: On the experimental pain threshold in animals: Keele & Smith, The assessment of pain in man and animals. Livingstone, Edinburgh, London 1962.
- SATO, T. and INANAGA, K.: The effect of alcohol on the human minor tremor. *Kyushu Neuro-psychiat.* 7, 171 (1959).
- SCHÄFER, E. A.: On the rhythm of muscular response to volitional impulses in man. *J. Physiol.* 7, 111 (1886).
- SUGANO, H.: Studies on the microvibration. *Kurume Med. J.* 4, 97 (1957).
- SUGANO, H. and INANAGA, K.: On the mechanism of minor tremor. *Brain and Nerve* 10, 769 (1958).
- Studies on minor tremor. *Jap. J. Physiol.* 10, 769 (1960).
- SUGANO, H.: Central effects on minor tremor. *Jap. J. Physiol.* 13, 492 (1963).
- SUGIYAMA, K. and NODA, Y.: The effects of some psychopharmacological drugs on EEG and minor tremor in rabbits (1). *J. Kurume Med. Assoc.* 27, 122 (1964).
- TANAKA, K. and ITO, I.: Inhibitory effects of anticonvulsants on the ascending activating system. *Yonago Acta med.* 3, 112 (1968).
- TANAKA, K. and KAJITANI, K.: Effects of anticonvulsants on the descending reticular formation indicated by MV. *Yonago Acta med.* 4, 157 (1960).
- TOMONAGA, K.: On the effect of heart beat on minor tremor. *Jap. J. Physiol.* 15, 560 (1965).
- UENO, T.: Studies on minor tremor about mature healthy women. *Fukuoka Acta Medica* 50, 4889 (1959).
- YOKOO, H.: Fundamental study on minor tremor pain response as a new algometric method. *J. Kurume Med. Assoc.* 28, 1078 (1965).
- YOSHII, N., INABA, E., SUZUKI, S. and ARAI, S.: Frequency analysis of minor tremor on the body surface. *Folia Psychiat. Neurol. Jap.* 17, 287 (1963).
- YOSHII, N., INABA, E. and ARAI, S.: Experimental studies on the minor tremor of body surface in dogs and rabbits. *Med. J. Osaka Univ.* 15, 345 (1965)

Technischer Anhang

von H. STEINRINGER

Aufbau und Einrichtung eines MV-Laboratoriums

1. Raum

Für Mikrovibrations-Registrierungen werden mindestens zwei Räume benötigt: ein Raum für die Versuchsperson und die Abnahmegерäte und ein zweiter, vom ersten schalldicht isolierter Raum für die Registrierung und Auswertung. Ist keine vollkommene Schall-Isolierung durchführbar, so soll man mit drei Räumen arbeiten und den Registrierraum vom Versuchsraum durch ein Zwischenzimmer isolieren. Die Temperatur im Versuchsraum ist konstant auf 18 bis 20 Grad Celsius zu halten, weil sich Temperatur-Unterschiede auf die Mikrovibration auswirken. Von dem Platz, an welchem sich der Sessel für die Versuchsperson und die Aufnahmegegeräte befinden, müssen alle unerwünschten Störquellen (mechanische oder elektrische) ausgeschaltet werden. Als wichtigste mechanische Störung sind die Bodenerschütterungen, die in einem Frequenzbereich von 15 bis 25 Hz und Amplituden von 0,05 bis 0,1 Mikron fast überall nachweisbar sind, anzusehen. In der Nähe von stark frequentierten Straßen kann die Amplitude der Straßenerschütterungen um ein Vielfaches steigen. Zur Ausschaltung dieser Bodenerschütterungen – auch «Erdvibration» genannt – soll der Meßplatz durch eine gute Isolierung mit einer Dämpfungsmasse gesichert werden. Am besten hat sich zu diesem Zweck eine dicke Lage fein gemahlten Sandes bewährt, auf dem eine Kautschukmatte liegt, die mit einer Betonauflage belastet wird. Durch günstige Belastungsverhältnisse können fast ideale Bedingungen geschaffen werden.

2. Abnahme-Geräte

Für die Registrierung der Mikrovibration kommen grundsätzlich zwei Meßmethoden in Betracht:

1. die direkte Messung der Bewegung, die an der untersuchten Körperstelle stattfindet (d. h. des Weges, den diese Körperstelle zurücklegt). Solche «reine Wegmessungen», bei denen die Größe der Bewegung aus der Amplitude der registrierten Schwingungen direkt in Mikron umgerechnet werden (z. B. 1 mm Amplituden-Registrierung ist

gleich 1 Mikron Weglänge der Körperbewegung) sind sehr schwierig; es kommen dafür nur Systeme in Betracht, bei denen die mechanische Schwingung – bewirkt durch die MV – in Spannungsschwankungen transformiert wird, die den auftretenden Bewegungsgrößen genau proportional entsprechen. Die verlässlichste Wegmessung besteht in der Registrierung ohne elektrisches Zwischenglied mit Hilfe eines Mikroskops, durch welches die Bewegungen eines Lichtstrahls aus einer Spaltblende, die auf dem untersuchten Körperteil angeklebt ist, vergrößert werden. Für die elektrische Wegmessung wurde von mir ein Pick-up entwickelt, welches mit Halbleiterelementen arbeitet; darüber wird später ausführlich berichtet.

2. die indirekte Bewegungs-Registrierung mit Hilfe von Geschwindigkeits- oder Beschleunigungsmessungen. Die Geschwindigkeitsmessung stellt fest, wie schnell sich die untersuchte Körperstelle in der Zeiteinheit bewegt hat (d. h. wie viel Mikron pro Sekunde zurückgelegt wurden). Die Beschleunigungsmessung stellt fest, mit welcher Kraft das auf die Körperstelle aufgesetzte Pick-up in der Zeiteinheit bewegt wurde. Aus beiden Messungen kann man durch eine mathematische Operation (einfache und doppelte Integration) den zurückgelegten Weg errechnen; diese mathematische Berechnung läßt sich durch elektronische Einrichtungen, die zwischen Pick-up und Registriergerät geschaltet werden, ersetzen.

Der Schwingungsaufnehmer ist ein wesentlicher Teil der gesamten Meßanordnung, da Fehler, die durch ihn verursacht werden, durch die nachfolgenden Geräte nicht mehr korrigiert werden können. Außerdem ist der Aufnehmer der einzige Teil der Meßanordnung, der direkten Kontakt mit der Körperstelle hat; eine störende Beeinflussung (elektrisch oder mechanisch) der MV ist nur durch ihn möglich. Ein Abnahmesystem, das für die Messungen der MV verwendbar ist, muß folgende Forderungen erfüllen:

- a) Der Aufnehmer soll mechanische Schwingungen, deren Frequenzspektrum zwischen 0,5 Hz und 50 Hz liegt, in ein elektrisches Signal umformen.
- b) Der Aufnehmer soll nur die an der Körperstelle, an der er angebracht ist, stattfindenden mechanischen Schwingungsvorgänge aufnehmen und in elektrische Signale umformen.
- c) Der Aufnehmer soll eine möglichst geringe Masse aufweisen, damit die MV nicht durch das Gewicht des Aufnehmers beeinflusst wird.
- d) Der Auflagedruck muß während der Messung konstant bleiben.
- e) Der Aufnehmer soll bei Bewegungen, die 90 Grad zur Aufnehmerichtung stattfinden, kein Signal liefern.

- f) Das Signal des Aufnehmers soll durch Fremdfelder oder Verlängerungskabel nicht beeinflusst werden.
- g) Der Aufnehmer muß wegen der sehr kleinen MV-Amplituden (0,5–5 Mikron) sehr empfindlich sein. Der Verstärkung von sehr schwachen Signalen sind nämlich Grenzen gesetzt.
- h) Durch kurzzeitige unwillkürliche Körperbewegungen soll die Abnahme der MV nur sehr gering gestört werden.
- i) Der Aufnehmer soll amplituden- und frequenzlinear sein.
- j) Der Aufnehmer darf seine Eigenschaften bei Veränderung der Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Luftdruck nicht ändern.
- k) Der Aufnehmer muß leicht in Meßstellung gebracht werden können.

Bei der Wahl des Aufnahmesystems ist eine bestimmte Klassifizierung notwendig, durch die die geeignetste Type eruiert werden kann. Folgende elektrische Systeme stehen zur Auswahl:

1. Seismische Systeme: Sie bestehen meist aus einer schweren Masse und liefern ein beschleunigungsproportionales Signal. Die Messung ist relativ zur Kraft der Bewegung (z. B.: Aufnehmer der Firma Philips Eindhoven, Typ PR 9260; Empfindlichkeit: 100 mm/sec²/mVolt; Frequenzbereich: 5 Hz–1 kHz).

2. Piezo-elektrische Systeme: Dies sind Kristallaufnehmer (Ba TiO₃, Rochellesalz): sie können sehr klein gefertigt werden, sind aber meist zu unempfindlich für die kleinen MV-Amplituden (z. B.: Pick-up der Firma *Nihon Kohden Co. Ltd., Tokyo, Japan*. Empfindlichkeit: 70 mVolt/g; Frequenzbereich: 5 Hz–2000 Hz).

3. Elektromagnetische Systeme: Der magnetische Fluß einer Spule wird proportional der Schwingung der MV verändert (z. B.: Pick-up der Firma *G. Collins Co., Kalifornien*. Empfindlichkeit: 61 Mikro-Volt/mm; Frequenzbereich: 0,5 Hz–1 kHz).

4. Elektrodynamische Systeme: Eine Spule schwingt im Rhythmus der MV in einem Magnetfeld, wodurch eine Spannung induziert wird. Das Signal ist geschwindigkeitsproportional. Diese Systeme sind für die MV sehr gut geeignet.

5. Kapazitive Systeme: Die Schwingung der MV variiert eine Kapazität, die einen Teil eines elektrischen Schwingungskreises darstellt. Durch die Änderung der Kapazität wird der Schwingkreis verstimmert. Dieses Aufnahmesystem eignet sich besonders für die Adaptierung an telemetrische Systeme.

6. Fotodioden oder LDR-Systeme: die Intensität eines Lichtstrahls wird durch die MV variiert und mittels einer Fotodiode oder eines LDR (Light Dependence Resistor) Widerstandes in ein elektrisches Signal umgeformt; das Signal ist wegproportional.

7. System mit Halbleiter-Elementen: Mit diesem System können mechanische Schwingungen in einem Frequenzbereich von 0,5 Hz bis 1 kHz und einer Amplitude von 0,1 bis 2000 Mikron aufgenommen werden. Der Weg der mechanischen Schwingung wird mit Hilfe der differentiellen Methode gemessen, und zwar so, daß das eine Ende einer Stahlfeder, auf der beidseitig zwei Halbleiterdehnungsmeßstreifen angebracht sind, starr mit dem Boden – auf dem der Sessel der Versuchsperson steht – verbunden ist (am besten eignet sich dazu ein Aluminiumrohr mit einem Mindestdurchmesser von 15 cm, an dessen Ende ein Spindeltrieb zur Justierung des Aufnehmers befestigt ist). Dadurch ist eine eventuell vorhandene Störschwingung am Boden auch phasengleich an einem Ende des Aufnehmers. Am zweiten Ende der Stahlfeder ist ein Stahlstift angebracht, der die Schwingung vom Körper abnimmt. Die positive oder negative Auslenkung des Taststiftes bewirkt eine Dehnung oder Stauchung der Halbleiter, die dann eine der Auslenkung proportionale Spannung abgeben. Der Aufnehmer ist amplituden- und frequenzlinear über den gesamten Meßbereich. Der Auflagedruck ist mit 1,8 g so niedrig gehalten, daß keinerlei Verzerrung der MV-Amplituden auftritt. Die Empfindlichkeit ist mit 0,5 mV pro Mikron außerordentlich hoch. Dadurch ist es leicht möglich, mit Kleinsignalverstärkern dieses Signal störungsfrei zu verstärken.

Die Justierung und Anbringung des geeigneten Aufnehmersystems soll so durchgeführt werden, daß die Versuchsperson dadurch nicht gestört oder mechanisch beeinflusst wird. Zusätzlich soll am Meßplatz auch eine Eichanordnung aufgebaut werden, so daß jederzeit die richtige Funktionsweise der Systeme kontrolliert werden kann.

3. Übertragungssystem

Ist die mechanische Schwingung (Mikrovibration) in ein elektrisches Signal umgeformt, so übernimmt das Übertragungssystem die Funktion der Verstärkung und Adaptierung an die Registrier- und Auswertegeräte. Das Übertragungssystem besteht im einfachsten Fall aus einem mehrstufigen Verstärker, dessen Eingangswerte den Anschluß des Aufnehmers zulassen und dessen Verstärkung und Leistung für den Anschluß an Registrier- und Auswerteeinheiten ausreichend ist. Geeignet sind für die Verstärkung primär Trägerfrequenz-, Chopper- oder Gleichspannungsverstärker. Zur Unterdrückung eventuell im Raum liegender elektrischer Störquellen ist die Verwendung von Differential-

verstärkern zu empfehlen. Der Verstärkungsvorgang muß aber bei allen angewandten Typen vollkommen linear sein. Der Verstärkungsfaktor (Verhältnis zwischen Ausgangs- und Eingangsspannung) dieser Einheit soll bei 10 000 liegen. Der Eingang muß auf jeden Fall an das Abnahme-Pick-up adaptiert sein, weil bei falscher Koppelung entweder eine Signalabschwächung, die nicht kontrollierbar ist, oder elektrische Störungen auftreten, die das Signal ungünstig beeinflussen. Da die MV generell keine reine Sinusschwingung darstellt, muß die Anlage auch bei impulsartigem Betrieb linear arbeiten und darf weder Zeitkonstanten noch Speicherkonstanten aufweisen. Die Einstellungen am Übertragungssystem müssen so vorgenommen werden, daß bei dem Nichtbestehen einer MV-Schwingung keine zusätzliche Schwingung am Registriergerät sichtbar wird; d. h. der Recorder muß eine «Nulllinie» zur Darstellung bringen. Der Aufbau der meisten Verstärker erlaubt aber auch eine Zusatzausstattung mit Frequenzfiltern für die Wahl der oberen und unteren Grenzfrequenz. Dies ist wichtig, um ständige Einflüsse zu beseitigen. Den einfachsten Fall stellen Hochpaßfilter und Tiefpaßfilter dar. Der Wirkungsgrad dieser Filter wird durch den Gütefaktor, der sehr enge Toleranzen haben soll, gewährleistet. Durch die Möglichkeit, den Übertragungsbereich des Signals von Artefakten und unerwünschten elektrischen Störungen zu befreien, ist eine sehr exakte und wahrheitsgetreue Darstellung des MV-Signals möglich.

4. Registrierung

Nachdem das Signal hinreichend verstärkt und an die darauffolgenden Einheiten angepaßt ist, kann es durch Registrierung sichtbar gemacht werden. Die Registrierung kann entweder graphisch oder elektronisch erfolgen. Die graphische Aufzeichnung läßt sich durch mehrere Gerätetypen verwirklichen, z. B. durch die verschiedenen Arten von Ordinaten- und Abszissenschreibern (XY/-Recorder). Häufig werden aber auch Stiftschreiber oder Spritzgalvanometerschreiber eingesetzt, die noch eine Frequenz von 1000 Hz zur Schreibung bringen. Grundsätzlich kann man sagen, daß alle Systeme, die zur Registrierung von EEG-Prozessen verwendet werden können, auch für die Aufzeichnung der MV geeignet sind.

Die optische Registrierung ist immer mit einer elektronischen Einheit verknüpft; das Signal wird an einer Kathodenstrahlröhre sichtbar gemacht und dann mit Hilfe einer Kamera fotografiert.

Bei der Aufzeichnung mittels Streifen- oder Galvanometerschreibern

erfolgt die Umwandlung der elektrischen Potentialschwankungen in mechanische Schwingungen. Das Ergebnis der Umsetzung des elektrischen Signals in eine mechanische Schwingung soll dem Originalvorgang (MV-Schwingung) proportional sein. Bestimmte Fragestellungen der Auswertung der Schwingungen erfordern Registriergeräte, bei denen die Möglichkeit besteht, den am Schreibstift vorbeiziehenden Papierstreifen mit verschiedenen – aber sehr konstanten – Geschwindigkeiten ablaufen zu lassen. Dadurch erhöht sich die Genauigkeit der Amplituden- und Frequenzmessung. In den letzten Jahren haben aber verschiedene elektronische Einheiten in die Auswertung der Schwingungen Eingang gefunden, durch die die manuelle Auswertung überflüssig gemacht wird. Die Analyse erfolgt elektronisch. Die Auflösung kann entweder durch Computer (Average Transients Computer) oder mit Analog to Digital Convertern, oder aber auch mit optischen Kurvenlesern erfolgen. Die Ausgabe der Daten aus diesen Geräten erfolgt entweder analog oder digital. Die Weiterverarbeitung der auf Lochkarten gestanzten Daten kann dann mittels einer elektronischen Rechanlage erfolgen. Dadurch können in kürzester Zeit, praktisch fehlerlos, Daten verarbeitet werden.

5. Speicherung

Die Verarbeitung und Korrelation der MV-Schwingung macht eine Speicherung notwendig. Zur Speicherung werden entweder Registriergeräte verwendet, die die Kurven graphisch darstellen, oder elektronische Geräte. Zur Speicherung mit graphischer Darstellung finden die oben erwähnten Stift- oder Galvanometerschreiber Verwendung, wobei die Schreibung mit der für die Auswertung sinnvollen Geschwindigkeit erfolgt. Für die elektrische Speicherung werden Magnetbandspeicher verwendet. Da aber die konventionellen Tonbandgeräte das Signal mittels Amplitudenmodulation aufzeichnen und dadurch nur einen beschränkten Frequenzbereich (der die meisten Frequenzen ausschließt) speichern können, ist entweder ein Zusatzgerät erforderlich, das das Signal impulsmäßig abtastet und dann dem Speicherkopf zuführt, oder ein Zusatz, der das Signal frequenzmoduliert und dem Tonkopf zuführt. Die Reproduktion eines gespeicherten Signals erfordert aber dann entweder eine Decodierung oder Demodulation. Der Aufwand für die Zusatzeinheiten zu einem Magnettonbandgerät ist sehr hoch; deshalb ist es angebracht, industriell erhältliche Magnetbandspeicher einzusetzen. Diese Geräte arbeiten sowohl nach dem Prinzip der Fre-

quenz- wie der Amplitudenmodulation. Die MV-Schwingungen können frequenzmoduliert auf dem Band gespeichert werden, da der Frequenzbereich im Infraschallbereich liegt. Durch die FM-Technik ist es möglich, das Signal außerordentlich genau zu speichern und jederzeit beliebig oft zur Verfügung zu haben. Falls verschiedene Speichergeschwindigkeiten zur Verfügung stehen, wird natürlich ein hoher Gleichlauf der Bandgeschwindigkeit verlangt. Die Magnetbandspeicherung erlaubt bei der Wiedergabe den Anschluß verschiedenartiger Auswertgeräte, die sowohl optisch als auch elektronisch arbeiten können.

Die rein elektronische Speicherung geht in den meisten Fällen durch die digitale Umsetzung des Signals in den Binärcode und die dadurch mögliche Speicherung in Kernmatrizen vor sich. Diese Art der Speicherung erlaubt eine schnelle und zuverlässige Computeranalyse.

6. Auswertung

Die Auswertung der MV-Schwingungen besteht vor allem in einer Analyse der Frequenz und der Amplitude. Die einfachste, aber langwierigste Methode ist die manuelle Messung von Frequenz und Amplitude. Dabei werden die graphisch registrierten Kurven intervallmäßig gemessen. Bei dieser Methode sind keinerlei technische Geräte erforderlich und daher haftet den Ergebnissen mit Ausnahme der subjektiven Meßgenauigkeit kein Fehler an. Der Zeitaufwand bei dieser Auswertungsarbeit ist allerdings sehr groß und unrationell. Mit der Erstellung von Amplituden- und Frequenzhistogrammen mittels Computer läßt sich schnell die Übersicht über die Art der MV-Schwingungen erstellen. Zu dieser Auswertungsart benötigt man einen konventionellen Average-Computer mit Analog-Digital-Converter und einen Amplitude-to-Time-Converter für die Amplituden-Histogramme und einen Ampl. Discriminator oder Peak-Detector oder eventuell auch einen Window-Detector für die Frequenzhistogramme. Ein Frequenzhistogramm wird so erstellt, daß jeweils die ansteigende oder abfallende Flanke der Schwingung abgetastet wird; die Strecke zwischen den beiden Punkten gibt die Frequenz der Schwingung an. Die Summe der zugehörigen Frequenzen erscheint im Histogramm.

Bei der Erstellung eines Amplituden-Histogramms wird die Amplitude der Schwingung zeitproportional konvertiert, wobei dann auf der Abszisse die Amplituden spannungsproportional, und auf der Ordinate die Häufigkeit aufscheinen.

Sachregister

- Abnahme-Geräte 14 f., 83, 153 ff.
activation-unit 111
Adrenalin 107, 112, 138
Affektzittern 16, 63
Aktionsströme 34, 38 f.
Aktiviertheit 65 f., 73
Aktiviertheitsindikator 70
Alkohol 112
Alpha-Wellen 11, 81, 84, 117, 137
Alles-oder-Nichts-Gesetz 36
alternierende Kontraktionen 26, 36,
56, 59, 74
Amobarbital 125
Amplituden-Histogramm 159
Analgetica 112
Angst 136
Angstneurotiker 134
Antidepressantia 119
Anti-Epileptica 107
area praecoptica 90, 92
Äther 106, 115
Athetose 129 f.
Atropin 93, 107
Aufgedruck 15, 154
Auswertung 23 f., 159
Autokorrelation 82, 95
autonomes Nervensystem 89, 138
Azacyclonol 119
Azetylcholin 93
- Ballistokardiogramm 16, 27 f., 88, 129
Beruhigungsphase 109, 111
Beta-Wellen 84, 117, 137
Beschleunigungsaufnehmer 15, 22, 27,
154
Bewegungsvorstellungen 36
biologische Information 95
Bodenerschütterung 12, 153
- capsula interna 92
Carisoprodol 35, 65
chemische Wärmeregulation 43
Chlordiazepoxid 107, 129, 130
- Chlorpromazin 106, 116, 118 f., 122,
124
Chlorzaxazon 111
Codeine 114
Computeranalyse 159
Croßkorrelation 82, 95
- Dehnungsmeißstreifen 15, 22, 26, 156
Dehnungsreflex 93
Delphin 48
Diazepam 107
Dimethylaminoethanol 118 f.
Diphenylhydantoin 107
Diphenylmethanderivate 118
Dithazin 123
Durchschnittsfrequenz 23
- Ectylurea 111
EEG 81, 83, 96, 99, 106, 116, 145
elektrodynamisches System 155
elektromagnetisches System 155
Elektromyogramm 34, 38 f., 88, 115
Endolymph-Flüssigkeit 70, 74
Entspannung 54, 65, 69, 109, 120
Entspannungsmittel 107
Entstehung der MV 26 ff.
Epileptiker 86
Erdvibration 12, 153
Erschütterungsaufnehmer 12, 15, 35
Erwartungsspannung 62, 64
- Fieber 44, 50
Fluophenazin 121 f.
formatio reticularis 72, 107, 115
Fotodioden 155
Frequenzanalysator 117, 122
Frequenzverteilung 23, 25, 122 f.,
133 f.
- Gallamin 107
Gamma-motorisches System 91
gehirnelektrische Vorgänge 11, 81, 99,
106, 116, 145

Gehör 145 ff.
Gelbkörperhormon 112
Geschwindigkeitmessung 22, 154
Gleichgewichtssinn 72
Grundspannung 40

Halbleiterelemente 154, 156
Halsstellreflex 139, 141
Hemiplegia 129
Herzschlag 86, 88, 96 ff.
Herztätigkeit 16, 27, 88, 96, 129
Hexobarbitol 106
Homoiothermie 43, 56
Hippocampus 108
Hypnose 120
Hypothalamus 43, 58, 94

Imipramin 118 f.
Isomytal 124

Kaltblüter 19, 44, 60 f., 72, 90
Kältezittern 15
kapazitive Abnahme 22, 155
Kleinhirn 89
Kleinkind 145
klinischer Tod 30
Konditionierung 68
Körpertemperatur 43 ff., 71, 90
Körperhaltung 109
Konstanz der Körpertemperatur 43, 58, 71
Konstitution 18
Kristall-Aufnehmer 13, 15, 83, 155
künstliche Lähmung 35, 104

Labyrinth 71, 75
Lähmung 35, 104, 129
Lärmwirkung 64
Lautreiz 146
Lendenwirbelnarkose 104
Levomepromazin 118 f.
Lysthenon 34

Magnetbandspeicher 158
makroskopisches Kältezittern 59
Makrotremor 15, 83, 93 f.
Meditation 131
Meniersche Krankheit 136
Mephesisin 107, 115
Meproamat 35, 65, 105, 111

Meßplatz 153
Methylphenidat 118 f.
mikroskopische Vergrößerung 21
Morphine 114
Morphium 107, 115
motorische Aphasie 129
multiple Sklerose 28
Musik 131
Muskelaktionsströme 34, 38 f., 66, 88, 115
Muskelspannung 18, 109, 138
Muskelspindel 91
Muskeltonus 40, 91
Muskeltraining 126
MV-Pain-Response 112
MV-Schmerzreaktion 67, 116
Myographie 34, 38 f., 66, 88, 115

N-A-D-L-Klassifikation 142 f.
Nalorphin 115
Narkose 17, 104, 106
Neugeborene 50
Neuroleptika 118, 119
Neuroplegika 118, 125
Neurotiker 68 f., 120, 133 ff.
normal tremor 27
normal tremor at rest 20, 30
nucleus caudatus 89

Oberkiefertumor 143
Ovarialhormon 112

Parkinson-Syndrom 15, 93, 116, 122, 125
Parasympathikus 125
Pentobarbitol 106
permanente alternierende Faserkontraktionen 26, 36 ff., 56, 72
Perphenazin 118 f., 121 f., 124
Phenobarbital 107 f.
Phentothiazin 106
Phentothiazinderivate 118
Phosphenreizung 129, 134
physikalische Wärmeregulation 43
physiologic tremor 27
Pick-up 14, 81, 83, 154
piezo-elektrische Systeme 13, 15, 83, 155
Pipradrol 118 f.
Poliomyelitis 129

Procain 107 f.
Prochlorperazin 118 f.
Promethazinhydrochlorid 118 f.
psychische Spannung 19, 62, 65
Psychomotorstimulantia 118
Psychopharmakologie 116 f.
Psychopharmakotherapie 121
Psychose 68 f., 120, 133 ff.
psychosomatische Medizin 131
Pulpareizung 113
Puls 109
Pulsrhythmus 15

Rassenunterschiede 18
Registrierung 157
reine Mikrovibration 39
Relaxantia 65, 111, 125
Reserpine 107, 115, 117 ff.
Resonanzhypothese 26
Riechzentrum 108
Rigidität 64
Rückenmarksegmente 28
Ruhetremor 27
Ruhezustand 86, 109 f.

Schizophrenie 68, 120, 133, 136
Schlaf 15, 27, 54, 99, 104, 131, 145
Schmerz 66, 113 ff.
Schmerzindikator 115
Schmerzstillung 114 f.
Schwachsinn 70
Sehzentrum 108
seismische Systeme 155
Spannung, psychische 62 ff.
speech-therapy 129 f.
Speicherung 158
Sperrung der Blutzufuhr 28
Sprech-Echo 69
Stellreflex 139
Stoffwechsel 53
Straßenerschütterungen 12, 153

Streß-Situation 69
Succinylcholin 107
Sulfonal 124 f.
Sulpyrin 114
Sympathicus 89, 125, 138

telemetrische Systeme 155
Temperatur-Konstanz 43 ff., 53 ff.
Temperatur-Regulationszentrum 43
Theorie des Bewußtseins 72
Theta-Bereich 92
Theta-Wellen 84, 92, 117, 137
Thiopental-Natrium 115
Thiopental 106
Thioridazin 122
Tonus-Problem 40
Tranquillizer 65, 106, 109, 111, 117, 119, 125
Tremor 15, 83, 125, 129
tremor at rest 27
Triflupromazin 122
Tubocuratin 107
Tumor 143

Urethan 106

Verstärker 156
Vestibularapparat 71, 139
Vestibularfunktion 141
Vibrogramm 29
Vibrokardiogramm 28
Vielfach-Aufheizungs-System 60
Vögel 50

Warmblüter 46, 54, 61, 72
Wärmebildung 54
Wegmessung 15, 84, 153
Winterschläfer 44 ff.

Zahnpulpa 113
Zwei-Komponenten-Theorie 31