

# Wechselstrom-Wirkungen in biologisch-medizinischer Sicht

Autor(en): **Wyss, Oscar**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins : gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV) und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)**

Band (Jahr): **60 (1969)**

Heft 3

PDF erstellt am: **27.06.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-916118>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Wechselstrom-Wirkungen in biologisch-medizinischer Sicht

Vortrag, gehalten an der 31. Hochfrequenztagung des SEV vom 14. November 1968 in Bern,

von Oscar Wyss, Zürich

2687 - 2690

612.014.424

Auf lebende Zellen, Gewebe, Organe und Organismen üben Wechselströme nach Massgabe ihrer Intensität und Frequenz verschiedene Wirkungen aus.

Mit zunehmender Stromstärke ergeben sich vier Einwirkungsstufen:

a) Beeinflussung der Erregbarkeit (= elektrotonische Steigerung oder Herabsetzung der Ansprechbarkeit auf nicht-elektrische und elektrische Reize).

b) Auslösung von lokalen und fortgeleiteten Erregungen (= Reizwirkung).

c) Unterbrechung der Erregungsfortpflanzung (= Blockwirkung).

d) Temperatursteigerung (= Wärmewirkung).

Mit zunehmender Periodenzahl ergeben sich drei Frequenzbereiche:

1. *Niederfrequenz*, charakterisiert durch periodensynchrone Erregbarkeitsbeeinflussung und Reizwirkung gemäss den Prinzipien der Gleichstromreizung (= polaritäres Reizprinzip).

2. *Mittelfrequenz*, charakterisiert durch nicht mehr periodengebundene Erregbarkeitssteigerung, Reizwirkung und Blockierung der Erregungsfortpflanzung (= apolaritäres Reizprinzip).

3. *Hochfrequenz*, charakterisiert durch reizlose Wärmeeinwirkung (= reversible Wärmelähmung bzw. irreversible Hitzekoagulation).

Diese drei Frequenzbereiche sind zwar nach den angeführten *biologischen* Prinzipien eindeutig gegeneinander abgrenzbar; da jedoch die Reaktionsgeschwindigkeit (= biologische Zeitkonstante, die auch physikalisch fassbar ist) je nach dem biologischen Reizobjekt verschieden ist, liegt besonders die Grenze zwischen Niederfrequenz und Mittelfrequenz, weniger ausgesprochen auch diejenige zwischen Mittelfrequenz und Hochfrequenz bei ganz verschiedenen Frequenzwerten. Soweit es sich um die am meisten untersuchten Nerven und Muskeln handelt, ergeben sich für das Mittelfrequenzgebiet einige kHz als untere, etwa 100 kHz als obere Grenze.

An Hand von Reizversuchen, speziell an Nerven, werden nachfolgend Niederfrequenz und Mittelfrequenz einander gegenübergestellt. Anschliessend wird die praktische Anwendung einer quantitativen Hochfrequenz-Thermokoagulation auf lokalisierte Ausschaltungen im Gehirn sowohl für das Tierexperiment als auch für neurochirurgische Eingriffe am Menschen behandelt.

## 1. Reizwirkung niederfrequenter Wechselströme

Sinusförmige Wechselströme, deren Periodendauer im Verhältnis zur Dauer des einzelnen Erregungsprozesses relativ lang ist und deren Frequenz für Nerven keinesfalls über 1 kHz betragen soll, üben ihre Reizwirkung nach Massgabe derjenigen der einzelnen Periode aus [16; 19]<sup>1)</sup>. Somit ergibt sich für die eine reizwirksame Elektrode (die andere Elektrode als weniger oder nicht wirksam vorausgesetzt) eine Repetierung von Erregungen mit einer der Wechsel-

<sup>1)</sup> Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

stromfrequenz entsprechenden Sequenz. Für die Reizwirkung massgebend ist die von Scheitel zu Scheitel erfolgende Stromschwankung, und zwar diejenige, die für die reizwirksame Elektrode von der anodischen in die kathodische Halbwelle übergeht und als Stromschwankung das  $2 \times \sqrt{2}$ -fache der effektiven Stromstärke beträgt [9; 10; 12]. Reizphysiologisch wird eine in dieser Richtung verlaufende Stromstärkeänderung, die kontinuierlich aus der «Öffnung» eines eintretenden in die «Schliessung» eines austretenden Stromes übergeht, als «katelektrotonische Schwankung» bezeichnet. Nur in dieser Richtung ist die Stromstärkeänderung reizwirksam; denn nur so kommt es an der Reizstelle zu dem für die Erregungsauslösung verantwortlichen austretenden Strom; in umgekehrter Richtung ist eine Reizwirkung unmöglich. Die Erregungsauslösung beruht somit auf der Polarität des elektrischen Reizes, gegeben durch Ein- bzw. Austritt des Reizstromes. Das Reizprinzip ist ein ausgesprochen «polaritäres». Auf Grund dieser Erkenntnis ist zu erwarten, dass die Reizwirkung einer kathodischen Halbwelle durch eine vorausgehende anodische Halbwelle eine erhebliche Steigerung erfährt, was sowohl für den einzelnen (sinusförmigen) Wechselimpuls als Einzelreiz, wie auch für den entsprechenden Wechselstrom als repetierenden Reiz experimentell sich daran nachweisen lässt, dass eine unterschwellige kathodische Halbwelle bzw. ein sinngemäss gleichgerichteter unterschwelliger Wechselstrom zum stark überschwelligeren Reiz wird, wenn der ersteren eine unmittelbar vorausgehende anodische Halbwelle zugeordnet bzw. für den letzteren die Gleichrichtung aufgehoben wird. Gleichrichtung setzt somit die Reizwirkung des reizphysiologisch niederfrequenten Wechselstroms herab; und zwar gilt dies sowohl für Einweg- als auch für Zweiweg-Gleichrichtung. Selbstverständlich erscheint dann für den letzteren Fall bei entsprechender Steigerung der Stromstärke der Reizerfolg mit der doppelten Erregungssequenz.

Eine praktische Konsequenz ergab sich seinerzeit aus der Unkenntnis dieser von der Stromschwankung abhängigen Reizwirkung. Wird der menschliche Körper durchströmt, vorerst mit Gleichstrom bekannter Stromstärke, der zwecks Reizwirkung z. B. 50mal pro Sekunde unterbrochen wird und hernach mit Wechselstrom von 50 Hz und der gleichen effektiven Stromstärke, dann macht die Reizwirkung des letzteren fast das 3fache des ersteren aus. So kam es, dass schon vor und noch während dem ersten Weltkrieg zahlreiche elektrotherapeutische Todesfälle zu verzeichnen waren, und dass infolgedessen dem sinusförmigen Wechselstrom eine besondere «Gefährlichkeit» zugeschrieben wurde. Die Ursache des Übels lag aber letzten Endes in der Verwechslung der Begriffe Spannungsdifferenz und Spannungsschwankung. Gravierend kam noch dazu, dass Wechselstrom von 50 Hz sowohl für den Herzmuskel (Kammer-

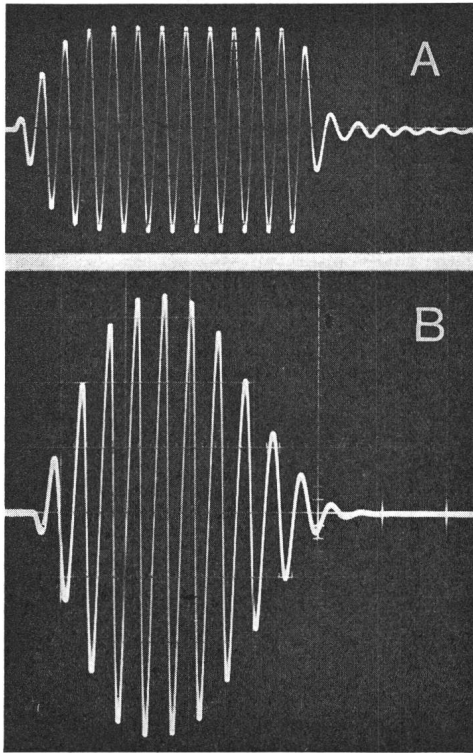


Fig. 1

Mittelfrequenz-Stromstoss A und Mittelfrequenz-Impuls B ungefähr gleich langer Gesamtdauer  
Trägerfrequenz 20 kHz

flimmern) als auch für vegetative Nerven (Vagushemmung am Herzen) die «Optimalfrequenz» darstellt, d. h. diejenige Periodendauer, für welche die Reizschwelle von Herzmuskel und vegetativen Nerven die niedrigste ist.

## 2. Reizwirkung mittelfrequenter Wechselströme

Ganz anders verhält es sich, sobald die Periodendauer des Wechselstromes kürzer wird als die Dauer des Erregungsvorgangs, d. h. für Nerven und Muskeln kürzer als eine Millisekunde. Der wesentliche Unterschied gegenüber den niederfrequenten Wechselströmen besteht darin, dass die Reizwirkung der einzelnen Periode eines mittelfrequenten Wechselstroms, d. h. eines entsprechend kurzen Wechselimpulses, nicht mehr die Grundlage der Reizwirkung des Mittelfrequenzstromes sein kann. Weit unterschwellige kurze Wechselimpulse können nämlich durch Summation über mehrere bis viele Perioden im Mittelfrequenz-Stromstoss zum Reizerfolg führen, ohne dass dabei die Erregungsauslösung noch mit einer bestimmten Periode in zeitliche Beziehung gebracht werden kann. Der Vorgang dieser echten Mittelfrequenz-Reizung beruht also offensichtlich nicht mehr auf dem auch für kurze Wechselimpulse noch geltenden, vom Gleichstrom abzuleitenden polaritären Prinzip [20; 21]. Folgerichtig muss hier ein andersartiges, als «apolaritär» bezeichnetes Prinzip vorliegen, bei dem es sich wahrscheinlich um eine direkte Einwirkung der raschen Stromschwankungen auf die erregbare Membran handelt, ohne dass ein austretender Strom die primäre Ursache ist [17; 18; 22; 27].

Bei der echten Mittelfrequenz-Reizung liegt somit eine Situation vor, wo nicht die Reizwirkung der einzelnen Periode, sondern geradezu ihre Reizunwirksamkeit die Voraus-

setzung zur eigentlichen Wechselstrom-Reizung ist. Diese polaritäre Reizunwirksamkeit eines kurzen Wechselimpulses ist umso eher zu erreichen, als beim kurzen Wechselimpuls die kathodische Halbwelle sowohl durch die vorausgehende als auch durch die nachfolgende anodische Halbwelle in ihrer Wirksamkeit beeinträchtigt wird [20]. Dies steht im Gegensatz zum langen Wechselimpuls, wo die vorausgehende anodische Halbwelle die Reizwirkung steigert, die nachfolgende sie nicht mehr beeinflussen kann.

Um die Mittelfrequenz-Reizung von polaritären Komponenten, die als Ein- oder Ausschalt effekte auftreten können, freizuhalten, sorgt man dafür, dass Mittelfrequenz-Stromstöße nicht plötzlich mit voller Periode einsetzen, sondern sich über einige Perioden «aufschaukeln», und dass sie nicht plötzlich aufhören, sondern über einige Perioden «ab-

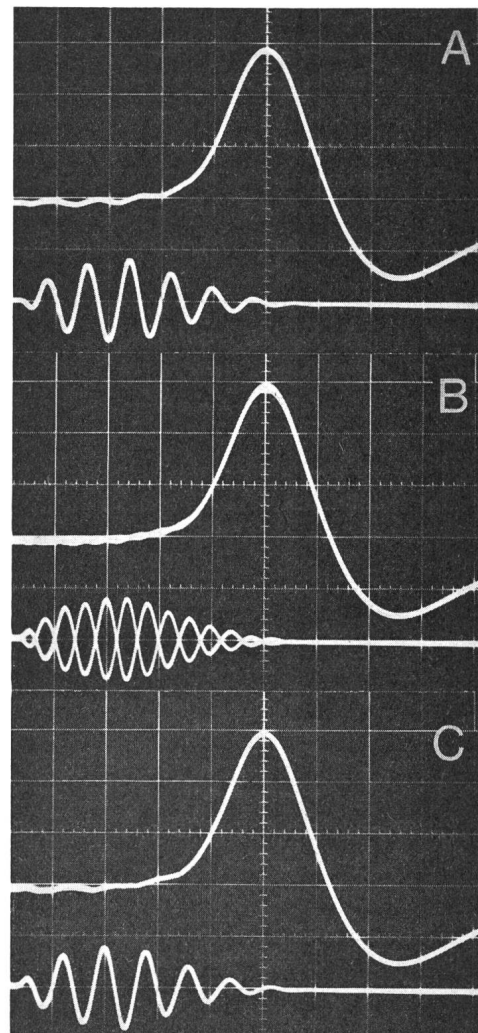


Fig. 2

### Konvertibilitätstest mit symmetrischem Mittelfrequenz-Impuls

Längsreizung eines isolierten Froschnerven mit Ableitung des Aktionsstroms auf 12 mm Distanz. *Je oben:* Spannung zwischen den Ableitungs- (Aktionsspannung). *Je unten:* Spannung zwischen den Reizelektroden (= Reizspannung). Ausschlag nach oben bedeutet Negativierung der reiznahen Ableitungs- (für obere Kurve) sowie der ableitungsnahen Reizelektrode (für untere Kurve). Vertauschen der Zuführungen zu den Reizelektroden zwischen den Aufnahmen A und C und während der Aufnahme in B. Der Erregungsprozess tritt an der reiznahen Ableitung zum gleichen Zeitpunkt auf, kann also nicht auf eine bestimmte Periode des Mittelfrequenz-Impulses bezogen werden. Trägerfrequenz 5 kHz.

Abszisse: 0,25 ms/cm; Ordinate: oben 5 mV/cm für Aktionsspannung; unten 1 V/cm für Reizspannung

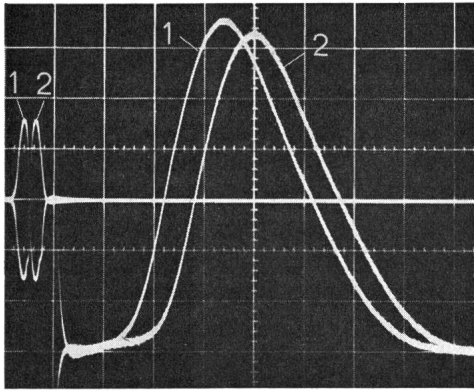


Fig. 3

Längsreizung eines isolierten Froschnerven mit einem Wechselimpuls von 0,14 ms Gesamtdauer (entsprechend einer Mittelfrequenz-Periode bei 7 kHz)

Ableitung des Aktionsstroms auf 15 mm Distanz. Oberer Strahl: Reizspannung. Unterer Strahl: Aktionsspannung. Polwendung ergibt kürzere Latenzzeit für den kathodisch-anodisch verlaufenden Impuls 1, längere Latenzzeit für den anodisch-kathodisch verlaufenden Impuls 2.

Zudem ist letzterer etwas weniger wirksam.

Abszisse: 0,2 ms/cm; Ordinate: 1 V/cm für Reizspannung; 2 mV/cm für Aktionsspannung

klingen» (Fig. 1A). Mit Verkürzung der Stromstoss-Dauer bzw. mit etwas stärker verzögerter Amplitudenzu- und -abnahme kommt man zum (amplituden-modulierten) Mittelfrequenz-Impuls (Fig 1B). Ähnlich wie Gleichstromreizen, sog. kathodischen Impulsen, kann so auch den Mittelfrequenz-Reizen eine bestimmte Form («Umhüllung») gegeben werden, und man kann die «Trägerfrequenz» eines solchen Impulses im Mittelfrequenzbereich variieren [25; 26].

Amplituden-symmetrische Mittelfrequenz-Impulse wirken als Einzelreize und sind bezüglich ihrer Reizwirkung «konvertibel», d. h. beim Vertauschen der Zuführungen zu den Reizelektroden ändert sich am Reizerfolg nichts, weder die Zahl der bei der gegebenen Reizstärke erregten Nervenfasern, noch die Latenzzeit, die auf den Zeitpunkt der Erregungsauslösung zu beziehen ist (Fig. 2). Dies steht eindeutig im Gegensatz zur Reizung mit Wechselimpulsen entsprechender Dauer, bei denen mit der Polwendung eine signifikante Latenzzeitverschiebung (die aus hier nicht näher zu erörternden Gründen signifikant grösser ist als die halbe Periode [20; 21]) nachweisbar ist (Fig. 3). Dieser Konvertibilitätstest hatte seinerzeit den Beweis des «apolaritären» Prinzips der echten Mittelfrequenz-Reizung erbringen lassen [17; 18; 27]. So wird auch verständlich, dass Mittelfrequenz-Impulse, die infolge zu kurz bemessener Umhüllung zu wenige Trägerperioden umfassen und damit auch im bildlichen Aspekt nicht mehr «symmetrisch» wirken, analog dem Wechselimpuls nach dem polaritären Prinzip reizen und bei Polwendung die signifikante Latenzzeitveränderung ergeben (Fig. 4).

Die apolaritäre Mittelfrequenz-Reizung hat eine ganze Reihe praktischer Konsequenzen. Da hier beiden Reizpolen prinzipiell gleichartige Reizwirkung zukommt («ambipolare Reizung» [14]), lassen sich beide Reizpole zu einer gemeinsamen Reizstelle vereinigen, was für Nerv und Muskel eine echte Querreizung ermöglicht [15; 5; 6] und eine wesentlich präzisere Lokalisierung des Reizortes ergibt. Die Entstehung der Erregung lässt sich am Reizort mittels intracellulärer Ableitung von einzelnen Muskelfasern ohne elek-

trisch erzwungene Polarisierungseffekte untersuchen [5]. Der Notwendigkeit, unpolarisierbare Reizelektroden zu verwenden, kommt nicht mehr die Bedeutung zu, die bei der polaritären Reizung zur Vermeidung störender Effekte ausschlaggebend war.

Ausser der Mittelfrequenz-Impuls-Reizung kommt auch die Mittelfrequenz-Dauerstrom-Reizung in Frage, wobei nicht mehr, wie bisher, mit unliebsamen polaritären Einflüssen zu rechnen ist. Dies ist für die experimentelle Hirnreizung von grosser Bedeutung, insbesondere auch deswegen, weil der Verzicht auf eine Impulsreizung den zentralnervösen Substraten die Möglichkeit lässt, ihre eigene rhythmische Aktivität zum Ausdruck kommen zu lassen. Dazu kommt die genauere Lokalisierung der Reizstellen [1; 2].

Auf die noch unerschöpften Möglichkeiten der Anwendung der Mittelfrequenz-Reizung in der Elektrotherapie

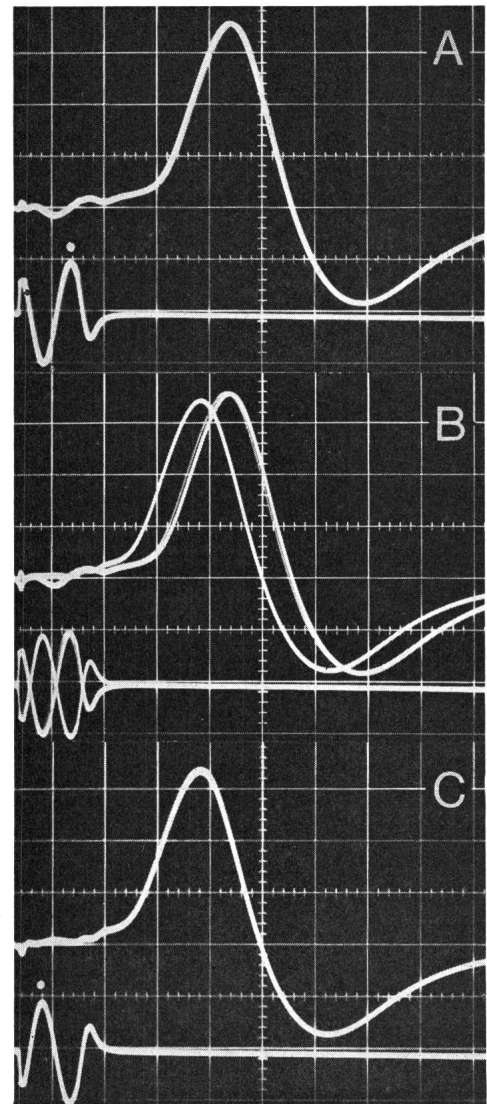


Fig. 4

Konvertibilitätstest mit zu kurzem und daher asymmetrischem Mittelfrequenz-Impuls

Längsreizung eines isolierten Froschnerven und Ableitung wie in Fig. 2. Polwendung zwischen den Aufnahmen A und C sowie während der Aufnahme B: Änderung der Latenzzeit und der Höhe des Aktionsstroms, so dass letzterer auf eine bestimmte Schwankung der Trägerperiode bezogen werden kann, in A und C mit je einem Punkt angedeutet.

Abszisse: 0,25 ms/cm; Ordinate: oben 5 mV/cm für Aktionsspannung; unten 1 V/cm für Reizspannung

kann hier nur beiläufig aufmerksam gemacht werden. Ansätze hierzu liegen bereits vor, insbesondere mit Bezug auf die Interferenzstromtherapie [7]. Diese ergibt eine ins Innere des durchströmten Körpers verlegte Amplitudenmodulation, welche einer Mittelfrequenz-Impuls-Reizung mit der maximal möglichen Impulssequenz gleich kommt [23].

Von ganz spezieller Wichtigkeit bei der Verwendung von Wechselströmen ist aber die Tatsache, dass Gleichrichtung zum Auftreten polaritärer Reizeffekte führt, die um ein Vielfaches die Mittelfrequenz-Reizwirkung übersteigen. Im Gegensatz zur Niederfrequenz wirkt hier, wie auch bei der Hochfrequenz, Gleichrichtung eventuell in gefährlicher Weise wirkungssteigernd!

### 3. Wärmewirkung hochfrequenter Wechselströme

Schon bei der Reizung mit Mittelfrequenz-Impulsen hoher Sequenz sowie derjenigen mit Mittelfrequenz-Dauerstrom kann es zu Erscheinungen reversibler Wärmelähmung kommen. Der anfangs maximale Aktionsstrom des Nervs ist nach einer Periode sequenter Impulsreizung, bzw. nach länger anhaltender Dauerreizung weniger hoch als zuvor, um im Verlauf einer Ruhepause von etwa einer Viertelstunde wieder die ursprüngliche Höhe zu erreichen. Mit höheren Frequenzen, z. B. 500 kHz, kommt es ohne jegliche Reizwirkung zur irreversiblen Hitzeokoagulation. So kann in einem Nerv während repetierender Reizung die Erregungsfortpflanzung vollkommen reizlos unterbrochen und der Nerv an der betreffenden Stelle ebenfalls ohne jeden Reizeffekt zur Koagulation gebracht werden [11; 13].

Auf Grund dieser und weiterer experimenteller Befunde am Zentralnervensystem wurde eine Methode der reizlosen Ausschaltung zentralnervöser Substrate entwickelt. Mit Elektroden, die in die Tiefe der Hirnsubstanz versenkt werden, können bestimmte Areale mittels Hochfrequenzstrom reizlos zerstört werden. Die Elektroden sind mit Ausnahme des blank gehaltenen Endes gut isoliert. Für eine aktive Elektrodenoberfläche bestimmter Grösse ist eine bestimmte Stromstärke erforderlich, um eine Läsion bestimmter Grösse zu erzeugen. An Hand dieser experimentell festgelegten Beziehungen wurde eine quantitative Methode der Hochfrequenz-Ausschaltung im Gehirn entwickelt [3].

Für die praktische Anwendung der Hochfrequenz-Thermoagulation sind folgende Richtlinien massgebend:

Die Frequenz von 500 kHz ist hoch genug, um sicher keine Reizwirkung im Sinne der Mittelfrequenz-Reizung mehr auszuüben und garantiert somit für Reizlosigkeit. Sie ist niedrig genug, um noch einigermaßen verlustfreie Strommessung zu ermöglichen. Die Ausgangsimpedanz des Koagulationsgerätes ist gering, so dass die Ausgangsspannung bei Belastung keinen nennenswerten Abfall erfährt und vor allem bei gelegentlicher Erhöhung des Objektwiderstandes nur unwesentlich ansteigt. Die Ein- und Ausschaltung des Koagulationsstroms erfolgt automatisch mit verzögertem Anstieg und Abfall und variabler Einwirkungsdauer. Der Koagulationsstrom wird an einem der Elektrode direkt vorgeschalteten Milliampèremeter kontrolliert. Diese Strommessung ist bei Berücksichtigung der aktiven Elektrodenoberfläche für eine optimale Koagulation ausschlaggebend und weit zuverlässiger als eine «lokale» Temperaturmessung im Gewebe.

Die Methode der quantitativen Hochfrequenz-Thermoagulation hat sich in der experimentellen Hirnforschung bewährt. Sie wurde in die Neurochirurgie eingeführt und ist gegenwärtig die zuverlässigste Ausschaltungstechnik für die stereotaktische Eingriffe am menschlichen Gehirn [8; 4].

### Literatur

- [1] R. W. Hunsperger: Affektreaktionen auf Mittelfrequenzreizung (5000 Hz) im Hypothalamus der Katze. *Helvetica physiologica et pharmacologica acta* 23(1965), S. C25...C28.
- [2] R. W. Hunsperger und V. M. Bucher: Affective behaviour produced by electrical stimulation in the forebrain and brain stem of the cat. *Progress in brain research* 27(1967), S. 103...127.
- [3] R. W. Hunsperger und O. A. M. Wyss: Quantitative Ausschaltung von Nervengewebe durch Hochfrequenzkoagulation. *Helvetica physiologica et pharmacologica acta* 11(1953), S. 283...304.
- [4] H. Krayenbühl, O. A. M. Wyss und M. G. Yasargil: Bilateral thalamotomy and pallidotomy as treatment for bilateral parkinsonism. *Journal of neurosurgery* 18(1961), S. 429...444.
- [5] T. Kumazawa: Intracellular recording of electrical response of muscle fibre to transversely applied middle-frequency pulse stimulation. *Experientia* 22(1966), S. 393...394.
- [6] T. Kumazawa und O. A. M. Wyss: Mittelfrequenz-Querreizung des Muskels mit intracellulärer Ableitung am Reizort. *Helvetica physiologica acta* 24(1966), S. C33...C36.
- [7] H. Nemeč: *Vademecum der Interferenzstromtherapie*. Bonn, MEFA GmbH, 1966.
- [8] M. G. Yasargil, O. A. M. Wyss und H. Krayenbühl: Beitrag zur Behandlung extrapyramidaler Erkrankungen mittels gezielter Hirnoperationen. *Schweizerische medizinische Wochenschrift* 89(1959), S. 143...150.
- [9] O. A. M. Wyss: Die Elektrotherapie vom Gesichtspunkt moderner Elektrophysiologie aus betrachtet. *Schweizerische medizinische Wochenschrift* 65(1935), S. 274...276.
- [10] O. A. M. Wyss: Die Reizwirkung des sinusförmigen Wechselstroms. *Schweizerische medizinische Wochenschrift* 65(1935), S. 732.
- [11] O. A. M. Wyss: Reizlose Ausschaltung durch Hochfrequenzkoagulation. *Verhandlungen des Schweizerischen Vereins für Physiologie* (1941), S. 8...10.
- [12] O. A. M. Wyss: L'effet excitateur du courant alternatif comparé à celui de l'excitant rhéobasique. *Compte rendu de séances de la société de physique et d'histoire naturelle de Genève* 61(1944), S. 133...138.
- [13] O. A. M. Wyss: Ein Hochfrequenz-Koagulationsgerät zur reizlosen Ausschaltung. *Helvetica physiologica et pharmacologica acta* 3(1945), S. 437...443.
- [14] O. A. M. Wyss: Nouveau principe de stimulation électrique: L'excitation ampolaire par courant alternatif, sinusoïdal pur, de fréquence moyenne. *Experientia* 18(1962), S. 341...342.
- [15] O. A. M. Wyss: Querreizung des Nerven mit mittelfrequenter Wechselstrom. *Helvetica physiologica et pharmacologica acta* 20(1962), S. C10...C11.
- [16] O. A. M. Wyss: Elektrische Reizung nach neuem Prinzip. *Experimentelle Grundlagen und praktische Erfolgsaussichten der Mittelfrequenzreizung*. *Schweizerische medizinische Wochenschrift* 92(1962), S. 1531...1537.
- [17] O. A. M. Wyss: Principe «apolaritaire» de la stimulation électrique par courant alternatif de fréquence moyenne. *Rass. Internaz. Eleetr. Nucl. IX Congr. Internaz. Eleetr. Roma* 1962, S. 1...14.
- [18] O. A. M. Wyss: Die Reizwirkung mittelfrequenter Wechselströme. *Helvetica physiologica et pharmacologica acta* 21(1963), S. 173...188.
- [19] O. A. M. Wyss: Die Reizwirkung sinusförmiger Wechselströme, untersucht bis zur oberen Grenze der Niederfrequenz (1000 Hz). *Helvetica physiologica et pharmacologica acta* 21(1963), S. 419...433.
- [20] O. A. M. Wyss: Elektrische Reizung mit kurzen gleitpiegelsymmetrischen Wechselimpulsen. *Helvetica physiologica et pharmacologica acta* 23(1965), S. 107...130.
- [21] O. A. M. Wyss: Nouveau principe «apolaritaire» de l'excitation électrique. In: A. M. Monnier: *Actualités neurophysiologiques*. Sixième série. Paris, Masson, 1965, S. 69...83.
- [22] O. A. M. Wyss: Beiträge zur elektrophysiologischen Methodik. VII: Hochfrequenz-Koagulationsgerät. *Helvetica physiologica et pharmacologica acta* 23(1965), S. 250...256.
- [23] O. A. M. Wyss: Die elektronische Beeinflussung der Reizwirkung kurzer Wechselimpulse. *Helvetica physiologica et pharmacologica acta* 23(1965), S. 341...356.
- [24] O. A. M. Wyss: Mittelfrequenz-Impulsreizung als Prinzip der Interferenzreizung mit mittelfrequenten Sinusströmen. *Elektromedizin* 11(1966), S. 144...150.
- [25] O. A. M. Wyss: Präzisierung der Reizwirkung mittelfrequenter Wechselströme. (Stellungnahme zu den Arbeiten von Bromm und Lullies.) *Pflügers Archiv für die gesamte Physiologie* 295(1967), S. 136...146.
- [26] O. A. M. Wyss: Nervenreizung mit Mittelfrequenz-Stromstössen. *Helvetica physiologica acta* 25(1967), S. 85...102.
- [27] O. A. M. Wyss: Das apolaritäre Prinzip der Mittelfrequenz-Reizung. *Experientia* 23(1967), S. 601...608.

### Adresse des Autors:

Prof. Dr. med. Oscar Wyss, Direktor des Physiologischen Institutes der Universität Zürich, Rämistrasse 69, 8001 Zürich.