

<b>Zeitschrift:</b>	Physiotherapeut : Zeitschrift des Schweizerischen Physiotherapeutenverbandes = Physiothérapeute : bulletin de la Fédération Suisse des Physiothérapeutes = Fisioterapista : bollettino della Federazione Svizzera dei Fisioterapisti
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerischer Physiotherapeuten-Verband
<b>Band:</b>	- (1974)
<b>Heft:</b>	259
<b>Artikel:</b>	Erregbarkeitsverhältnisse von Muskeln und elektrische Reiztechniken
<b>Autor:</b>	Senn, Edward
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-930631">https://doi.org/10.5169/seals-930631</a>

### Nutzungsbedingungen

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

### Conditions d'utilisation

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

### Terms of use

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

**Download PDF:** 10.02.2026

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

## Erregbarkeitsverhältnisse von Muskeln und elektrische Reiztechniken

Edward Senn, *Physiotherapie der Rheumaklinik Kantonsspital Zürich*  
(Direktor: Prof. Dr. med. A. Böni)

Im Bereich der Elektrotherapie von Muskelerkrankungen, insbesondere von denervationsbedingten Muskeldegenerationen und von Muskelatrophien, besteht immer noch eine derart ausgeprägte Unwissenheit, dass die naturwissenschaftlichen und naturphilosophischen Spekulationen noch immer vorherrschen. Ein Symptom dafür ist die Zahl von Elektrogeräten die in letzter Zeit neu auf den Markt gekommen sind, wobei die Prospekte grossflächige farbige Darstellungen weiblicher Grazien mit an gefährlichen Stellen angelegten Elektroden, aber eher wenig Raum für die Dokumentation von Grundlagen enthalten! Eine Übersicht über die aus der Elektrophysiologie des Muskels bekannten älteren und neusten Tatsachen ist sicher ab und zu nützlich.

Die Verwendung von Elektrogeräten bei Unfällen von Sportlern hat sich erstaunlich gut eingeführt; welcher Sportler träumte darüber hinaus nicht davon, entweder im Schlaf trainieren zu können oder wenigstens bei unfallbedingten Ruhigstellungen von einzelnen Gelenken die trainierte Muskulatur der unweigerlich auftretenden Atrophie nicht ausliefern zu müssen? Vielleicht sind wir heute diesem Traum näher. Die neusten vorhandenen Grundlagen auf dem Gebiete der Mittelfrequenzreiztechnik sind vielversprechend, doch noch fehlen die klinischen Ergebnisse.

Der *eutrophe Zustand* eines Muskels hängt indessen nicht nur — wie vielfach

vereinfacht angenommen wird — von der intakten Funktion, d. h. vom Gebrauch desselben ab, sondern von den verschiedensten Faktoren:

a) Der *morphologische Kontakt zwischen Nerv und Muskel* im Bereich der Endplatten, ganz abgesehen von den dadurch vermittelten Erregungen, ist für die Erhaltung einer intakten Muskelstruktur, der Trophik, unabdingbar (1, 4, 20). Bei einem Verlust dieses Kontaktes, der sog. Denervation, verliert der Muskel seine Art und entartet demzufolge, was neben Veränderungen in den Erregbarkeitsverhältnissen und einer Atrophie eine eigentliche Degeneration von einzelnen Muskelfasern nach sich zieht (3, 19). Welcher Natur dieser durch die Endplatte vermittelte biochemische Einfluss ist, bleibt unbekannt (21), sicher sind es weder die Erregungen noch der Überträgerstoff der Endplatten. Somit ist ein Verlust dieses Kontaktes infolge einer Denervation durch nichts zu ersetzen, weder durch Medikamente noch durch eine Elektrotherapie.

b) Die *Funktion* des kontraktilen Substrates, die biochemischen Veränderungen während der Kontraktion, sind für die Erhaltung der Menge des kontraktilen Substrates notwendig. Ein Funktionsausfall auch bei morphologisch erhaltenen Endplatten führt unweigerlich zu einer Atrophie, wobei — im Gegensatz zur Degeneration — die Zahl der Muskelfasern mehr oder weniger erhalten bleibt.

Bei einem Unterbruch des natürlichen Erregungsflusses anatomischer oder funktioneller Gründe wegen können die Muskelfasern direkt elektrisch gereizt werden. In der Humanmedizin fehlt es besonders auf den Gebieten der Unfallchirurgie, der Rheumatologie und der Orthopädie nicht an Umständen, unter denen einzelne Muskeln oder Muskelgruppen atrophieren. Ob durch eine elektrische Reiztechnik diese Atrophie verzögert werden kann oder nicht, scheint aus der Literatur umstritten, da ebenso viele positive wie negative Arbeiten zitiert werden können (8). Das bisher zu wenig beachtete Problem besteht wahrscheinlich einerseits in der Vielzahl der Atrophieformen (7) und andererseits der Reiztechniken. Auf Grund rein theoretischer Überlegungen muss es mit einer geeigneten Reiztechnik, die über genügend lange Zeiträume von Stunden pro Tag angewendet werden kann, möglich sein, die Atrophie zu verzögern.

c) Unter extremen Verhältnissen, wie es diejenigen darstellen, die zur Volkmannschen Kontraktur führen, spielt die Durchblutung für die Strukturerhaltung, die Trophik des Muskels, eine Rolle. Dagegen fehlen Arbeiten und es fehlen auch die theoretischen Ansätze dazu, dass bei Denervationsprozessen die Durchblutung irgend eine limitierende Rolle in bezug auf die Trophik spielt.

d) Zum Schluss muss noch erwähnt werden, dass neben *hormonalen Faktoren* (besonders das Wachstumshormon) auch die *Ernährung* vor allem in der Wachstumsphase der Muskulatur, von Bedeutung sind (18), was im Erwachsenenalter indessen therapeutisch noch nicht ausgenutzt werden kann.

Diese kurze Übersicht soll zeigen, dass mit einer noch so idealen elektrischen Reiztechnik nur ein einziger Faktor unter einer Vielzahl berücksichtigt werden kann, der zur Eutrophik des Muskels führt und dass somit überhaupt nur *Teilerfolge* zu erwarten sind.

Funktionell wird das eigentliche kontraktile Substrat, die Muskelfibrillen, vom elektrischen Reiz nur über die Muskelfasermembran erreicht, die als Träger der elektro-

physiologischen Vorgänge und Vermittler der Erregungen die Kontraktionen erst auszulösen vermag. Wer Reiztechniken an Muskeln studieren will, muss somit die Erregbarkeitsverhältnisse der Muskelfasermembranen untersuchen. Diese *Erregbarkeitsverhältnisse* spielen nicht nur bei der Reiztechnik eine Rolle, sondern die zeitlichen Veränderungen derselben begleiten den Entartungsprozess und können somit diagnostisch verwertet werden.

Im allgemeinen wird die Erregbarkeit durch die *Schwelle* bestimmt, bei welcher mit einer bestimmten Reiztechnik ein erster Schwellenerfolg ausgelöst werden kann. Man muss sich unbedingt von der Vorstellung lösen, es gebe eine bestimmte und bestimmbarre Erregbarkeit eines Muskels oder einer Muskelfasermembran. Vielmehr kann man mit einer bestimmten elektrischen Reiztechnik immer nur die damit verbundene Schwelle bestimmt werden, so dass erst die Zusammenfassung aller Schwellen ein Bild der Erregbarkeitsverhältnisse ergibt. Viele Phänomene, so auch die Akkommodation, sind im Grunde an eine bestimmte Reiztechnik gebunden und treten bei anderen Techniken nicht auf.

Bei normal *innervierten Muskeln* muss entschieden werden, ob man anstelle der Muskel-Fasern nicht die feinsten Kollateralen der motorischen Nerven im Muskel reizt, was bei den heute üblichen Reizmethoden tatsächlich der Fall ist und was paradoxerweise immer noch als «direkte Muskelreizung» bezeichnet wird.

Es ist aber unbestritten, dass die Muskelfasern direkt gereizt werden können und dass dies auch bei erhaltener Innervation geschehen kann. Im folgenden beschränken wir uns auf die Möglichkeiten der tatsächlichen direkten Muskelreizung, deren Grundlagen bereits im letzten Jahrhundert an einer Vielzahl von Tiermuskeln erarbeitet wurden.

Die historisch zuerst gefundene und heute noch üblichste Reizart besteht im abrupten Schliessen eines Gleichstromkreises, wobei es bei Schellenintensitäten an der Kathode zur Auslösung einer einzelnen Erregung kommt (12, 13). Früher verwendete man meistens Kondensatorenentladungen (Farradische Reizung) oder Induktionsströme,

heute Rechteckimpulse oder sinusförmige Halbwellen (z. B. beim Novodyn). Die üblichen Frequenzen bewegen sich im Bereich bis hundert Hertz, also im niedrigsten Niederfrequenzbereich. Die Dauer der Impulse ist im allgemeinen recht lang, beim Novodyn z. B. 10 msec., so dass ein zu berücksichtigender Gleichstrom resultiert. Dieser Gleichstrom hat therapeutische Vorteile, wie die schmerzstillende Wirkung, und Nachteile, wie u. a. die Wirkung auf die Haut.

Das *reizwirksame Prinzip* bei diesen sog. *Kathodenschliessungszuckungen* ist der aus dem Gewebe austretende Strom, der an Intensität sehr rasch zunimmt; man bezeichnet dies als *katelektrotonische Verschiebung*. Dieselbe zeitliche Entwicklungsrichtung zeigt nun auch der an der Anode rasch abnehmende Gleichstrom; diese «rückläufige» oder mit einem negativen Vorzeichen versehen *anelektrotonische Verschiebung* könnte man auch als «relative katelektrotonische Verschiebung» bezeichnen: Sie führt in der Tat ebenfalls zu einer Erregung, zur sogenannten *Anodenöffnungserregung*. Allerdings sind hier ganz spezielle Voraussetzungen nötig, die indessen beim Menschen bei perkutaner Reizung erfüllt sind. Im übrigen ist das Phänomen der Anodenöffnungserregung sehr komplex und kaum mit der Kathodenschliessungserregung zu vergleichen; das Problem ist noch immer Gegenstand neuerer Publikationen (11).

Der *reine, sinusförmige Wechselstrom* kann in der Folge als die lückenlose Aneinanderreichung von Anodenöffnungen und Kathodenschliessungen betrachtet werden, während der Strom in einer einzigen katelektrotonischen Verschiebung von Maximum des Stromflusses in der einen Richtung zum Maximum des Stromflusses in der Gegenrichtung wechselt. Die Reizwirkung verstärkend tritt hinzu, dass jede katelektrotonische Konditionierung die nachfolgende Anodenöffnungserregung begünstigt. Die wirksamste Stromform im Niederfrequenzbereich (0—1000 Hertz) zur Reizung von Skelettmuskeln ist deshalb der reine sinusförmige Wechselstrom, wobei sich für den normalen Muskel Frequenzen zwischen 60 und 100 Hertz als optimal erweisen, für den degenerierenden Muskel solche um 25 Hertz (6).

Diese Art der Reizung mit sinusförmigen Wechselströmen im Niederfrequenzbereich ist aus der physiotherapeutischen Praxis weitgehend verschwunden, weil zu Beginn ihrer Anwendung infolge mangelnder Kenntnisse Unfälle passierten. Einerseits sind alle Frequenzen im 50 Hertz reizwirksam für den Herzmuskel, und andererseits muss berücksichtigt werden, dass die Größenangabe des Wechselstromes sowohl bezüglich Spannung (Volt) als auch bezüglich Intensität (Ampère) in *effektiven Werten* angegeben wird, d. h. umgerechnet in einen entsprechenden Gleichstrom gleicher Leistung. Die Spannungsschwankungen werden dabei *nicht* angegeben; werden diese vom einen Spitzpunkt zum Spitzpunkt der anderen Richtung betrachtet, so ergibt sich ein Spannungsschwankungsbereich von *rund 3facher Grösse* der angegebenen effektiven Spannung

(genau  $2 \times \sqrt{2} \times$  Volt-Zahl).

Reizwirksam sind aber wie gesagt die Schwankungen und nicht die effektive Spannung; wer mit Lichtstrom von 220 V reizt, reizt eigentlich mit Schwankungen von rund 660 Volt. Solche überraschenden *Verstärkungen der Reizwirksamkeit* von Wechselströmen werden nur aus dem Reizprinzip heraus verstanden.

Einem ganz anderen Reizprinzip stehen wir gegenüber, wenn wir mit den sog. *Dreieckströmen* reizen, d. h. mit linear ansteigenden Gleichströmen, die ihre Reizwirkung ebenfalls an der Kathode, d. h. am Orte ihres Austritts aus dem biologischen Objekt aufweisen. Verbunden mit diesem, meistens eher langsamen, Stromanstieg ist eine entsprechend langsame Senkung des Membranpotentials, wobei meistens nach einer Phase von Akkomodationserscheinungen eine *tetanische Folge von Erregungen* auftritt (9, 15, 17), die dann von einer lokalisierten Kontraktion, einer sogenannten *Kontratur* (2), gefolgt wird. Jede künstlich ausgelöste Dauerdepolarisation führt bekanntlich zu einer Kontraktur, einer Kontraktionsform, die nicht über die üblichen Erregungen eingeleitet und deshalb auch nicht richtig fort gepflanzt wird (14). In der Praxis spricht man vom Kathodenwulst oder bei degenerierenden Muskeln vom «idiomuskulären Wulst». Diese Kontrak-

tionsform, die sehr leicht und häufig bei degenerierenden Muskeln auftritt, ist somit sehr komplex. Die elektrische Auslösung solcher Tetani mit anschliessenden Kontraktionen ist leider sehr schmerhaft. Da dem Patienten nur eine sehr geringe Anzahl solcher schmerzhafter Kontraktionen zugemutet werden kann, kann auch der Effekt im Sinne einer Atrophieverzögerung nur sehr gering sein.

Zusammenfassend sollen nochmals die *Charakteristika der Reizung im Niederfrequenzbereich*, gleichzeitig auch deren Nachteile, aufgezählt werden:

1. Die Erregungsauslösung erfolgt nur reizsynchrom, d. h. sie ist immer an eine Stromschwankung gebunden; die Reizfrequenz bestimmt die Erregungsfrequenz;
2. Bei den heute üblichen längerdauernden Impulse sind Schmerzsensationen unvermeidlich und die Therapiedauer pro Tag bleibt ungenügend;
3. Frequenzen um 50 Hertz beeinflussen leicht das Reizbildungssystem des Herzens;
4. Bei Anwendung von Gleichstromimpulsen ist die Hautschädigung besonders zu beachten.

Alle diese Nachteile verschwinden, wenn man sich des sog. *Gildemeistereffektes* als Reizprinzip bedient, d. h. die Frequenzen sinusförmiger Wechselströme darart erhöht, dass das Reizintervall zwischen zwei kat- elektrotonischen Schwankungen kleiner wird als die absolute *Refraktärzeit*. Bei derart hohen Frequenzen tritt vorerst ein andauerndes Refraktärssein für die einzelnen Schwankungen auf, gleichzeitig aber können durch Summation von sehr vielen Reizperioden *Dauererregungen asynchroner Natur* ausgelöst werden, d. h. Erregungsfrequenzen die nicht mehr von der Reizfrequenz diktiert werden. Diesen Frequenzbereich von rund 1000 Hertz bis 100 k Hertz bezeichnet man als *Mittelfrequenz*. Um Einschalt- und Ausschalt-Effekte zu vermeiden sind bestimmte Hüllenformen, d. h. bestimmte *Amplitudenmodulationen*, nötig. Eine solche Hülle, die als *Mittelfrequenzimpuls* bezeichnet wird, löst bereits bei

Schwellenintensitäten tetanische Erregungen aus, wobei gleichzeitig das Membranpotential auf Werte sinkt, die ebenfalls mit einer Kontraktur verbunden sein könnten (23). Mit dieser Art der Reizung können am Menschen über Stunden grosse Muskelgruppen intensiv, periodenmäßig gereizt werden, wobei die Kontraktionsform der natürlichen nahe kommt. Der Patient verspürt — allerdings bei entsprechend hoher Intensität — lediglich ein Gefühl eines Muskelkrampfes, d. h. er verspürt eben direkt den gewaltigen Kontraktionserfolg. Mit dieser am Physiologischen Institut in Zürich entwickelten und jetzt am Physiotherapeutischen Institut der Rheumaklinik in Prüfung stehenden Muskelreiztechnik sollte es möglich sein, Atrophien wirksam zu verhindern. Leider liegen von unserer Seite noch keine klinischen Resultate vor.

#### Literaturverzeichnis

- 1 Adams, Denny-Brown & Pearson, Diseases of muscle, 1965, p. 135ff.
- 2 Bremer, J. Physiol. **76**, 65 (1932)
- 3 Chor et al., Am. J. Physiol. **118**, 580 (1937)
- 4 Denny-Brown & Brenner, Arch. Neurol. und Psychiatr. **51**, 1
- 5 Gildemeister, Pflügers Arch. **247**, 366 (1944)
- 6 Grodin et al., Am. J. Physiol. **142**, 216 (1944)
- 7 Gutmann, Ärztl. Forsch. **23**, 33 (1969)
- 8 Hnik, «The denervated muscle» ed by Gutmann, 1962, p. 341ff.
- 9 Hoffmann, Arch. Anat. Physiol. **34**, 247 (1910)
- 10 Lullies & Hensle, Z. Biol. **104**, 1 (1951)
- 11 Mashall & Ward, J. Physiol. **236**, 413 (1973)
- 12 Pflüger, Arch. pathol. Anat. Physiol. klin. Med. (Virchow) **13**, 437 (1858)
- 13 Pflüger, Pflügers Arch. **31**, 119 (1883)
- 14 Reichel, Muskelphysiologie, 1960
- 15 Schriever & Cebulla, Pflügers Arch. **241**, 1 (1938)
- 16 Schwarz, Pflügers Arch. **254**, 519 (1951/52)
- 17 Skoglund, Acta Phys. scand. **4**, Suppl. XII, 1942
- 18 Throne et al, US. Armed Forces M. J. **4**, 1043 (1953)
- 19 Tower, Am. J. Anat. **56**, 1 (1935)
- 20 Tower, J. Comp. Neurol. **67**, 109 (1937) und **67**, 241 (1937)
- 21 Weiss & Hiscoe, J. exp. Zool. **107**, 317 (1948)
- 22 Wyss, Schw. med. Wschr. **92**, 1531 (1962)
- 23 Eigene Untersuchungen