

Zur Geschichte der Elektromyographie und der Elektroneurographie in der Schweiz

■ H.-P. Ludin

Muri b. Bern

Die Geschichte der Elektromyographie und der Elektroneurographie in der Schweiz kann nicht ohne einen Blick über die Landesgrenzen sinnvoll geschildert werden. Sie ist eng mit der Geschichte des technischen Fortschritts verknüpft. Die klinische Neurophysiologie ist aber keineswegs der technischen Entwicklung einfach nachgefolgt. Physiologische Vorstellungen und Hypothesen konnten oft während langer Zeit nicht experimentell belegt werden, da die technischen Möglichkeiten zu beschränkt waren.

Die Entwicklung der Elektromyographie

Die vorklinische Ära

Auf frühere Untersuchungen, die zum Teil auf das 18. Jahrhundert zurückgehen, kann hier nicht eingegangen werden. Aus Schweizer Sicht sei lediglich erwähnt, dass sich schon Albrecht von Haller [1] mit der Frage der Leitgeschwindigkeit in den Nerven beschäftigt hat.

Eine wichtige Voraussetzung für die klinische Neurophysiologie hat Sherrington [2] 1925 mit dem Konzept der motorischen Einheit («motor unit») geschaffen. Für die elektromyographische Differenzierung zwischen Neuropathien und Myopathien war und ist dieses Konzept von entscheidender Bedeutung.

Wichtige Schritte in Richtung auf die klinische Anwendung brachte das Jahr 1929: Denny-Brown [3] hat Potentiale motorischer Einheiten in der Muskelaktivität, die er durch Dehnung der Sehne ausgelöst hat, identifiziert. Adrian und Bronk [4] haben Potentiale motorischer Einheiten bei Willküraktivität registriert und festgestellt, dass im entspannten Muskel auch bei hoher Verstärkung keine elektrische Aktivität nachweisbar ist. Diese

Autoren haben auch erstmals konzentrische oder koaxiale Nadelelektroden verwendet, wie sie auch heute noch für die nadelmyographische Ableitung gebräuchlich sind.

Die Anfänge der klinischen Elektromyographie

Das Verdienst, die erste klinisch relevante elektromyographische Arbeit publiziert zu haben, wird Denny-Brown und Pennybacker [5] zugeschrieben. In denervierten Muskeln konnten sie spontane Fibrillationspotentiale ableiten und von den viel grösseren Faszikulationen unterscheiden. Es ist verständlich, dass auch in weiteren Pionierarbeiten Spontanaktivität, die bei der elektromyographischen Untersuchung immer wieder ins Auge (und ins Ohr) springt, beschrieben wurde. Durch Denny-Brown und Nevin [6] und durch Buchthal und Clemmesen [7] wurden 1941 die typischen myotonen Entladungen beschrieben und der myogene Ursprung dieser Spontanaktivität vermutet.

Im gleichen Jahr haben Buchthal und Clemmesen [8] die Unterschiede des Aktivitätsmusters bei neurogenen und bei myogenen Atrophien beschrieben. Durch den Nachweis, dass sich bei ausgeprägten neurogenen Atrophien nur Einzelszillationen, bei Myopathien aber ein volles Interferenzmuster bei maximaler Willkürinnervation ableiten lässt, eröffneten sie der Elektromyographie neue, klinisch wichtige differentialdiagnostische Möglichkeiten. Sie haben in dieser Arbeit auch gezeigt, dass die Potentiale motorischer Einheiten bei neurogenen Prozessen eine verlängerte mittlere Dauer aufweisen.

1964 hat Ekstedt [9] die Einzelfaser-Elektromyographie, bei der mit Elektroden mit kleinen Ableitflächen (Durchmesser 30 µm) die Aktionspotentiale einzelner Muskelfasern extrazellulär abgeleitet werden, beschrieben. Die Technik wurde in der Folge besonders durch Stålberg in Uppsala (S) [10] weiterentwickelt.

Korrespondenz:
Prof. Dr. med. Hans-Peter Ludin
Kräyigenweg 85
CH-3074 Muri b. Bern
e-mail: hans.p.ludin@hin.ch

Abbildung 1



Fritz Lehner, der als erster elektromyographische Untersuchungen in der Schweiz durchgeführt hat (Aufnahme aus dem Jahre 1981).

Die Anfänge der klinischen Elektroneurographie

Harvey und Masland [11] haben 1941 die erste klinische Anwendung einer elektroneurographischen Methode beschrieben. Sie haben gezeigt, dass es bei Patienten mit Myasthenia gravis bei repetitiver Reizung eines peripheren Nervs und bei gleichzeitiger Ableitung der Muskelsummenpotentiale zu einem Abfall der Potentialamplituden (Dekrement) kommt. Erst 1948 erschien die erste klinische Arbeit von Hodes et al. [12] bei Patienten mit peripheren Nervenverletzungen. Die motorische Neurographie fand in der Folge rasch eine weitere Verbreitung. Bei der Perfektionierung der Methode hat sich Lambert [13] an der Mayo-Klinik in Rochester (Minnesota, USA) besondere Dienste erworben.

Bedingt durch die technischen Schwierigkeiten – die Amplitude der sensiblen Nervenaktionspotentiale ist ungefähr um den Faktor 1000 kleiner als die der Muskelaktionspotentiale – hat sich die sensible Neurographie viel langsamer entwickelt. Dawson [14] hat 1956 die ersten rein sensiblen Nervenaktionspotentiale vom Menschen abgeleitet, wobei er die Technik der fotografischen Superposition verwendet hat. Der Durchbruch kam für die sensible Neurographie erst mit der breiten Verfügbarkeit von elektronischen Mittelwertbildnern («averager») in den 1970er Jahren.

Die Etablierung der Methode in der Klinik

In den Jahren zwischen 1950 und 1970 fand die Elektroneuromyographie eine weite Verbreitung in der Klinik, und sie wurde insbesondere in der Diagnostik der neuromuskulären Krankheiten ein unentbehrliches Hilfsmittel für den Neurologen.

Schon lange wird versucht, die elektromyographischen Ableitungen automatisch zu analysieren,

um sich die mühselige manuelle Analyse der Parameter motorischer Einheiten zu ersparen. Mit der zunehmenden Verbreitung von kleinen und leistungsfähigen elektronischen Rechnern sind die technischen Voraussetzungen auch hier inzwischen erfüllt. Es wurden auch zahlreiche Methoden beschrieben, von denen sich bisher aber keine allgemein durchsetzen konnte. Einzig automatisierte Versionen der von Willison [15] 1964 beschriebenen Methode haben eine breitere Anwendung gefunden.

Die Entwicklung der Elektromyographie in der Schweiz

Die Entwicklung in den verschiedenen Zentren

Die erste klinische Anwendung der Elektromyographie in der Schweiz erfolgte in den 1950er Jahren unabhängig voneinander an verschiedenen Zentren. Als erster hat Fritz Lehner (Abb. 1) 1954 das EMG an der neurologischen Klinik in Zürich nach einem Aufenthalt bei E. Kugelberg in Stockholm (S) eingeführt. Es stand ihm ein Röhrengerät der französischen Firma Alvar mit Endlos-Magnetband zur Registrierung zur Verfügung. Nach der Eröffnung einer Praxis in Winterthur war er bis 1961 noch als Konsiliarius an der Neurologischen Universitätsklinik Zürich tätig. Seine Nachfolger waren K. Schuler, M. Wiesendanger und ab 1962 E. Esslen. Schon unter Lehner und Wiesendanger und dann auch unter Esslen fand eine rege Zusammenarbeit mit dem Neuroophthalmologen A. Huber statt. Die Zürcher Klinik wurde damit zu einer Pionierin des Augenmuskel-EMGs. Schon 1958 hatte Esslen zusammen mit R. Magun die wohl erste grössere Übersicht in deutscher Sprache über das EMG publiziert [16]. Nach Esslens Wahl als Chefarzt der Neurologischen Klinik am Kantonsspital Aarau, wo er eine eigene EMG-Station aufbaute, wurde ab 1973 bis 1990 M. Meyer Leiter der EMG-Station in Zürich. Durch seine EMG-gesteuerten Injektionen von Botulinumtoxin zur Behandlung von Dystonien und des Strabismus (weiterhin in Zusammenarbeit mit A. Huber) hat er sich einen Namen gemacht. Während dieser Zeit wurde durch H. H. Schiller nach einer Ausbildung bei Stålberg in Uppsala (S) die Einzelfaser-Elektromyographie als neue Methode eingeführt. Seit 1990 wurde die EMG-Station zuerst durch H. Schnyder und dann durch A. Studer geleitet. In dieser Zeit wurde die transkranielle Magnetstimulation als klinische Methode eingeführt. Die Untersuchung der übrigen evozierten Potentiale war in Zürich immer in den Händen der EEG-Station.

Der Beginn der Elektromyographie in den übrigen Zentren lässt sich zum Teil zeitlich nicht mehr genau festlegen. Wir werden deshalb eine alphabetische Reihenfolge befolgen. An der Neurologischen Poliklinik in *Basel* wurde durch H. Richter 1957 ein erstes EMG-Gerät in Betrieb genommen. Ein eigentliches EMG-Labor wurde dann 1961 durch H. E. Kaeser nach einem zweijährigen Forschungsaufenthalt bei E. D. Lambert an der Mayo-Klinik in Rochester (Minnesota, USA) eingerichtet. Auch nach seiner Wahl zum Klinikvorsteher und Ordinarius für Neurologie im Jahre 1965 hat er sich weiterhin aktiv für die Entwicklung der Methode eingesetzt. Ein Schwerpunkt seines Interesses galt den Läsionen der peripheren Nerven, insbesondere der (toxischen) Polyneuropathien. So konnte er auch 1970 für das *Handbook of Clinical Neurology* das Kapitel über die Messung der Leitungsgeschwindigkeit [17] verfassen. Von 1969 bis 1977 hat zuerst P. Wurmser und dann V. Skorpil das EMG-Labor geleitet. Nach einer Interimsphase lag die Leitung von 1978 bis 1983 in den Händen von W. Tackmann. Er hat das Labor insgesamt modernisiert und die Untersuchung der evozierten Potentiale eingeführt. Seinem Interesse für die sensible Neurographie entsprang gemeinsam mit H.-P. Ludin in Bern eine Monographie zu diesem Thema [18]. Von 1983 bis 1993 hat W. Friedli das EMG-Labor geleitet. Schwerpunkt seiner wissenschaftlichen Publikationen bildeten Untersuchungen zur Mechanik und Elektrophysiologie des aufrechten Standes. Seit 1993 ist P. Fuhr für die Leitung verantwortlich. Er interessiert sich unter anderem für die Wertigkeit elektrophysiologischer Messungen als Verlaufsparemeter von chronischen Krankheiten, wie zum Beispiel Multipler Sklerose und immunbedingter Polyneuropathien.

In *Bern* wurden die ersten elektromyographischen Untersuchungen in den 1950er Jahren durch das Ehepaar Fanny und Werner Bärtschi-Rochaix durchgeführt. Ein genaues Datum lässt sich nicht mehr festlegen, und es ist auch nicht klar, ob die Untersuchungen im Inselspital oder in der Privatpraxis des Ehepaars Bärtschi-Rochaix vorgenommen wurden. Mit der Gründung einer neurologischen Abteilung am Inselspital und der Wahl von R. Magun zu deren Chefarzt im Jahre 1958 nahm das Interesse an elektromyographischen Untersuchungen stark zu. Magun war früher schon gemeinsam mit E. Esslen auf diesem Gebiet tätig gewesen, und eine gemeinsame Übersichtsarbeit [16] ist oben bereits erwähnt worden. Der geplante Auf- und Ausbau wurde durch den unerwarteten Hinschied von R. Magun 1960 jäh unterbrochen. In der Folge wurde das EMG besonders durch M. Eichenberger betreut. Ab 1962 war auch

H.-P. Ludin im EMG tätig, allerdings unterbrochen durch mehrjährige Forschungsaufenthalte bei F. Buchthal in Kopenhagen (DK) und bei A. von Muralt in Bern. 1970 wurde eine EMG-Station gegründet, sie war unter der Leitung von H.-P. Ludin bis 1988 zu seiner Wahl als Chefarzt in St. Gallen. Die wissenschaftlichen Interessen betrafen auch methodische Fragen, die sich in einem Lehrbuch [19] und der Ernennung zum Herausgeber des EMG-Bandes in der revidierten Fassung des *Handbook of Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* [20] niederschlugen. In den 1970er Jahren wurde die Untersuchung der evozierten Potentiale schrittweise eingeführt. Ein Meilenstein bedeutete die Einführung der transkraniellen Magnetstimulation im Jahre 1987. C. W. Hess brachte diese damals neue Methode von einem Forschungsaufenthalt am National Hospital Queens Square in London (GB), wo er an ihrer Entwicklung massgeblich mitbeteiligt war, mit. Auch nach der Übernahme der Leitung der EMG-Station 1989 durch C. W. Hess und 1991 durch K. Rösler wurde diese Methode und ihre Weiterentwicklung gepflegt und hat bis heute selbst international eine Pionierrolle behalten. Auf die enge Zusammenarbeit mit der Genfer ENMG-Station soll später noch hingewiesen werden. 1990 erfolgte die Umbenennung in ENMG-Station, womit die Bedeutung der Neurographie betont werden sollte. Seit 2000 wurde neu eine neuromuskuläre Sprechstunde aufgebaut.

In *Genf* wurden die ersten elektromyographischen Untersuchungen ab 1960 durch den Neurologen M. Tchicaloff in der Universitäts-Kinderklinik durchgeführt. Ab 1964 hat J. F. Moody ein EMG-Labor im Rahmen der Klinik für Rheumatologie und dem Institut für physikalische Medizin und Rehabilitation am Kantonsspital geleitet. Erst 1988 wurde die EMG-Station der Abteilung für klinische Neurophysiologie angegliedert. Nach der Pensionierung von Moody übernahm 1991 M. R. Magistris die Leitung im Rahmen der Abteilung für klinische Neurophysiologie und neuromuskuläre Forschung. 1994 erfolgte die Eingliederung in die neurologische Klinik des Universitätsospitals. Moody, der aus England stammte und auch dort ausgebildet worden war, hat sich besonders für paraneoplastische Neuropathien und für Störungen der neuromuskulären Überleitung interessiert. Von 1967 bis 1988 wurde er durch seinen Schüler G. Roth, der auch bei Buchthal in Kopenhagen (DK) gearbeitet hat, unterstützt. Roth machte sich besonders durch seine Untersuchungen der «späten» neurographischen Antworten und in der Entdeckung der Pathologien, die zu persistierendem Leitungsblock im peripheren Nerv führen, einen

Namen. Insbesondere hat er mit seiner Arbeitsgruppe 1986 als erster die multifokale motorische Neuropathie beschrieben [21]. Seine Befunde hat er in einem Atlas, der im Jahre 2000 erschien, zusammengefasst [22]. Der jetzige Leiter M. Magistris ist einerseits Schüler von Moody und Roth und andererseits erhielt er seine neurophysiologische Ausbildung am neurologischen Institut in Montreal (CDN). Zahlreiche wissenschaftliche Arbeiten hat er in Zusammenarbeit mit G. Roth verfasst. Seit Jahren arbeitet er auch mit der ENMG-Station in Bern zusammen. Aus dieser Zusammenarbeit sind zahlreiche Untersuchungen über kortiko-spinale Bahnen und über Hirnnerven, die besonders in Kombination mit der transkraniellen kortikalen Stimulation durchgeführt wurden, die seit 1985 in Genf etabliert ist, entstanden. Eine wichtige Aktivität stellen auch die Behandlungen mit Botulinumtoxin dar.

In *Lausanne* wurden die elektromyographischen Untersuchungen in den Anfängen im «Centre d'EEG et de consultations neurologiques», das von Th. Ott begründet und geleitet wurde, durchgeführt. Während Jahren hat C. Schneider, der bei F. Isch in Strassburg (F) ausgebildet worden war, bis zu seinem frühen Tod im Jahre 1981 die EMG-Station geleitet. In den folgenden Jahren lag die Leitung zuerst in den Händen von J. L. Justafre und später von Véronique Zumstein. Seit 1988 wird sie von Th. Kuntzer, der vorher bei P. Bouche in Paris (F) und bei B. Shahani und R. Young in Boston (USA) gearbeitet hatte, geführt. Seine «Unité nerf-muscle» interessiert sich wissenschaftlich vor allem für die Erregbarkeit des Muskels und des peripheren Nervs, für die Regeneration der peripheren Nerven und für klinische Studien bei genetischen und neuromuskulären Krankheiten.

In *St. Gallen* hat E. Ketz die Elektromyographie 1972 im Rahmen des Instituts für klinische Neurophysiologie, das 1976 in die Klinik für Neurologie unter seiner Leitung übergang, eingeführt. Ketz hatte seine Ausbildung an der Freien Universität Berlin (D) bei W. Götze und R. Stözel und später bei E. Esslen in Zürich erhalten.

Ausbildung und Qualitätssicherung

Während längerer Zeit blieben Bemühungen, die Ausbildung zeitlich und inhaltlich zu standardisieren, ohne erkennbaren Erfolg. Auch die Einführung eines EMG-Zertifikats durch die Schweizerische Gesellschaft für klinische Neurophysiologie brachte keine nennenswerte Änderung, da sie völlig auf Freiwilligkeit beruhte und keine rechtlichen Konsequenzen hatte. Erst die Einführung eines

Fähigkeitsausweises für Elektroneuromyographie durch die FMH im Jahre 1999 brachte eine wesentliche Besserung. Die Weiterbildung ist seither genau definiert, sie muss an anerkannten Weiterbildungsstätten erfolgen, und zum Erwerb des Fähigkeitsausweises muss eine Prüfung abgelegt werden. Der Ausweis hat ausserdem eine beschränkte Gültigkeit, alle 10 Jahre ist eine Rezertifizierung nötig. Seit 2007 ist der Fähigkeitsausweis auch für die Rechnungsstellung relevant, was ihm natürlich ein zusätzliches Gewicht verleiht.

Danksagung: Den folgenden Kollegen bin ich für ihre Unterstützung zu Dank verpflichtet: P. Fuhr, Basel; C. W. Hess, Bern; E. Ketz, St. Gallen; Th. Kuntzer, Lausanne; F. Lehner, Winterthur; M. Magistris, Genf; K. Rösler, Bern; A. Studer, Zürich.

Literatur

- 1 Von Haller A. *Elementa Physiologiae Corporis Humani*. Lausanne: Grasset; 1762.
- 2 Sherrington CS. Remarks on some aspects of reflex inhibition. *Proc Roy Soc B*. 1925;97:519–41.
- 3 Denny-Brown D. On the nature of postural reflexes. *Proc Roy Soc B*. 1929;104:252–301.
- 4 Adrian ED, Bronk DW. The discharge of impulses in motor nerve fibres. Part II: the frequency of discharge in reflex and voluntary contractions. *J Physiol*. 1929;67:119–51.
- 5 Denny-Brown D, Pennybacker JB. Fibrillation and fasciculation in voluntary muscle. *Brain*. 1938;61:311–34.
- 6 Denny-Brown D, Nevin S. The phenomenon of myotonia. *Brain*. 1941;64:1–18.
- 7 Buchthal F, Clemmesen S. Electromyographical observations in congenital myotonia. *Acta Psych Neurol*. 1941;16:389–403.
- 8 Buchthal F, Clemmesen S. On the differentiation of muscle atrophy by electromyography. *Acta Psych Neurol*. 1941;16:143–81.
- 9 Ekstedt J. Human single muscle fiber action potentials. *Acta Physiol Scand*. 1964;61(Suppl 226):1–96.
- 10 Stålberg E, Trontelj V. *Single-Fibre Electromyography*. Old Woking: Mirvalle Press; 1979.
- 11 Harvey AM, Masland RL. The electromyogram in myasthenia gravis. *Bull Johns Hopkins Hosp*. 1941;69:1–13.
- 12 Hodes R, Larrabee MG, German W. The human electromyogram in response to nerve stimulation and the conduction velocity of motor axons. *Arch Neurol Psychiatry*. 1948;60:340–65.
- 13 Lambert ED. Diagnostic value of electrical stimulation of motor nerves. *Electroenceph Clin Neurophysiol*. 1962;Suppl 22: 9–16.
- 14 Dawson GD. The relative excitability and conduction velocity of sensory and motor nerve fibres in man. *J Physiol*. 1956;131:436–51.
- 15 Willison RG. Analysis of electrical activity in healthy and dystrophic muscle in man. *J Neurol Neurosurg Psychiatr*. 1964;32:386–94.

-
- 16 Esslen E, Magun R. Elektromyographie. Grundlagen und klinische Anwendung. *Fortschr Neurol.* 1958;26:153–99.
-
- 17 Kaeser HE. Nerve conduction velocity measurement. In: Vinken PJ, Bruyn GW, editors. *Handbook of Clinical Neurology*, Vol. 7. Amsterdam: North-Holland Publ. Comp.; 1970. p. 116–96.
-
- 18 Ludin HP, Tackmann W. *Sensible Neurographie*. Stuttgart: Thieme; 1979.
-
- 19 Ludin HP. *Praktische Elektromyographie*. Stuttgart: Enke; ¹1976, ⁵1997.
-
- 20 Ludin HP, editor. *Electromyography*. Volume 5 in: *Handbook of Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, revised series. Amsterdam: Elsevier; 1995.
-
- 21 Roth G, Rohr J, Magistris MR, Ochsner F. Motor neuropathy with proximal multifocal persistent conduction block, fasciculations and myokymia. Evolution to tetraplegia. *Eur Neurol.* 1986;25:416–23.
-
- 22 Roth G. *Clinical Motor Electroneurography: Evoked Responses Beyond the M-wave. Ectopic Activity*. Amsterdam: Elsevier; 2000.