

Neurologische Klinik, Klinikum Aschaffenburg

## **Hochvoltstimulation** **– praktische Anwendung und klinische Beispiele**

### **High Voltage Stimulation** **– Practical Application and Clinical Examples**

Klaus Gardill

#### **Zusammenfassung**

Durch die Hochvoltstimulation (HVS) gelingt es, auch die proximalen Anteile peripherer Nerven bis hin zu Nervenwurzeln und Plexus supramaximal zu stimulieren und damit neurographischen Untersuchungen direkt zugänglich zu machen. Dadurch kann insbesondere bei demyelinisierenden Erkrankungen peripherer Nerven häufig ein wertvoller Informationszugewinn erzielt werden. Der vorliegende Artikel zeigt die praktische Anwendung der HVS und präsentiert darüber hinaus eindruckliche klinische Beispiele zu den wichtigsten Indikationen.

#### **Summary**

High voltage stimulation (HVS) allows supramaximal stimulation of proximal peripheral nerves including nerve roots and plexus to perform motor nerve conduction studies. In particular, with regards to demyelinating disorders of peripheral nerves a useful gain in information can be obtained. For that purpose the article features practical application of HVS and presents moreover instructive clinical examples concerning the most important indications.

**Key words:** High voltage stimulation, proximal nerve conduction studies, demyelinating neuropathies, Guillain-Barré-syndrome (GBS), polyneuritis

#### **Einführung**

Mit der konventionellen **Elektroneurographie (ENG)** von Nerven an den distalen Extremitätenabschnitten gelingt es, Schädigungsorte zuverlässig zu erkennen und Aussagen über die Art und das Ausmaß der Schädigung zu machen.

Viel schwieriger ist die Untersuchung der proximalen Nervenabschnitte inklusive Nervenwurzeln und Plexus. Dies liegt in der Hauptsache daran, daß die Nervenfasern in der Tiefe von reichlich anderem Gewebe (insbesondere Muskulatur) überdeckt und damit einer Stimulation schlecht zugänglich sind. Deshalb gelangen Verfahren zur Anwendung, die mit weit distaler Stimulation versuchen, proximale Schädigungen aufzuspüren: Etabliert sind die **F-Wellen**

und **H-Reflex**-Untersuchungen (Übersicht bei 6). Diese Verfahren sind zwar gut etabliert und einfach durchzuführen, haben aber eine ganze Reihe von Nachteilen: So können H-Reflexe auch bei gesunden Individuen fehlen, F-Wellen sind z.B. bei radikulären Läsionen keine sensitive Parameter (2). Beide Verfahren haben zudem den Nachteil, daß keine Lokalisation des Schädigungsortes möglich ist.

Ein weiteres Verfahren zur Überprüfung der sensiblen Afferenzen ist die Ableitung fraktionierter **somatosensibel evozierter Potentiale (SEP)**, Übersicht siehe 20). Dieses Verfahren ist relativ aufwendig, erfordert ein höheres Maß an Expertise und gerade an den unteren Extremitäten sind spinale SEP häufig nicht zufriedenstellend ableitbar.

Mit Hilfe der **Elektromyographie (EMG)** kann man sehr sensitiv in Muskeln die Folgen einer Denervierung bzw. Reinnervation auch nach proximaler Nervenschädigung finden. Hierzu müssen allerdings Axone des Nerven geschädigt sein (eine Schädigung der Myelinscheide läßt sich nicht nachweisen) und die Schädigung muß in der Regel mindestens 10–14 Tage bestehen, bevor man eine Denervierung nachweisen kann. Auch ist die Methode nicht schmerzfrei und benötigt relativ viel Zeit.

Mit der sog. **Magnetstimulation** gelingt es zuverlässig, Gehirn oder auch proximale Nervenanteile zu stimulieren und die dadurch evozierte motorische Aktivität ähnlich der motorischen Elektroneurographie abzuleiten (Übersicht siehe 7). Nachteil der Methode ist allerdings, daß häufig keine sichere supra-maximale Stimulation aller Nervenanteile gelingt und damit eine sichere Leitungsblockdiagnostik (z. B. als Ausdruck einer akuten demyelinisierenden Schädigung) nicht möglich ist. Auch ist der genaue Stimulationsort am Nerven bei der Magnetstimulation häufig nicht exakt bestimmbar, was zu Ungenauigkeiten bei der Latenz- bzw. NLG-Bestimmung führen kann.

Seit den 80er Jahren wird zunehmend die zunächst zur Kortexreizung entwickelte (15) sog. **Hochvoltstimulation (HVS)** auch zur Stimulation proximaler Nervenanteile eingesetzt. Bei der konventionellen Elektroneurographie werden die in den verbreiteten Geräten vorhandenen Stimulatoren eingesetzt, die eine strom- oder spannungskonstante Nervenreizung ermöglichen. Meistens können Spannungen bis etwa 300 V und Stromstärken bis etwa 100 mA mit einer Reizdauer von etwa 0,1 bis 0,5 ms genutzt werden. Mit Hochvoltstimulatoren hingegen sind Spannungen bis über 1000 V und Stromstärken bis über 1000 mA möglich, die zudem bei niedriger Ausgangsimpedanz Stimuli mit hoher Anstiegssteilheit und exponentiellem<sup>+</sup> Abfall liefern. Mit diesen Reizen gelingt es in den meisten Fällen zuverlässig, auch proximale Nervenanteile sicher supra-maximal zu stimulieren.

Zwar gibt es wohl in vielen klinisch-neurophysiologischen Laboren entsprechende Stimulatoren, trotzdem gehört das Verfahren in den meisten neurologischen Kliniken oder Praxen (noch) nicht zum Standardprogramm. Hierfür gibt es sicherlich mehrere Gründe: der Hochvoltstimulation wird sowohl in der wissenschaftlichen Literatur als auch in den etablierten elektrophysiologischen Lehrbüchern nur eine relativ geringe Aufmerksamkeit geschenkt. Normwerte sind kaum publiziert und in den publizierten Arbeiten gibt es zum Teil deutli-

<sup>+</sup> D185 Stimulus: 50µs Rechteck, extrem schneller Anstieg und Abfall. Dadurch weniger Schmerzempfinden.

che methodische Unterschiede. Außerdem werden mit dem Begriff Hochvoltstimulation immer auch erhebliche Unannehmlichkeiten für den Patienten suggeriert.

Vorliegender Artikel soll eine praktische Übersicht über die Anwendungsmöglichkeiten der HVS in einem neurophysiologischen Labor liefern.

## Pathophysiologie

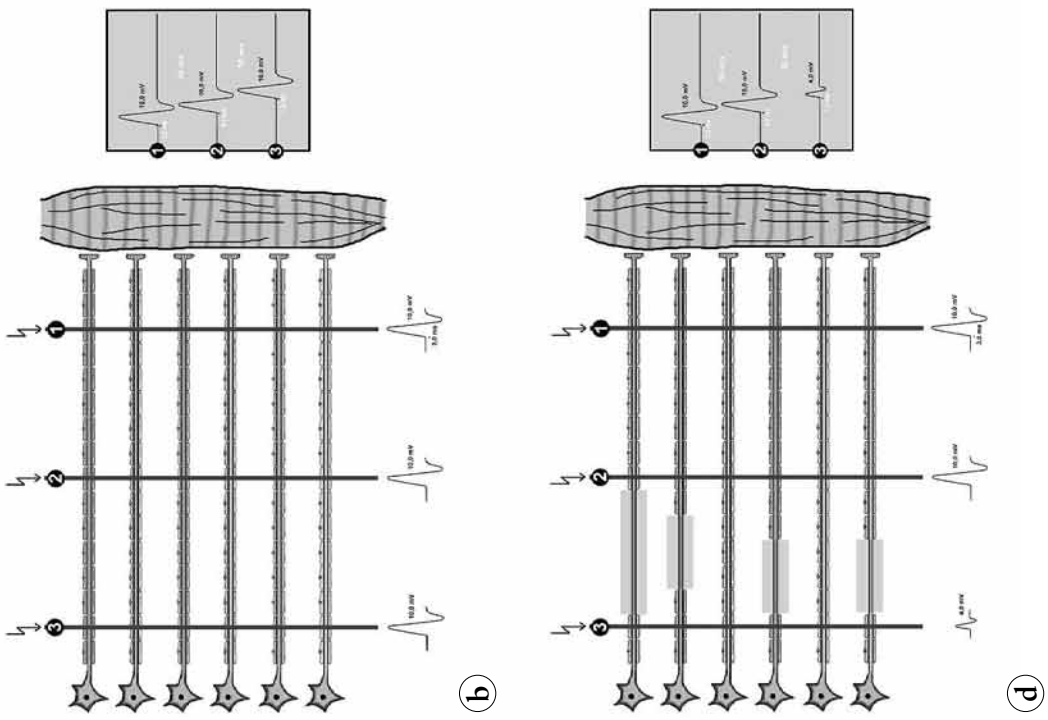
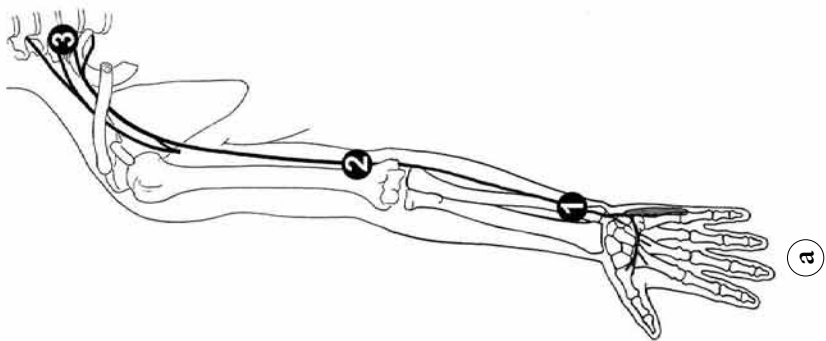
Stark vereinfachend kann man Schädigungen peripherer Nerven in **axonale** (d.h. die eigentliche Nervenfasern (das „Kabel“) betreffende) und in **demyelinisierende** (d.h. die Hülle der Nervenfasern (die „Isolierung“) betreffende) **Schädigungen** unterteilen. Die oben erwähnten elektrophysiologischen Verfahren erbringen Resultate, die auf eine der beiden (oder auf beide) Schädigungsarten hindeuten. Dies liefert sehr wichtige Hinweise auf den der Nervenschädigung zugrundeliegenden Pathomechanismus und damit letztendlich auch zu der verursachenden Erkrankung.

Vorliegende stark vereinfachende Zeichnung (Abb. 1) zeigt modellhaft Situationen an einem Nerven mit entsprechenden Schädigungsarten. Wenn man die Stimulationspunkte 1 und 2 als die Situation für die Routine ENG annimmt (beispielsweise Stimulation am Handgelenk (1) und am Oberarm (2) bei der motorischen Ulnaris-ENG), würden die proximale Funktionsstörung (zwischen Stimulationspunkt 2 und 3) durch einen partiellen Leitungsblock oder eine andere demyelinisierende Schädigung dem Nachweis entgehen. Wenn nun Stimulationspunkt 3 beispielsweise der Nervenwurzel zuzuordnen wäre, hätte man nur mit der HVS die Möglichkeit, den Befund klar abzubilden und zu klären.

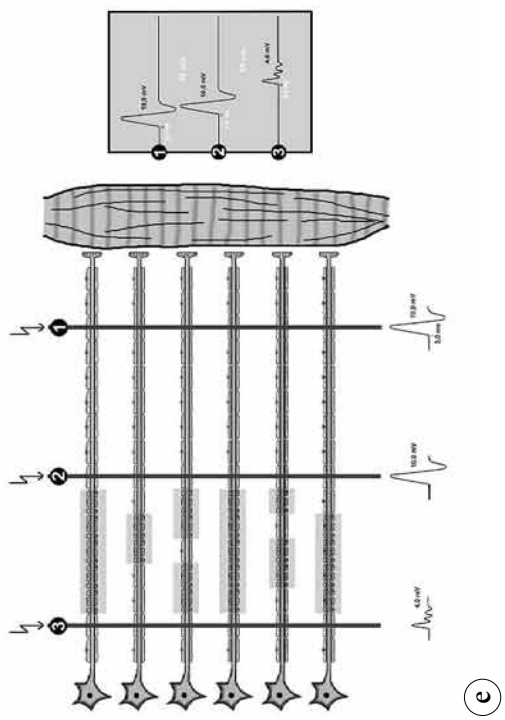
## Methodik

Die **Stimulation** aller hier gezeigten Untersuchungen erfolgte mit dem Digi-timer D185-Hochvoltstimulator. Dieser triggert ein konventionelles EMG- bzw. ENG-Gerät, mit dem die motorischen Antworten aufgezeichnet werden. Die Stimulation erfolgt in unserem Labor mit speziellen Elektroden nach Claus (4): Für die meisten Stimulationspunkte genügt ein Elektrodenhalter mit einem Kathoden-Anoden-Abstand von etwa 5–6 cm und einem Elektrodendurchmesser (Filze) von ca. 1,5 cm. Insbesondere für die lumbalen Stimulationsorte empfiehlt sich die Anwendung von Elektrodenhaltern mit größerem Elektrodenabstand von mind. 10 cm unter gleichzeitiger Verwendung mehrerer Anoden, um eine ausreichende Tiefenausdehnung des Stroms zu gewährleisten (siehe Abb. 2).

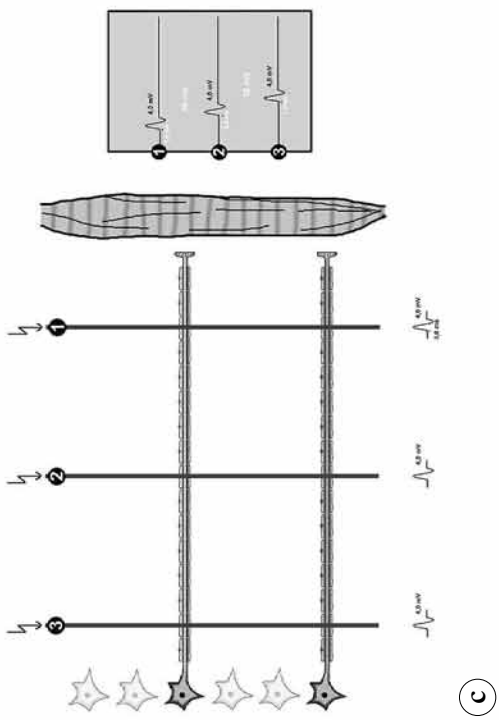
Zumeist ist die Kathode distal von der Anode angeordnet. Bei der Nervenwurzelstimulation über der HWS wird die Anode kranial plaziert (19; siehe Abb. 5b), bei Nervenstimulation im Bereich der Glutäalfalte oder der Leiste (s.u.) lateral. Zur Stimulation der Nervenwurzeln im Bereich der LWS emp-



(b)



(c)



(d)

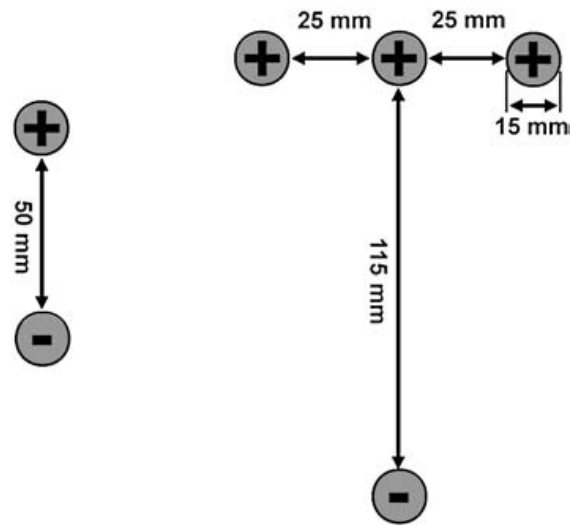


Abb. 2. Anordnung der Stimulationselektroden nach den Angaben von Claus (4): Links die „Standardelektrode“, rechts die „Tiefenelektrode“ mit besonderer Tiefenwirkung des Stromimpulses zur Stimulation insbesondere im Bereich der LWS („-“ bezeichnet die Kathode und gilt allgemein als die Elektrode, unter der ein Nerv erregt wird).

fehlt sich eine Platzierung der Anode kontralateral zum Zielmuskel (13; 4; siehe Abb. 5c). Allerdings ist auch eine kraniale Anordnung der Anode möglich (7).

Wichtig zu beachten ist, daß die Filzelektroden unbedingt in Kochsalzlösung getränkt werden müssen, da mit „normalem Leitungswasser“ häufig keine ausreichenden Reizstärken zu erzielen sind. Die Erdungselektrode sollte sich unmittelbar proximal von der Ableitungselektrode befinden.

Die Aufzeichnung eines Meßdurchgangs wird (insbesondere zur Amplitudenmessung) ausschließlich dann gewertet, wenn die Stimulation sicher supramaximal ist (s. u.). Eine Stimulation wird nur dann als supramaximal angesehen, wenn sich das Antwortpotential bei sukzessiver Erhöhung der Reizstärke nicht weiter vergrößert und sich eine mindestens 20%ige Erhöhung der Reizstärke nochmals durchführen läßt (d. h. daß die bisherige Stimulation maximal 80%

◀ Abb. 1. a Stark vereinfachte Übersicht zur (Patho-) Physiologie der Impulsleitung: Modellhaft hier Darstellung einer motorischen Nervenleitgeschwindigkeitsmessung bzw. HVS des N. ulnaris mit drei Stimulationspunkten im Bereich von Handgelenk (1), oberhalb des Ellenbogens (2) sowie an der Nervenwurzel (3).

**b Normale Situation:** Nach Stimulation an allen drei Stimulationspunkten etwa gleich konfigurierte Antwortpotentiale, an beiden Abschnitten identische NLG

**c Axonale Schädigung:** Nach Verlust von etwa  $\frac{2}{3}$  der Nervenfasern bzw. Neurone bei allen Stimulationen identisch deutlich erniedrigte Antwortpotentiale und in beiden Abschnitten gleiche, normale NLG (z. B. bei alkoholischer Polyneuropathie)

**d Proximale partieller Leitungsblock:** Bei Stimulation an 1 und 2 (distal vom Schädigungsort) normale Antworten und normale NLG. Bei Stimulation an 3 durch Schädigung der Myelinscheide von  $\frac{2}{3}$  der Fasern erhebliche Amplitudenminderung durch Blockierung der Impulsweiterleitung an diesen Axonen („Leitungsblock“) (z. B. beim Guillain-Barré-Syndrom [GBS])

**e proximale demyelinisierende Läsion mit Remyelinisierung:** Bei Stimulation an 1 und 2 (distal vom Schädigungsort) normale Antworten und normale NLG. Bei Stimulation an 3 deutlich reduzierte NLG und Aufsplitterung des Potentials („Dispersion“) durch die unterschiedlich schnelle (aber nie normal schnelle) Leitung des Impulses durch die einzelnen Nervenfasern mit verschiedenen stark geschädigter Myelinscheide (z. B. bei der chronisch-inflammatorischen demyelinisierenden Polyneuropathie [CIDP])

der maximalen Geräteleistung beansprucht hat). Besondere beachtet werden muß hierbei, daß es nicht zu einer Verschiebung des effektiven Reizpunktes am Nerven nach distal kommt, welches sich an einer schlagartigen Verkürzung der Latenz (1, 18) oder aber in einem deltaförmigen Potentialabgang (7) bemerkbar macht. So ist es im Einzelfall möglich, daß der Impuls nach distal über einen Leitungsblock „springt“ und der Nerv fälschlicherweise an dem vermeintlichen Stimulationsort doch eine normale Leitung suggeriert (siehe Abb. 3 und 4). Meist ist es empfehlenswert, die Reizstärke letztendlich genau so zu wählen, daß gerade maximale Amplituden erzielt werden (19), nachdem man sich vorher vergewissert hat, sicher supramaximal stimuliert zu haben. Hier ist eine gewisse Erfahrung und „Fingerspitzengefühl“ von Vorteil.

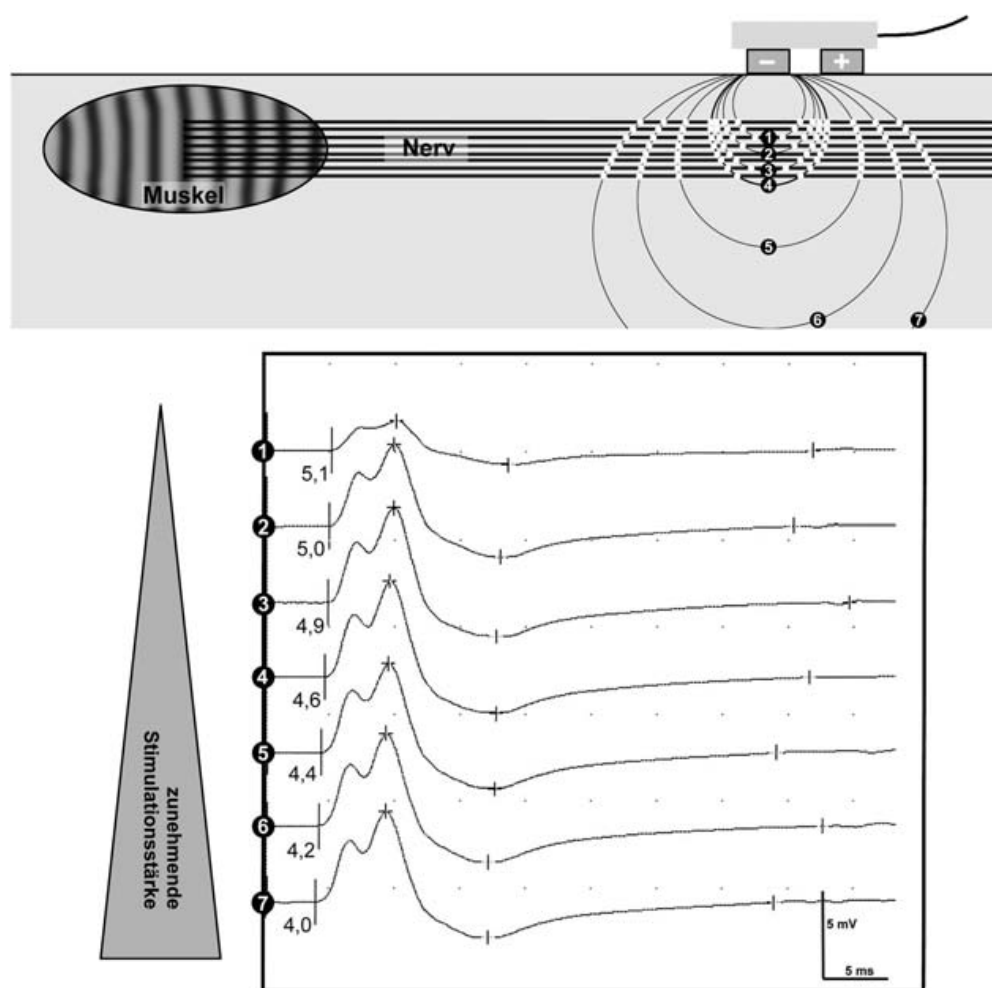
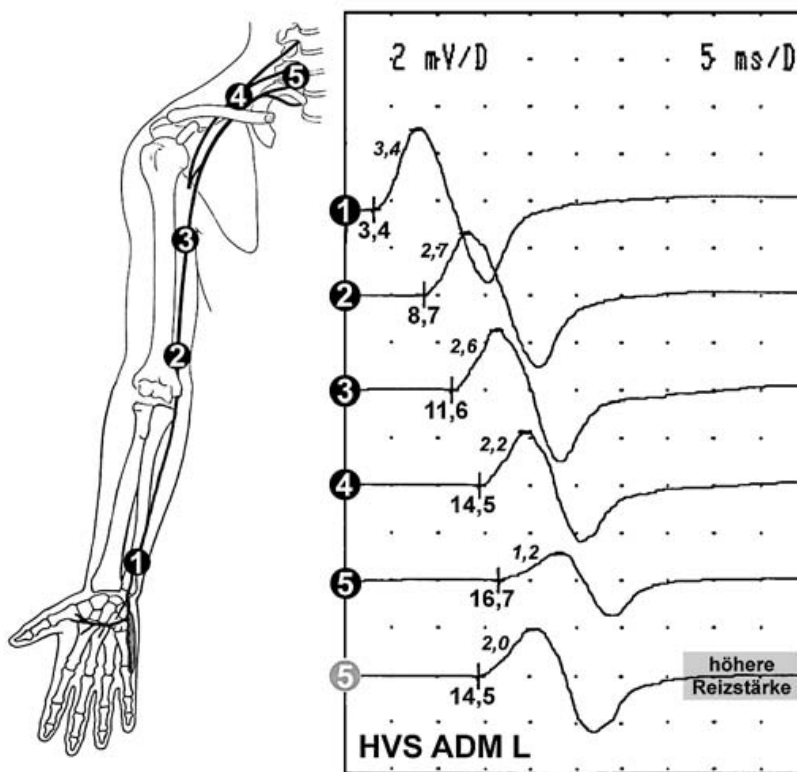


Abb. 3. Schematische Darstellung einer Nervenstimulation mit Zielmuskel (oberer Teil) und entstehende Kurve (unterer Teil, Probandenbeispiel): Die Impulse 1–3 sind nicht supramaximal und können nicht alle Fasern in der Tiefe erregen (Erregung durch kleine weiße Punkte symbolisiert). Erst Impuls 4 kann alle Axone erregen, es entsteht ein Potential (CMAP) mit maximaler Amplitude. Mit zunehmender Stimulationsstärke können die Axone immer weiter entfernt von der Stimulationselektrode (und damit immer näher am Zielmuskel) erregt werden. Dadurch wird die Distanz zwischen realem Stimulationsort und Zielmuskel und konsequent auch die Latenz immer kürzer, obwohl die Stimulationselektrode nicht bewegt wurde. Diese zunehmende Latenzverkürzung entsteht in der Realität häufig relativ sprunghaft („Latenzsprung“, siehe auch Beispiel in Abb. 4).

Abb. 4. HVS zum ADM einer Patientin mit GBS: Bei Stimulation der Nervenwurzel über der HWS (Spur 5) Amplitudenminderung von fast 50% verglichen mit der Erb-Stimulation (in Spur 4). In Spur 6 (ebenfalls Stimulationspunkt 5 in grau unterlegt) weitere Erhöhung der Reizstärke bei Stimulation über der HWS, wodurch ein Latenzsprung mit gleichzeitiger „Normalisierung“ der Amplitude entsteht: Die zeitgleiche Latenz mit der Antwort bei Erb-Stimulation (Spur 4) belegt, daß zu diesem Zeitpunkt von der HWS aus die Axone etwa auf Höhe des Erb'schen Punktes (Mittlerer Plexus) erregt wurden und damit der partielle Leitungsblock „übersprungen“ wurde.



Diese Ableitung zeigt den häufig beim GBS zu findenden (und nur mit der HVS nachzuweisenden) partiellen Leitungsblock zwischen Erb'schem Punkt und der Nervenwurzel (Jaspert et al., 8).

## Stimulationsorte

**Periphere Nerven** sind an den Extremitäten prinzipiell mit der HVS an praktisch jeder Stelle erregbar. Hierbei gilt vereinfachend die Regel, daß der Stimulationsort um so genauer lokalisierbar ist, je weniger Stimulationsstärke erforderlich bzw. je weniger Gewebe zwischen der Stimulationsstelle und dem Nerven anzunehmen ist. Im Bereich der **Plexus** gelingt eine zuverlässige Stimulation an den oberen Extremitäten insbesondere am Erb'schen Punkt, an den unteren Extremitäten ist die Plexusstimulation durch die tiefe, retroperitoneale und im Verlauf intrapelvine Lage des Plexus nicht praktikabel. Eine Stimulation der **Nervenwurzeln** gelingt in der entsprechenden, auf den Zielmuskel bezogenen Höhe im Bereich der Foramina intervertebralia für Arm- und Beinerven meistens problemlos (13, 16). Im Zweifelsfall kann man hier mit nicht supramaximaler Reizstärke die Stimulationskathode leicht in kranio-kaudaler Richtung bewegen, um den optimalen Reizpunkt zu finden (optimal meist in der tastbaren „Delle“ zwischen zwei Dornfortsätzen, siehe Abb. 5a). Nur in seltenen Fällen ist nach eigener Erfahrung eine sichere supramaximale Stimulation der Nervenwurzeln an der kaudalen LWS nur mit Mühe (siehe Abb. 9) oder gar nicht möglich. An den unteren Extremitäten ist zudem noch eine Stimulation der Nervenwurzeln im krania-

len Bereich der Kauda equina unmittelbar nach Verlassen des Myelons möglich (etwa Höhe LWK1) (13).

Die **Ableitung** der so erzeugten Muskelaktivität (CMAP, „compound muscle action potential“) erfolgt mit den in der ENG üblichen Oberflächenelektroden nach der „Belly-tendon“-Methode, wobei die aktive Elektrode auf die Endplattenregion des Zielmuskelbauchs, die Referenzelektrode auf die zugehörige Sehne plaziert wird (also wie bei der normalen motorischen ENG). Die Aufzeichnung der Signale erfolgt mit einer Filterbandbreite von ca. 5–10 Hz bis 10–20 kHz und einer Zeitachse von 50–100 ms (8).

Allgemein gilt, daß die HVS ähnlich wie die Untersuchung von F-Wellen und H-Reflexen immer beidseitig durchgeführt werden sollte. Dabei sollte man auch auf eine größtmögliche Symmetrie von Reiz- und Ableitungsorten achten, um eine möglichst hohe Meßgenauigkeit zu erzielen. Die Markierung der Stimulationsorte mit einem (Filz-)Stift ist zu empfehlen.

Die **Auswertung** der einzelnen Kurven umfaßt als wichtigste Parameter:

- die *Latenz*: Abgang von der Grundlinie (oder Beginn des ersten negativen Gipfels).
- die *Amplitude*: Häufig empfohlen (12, 4) und in dieser Arbeit verwendet die sog. „Base-to-peak“-Messung von der Grundlinie bis zur höchsten Negativität. Diese hat den Vorteil, gegenüber unerwünschter Einstreuung mitstimulierter Muskulatur anderer Nerven besonders bei proximaler Stimulation unempfindlicher zu sein (ähnlich wie bei der MEP (7, 4)). Es wird allerdings auch die Anwendung der „Peak-to-peak“-Messung empfohlen (18, 10). Nach eigener Erfahrung ist die Anwendung beider Methoden praktikabel.
- die *Potentialdauer* sowie die *Fläche* (insbesondere des ersten negativen Peaks) sollten mitbeachtet werden. Erstere insbesondere auch zur Abgrenzung eines Leitungsblocks von einer Amplitudenminderung durch Potentialdispersion.
- an den Extremitäten können auch die *Nervenleitgeschwindigkeiten* (NLGs) wie bei der konventionellen motorischen ENG bestimmt werden. Da die HVS bei uns meist im Anschluß an eine konventionelle Ableitung erfolgt, wurde dieser Parameter in den hier abgebildeten Ableitungen häufig nicht noch einmal ermittelt. Eine Bestimmung der NLG proximal im Bereich von Plexus und Nervenwurzeln ist nicht möglich, da sowohl der Reizort (durch die unkalkulierbare Tiefenwirkung des Reizstroms) als auch die Leitungstrecke zwischen zwei Stimulationsorten proximal nicht genau bestimmbar sind.

Zur Bewertung von Amplitudenreduktionen im Sinne eines partiellen Leitungsblocks sei auf die entsprechenden Kriterien der Fachgesellschaften verwiesen (z. B. American Association of Electrodiagnostic Medicine (AAEM, 17)).

### **Kollisionstechnik**

Gerade bei proximaler Stimulation im Bereich von Nervenwurzel oder Plexus kann die Interferenz „unfreiwillig“ mitaktivierter Muskeln zu Problemen

führen. Dies geschieht besonders dann, wenn der Zielmuskel umgeben ist von Muskulatur, die von anderen Nerven innerviert ist (z.B. bei Stimulation des N. medianus und Ableitung vom M. abductor pollicis brevis die Interferenz von Ulnaris-versorgten Muskeln des Daumenballens) und die versorgenden Nerven an den Stimulationspunkten eng benachbart sind. Abhilfe schafft hier die sog. **Kollisionstechnik** nach Kimura (11). Hierbei wird die unerwünschte Aktivität dadurch eliminiert, daß der betreffende („unerwünschte“) Nerv einige Millisekunden vor Hochvoltstimulation getrennt stimuliert wird. Der Impuls wird dann sowohl orthodrom zum Zielmuskel als auch antidrom nach zentral weitergeleitet und kollidiert mit dem orthodrom ankommenden Impuls, der durch die Hochvoltstimulation ausgelöst ist. Dadurch wird der Hochvoltimpuls an diesem Nerv nicht weiter nach distal zum Muskel geleitet und keine Interferenz entsteht (14). Das Zeitintervall zwischen den beiden Stimuli sollte so gewählt sein, daß der antidrome Impuls der distalen Stimulation (der „Kollisionsimpuls“) den Stimulationspunkt proximal (vom HVS-Impuls) zum dortigen Stimulationszeitpunkt noch nicht erreicht hat. Andererseits sollte die Zeitdauer auch ausreichend lang sein, um die Antwort der HVS auf einer möglichst ungestörten „Baseline“ abzubilden (ohne Interferenz durch das Potential durch den „Kollisionsimpuls“). Als Beispiel siehe Abb. 11c.

### Untersuchungsmöglichkeiten

Prinzipiell können alle „wichtigen“ Nerven an den Extremitäten mit der HVS untersucht werden. Besonders gut geeignet ist der N. ulnaris bzw. der M. abductor digiti minimi insbesondere wegen geringer potentieller Einstreuung von Muskelaktivität anderer Nerven an der Ableitungselektrode (1). Exemplarisch sind in Tab. 1 eine Reihe weiterer geeigneter Muskeln genannt.

### Hinweise zur Lokalisation der Reizpunkte

**Armnerve:** Der Dornfortsatz von HWK7 steht äußerlich meistens am stärksten hervor („Vertebra prominens“, siehe Abb. 5a). Für die Nn. medianus, ulnaris und radialis kann man die Kathode sowohl in den Zwischenraum darüber (also zwischen HWK6 und HWK7, entspr. C7) als auch darunter (also zwischen HWK7 und BWK1) plazieren, wobei im Zweifelsfall gilt: beide Orte ausprobieren. Für die anderen Armnerve kann man ein bis zwei Zwischenräume nach kranial gehen.

**Beinnerven:** Den Reizpunkt L5 findet man in der Mitte einer Linie zwischen beiden Beckenkämmen über der Wirbelsäule nach kaudal im nächsten Zwischenraum von zwei Dornfortsätzen. Für den Stimulationspunkt L1: Rippenbogen an der Flanke tasten, an der Kreuzungsstelle einer Verbindungslinie beider Rippenbögen mit der Wirbelsäule etwa eine Handbreit nach kranial: dort befindet sich L1.

Tabelle 1. Untersuchungsmöglichkeiten				
Nerv	Zielmuskel (Abkürzung)	Stimulationspunkte		Kurven- beispiele
<b>Obere Extremitäten</b>				
N. suprascapularis	M. infraspinatus (ISP)	1. Erb	2. C5/6	
N. axillaris	M. deltoideus (DELTA)	1. Erb	2. C5/6	Abb. 14
N. musculocutaneus	M. biceps brachii (BB)	1. Schulter 3. C6	2. Erb	Abb. 16
N. medianus	M. abductor pollicis brevis (APB)*	1. Handgelenk 3. Axilla 5. C7	2. Ellenbogen 4. Erb	Abb. 11
N. radialis	M. abductor pollicis longus (APL)	1. dist. v. Ellenbogen 3. Oberarm 5. C7	2. prox. v. Ellenbogen 4. Erb	Abb. 19
N. ulnaris	M. abductor digiti minimi (ADM)	1. Handgelenk 3. prox. v. Sulcus uln. 5. Erb	2. dist. v. Sulcus uln. 4. Axilla 6. C7/8	Abb. 4, 5, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 15, 16
<b>Untere Extremitäten</b>				
N. femoralis	M. vastus medialis (VM)	1. Leiste 3. L1	2. L4	Abb. 20
N. peroneus (N. ischiadicus)	M. tibialis anterior (TA) M. extensor digitorum brevis (EDB)*	(0. prox. v. Sprunggel.) 2. dist. Ober- schenkel 4. L5	1. Fibula köpfchen 3. Glutäalfalte 5. L1	Abb. 17
N. tibialis (N. ischiadicus)	M. soleus (SOL) M. abductor hallucis (AH)*	(0. Innen- knöchel) 2. Glutäalfalte 4. L1	1. Kniekehle 3. S1	Abb. 9, 15, 17
* Bei diesen Zielmuskeln ist in der Regel die Anwendung der Kollisionstechnik zu empfehlen (siehe auch 9, 10, 14).				

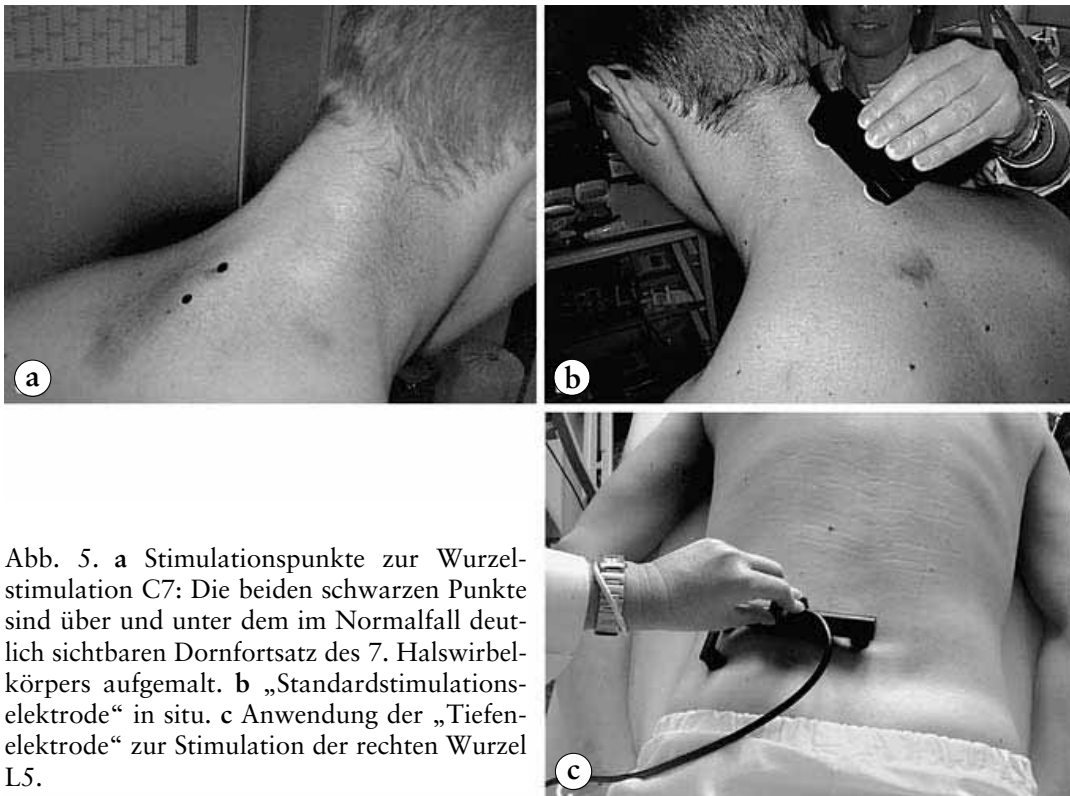


Abb. 5. a Stimulationspunkte zur Wurzelstimulation C7: Die beiden schwarzen Punkte sind über und unter dem im Normalfall deutlich sichtbaren Dornfortsatz des 7. Halswirbelkörpers aufgemalt. b „Standardstimulations-elektrode“ in situ. c Anwendung der „Tiefenelektrode“ zur Stimulation der rechten Wurzel L5.

## Indikationen

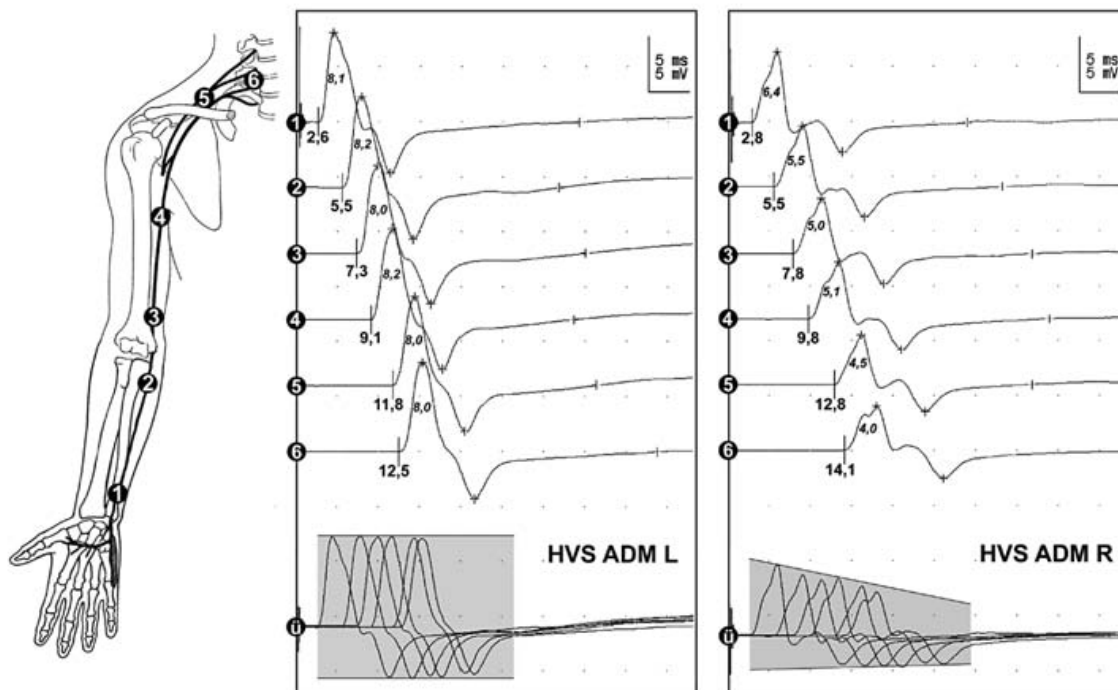
Prinzipiell sind demyelinisierende Erkrankungen mit Schwerpunkt in den proximalen Nervenanteilen die Domäne der HVS, da diese mit den konventionellen elektroneurographischen Verfahren oft nicht ausreichend abgebildet werden können und zudem mit dem EMG häufig keine relevante Zusatzinformation zu erhalten ist (Tab. 2).

Hierbei ist anzumerken, daß die genaue Lokalisation von Leitungsblöcken oder temporaler Dispersion als Ausdruck fokaler Demyelinisierung (gerade außerhalb der Prädilektionsstellen für Engpaßsyndrome) eine wichtige Information sein kann, um z. B. eine entzündliche (CIDP) von einer hereditären PNP (HNPP (hereditäre Neuropathie mit Neigung zu Druckparesen)) differenzieren zu können (5). Deshalb sollte immer, wenn möglich, eine „Inching“-Technik angewendet werden, um z. B. den Schädigungsort außerhalb von Prädilektionsstellen nachzuweisen (3; zur Technik siehe Beispiel in Abb. 19).

## Normwerte

Prinzipiell ist eine Beachtung der Länge der untersuchten Extremität empfehlenswert. Leider existieren hierzu in der Literatur jedoch keine einheitlichen Verfahren. Eine einfache Alternative besteht in der Beachtung der Körpergröße, die unzweifelhaft und rasch bestimmt werden kann. Allerdings sind hierzu kaum Normwerte publiziert.

Tabelle 2. Indikationen	
Indikationen	Kurvenbeispiele
<b>1. entzündliche (Poly-)Neuropathien</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Guillain-Barré-Syndrom (GBS; auch: akut-inflammatorische demyelinisierende Polyneuropathie, AIDP)</li> <li>• Chronisch-inflammatorische demyelinisierende Polyneuropathie (CIDP)</li> <li>• Multifokale motorische Neuropathie (MMN)</li> <li>• Neuralgische Amyotrophie</li> </ul>	<p>Abb. 4, 7, 8, 9</p> <p>Abb. 10, 11</p> <p>Abb. 12, 13</p> <p>Abb. 14</p>
<b>2. nicht-entzündliche Polyneuropathien</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• hereditäre Polyneuropathien</li> <li>• andere Polyneuropathien zum DD-Ausschluß</li> </ul>	Abb. 15
<b>3. Läsionen von proximalen Nervenanteilen oder Läsionen der Arm- oder Beinnervenplexus</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• traumatische Läsionen</li> <li>• Druckschädigungen / Engpaßsyndrome</li> <li>• andere Läsionen</li> </ul>	<p>Abb. 16</p> <p>Abb. 17</p>
<b>4. Läsionen der Nervenwurzeln bzw. der Kauda equina</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bandscheibenbedingte Läsionen (aber häufig limitiert durch Schmerzen)</li> <li>• Tumore und andere Raumforderungen</li> <li>• traumatische Läsionen</li> </ul>	Abb. 18
<b>5. Läsionen peripherer Nervenanteile, die einer konventionellen Stimulation schlecht zugänglich sind</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• insbesondere genaue Lokalisation von Leitungsblöcken durch Untersuchung kurzer Segmente</li> </ul>	Abb. 19



### Latenzen

Wir verwenden in unserem Labor als pragmatisches Vorgehen die nicht auf die Körpergröße bzw. Extremitätenlänge bezogenen Latenzwerte aus Tabelle 3.

### Amplituden

An den **distalen Extremitäten** gelten die Normwerte der konventionellen motorischen Elektoneurographie, da die Ergebnisse mit der HVS als identisch anzusehen sind (10). Für die **proximalen** Stimulationspunkte gilt für die **Armnerven**: Von Jaspert et al. (8) wird bei Ableitung vom ADM und Vergleich bei Handgelenks- und HWS-Stimulation als pragmatischer Wert eine Amplitudendifferenz von mehr als 50% als pathologisch angesehen (siehe auch Abb. 6) Dieser Wert kann nach eigener Erfahrung sicherlich auch als Anhaltspunkt bei Untersuchung anderer Nerven/Zielmuskel der oberen Extremitäten verwendet werden. An den **Beinerven** gibt Claus (4) einen Grenzwert der Amplitude Th12/L1 zu Fibulaköpfchen beim M. tibialis anterior von 32% an.

◀ Abb. 6. HVS-Kurven zweier Normalpersonen. Im **linken** Beispiel über die gesamte Strecke zwischen Handgelenks- und Wurzelstimulation keine nennenswerte Amplitudenminderung. Hingegen im **rechten** Beispiel bei proximaler Stimulation zunehmende Amplitudenminderung (und leichte Potentialverbreiterung) bis auf etwa 63% des „Ausgangswertes“ bei ganz distaler Stimulation. Dieses Beispiel belegt, daß erst Amplitudenreduktionen auf unter 50% als sicher pathologisch gelten dürfen.

Tabelle 3. Normwerte der Latenzen

Autoren	Stimulationsort (Kathode)	Zielmuskel	Latenzen (MW ± SD)	errechneter Grenzwert (MW+2,5SD)	Seitendifferenz der Latenzen (MW ± SD)	errechneter Grenzwert (MW+2,5SD)
Ludolph et al. (12)	C6	M. abductor pollicis brevis	14,2 ± 1,48	17,9		1,4
	C6	M. biceps brachii	5,22 ± 0,49	6,5		1,4
	Th12/L1	M. tibialis anterior	16,15 ± 1,38	19,6		0,6
	Th12/L1	M. extensor digitorum brevis	25,00 ± 2,48	31,2		0,6
Schmid et al. (19)	Axilla	M. abductor digiti minimi	9,605 ± 0,971	12,0	0,403 ± 0,390	1,4
	C7		13,795 ± 1,307	17,1	0,452 ± 0,388	1,4
	Axilla	M. biceps brachii	1,665 ± 0,366	2,6	0,242 ± 0,156	0,6
	C7		5,138 ± 0,582	6,6	0,166 ± 0,193	0,6
Claus (4)	C7	M. abductor digiti minimi	13,7 ± 1,4	17,1		
	Th12/L1	M. tibialis anterior	16,0 ± 1,5	19,7		

Dieser Wert ist nach eigener, praktischer Erfahrung sicher eher vorsichtig gewählt, da wir im eigenen Labor bei Gesunden nie eine Abnahme auf unter 50% gesehen haben (bei sicher supramaximaler Stimulation).

Im übrigen gelten bei Untersuchung einzelner Nervensegmente auch bei der HVS die allgemein üblichen Empfehlungen zur Diagnose eines Leitungsblocks bei der konventionellen motorischen Elektroneurographie (s. o.).

Da auch im Normalfall eine außerordentliche interindividuelle Variabilität der Latenzen und auch Amplituden besteht, sollte zur Erhöhung der Sensitivität der Methode immer ein Vergleich mit der gesunden Seite erfolgen.

## Klinische Beispiele

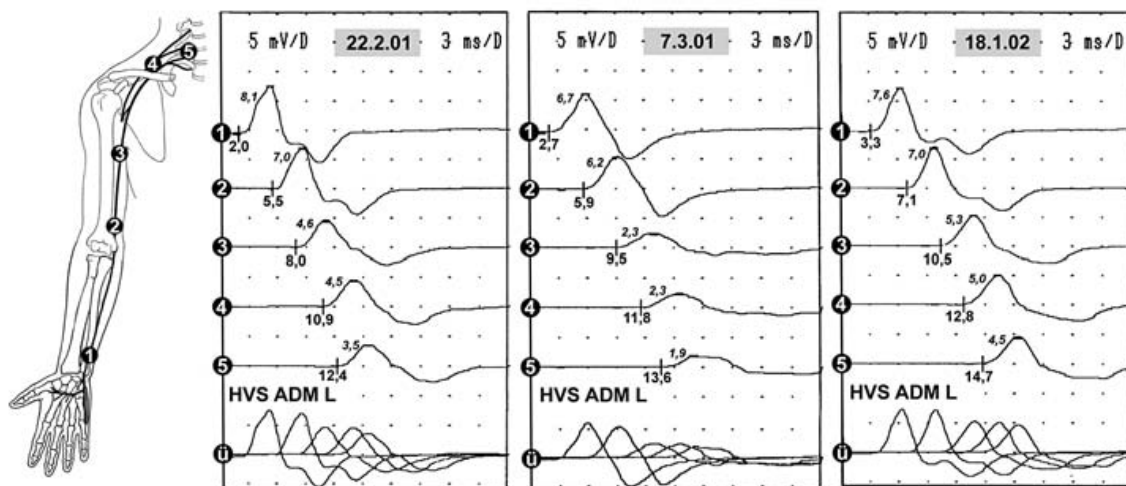


Abb. 7. Zu Beginn der Erkrankung (etwa am 15.2.01) 33-jährige Patientin mit GBS: Erstmalige Untersuchung am 22.2. bei klinisch mittelgradiger Tetraparese mit pathologischer, zunehmender Amplitudenminderung bei proximaler Stimulation. Am 7.3. etwa unveränderter klinischer Befund: Schwerpunkt der Störung mit partiellem Leitungsblock im Oberarmbereich (zwischen Stimulationspunkt 2 und 3). Fast ein Jahr später (18.1.02) ist nach vollständiger klinischer Restitution noch ein „Amplitudensprung“ im gleichen Segment zu sehen, der aber nicht mehr sicher pathologisch gewertet werden kann. Die Verbreiterung der negativen Hauptkomponente des CMAP bei distaler Stimulation am 7.3. im Vergleich zu den Ableitungen am 22.2. bzw. 18.1. ist auffällig und beim GBS häufig zu finden, hier aber ebenso noch nicht pathologisch wertbar. (ü = Übereinanderlagerung aller fünf Kurven.)

Abb. 9. 44-jähriger Pat. mit seit ca. 4 Tagen zunehmender, leichter bis mittelgradiger Tetraparese bei GBS: Unauffällige Resultate bei Stimulation in Kniekehle (1) und Glutäalfalte (2). Bei Stimulation über der unteren LWS (3) erst ab einer Spannung von 800 V maximale Amplitude, die mit einer Erhöhung der Stimulationsspannung auf 900 V als supramaximal belegt werden kann. Dieses Beispiel zeigt, wie sorgfältig auf eine sicher supramaximale Stimulation geachtet werden muß, da bei den Spannungen von 300 und 500 V irrtümlich ein Leitungsblock diagnostiziert worden wäre (der sich in diesem Fall bei Untersuchung der ADM sicher belegen ließe). Die Reduktion der Amplitude auf 50% des „Ausgangswertes“ bei Reizung über der oberen LWS (4) ist nach eigener Erfahrung zumindest auffällig (und wahrscheinlich durch das GBS bedingt), laut Literatur aber noch nicht pathologisch wertbar (Claus, 4).

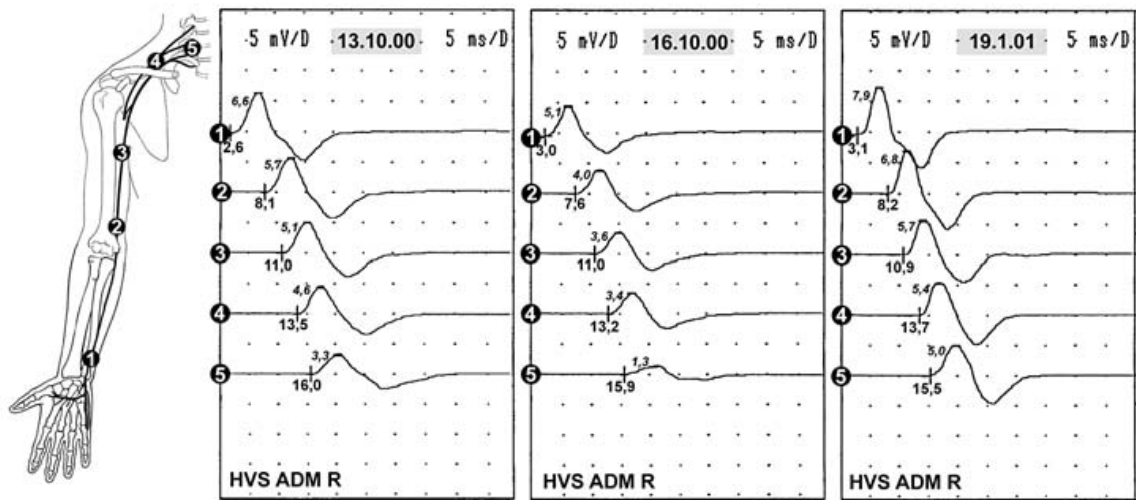
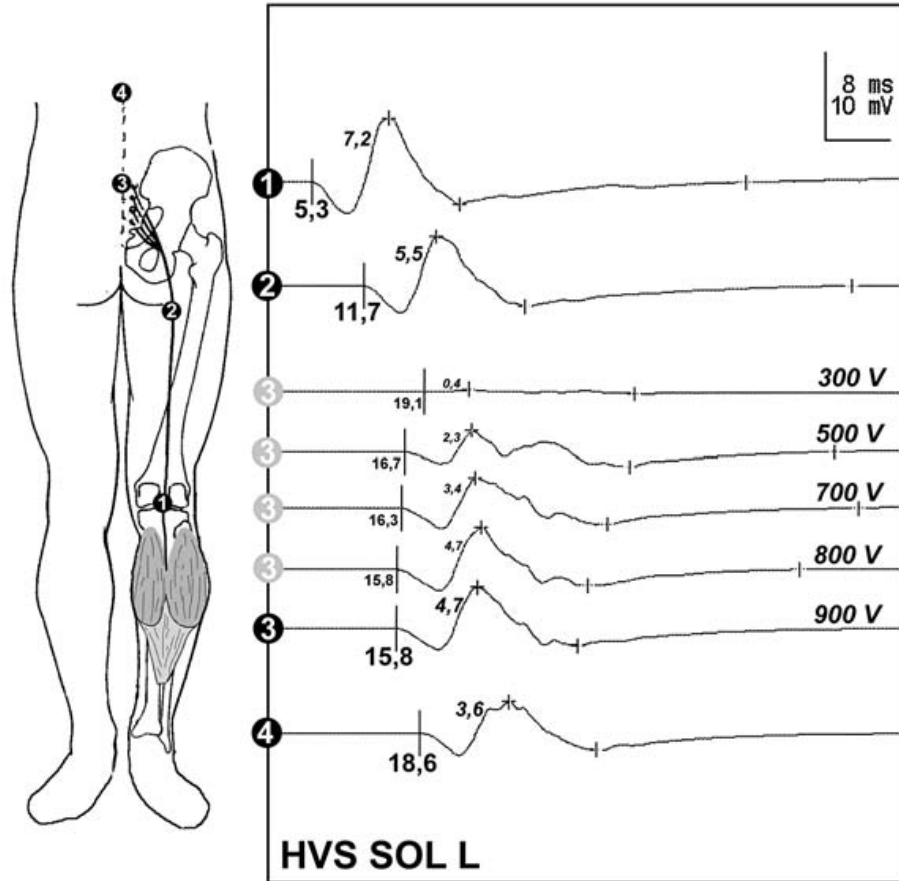


Abb. 8. Verlauf einer 34-jährigen Pat. mit GBS: Erstmalige Untersuchung am 13.10.00 mit seit wenigen Tagen zunehmender, zu diesem Zeitpunkt mittelgradiger Tetraparese. Zunächst grenzwertige Amplitudenminderung bei Vergleich der distalen (1) mit der proximalen (5) Stimulation auf genau 50% des „Ausgangswertes“. Am 16.10. dann bei leichter, weiterer klinischer Progression insbesondere partieller Leitungsblock zwischen Erb (4) und Wurzelstimulation (5). Schließlich am 19.1.01 bei kompletter klinischer Restitution auch Normalisierung der HVS.



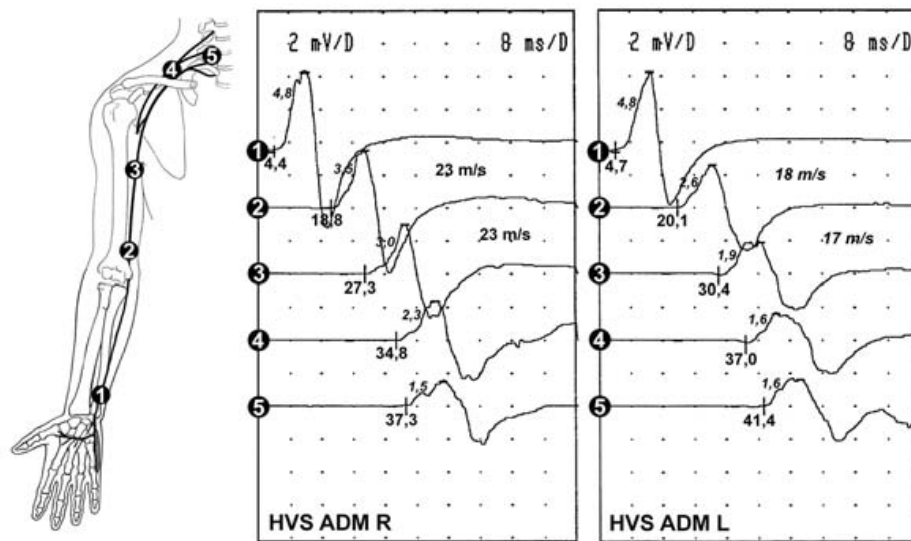


Abb. 10. 65-jähriger Patient mit langjährigem Verlauf einer CIDP: Symmetrisch leichte Verlängerung der distalen Latenz, massive Verzögerung aller übrigen Latenzen insbesondere ab Stimulationspunkt (2), die eine Schwerpunktschädigung im Unterarmbereich belegt. Daneben zunehmende Amplitudenminderung und Potentialverbreiterung bzw. -aufsplitterung nach proximal. Die Schwerpunktschädigung gilt als typisch für die CIDP und ermöglicht beispielsweise eine Abgrenzung gegenüber einer hereditären Neuropathie (z.B. HMSN I), die alle Nervensegmente in gleichem Ausmaß betrifft (siehe Abb. 15).

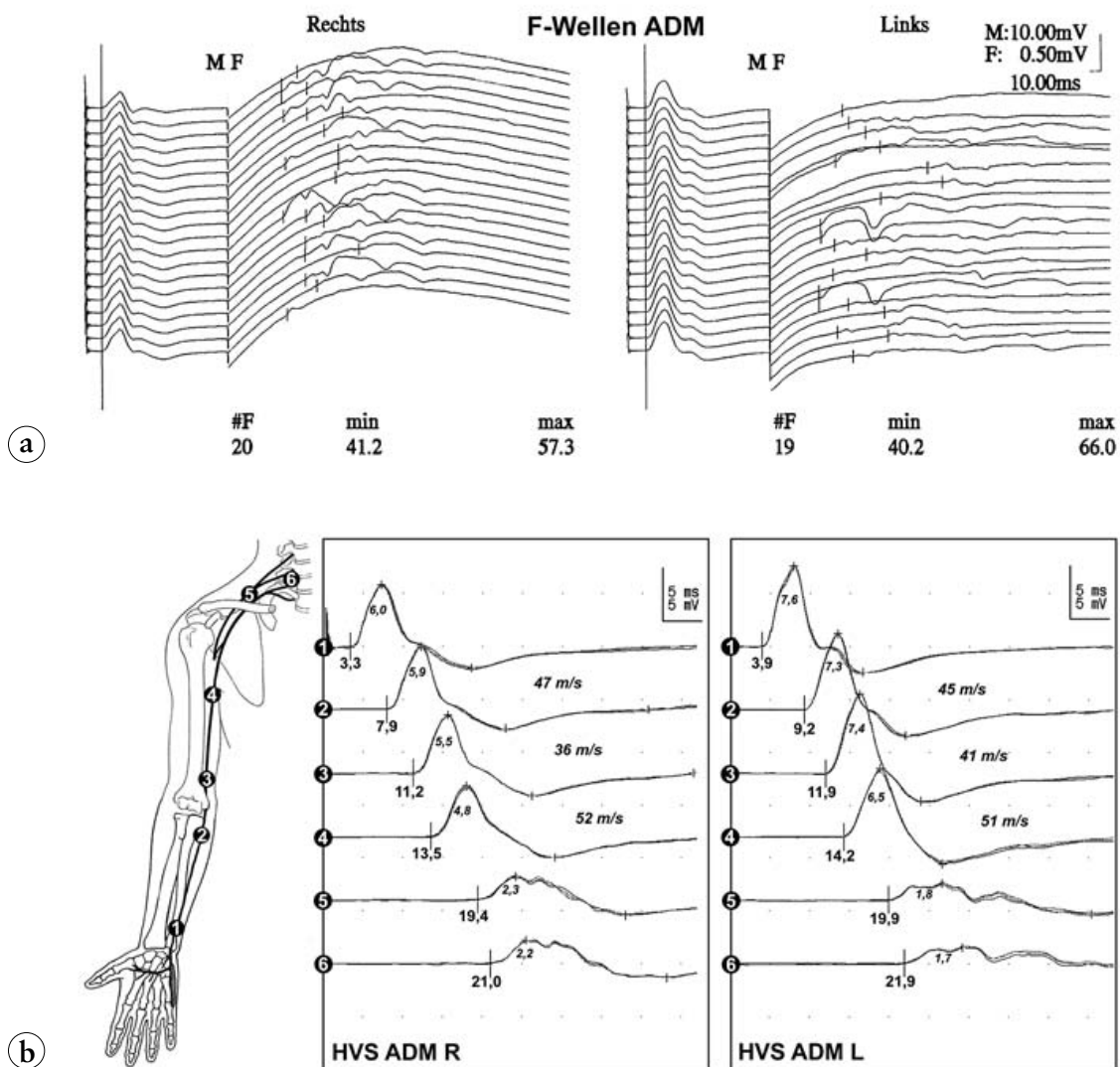


Abb. 11. a–c 82-jähriger Patient mit CIDP mit Nachweis eines M-Proteins im Serum: Seit einigen Monaten zunehmende Gefühlsstörungen, klinisch leichte Paresen von Fingerstreckern und -spreizern beiderseits. Die F-Wellen (a) zeigen eine deutliche Verzögerung der minimalen Latenzen sowie eine erhöhte Chronodispersion, die eine demyelinisierende Läsion belegen. Erst mit der HVS (b) gelingt eine Lokalisation des Schädigungsschwerpunkts zwischen Stimulationspunkt (4) und (5), somit in den distalen Armplexus. In dieser Ableitung sind bei jedem Stimulationspunkt drei identische Stimulationen übereinanderprojiziert.

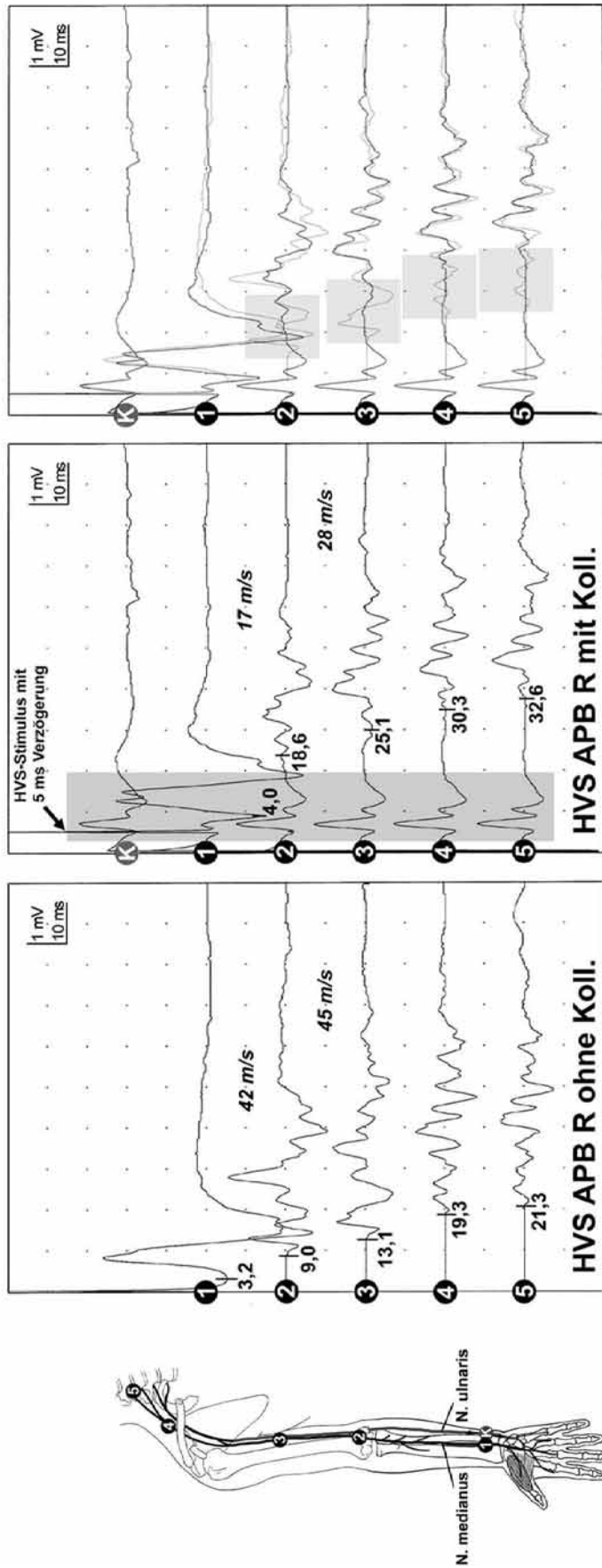


Abb. 11. c Sog. Kollisionstechnik. Links zunächst HVS zum APB ohne Kollisionreiz: Fast normale NLG, aber stark aufgespitzte und verbreiterte CMAP. **In der Mitte** führt die supramaximale Reizung des N. ulnaris („K“) 5 ms vor der HVS zu einer Erregung der Ulnaris-versorgten Muskeln im Thenar, die man nun in den Kurven an immer gleicher Stelle etwa zum Zeitpunkt des HVS-Impulses sieht (dunkler grau unterlegt, die Verzögerung kommt durch die distale Leitungszeit zustande). Abgrenzbar sind jetzt die wirklich durch die Medianus-HVS erzeugten CMAP, die nun beträchtlich später auftreten und auch eine stark verlangsamte NLG offenbaren. Die Ulnaris-Anteile sind durch den „Kollisionsreiz“ verschwunden. **Rechts** zur Verdeutlichung die beiden anderen Abbildungen übereinanderprojiziert: Die „irritümlich“ für Medianus-Aktivität gehaltenen CMAP-Anteile sind hellgrau unterlegt. Weitere Erläuterungen siehe Text.

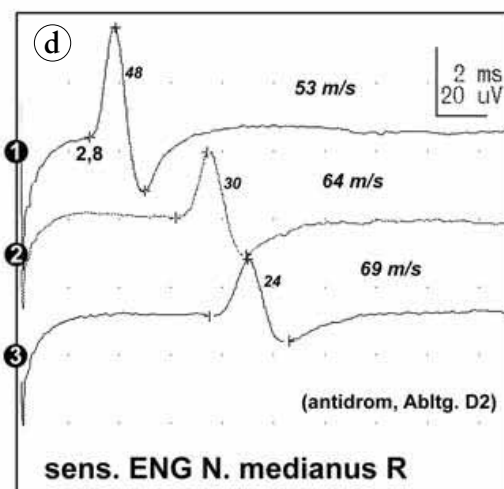
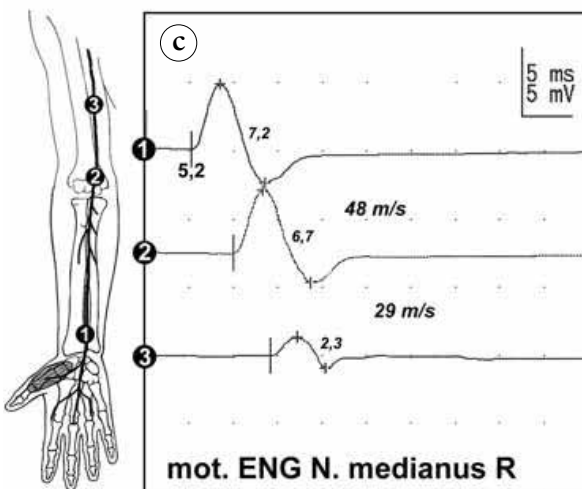
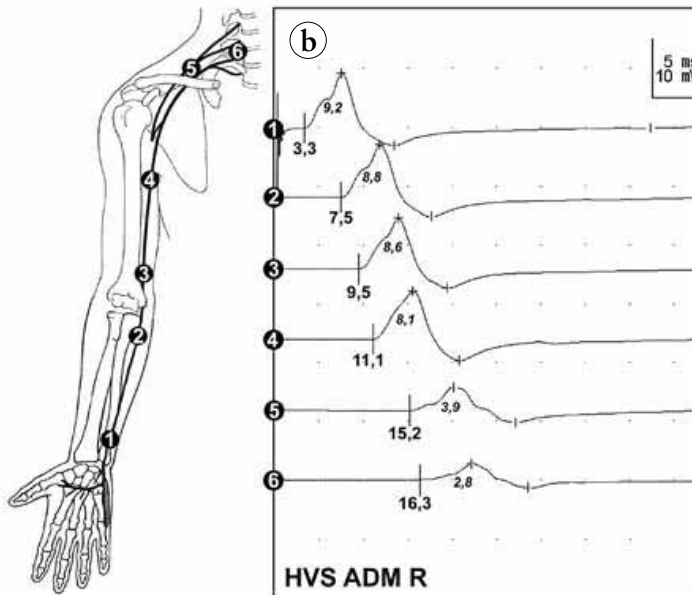


Abb. 12. 52-jähriger Patient mit MMN am rechten Arm. In a erkennt man eine Atrophie von Muskeln der rechten Hand, die vom N. medianus und N. ulnaris versorgt werden. Die HVS vom N. ulnaris in b zeigt einen partiellen Leitungsblock zwischen (4) und (5), also im Bereich des distalen Armplexus bzw. proximalen Nerven. Die motorische Neurographie des N. medianus in c konnte u.a. den zu erwartenden partiellen Leitungsblock in den distalen Oberarmbereich lokalisieren, wohingegen die sensible ENG (d) völlig normal war. Fraktionierte vierkanalige SEP-Ableitungen der Nn. mediani und ulnaris in üblicher Technik zeigten ebenso unauffällige Resultate (nicht abgebildet), sodaß der typische elektrophysiologische Befund einer MMN gefunden werden konnte, die schwerpunktmäßig die motorischen Nervenanteile betrifft.

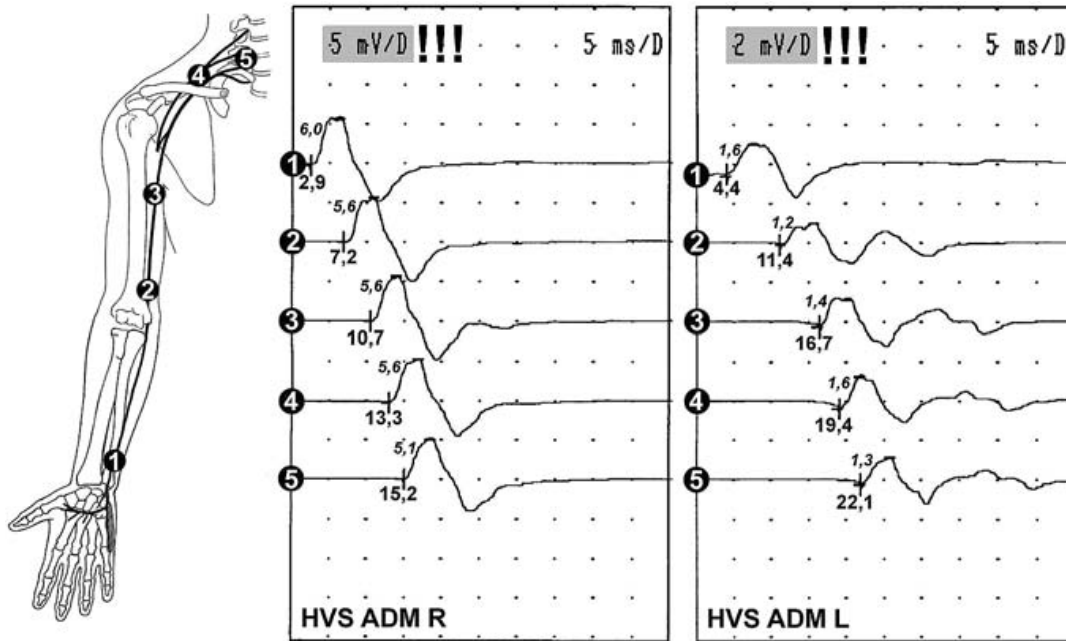
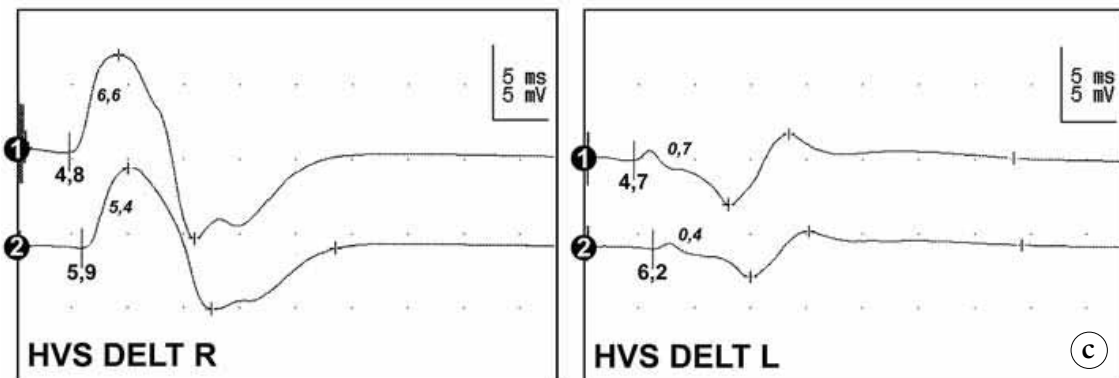


Abb. 13. 32-jährige Patientin mit seit Jahren bestehender unklarer, wahrscheinlich **entzündlicher Mononeuropathie** des linken N. ulnaris mit ausgeprägten Paresen: Unauffällige Befunde **rechts**, **links** Verzögerung der distalen Latenz und Amplitudenminderung (cave Verstärkung!). Die Latenzverzögerung spricht für eine demyelinisierende Läsion, die Amplitudenminderung kann sowohl durch einen distalen, partiellen Leitungsblock, als auch durch eine axonale Schädigung bedingt sein. Die bei weiter proximaler Stimulation zunehmende Latenzverzögerung und Potentialverbreiterung bzw. -aufsplitterung sprechen wieder für eine demyelinisierende Läsion. Differentialdiagnostisch wurde bei der Patientin insbesondere eine **MMN** bedacht.



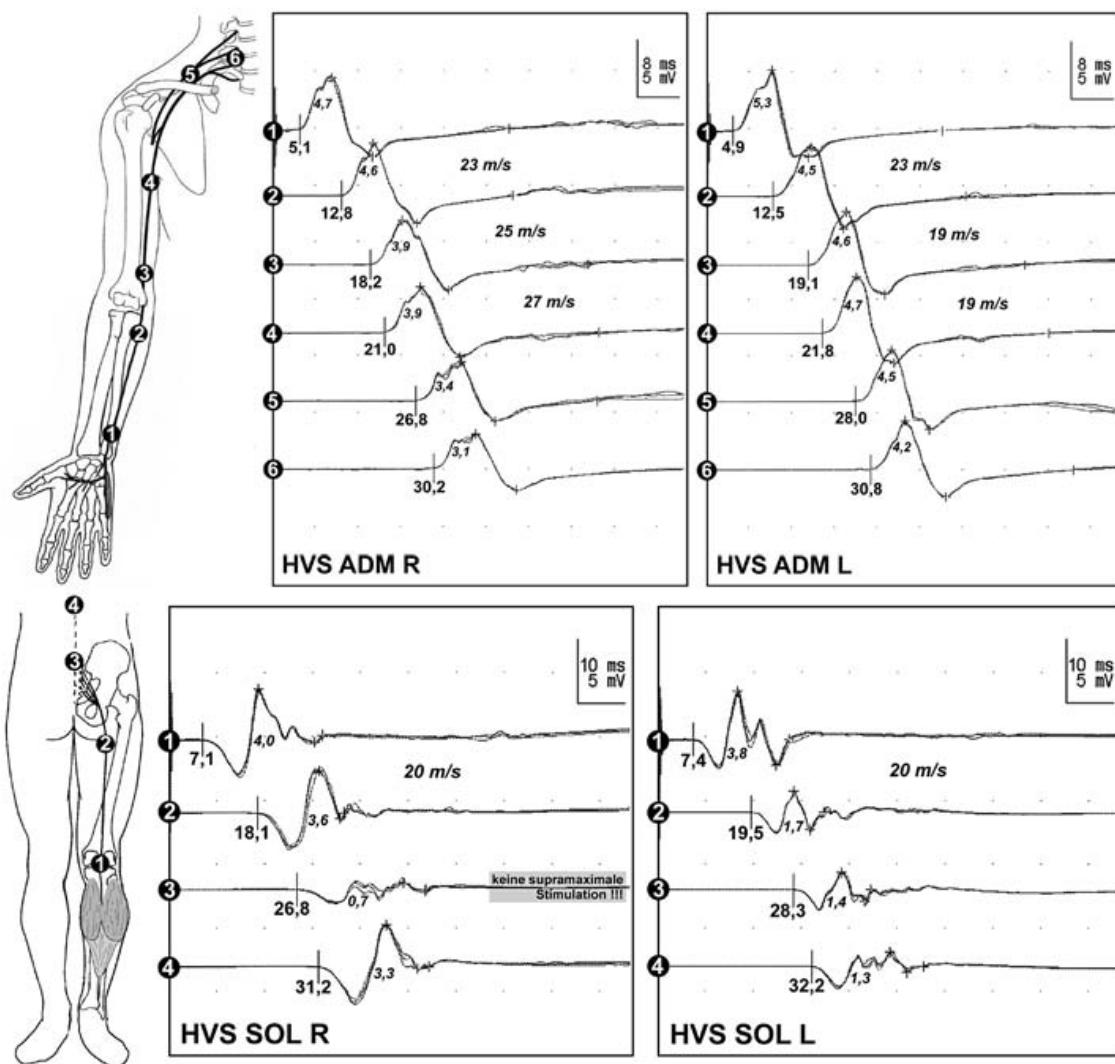
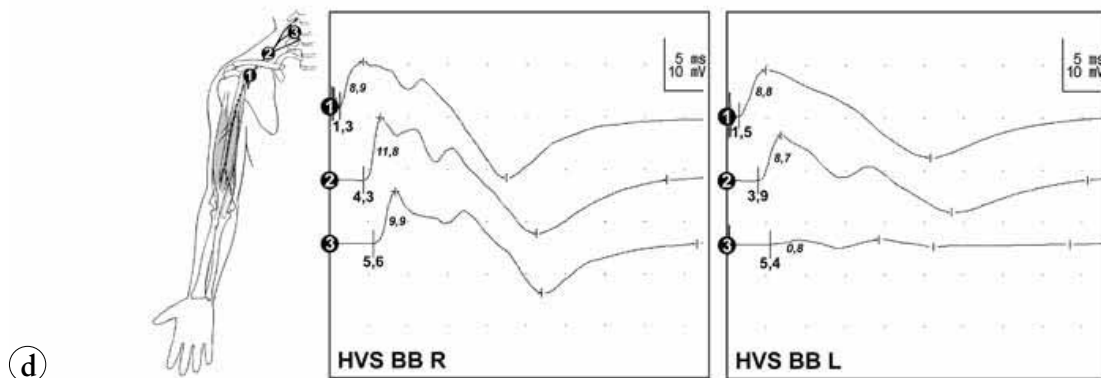
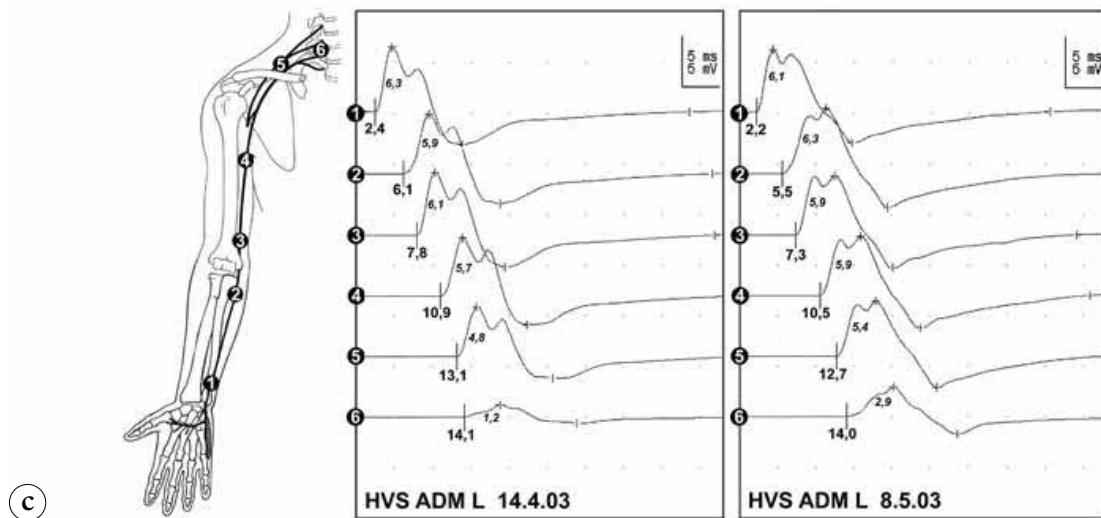
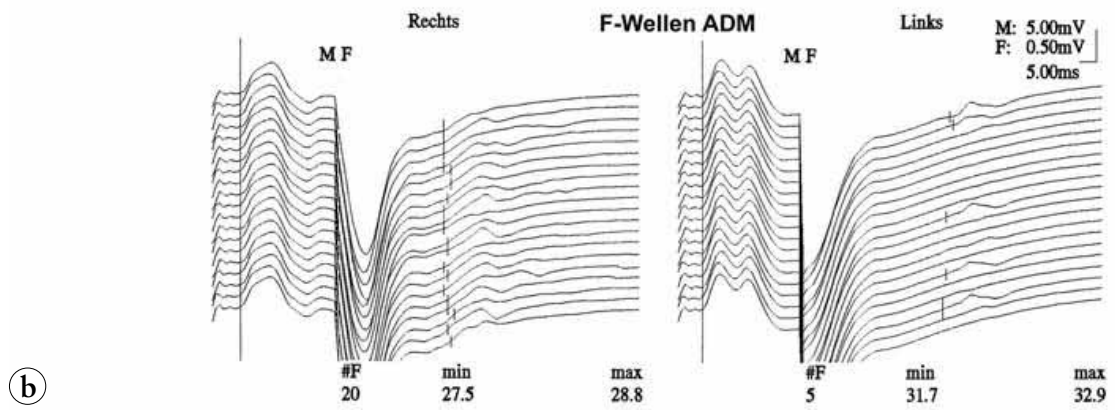
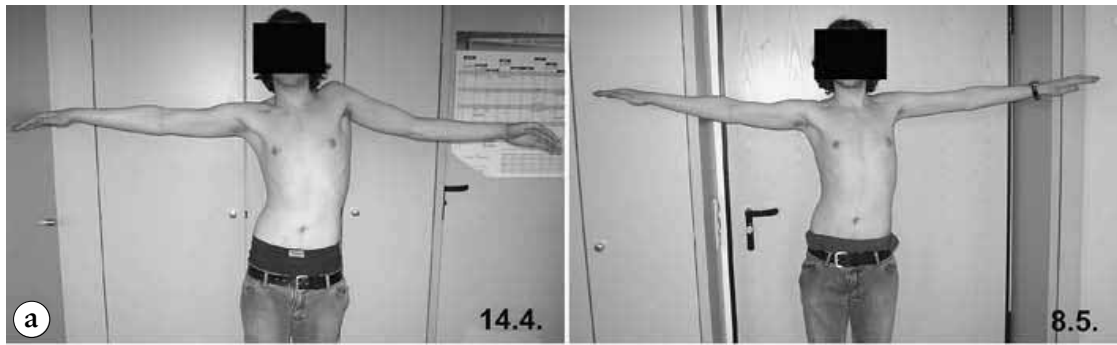


Abb. 15. 55-jährige Patientin mit hereditärer Polyneuropathie (genetisch gesicherter HMSN I (CMT Ia)) mit akralen Gefühlsstörungen, leichten distal betonten Paresen an den Extremitäten sowie positiver Familienanamnese. In der HVS zum ADM (a) typischer Befund mit massiver, in allen Nervensegmenten gleichförmiger Verlangsamung der NLG bzw. symmetrischer Verzögerung der Latenzen. Darüberhinaus auch bei proximaler Stimulation fast identisch konfigurierte Antwortpotentialen im Vergleich zur distalen Stimulation. Dies belegt eine gleichförmige Veränderung aller motorischen Fasern in allen untersuchten Segmenten, die als charakteristisch für die HSMN I gilt (z.B. im Gegensatz zur CIDP, s.o.). Die HVS zum M. soleus (b) zeigt ähnliche Veränderungen. Auf der rechten Seite war trotz maximaler Spannung und Verschiebung der Stimulationselektrode keine supramaximale Stimulation über der unteren LWS (3) möglich. (In allen Ableitungen sind bei jedem Stimulationspunkt drei identische Stimulationen übereinanderprojiziert.)

◀ Abb. 14. Neuralgische Amyotrophie bei einem 55-jährigen Patienten. Seit etwa fünf Wochen hochgradige Parese des M. deltoideus links (a, Versuch beide Arme zur Seite anzuheben), geringer auch des M. biceps brachii ohne relevante Muskelatrophien oder Sensibilitätsstörungen. Zum Untersuchungszeitpunkt waren die Paresen subjektiv schon etwas rückläufig. Wegen Marcumar-Medikation konnte kein Nadel-EMG durchgeführt werden. In der HVS (Stimulationsorte in b, Kurven in c) rechtsseitig normaler Befund, links erhebliche Amplitudenminderung. Dieser Befund ist entweder durch einen weit distal gelegenen, partiellen Leitungsblock oder aber eine axonale Schädigung (i.S.e. Waller'schen Degeneration) erklärbar.



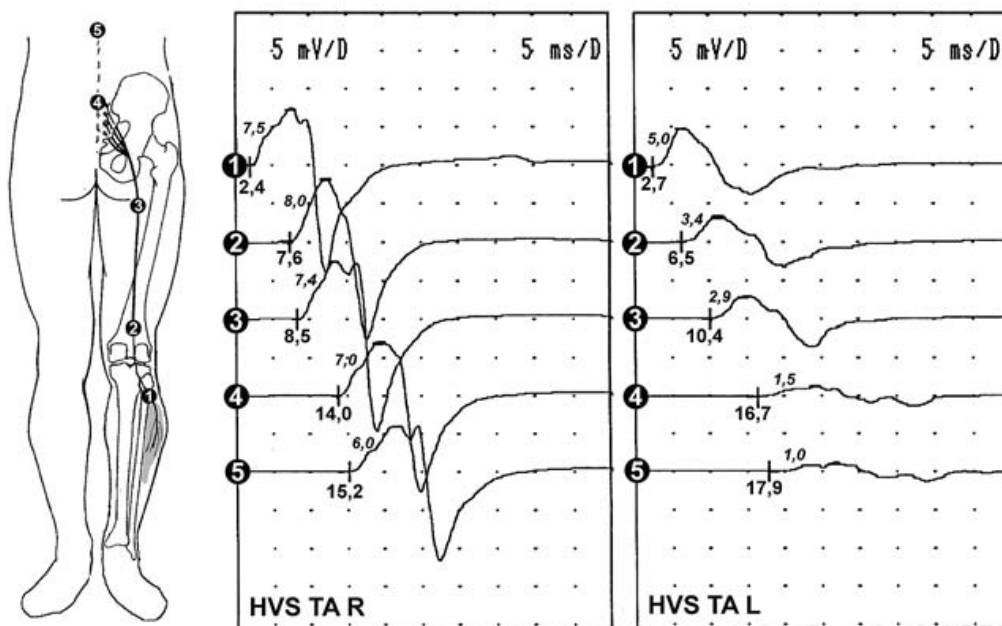


Abb. 17. 59-jähriger Patient mit Läsion des Plexus lumbosacralis nach Strahlentherapie wegen eines Seminoms vor etwa 30 Jahren: Am linken Bein klinisch proximal leichte, nach distal mittelgradige Paresen. In der HVS zum TA rechtsseitig unauffälliger Befund (trotz leichter klinischer Beteiligung auch des rechten Plexus), links im Seitenvergleich niedrigere Amplituden und nach proximal zunehmende Latenzen, die eher für eine axonale Schädigung der schnelleitenden motorischen Fasern (Waller'sche Degeneration) sprechen. Darüber hinaus bei Stimulation über der unteren und oberen LWS Amplitudenminderung sowie Potentialverbreiterung bzw. Aufsplitterung, die eine partiell demyelinisierende Schädigung im Bereich des Plexus lumbosacralis belegt.

- ◀ Abb. 16. Plexus brachialis-Läsion mit Bevorzugung oberer Plexusanteile bei einem 17-jährigen Patienten nach abrupter Armelevation beim Sport: (a) am 14.4. etwa zweieinhalb Wochen nach Trauma höhergradige Parese des M. deltoideus, am 8.5. fast vollständige klinische Erholung. Die F-Wellenuntersuchung vom N. ulnaris bzw. ADM am 14.4. (b) zeigt linksseitig eine Verzögerung der minimalen Latenz im Seitenvergleich sowie eine deutlich verminderte Persistenz von 25%, die eine partielle Leitungsblockierung belegt, jedoch den Schädigungsort nicht nachweisen kann. Hingegen zeigt die HVS zum ADM (c) am 14.4. einen partiellen Leitungsblock im Bereich des proximalen Plexus brachialis zwischen Erb'schem Punkt und Nervenwurzel, der bei Kontrolle am 8.5. deutlich gebessert ist. In (d) HVS zum BB am 14.4.: Rechts unauffällige Verhältnisse, links ebenso partieller Leitungsblock im Bereich des proximalen Plexus brachialis.

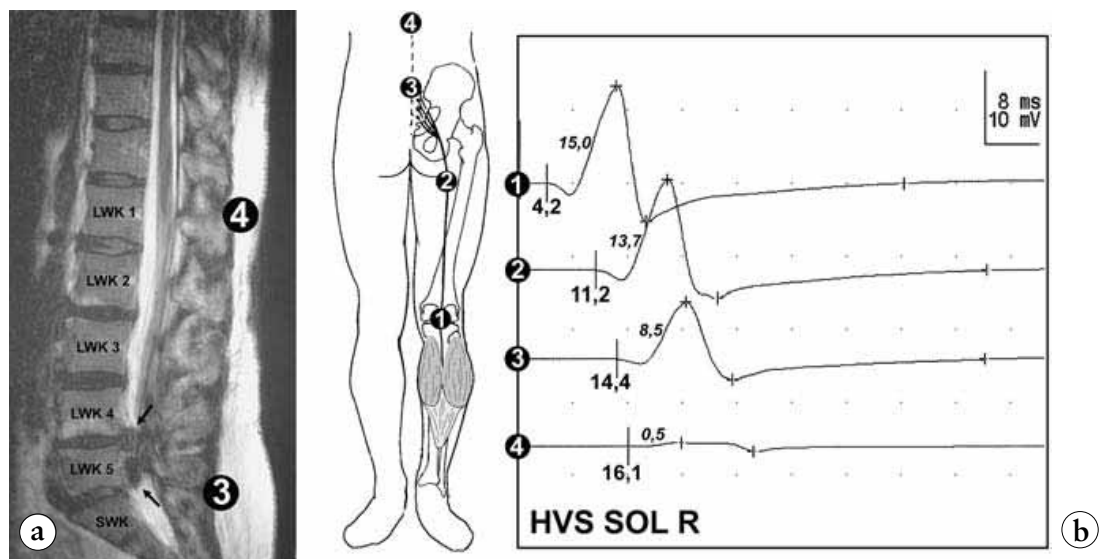


Abb. 18. 43-jährige Patientin mit S1-Syndrom rechts bei lumbalem Bandscheibenvorfall. Klinisch bestand seit etwa 4 Wochen u.a. eine hochgradige Parese des M. triceps surae rechts. In der MRT (a) zeigte sich ein lumbaler sequestrierter Bandscheibenvorfall, der die Schädigung der S1-Wurzel verursachte. Der H-Reflex vom M. soleus (nicht abgebildet) war ausgefallen. In der HVS zum M. soleus (b) fand sich ein partieller Leitungsblock zwischen unterer (3) und oberer (4) LWS, der eine Schädigung der S1-Fasern in diesem Bereich beweist.

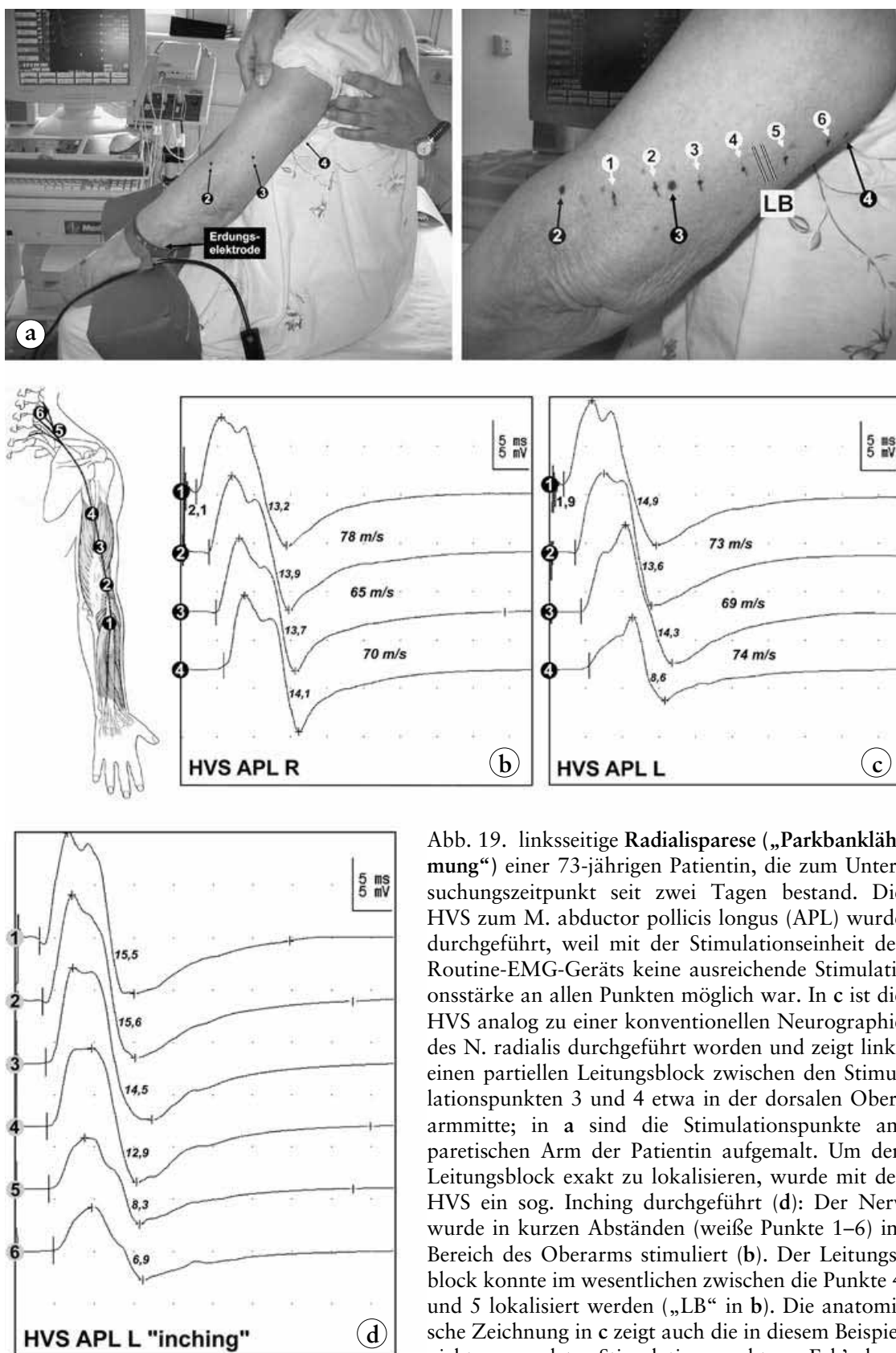
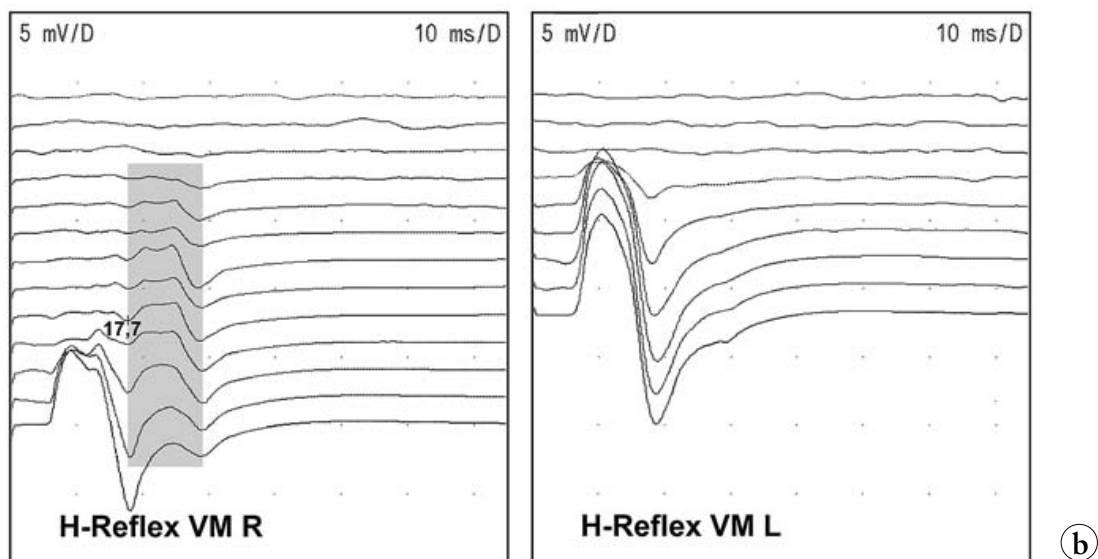
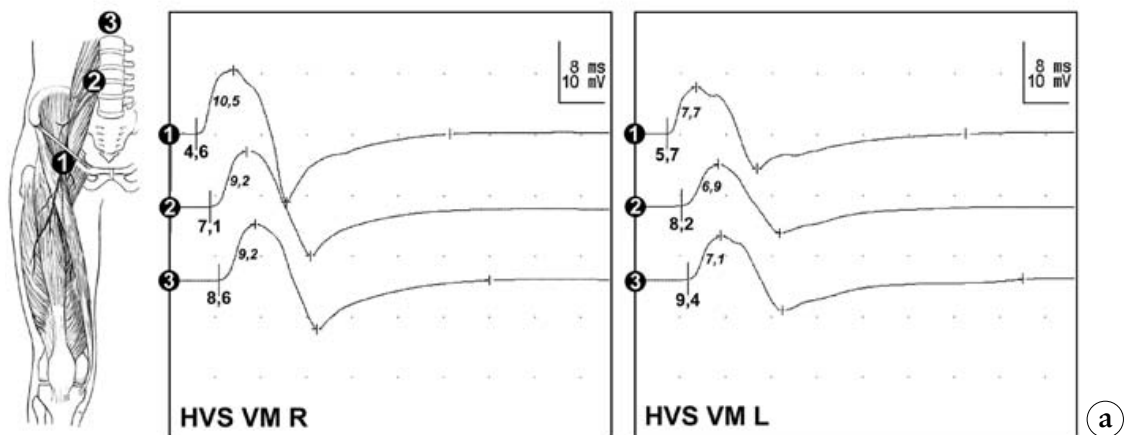


Abb. 19. linksseitige Radialisparese („Parkbanklähmung“) einer 73-jährigen Patientin, die zum Untersuchungszeitpunkt seit zwei Tagen bestand. Die HVS zum M. abductor pollicis longus (APL) wurde durchgeführt, weil mit der Stimulationseinheit des Routine-EMG-Geräts keine ausreichende Stimulationsstärke an allen Punkten möglich war. In c ist die HVS analog zu einer konventionellen Neurographie des N. radialis durchgeführt worden und zeigt links einen partiellen Leitungsblock zwischen den Stimulationspunkten 3 und 4 etwa in der dorsalen Oberarmmitte; in a sind die Stimulationspunkte am paretischen Arm der Patientin aufgemalt. Um den Leitungsblock exakt zu lokalisieren, wurde mit der HVS ein sog. Inching durchgeführt (d): Der Nerv wurde in kurzen Abständen (weiße Punkte 1–6) im Bereich des Oberarms stimuliert (b). Der Leitungsblock konnte im wesentlichen zwischen die Punkte 4 und 5 lokalisiert werden („LB“ in b). Die anatomische Zeichnung in c zeigt auch die in diesem Beispiel nicht verwendeten Stimulationspunkte an Erb'schem Punkt (5) und HWS (6), die eine Stimulation der Fasern zum N. radialis erlauben.

## Grenzen der Methode

- In seltenen Fällen kann auch an den gängigen Stimulationspunkten keine sicher supramaximale Stimulation erzielt werden. Hierzu gehören nach eigener Erfahrung insbesondere die Stimulationspunkte über der LWS, besonders im kaudalen Bereich (siehe Beispiel in Abb. 15).
- Bei überwiegend axonalen Läsionen ist mit allen neurographischen Methoden und damit auch mit der HVS (nach Abschluß der Waller'schen Degeneration innerhalb von bis zu zwei Wochen) kein Schädigungsort im Nervenverlauf mehr detektierbar. Ähnliches kann auch bei älteren (und höhergradigen) demyelinisierenden Läsionen zu beobachten sein, die zu einer (sekundären) axonalen Schädigung führen können (siehe Beispiel in Abb. 13)
- Die HVS überprüft nur die motorischen Fasern eines Nerven. Demzufolge entgehen natürlich rein sensible Schädigungen dem Nachweis (siehe Beispiel Abb. 20). Im Einzelfall können aber auch subklinische Läsionen motorischer Fasern (z.B. bei klinisch rein sensibler Schädigung) aufgespürt werden.



## Abschließende Bemerkung

Der Begriff „Hochvoltstimulation“ suggeriert eine unangenehme oder gar kaum auszuhaltende Untersuchungsmethode. Nach mehrjähriger eigener Erfahrung mit der HVS kam es nie zu einem Abbruch der Untersuchung durch Patienten wegen nicht zu ertragender Unannehmlichkeiten. Auch wurde eine notwendige zweite Untersuchung z. B. zur Verlaufskontrolle in keinem Fall von einem Patienten abgelehnt.

Die HVS ist eine sehr wertvolle Erweiterung des neurographischen Untersuchungsspektrums und kann häufig entscheidende differentialdiagnostische Hinweise liefern. Neben einer breiteren Anwendung wären standardisierte Untersuchungsgänge und unter einheitlichen Untersuchungsbedingungen entstandene Normwerte sehr wünschenswert bzw. erforderlich.

## Literatur

1. Arunachalam, R., Osei-Lah, A., Mills, K.R.: Transcutaneous cervical root stimulation in the diagnosis of multifocal motor neuropathy with conduction block. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatr.* 74 (2003) 1329–1331
2. Bischoff, C., Dengler, R., Hopf, H.C. (Hrsg.): *EMG, NLG: Elektromyographie, Nervenleitungsuntersuchungen*. Thieme-Verlag Stuttgart, 1. Auflage (2003)
3. Cappellari, A., Nobile-Orazio, E., Meucci, N., Levi Minzi, G., Scarlato, G., Barbieri, S.: Criteria for early detection of conduction block in multifocal motor neuropathy (MMN): a study based on control populations and follow-up of MMN patients. *J. Neurol.* 244 (1997) 625–630
4. Claus, D.: Motorisch evozierte Potentiale (MEP). In: K. Lowitzsch et al.: *Das EP-Buch*. Thieme-Verlag Stuttgart, 1. Auflage (2000) 173–232
5. Cornblath, D.R., Sumner, A.J., Daube, J., Gilliat, R.W., Brown, W.F., Parry, G.J., Albers, J.W., Miller, R.G., Petajan, J.: Conduction block in clinical practice. *Muscle Nerve* 14 (1991) 869–871
6. Gardill, K.: Ableitungstechnik und Befunde von F-Wellen und H-Reflex. *Neurophysiol. Lab.* 23/2 (2001) 65–86
7. Hess, C.W.: Die mittels Kortexreizung motorisch evozierten Potentiale (MEP). In: M. Stöhr et al.: *Evozierte Potentiale: SEP-VEP-AEP-EKP-MEP*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 3. Auflage (1996) 589–654
8. Jaspert, A., Claus, D., Grehl, H., Kerling, F., Neundörfer, B.: Wertigkeit der proximalen Leitungsblockuntersuchung in der Diagnostik entzündlicher Neuropathien. *Nervenarzt* 66 (1995) 445–454
9. Inaba, A., Komori, T., Yamada, K., Hirose, K., Yokota, T.: Focal conduction block in compression neuropathy of the proximal sciatic nerve. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatr.* 58 (1995) 471–473

- 
- ◀ Abb. 20. Läsion des N. femoralis links nach Beckenringfraktur vor etwa zwei Jahren bei einer 23-jährigen Patientin. Klinisch fanden sich entsprechende Gefühlsstörungen ohne Paresen, der Patellarsehnenreflex war links abgeschwächt. Die HVS zum VM war seitengleich unauffällig und konnte auch keine subklinische Läsion der motorischen Fasern belegen (a). Hingegen war der H-Reflex des VM, der auch die sensiblen Afferenzen überprüft, rechtsseitig unauffällig (grau unterlegt), links ausgefallen (b).

10. Inaba, A., Yokota, T., Komori, T., Hirose, K.: Proximal and segmental motor nerve conduction in the sciatic nerve produced by percutaneous high voltage electrical stimulation. *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.* 101 (1996) 100–104
11. Kimura J: Collision technique: physiologic block of nerve impulses in studies of motor nerve conduction velocity. *Neurology* 26 (1976) 680–682
12. Ludolph, A.C., Spille, M., Masur, H., Elger, C.E.: Methodik und Normwerte für die Ableitung von evozierten Muskelpotentialen nach Stimulation über den motorischen Wurzeln. *Z. EEG EMG* 19 (1988) 71–74
13. Maertens de Noordhout, A., Rothwell, J.C., Thompson, P.D., Day, B.L., Marsden, C.D.: Percutaneous electrical stimulation of lumbosacral roots in man. *J Neurol Neurosurg. Psychiatr.* 51 (1988) 174–181
14. Menkes, D.L., Hood, D.C., Ballesteros, R.A., Williams, D.A.: Root stimulation improves the detection of acquired demyelinating polyneuropathies. *Muscle Nerve* 21 (1998) 298–308
15. Merton, P.A., Morton, H.B.: Stimulation of the cerebral cortex in the intact human subject. *Nature* 285 (1980) 227
16. Mills, K.R., Murray, N.M.F.: Electrical stimulation over the human vertebral column: which neural elements are excited? *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.* 63 (1986) 582–589
17. Olney, R.K. (AAEM): Consensus criteria for the diagnosis of partial conduction block. *Muscle Nerve* 22 Suppl. 8 (1999) 225–229
18. Plassman, B.L., Gandevia, S.C.: High voltage stimulation over the human spinal cord: sources of latency variation. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatr.* 52 (1989) 213–217
19. Schmid, U.D., Hess, C.W., Ludin, H.P.: Methodik der elektrischen zervikalen motorischen Wurzelreizung: Einfluß der Reizparameter und Normwerte. *Z. EEG EMG* 20 (1989) 39–49
20. Stöhr, M.: Somatosensible Reizantworten von Rückenmark und Gehirn (SEP). In: M. Stöhr et al.: *Evozierte Potentiale: SEP-VEP-AEP-EKP-MEP*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 3. Auflage (1996) 23–288

Dr. Klaus Gardill, Oberarzt der Neurologischen Klinik, Klinikum Aschaffenburg, Am Hasenkopf 1, D-63739 Aschaffenburg, E-mail: klaus.gardill@klinikum-aschaffenburg.de

**NÄHERE INFORMATIONEN ZUM HOCHVOLT STIMULATOR D185 Mk IIa UND ALLE WEITEREN DIGITIMER PRODUKTE FINDEN SIE UNTER:**

[www.digitimer.com](http://www.digitimer.com)

**BERATUNG UND VERTRIEB DEUTSCHLAND:**

Helmut Wehking  
HW MediConsult  
Neuberg 1 - b

D - 65193 Wiesbaden

Telefon: +49 (0) 611/185 1944, Fax: -46

[helmutwehking@wehking-med.de](mailto:helmutwehking@wehking-med.de)

[www.wehking-med.de](http://www.wehking-med.de)

### D185 MultiPulse Cortical Stimulator



### D185-EH2



### D185-EH3

Digitimer Limited, 37 Hydeway, Welwyn Garden City, AL7 3BE, UK  
Tel. +44 (0)1707 328347 Fax +44 (0)1707 373153  
E-mail: [sales@digitimer.com](mailto:sales@digitimer.com) Web: [www.digitimer.com](http://www.digitimer.com)

### Beratung und Vertrieb Deutschland:

Helmut Wehking, HW MediConsult Neuberg 1-b, 65193 Wiesbaden Germany  
Tel: +49 (0)611-185 1944, Fax: - 46 [helmutwehking@wehking-med.de](mailto:helmutwehking@wehking-med.de) [www.wehking-med.de](http://www.wehking-med.de)

2004

# Digitimes

Bringing you the Latest News from Digitimer

## NEW Digitimer Products for 2004

### *Getting to the Root of a Conduction Problem - A New Application for the D185 MultiPulse Stimulator*



Developed for intraoperative monitoring of the spinal cord, the D185 was the first transcranial electrical stimulator cleared by the FDA for this purpose and has now been successfully used in thousands of surgical procedures including scoliosis corrections, spinal tumour re-sections and repairs of thoraco-abdominal aortic aneurysms. In each of these cases, transcranial motor evoked potentials (tceMEPs) have helped surgeons to monitor the viability of the spinal cord throughout the course of the surgery and as a result protected the patients from the small but significant risk of post-operative neurological impairment. Although the D185 was designed with this single, very important application in mind, it is now becoming more widely used as a diagnostic tool for tests of peripheral nerve function.

As with the discontinued Digitimer D180 Stimulator, the high voltage output of the D185 makes it ideally suited to stimulation of deep nerve roots when studying conduction block, as these sites are often difficult to activate with more conventional (lower output) peripheral nerve stimulators. Furthermore, because the D185 uses a very brief pulse duration (50 microseconds), it is less likely to activate C-fibres making stimulation less painful for the patient. Using the D185, peripheral nerve diagnostics can be carried out along the whole length of the nerve, making it possible for clinical neurophysiologists to identify focal sites of motor conduction block, even at very proximal locations.

The ability to identify such sites is crucially important when attempting to differentiate between treatable conditions such as multifocal motor neuropathy (MMN) and motor neuron disease (also known as amyotrophic lateral sclerosis or ALS), which is untreatable and often proves fatal within 5 years of diagnosis. In some cases of MMN the site of conduction block is too proximal for traditional nerve conduction tests to isolate it. This can result in a patient being misdiagnosed with motor neuron disease when they are in fact suffering from a far less serious and recoverable condition. Stimulation more proximally with a high voltage stimulator such as our D185 may reveal these previously unidentified sites of conduction block and allow the clinician to make a correct diagnosis (Arunachalam et al., 2003).

*R Arunachalam, A Osei-Lah and K R Mills Transcutaneous cervical root stimulation in the diagnosis of multifocal motor neuropathy with conduction block J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry, Sep 2003; 74: 1329 - 1331.*

## **Digitimer**

### **D185 Mk IIa: MultiPulse™ Hochvolt Stimulation in der Neurologie** **Hochvolt Stimulation, supramaximale Stimulation peripherer Nervenbahnen**

#### **Elektrophysiologische Diagnostik peripherer Nervenläsionen bei Polyneuropathien**

Eine der **erfolgreichsten Methoden** um die Physiologie und Pathophysiologie der peripheren Nerven des ZNS zu untersuchen, ist die **gezielte elektrische Stimulation** einzelner Areale und die Auswertung der darauf folgenden Reizantworten. Die so gewonnenen **Erkenntnisse**, zum Beispiel über die zentralmotorische **Nervenleitgeschwindigkeit**, liefern zusätzliche Anhaltspunkte bei der Diagnose von Polyneuropathien.

Während mit **konventionellen Konstantstrom Stimulatoren** (z.B. Digitimer DS7A, Rechteckimpulse 0-100mA bei 100-400V) nur die oberflächlich liegenden distalen Nervenabschnitte erreicht werden können, gelingt es mit der **Hochvolt Stimulationstechnik** (bis 1000V) die proximalen tiefliegenden Nervensegmente und die spinalen Nervenwurzeln **zuverlässig zu stimulieren**. Da mit Magnet Stimulatoren proximale Nervenabschnitte und Wurzeln nicht mit ausreichender Sicherheit maximal erregt werden können, ist die **magnetische Methode** zur Leitungsblockuntersuchung **nicht geeignet**.



Hochvolt Stimulator D185 Mk IIa



Elektrodenhalter Standard: EH3



Elektrodenhalter Lumbar: EH2

- Referenz:
- **Claus, D.** et al.: "Immunvermittelte Neuropathien, Diagnostik therapierbarer Nervenkrankheiten" (24) Deutsches Ärzteblatt 93, Heft 6, 9.2.1996
  - **Claus, D.:** Motorisch evozierte Potentiale (MEP) in Lowitzsch K. et al.: "Das EP Buch" Thieme Verlag Stuttgart, 1. Auflage (2000) 173-232
  - **Gardill, K.:** "Hochvolt Stimulation – praktische Anwendung und klinische Beispiele" Neurophys. Lab. 27/2 (2005), S. 61-88, Elsevier – Urban & Fischer, [www.elsevier.de/neurophys](http://www.elsevier.de/neurophys)

**Besuchen Sie Digitimer im Internet:**

[www.digitimer.com](http://www.digitimer.com)

Neueste Informationen über Anwendungen, Literatur und unsere Produkte

HW MediConsult: <http://www.wehking-med.de>

E-Mail: [helmutwehking@wehking-med.de](mailto:helmutwehking@wehking-med.de)