

Spinale und subkortikale somatosensorisch evozierte Potentiale nach Stimulation des N. Tibialis

B. Riffel und M. Stöhr

Neurologische Universitätsklinik Tübingen,
Liebermeisterstrasse 18–20, D-7400 Tübingen, Bundesrepublik Deutschland

Spinal and Subcortical Somatosensory Evoked Potentials After Stimulation of the Tibial Nerve

Summary. Evoked potentials in response to unilateral stimulation of the posterior tibial nerve at the ankle were recorded above the spinous processes L 5, L 1, C 2, and at Cz' in 30 normal subjects. The "cauda-potential" recorded above L 5 consists of two small negative peaks with a mean latency of 18 and 22.5 ms respectively, whereas the "cord-potential" recorded above L 1 exhibited a peak latency of 21.2 ms and on average a three-times larger amplitude than the first of the two "cauda-potentials" (Fig. 1). Leads from the spinous process C 2 revealed a sharp negative peak with a mean peak latency of 28.8 ms (N 30). Scalp recordings with a midfrontal (Fz–) reference inconsistently showed 1–2 small waves (P 31, N 33) prior to the primary cortical response (P 40). Recordings with an ear- or non-cephalic reference consistently showed a large positive deflection (P 30) which corresponded in latency with the simultaneously recorded cervical response (N 30) and was followed by a distinct negative potential (N 33) (Fig. 2a and b).

Average latencies and amplitudes of the different spinal and subcortical evoked potentials (Tables 1 and 2), as well as the diagnostically more important interpeak-intervals, amplitude relations, and side-differences of latencies and amplitudes (Tables 3 and 4) were calculated. The diagnostic significance of these parameters will be shown in selected cases with spinal cord pathology.

Key words: Somatosensory evoked potentials – Spinal evoked potentials – Far field potentials

Zusammenfassung. Oberflächenableitungen über den Dornfortsätzen L5, L1 und C2 nach Stimulation sensibler oder gemischter Beinnerven erlauben die Registrierung einer sequentiellen Abfolge von Potentialschwankungen, deren Ursprung in sensiblen bzw. motorischen Anteilen der Cauda equina („R“- und „A“-Welle), im Lumbosakralmark („S“-Welle) bzw. im Nucleus gracilis („N30“) vermutet wird. Bei Ableitungen von der Kopfhaut gegen eine Ohr- oder extrakephale Referenz stellen sich vor dem kortikalen Primärkomplex eine Serie positiver Vorwellen (far-field-Potentiale) dar, deren größte mit „N30“ bei Nackenableitung korrespondiert. Anhand von Messungen bei 30 Normalpersonen wurden die Durchschnittswerte der Latenzen, der Latenzintervalle, der Amplituden und deren Seitendifferenzen ermittelt und die diagnostische Bedeutung der einzelnen Parameter anhand ausgewählter pathologischer Fälle diskutiert.

Schlüsselwörter: Evozierte Potentiale – Somatosensibel – Spinale und subkortikale Reizantworten – Beinnervenstimulation

Einleitung

Untersuchungen der somatosensorischen Reizantworten nach Beinnervenstimulation, die beim Menschen erstmals von Dawson (1947) durchgeführt wurden, sind in der Diagnostik und Lokalisation von Rückenmarkserkrankungen weniger gebräuchlich als diejenigen nach Armnervenstimulation. Myelopathien kaudal der Segmente C8/Th1 sind jedoch nur durch SEP-Ableitung nach Beinnervenstimulation faßbar. Außerdem ist bei der Multiplen Sklerose die statistische Wahrscheinlichkeit, eine Demyelinisierung durch pathologische Latenzverzögerung zu erfassen, nach Beinnervenstimulation größer als nach Armnervenstimulation, da der längere Funiculus gracilis häufiger von einer Demyelinisierung betroffen ist als der Funiculus cuneatus. Zum Nachweis einer Entmarkungskrankheit und zu deren Differenzierung gegenüber spinalen Raumforderungen genügen im allgemeinen Ableitungen der kortikalen Reizantworten (Riffel et al. 1982), während die Prozeßlokalisation nur durch zusätzliche Registrierung der spinalen Potentiale gelingt. Diese wurden nach Versuchen von Pool (1945) und Sawa (1947) erfolgreich erstmals 1951 von Magladery et al. demonstriert. Basis jeder klinischen Anwendung sind Normwerte. Zur Etablierung derselben registrierten wir die SEPs nach Tibialisstimulation bei simultaner Ableitung über den Dornfortsätzen L5, L1 und C2 sowie über dem Beinfeld der somatosensorischen Rinde (Cz') bei 30 Gesunden.

Untersuchungen und Methode

Untersucht wurden 30 freiwillige Versuchspersonen ohne Hinweise auf eine neurologische Erkrankung. Es handelte sich um 12 Männer und 18 Frauen mit einem Durchschnittsalter von 34 Jahren (16 Jahre bis 67 Jahre) und einer Durchschnittsgröße von 168 cm (158–180 cm). Die Untersuchungen wurden in einem ruhigen, elektrisch abgeschirmten Raum in Bauchlage vorgenommen. Die Stimulation des N. tibialis hinter dem Malleolus medialis erfolgte mit einer Reizstärke von 3–4 mA über der motorischen Schwelle, einer Reizdauer von 0,1 ms und

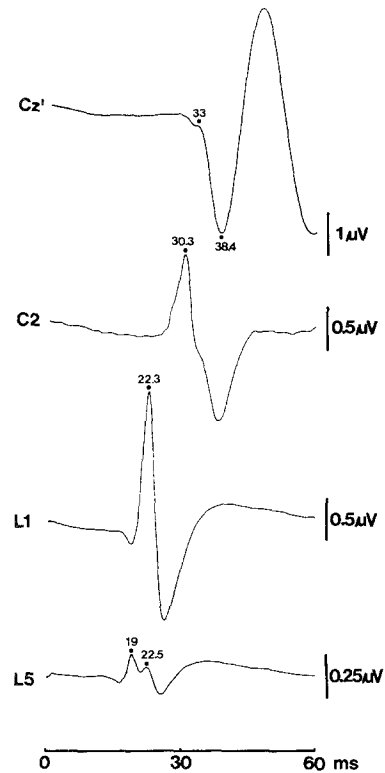


Abb. 1. Spinale und kortikale Reizantworten einer 16jährigen gesunden Versuchsperson nach Tibialisstimulation hinter dem Malleolus medialis (L 5: R-Antwort 19 ms, A-Antwort 22,5 ms; L 1: S-Antwort 22,3 ms). (Referenz: Fz)

einer Reizfrequenz von 5/s. Die evozierten Potentiale wurden mit subkutan platzierten Platinelektroden (DISA Typ 25 C 04) simultan von den folgenden vier Punkten registriert: 3 cm hinter Cz (= Cz') sowie oberhalb der Dornfortsätze C 2, L 1 und L 5. Als Referenz für die beiden rostralen Ableitpunkte diente Fz, für die beiden kaudalen Ableitpunkte der Beckenkamm kontralateral zur Seite der Stimulation. In sechs Fällen erfolgte eine zusätzliche Aufzeichnung der zervikalen und kortikalen Reizantworten gegen eine Ohr- sowie eine extrakephale (Hand-)Referenz, wobei teilweise außer von Cz zusätzlich von Fz abgeleitet wurde. Die Bandbreite des Verstärkers betrug 10–1000 Hz bei kortikaler Ableitung und 50–1000 Hz bei spinaler Ableitung. Durchschnittlich wurden 2048 Reizantworten mittels eines 4-Kanal Averagers (Nicolet 1170) aufsummiert und mittels eines X-Y-Schreibers registriert. Die Bestimmung der Latenzen der einzelnen spinalen und kortikalen Potentiale erfolgte mittels eines Systemintegrierten Markers. Die Amplituden wurden zwischen Grundlinie und Gipfel (base-to-peak) gemessen.

Ergebnisse

Spinale Reizantworten

Die typischen spinalen und kortikalen Reizantworten nach Tibialisstimulation hinter dem Malleolus medialis sind in Abb. 1 dargestellt. Über dem Dornfortsatz L 5 zeigt sich ein Antwortpotential mit niedriger positiver Vorwelle und zwei aufeinanderfolgenden negativen Gipfeln. Der erste negative Gipfel wird nach Magladeroy et al. (1951) als *R-Antwort* („dorsal root response“), der zweite Gipfel als *A-*

Welle („anterior root response“) bezeichnet. Die in Höhe des Dornfortsatzes L 1 registrierbare, deutlich höhergespannte, triphasische Reizantwort wird als *S-Antwort* („spinal cord response“ oder nach Polarität und mittlerer Latenz als N 21 (entsprechend dem eigenen und dem von Eisen und Odusote (1980) gefundenen Mittelwert) bezeichnet. Die über dem Dornfortsatz C 2 gegen eine fronto-mediane Referenz abgeleitete zervikale Reizantwort weist im aufsteigenden Schenkel meist eine Knotung auf und kulminiert in einem steilen negativen Gipfel, der gemäß der mittleren Latenz N 30 benannt ist (Jones and Small 1978). Die kortikale Reizantwort beginnt mit einer fakultativen niedrigen negativen Auslenkung, die mit dem (volumgeleiteten) zervikalen Antwortpotential korrespondiert. 1–2 ms später folgt in einem Teil der Ableitungen eine niedrige positive Welle (P 31) und weitere 2–3 ms danach eine meist schlecht ausgeprägte negative Auslenkung (N 33). Letztere stellt häufig nur eine Einkerbung in dem steil absteigenden positiven Schenkel dar, der in P 40 gipfelt. Nackenableitungen über dem Dornfortsatz C 2 gegen eine Ohr- oder Handreferenz ergeben eine negative, in N 30 kulminierende Welle. Diese ist bezüglich Form und Latenz weitgehend identisch mit der zervikalen Reizantwort bei Wahl einer frontalen (Fz–) Referenz (Abb. 2b). Die höhere Amplitude von N 30 bei Wahl einer kephalen Referenz beruht auf dem Auftreten eines positiven far-field-Potentials gleicher Latenz (P 30) mit diffuser Ausbreitung über der Kopfhaut (s. unten).

Skalpableitungen von Cz' und Fz gegen eine Ohr- oder Handreferenz zeigen eine variable Anzahl positiver Vorwellen, deren letzte und größte weitgehend mit N 30 (bei Nackenableitung) korrespondiert und als P 30 zu bezeichnen ist. Daran anschließend findet sich eine wesentlich besser als bei frontaler Referenz ausgeprägte negative Welle (N 33), während sich P 40 und die späteren Komponenten unabhängig von dem jeweiligen Referenzort weitgehend identisch darstellen (Abb. 2a).

Normwerte

Die Normwerte der einzelnen Komponenten sind in den Tabellen 1 und 2 zusammengefaßt. Bei Ableitung über dem Dornfortsatz L 5 zeigt sich die *R-Antwort* nach einer durchschnittlichen Latenz von 18 ms, die A-Welle nach 22,5 ms. Die mittlere Seitendifferenz der Latenzen nach rechts- und linksseitiger Stimulation beträgt 0,5 bzw. 0,6 ms. Die mittlere Amplitude der R-Antwort ist mit $0,3 \mu\text{V}$ sehr niedrig; bei 14 von 39 Ableitungen war diese Komponente nicht zweifelsfrei identifizierbar.

Die *S-Antwort*, abgeleitet über dem Dornfortsatz L 1, weist eine durchschnittliche Latenz von 21,2 ms mit einer mittleren Seitendifferenz der Latenz von 0,4 ms und einer mittleren Amplitude von $0,6 \mu\text{V}$ auf. Außer bei zwei ungenügend entspannten Probanden ließ sich in allen Fällen ein gut identifizierbares triphasisches S-Potential darstellen.

Die *zervikale Reizantwort* (Ableitung über dem Dornfortsatz C 2) stellte sich in 12 von 44 Untersuchungen wegen einer schlechten Entspannung der Nackenmuskulatur nicht zweifelsfrei dar. Die durchschnittliche Latenz von N 30 beträgt 28,8 ms, die Seitendifferenz der Latenz 0,6 ms und die Amplitude $0,6 \mu\text{V}$.

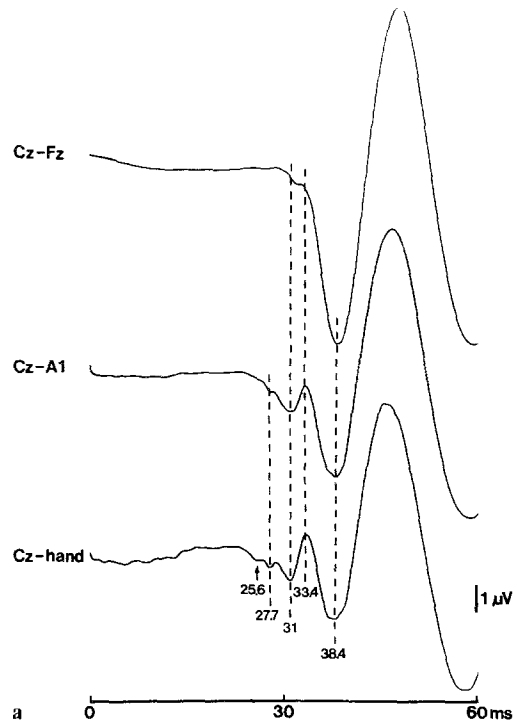
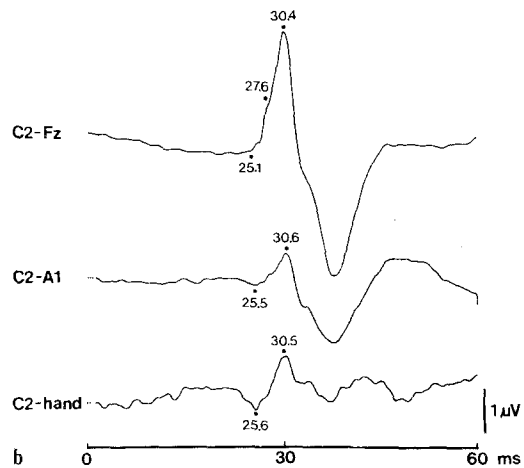


Abb. 2a, b. Zervikale und kortikale Reizantworten derselben Versuchsperson wie in Abb. 1 bei Wahl verschiedener Referenzen



Die *kortikale Reizantwort* war bei allen Probanden in guter Ausprägung sichtbar. Die mittlere Latenz von P 40 beträgt 37,9 ms, die mittlere Amplitude 1,8 µV.

Außer den absoluten Latenzen und deren Seitendifferenzen sind die *Latenzintervalle* zwischen den einzelnen Komponenten (Interpeak-Latenzen, IPL) von diagnostischer Bedeutung (Tabelle 3). Das mittlere Latenzintervall zwischen R- und S-Antwort beträgt 3,7 ms, das zwischen der S-Antwort und N 30 7,7 ms; die IPL N 30-P 40 ist durchschnittlich 8,6 ms. Wegen der Konstanz und der guten

Tabelle 1. Normwerte der Latenzen ($n=30$, Durchschnittsalter 34 Jahre, Durchschnittsgröße 168 cm)

Ab- leitung	Kompo- nenten	Mittlere Latenz \pm Standard- abweichung (ms)	Normgrenze der Latenz ($\bar{x} + 2,5$ SD) (ms)	Seitendifferenz der Latenz und Standard- abweichung (ms)	Normgrenze der Seiten- differenzen der Latenzen ($\bar{x} + 2,5$ SD) (ms)
Df L 5	R-Welle	$18,0 \pm 1,2$	21	$0,5 \pm 0,4$	1,5
	A-Welle	$22,5 \pm 1,5$	26,2	$0,6 \pm 0,4$	1,6
Df L 1	S-Welle	$21,2 \pm 1,6$	25,2	$0,4 \pm 0,3$	1,2
Df C 2	N 30	$28,8 \pm 1,9$	33,5	$0,6 \pm 0,5$	1,9
Cz'	P 40	$37,9 \pm 2,0$	42,9	$0,6 \pm 0,6$	2,1

Tabelle 2. Normwerte der Amplituden

Ab- leitung	Kompo- nenten	Amplituden \pm Standard- abweichung (μ V)	Seiten- differenzen \pm Standard- abweichung (μ V)	Normgrenzwert der Seiten- differenz ($\bar{x} + 2,5$ Standard- abweichungen) (μ V)	Streubreite der Seiten- differenz (μ V)
Df L 5	R	$0,3 \pm 0,2$	$0,14 \pm 0,15$	0,51	0,05–0,5
Df L 1	S	$0,6 \pm 0,3$	$0,15 \pm 0,14$	0,5	0 –0,45
Df C 2	N 30	$0,6 \pm 0,3$	$0,17 \pm 0,15$	0,54	0 –0,5
Cz'	P 40	$1,8 \pm 1,3$	$0,78 \pm 0,69$	2,5	0 –2,3

Tabelle 3. Latenzintervalle zwischen den lumbalen, zervikalen und kortikalen Reizantworten

Ableitung	Komponenten	Latenzintervalle \pm SD (ms)	Normgrenze der Latenzintervalle ($\bar{x} + 2,5$ SD) (ms)
Df L 5 und L 1	R bis S	$3,7 \pm 0,9$	5,9
Df L 1 und C 2	S bis N 30	$7,7 \pm 1$	10,2
Df C 2 und Cz'	N 30 bis P 40	$8,6 \pm 1,6$	12,6
Df L 1 und Cz'	S bis P 40	$16,6 \pm 1,7$	20,8

Ausprägung der Komponenten „S-Antwort“ und „P40“ ist die entsprechende Interpeak-Latenz diagnostisch besonders wichtig. Sie beträgt durchschnittlich 16,6 ms mit einer Standardabweichung von 1,7 ms.

Korreliert man die Latenz der S-Antwort mit der Körperlänge, ergibt sich eine deutliche lineare Abhängigkeit (Abb. 3). Der Korrelationskoeffizient r ist

Abb. 3. Korrelation zwischen der Latenz der S-Antwort und der Körpergröße bei 38 Normalpersonen (Punkte: männliche Probanden, offene Kreise: weibliche Probanden)

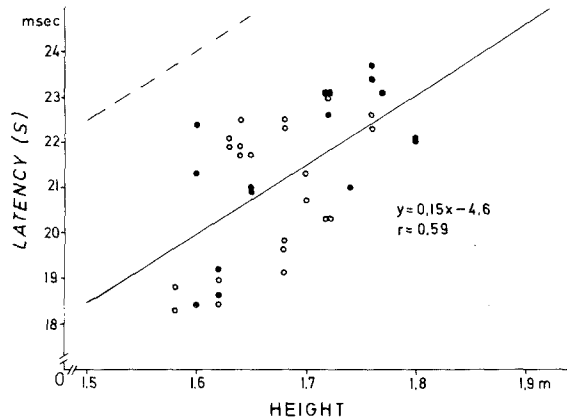


Tabelle 4. Durchschnittliche Amplitudenrelationen und untere Normgrenzwerte

Ableitung	Komponenten	Amplituden- verhältnis	Normgrenzwert der Amplituden- relation (\bar{x} -2,5 SD)	Streubreite der Amplituden- relation
Df L1 und L5	S und R	3	0,76	1,1 - 6,6
Cz und Df L1	P40 und S	4,9	0,47	0,85-27,3

mit 0,59 mit einer Wahrscheinlichkeit von $P < 0,01$ signifikant. Ebenso ist die Korrelation der Beinlänge mit der Latenz der S-Antwort mit $r = 0,32$ mit einer Wahrscheinlichkeit von $P < 0,05$ signifikant.

Eine Altersabhängigkeit der S-Antwort ergibt sich nicht ($r = 0,17$, $P > 0,05$). Auch zeigen sich keine signifikanten geschlechtsspezifischen Unterschiede, sofern die unterschiedliche mittlere Körperlänge berücksichtigt wird.

Deutlich weniger konstant als die Latenzen sind die *Amplituden* (Tabellen 2 und 4). Dabei ist die Varianz der Amplituden sowohl intra- als auch interindividuell groß. So beträgt die durchschnittliche Amplitude der kortikalen Reizantwort $1,8 \mu\text{V}$, die Standardabweichung $1,3 \mu\text{V}$, die durchschnittliche Seitendifferenz $0,8 \mu\text{V}$. Die Amplitude der S-Antwort (Dornfortsatz L1) beträgt im Mittel $0,6 \mu\text{V}$ bei einer Standardabweichung von $0,3 \mu\text{V}$ und einer Seitendifferenz von $0,15 \mu\text{V}$.

In allen Fällen war die S-Antwort (über dem Dornfortsatz L1) höher als die R-Antwort (über dem Dornfortsatz L5) mit einer durchschnittlichen Amplitudenrelation S- zu R-Antwort von 3 (Streubreite 1,1-6,6). Der Quotient der Amplitude P40 zur S-Antwort lag immer über 0,8 mit einem Mittelwert von 4,9 (Streubreite 0,85-27,3).

Die Gruppen der Amplitudenrelationen sind nach dem χ -Quadrat-Test logarithmisch normal verteilt. Als unterer Normgrenzwert der Amplitudenrelation S-Antwort/R-Antwort errechnet sich ein Wert von 0,76 ($\bar{x} - 2,5 \text{ SD}$); Werte unter

1,1 sind verdächtig (s. Streubreite der Amplitudenrelationen). Entsprechend errechnet sich ein unterer Normgrenzwert der Amplitudenrelation P40 zur S-Antwort von 0,47; verdächtig sind Werte unter 0,8.

Diskussion

Die technischen Schwierigkeiten bei der Registrierung spinaler und kortikaler Reizantworten nach Beinnervenstimulation sind größer als die nach Armnervenstimulation. Hierfür sind einerseits die niedrigeren Amplituden, andererseits die stärkeren EKG- und EMG-Artefakteinstreuungen verantwortlich. Eine entscheidende Voraussetzung für die Registrierung verwertbarer Potentiale ist die gute Entspannung der Rücken- und Nackenmuskulatur; bei schlecht entspannten Personen ist eine Prämedikation mit einem rasch- und kurzwirksamen Hypnotikum (z. B. Flunitrazepam, 1 mg oral, ca. 15 min vor der Untersuchung) anzuraten. Dies führt zu keiner Verfälschung der Ergebnisse, da sowohl die spinalen Reizantworten als auch P40 unabhängig sind von der Aufmerksamkeit und dem Wachheitsgrad des Untersuchten (Abrahamian et al. 1963; Desmedt und Robertson 1977; Desmedt et al. 1977). Zur Verminderung der EKG-Einstreuung im Bereich der lumbalen Ableite-Elektroden empfiehlt sich die Verwendung einer über dem Beckenkamm oder Bauchnabel platzierten Referenz-Elektrode (Stöhr et al. 1982) anstatt der von Jones und Small (1978) benützten frontalen (Fz—) Referenz.

Die von uns angewandte, nicht-invasive Ableitetechnik mittels subkutan platzierter Nadelelektroden hat gegenüber subarachnoidalen und epiduralen Ableitetechniken (Magladery et al. 1951; Ertekin 1973, 1976a und b; Shimohi et al. 1971, 1972; Caccia et al. 1976; Matsukadu et al. 1976) den Nachteil einer wesentlich niedrigeren Amplitude der evozierten Potentiale, was durch die Vorteile Risikofreiheit und Schmerzlosigkeit aufgewogen wird. Zudem wurde die weitgehende formale Übereinstimmung der bei Oberflächenableitung gefundenen Potentiale mit denen bei subarachnoidaler Registrierung bzw. bei Direktableitung von der Rückenmarksoberfläche sowohl tierexperimentell bei Kaninchen (Rossini et al. 1980) und Katze (Happel et al. 1975) als auch beim Menschen (Ertekin 1978) nachgewiesen.

Über den Ursprungsort der lumbalen und zervikalen Reizantworten herrscht noch keine Einigkeit. Der erste Gipfel des Antwortpotentials in Höhe des Dornfortsatzes L5 (*R-Antwort*) soll die über Cauda equina und Hinterwurzeln einlaufende Impulswelle repräsentieren (Delbeke et al. 1978; Dimitrijevic et al. 1978; Jones und Small 1978; Stöhr et al. 1982). Der zweite Gipfel (*A-Antwort*) entspricht am ehesten reflektorisch über Ia-Fasern ausgelöster deszendierender Aktivität in Alpha-Motoneuronen im Bereich von Vorderwurzeln und Cauda equina, da dessen Amplitude mit der Höhe des simultan aufgezeichneten H-Reflexes korreliert (Delbeke et al. 1978). Da eine A-Welle nicht nur bei proximaler, sondern auch bei distaler Tibialisstimulation, die normalerweise nicht zur Auslösung eines H-Reflexes in den Plantarmuskeln führt, nachzuweisen ist, kommt auch deszendierende F-Wellen-Aktivität in Betracht (Stöhr et al. 1982). Die in unserem Labor erstellten Durchschnittswerte für die Latenzen der R-Antwort ($18 \text{ ms} \pm 1,2$) und A-Antwort ($22,5 \pm 1,5$) entsprechen den Ergebnissen von Phillips und Daube

(1980) ($R = 19,4 \text{ ms} \pm 2,1$; $A = 22,2 \text{ ms} \pm 1,5$). Wegen der niedrigen Amplitude und der in manchen Fällen erheblichen Artefakteinstreuung infolge schlechter Entspannung konnte in unserem Normalkollektiv in einem Drittel keine R-Antwort identifiziert werden, was die diagnostische Verwendbarkeit des über L5 abgeleiteten Potentials einschränkt. Allerdings läßt sich die Zahl der negativen R-Antworten durch medikamentöse Sedierung und eine erhöhte Zahl von Mittelungsschritten erheblich reduzieren.

Die in Höhe des Dornfortsatzes L1 registrierbare *S-Antwort* („spinal cord potential“) wird auf postsynaptische Aktivität im Lumbalsakralmark zurückgeführt (Magladery et al. 1951; Beall et al. 1977), wobei ein gelegentlich identifizierbarer Vorgipfel vermutlich der R-Welle, d. h. aufsteigender, über die Nervenwurzeln einlaufender Aktivität entspricht (Phillips und Daube 1980). Der von uns ermittelte Durchschnittswert für die S-Antwort liegt mit 21,2 ms gering unter den Werten von Phillips und Daube (1980) mit 22,2 ms, Eisen und Odusote (1980) 21,4 ms und Jones und Small (1978) 22,6 ms. Auch liegen die in unserem Labor ermittelten Durchschnittswerte für die Amplitude der S-Antwort mit $0,6 \mu\text{V}$ deutlich niedriger als bei Phillips und Daube ($1,6 \mu\text{V}$) und Jones und Small ($1,5 \mu\text{V}$), was vermutlich mit Unterschieden in den Untersuchungskollektiven in Verbindung steht. Die Amplitude der spinalen Reizantworten ist bei Kindern und Jugendlichen größer als beim Erwachsenen (Cracco et al. 1979). Das mittlere Lebensalter des Untersuchungskollektivs lag bei uns bei 34 Jahren (16 Jahre bis 67 Jahre), bei Jones und Small bei 27 Jahren (21–36 Jahre) und bei Phillips und Daube zwischen 18 und 36 Jahren. Die S-Antwort läßt sich jedoch trotz der niedrigeren Amplitude regelmäßig registrieren und ist damit diagnostisch wichtiger als die „Cauda-Potentiale“.

Die über C2 abgeleitete *zervikale Reizantwort* (N30) geht auf einen Dipol zwischen Zervikal-Region und Kopfhaut (Jones und Small 1978) zurück und wird unter Berücksichtigung der Latenzbeziehungen am ehesten im Thalamus (Jones und Small 1978), nach eigenen Beobachtungen an Patienten mit medullären Prozessen im Nucleus gracilis generiert (Stöhr et al. 1982). Ihre mittlere Latenz liegt in unserem Kollektiv mit 28,8 ms knapp unterhalb des von Jones und Small gemessenen Wertes (30,7 ms). Durch die bereits erwähnten methodischen Schwierigkeiten bei der Ableitung von N30 wird die diagnostische Wertigkeit dieser Komponente eingeschränkt. Sofern sie allerdings identifiziert werden kann, ist sie bei der lokalisatorischen Zuordnung einer Läsion in den spinalen bzw. supraspinalen Abschnitt von großer Bedeutung.

Die bei Skalpableitungen gegen eine Ohr- und besonders gegen eine extrakranielle Referenz vor dem kortikalen Primärkomplex auftretenden positiven Vorwellen stellen *far-field-Potentiale* dar, welche die Aktivität spinaler und subkortikaler Generatoren reflektieren (Lueders et al. 1981; Vas et al. 1981; Rossini et al. 1981). Als einziges, konstant nachweisbares far-field-Potential zeigte sich in unseren Aufzeichnungen ein mit N30 (bei Nackenableitung) annähernd korrespondierendes P30. Trotz der weitgehenden Übereinstimmung dieser beiden Komponenten bezüglich der Latenz läßt sich daraus noch nicht auf einen identischen Ursprungsort schließen. So wäre es z. B. denkbar, daß N30 ein im Nucleus gracilis generiertes near-field-Potential darstellt, während P30 die im Lemniscus medialis aufsteigende Impulswelle reflektiert.

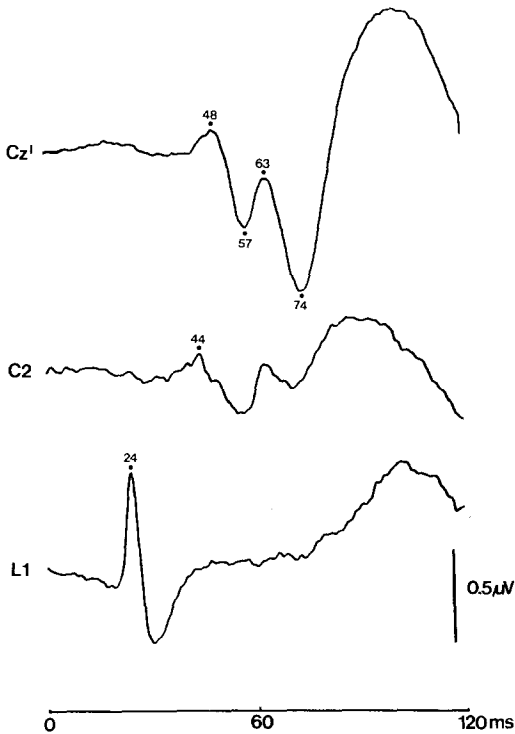


Abb. 4. 39-jähriger Patient mit sicherer Multipler Sklerose. Normale Latenz (24 ms) und Ausprägung der S-Antwort bei Ableitung oberhalb des Dornfortsatzes LWK 1. Das Latenzintervall S-Antwort/N 30 (C 2) ist mit 20 ms stark, das Intervall N 30/P 40 (Cz') mit 13 ms geringgradig verlängert, so daß eine vorwiegend im Funiculus gracilis lokalisierte Entmarkung anzunehmen ist

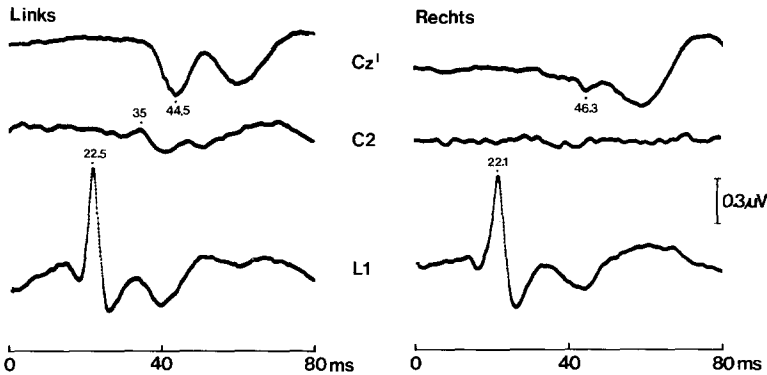


Abb. 5. Extradurale Raumforderung BWK 9-11 bei einem 20-jährigen Patienten. Die S-Antwort ist nach links- und nach rechtsseitiger distaler Tibialisstimulation regelrecht. Das Latenzintervall S-Antwort/N 30 ist nach linksseitiger Stimulation leicht verlängert, nach rechtsseitiger Stimulation wegen Ausfalls der zervikalen Reizantworten nicht bestimmbar. Der Amplitudenquotient S-Antwort/P 40 ist links grenzwertig (0,48), rechts stark pathologisch (0,17). Diese Befunde weisen auf eine rechtsbetonte partielle Leitungsunterbrechung sowie eine leichte Impulsleitungsverzögerung in den Hintersträngen hin

Abschließend soll noch auf die wichtigsten *diagnostischen Kriterien* bei Heranziehung der spinalen SEP-Komponenten nach Beinervenstimulation bei Patienten hingewiesen werden. Hinsichtlich der Lokalisation einer Läsion in einen Abschnitt des lemniskalen Systems der Somatosensorik sind weniger die absoluten Latenzen als die Latenzintervalle (Interpeaklatenzen, IPL) zwischen den einzelnen Komponenten sowie deren Seitendifferenzen von Bedeutung. Außerhalb der Norm gelegene IPL weisen auf eine Impulsverzögerung zwischen den jeweiligen Generatororten hin. So spricht die hochgradige Verlängerung der IPL S-Antwort/N 30 bei nur geringer Zunahme der IPL N 30/P 40 im Beispiel der Abb. 4 bei einem MS-Patienten für eine überwiegend im Tractus gracilis lokalisierte Entmarkung. Abbildung 5 zeigt eine leicht verlängerte, aber eindeutig pathologische IPL S-Antwort/N 30 (12,5 ms nach linksseitiger Stimulation) bei einem Patienten mit thorakaler Raumforderung.

Von geringerer Bedeutung als die Latenzwerte sind die Amplituden, da deren Variationsbreite bereits in einer Gruppe normaler Probanden groß ist. Diagnostisch verwertbar sind daher vorwiegend intraindividuelle Seitenunterschiede; so beträgt etwa die Amplitudendifferenz der S-Antwort zwischen rechts- und linksseitiger Stimulation beim Normalen durchschnittlich $0,15 \mu\text{V}$ (Standardabweichung $0,14 \mu\text{V}$), so daß eine Seitendifferenz in der Amplitude der S-Antwort von über $0,5 \mu\text{V}$ als pathologisch anzusehen ist. Außer den Seitendifferenzen sind auch die Amplitudenrelationen zwischen aufeinanderfolgenden Reizantworten von Interesse. Fällt die Amplitudenrelation S-Antwort/R-Antwort unter 0,76, kann man eine zwischen den entsprechenden Generatoren gelegene partielle Leitungsunterbrechung annehmen; dasselbe gilt, wenn die Amplitudenrelation P 40/S-Antwort unter einen Wert von 0,47 fällt. Im Beispiel der Abb. 5 von einem Patienten mit extraduraler thorakaler Raumforderung besteht nach linksseitiger Tibialisstimulation ein grenzwertiger, nach rechtsseitiger Stimulation ein hochpathologischer Amplitudenquotient S-Antwort/P 40 mit Werten von 0,48 bzw. 0,17.

Wie anhand der beiden Patientenaufzeichnungen der spinalen und kortikalen evozierten Potentiale nach Tibialisstimulation gezeigt wurde, erlauben Bestimmungen der Latenzintervalle und Amplitudenrelationen aufeinanderfolgender Reizantworten den Nachweis und die Lokalisation segmentaler Entmarkungen und partieller Leitungsunterbrechungen bei Rückenmarkserkrankungen.

Literatur

- Abrahamian HA, Allison T, Goff WR, Rosner BS (1963) Effects of thiopental on human cerebral evoked responses. *Anesthesiology* 24 : 650–657
- Beall JE, Applebaum AE, Foreman RD, Willis WD (1977) Spinal cord potentials evoked by cutaneous afferents in the monkey. *J Neurophysiol* 40 : 199–211
- Caccia MR, Ubiali E, Andreussi L (1976) Spinal evoked responses recorded from the epidural space in normal and diseased humans. *J Neurol Neurosurg Psychiatr* 39 : 962–972
- Cracco JB, Cracco RQ, Stolove R (1979) Spinal evoked potential in man: a maturational study. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 46 : 58–64

- Dawson GD (1947) Cerebral responses to electrical stimulation of peripheral nerve in man. *J Neurol Neurosurg Psychiatr* 10 : 134-140
- Delbeke J, McComas AJ, Kopec SJ (1978) Analysis of evoked lumbosacral potentials in man. *J Neurol Neurosurg Psychiatr* 41 : 293-302
- Desmedt JE, Robertson D (1977) Differential enhancement of early and late components of the cerebral somatosensory evoked potentials during force-paced cognitive tasks in man. *J Physiol* 271 : 761-782
- Desmedt JE, Robertson D, Brunko E, Debecker J (1977) Somatosensory decision tasks in man: early and late components of the cerebral potentials evoked by stimulation of different fingers in random sequences. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 43 : 404-415
- Dimitrijevic MR, Larsson LE, Lehmkuhl D, Sherwood A (1978) Evoked spinal cord and nerve root potentials in humans using a non-invasive recording technique. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 45 : 331-340
- Eisen A, Odusote K (1980) Central and peripheral conduction times in multiple sclerosis. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 48 : 253-265
- Ertekin C (1973) Human evoked electrospinogram. In: Desmedt JE (ed) *New developments in electromyography and clinical neurophysiology*. Karger, Basel, pp 344-351
- Ertekin C (1976a) Studies on the human evoked electrospinogram. II. The conduction velocity along the dorsal funiculus. *Acta Neurol Scand* 53 : 21-38
- Ertekin C (1976b) Studies on the human evoked electrospinogram. I. The origin of the segmental evoked potentials. *Acta Neurol Scand* 53 : 3-20
- Ertekin C (1978) Comparison of the human evoked electrospinogram recorded from the intrathecal, epidural and cutaneous levels. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 44 : 683-690
- Happel LT, Le Blanc HJ, Kline DG (1975) Spinal cord potentials evoked by peripheral nerve stimulation. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 38 : 349-354
- Jones SJ, Small DG (1978) Spinal and subcortical evoked potentials following stimulation of the posterior tibial nerve in man. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 44 : 299-306
- Lueders H, Andrish J, Gurel A, Weiker G, Klem G (1981) Origin of far-field subcortical potentials evoked by stimulation of the posterior tibial nerve. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 52 : 336-344
- Magladery JW, Poster WE, Park AM, Teasdale RD (1951) Electrophysiological studies of nerve and reflex activity in normal man. IV. The two neurone reflex and identification of certain action potentials from spinal roots and cord. *Bull John Hopkins Hosp* 88 : 499-519
- Matsukado Y, Yoshida M, Goya T, Shimoji K (1976) Classification of cervical spondylosis or disc protrusion by preoperative evoked spinal electrogram. *J Neurosurg* 44 : 435-441
- Phillips LH, Daube JR (1980) Lumbosacral spinal evoked potentials in humans. *Neurology* 30 : 1175-1183
- Pool JL (1945) Electrospinogram (ESG) Spinal cord action potentials recorded from a paraplegic patient. *J Neurosurg* 3 : 192-198
- Riffel B, Stöhr M, Petruch F, Ebensperger H, Schleglmann K (1982) Somatosensory evoked potentials following tibial nerve stimulation in multiple sclerosis and space-occupying spinal cord diseases. In: Courjon J, Mauguière F, Revol M (eds) *Clinical applications of evoked potentials in neurology*. (Advances in neurology, vol 32). Raven Press, New York, pp 493-500
- Rossini PM, Greco F, de Palma C, Pisano L (1980) Electrospinogram of the rabbit. Monitoring of the spinal conduction in acute cord lesions versus clinical observation. *Eur Neurol* 19 : 409-413
- Rossini PM, Cracco RQ, Cracco JB, House WJ (1981) Short latency somatosensory evoked potentials to peroneal nerve stimulation: Scalp topography and the effect of difference frequency filters. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 52 : 540-552
- Sawa H (1947) Spontaneous electrical activities obtained from human spinal cord. *Folia Psychiatr Neurol Jpn* 2 : 165-179
- Shimoji K, Higashi H, Kano T (1971) Epidural recording of spinal electrogram in man. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 30 : 236-239

- Shimoji K, Kano T, Higashi H, Morioka T, Henschel O (1972) Evoked spinal electrograms recorded from epidural space in man. *J Appl Physiol* 4 : 468-471
- Stöhr M, Dichgans J, Diener HC, Büttner UW (1982) Evozierte Potentiale. SEP - VEP - AEP. Springer, Berlin Heidelberg New York
- Vas GA, Cracco JB, Cracco RQ (1981) Scalp-recorded short latency cortical and subcortical somatosensory evoked potentials to peroneal nerve stimulation. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 52 : 1-8

Eingegangen am 19. März 1982