

Vergleichende Untersuchung somatosensibler spinaler und kortikaler Evoked Potentials bei Kindern*

Manfred Sauer und Eduard Schenck

Kinderklinik (Prof. Dr. W. Künzer) und Psychiatrische und Nervenklinik (Prof. Dr. R. Degkwitz)
der Universität Freiburg i. Br., Bundesrepublik Deutschland

Comparative Investigation of Somatosensory Spinal and Cortical Evoked Potentials in Children

Summary. Somatosensory spinal (spinEP) and primary cortical evoked responses (ssEP) to median and tibial nerve stimulation (at forefinger, wrist, and ankle respectively) were investigated by means of summation techniques in 23 normal children aged 6 to 14 years. Amplitude recovery functions of cervical spinEP were tested by paired stimuli and short tetanic stimulation at the wrist: spinEP amplitudes were unchanged for stimulus intervals down to 5 ms. The amplitudes of the cervical spinEP after strong stimuli to the finger were only a quarter as great as those obtained by stimulation of the wrist at motor threshold strength. In one patient with the Brown-Séquard syndrome cervical spinEP were absent for stimuli on the side of position sense impairment, but were unaffected for stimuli on the side of dissociated sensory loss. The normal latencies of spinEP (to the onset of the negative potential) and ssEP (to first negative peak) are presented as functions of body height. The difference between these two latencies yielded a central latency from the lower cervical spinal cord of about 9—10 ms. The spinal afferent conduction velocity, calculated from the difference between the lumbar and cervical latencies after tibial nerve stimulation at the ankle, was found to be 74 m/s.

Key words: Somatosensory evoked responses – Spinal and cortical responses – Median nerve – Tibial nerve – Single and double stimuli – Latencies and body height – Children.

Zusammenfassung. Bei 23 gesunden Kindern zwischen 6 und 14 Jahren wurden die somatosensiblen spinalen (spinEP) und die primären kortikalen Reizantworten (ssEP) auf elektrische Reizung des N. medianus am Hand-

* Mit Unterstützung durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft über Sonderforschungsbereich Hirnforschung und Sinnesphysiologie (SFB 70)

Sonderdruckanforderungen an: Dr. Manfred Sauer, Universitätskinderklinik, Mathildenstraße 1, D-7800 Freiburg, Bundesrepublik Deutschland

gelenk, des N. tibialis am Fußgelenk, sowie der sensiblen Nerven am Zeigefinger mit Hilfe der Summierungsmethode untersucht. Im Doppelreizversuch und bei tetanischen Reizen am Handgelenk waren die Amplituden der spinEP bis herab zu Reizabständen von 5 ms unverändert. Nach starkem Fingerreiz waren die Amplituden der zervikalen spinEP höchstens nur ein Viertel derjenigen nach Handgelenkreiz im Bereich der motorischen Schwelle. Bei einem Patienten mit Brown-Séquard-Syndrom fehlten die zervikalen spinEP bei Reizen auf der Seite der Tiefensensibilitätsstörung, während sie nach Reizen auf der Seite der dissoziierten Empfindungsstörung normal waren. Die Korrelation der normalen Latenzzeiten der spinEP (zum Beginn des negativen Potentials) und der ssEP (zum ersten negativen Gipfel) mit der Körpergröße wurde in Form von Regressionsgeraden dargestellt. Aus der Differenz dieser beiden Latenzzeiten ergibt sich eine zentrale Latenzzeit ab unterem Halsmark von 9–10 ms. Aus der Differenz der lumbalen und cervicalen Latenzzeiten wurde die afferente Leitungsgeschwindigkeit im Rückenmark nach N. tibialis-Reizung am Fußgelenk von im Mittel 74 m/s errechnet.

Schlüsselwörter: Somatosensible Evoked Potentials – Spinale und kortikale Ableitung – N. medianus – N. tibialis – Einzel- und Doppelreize – Normale Latenzzeiten und Körpergröße – Kinder.

Einleitung

Die klinische Sensibilitätsprüfung ist vor allem im Kindesalter eine mit vielen Unsicherheiten behaftete Methode. Die elektroneurographische Untersuchung sensibler Nervenaktionspotentiale auf elektrische Reize, und die damit mögliche Messung der sensiblen Nervenleitungsgeschwindigkeit erfaßt nur die distalen Abschnitte peripherer Nerven. Mit Hilfe somatosensibler Evoked Potentials (ssEP) ist eine erweiterte Exploration afferenter Impulsleitung möglich geworden. Seit Dawson 1947 erstmals ssEP von der Kopfhaut beim Menschen ableitete, hat man versucht, damit die proximalen Abschnitte peripherer Nerven, sowie zentrale afferente Strukturen zu explorieren (Giblin, 1964; Halliday, 1967; Namerow, 1968; Tsumoto et al., 1973; Desmedt u. Noël, 1975, und viele andere). Das ssEP ist jedoch ein komplexes Phänomen. In seine Latenzzeit gehen die Leitungsgeschwindigkeiten der Hinterstränge, des Lemniscus medialis und der thalamokortikalen Fasern mit ein, sowie die Übertragungszeiten an mindestens zwei Synapsen.

1963 haben Liberson und Kim erstmals evozierte Potentiale über der Wirbelsäule mit Hautableitung registriert. In den letzten Jahren sind diese von Cracco (1973), Matthews et al. (1974), Koivikko (1971, 1975), Mortillaro u. Emser (1974) näher untersucht worden. Ein solches Potential würde die Möglichkeiten zur Testung der afferenten Erregungsleitung bedeutend erweitern.

Die Interpretation des Phänomens ist jedoch umstritten. Außerdem fehlen Normalwerte der Latenzzeiten für die klinische Anwendung. In der vorliegenden Arbeit werden daher *neue experimentelle Ergebnisse* zur Deutung der spinalen Evoked Potentials (spinEP) und *Normalwerte der Latenzzeiten von ssEP und*

spinEP in Abhängigkeit von der Körpergröße mitgeteilt. Wir untersuchten dabei erstmals die *spinEP* nach Reizung des *N. tibialis* am Fußgelenk. Eine vorläufige Mitteilung ist auf dem 8. Donau-Symposium für Neurologische Wissenschaften in Wien, Oktober 1975, erfolgt.

Methoden

Versuchspersonen. 23 gesunde Kinder (8 Jungen, 15 Mädchen) zwischen 6 und 14 Jahren (vier Kinder unter neun Jahre), sowie eine Patientin (12 Jahre) mit Brown-Séquard-Syndrom. Untersuchung von ca. zwei Stunden Dauer in entspannter Rückenlage.

Elektrische Reizung des *N. medianus* am Handgelenk (22 Nerven, 20 Vp), der *Nn. digitales* am Zeigefinger (6 Nerven, 6 Vp) und des *N. tibialis* am Fußgelenk (8 Nerven, 7 Vp) mit Rechteckimpulsen von 0,2 ms Dauer. Reizung bipolar mit Hautelektroden (7 mm Durchmesser, am Finger Ringelektroden) in 2–3 cm Abstand, Kathode proximal. Reizstärke am Handgelenk im Bereich der motorischen Schwelle, am Zeigefinger knapp unter der Schmerzschwelle. Die Reizung am Fußgelenk führte zu einer schwachen bis mäßiggradigen Plantarflexionszuckung der Zehen. 200–800 Reize pro Registrierung. Am Handgelenk wurden auch Doppelreize (4 Nerven, 4 Vp) und kurze tetanische Reizserien (2 Nerven, 2 Vp) verwendet.

Ableitung mit Hautelektroden 1. der Nervenaktionspotentiale (NAP) von den entsprechenden Nerven am Handgelenk, in der Ellenbeuge und in der Kniekehle, bipolar, Elektrodenabstand 3–4 cm; 2. der spinalen Evoked Potentials (*spinEP*) von der Haut über der Wirbelsäule in der Mittellinie, a) zwischen den Brustwirbeldornfortsätzen 10/11 oder 9/10, bipolar, Elektrodenabstand etwa 5 cm; b) zwischen den Halswirbeldornfortsätzen 5/6 oder 4/5, meistens unipolar gegen das zum Reiz gleichseitige Ohr läppchen, selten bipolar; 3. der kontralateralen, primären, kortikalen Evoked Potentials (*ssEP*) am Kopf, a) von einem Punkt 6 cm lateral der Sagittallinie, der auf der kürzesten Strecke zwischen einem Punkt 1 cm hinter der Mitte zwischen Nasion und Inion und dem Tragus liegt („Handfeld“), b) von einem Punkt 1–2 cm lateral der Sagittallinie („Fußfeld“), jeweils bipolar gegen eine 4–5 cm weiter frontal gelegene Elektrode.

Registrierung der EP nach Verstärkung, Digitalisierung und Summierung (CAT 400 C), zwei- oder vierkanlig, durch photographische Aufzeichnung. Ein Teil der Ableitungen wurde zuerst auf Magnetbandspeicher (Bell u. Howell VR 3200) registriert. Analysenzeit gewöhnlich 62,5 ms, seltener 31,25 oder 125 ms, pro 100 oder 200 Adressen. Bandbreite 4–1000 Hz für die *spinEP*; 0,6–1000 Hz für die *ssEP*. Negativität über der aktiven Elektrode ergibt Ausschlag nach oben. Bei einem Teil der Doppelreizversuche wurde anschließend die gleiche Anzahl von EP nach Einzelreiz elektronisch subtrahiert.

Auswertung. Bei jeder Ableitung wurden jeweils mehrere Registrierungen zeichnerisch übereinander kopiert, um reproduzierbare Phänomene sicher zu erfassen. Diese Methode war für die Ziele dieser Arbeit besser als die Summierung bei höheren Reizzahlen. Gemessen wurden die Amplituden der EP von Spitze zu Spitze sowie folgende Latenzzeiten:

1. Bei den NAP die Latenzzeit des ersten positiven Gipfels.
2. Bei den *spinEP* die Latenzzeit des Beginns der großen negativen Welle.
3. Bei den *ssEP* die Latenzzeit des ersten negativen Gipfels (Welle 1 nach Broughton, 1969 und Namerow, 1968, N 1 nach Desmedt), oder, wenn dieser fehlte (was bei den *ssEP* vom Fußgelenk vorkommt), die Latenzzeit des Beginns der ersten positiven Welle (Welle 2 nach Broughton und Namerow). Außerdem wurde die Körpergröße gemessen, sowie, zur späteren Berechnung der verschiedenen Nervenleitungsgeschwindigkeiten, die Abstände zwischen den Kathoden der Reizorte und den aktiven Elektroden der Ableitungsorte, am Bein im Stehen, für die Experimente mit Handreiz bei auf 45 Grad abduzierten Armen.

Ergebnisse

1. Form und Amplitude der spinalen Evoked Potentials (spinEP)

Abbildung 1 zeigt einen Überblick über die Phänomene bei elektrischer Reizung des N. medianus am Handgelenk und des N. tibialis am Fußgelenk. Zervikal oder lumbal erhält man ein triphasisches Potential mit kleiner, positiver Welle, einem negativen Potential von 1—3,5 μV und einer positiven, länger hingezogenen Nachschwankung. Die Anstiegsdauer des negativen Potentials beträgt 2,5—3,5 ms. Das Phänomen ist also deutlich länger als ein sensibles Nervenaktionspotential (NAP). Die spinEP entsprechen denjenigen, die Cracco (1973) und Mortillaro u. Emser (1974) unter ähnlichen Versuchsbedingungen wie wir gefunden haben. Sie ähneln in vieler Hinsicht auch den Reizantworten, die Magladery et al. (1951) und Ertekin (1973) bei intrathekalen Ableitung, Shimoji et al. (1971, 1972) bei epiduraler Ableitung an der Dorsalseite des Rückenmarks beim Menschen nachgewiesen haben.

Das spinEP über der unteren HWS nach Fußgelenkreizung ist selten über 1 μV und manchmal unregelmäßig mehrgipflig geformt. Dieses Potential konnte nicht in allen Fällen mit voller Sicherheit erhalten werden.

Das zervikale Potential nach Reiz am Handgelenk wird über der mittleren und oberen HWS mit einer ähnlich großen Amplitude abgegriffen, wie knapp oberhalb des sechsten Halswirbeldornfortsatzes. Die zervikale Antwort wurde meistens unipolar abgeleitet, weil sie dann wesentlich größer ist. Grundsätzlich kann dasselbe Potential aber auch bipolar abgegriffen werden. Seine Amplitude bleibt dann meistens unter 1 μV , ihm fehlt die lange positive Nachschwankung, es hat aber die gleiche Latenzzeit.

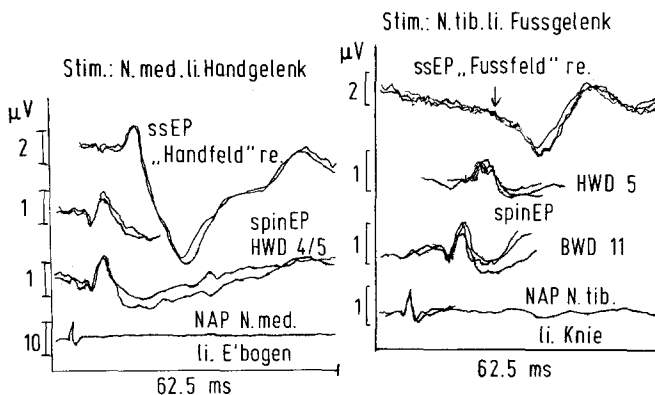


Abb. 1. 13-jähriger Junge. Von oben nach unten sind dargestellt die Summationskurven ($N = 400$) der gleichzeitig abgeleiteten kontralateralen somatosensiblen kortikalen Evoked Potentials vom Schädel (ssEP), zwei spinale Evoked Potentials (spinEP) und die Nervenaktionspotentiale (NAP), alle abgeleitet mit Hautelektroden an den angegebenen Stellen. *Links* nach Reizung des N. med. am Handgelenk im Bereich der motorischen Schwelle, *rechts* nach Reizung des N. tib. am Fußgelenk mit mäßiggradiger Zehensenkerczuckung. Reizmoment: Vertikale Linie links. Jeweils mehrere Summenkurven übereinandergezeichnet. Beginn des ssEP vom Fuß durch Pfeil markiert

In einer neuen Arbeit haben Cracco u. Cracco (1976b) gezeigt, daß den zervikalen Potentialen nach Handgelenkreiz kleine Schwankungen kürzerer Latenzzeit vorausgehen können, wenn, wie in unserer Untersuchung, unipolar gegen ein Ohr abgeleitet wird. Sie sind aber wesentlich kleiner als das negative Hauptpotential und traten in unseren Versuchen kaum störend in Erscheinung. Zur Latenzzeitmessung benutzten wir immer den Beginn des großen negativen Ausschlags.

2. Spinale und kortikale Evoked Potentials (ssEP) nach Doppelreizen und tetanischen Reizen

Abbildung 2 zeigt zervikale Antworten von der Hand im Doppelreizversuch. Bis herab zu Reizabständen von 5 ms wird auch vom zweiten Reiz ein spinEP ausgelöst, das dem vorausgehenden gleicht und annähernd dieselbe Amplitude und Latenzzeit aufweist. Auch bei tetanischer Kurzreizung mit Frequenzen bis 150/s wurde jeder der fünf Reize von einem ähnlichen spinEP beantwortet. In Abbildung 2 sieht man auch den Unterschied zum kontralateralen ssEP, das schon bei Doppelreizen im Abstand von 20 ms in Form und Amplitude verändert ist. Dies kommt mit der Subtraktionsmethode noch deutlicher heraus (Abb. 3).

3. Vergleich der spinEP und der ssEP bei Reizen am Finger und am Handgelenk

Bei Reizung der Nn. digitales am Zeigefinger sind die spinEP wesentlich kleiner als bei einer motorisch knapp unterschwelligen Reizung am Handgelenk (Abb. 4). Ihre Amplitude beträgt dann nur noch ein Viertel derjenigen, die man beim gleichen Patienten nach Handgelenkreizen findet.

Die kontralateralen ssEP andererseits zeigen bei Fingerreizen oft eine andere Form als nach Reizung am Handgelenk. Vor allem ist die erste negative Spitze kleiner oder fehlt, und die erste positive Welle entwickelt sich langsamer, wie Abbildung 4 zeigt.

Zur Prüfung der Frage, ob der Handgelenkreiz und der Fingerreiz gleiche oder verschiedene Faserpopulationen erfaßt, untersuchten wir die Nervenaktions-

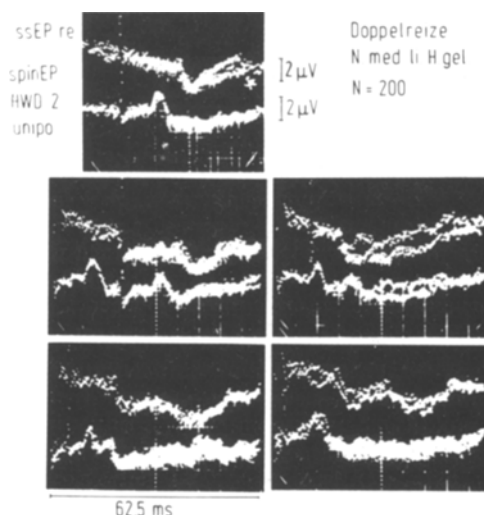


Abb. 2. 12jähriges Mädchen. Kontralaterale ssEP (oben) und zervikale spinEP (unten) nach Doppelreizen des N. med. am Handgelenk. Reiz I am Beginn der Kurve, Reiz II durch Artefakt markiert. *Oberste Reihe:* Reiz II allein. *Mittlere Reihe:* Links Reizabstand 20 ms, rechts 10 ms. *Untere Reihe:* Links Reizabstand 5 ms, rechts 3 ms. Jeweils zwei Serien photographisch übereinanderkopiert. — Zweites spinEP bis herab zu Reizintervall von 5 ms gut erhalten. Zweites ssEP nur bei Intervall von 20 ms klar erkennbar

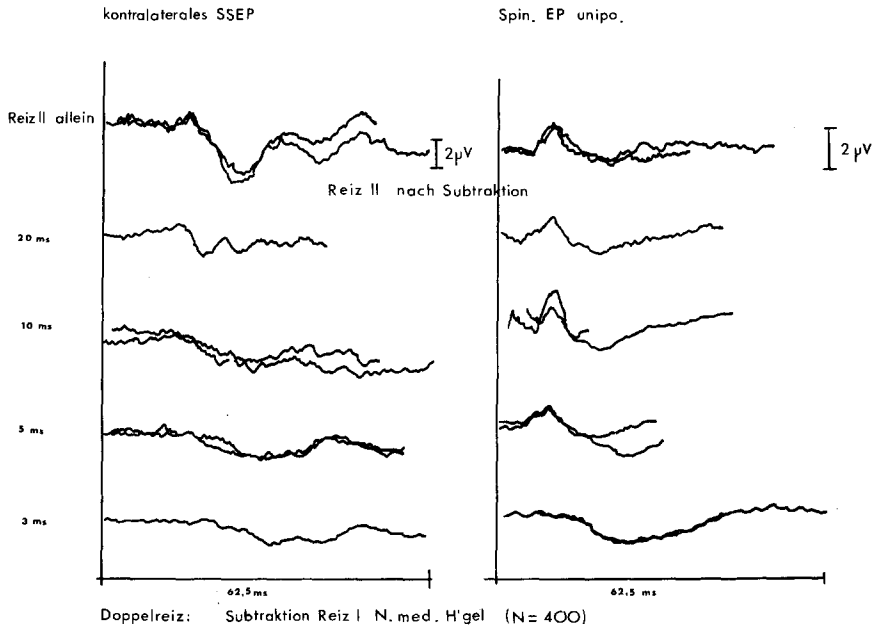


Abb. 3. 11-jähriges Mädchen. Kontralaterale ssEP (linke Spalte) und spinEP (rechte Spalte) nach Doppelreizen des N. med. am Handgelenk. Reizbeginn vertikale Linie links. Reizintervalle sind angeschrieben. Zweite bis fünfte Reihe von oben: Summationskurven der EP auf den zweiten Reiz nach elektronischer Subtraktion der EP auf den ersten Reiz. Zweites spinEP bis Reizintervall 5 ms sicher vorhanden. Zweites ssEP nur bei Reizintervall von 20 ms deutlich zu sehen, aber kleiner und formverändert

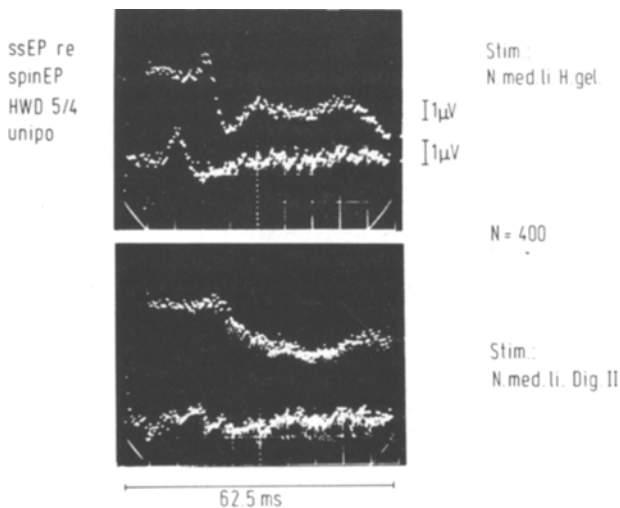


Abb. 4. 11-jähriger Junge. Kontralaterale ssEP (oben) und zervikale spinEP (unten). *Obere Gruppe:* Reiz N. med. Handgelenk, motorisch etwas unerschwellig. *Untere Gruppe:* Starker, nicht schmerzhafter Reiz am Zeigefinger. Reizmoment am Kurvenbeginn. Nach Fingerreiz sind die spinEP wesentlich kleiner. Bei den ssEP ist die erste negative Welle kleiner, die erste positive Welle entwickelt sich weniger steil. Die Latenzzeit vom Finger ist für beide EP erwartungsgemäß länger

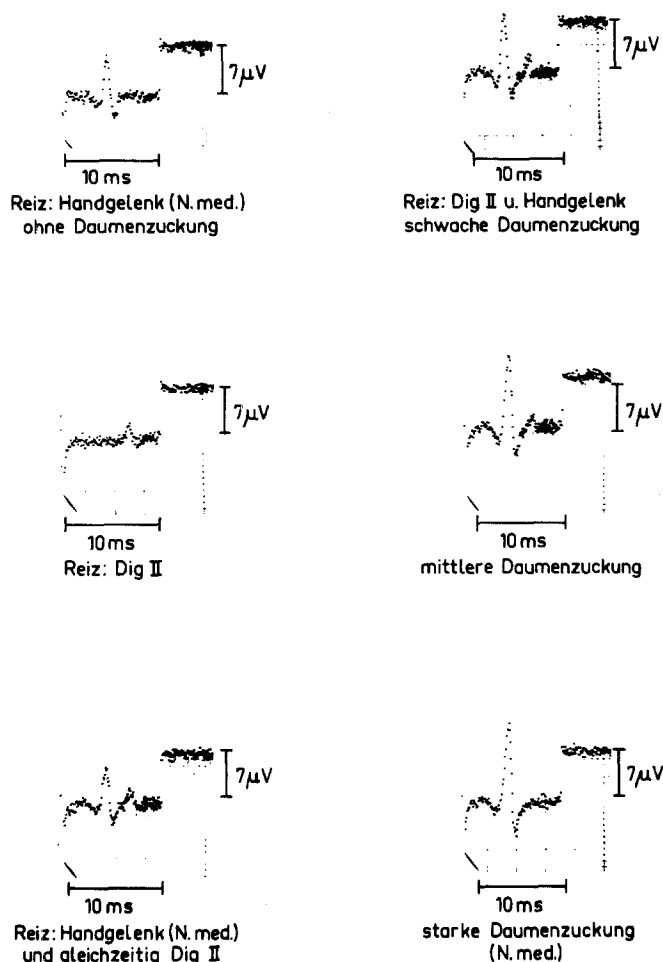


Abb. 5. Summationskurven ($N = 200$) der Nervenaktionspotentiale (NAP) des N.med. am Ellenbogen nach gleichzeitiger Reizung des Nervenstammes am Handgelenk und des Zeigefingers. *Linke Spalte:* Oben: Handgelenkreiz allein, motorisch unerschwellig. Mitte: Starker, nicht schmerzhafter Fingerreiz allein. Unten: Handgelenkreiz und Fingerreiz gleichzeitig, Handgelenkreiz motorisch unerschwellig. *Rechte Spalte:* Oben: Handgelenkreiz und Fingerreiz gleichzeitig, Handgelenkreiz motorisch leicht überschwellig. Mitte: Dasselbe, Handgelenkreiz noch stärker. Unten: Dasselbe, Handgelenkreiz motorisch maximal. Die sensiblen NAP vom Zeigefinger werden erst nach motorisch weit überschwelligen Handgelenkreizen kleiner

potentiale (NAP) des N. medianus am Ellenbogen während gleichzeitiger Reizung an Handgelenk und Finger. Der Handgelenkreiz wurde in der Stärke systematisch variiert. Das Ergebnis zeigt Abbildung 5. Ist der Handgelenkreiz so schwach, daß er nicht zu einer Thenarzuckung führt, läßt er das NAP nach dem gleichzeitig ausgelösten Fingerreiz unbeeinflusst. Auch wenn der Reiz eine schwache Thenarzuckung induziert, ist noch keine Wirkung auf das NAP nach Fingerreiz festzustellen. Die in unseren Versuchen verwendete motorisch knapp über- oder unerschwellige Reizstärke am Handgelenk beeinflußt also das NAP

auf einen gleichzeitigen Fingerreiz nicht. Erst stärkere Reize am Handgelenk sind in der Lage, Erregungen in Fasern aus den Nn. digitales abzufangen, so daß diese am Ellenbogen nicht mehr auftreten.

4. Latenzzeiten der spinEP und ssEP in Abhängigkeit von der Körpergröße. Bestimmung der zentralen Latenzzeit

Tabelle 1 zeigt die von uns bei den Kindern gemessenen Latenzzeiten der ssEP und der spinEP von Finger, Handgelenk und Fußgelenk. Sie sind von der Länge der durchlaufenen Nerven und Bahnen und damit von der Körpergröße abhängig. Abbildung 6 zeigt die Regressionsgeraden der Latenzzeiten der ssEP für die Reizung am Handgelenk und am Fußgelenk mit den entsprechenden Formeln. Für die Berechnung der Regression bei Fußgelenkreiz sind die Werte von 31 Erwachsenen aus einer früheren Untersuchung (Richter, 1971) hinzugenommen worden. Die beiden Punktescharen ergänzen sich gut. Danach ist die Latenzzeit der ssEP vom Fuß in Millisekunden etwa ein Fünftel der Körpergröße in Zentimetern. Die Regressionsgeraden gelten selbstverständlich nur für den angegebenen Bereich der Körpergröße und des Lebensalters und können keinesfalls beliebig extrapoliert werden, wie aus Untersuchungen bei Säuglingen und Kleinkindern hervorgeht (Latenzzeiten der ssEP vom Finger: Desmedt et al., 1973, 1976; afferente Leitungsgeschwindigkeit im Rückenmark nach Peroneusreiz: Cracco u. Cracco, 1976a).

Die Differenz zwischen den Latenzzeiten der spinEP und der ssEP ist die Laufzeit der Erregungen innerhalb des zentralen Nervensystems zwischen unterem Halsmark oder oberem Lendenmark und dem Cortex, von uns als *zentrale Latenzzeit* bezeichnet. Sie ist in Tabelle 1 angegeben. Bei den zentralen Latenzzeiten ab Halsmark ist eine Abhängigkeit von der Körpergröße mit unseren Methoden nicht mehr nachweisbar. Die Regressionsgeraden der Latenzzeiten der ssEP und

Tabelle 1. Latenzzeiten (LZ) der kontralateralen somatosensiblen Evoked Potentials (ssEP) und der spinalen Evoked Potentials (spinEP) nach elektrischer Reizung der angegebenen Nerven. N = Anzahl Nerven. M = Mittelwert

	N	Alter	Körpergröße (cm)	LZ ssEP (ms)	LZ spinEP thoracal (ms)	LZ spinEP cervical (ms)	zentrale LZ thoracal (ms)	zentrale LZ cervical (ms)
N. medianus Dig. II	6	10—14	132—162	19,2—23,0		10,0—13,5		8,5—10,7 (M: 9,60)
N. medianus Handgelenk	22	6—14	122,5—166,5	14,8—19,3		6,0—10,5		7,3—10,9 (M: 9,42)
N. tibialis Fußgelenk	8	9—14	132—166,5	25,1—30,7	11,9—18,3	15,3—20,5	9,9—13,7 (M: 13,27)	7,3—10,9 (M: 9,50)
Leitungsgeschwindigkeit thoracal-cervical							60—94 m/s (M: 74 m/s)	

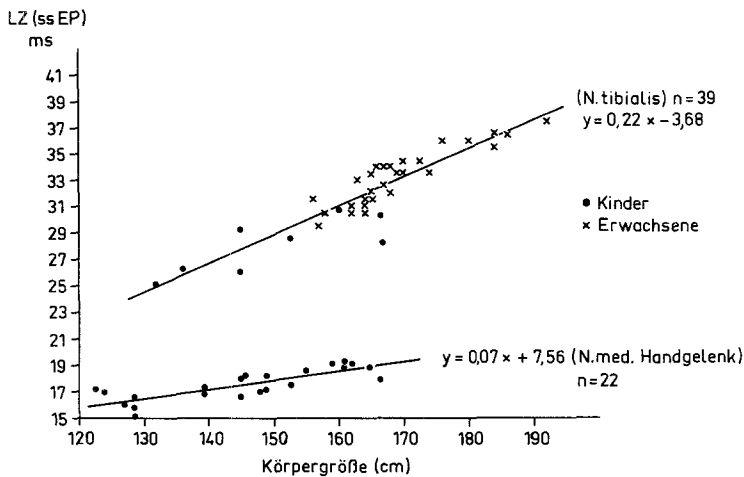


Abb. 6. Beziehung zwischen Körpergröße und Latenzzeiten (LZ) der kontralateralen ssEP (erster negativer Gipfel oder Beginn der ersten positiven Welle) nach Reizung des N. med. am Handgelenk und des N. tib. am Fußgelenk. n = Anzahl Nerven. Regressionsgeraden sind aus den eingezeichneten Meßpunkten berechnet, Funktionen sind angeschrieben. — Für den N. tib. wurden 31 Werte von Erwachsenen aus einer früheren Arbeit (Richter, 1971) hinzugenommen. Korrelationskoeffizienten: Für N. med. $r = 0,79$. Für N. tib. $r = 0,92$

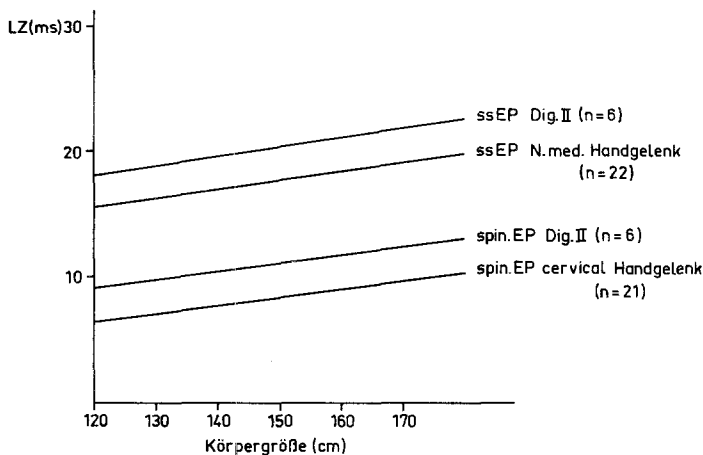


Abb. 7. Korrelation zwischen Körpergröße und Latenzzeiten (LZ) der kontralateralen ssEP (die oberen beiden Regressionsgeraden) und der zervikalen spinEP (die zwei unteren Regressionsgeraden) nach Reizung des N. med. am Handgelenk (jeweils untere Gerade) und des Zeigefingers (jeweils obere Gerade). Die Regressionsgeraden sind weitgehend parallel. Die Differenz zwischen den entsprechenden Geraden ist die zentrale Latenzzeit

der spinEP verlaufen weitgehend parallel, wie Abbildung 7 zeigt. Grenzwerte und Mittelwerte der zentralen Latenzzeit ab Halsmark bei Reizen am Finger, Handgelenk und Fußgelenk sind praktisch identisch (siehe Tab. 1).

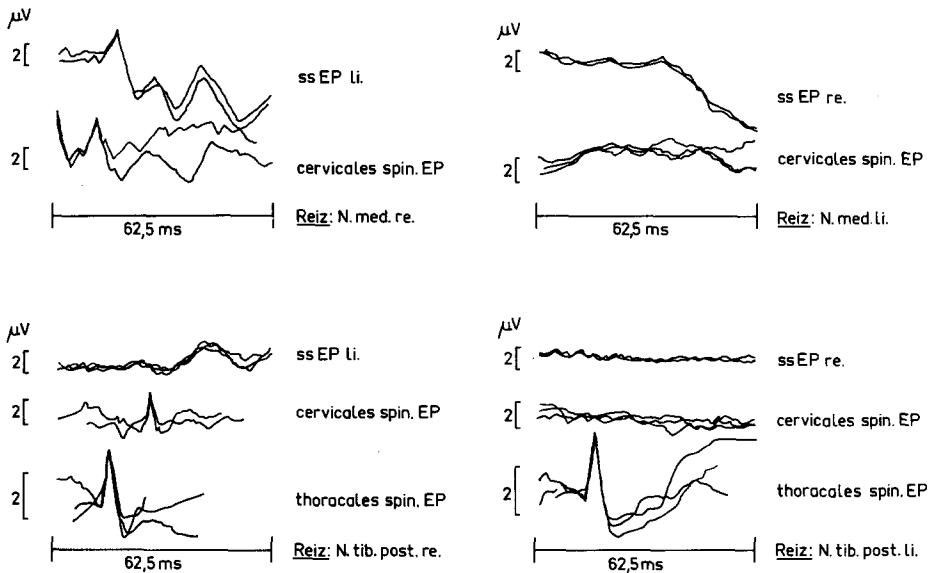


Abb. 8. 12jährige Patientin mit Brown-Séquard-Syndrom bei Myelitis mit Herd im linken unteren Halsmark. Kontralaterale ssEP und zervikale und thorakale spinEP nach N. med.-Reiz am Handgelenk (obere Reihe) und N. tib.-Reiz am Fußgelenk (untere Reihe) auf beiden Seiten. Reiz mit Kurvenanfang. Bei *Reiz links* (Seite der Tiefensensibilitätsstörung) sind alle Phänomene oberhalb des Rückenmarksherdes stark verändert (kontralaterales ssEP von der Hand) oder aufgehoben (kontralaterales ssEP vom Fuß, zervikale spinEP von Hand und Fuß), unterhalb des Herdes normal (thorakales spinEP vom Fuß). Bei *Reiz rechts* (Seite der dissoziierten Empfindungsstörung) sind sämtliche Phänomene normal

Aus den Latenzzeiten der spinEP nach Fußreiz lumbal und zervikal läßt sich die zugehörige maximale afferente Leitungsgeschwindigkeit im Rückenmark zwischen oberem Lendenmark und unterem Halsmark errechnen. Sie lag bei unseren Versuchen zwischen 60 und 94 m/s (M: 74 m/s), was gut mit den Ergebnissen von Cracco u. Cracco (1973 u. 1976a) übereinstimmt, die mit Reizung des N. peroneus am Knie erzielt wurden.

5. SpinEP beim Brown-Séquard-Syndrom

Bei einem zwölfjährigen Mädchen mit Brown-Séquard-Syndrom bei Myelitis mit Herd im linken unteren Halsmark waren von der Seite der Tiefensensibilitätsstörung her die zervikalen spinEP von Hand und Fuß aus nicht nachweisbar, die lumbalen spinEP dagegen von beiden Füßen her normal ausgeprägt. Die kontralateralen ssEP von Hand und Fuß waren von der Seite der Tiefensensibilitätsstörung her aufgehoben bzw. hochgradig formverändert. Von der Seite der dissoziierten Empfindungsstörung her waren die spinEP in beiden Etagen und die kontralateralen ssEP nach Hand- und Fußreiz normal. Abbildung 8 zeigt die entsprechenden Kurven. Die sensiblen NAP am Ellenbogen und in der Kniekehle waren auf beiden Seiten normal.

Besprechung der Ergebnisse

Bei der Deutung der Evoked Potentials über der Wirbelsäule (spinEP) ist die erste Frage die nach den *Strukturen*, an denen sie entstehen. In Frage kommen Muskeln, motorische oder sensible Wurzeln, oder das Rückenmark selbst. Dieser Frage sind Cracco (1973), Matthews et al. (1974), Koivikko (1971, 1975), Mortillaro u. Emser (1974) schon nachgegangen. Bis jetzt besteht Einigkeit darüber, daß es sich nicht um eine Muskelantwort handelt, vorausgesetzt, daß die Ableitungen in bequemer Rückenlage erfolgen.

Zumindest die zervikalen spinEP bei Fußreiz können auch nicht aus den Nervenwurzeln stammen. Bei Handreiz zeigt das zervikale Potential über der mittleren und oberen HWS die gleiche Form und eine nur wenig kleinere Amplitude wie an der Eintrittsstelle der Erregungswelle ins Rückenmark am oder knapp oberhalb des sechsten Halswirbels. Auch die spinEP nach Fußgelenkreiz wurden über dem oberen Lumbalmark und nicht im Bereich der Sakralwurzeln abgegriffen.

Die zervikale Antwort wurde von den oben genannten Autoren wie auch von uns meistens unipolar gegen das zum Reiz gleichseitige Ohr abgeleitet, weil sie dann wesentlich größer ist als bei unipolarer Ableitung am Nacken. Trotzdem läßt sich ausschließen, daß es sich dabei nur um von der Ohrelektrode eingestreute Potentiale aus Hirnstamm oder Hemisphäre handelt. Dafür sind die gemessenen Latenzzeiten des zervikalen Potentials zu kurz. Wir denken daher mit Cracco (1973) und Koivikko (1975), daß die Potentiale am Rückenmark entstehen.

Welche Teile des Rückenmarks kommen dafür in Betracht? Unserer Meinung nach sind es die Hinterstränge. Dafür sprechen einmal die Versuche mit Doppelreizen und mit tetanischer Reizung. Selbst bei Reizabständen bis herab zu 5 msec wird der zweite Reiz von einem gleich großen Potential beantwortet wie der erste (im Gegensatz zu den kontralateralen ssEP, siehe Allison, 1962; Shagass u. Schwartz, 1964; Gartside et al., 1966; Namerow, 1970). Dies spricht für eine mono-neuronale Leitung zwischen Reiz- und Ableitungspunkt, was nur für Hinterstrangneurone zutreffen kann.

Der gleiche Befund macht auch die Hypothese einer Muskelantwort weiter unwahrscheinlich. In diesem Fall müßten die spinEP das Ergebnis von Mikroreflexen (somatomotorische Antwort nach Cracco u. Bickford, 1968) sein. Selbst wenn man annähme, daß in den gemessenen Latenzzeiten noch genügend „Luft“ für eine zentrale Reflexzeit wäre, widerspricht es aller neurophysiologischen Erfahrung, daß im Doppelreizversuch ein zweiter Reflex zwischen 5 und 20 ms Reizabstand völlig unbeeinflußt bliebe.

Für die Hinterstränge als Ort der Entstehung der spinEP spricht ferner der Befund bei einer Patientin mit einem Brown-Séquard-Syndrom. Es ist das gleiche Argument, das Halliday u. Wakefield (1963) bei der Deutung der kontralateralen ssEP beigebracht haben. Seit dieser Untersuchung hat sich immer (auch in den eigenen Erfahrungen) bestätigt, daß die ssEP, wie vielleicht auch die spinEP, ausschließlich oder überwiegend gegen Hinterstrangs- und Lemniscus medialis-Läsionen empfindlich sind.

In *welchen Nervenfasern* laufen die Erregungen, die als spinEP abgegriffen werden? Die Frage ist wichtig, da es gemischte Nerven sind, die an Hand- und

Fußgelenk gereizt wurden. Deshalb untersuchten wir die spinEP und die ssEP auch nach Fingerreizen. In den Nn. digitales ist mit Fasern aus Haut- und Gelenkrezeptoren zu rechnen, während motorische Fasern und propriozeptive Fasern aus Muskelspindeln hier nicht vorkommen. Aus den oben geschilderten Befunden schließen wir, daß es vorwiegend dicke afferente Fasern sind, die von den motorisch schwellennahen Reizen am Handgelenk erfaßt werden, und die ein großes spinEP und ein ssEP mit einer großen negativen Initialspitze und einer steilen ersten positiven Welle hervorrufen. Demgegenüber wird am Finger eine andere Faserpopulation gereizt, deren Potentiale spinal schlechter abgegriffen werden und deren Erregungen am Cortex mit größerer zeitlicher Dispersion eintreffen. Die Leitungsgeschwindigkeit der beiden Fasergruppen im peripheren Nerven ist trotzdem nicht sehr verschieden; der Unterschied beträgt nach unserer Schätzung nur 10–15 m/s.

Die *zentralen Latenzzeiten* ab Halsmark sind für die Reize am Zeigefinger, am Handgelenk und am Fußgelenk praktisch gleich. Sie korrelieren bei unseren Methoden nicht mehr mit der Körpergröße. Diese Tatsachen, und der absolute Wert von im Mittel 9–10 ms, sprechen dafür, daß die intrazerebrale Leitungsgeschwindigkeit des Lemniscus medialis und der thalamo-kortikalen Faserstrahlung wesentlich niedriger liegt als die der Hinterstränge, auch wenn man die Synapsenzeit der beiden Umschaltstellen berücksichtigt. Dies stimmt mit dem Ergebnis von Katzenversuchen überein (Tsumoto u. Iwama, 1972).

In stereotaktischen Tiefenableitungen beim Menschen fanden Ervin u. Mark (1964) eine Latenzzeit der Evoked Potentials im Nucleus VPL des Thalamus nach Handgelenkreiz von 17 ms, Pagni (1967) fand 13–18 ms, Larson u. Sances (1968) fanden 12–18 ms. Die Körpergröße wurde bei diesen Messungen nicht berücksichtigt. Goto et al. (1968) fanden für die gleiche Latenzzeit 9–13 ms, was mit der geringeren Körpergröße der japanischen Bevölkerung zusammenhängen könnte. Anhand dieser im wesentlichen übereinstimmenden Werte teilen wir die zentrale Latenzzeit von 9,5 ms ab unterem Halsmark folgendermaßen auf: Wenn eine mittlere Leitungsgeschwindigkeit in den Hintersträngen von 74 m/s zugrundegelegt wird, kommen wir auf etwa 2,5–3 ms bis zu den Hinterstrangkernen in Höhe des 1. Halswirbels. Nach Hinzurechnen von 0,7–1 ms für die erste Synapse bleiben etwa 2–2,5 ms für die Leitungszeit im Lemniscus medialis bis zum Thalamus. Der Rest der zentralen Latenzzeit ergibt nach Abzug von 0,7–1 ms für die zweite Synapse noch 2,5–3 ms für die thalamo-kortikale Leitungszeit. Desmedt et al. (1973) schätzten aufgrund von Extrapolation sensibler Leitungsmessungen am Arm die Leitungszeit von den Hinterstrangkernen an auf etwa 4 ms. Nach unserer Berechnung wären es etwa 6 ms. Da Desmedt et al. die Latenzzeit der ssEP bis zum Beginn der ersten negativen Welle, wir dagegen bis zum Gipfel dieser Welle messen, müssen ihre Werte um ca. 2 ms kleiner sein als unsere. Es ergibt sich also eine gute Übereinstimmung.

Danksagung. Wir danken Frau Marianne Rosenthal und Frl. Brigitte Rudolf für wertvolle technische Hilfe bei den Untersuchungen, Frau Margarete Kohlhepp für das sorgfältige Schreiben des Manuskripts.

Literatur

- Allison, T.: Recovery functions of somatosensory evoked responses in man. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.* **14**, 331—343 (1962)
- Broughton, R.: In: E. Donchin and D. B. Lindsley (eds.), *Average evoked potentials. Methods, results, and evaluations*, pp. 79—84. Washington: Nasa Scientific Publication 191, 1969
- Cracco, R. Q.: Spinal evoked response: Peripheral nerve stimulation in man. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.* **35**, 379—386 (1973)
- Cracco, R. Q., Bickford, R. G.: Somatomotor and somatosensory evoked responses. Median nerve stimulation in man. *Arch. Neurol.* **18**, 52—68 (1968)
- Cracco, J. B., Cracco, R. Q.: Segmental conduction velocities of the spinal evoked response. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.* **40**, 317p (1976a)
- Cracco, R. Q., Cracco, J. B.: Somatosensory evoked potentials in man: far field potentials. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.* **41**, 460—466 (1976b)
- Dawson, G. D.: Cerebral responses to electrical stimulation of peripheral nerve in man. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry* **10**, 134—140 (1947)
- Desmedt, J. E., Noël, P.: Cerebral evoked potentials. In: P. J. Dyck, D. K. Thomas, E. H. Lambert (eds.), *Peripheral neuropathy. Vol. I*, pp. 480—491. Philadelphia-London-Toronto: Saunders 1975
- Desmedt, J. E., Brunko, E., Debecker, J.: Maturation of the somatosensory evoked potentials in normal infants and children, with special reference to the early N₁ component. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.* **40**, 43—58 (1976)
- Desmedt, J. E., Noël, P., Debecker, J., Namèche, J.: Maturation of afferent conduction velocity as studied by sensory nerve potentials and by cerebral evoked potentials. In: J. E. Desmedt (ed.), *New Developments in Electromyography and Clinical Neurophysiology. Vol. II*, pp. 52—63. Basel: Karger 1973
- Ertekin, C.: Human evoked electrospinogram. In: J. E. Desmedt (ed.), *New Developments in Electromyography and Clinical Neurophysiology, Vol. II*, pp. 344—351. Basel: Karger 1973
- Ervin, F. R., Mark, V. H.: Studies of the human thalamus: IV. Evoked responses. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* **112**, 81—92 (1964)
- Gartside, I. B., Lippold, O. C. J., Meldrum, B. S.: The evoked cortical somatosensory response in normal man and its modification by oral lithium carbonate. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.* **20**, 382—390 (1966)
- Giblin, D. R.: Somatosensory evoked potentials in healthy subjects and in patients with lesions of the nervous system. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* **112**, 93—142 (1964)
- Goto, A., Kosaka, K., Kubota, K., Nakamura, R., Narabayashi, H.: Thalamic potentials from muscle afferents in the human. *Arch. Neurol.* **19**, 302—309 (1968)
- Halliday, A. M.: Changes in the form of cerebral evoked responses in man associated with various lesions of the nervous system. *Electroenceph. clin. Neurophysiol. Suppl.* **25**, 178—192 (1967)
- Halliday, A. M., Wakefield, G. S.: Cerebral evoked responses in patients with dissociated sensory loss. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry* **26**, 211—219 (1963)
- Koivikko, M. J.: Differences in evoked potentials to median and radial nerve stimulation in man. *Brain Res.* **30**, 223—227 (1971)
- Koivikko, M. J.: Grundeigenschaften des evozierten Nacken-Potentials. *Z. EEG-EMG* **6**, 55—58 (1975)
- Larson, S. J., Sances, A.: Averaged evoked potentials in stereotaxic surgery. *J. Neurosurg.* **28**, 227—232 (1968)
- Liberson, W. T., Kim, K. C.: The mapping out of evoked potentials elicited by stimulation of the median and peroneal nerves. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.* **15**, 721p (1963)
- Magladery, J. W., Porter, W. E., Park, A. M., Teasdale, R. D.: 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. Johns Hopkins Hosp.* **88**, 499—519 (1951)
- Matthews, W. B., Beauchamp, M., Small, D. G.: Cervical somato-sensory evoked responses in man. *Nature* **252**, 230—232 (1974)

- Mortillaro, M., Emser, W.: Über die Reizantwortpotentiale aus dem zervikalen Rückenmark. *Med. Welt* **25**, 1690—1693 (1974)
- Namerow, N. S.: Somatosensory evoked responses in multiple sclerosis. *Bull. Los Angeles Neurol. Soc.* **33**, 74—81 (1968)
- Namerow, N. S.: Somatosensory recovery functions in multiple sclerosis patients. *Neurology (Minneapolis)* **20**, 813—817 (1970)
- Pagni, C. A.: Somato-sensory evoked potentials in thalamus and cortex of man. *Electroenceph. clin. Neurophysiol. Suppl.* **26**, 147—155 (1967)
- Richter, H.: Somatosensible kortikale Antworten auf elektrische Reizung peripherer Nerven bei gesunden Versuchspersonen und bei neurologischen Patienten. Dissertation, Freiburg i. Br. 1971
- Shagass, C., Schwartz, M.: Recovery functions of somato-sensory peripheral nerve and cerebral evoked responses in man. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.* **17**, 126—135 (1964)
- Shimoji, K., Higashi, H., Kano, T.: Epidural recording of spinal electrogram in man. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.* **30**, 236—239 (1971)
- Shimoji, K., Kano, T., Higashi, H., Morioka, T., Henschel, E. O.: Evoked spinal electrograms recorded from epidural space in man. *J. Appl. Physiol.* **33**, 468—471 (1972)
- Tsumoto, T., Iwama, K.: Conduction velocities of lemniscal and thalamocortical fibers: their somatotopic differentiation and a rule of connection in the thalamic relay system. *Brain Res.* **44**, 666—669 (1972)
- Tsumoto, T., Hirose, N., Nonaka, S., Takahashi, M.: Cerebro-vascular disease: changes in somatosensory evoked potentials associated with unilateral lesions. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.* **35**, 463—473 (1973)

Eingegangen am 22. Dezember 1976