

Spinale und cerebrale SEP bei Einzel- und Doppelreiz des N. tibialis*

H. Gerhard, J. Jörg, I. Selter und H. Jansen

Neurologische Universitätsklinik Essen (Direktor: Prof. Dr. H. J. Lehmann),
Hufelandstrasse 1, D-4300 Essen, Bundesrepublik Deutschland

Spinal and Cerebral SEP Following Single and Double Stimulation of the Tibial Nerve

Summary. In 33 normal subjects aged between 15 and 60 years, the cortical somatosensory evoked potentials (SEP) recorded above the mastoid process, HWK₂, LWK₁, and the nerve action potential above the poplitea were examined following single stimulation of the tibial nerve at the medial malleolus. There is a correlation between size and N₁, P₁ latencies of the cortical SEP, but no relationship was found between age and N₁, P₁ latencies. The spinal conduction velocity determined as the difference between HWK₂ and LWK₁ did not show any correlation with age. The double stimuli examination showed a rise in the N₁, P₁ latencies within the relative refractory period on shortening of the interstimulus time. The cerebral relative and absolute refractory times were higher than those of the median nerve.

Key words: Tibial nerve SEP – Spinal and cortical SEP – Relative and absolute refractory time

Zusammenfassung. Es wurden 33 Normalpersonen im Alter von 15–60 Jahren nach Einzelreizung des N. tibialis am Malleolus medialis das corticale somatosensorische Reizantwortpotential (SEP), das SEP bei Ableitung über dem Proc. mastoideus, HWK₂, LWK₁ und das Nervenaktionspotential über der Poplitea abgeleitet. Bei Ableitung über dem Proc. mastoideus konnte ein SPE bei 20, bei HWK₂ bei 25 und bei LWK₁ bei 24 Normalpersonen abgeleitet werden. Es besteht eine Körpergrößenabhängigkeit der N₁, P₁-Latenzzeiten des corticalen SEP. Eine Altersabhängigkeit für die N₁, P₁-Latenzzeiten fand sich nicht. Die spinale Leitungsgeschwindigkeit konnte zwischen den Ableitpunkten HWK₂ und LWK₁ bestimmt werden. Auch sie zeigte keine Altersabhängigkeit. Die Doppelreizuntersuchung zeigte innerhalb der relativen Refraktärperiode einen Anstieg der N₁, P₁-Latenzzeiten bei Verkürzung der

* Herrn Professor Lehmann zum 60. Geburtstag
Sonderdruckanforderungen an: H. Gerhard

Interstimuluszeiten. Die cerebrale relative und absolute Refraktärzeit liegen höher als die des N. medianus.

Schlüsselwörter: Tibialis SEP – spinale und corticales SEP – relative und absolute Refraktärzeit

Einleitung

Die Bestimmung des corticalen somatosensorischen Potentials (SEP) nach Stimulation von Nerven an der oberen Extremität hat in der elektrophysiologischen Diagnostik eine breite Anwendung gefunden. Demgegenüber kommt der Bestimmung des corticalen und insbesondere des spinalen SEP nach Stimulation von gemischten Nerven in den unteren Extremitäten noch nicht die gleiche Bedeutung zu. Bei Gesunden sind nach N. tibialis-Stimulation ebenfalls immer reproduzierbare corticale SEPs zu erhalten. Die vorliegende Untersuchung sollte klären, ob bei Stimulation des N. tibialis zusätzlich zur corticalen SEP-Ableitung auch über dem Rückenmark und Hirnstamm reproduzierbare SEP zu finden sind. Des Weiteren sollte untersucht werden, ob die Bestimmung der cerebralen Refraktärzeit bzw. Refraktärperiode bei Stimulation des N. tibialis ebenso gelingt wie bei der Stimulation des N. medianus [10].

Auf die Tibialis-SEP-Befunde bei Erkrankungen des Rückenmarks und des Hirnstamms soll in einer gesonderten Arbeit eingegangen werden.

Methodik

Es wurden 33 Normalpersonen im Alter von 15 bis 60 Jahren untersucht. Davon waren 23 weibliche und 20 männliche Probanden. Der Mittelwert des Alters betrug $35,0 \pm 12,0$ Jahre.

Der N. tibialis wurde am Malleolus mediales mit Rechtecksimpulsen von 0,2 ms Dauer und 1,5 Hz mit Oberflächenelektroden stimuliert. Die Stromstärke lag zwischen 5 und 15 mA, so daß es zu einer kräftigen maximalen Flexion der großen Zehe kam und die Reizschwelle gerade unterhalb der Schmerzschwelle lag. Als Frequenzfilter des Verstärkers wurden 10 Hz und 5 kHz gewählt.

Die SEPs wurden über dem Cortex bei C_z/P_z, über dem contralateralen Proc. mastoideus, bei HWK₂ und LWK₁ abgeleitet. Es wurden 512–1024 Reizantwortpotentiale aufsummiert. Die indifferente Elektrode lag bei Fz (Ten-Twenty System).

Bei 15 Normalpersonen im Alter von 20–40 Jahren wurde die cerebrale relative und absolute Refraktärzeit (cRZ) untersucht. Das SEP des Einzelreizes diente als Referenzpotential für das SEP des Doppelreizes. Der Doppelreiz wurde mit variablen Interstimuluszeiten appliziert (60, 50, 40, 30, 25, 20 bis 10 ms in 1-ms-Schritten). Bei der Bestimmung der absoluten Refraktärzeit wurde die Interstimuluszeit noch in Schritten von 0,5 ms variiert.

Die absolute Refraktärzeit entspricht dem größten Doppelreizintervall, welches keine Reizantwort auf den zweiten Stimulus aufweist. Die cerebrale relative Refraktärzeit wurde für N₁ und P₁ bestimmt; sie entspricht der Interstimuluszeit, bei der die Latenzzeit von N₁ und P₁ des Doppelreiz-SEP sich signifikant von der des Einzelreiz-SEP unterscheidet.

Bei Normalpersonen fanden sich in der Regel bei corticaler Ableitung C_z/P_z zwei negative und zwei positive Peaks innerhalb von 100 ms. Jede Messung wurde zwei- bis dreimal durchgeführt, und ausgemessen wurden nur sicher reproduzierbare Potentialanteile.

Weiterhin wurde die spinale Leitungsgeschwindigkeit berechnet. Dazu wurde der Quotient Entfernung bei den Ableitepunkten HWK₂ und LWK₁ zur N₁-Latenzzeitdifferenz an den Ableitepunkten gebildet. Für N₁ der Ableitung HWK₂/LWK₁ und HWK₂/C_z/P_z und Poplitea/LWK₁ wurde die Interpeakzeit bestimmt.

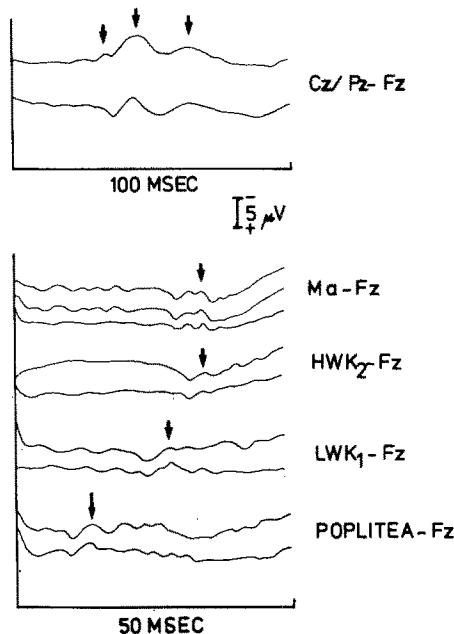


Abb. 1. Corticale Tibialis-SEP und spinale SEP einer 24jährigen Normalperson.
Cz/Pz liegt in der Sagittalebene 40% des Abstandes Nasion-Inion (zwischen den Ableiteorten C_z und P_z des Ten-Twenty Systems)

Ergebnisse

Es werden zunächst die Parameter des SEP-Einzelreizpotentials und anschließend die Ergebnisse der cerebralen Refraktärperiode mitgeteilt.

1. Einzelreizuntersuchung

Die corticale SEP-Form bei den 33 Normalpersonen zeigte meist 4–6 Potential spitzen in den ersten 100 ms Analysezeit (Abb. 1). Die Latenzzeiten und Amplituden der ersten 100 ms sind der Tabelle 1 zu entnehmen. Bei 20 Probanden war ein SEP über dem Proc. mastoideus, bei 25 Probanden über HWK₁ und bei 24 Probanden über LWK₁ zu erhalten (s. Tabelle 1). Die Bestimmung des Reizantwortpotentials über der Poplitea wurde in erster Linie durchgeführt, um eine Aussage über die Leitungsgeschwindigkeit des peripheren Nerven zu erhalten. Die äußerste noch normale Rechts-Links-Differenz (Tabelle 2) betrug bei 2½facher Standardabweichung für die N₁-Latenzzeit 3,9 ms und ist damit deutlich länger als beim N. medianus [10].

Die *interspinale Leitungsgeschwindigkeit* betrug $63,8 \pm 11,3$ m/s ($n = 22$). Sie wurde zwischen den Ableitepunkten HWK₂ und LWK₁ bestimmt. Eine Altersabhängigkeit der spinalen Leitungsgeschwindigkeit fand sich nicht.

Die Interpeakzeiten für die Ableitungen LWK₁/HWK₂ und HWK₂/Cz/Pz und Poplitea/LWK₁ sind der Tabelle 3 zu entnehmen.

Eine signifikante *Abhängigkeit* der Latenzzeiten der Potential spitzen N₁, P₁, N₂, P₂ zum *Lebensalter* war für alle Ableitepunkte nicht nachweisbar. Ebenfalls bestand keine Abhängigkeit der spinalen Leitungsgeschwindigkeit vom Lebensalter.

Tabelle 1. Mittelwerte und Standardabweichung der Latenzzeiten und der Amplituden nach Ableitungsorten bei Normalpersonen im Alter von 15–60 Jahren

Ableiteort	Latenzzeit (ms)				Amplitude (µV)	
	N ₁	P ₁	N ₂	P ₂	N ₁ /P ₁	N ₂ /P ₂
Cz/Pz-Fz	34,8±2,5 n = 33	41,4±2,8 n = 33	49,5±3,2 n = 32	58,9±2,6 n = 30	3,1±1,0 n = 33	3,5±1,8 n = 28
Ma-Fz	31,9±1,9 n = 20	35,2±2,4 n = 20	37,7±2,9 n = 10	37,2±1,6 n = 4	1,4±0,4 n = 20	1,6±0,6 n = 4
HWK ₂ -Fz	31,5±1,8 n = 25	35,3±3,0 n = 24	38,9±4,8 n = 12	40,2±4,8 n = 7	1,5±0,7 n = 20	
L ₁ -Fz	24,0±1,7 n = 24	27,2±2,4 n = 24	30,9±2,6 n = 14	32,5±2,8 n = 6	2,0±0,7 n = 24	
P-Fz	8,8±1,6 n = 28	10,9±2,0 n = 25			2,5±1,3 n = 25	

Tabelle 2. Rechts-Links-Vergleich des corticalen Tibialis-SEP. Latenzzeitdifferenzen N₁, P₁, N₂, P₂ und Amplitudendifferenzen N₁/P₁, N₂/P₂

Latenzzeitdifferenzen (ms)				Amplitudendifferenzen (µV)	
N ₁	P ₁	N ₂	P ₂	N ₁ /P ₁	N ₂ /P ₂
1,4±1,0 n = 21	1,3±1,5 n = 21	1,7±1,0 n = 21	1,8±0,8 n = 27	0,7±0,7 n = 20	1,1±0,7 n = 17

Ableitepunkte	Latenzzeitdifferenzen (ms); $\bar{X} \pm s$	
LWK ₁ -HWK ₂	7,7±1,3	n = 22
HWK ₂ -C _z /P _z	5,4±3,6	n = 24
Poplitea-LWK ₁	15,0±1,6	n = 22

Tabelle 3. N₁-Latenzzeitdifferenz bei Ableitung LWK₁-HWK₂ und Poplitea-LWK₁. P₁-Latenzzeitdifferenz bei Ableitung HWK₂-C_z/P_z

Um eine Beeinflussung der Abhängigkeitsprüfung Latenzzeit/Lebensalter durch den Einfluß der Körpergröße auszuschließen, wurde die Latenzzeit auf 1 m Körpergröße bezogen; auch dann fand sich keine signifikante Korrelation der „Körpergrößen-korrigierten Latenzzeit“ [5] zum Lebensalter.

Eine Abhängigkeit der Latenzzeiten von der *Körpergröße* bzw. auch vom *Abstand Reizort und Ableiteort* konnte für die Potentialspitze N₁ für alle Ableiteorte nachgewiesen werden. Für P₁ bestand eine Abhängigkeit vom Abstand Reizort und Ableiteort nur bei corticaler Ableitung und auch für den Ableitepunkt LWK₁ (Abb. 2). Die Latenzzeiten der übrigen Potentialspitzen N₂, P₂ zeigten keine Abhängigkeit von der Körpergröße und dem Abstand Ableiteort-Reizort. Dies galt für alle Ableiteorte.

Für die corticale Ableitung sind für die Latenzzeiten N₁ und P₁ bei einer durchschnittlichen Körpergröße von 175 cm folgende Mittelwerte anzunehmen: N₁ für größer als 175 cm: 36,4±1,9 ms; für kleiner als 175 cm: 33,4±2,2 ms. Für P₁

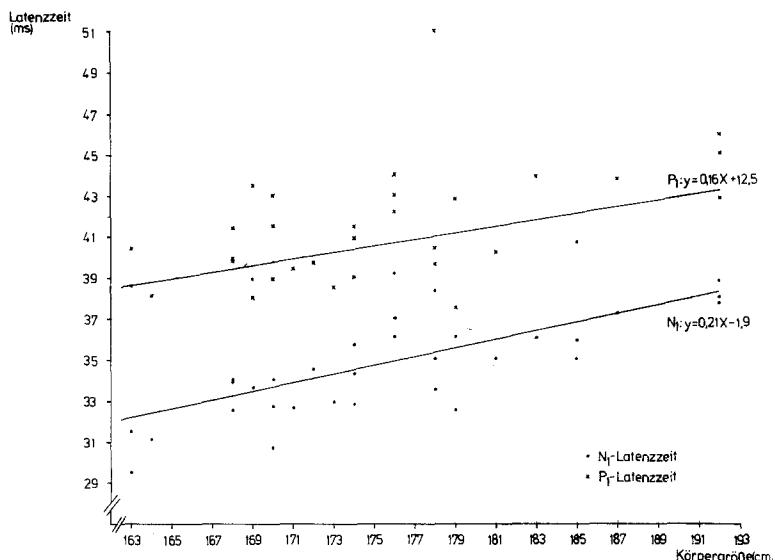


Abb. 2. Abhängigkeit der Latenzzeiten N_1 , P_1 des corticalen Tibialis-SEP von der Körpergröße bei Normalpersonen ($n = 33$). Für N_1 : $y = 0,21 X - 1,9$; für P_1 : $y = 0,16 X + 12,5$

ergaben sich folgende Mittelwerte: bei kleiner als 175 cm: $40,1 \pm 1,6$ ms; für größer als 175 cm: $42,7 \pm 3,1$ ms. Der Mittelwert der Körpergröße-korrigierten Latenzzeiten N_1 und P_1 betrug für N_1 : $19,8 \pm 1,1$ ms und für P_1 : $23,6 \pm 1,4$ ms für $n = 33$ Normalpersonen.

2. Die cerebrale Refraktärperiode bei Doppelreizstimulation des N. tibialis

Die cerebrale Refraktärperiode wurde durch die Änderung der Latenzzeit der Potentialsspitzen N_1 , P_1 bestimmt (Abb. 3, 4, 5). Bei sich verkürzender Interstimuluszeit zeigte sich eine Latenzzeitverlängerung (Tabelle 4).

Die relative Refraktärzeit wurde der Interstimuluszeit gleichgesetzt, bei der die Latenzzeit um mindestens 1,5 ms gegenüber dem Einzelreiz-SEP zunahm. Des weiteren mußte die Latenzzeit des zweiten Reizantwortpotentials bei der nachfolgenden kürzeren Interstimuluszeit um mindestens ebenso viel oder mehr ansteigen. Die relative Refraktärzeit lag bei $34,5 \pm 5,2$ ms ($n = 12$) und liegt damit deutlich höher als beim N. medianus [10]. Die absolute Refraktärzeit lag bei $20,2 \pm 4,8$ ms ($n = 12$) und ist ebenfalls länger als die absolute RZ des N. medianus mit $13,6 \pm 2,6$ ms [10].

Die relative Refraktärzeit für die Latenzzeit P_1 bestimmt lag bei $38,2 \pm 4,8$ ms ($n = 12$). Die absolute Refraktärzeit für die Latenzzeit P_1 lag bei $24,5 \pm 3,5$ ms. Eine Altersabhängigkeit der relativen und absoluten Refraktärzeit wurde nicht untersucht.

Diskussion

Die Einzelreizuntersuchung des N. tibialis und die corticale Ableitung des SEP umfaßt die gesamte Strecke des Rückenmarks, des Hirnstamms und die Verbin-

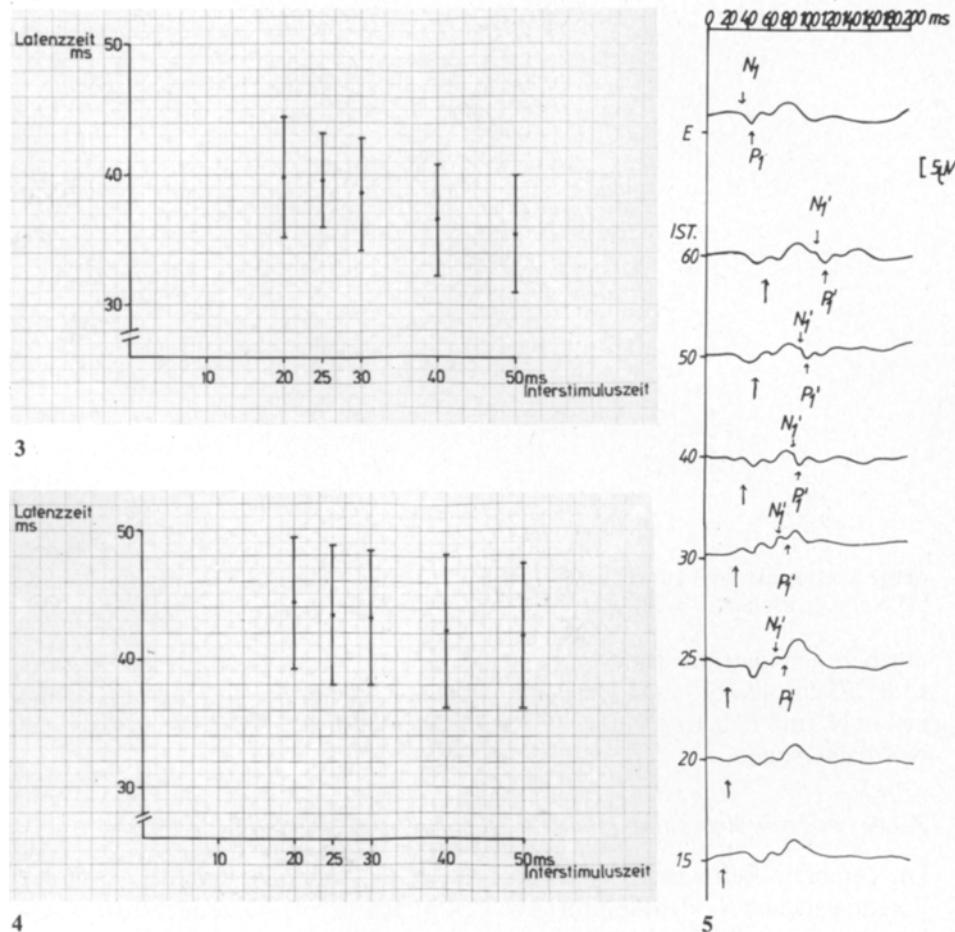


Abb. 3. Relative Refraktärperiode des N_1 -Peaks des N. tibialis bei Normalpersonen des Alters 15-60 Jahre ($n = 12$). Mittelwert und einfache Standardabweichung der N_1 -Latenzzeiten bei den Interstimuluszeiten 50, 40, 30, 25, 20 ms des zweiten Reizantwortpotentials

Abb. 4. Relative Refraktärperiode des P_1 -Peaks des N. tibialis bei Normalpersonen des Alters 15-60 Jahre ($n = 12$). Mittelwert und einfache Standardabweichung der P_1 -Latenzzeiten bei den Interstimuluszeiten 50, 40, 30, 25, 20 ms des zweiten Reizantwortpotentials

Abb. 5. Corticales SEP bei Einzel- und Doppelreizung des N. tibialis einer 31jährigen Normalperson. ↑ Zweiter Reiz; ↑ N_1' , P_1' des SEP des zweiten Reizes; E Einzelreiz-SEP; IST. Interstimuluszeit

dung bis zum Cortex. Wir wählten deshalb neben der corticalen Ableitung die Ableitepunkte über LWK₁, HWK₂ und dem Proc. mastoideus, der dem Hirnstamm am nächsten liegt.

Die Ergebnisse für die *Einzelreizuntersuchung* stimmen mit den bei corticaler Ableitung angegebenen Werten der Literatur weitgehend überein [2, 8, 12, 16]. Die geringe Ausprägung des SEP über der HWK, LWK sind sicherlich auf Reiz- und Ableitebedingungen zurückzuführen. Eine Stimulation und Aufsummierung von 1026 und mehr Antworten [12, 19] sind bei spinalen Ableitungen not-

Tabelle 4. Latenzenzeiten bei Einzel- und Doppelreiz-Stimulation des N. tibialis bei Normalpersonen des Alters 15–60 Jahre ($n = 12$)

	Latenzenzeiten (ms)			
	N_1	P_1	N_2	P_2
Einzelreiz	$35,4 \pm 3,8$ $n = 12$	$41,3 \pm 5,0$ $n = 12$	$51,5 \pm 8,6$ $n = 10$	$60,0 \pm 10,0$ $n = 10$
Interstimuluszeit (ms)				
50	$35,4 \pm 4,5$ $n = 12$	$41,9 \pm 5,7$ $n = 12$	$52,2 \pm 9,5$ $n = 10$	$67,4 \pm 10,0$ $n = 10$
40	$36,7 \pm 4,4$ $n = 12$	$42,2 \pm 5,9$ $n = 12$	$52,7 \pm 4,3$ $n = 10$	$63,5 \pm 4,8$ $n = 9$
30	$38,6 \pm 4,4$ $n = 12$	$43,0 \pm 5,3$ $n = 12$	$52,9 \pm 10,8$ $n = 9$	$67,4 \pm 14,5$ $n = 8$
25	$39,7 \pm 3,4$ $n = 11$	$43,4 \pm 5,4$ $n = 11$	$53,1 \pm 9,4$ $n = 7$	$72,5$ $n = 3$
20	$39,8 \pm 4,8$ $n = 6$	$44,7 \pm 4,0$ $n = 5$		
18	$40,2 \pm 4,8$ $n = 4$	$44,4 \pm 4,9$ $n = 4$		
15	$40,4 \pm 4,8$ $n = 4$	$44,6 \pm 5,2$ $n = 4$		

wendig. Darüberhinaus ist eine milde Sedierung, z. B. mit Benzodiazepinen, erfolgversprechend. Bei Kleinkindern empfiehlt Cracco [5] eine Narkotisierung mit Chlorhydrat. Wir haben keine Sedierung durchgeführt und daher nur bei 22 von 33 Normalpersonen spinale SEP erhalten.

Eine Abhängigkeit der Latenzenzeiten vom Lebensalter fanden wir im Gegensatz zu Dorfman [8] nicht. Wohl zeigte sich eine tendenzielle Zunahme der Latenzenzeiten N_1, P_1 bei corticaler Ableitung ebenso wie beim N. medianus [10]. Die deutliche Abhängigkeit der Latenzenzeiten von der Körpergröße des Probanden besteht beim N. tibialis im Gegensatz zum N. medianus [10]. Sie ist sicherlich auf die lange Strecke zwischen Reiz- und Ableiteort zurückzuführen. Eine Körpergrößen-Abhängigkeit der Latenzenzeiten bei corticaler Ableitung der Spalten N_1 und P_1 fanden auch Burke [2], Dorfman [8], Sauer [16], Stöhr [19].

Bei der Untersuchung des spinalen SEP zeigte sich eine strenge Abhängigkeit der N_1 -Latenzzeit bei Ableitung LWK₁ vom Abstand Reizort-Ableiteort. Eine Erklärung dafür könnte darin gesehen werden, daß der N_1 -Peak in peripheren Strukturen in den dorsalen Wurzeln der Cauda equina generiert wird [3] und im Rückenmark fortgeleitet wird [5]. Die weiteren folgenden Peaks P_1, N_2 könnten synaptisch oder postsynaptisch entstehen [5]. Anderer Meinung ist Ertekin [9], der annimmt, daß das spinale SEP bei Ableitung über der LWS in den Hintersträngen generiert wird. Eine differenziertere Meinung über die Generatoren des spinalen SEP vertritt Phillips [15], der den einzelnen Peaks des spinalen SEPs verschiedene Entstehungsorte zuweist. So fand er ebenso wie wir eine direkte Abhängigkeit der Latenzzeit für N_1 vom Abstand Ableiteort-Reizort. Für den

zweiten negativen Peak besteht diese Abhängigkeit nicht. Des weiteren fand er eine Zunahme der N_1 -Latenzzeiten bei Ableitungen über L_5 bis L_1 . Auch er nimmt an, daß der erste negative Peak bei etwa 20–25 ms in den Wurzeln der Cauda equina generiert wird [15]. Der zweite Peak dürfte nach seiner Auffassung im caudalen Abschnitt des Rückenmarks entstehen und dann volumengeleitet werden. Für die Volumenleitung spricht die fehlende Latenzzeitzunahme in Abhängigkeit von der Höhe des Segments, über dem abgeleitet wird. Die Ergebnisse der Cauda equina-Ableitung [11], die meist ein eingipfliges Potential in entsprechender Latenzzeit zeigt, bestätigen diese Hypothese für den Entstehungsort des N_1 -Peaks des spinalen SEPs. Doppelreizuntersuchungen des spinalen SEPs zeigen ebenfalls, daß das N_1 -Potential presynaptischen Ursprungs sein dürfte, denn es ist bei 2 ms Interstimuluszeit noch nicht absolut refraktär [15].

Frühe, d. h. subthalamisch generierte, Potentialanteile fanden wir bei corticaler Ableitung, anders als bei Ableitung des Medianus-SEP, nicht [10]. Frühe Potentiale bei Stimulation des N. tibialis wurden jedoch nachgewiesen [13, 14, 21]. Entscheidend dürften bei dem Nachweis der früheren Potentiale, die bei 15–17 ms etwa liegen, die Ableitebedingungen sein [13]. Vas [21] hat nachgewiesen, daß es sich dabei um Far-field-potentials [13] handelt. Bei corticalen Referenzelektroden fand auch er keine „frühen“ Potentiale. Er nimmt an [21], daß die frühen Potential spitzen N_{14} , P_{14} beim N. medianus im Hirnstamm entstehen, während beim N. tibialis sie von subcorticalen Strukturen generiert werden. Über die Fortleitung des Tibialis-SEP im Rückenmark besteht weitgehend Übereinstimmung. Sie erfolgt vorwiegend im Hinterstrangsystem [8, 15, 16].

Die spinale Leitungszeit kann durch Messung der Latenzzeitdifferenz bei HWK_2 und LWK_1 und die Entfernung dieser beiden Ableitepunkte bestimmt werden. Unsere Werte der spinalen Leitungszeit stimmen mit den in der Literatur angegebenen Werten überein [4, 5, 7, 12, 17, 18]. Eine Altersabhängigkeit der spinalen Leitungsgeschwindigkeit beschreiben Cracco [4, 5] bei Kindern und Dorfman [8]. Die bei uns fehlende Altersabhängigkeit dürfte auf die relativ große Streuung der spinalen Leitungsgeschwindigkeit zurückzuführen sein. Die spinale Leitungsgeschwindigkeit könnte in der MS-Diagnostik und beim Nachweis von Läsionen des zentralen Abschnitts des afferenten Systems von Bedeutung sein. Die diagnostische Wertigkeit der spinalen Leitungszeit ist jedoch wegen der relativ großen Streubreite eingeschränkt. Unabhängig von einem möglichen Meßfehler der Körpergröße ist die Bestimmung der Interpeakzeiten. Eine Altersabhängigkeit zeigte sich aber auch hier nicht.

Es sollte nochmals darauf hingewiesen werden, daß ein fehlendes spinale SEP nicht immer als pathologisch zu werten ist. Es müssen dabei auch die SEPs der weiter höher liegenden Ableitepunkte und insbesondere der corticalen Ableitungen berücksichtigt werden. Daraufhin müssen bei Ableitung über dem Proc. mastoideus und den spinalen Ableitungen immer auch mindestens 1024 (oder ein Vielfaches davon) Reizantwortpotentiale aufsummiert werden, um entscheiden zu können, ob ein Potential fehlt oder nicht.

Die Bestimmung der cerebralen Refraktärzeit des corticalen SEPs stellt eine Funktionsuntersuchung sowohl des Rückenmarks als auch des Cerebrums dar. Sie könnte deshalb gerade bei Erkrankungen mit spinalem Befall hilfreich sein. Erste Untersuchungen über die Refraktärzeit des corticalen SEP nach Stimulation

tion von Nerven der unteren Extremität geben Sauer [16] und Tsumoto [20] an. Eine Bestimmung der cerebralen relativen und absoluten Refraktärzeit des Tibialis-SEP ist uns nicht bekannt. Die relative und absolute Refraktärzeit des corticalen Tibialis-SEP kann auch für P_1 bestimmt werden, denn dieser Peak zeigt oft eine konstantere Ausprägung als N_1 . Sowohl die relative als auch die absolute Refraktärzeit ist dabei länger als beim N. medianus [10]. Eine Erklärung kann dafür nicht gegeben werden.

Literatur

1. Allison T (1982) Recovery functions of somatosensory evoked responses in man. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 44: 331-343
2. Burke D, Skuse NF, Lethlean A (1981) Cutaneous and muscle afferent components of the cerebral potential evoked by electrical stimulation of the human peripheral nerves. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 51: 579-588
3. Cracco RQ (1973) Spinal evoked response: Peripheral nerve stimulation in man. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 35: 379-386
4. Cracco JB, Cracco RQ, Graziani LJ (1975) The spinal evoked response in infants and children. *Neurology* 25: 31-36
5. Cracco RQ, Cracco JB, Sarnowski R, Vogel HB (1980) Spinal evoked potentials. *Prog Clin Neurophysiol* 7: 87-104
6. Cusick JF, Myklebust J, Larson SJ, Sances A (1978) Spinal evoked potentials in the primate: Neural substrate. *J Neurosurg* 49: 551-557
7. Dorfman LJ (1977) Indirect estimation of spinal cord conduction in man. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 42: 26-34
8. Dorfman LJ, Bosley TM (1979) Age-related changes in peripheral and central nerve conduction in man. *Neurology* 29: 38-44
9. Ertekin C (1976) Studies in the human evoked electrospongogram. I. The origin of the segmental evoked potentials. *Acta Neurol Scand* 53: 3-20
10. Jörg J, Gerhard H, Lehmann HJ (1980) Somatosensorische Reizantwortpotentiale bei Normalpersonen nach Einzel- und Doppelstimulation des N. medianus. *Z EEG-EMG* 11: 211-217
11. Jörg J, Hielscher H, Podemski R (1980) Die Cauda-equina-Neurographie. Ergebnisse von Normalpersonen und Patienten mit lumbosacralen Wurzelkompressionssyndromen. *Schweiz Arch Neurol Neurochir Psychiatr* 126: 17-25
12. Jones SJ, Small DG (1978) Spinal und sub-cortical evoked potentials following stimulation of the posterior tibial nerve in man. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 44: 299-306
13. Lueders H, Andriah J, Gurd A, Weker G, Klem G (1981) Origin of far-field subcortical potentials evoked by stimulation of the posterior tibial nerve. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 52: 336-344
14. Noel P, Desmedt JE (1980) Cerebral and far-field somatosensory evoked potentials in neurological disorders involving the cervical spinal cord, brainstem, thalamus and cortex. *Prog Clin Neurophysiol* 7: 205-230
15. Phillips LH II, Daube JR (1980) Lumbosacral spinal evoked potentials in humans. *Neurology* 30: 1175-1183
16. Sauer M, Schenck E (1977) Vergleichende Untersuchung somatosensibler spinaler und kortikaler Evoked Potentials bei Kindern. *Arch Psychiatr Nervenkr* 223: 295-308
17. Seko K, Jujiwara T (1981) Evoked electrospongogram and electrophysiological evaluation of the spinal cord function. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 52: 109
18. Siivola J (1980) Estimation of the brain and spinal cord conduction time in man by means of the somatosensory evoked potentials and F and H response. *J Neurol Neurosurg Psychiatr* 43: 1103-1111

19. Stöhr M, Dichgans J, Diener HC, Buettner UW (1982) *Evozierte Potentiale*. Springer, Berlin Heidelberg New York
20. Tsumoto T, Hirose N, Nonaka S, Takahashi M (1972) Analysis of somatosensory evoked potentials to lateral poplitea nerve stimulation in man. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 33:379-388
21. 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 2. Dezember 1982