

# Elektrophysiologie zur Prognose nach Schlaganfall

J. Liepert

Kliniken Schmieder, Allensbach

## 1 EINLEITUNG

Zwei elektrophysiologische Verfahren, die Transkranielle Magnetstimulation (TMS) und peripher-elektrische Stimulationen des N. medianus zur Auslösung somatosensibel evozierter Potentiale (Medianus-SSEP), wurden in einer Reihe von Studien eingesetzt, um zu überprüfen, ob diesen Verfahren eine prognostische Bedeutung für die Erholung nach einem Schlaganfall zukommt. Die Suchstrategie umfasste eine PubMed-Suche mit den Begriffen »prognosis« or »prognostic value« and »stroke« or »cerebrovascular accident« and »TMS« or »transcranial magnetic stimulation«. Analog dazu wurde Literatur für die prognostische Bedeutung der Medianus SSEPs gesucht: »prognosis« or »prognostic value« and »stroke« or »cerebrovascular accident« and »SEP« or »median nerve somatosensory evoked potentials«. Zudem wurden die Literaturverzeichnisse von geeigneten Publikationen auf weitere Quellen durchsucht. Im Folgenden werden die Evidenzlage nach dem Grade System (hohe, mittlere, niedrige, sehr niedrige Qualität der Evidenz) und die daraus ableitbaren Empfehlungen nach dem A,B,0-Schema dargestellt. Für eine detaillierte Darstellung wird auf den Methodenteil (Leitlinie obere Extremität) verwiesen.

## 2 TRANSKRANIELLE MAGNETSTIMULATION

Insgesamt wurden 163 Artikel identifiziert. Von diesen wurden 20 Publikationen in der nachfolgenden Analyse berücksichtigt. Der Ausschluss der 143 anderen Studien hatte unterschiedliche Gründe. U. a. wurden Einzelfall-Studien und Untersuchungen an chronischen Schlaganfall-Patienten nicht berücksichtigt. Ebenso wurden Untersuchungen der unteren Extremität sowie Verfahren, die repetitive Transkranielle Magnetstimulation einsetzen, ausgeschlossen. Bei den berücksichtigten Studien handelt sich um Kohortenstudien, in denen die elektrophysiologischen Messungen innerhalb der ersten Tage bis Wochen nach dem Schlaganfall durchgeführt wurden und die ein prospektives Design hatten. Für die Interpretierbarkeit der Ergebnisse ist der Nachweis einer intakten peripheren Leitungsbahn erforderlich.

Gemeinsam ist allen für die Beurteilung herangezogenen Studien, dass als Zielmuskel ein Handmuskel gewählt wurde und dass, wenn nötig, die maximale Leistung des Magnetstimu-

lators genutzt wurde, um ein motorisch evoziertes Potential (MEP) zu generieren. Im Übrigen bestehen jedoch z.T. erhebliche Unterschiede im Studiendesign, so dass eine Meta-Analyse mit gepoolten Daten nur eingeschränkt möglich ist. Insgesamt wurden für die jetzige Übersicht die Daten von 714 Patienten aus 20 Studien berücksichtigt.

Die Unterschiede betrafen vor allem die folgenden Aspekte:

- a) *Auswahl der Patienten:* In der Mehrzahl der Studien wurden nur ischämische Infarkte eingeschlossen, in mehreren Studien allerdings sowohl Ischämien als auch Hirnblutungen. In einigen Studien war eine Plegie der Hand ein Einschlusskriterium, in anderen Studien wurde ein breites Spektrum motorischer Defizite (von der Plegie bis zur Feinmotorikstörung) eingeschlossen.
- b) *Der Zeitpunkt der elektrophysiologischen Untersuchung* reichte von »innerhalb der ersten 6 Stunden post-stroke« (Wöhrl et al., 2004) bis zu »2–5 Wochen post-stroke« (Feys et al., 2000). Bei 19 der 20 in der Analyse berücksichtigten Studien fand die TMS-Untersuchung allerdings innerhalb der ersten 7 Tage und somit in einem relativ homogenen Zeitraum statt.
- c) *Die Durchführung der TMS-Untersuchung:* Bei einem Teil der Studien wurden faszilitierende Manöver eingesetzt (Willkürinnervation des Zielmuskels oder, falls dieser plegisch war, Willkürinnervation des homologen Muskels der nicht-betroffenen Hand), in anderen Studien wurde auf faszilitierende Manöver verzichtet, da man nicht in allen Fällen von einer entsprechenden Kooperationsfähigkeit des Patienten ausging. In einer Studie wurden transkraniell-magnetische Doppelreize eingesetzt (Dachy et al., 2003).
- d) *Die Beurteilung der klinischen Erholung:* Ein Teil der Studien stellte die motorische Funktion des Armes, gemessen mit Kraftgraden oder funktionellen Skalen wie der Fugl-Meyer-Skala, in den Mittelpunkt, andere Studien zielten auf das globale funktionelle Outcome, gemessen mit dem Barthel-Index oder der Rankin-Skala.
- e) *Der Follow-up-Zeitraum* war sehr unterschiedlich und lag zwischen 14 Tagen und maximal 3 Jahren. 16 Studien hatten eine Nachbeobachtungszeit von mindestens 3 Monaten.
- f) *Die Einteilung der Patienten für die Datenanalyse:* In den meisten Studien wurden die Patienten in Bezug auf ihre TMS-Ergebnisse gruppiert: Eine Gruppe mit evozierbaren MEPs, die andere Gruppe mit fehlenden MEPs. In einigen Studien erfolgte die Einteilung nach klinischer Verbesserung

(z. B. Catano et al., 1996) oder anhand der Ergebnisse auf der Rankin-Skala (z. B. D’Olhaberriague et al., 1997).

- g) *Die Art der Analyse*: In den meisten Studien wurde nach eine Korrelation zwischen klinischer Entwicklung/funktionellem Outcome und Ergebnis der TMS-Untersuchung gesucht. In 5 Studien (Timmerhuis et al., 1996; D’Olhaberriague et al., 1997; Escudero et al., 1998; Feys et al., 2000; Palliyath, 2000) wurden schrittweise Regressionsanalysen durchgeführt, um die Beteiligung einzelner Parameter an der Prognose besser zu erfassen.

Trotz der Heterogenität lassen sich mehrere Schlussfolgerungen und Empfehlungen ableiten:

1. Durchführung der TMS-Untersuchung:

Die Stimulation soll während einer *Willkürinnervation des Zielmuskels* oder des homologen Muskels der Gegenseite erfolgen, da durch dieses Manöver signifikant häufiger MEPs zu erhalten sind und dieses Ergebnis besser mit dem späteren Outcome korreliert (Heald et al., 1993; Catano et al., 1995; Dachy et al., 2003) (hohe Qualität der Evidenz; Empfehlungsgrad A). Für Patienten, die nicht willkürlich innervieren können, kommt alternativ die Untersuchung mit (ebenfalls faszitierenden) transkraniell-magnetischen Doppelreizen in Betracht. Als effektivstes Intervall zwischen den beiden Stimuli wurden  $44 \pm 20$  msec angegeben (Dachy et al., 2003). Das Fehlen von MEPs bei Ableitungen ohne Vor-Innervation weist nicht notwendigerweise auf eine (irreversible) Unterbrechung des Tractus corticospinalis hin, sondern kann auch lediglich eine Erhöhung der motorischen Schwelle, welche prinzipiell reversibel ist, darstellen.

2. Der Nachweis von MEPs innerhalb der ersten Tage nach dem Schlaganfall ist ein prognostisch günstiges Zeichen und korreliert sowohl mit einer guten Rückbildung des motorischen Defizits als auch mit einem guten funktionellen Outcome, erfasst durch den Barthel-Index (z. B. Kandler et al., 1991; Heald et al., 1993; Pereon et al., 1995; Rapisarda et al., 1996; Timmerhuis et al., 1996; Hendricks et al., 1997; Escudero et al., 1998; Cruz-Martinez et al., 1999; Feys et al., 2000; Trompetto et al., 2000; Delvaux et al., 2003; Wöhrle et al., 2004) (hohe Qualität der Evidenz).

3. Das Fehlen von MEPs innerhalb der ersten Tage nach dem Schlaganfall ist signifikant häufiger mit einer schlechten Erholung der motorischen Funktionen verbunden. Da aber in mehreren Studien (z. B. Kandler et al., 1991; Trompetto et al., 2000; Hendricks et al., 2002; Delvaux et al., 2003) Subgruppen von Patienten beschrieben wurden, die trotz initial fehlender MEPs noch eine deutliche Verbesserung ihrer motorischen Funktionen aufwiesen, ist der negative prädiktive Wert dieses Verfahrens begrenzt (Escudero et al., 1998) (hohe Qualität der Evidenz). Prognostische Aussagen lassen sich daher zwar für Gruppen, nicht aber für einzelne Individuen treffen. Wahrscheinlich kann die Aussagekraft des Verfahrens durch eine Wiederholung in einem größeren Zeitabstand nach dem Schlaganfall (2 Wochen bis 2 Monate) verbessert werden. Allerdings besteht in diesem Fall auch eine längere klinische Beobachtungsphase, die auch schon für sich allein prognostische Aussagen gestattet (Escudero et al., 1998; Vang et al., 1999; Feys et al., 2000) (mittlere Qua-

lität der Evidenz). In Bezug auf das funktionelle Outcome (Barthel-Index) besteht eine große Variabilität und somit eine relativ geringe prognostische Bedeutung. So ergab die Berechnung der Sensitivität (= wie oft sagt ein fehlendes MEP in der Frühphase eine schlechte oder fehlende Funktionserholung voraus) einen Wert von 0.58, die Berechnung der Spezifität (= wie oft sagt ein initial nachweisbares MEP eine mindestens partielle Funktionserholung voraus) einen Wert von 0.796 (siehe Punkt 2). Diese Daten stammen aus der größten Einzelstudie mit 76 nach einem Jahr nachuntersuchten Patienten (Heald et al., 1993).

Drei der zur Verfügung stehenden Publikationen (Cruz-Martinez et al., 1999; Hendricks et al., 1997; Pennisi et al., 1995) waren aufgrund vergleichbarer Einschlusskriterien, homogener Bewertung und individueller Darstellung der Ergebnisse geeignet, um Daten zu poolen. Korreliert wurde das Ergebnis der TMS innerhalb der ersten 7 Tage (MEP auslösbar oder nicht auslösbar) mit dem Outcome nach mindestens 3 Monaten hinsichtlich der Erholung der Handfunktion. Aus Daten von insgesamt 64 Patienten, von denen 54 initial ple-gisch waren, ergaben sich die folgenden Verteilungen:

- Sensitivität (wie oft sagt ein fehlendes MEP in der Frühphase eine schlechte oder fehlende Funktionserholung voraus): 0.87

- Spezifität (wie oft sagt ein initial nachweisbares MEP eine mindestens partielle Funktionserholung voraus): 1.0

Der Vergleich der Sensitivitäts- und Spezifitätsergebnisse der Heald-Studie einerseits und der gepoolten Daten andererseits weist darauf hin, dass eine engere Korrelation der MEP-Ergebnisse mit der Handfunktion als mit dem globalen funktionellen Outcome besteht.

4. In schrittweisen Regressionsanalysen konnte zwar bestätigt werden, dass das TMS-Ergebnis ein eigenständiger Prädiktor des Outcomes war, allerdings waren die klinische Untersuchung (Kraftgrade oder Fugl-Meyer-Skala) (Escudero et al., 1998; Feys et al., 2000) bzw. das Ergebnis des initialen Barthel-Index (Timmerhuis et al., 1996) von jeweils größerer Bedeutung als die TMS-Untersuchung. Daher sollte das Ergebnis der TMS-Untersuchung im Kontext klinischer Befunde gewertet werden (mittlere Qualität der Evidenz; Empfehlungsgrad B).
5. Die Auswertung von Latenz und MEP-Amplitude hat, verglichen mit dem Vorhandensein oder Fehlen der MEPs, eine geringere prognostische Bedeutung (Catano et al., 1995; Wöhrle et al., 2004). Latenzverzögerungen und/oder Amplitudenminderungen persistieren oft trotz guter motorischer Erholung (Hömborg et al., 1991; Heald et al., 1993; Catano et al., 1995) (mittlere Qualität der Evidenz).

Patienten mit normalen Latenzen hatten allerdings in zwei Studien eine bessere Prognose als Patienten mit verzögerten Latenzen (Escudero et al., 1998; Vang et al., 1999). In mehreren Studien (Rapisarda et al., 1996; D’Olhaberriague et al., 1997; Palliyath, 2000) wurden die MEP-Amplituden als prognostisch bedeutsamer als die Latenzen gefunden (mittlere Qualität der Evidenz). Während MEPs mit normalen Latenzen und Amplituden eine gute prognostische Aussagekraft bezüglich des Outcomes haben (hohe Qualität der Evidenz), sind La-

tenzverzögerungen und/oder Amplitudenminderungen bezüglich eines schlechten Outcomes nur begrenzt verwertbar (hohe Qualität der Evidenz).

In einer Studie, in der nur Patienten mit einer Thalamusblutung eingeschlossen wurden, konnte bei Durchführung der TMS-Untersuchung innerhalb der ersten sechs Tage nach der Blutung keine prognostische Relevanz festgestellt werden (Shah et al., 2005). Dieses Ergebnis weist möglicherweise auf eine prinzipiell unterschiedliche Aussagekraft zwischen Patienten mit Ischämien und solchen mit Hirnblutungen, die pathophysiologisch begründbar ist, hin: Bei Blutungen sind sekundäre Phänomene wie verstärkte Kompression des Gewebes durch das ausgetretene Blut und die Entstehung von Ödemen von größerer Bedeutung als bei Ischämien. Diese Phänomene beeinträchtigen neuronale Funktionen zwar initial, sind aber prinzipiell reversibel. Das kann ggf. erklären, warum die Ergebnisse der TMS-Untersuchung in der Frühphase nur begrenzte Aussagekraft haben.

### ■ Schlussfolgerung und Empfehlung 2

Die Durchführung einer TMS-Untersuchung zur Prognose wird nicht generell für alle Schlaganfall-Patienten empfohlen. Wenn, dann soll die TMS-Untersuchung unter Einschluss von Fazilitationsmanövern durchgeführt werden (**Empfehlungsgrad A**). Eine TMS-Untersuchung sollte im Verlauf der Rehabilitation dann erfolgen, wenn sich in Abhängigkeit vom Ergebnis dieser Untersuchung ein (anderes) rehabilitativ-therapeutisches Vorgehen ergeben könnte, z. B. Fortführung eines Trainings für die betroffene obere Extremität trotz weiter bestehender Plegie der Hand (**Empfehlungsgrad B**). In jedem Fall sollte das Ergebnis der TMS-Untersuchung im Kontext des klinischen Befundes interpretiert werden (Empfehlungsgrad B). Latenzen und Amplituden haben eine geringere prognostische Bedeutung als die grundsätzliche Auslösbarkeit bzw. das Fehlen eines MEPs (**Empfehlungsgrad B**). Das Fehlen eines MEPs in der Frühphase nach Schlaganfall soll nicht dazu führen, die Rehabilitation der betroffenen oberen Extremität zu verwehren (**Empfehlungsgrad A**).

## 3 SOMATOSENSIBEL EVOZIERTE POTENTIALE DURCH STIMULATION DES N. MEDIANUS

Initial wurden 199 Studien identifiziert. Von diesen wurden 10 berücksichtigt. Die anderen Arbeiten wurden aus sehr unterschiedlichen Gründen heraus nicht berücksichtigt, u. a. wenn es sich um chronische Patienten handelte, wenn Magnetenzephalographie die Methode war, da dieses Verfahren nur an wenigen Orten zur Verfügung steht, wenn es um perioperatives Monitoring ging. In dieser Analyse wurden die Daten von 466 Patienten, die zwischen 1982 und 2005 publiziert worden sind, berücksichtigt. Der Zeitpunkt der SSEP-Untersuchung war heterogen und lag zwischen dem ersten Tag und ca. 8 Wochen nach Schlaganfall. Auch die Nachbeobachtungszeit schwankte erheblich und lag zwischen ca. 8 Wochen und 6 Monaten. Zum Teil wurden Korrelationsanalysen, z. T. auch schrittweise Regressionsanalysen durchgeführt. Die Einteilung der Patienten erfolgte entweder dichotomisiert (SSEPs

auslösbar oder nicht) oder in 3 Gruppen (SSEP normal, SSEP ableitbar, aber anormal, SSEP fehlend). Es wurden auch Hirnblutungen untersucht, aber getrennt von den Ischämien ausgewertet (Tzvetanov et al., 2005). Als klinische Kriterien wurden z. T. motorische Funktionen, überwiegend jedoch das funktionelle Outcome gemäß dem Barthel-Index herangezogen. In einigen Studien (Macdonell et al., 1989; Pereon et al., 1995; Timmerhuis et al., 1996; Feys et al., 2000) wurden Vergleiche zwischen der prognostischen Relevanz von SSEPs und MEPS durchgeführt. Die Daten von einigen Studien (La Joie et al., 1982; Chester et al., 1989; MacDonell et al., 1989; Péréon et al., 1995; Hendricks et al., 1997) konnten gepoolt werden, da Ergebnisse individuell dargestellt wurden. Als SEP-Einteilungskriterien gab es »normal«, »abnorm« (Latenz oder Amplitude pathologisch) und »fehlend«. In klinischer Hinsicht gab es »gute Erholung«, »mäßige Erholung« und »schlechte Erholung«.

Initial fehlende kortikale SSEPs waren in 71 Fällen mit einer schlechten Erholung, in 6 Fällen mit einer mäßigen und in 9 Fällen mit einer guten Erholung assoziiert. Bei abnormen SSEPs kam es in 10 Fällen zu einer schlechten, in 6 Fällen zu einer mäßigen und in 5 Fällen zu einer guten Erholung. Bei normalen SSEPs kam es in 30 Fällen zu einer guten, in 8 Fällen zu einer mäßigen und 9 Fällen zu einer schlechten Erholung. Zur Berechnung von Sensitivität und Spezifität wurden nur normale versus fehlende SSEPs und gute versus schlechte Erholung berücksichtigt.

- Sensitivität (wie oft sagt ein fehlendes SSEP in der Frühphase eine schlechte oder fehlende Funktionserholung voraus): 0.89
- Spezifität (wie oft sagt ein initial nachweisbares SSEP eine mindestens partielle Funktionserholung voraus): 0.74

Als wesentliche Aussagen ergeben sich:

1. Das Fehlen der kortikalen Antworten ist mit hoher Wahrscheinlichkeit mit einer schlechten Prognose hinsichtlich einer Erholung motorischer Funktionen verbunden (La Joie et al., 1982), schließt eine Funktionserholung allerdings nicht aus (MacDonell et al., 1989; Péréon et al., 1995; Hendricks et al., 1997) (hohe Qualität der Evidenz).
2. Bei Nachweis von kortikalen SSEPs ist der weitere Verlauf nicht sicher vorhersagbar. Es kann sowohl zu einer guten Erholung, aber auch weitgehender Persistenz des motorischen Defizits kommen (mittlere Qualität der Evidenz) (La Joie et al., 1982; Chester et al., 1989; Gott et al., 1990; Keren et al., 1993).
3. Im Vergleich der prognostischen Aussagekraft waren die SSEPs den MEPS unterlegen (Macdonell et al., 1989; Pereon et al., 1995; Timmerhuis et al., 1996). Insbesondere bei schrittweisen Regressionsanalysen blieben die MEPS als prädiktiver Faktor erhalten, die SSEPs hingegen nicht (Pereon et al., 1995; Timmerhuis et al., 1996). In der Studie von Feys et al. (2000) war die prognostische Relevanz vom Zeitpunkt der Untersuchung abhängig: In der Frühphase waren die SSEPs prognostisch wichtiger, bei Untersuchung 2 Monate nach dem Schlaganfall waren die MEPS relevanter (mittlere Qualität der Evidenz).

In der Studie mit der größten Patientenzahl (n=130) ergab sich eine mäßige Korrelation ( $r=0.34$ ) zw. Barthel-Index und N20 Amplitude bei Ischämien sowie zwischen Rankin-Skala und N20 ( $r=-0.34$ ) bei Blutungen. Bei großen Blutungen ergab sich eine schlechtere Korrelation (Tzvetanov et al., 2005).

### ■ Schlussfolgerung und Empfehlung 3

Die Durchführung einer Medianus-SSEP-Untersuchung zur Prognose wird nicht generell für alle Schlaganfall-Patienten empfohlen. Wenn möglich, sollte zur Frage einer motorischen Funktionserholung eine TMS-Untersuchung durchgeführt werden, da diese prognostisch aussagekräftiger ist (**Empfehlungsgrad B**). SSEP-Ergebnisse sind bei Fehlen einer kortikalen Antwort prognostisch aussagefähiger als bei erhaltener kortikaler Antwort (**Empfehlungsgrad B**).

### Interessenvermerk

keine Angaben

### Literatur

- Catano A, Houa M, Caroyer JM, Ducarne H, Noel P. Magnetic transcranial stimulation in non-haemorrhagic sylvian strokes: interest of facilitation for early functional prognosis. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* 1995; 97: 349-354.
- Catano A, Houa M, Caroyer JM, Ducarne H, Noel P. Magnetic transcranial stimulation in acute stroke: early excitation threshold and functional prognosis. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* 1996; 101: 233-239.
- Chester CS, McLaren CE. Somatosensory evoked response and recovery from stroke. *Arch Phys Med Rehabil* 1989; 70: 520-525.
- Cruz Martinez A, Tejada J, Dietz Tejedor E. Motor hand recovery after stroke. Prognostic yield of early transcranial magnetic stimulation. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 1999; 39: 405-410.
- Dachy B, Biltiau E, Bouillot E, Dan B, Deltenre P. Facilitation of motor evoked potentials in ischemic stroke patients: prognostic value and neurophysiologic correlations. *Clin Neurophysiol* 2003; 114: 2370-2375.
- Delvaux V, Alagona G, Gérard P, De Pasqua V, Pennisi G, Maertens de Noordhout A. Post-stroke reorganization of hand motor area: a 1-year prospective follow-up with focal Transcranial magnetic stimulation. *Clin Neurophysiol* 2003; 114: 1217-1225.
- D'Olhaberrigague L, Espadaler Gamissans JM, Marrugat J, Valls A, Oliveras Ley C, Seoane JL. Transcranial magnetic stimulation as a prognostic tool in stroke. *J Neurol Sci* 1997; 147: 73-80.
- Escudero JV, Sancho J, Bautista D, Escudero M, Lopez-Trigo J. Prognostic value of motor evoked potential obtained by transcranial magnetic brain stimulation in motor function recovery in patients with acute ischemic stroke. *Stroke* 1998; 29: 1854-1859.
- Feys H, Van Hees J, Bruyninckx F, Mercelis R, De Weerd W. Value of somatosensory and motor evoked potentials in predicting arm recovery after a stroke. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 2000; 68: 323-331.
- Gott P, Karnaze DS, Fisher M. Assessment of median nerve somatosensory evoked potentials in cerebral ischemia. *Stroke* 1990; 21: 1167-1171.
- Heald A, Bates D, Cartledge NE, French JM, Miller S. Longitudinal study of central motor conduction time following stroke. 2. Central motor conduction measured within 72 h after stroke as a predictor of functional outcome at 12 months. *Brain* 1993; 116: 1371-1385.
- Hendricks HT, Hageman G, van Limbeek J. Prediction of recovery from upper extremity paralysis after stroke by measuring evoked potentials. *Scand J Rehabil Med* 1997; 29: 155-159.
- Hendricks HT, Zwarts MJ, Plat EF, van Limbeek J. Systematic review for the early prediction of motor and functional outcome after stroke by using motor-evoked potentials. *Arch Phys Med Rehabil* 2002; 83: 1303-1308.
- Homberg V, Stephan KM, Netz J. Transcranial stimulation of motor cortex in upper motor neurone syndrome: ist relation to the motor deficit. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1991; 81: 377-388.
- Kandler RH, Jarratt JA, Venables GS. Clinical value of magnetic stimulation in stroke. *Cerebrovasc Dis* 1991; 1: 239-244.
- Keren O, Ring H, Solzi P, Pratt H, Groswasser Z. Upper limb somatosensory evoked potentials as a predictor of rehabilitation progress in dominant hemisphere stroke patients. *Stroke* 1993; 24: 1789-1793.
- La Joie WJ, Reddy NM, Melvin JL. Somatosensory evoked potentials: their predictive value in right hemiplegia. *Arch Phys Med Rehabil* 1982; 63: 223-226.
- Macdonell RA, Donnan GA, Bladin PF. A comparison of somatosensory evoked and motor evoked potentials in stroke. *Ann Neurol* 1989; 25: 68-73.
- Palliyath S. Role of central conduction time and motor evoked response amplitude in predicting stroke outcome. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 2000; 40: 315-320.
- Pennisi G, Rapisarda G, Bella R, Calabrese V, Maertens de Noordhout A, Delwaide PJ. Absence of response to early transcranial magnetic stimulation in ischemic stroke patients: prognostic value for hand motor recovery. *Stroke* 1999; 30: 2666-2670.
- Péron Y, Aubertin P, Guihenuc P. Prognostic significance of electrophysiological investigations in stroke patients: somatosensory and motor evoked potentials and sympathetic skin response. *Neurophysiol Clin* 1995; 25: 146-157.
- Rapisarda G, Bastings E, Maertens de Noordhout A, Pennisi G, Delwaide PJ. Can motor recovery in stroke patients be predicted by early transcranial magnetic stimulation? *Stroke* 1996; 27: 2191-2196.
- Shah SD, Kalita J, Misra UK, Mandal SK, Srivastava M. Prognostic predictors of thalamic hemorrhage. *J Clin Neurosci* 2005; 12: 559-561.
- Timmerhuis TP, Hageman G, Oosterloo SJ, Rozeboom AR. The prognostic value of cortical magnetic stimulation in acute middle cerebral artery infarction compared to other parameters. *Clin Neurol Neurosurg* 1996; 98: 231-236.
- Trompetto C, Assini A, Buccolieri A, Marchese R, Abbruzzese G. Motor recovery following stroke: a transcranial magnetic stimulation study. *Clin Neurophysiol* 2000; 111: 1860-1867.
- Tzvetanov P, Rousseff RT. Predictive value of median-SSEP in early phase of stroke: a comparison in supratentorial infarction and hemorrhage. *Clin Neurol Neurosurg* 2005; 107: 475-481.
- Vang C, Dunbabin D, Kilpatrick D. Correlation between functional and electrophysiological recovery in acute ischemic stroke. *Stroke* 1999; 30: 2126-2130.
- Wöhrle J, Beherens S, Mielke O, Hennerici MG. Early motor evoked potentials in acute stroke: adjunctive measure to MRI for assessment of prognosis in acute stroke within 6 hours. *Cerebrovasc Dis* 2004; 18: 130-134.

### Korrespondenzadresse:

Prof. Dr. med. Joachim Liepert  
 Kliniken Schmieder  
 Zum Tafelholz 8  
 D-78476 Allensbach  
 E-Mail: j.liepert@kliniken-schmieder.de