

Intraoperatives Monitoring in der Neurochirurgie der Wirbelsäule

- **Elektrophysiologische Überwachung der Nervenfunktion**
- **Schonung des Nervengewebes, Minderung neurologischer Komplikationen**
- **Wichtigste Indikation: Operation spinaler Raumforderungen**
- **Weitere Anwendungsgebiete: ORL-, Hirn- und periphere Nerven Chirurgie**

Operationsmikroskop und moderne bildgebende Verfahren ermöglichen heute eine anatomisch exakte Planung und Durchführung neurochirurgischer Eingriffe. Oft genügt jedoch die anatomische Schonung eines Nerven oder des Rückenmarkes allein noch nicht, um auch die Leitfähigkeit dieser Bahnen zu erhalten und postoperative neurologische Ausfälle zu verhindern.

Zur Kontrolle der Nervenleitfähigkeit während der Operation werden deshalb unter dem Sammelbegriff intraoperatives Neuromonitoring (IOM) elektrophysiologische Techniken verwendet.

Im folgenden zeigen wir – aufgrund eigener Erfahrungen bei rund 1000 mit IOM überwachten Eingriffen seit 1988 – die heute für die Praxis wichtigen Techniken, um während einer Operation die Funktion von Rückenmark, Nervenwurzeln und Cauda equina zu untersuchen. Der Chirurg stellt an das IOM zwei Anforderungen: 1) Hilfe bei der anatomischen Identifizierung von Nervenbahnen im Bereich des Operationsfeldes, und 2) kontinuierliche Funktionskontrolle dieser Nervenbahnen während der Operation.

die erforderliche anatomische Klarheit, wenn man mittels IOM zuerst eine Art «Landkarte» der Nervenbahnen am Tumor erstellt, bevor der Tumor selbst angegangen wird. Intaktes Nervengewebe lässt sich dadurch positiv nachweisen, dass dessen direkte elektrische Reizung eine für den betreffenden Nerven typische Reizantwort auslöst (Abb. 1).

Wird *peripher-motorisches* Nervengewebe gereizt, so lassen sich aus der dazugehörigen Willkürmuskulatur mit Nadelelektroden Muskelantworten ableiten (Abb. 1a, b). Stimuliert man statt dessen *peripher-sensorisches* Nervengewebe, so lassen sich proximal davon Nervenaktionspotentiale oder über dem kontralateralen Skalp somatosensorisch evozierte Potentiale (siehe unten) ableiten (Abb. 1a, c). Wird die Reizelektrode dagegen abseits von leitendem Nervengewebe, z.B. auf den Tumor oder auf Bindegewebe gelegt, ist keine Reizantwort erhältlich.

Funktionskontrolle «on-line»

Um die Funktion des noch intakten Nervengewebes auch während der chirurgischen Manipulationen kontinuierlich zu überprüfen, werden – je nach Fragestellung – unterschiedliche Reiz- und Ableitetechniken verwendet. Während der gesamten Operation besprechen das IOM-Team und der Chirurg ihre Befunde.

Die *aufsteigenden Bahnen* werden intraoperativ mit der Technik der somatosensorisch evozierten Potentiale (SSEP) untersucht. Die SSEPs beruhen darauf, dass die elektrische Reizung sensibler peripherer Nerven (z.B. N. medianus und N. tibialis) in den Hintersträngen des Rückenmarks und im Gehirn Potentialänderungen von der Grösse einer Hirnstromwelle (EEG) hervorruft. Bei repetitiver Reizung können diese Wellen elektronisch aus dem Spontan-EEG herausgemittelt (averaging) und als Serie von Potentialgipfeln auf einem Monitor sichtbar gemacht werden (Abb. 2 b).

Die *zentral-motorischen Bahnsysteme* (Pyramidenbahnen im Rückenmark) werden analog getestet. Reizt man den motorischen Hirnkortex mit einzelnen magnetisch indu-

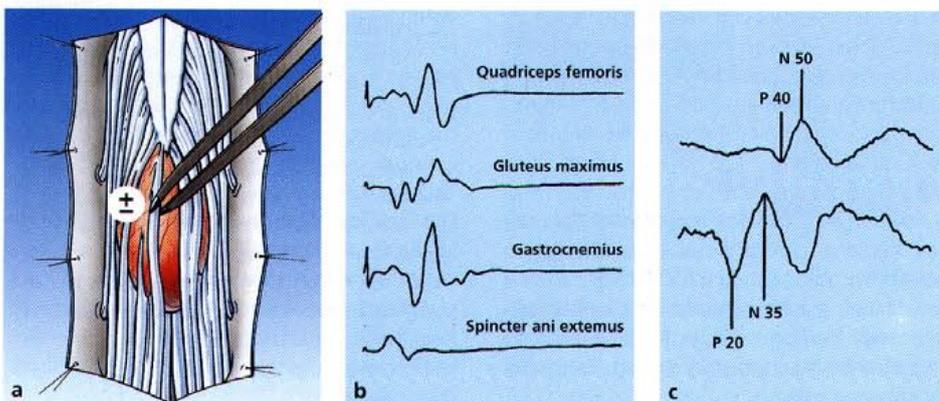


Abb. 1
Suchen von Nervenfasern, die mit einem Kaudatumor verwachsen sind: Elektrische Reizung im Operationsgebiet (a), Registrieren von Muskelantworten bei Reizung motorischer Fasern (b), Registrieren einer somatosensorisch evozierten Antwort P 20/N 35 (c) bei Reizung sensorischer Fasern.

«Landkarte» der Nervenbahnen

Ein pathologischer Prozess (z.B. ein Tumor) im Bereich des Nervensystems kann die bereits im Normalzustand variable Anatomie derart verändern, dass es selbst unter dem Operationsmikroskop unmöglich wird, intaktes Nervengewebe von Tumor oder funktionstüchtiges von nicht-leitendem Gewebe zu unterscheiden. Hier erreicht man

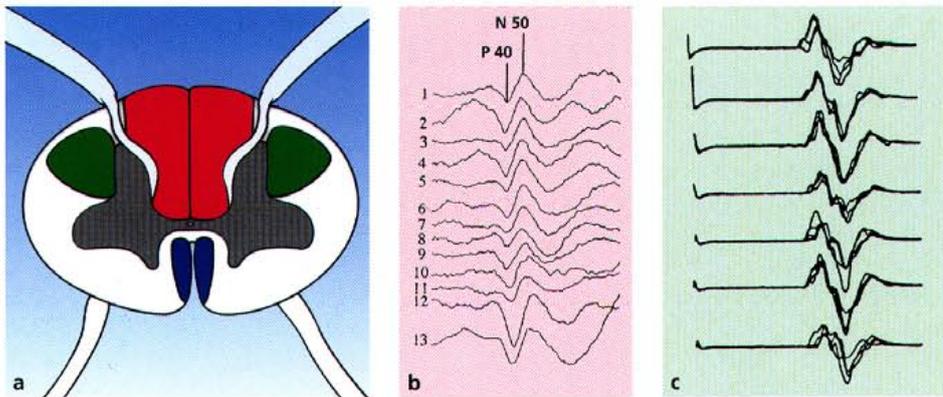


Abb. 2
Kontinuierliche Überwachung einzelner Rückenmarksanteile (a): Die sensorischen Hinterstränge (rot) werden mittels somatosensorisch evozierter Potentiale (b), die laterale Pyramidenbahn (grün) wird mittels motorisch evozierter Potentiale (c) erfasst, der Rest des Rückenmarks ist nicht überwacht.

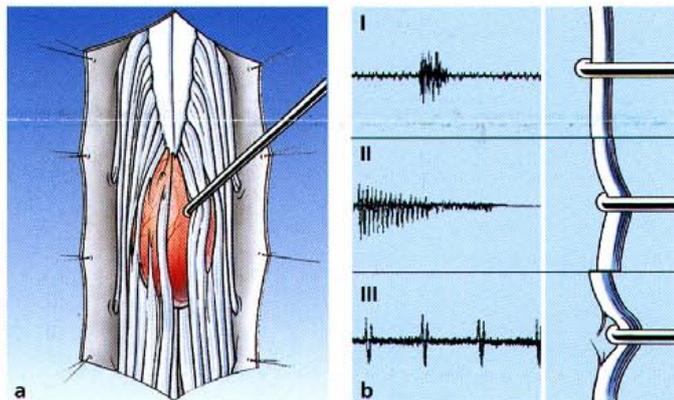


Abb. 3
Kontinuierliche Überwachung motorischer Nerven: Berührung und Manipulation motorischer Kaudafasern (a) lösen an den Beinmuskeln variable Muster von Spontanaktivität aus (b), die den Chirurgen vor einer Schädigung warnen wie z.B. Berührung (I), Druck/Zug (II) oder Zerreissung (III).

Hirsländen-Gruppe

Zollikerstrasse 164 ■
CH-8008 Zürich ■
Telefon 01-388 85 85 ■
Fax 01-388 85 88 ■

Die Hirsländen-Gruppe
Clinique Cecil Lausanne ■
Klinik Beau-Site Bern ■
Klinik Hirsländen Zürich ■
Klinik Im Park Zürich ■
Klinik Im Schachen Aarau ■

zierten oder elektrischen Strömen durch den intakten Schädel hindurch, lassen sich beim wachen, und unter bestimmten Narkosebedingungen auch beim anaesthetisierten Patienten in den Skelettmuskeln Potentiale ableiten (Abb. 2c).

Amplituden- und Latenzmessungen der Potentiale erlauben Rückschlüsse auf die Funktion dieser Fasern. Bleiben die sensorisch oder motorisch evozierten Potentiale

während einer chirurgischen Manipulation stabil, ist von einer intakten Funktion der betreffenden Bahnen auszugehen. Bei Zug, Druck oder Manipulation an den Bahnen kommt es zu einer zunächst reversiblen Potentialänderung. Der Chirurg hat dann die Möglichkeit, sein Vorgehen zu modifizieren. Verwendet werden diese Untersuchungen bei Auf-

richte- oder Dekompressions-Operationen der Wirbelsäule oder bei Operationen von Raumforderungen am und im Rückenmark, an einzelnen spinalen Nervenwurzeln und in der Cauda equina.

Auf einem anderen Prinzip beruht die Funktionskontrolle *peripherer motorischer Bahnen*. Hier bedient man sich der kontinuierlichen elektromyographischen (EMG) Ableitung von Potentialen aus verschiedenen Skelettmuskeln. Jede Berührung oder Schädigung z.B. motorischer Kaudafasern (Abb. 3a) führt gleichzeitig zu einer Entladung in der dazugehörigen Muskelgruppe (Abb. 3b). Solche EMG-Phänomene lassen sich auf einem Monitor für den Elektrophysiologen sichtbar und über einen Lautsprecher für den Chirurgen hörbar machen. So ist es dem Chirurgen gleichzeitig mit jeder einzelnen Präparationsbewegung möglich zu erkennen, ob er am Nerven selbst präpariert, diesen sogar schädigt, oder ob seine Präparationstechnik für die abgeleiteten motorischen Bahnen unschädlich ist.

Wertigkeit des IOM

Die meisten an der Wirbelsäule tätigen Neurochirurgen halten heute – nach den bildgebenden Verfahren – das *Operationsmikroskop* für ihr wichtigstes Hilfsmittel, weil es immer dort eine «uhrmacherähnliche» Präzision ermöglicht, wo die Nähe zum Rückenmark oder zu spinalen Nerven solche Genauigkeit erfordert. Dennoch operieren wir, wenn wir uns auf anatomische Hilfsmittel allein beschränken müssen, während gewisser Phasen in einer Art «black box», was das Risiko einer unbemerkten chirurgischen Schädigung natürlich erhöht.

Beispiele hierfür sind Operationen, bei denen die fehlende visuelle Kontrolle der Nervenbahnen aus technischen Gründen bewusst in Kauf genommen wird, wie bei Repositionen, Aufrichtungen und Stabilisationen der Wirbelsäule. In anderen Fällen erschwert der pathologische Prozess selbst die Unterscheidung zwischen Nervengewebe und Umgebung, so z.B. bei Dekompressionen von Rückenmark und Nervenwurzeln bei schweren Spondylosen und in der spinalen Tumorchirurgie. Oft kann der Chirurg trotz optimaler Präparationstechnik nicht einschätzen, wie viel zusätzlichen Druck, Zug oder Präparation das bereits vorgeschädigte Nervengewebe noch toleriert.

Das IOM dient dem Chirurgen somit als «*Navigationsinstrument*». Der klinische Neurophysiologe, der die Untersuchungen durchführt und mit dem Chirurgen in engem Gesprächskontakt steht, ist entsprechend nichts anderes als ein Lotse durch risikoreiche Phasen einer Operation. Eine vom Chirurgen nicht wahrgenommene Nervenläsion im Operationsfeld verändert die Nervenleitung – das IOM warnt den Chirurgen – der Chirurg korrigiert sein Vorgehen – die Potentiale werden wieder normal – der Chirurg arbeitet mit leicht modifizierter Technik weiter.

Die Ziele der IOM gestützten Mikrochirurgie sind offensichtlich: Durch anatomisch genaue Gewebepreparation, während der stets auch die Funktion der Nervenbahnen bekannt ist, lässt sich ein *chirurgischer Eingriff schnell und atraumatisch* durchführen. Damit lassen sich die Risiken *neurologischer Komplikationen* bei verschiedenen Operationstypen – in der spinalen Chirurgie, aber auch bei Eingriffen im Bereich von *ORL, Hirn und peripheren Nerven* – nachweislich mindern.

PD Dr. med. Urs D. Schmid
Neurochirurgie, Klinik Im Park, Zürich