Neuronavigation und Elektrophysiologie

Intraoperative anatomische Darstellung funktioneller Regionen des sensomotorischen Kortex

Gabriele A. Krombach[1], Uwe Spetzger[1], Veit Rohde[1], Wilhelm Küker[2], Claudia Zacharias[2], Joachim M. Gilsbach[1]

[1]Neurochirurgische Klinik, [2]Abteilung für Neuroradiologie
Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule (RWTH), 52057 Aachen
Email: g.krombach@usa.net

Zusammenfassung. Die Operation cerebraler Läsionen im Bereich der Zentralregion erfordert intraoperativ eine exakte anatomische Orientierung und die Kenntnis der individuellen Lage funktionell wichtiger Regionen, um operationsbedingte motorische Defizite zu vermeiden. Wir kombinierten bei 29 Patienten die intraoperative Neuronavigation, mit der Phasenumkehr somatosensorisch evozierter Potentiale und der elektrischen Stimulation des Kortex. Durch dieses Vorgehen gelang die Orientierung in der individuellen Anatomie, die Identifikation funktioneller motorischer Areale, ihre anatomische Darstellung und die Evaluation ihrer Lage in Bezug auf die Läsion.

Schlüsselwörter: Computer-assisted Surgery, Neuronavigation, Phasenumkehr, Elektrostimulation

1 Einleitung

Seit der Einführung von Computertomographie und Magnetresonanztomographie in die Routinediagnostik gelingt es, kleine Tumoren, die noch keine oder nur geringe neurologische Defizite ausgelöst haben zu erkennen. Damit ist die Möglichkeit einer frühen Operation verbunden, die dem Patienten die Entwicklung ausgeprägter Symptome und folgender Komplikationen ersparen kann. Die intraoperative Orientierung ist jedoch durch den Mangel an anatomischen Landmarken, insbesondere bei Läsionen, die in der Tiefe des Gehirns liegen und von gesundem Gewebe bedeckt werden schwierig. Die Einführung der Computer-Assisted-Surgery erlaubte erstmals eine interaktive Orientierung anhand eines CT- oder MRT-Datensatzes intraoperativ am Patienten. Operationen im Bereich des sensomotorischen Kortex erfordern darüber hinaus die Kenntnis der individuellen Lage funktionell wichtiger Regionen und ihrer Relation zu der Läsion, um dieses Gewebe schonen zu können. Durch die mehrkanalige Ableitung somatosensorisch evozierter Potentiale (SSEP) von der Hirnoberfläche kann der Sulkus centralis lokalisiert werden. Mittels der elektrischen Stimulation des Motorkortex werden anschließend funktionelle Regionen identifiziert. Die Neuronavigation kann diese Areale in der individuellen Anatomie darstellen und ermöglicht so die Beurteilung ihrer Lage in Bezug auf die Läsion.

2 Material und Methoden

2.1 Patienten

29 Patienten mit Läsionen in der Zentralregion (m: 16; w: 13, mittleres Alter: 59 Jahre, 22-78; 9 Meningeome, 9 Metastasen, 7 Gliome, 3 Kavernome, 1 Hamartom) wurden unter Anwendung der Neuronavigation und der Mappingtechniken operiert. Die Eingriffe wurden bei Vollnarkose, ohne Muskelrelaxation durchgeführt.

2.2 Neuronavigation

Das EasyGuide Neuro (Philips Medical Systems, Best, Niederlande) stellt ein interaktives Navigationssystem zur Orientierung bei neurochirurgischen Operationen dar. Das Gerät besteht aus einer mobilen UNIX 4.0 Workstation und einem optischen, mit Infrarotlicht arbeitendem Meßsystem aus zwei am Operationstisch fixierten Kameras und einem mit Leuchtdioden ausgestatteten Zeigeinstrument. Präoperativ werden 5-8 kontrastmittelhaltige Hydrogelmarkierungen auf der Kopfhaut des Patienten fixiert und ein MRT durchgeführt. In diesem 3-D Datensatz werden die Marker an der Workstation identifiziert und unmittelbar vor der Operation auf dem fixierten Kopf des Patienten mit dem Zeigeinstrument registriert. Nach dieser Kalibrierung superpositioniert das System die Lage des Zeigeinstruments und das Volumenmodel. Die Darstellung des Zeigers in Relation zum Operationsfeld ermöglicht nun die genaue Orientierung: Tief liegende intracerebrale Prozesse können auf die Oberfläche projeziert werden, so daß der optimale Zugangsweg am Kopf des Patienten geplant werden kann. Intraoperativ ist es jederzeit möglich, die Position des Instrumentes in der realen Anatomie in den Bilddaten anzuzeigen, und sich so immer wieder erneut zu orientieren [1]. Mittels des Navigationssystems wurde die exakte Planung der Kraniotomie und die Lokalisation der Läsion durchgeführt.

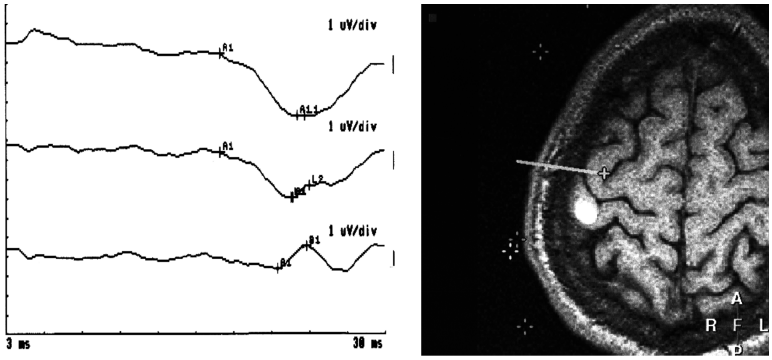

Abbildung 1. links: drei-kanalige Ableitung der SSEP Phasenumkehr; rechts: Position des ersten Kanals der Streifenelektrode mittels des Navigationssystems angezeigt.

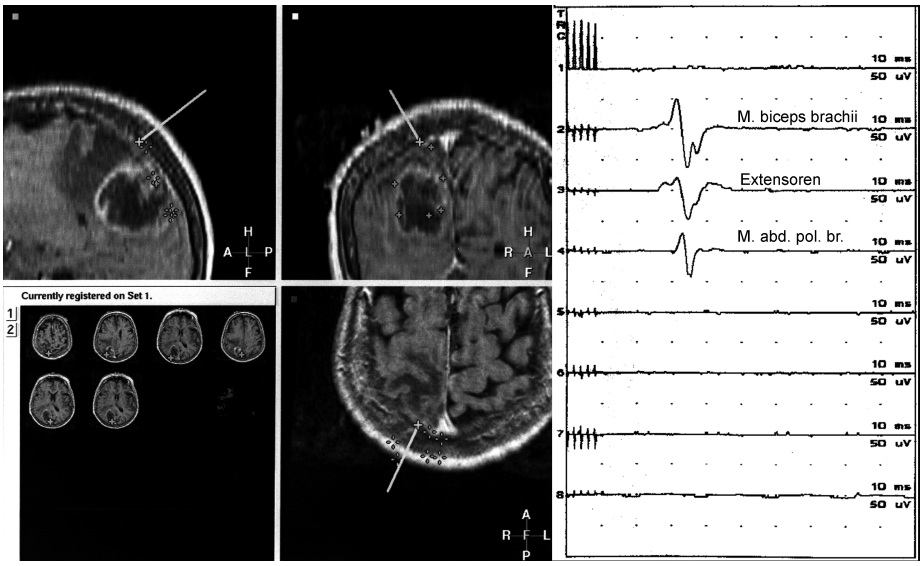

Abbildung 2. Kortikale Stimulation. links: Lage der Stimulationselektrode, rechts: Muskelsummenaktionspotentiale

2.3 Elektrophysiologie

Nach der Durchführung der Trepanation wurden somatosensorisch evozierte Potentiale (SSEP) vom Kortex abgeleitet um den Sulcus centralis anhand der Phasenumkehr zu identifizieren [2]. Hierfür wurde der kontralaterale N. medianus am Handgelenk elektrisch stimuliert und die Potentiale mit einer parallel zur Mittellinie auf den Kortex aufgelegten 4-kanaligen Streifenelektrode (Add-Tech, Medical Instrument Cooperation, Racine, WI, USA) aufgenommen. Die Referenzelektrode lag bei Fpz (Internationales 10-20 Schema). Für jede Ableitung wurden simultan aus 3 Kanälen 200 Sweeps gemittelt. Vom primären sensorischen Kortex, der im Gyrus postcentralis liegt, kann ein negatives Potential mit einer Latenz von 20 ms abgeleitet werden, während vom primären motorischen Kortex, der vor dem Sulcus centralis im Gyrus präcentralis liegt, eine positive Potentialantwort bei 22 ms (P22) registriert werden kann (Abb. 1). Die Position der Streifenelektrode, bei der die Phasenumkehr ableitbar war, wurde mit den Navigationssystem angezeigt, so daß der Sulcus centralis auch auf dem MRT identifiziert werden konnte. Die Größe der Kraniotomie wurde nicht an die Größe der Elektrode angepaßt, sondern nur so groß gewählt, wie für die Entfernung der Läsion unabdingbar, um nicht unnötig gesundes Gewebe zu exponieren und hierdurch zu gefährden. War die Ableitung der Phasenumkehr aus diesen operationstechnischen Gründen nicht möglich, stellte die Stimulation des Kortex den ersten Schritt dar.

Mittels einer auf den Kortex aufgelegten Plättchenelektrode wurde ein monopolarer anodischer Reiztrain von 5 Impulsen (500 Hz) apliziert. Die Kathode war bei Fpz fixiert. Die Ableitung erfolgte über subdermale Nadelelektroden, die nach der Belly-

Tendon Methode über 8 Zielmuskeln plaziert worden waren. Standardisiert wurden jeweils 4 Muskeln der kontralateralen oberen und unteren Extremität herangezogen, oder andere, in Abhängigkeit von den präoperativen Symptomen ausgewählt. Die Potentiale wurden mittels eines elektrophysiologischen Meßsystems (Viking IV, Nicolet Biomedical Instruments, Madison, WI, USA) aufgezeichnet (Filter: 30-3000 Hz, Empfindlichkeit 10 µV/Division). An dem Ort der besten P22 der Phasenumkehr wurde mit der Stimulation begonnen. Die Stimulusstärke wurde schrittweise erhöht, bis Potentiale aufgetreten sind oder die Grenze von 25 mA erreicht worden war [3]. Konnten motorisch evozierte Potentiale (MEPs) ausgelöst werden, wurde die Lage der Stimulationselektrode mittels des Navigationssystems evaluiert (Abb. 2). Die funktionell wichtigen Areale wurden so in Relation zu der Läsion auf dem Bildschirm des Navigationssystems dargestellt. Der Chirurg konnte nun den sichersten Zugang zu der Läsion wählen. Mußte eine Läsion in unmittelbarer Nähe zum primären Motorkortex reseziert werden, wurden die MEPs permanent gemonitort.

3 Ergebnisse

Bei 12 (12/15) Patienten konnte die Phasenumkehr abgeleitet und der Sulcus centralis mittels des Neuronavigationssystems dargestellt werden (Abb. 1). Bei 25 der insgesamt 29 Patienten führte die kortikale Stimulation zur Auslösung reproduzierbarer MEPs.. Einer der Patient, bei den die kortikale Stimulation keine Potentialantworten hervorgerufen hat, hatte ebenfalls keine ableitbaren SSEPs. Das MRT zeigte ein ausgeprägtes Ödem des Gewebes; präoperativ bestand jedoch nur eine leichte Hemiparese. Bei dem zweiten Patienten war nur die Phasenumkehr ableitbar; der Motorkortex war durch die Läsion nach rostral und unten verdrängt worden und zunächst nicht zugänglich. Bei den beiden weiteren Patienten, zeigte die Navigation, daß der Motorkortex nicht durch die Trepanation freigelegt worden war

Bei den 23 Patienten mit erfolgreich ausgelösten MEPs konnte der sensomotorische Kortex durch den Einsatz der Mappingtechniken und der Navigation identifiziert werden. Bei Aufnahme hatten 16 der 29 Patienten ein motorisches Defizit. Neun Patienten gaben Krampfanfälle und 3 Kopfschmerzen als einzige Symptome an. Unmittelbar postoperativ hatte nur einer der 12 Patienten ohne präoperatives motorisches Defizit eine Armschwäche, die sich jedoch nach drei Tagen vollständig zurückgebildet hatte. Von den 15 Patienten mit präoperativen motorischen Defiziten blieben acht postoperativ unverändert. Bei vier Patienten verbesserten sich die motorischen Fähigkeiten. Drei hatten zunächst verstärkte Lähmungen, die sich jedoch in zwei Fällen zurückbildeten und nur bei einem Patienten bestehenblieben.

Zusammenfassend verbesserte sich die Motorik bei 4 Patienten und blieb bei 10 präoperativ symptomatischen Patienten unverändert und bei den 12 motorisch asymptomatischen Patienten erhalten. Nur ein Patient erlitt ein operationsbedingtes bleibendes Defizit.

4 Diskussion

In dieser Studie wurden erstmals Neuronavigation, SSEP Phasenumkehr und die elektrische Stimulation des Gehirns kombiniert. In vorausgehenden Untersuchungen stellte Fiersching et al. den Sulcus centralis mittels der Phasenumkehr dar und benutzte Ultraschall zur Lokalisation der Läsion [4]. Mit dieser Technik können jedoch motorische Areale des Kortex nicht identifiziert und dargestellt werden. Reinhardt et al. setzte bei 2 Patienten Neuronavigation und kortikale Stimulation ein [5]. Er beurteilte diese Technik als wertvolle Hilfe, um die komplette Resektion maligner Tumoren zu erreichen, erachtete den technischen Aufwand jedoch als zu hoch für den Einsatz bei allen Operationen im Bereich der Zentralregion.

Die Phasenumkehr erlaubt die sichere und exakte Identifikation des Sulcus centralis. Der Einsatz dieser Methode reduziert die für das gesamte Mapping der Zentralregion benötigte Zeit, da die kortikale Stimulation gezielter vorgenommen werden kann. Um über die Identifikation funktioneller Regionen hinaus ihre Konstellation zu der Läsion darstellen zu können, ist der Einsatz eines bildgebenden Verfahrens unabdingbar. Die Neuronavigation bietet eine millimetergenaue Orientierung in Echtzeit und bildet das Kortexrelief anhand von MRT-Daten detailliert ab. Die identifizierten funktionellen Regionen können in der individuellen Anatomie in Relation zu der Läsion dargestellt werden, so daß der Chirurg eine umfassende Kenntnis der Topographie und Funktion des Gewebes erhält. Die Methode stellt ein ausgezeichnetes Werkzeug dar, wenn die komplette Resektion maligner Tumoren erzielt werden soll. In der Zentralregion ist eine Orientierung allein anhand von anatomischen Landmarken nicht hinreichend. Läsion und assoziiertes Ödem können die anatomischen Strukturen auf unvorhersehbare Weise verlagern.

Die geschilderte Methode ist technisch aufwendig und erfordert speziell ausgebildetes Personal. Sind diese Voraussetzungen jedoch erfüllt, beträgt der intraoperative Zeitaufwand nur 15 Minuten. Das funktionelle Outcome dieser Serie war so überzeugend, daß wir die Technik als Routine bei allen Operationen im Bereich der Zentralregion einsetzen.

5 Literatur

1. Laborde G, Gilsbach JM, Harders A: Computer assisted lokalizer for planning of surgery and intraoperative orientation. Acta Neurochir (Wien), 119:116-170, 1992.
2. Woolsey CN, Erickson TC, Gilson WE: Lokalization in somatic sensory and motor areas of human cerebral cortex as determined by direct recording of evoked potentials and electrical stimulation. J Neurosurg, 51: 476-506, 1979.
3. Taniguchi M, Cedzich C, Schramm J: Modification of cortical stimulation for motor evoked potentials under general anesthesia. Neurosurg, 32:219-226, 1993.
4. Fiersching R, Klug K, Börner U: Lesions of the sensorimotor region: somatosensory evoked potentials and ultrasound guided surgery. Acta Neurochi (Wien), 118:87-90,1992.
5. Reinhardt HF, Trippel M, Westermann B, Horstmann GA, Grazl O: Computer assisted brain surgery for small lesions in the central sensorimotor region. Acta Neurochi (Wien), 138:200-205, 1996.