

## **Neurophysiologisches Monitoring in der Anästhesie**

### **Der Beitrag des Anästhesisten zur Verminderung des perioperativen zerebralen Risikos**

#### **Einleitung**

Patienten sind in der Phase vor Operation und Narkose großen Ängsten und psychischen Belastungen ausgesetzt. Nicht nur der Tod als schlimmste Form des sogenannten „outcomes“, des Erfolgs einer operativen Maßnahme, sondern vor allem auch die Furcht, mit neurologischen Schäden aus der Narkose zu erwachen, stehen dabei vielfach im Vordergrund. Diese Ängste sind bei den meisten Patienten erheblich stärker als die Angst vor einem operativen Fehler oder davor, daß die Operation ihnen keine Linderung ihres Leidens bringen könnte.

Untersuchungen über die Gefährlichkeit von Narkose per se gibt es viele. Das Risiko eines Patienten, an einem Narkosefehler zu versterben, liegt heute zwischen 1:20 000 und 1:300 000<sup>1</sup>. Dieses Risiko ist bei nur leicht erkrankten Patienten ohne wesentliche Begleiterkrankungen deutlich niedriger als bei Schwerkranken. Das Risiko, das sich aus dem operativen Eingriff selbst und den Vorerkrankungen des Patienten ergibt, ist etwa 25- bis 40mal höher als das „Narkoserisiko“.

Trotzdem bergen aber einige operative Eingriffe typischerweise ein Risiko für die Entwicklung neuer neurologischer Defizite wie Lähmungen, Sprach- oder Gedächtnisstörungen. Hier sind in erster Linie die Herzchirurgie, die Gefäßchirurgie der hirnzuführenden Blutgefäße und naturgemäß die Neurochirurgie zu nennen. Neurophysiologische Überwachungsmethoden, speziell adaptiert an die Bedürf-

nisse und Bedingungen des Operationsaals, haben in den letzten Jahren einen hohen Stellenwert in der perioperativen Risikominderung gewonnen.

Die Möglichkeiten der perioperativen neurophysiologischen Überwachung sollen im folgenden kurz beschrieben und in ihrem praktischen Einsatz unter den Bedingungen von Narkose und Operation vorgestellt werden. Der Anästhesist leistet mit dem Einsatz neurophysiologischer Überwachungsmethoden vielfach einen Beitrag zur Verminderung des perioperativen zerebralen Risikos. Nur durch die frühzeitige Diagnose einer zerebralen Funktionsstörung und durch eine zielgerichtete therapeutische Intervention kann in manchen Fällen ein bleibendes neurologisches Defizit verhindert werden.

Dieser kurze Überblick soll typische neurophysiologische Untersuchungs- und Meßverfahren in ihrem klinischen Einsatz im Rahmen der Narkose- und Operationsüberwachung zeigen. Anhand einiger Beispiele werden die Möglichkeiten der perioperativen Datenerfassung dargestellt und illustriert.

Heute stehen der Abteilung für Anaesthesiologie und Operative Intensivmedizin der JLU für die anästhesiologische zerebrale Überwachung im Routinebetrieb folgende Modalitäten zur Verfügung:

- das EEG als Original-(Roh-)EEG
- computerisierte Verarbeitungen und Auswertungen des EEG-Signals
- die evozierten Potentiale unterschiedlicher Modalitäten und

- die transkranielle Doppler-Sonographie

### 1. Das Elektroenzephalogramm (EEG) als Indikator der zerebralen Aktivität

Im Jahr 1924 gelang es Hans Berger erstmalig, beim Menschen elektrische Hirnpotentiale abzuleiten<sup>2</sup>. Er erkannte bald, daß mit diesem neuen Verfahren, das er „Elektroenzephalographie“ nannte, die Dokumentation medikamenteninduzierter Bewußtseinsveränderungen möglich war. Ihm gelang im Jahre 1931 auch die erste Dokumentation der hirnelektrischen Auswirkungen einer Chloroformnarkose. In den folgenden Jahren wurden mit zunehmenden Verbesserungen in der eingesetzten Technik auch die Darstellung der zerebralen Auswirkungen unterschiedlicher Narkotika möglich. Typische EEG-Veränderungen der damals üblichen Narkotika Chloroform, Äther und Barbiturate konnten unterschiedlichen Narkosestadien zugeordnet werden. Mit der fortschreitenden technischen Entwicklung gelang es, die EEG-Effekte auch quantitativ darzustellen. Erst die fortschreitende Computerisierung machte es in den 70er Jahren möglich, auch während Operationen quantitative EEG-Analysen durchzuführen. An einen routinemäßigen kontinuierlichen Einsatz des EEG perioperativ war allerdings aufgrund der hohen Artefaktraten noch nicht zu denken. Die Ursachen für EEG-Artefakte in Operationssälen sind vielfältig und in Tabelle 1 zusammengestellt.

Heute stehen uns Ableitsysteme zur Verfügung, die störungsarm arbeiten und für den kontinuierlichen Gebrauch während operativer Eingriffe geeignet sind. Angestrebt wird dabei, das analoge EEG-Signal weiterzuverarbeiten und auf einfachere, weniger komplexe Parameter zu reduzieren, um die darin enthaltene Informati-

Tabelle 1: Ursachen für Artefakte

- 
- Intraoperative EEG-Ableitung
- Ursachen für Artefakte -
- 
- elektrische Geräte
    - elektrische chirurgische Messer
    - Röntgengeräte
    - Monitore
  - durch Patientenbewegungen
  - durch Bewegungen in Patientennähe
  - Biologische Artefakte
    - EKG
    - Pulswellen
    - Schweißartefakte
    - Augenbewegungen
  - Fehler an Elektroden und Kabeln
- 

on schnell und übersichtlich darstellen zu können. Dabei muß auch der Tatsache Rechnung getragen werden, daß ein Anästhesist meist nur geringe Erfahrungen mit der EEG-Auswertung hat und somit Parameter benötigt, die von ihm ohne Spezialkenntnisse erhoben und interpretiert werden können. Die heute übliche Weiterverarbeitung des Roh-EEGs soll die Auswertung erleichtern, Befundänderungen besser und leichter erkennen lassen und damit die Befundinterpretation und die Verlaufsbeobachtung vereinfachen.

Mit den Verbesserungen in der Ableittechnik parallel gehen Entwicklungen zu immer genaueren und komplexeren Auswertungen der gemessenen Signale. Für die Anästhesie besonders interessant ist dabei die Entwicklung von topographisch arbeitenden Ableitsystemen. Mit ihrer Hilfe können gleichzeitig verschiedene Regionen des Gehirns auf ihre Funktion und Integrität hin überwacht werden. Dies ist besonders dann interessant, wenn intraoperativ mit Funktionsstörungen nicht des ganzen Gehirns, sondern lediglich in bestimmten Regionen gerechnet werden muß.

## **Indikationen für das perioperative EEG-Monitoring**

Die Gründe für eine peri- bzw. intraoperative Überwachung der Gehirnfunktion sind vielfältig (Tabelle 2):

Den Anästhesisten interessieren primär die Auswirkungen der von ihm eingesetzten Narkotika auf die Hirnfunktion. Insbesondere Wirkungseintritt, Wirkungsdauer und Ausmaß der zerebralen Veränderungen sind von Bedeutung. Die sogenannte „Narkosetiefe“, also der Grad der Bewußtlosigkeit eines Patienten und das Ausmaß seiner Schmerztoleranz entzieht sich bis heute einer objektiven Messung. Auch die Suche nach einem Parameter für die Messung und Quantifizierung dieser „Narkosetiefe“ ist eine Motivation für den Einsatz der neurophysiologischen Überwachung. Objektive, genau definierte Parameter, die dem Anästhesisten die Tiefe seiner Narkose anzeigen, gibt es bis heute nicht. Er orientiert sich beispielsweise an Veränderungen des Herz-Kreislauf-Systems des Patienten, an seiner Pupillenreaktion und der Atmung. Damit wird der Aktivationsgrad des sympathischen Nervensystems als Parameter für den „Streß“ des Patienten und zur Steuerung der Narkotikagabe herangezogen.

Tabelle 2: Indikationen für den Einsatz des EEG in der Anästhesie

---

### Einsatz des EEG in der Anästhesie – Indikationen –

---

- Wirkung von Medikamenten
    - Wirkungsort
    - Wirkungseintritt
    - Wirkungsdauer
  - Erkennen von intraoperativen Wachzuständen
  - Erfassen der Narkosetiefe
  - Erkennen von
    - Ort,
    - Zeitpunkt,
    - Ursache und
    - Ausmaß zerebraler Läsionen
- 

Eng verbunden mit der Frage nach der „Narkosetiefe“ sind das Risiko von intraoperativen Wachzuständen und das Problem von Narkotikaüberdosierungen. Indikationen zur Operation können heute aufgrund verbesserter operativer Techniken und aufgrund von großen Fortschritten im anästhesiologischen und intensivmedizinischen Bereich bei immer älteren und immer krankeren Patienten gestellt werden. Viele dieser Patienten stehen unter Medikamenten, welche die Kreislauf-funktion beeinträchtigen, viele sind schwer herzkrank. Bei einem großen Teil dieser Patienten können daher z. B. Kreislaufparameter nicht mehr als Indikatoren der Narkosetiefe herangezogen werden. Gerade hier ist um so mehr die Überwachung der Auswirkungen von Narkose, Operation oder intensivmedizinischer Behandlung auf die zerebrale Funktion wünschenswert, um intraoperative Wachzustände zu erkennen, aber auch um Überdosierungen von Narkotika vermeiden zu können.

Der wichtigste Grund für den Einsatz der intraoperativen Überwachung ist die Gefahr von Störungen der Gehirnfunktion. Einige Operationen bergen schon per se die Gefahr einer zerebralen Funktionsstörung (Tabelle 3). Dies sind naturgemäß vor allem neurochirurgische Operationen. Besondere Gefahren (Tabelle 4) bestehen auch bei Operationen an hirnzuführenden

Tabelle 3: Einsatzgebiete für zerebrales Monitoring

---

### Einsatzgebiete für zerebrales Monitoring

---

- Herzchirurgie
  - Gefäßchirurgie, insbesondere hirnzuführende Gefäße
  - Neurochirurgie
  - Operationen mit der Gefahr hämodynamischer Zwischenfälle
  - Operationen bei zerebral vorgeschädigten Patienten
  - Operationen bei metabolisch entgleisten Patienten
-

Tabelle 4: Ursachen für intraoperative zerebrale Funktionsstörungen

---

Ursachen für intraoperative zerebrale Funktionsstörungen

---

- unzureichende Perfusion  
unzureichender Blutdruck  
unzureichender Blutfluß
  - unzureichende Oxygenierung
  - Verschiebungen des Säure-Basen-Haushaltes
  - Elektrolytverschiebungen
  - Blutverluste
- 

Gefäßen, im Rahmen der Herzchirurgie und bei Operationen, die mit schweren hämodynamischen Veränderungen einhergehen können.

### **Einsatz des EEG im Routinebetrieb**

In der Abteilung für Anaesthesiologie und Operative Intensivmedizin der JLU werden verschiedene EEG-Geräte im Routinebetrieb eingesetzt. Im folgenden soll die neueste Entwicklung auf dem Gebiet der intraoperativen Gehirnüberwachung, das sogenannte „CATEEM“-System kurz vorgestellt werden. Dieser Monitor wird seit knapp zwei Jahren bei uns erprobt und im Rahmen einer wissenschaftlichen Kooperation mit den Entwicklern des Systems, dem Forschungsinstitut Pro Science, Linden, ständig an die speziellen anästhesiologischen Bedürfnisse in der perioperativen Patientenüberwachung adaptiert.

Das Kürzel „CATEEM“ bedeutet „Computer Aided Topographical Electro-Encephalo-Metry“. Es handelt sich um ein topographisch und quantitativ arbeitendes System. Die Ableitung des EEG erfolgt dabei an 17 Stellen der Kopfoberfläche. Dazu wird dem Patienten eine Haube aufgesetzt, in welche die EEG-Elektroden integriert sind. Dieses Verfahren garantiert eine schnelle und schonende, für den Pa-

tienten nicht schmerzhaft Ableitung und sichert gleichzeitig den korrekten topographischen Sitz der Elektroden. Eine artefaktfreie Ableitung läßt sich in weniger als fünf Minuten erreichen, so daß aus dem Einsatz dieser Überwachung keine Verlängerung von Narkose- und Operationszeiten resultiert. Die EEG-Signale werden von der Kopfhaut abgeleitet und einer Analog-Digital-Wandlung unterzogen, um dann von einem Computer weiterverarbeitet zu werden. Um die Artefaktquellen eines Operationssaales zu umgehen, erfolgt diese Digitalisierung in unmittelbarer Patientennähe und die Übertragung der Daten zum Computer mittels Glasfaserkabel, so daß auf diesem Weg keine Veränderung oder Störung der Daten mehr möglich ist.

Die digitalisierten Daten werden einer Fast-Fourier-Transformation unterzogen. Dabei geht man von der Theorie aus, daß sich ein Original-EEG-Signal aus Sinusschwingungen unterschiedlicher Frequenz, Amplitude und Phasenlage zusammensetzen läßt. Das Original-EEG-Signal wird mathematisch in diese (hypothetisch) zugrundeliegenden Sinusschwingungen zerlegt. Die resultierenden Sinusschwingungen werden anhand ihres Frequenzgehalts in „Bändern“ zusammengefaßt. Diese sogenannten „Powerbänder“ oder „Leistungsdichtespektren“ werden für jeden der 17 Ableitpunkte im Vier-Sekunden-Rhythmus berechnet, farblich codiert und auf einen Bildschirm ausgegeben. Um dem Beobachter einen visuellen Eindruck von der Verteilung der zerebralen Aktivität über die Kopfoberfläche zu vermitteln, werden zusätzlich aus den gemessenen Signalen für weitere 82 Zwischenpunkte die Powerspektren errechnet. Nach farblicher Codierung erfolgt die Ausgabe für alle Punkte auf eine sphärische Projektion der Gehirnoberfläche (Abb. 1) und vermittelt so dem Beobachter einen visuellen

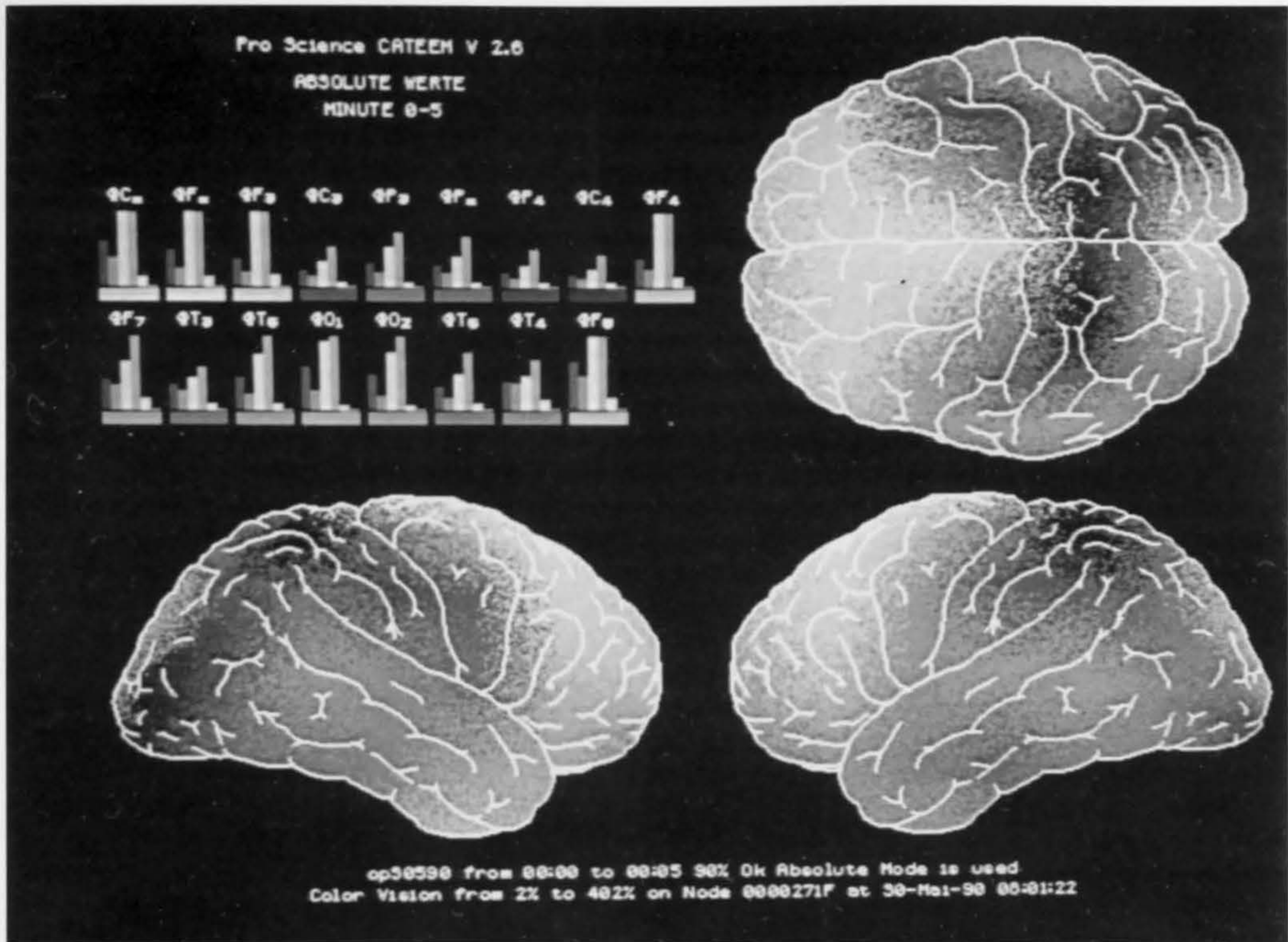


Abb. 1: Beispiel für die intraoperative topographische EEG-Überwachung mittels CATEEM. Elektroenzephalometrische Überwachung während der Operation eines Aneurysma der Aorta ascendens. Erläuterungen im Text.

Gesamteindruck von der zerebralen Aktivität. Aufgrund der anschaulichen Visualisierung der gemessenen Daten ist es dem Anästhesisten neben der Überwachung der Monitore für Atmung, Beatmung, Herzfrequenz und Blutdruck, um nur einige zu nennen, schnell möglich, den Verlauf des EEG zu beobachten. Bei plötzlichen Änderungen der zerebralen Aktivität ist jederzeit eine genauere Analyse möglich. Das Original-EEG wird zusätzlich auf einem Kontroll-Monitor ständig angezeigt und kann, ebenso wie alle berechneten Daten, abgespeichert werden. Diese Daten stehen dann für weitere Auswertungen, z. B. für wissenschaftliche Fragestellungen, zur Verfügung.

Das CATEEM-System wird vornehmlich im Rahmen herzchirurgischer Eingriffe

eingesetzt. Ein Beispiel soll den Stellenwert dieser Form des neurophysiologischen Monitorings demonstrieren:

Bei einem 50jährigen Patienten müssen eine neue Aortenklappe implantiert und eine Aussackung (Aneurysma) der Aorta beseitigt werden. Diese Operation wird mit Hilfe einer Herz-Lungen-Maschine durchgeführt. Die Körperkerntemperatur muß während der Operation bis auf 26 °C abgesenkt werden. Zur Überwachung der Hirnfunktion wird das CATEEM-System eingesetzt. Abbildung 1 zeigt die Leistungsdichtespektren nach Narkoseeinleitung. In der linken oberen Bildhälfte werden die Spektren der einzelnen Ableitpunkte dargestellt, die sphärischen Aufsichten auf die „Karten“ der Hirnoberfläche erleichtern die topographische Zuord-

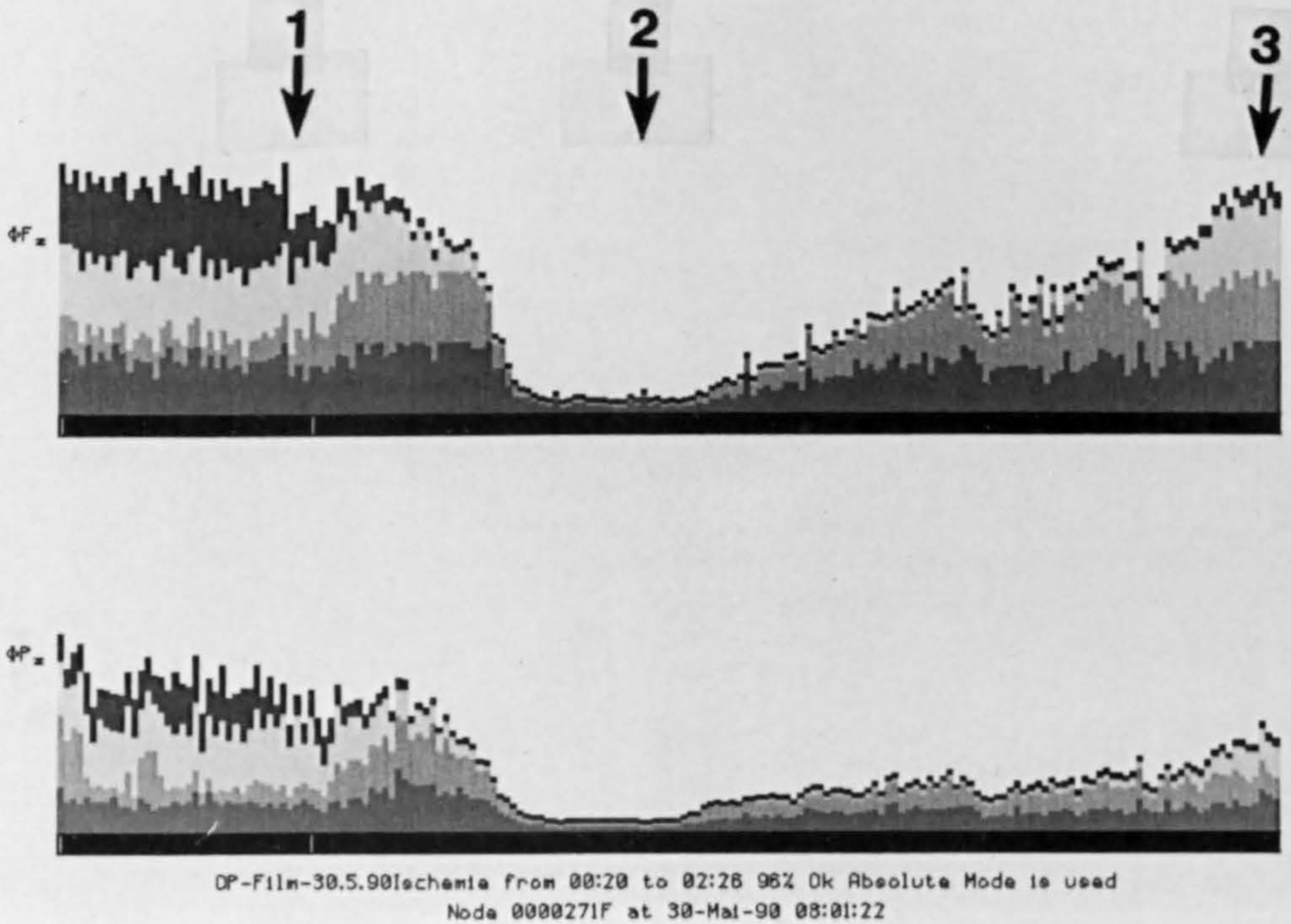


Abb. 2: Zeitgang der Powerspektren an zwei Ableitpunkten beim gleichen Patienten. Die Zeitachse in diesem Blockdiagramm verläuft von links nach rechts, wobei jeder „Block“ einen Zeitraum von 40 Sekunden repräsentiert. Die dargestellten Veränderungen sind vor allem durch Veränderungen der Körpertemperatur induziert.

Zeitpunkt 1: Beginn der extrakorporalen Zirkulation, Körperkerntemperatur 36,7 °C

Zeitpunkt 2: Phase der tiefsten Abkühlung (25,6 °C)

Zeitpunkt 3: Wiedererwärmungsphase (32,4 °C).

nung. In Abbildung 2 sind die Powerspektren an zwei Ableitpunkten über die Zeit (dargestellt sind 126 Minuten) aufgezeichnet. Zum Zeitpunkt 1 wird der Patient an die Herz-Lungen-Maschine angeschlossen, gleichzeitig wird mit der Abkühlung des Körpers begonnen (Temperatur 36,7 °C). Die Veränderung der hirnelektrischen Aktivität in der Abkühl- und Wiedererwärmungsphase ist zum Zeitpunkt 2 (25,6 °C) am ausgeprägtesten. Zeitpunkt 3 (32,4 °C) demonstriert die Aktivitäten bei der Wiedererwärmung. Bei diesem Patienten traten keinerlei neurologische Schäden auf.

Nicht vom klinischen Einsatz zu trennen sind auch die wissenschaftlichen Fragestellungen, bei denen das perioperative EEG-Monitoring, vor allem in Form der topographischen Überwachung, zum Einsatz kommt. Auch im wissenschaftlichen Bereich stehen Fragen, die sich mit der zerebralen Funktion im Rahmen des Einsatzes der extrakorporalen Zirkulation beschäftigen, im Vordergrund.

Untersucht werden dabei zur Zeit beispielsweise:

- Das Ausmaß der präoperativen Sedierung unter verschiedenen Prämedikationsverfahren.

- Die Auswirkungen der Hypothermie während der extrakorporalen Zirkulation auf die Hirnfunktion.
- Die zerebrale Reaktion auf die chirurgischen und anästhesiologischen Maßnahmen unter verschiedenen Narkoseregimen, um eine Optimierung des anästhesiologischen Managements bei diesen kritisch kranken Patienten zu erreichen.
- Auswirkungen der extrakorporalen Zirkulation auf die zerebrale Funktion bei Kindern.

## **2. Evozierte Potentiale**

### **– Überwachung der funktionellen Integrität sensorischer Systeme –**

Wie in den vorigen Abschnitten beschrieben, dient das Elektroenzephalogramm (EEG) dazu, Veränderungen der elektrischen Hirnaktivitäten zu erfassen. Damit sollen eventuelle Störungen im Bereich des zentralen Nervensystems frühzeitig auch unter den Bedingungen von Narkose und Operation erkannt werden, um durch geeignete therapeutische Maßnahmen mögliche Schäden abzuwenden. Für diesen Zweck, die Verbesserung der Sicherheit der Patienten, werden an unserer Klinik bei bestimmten Operationen auch sogenannte evozierte Potentiale abgeleitet. Hierbei handelt es sich, vereinfacht dargestellt, um die Registrierung der elektrischen Reizantwort bestimmter Nervenzellen auf einen spezifischen Sinnesreiz (z. B. visuell, akustisch, sensorisch etc.). Bei einer adäquaten „Antwort“ kann wiederum auf die Funktionstüchtigkeit der betroffenen Nervenleitungsbahnen geschlossen werden. Im Gegensatz zum EEG, mit dem die spontane elektrische Aktivität der Hirnrinde (Cortex) registriert wird, erlauben die evozierten Potentiale auch eine Beurteilung der Funktion subcorticaler Strukturen wie z. B. Hirnstamm oder Tha-

lamus, die dem EEG normalerweise nicht zugänglich sind. Dies gilt jedoch nur für den Fall, daß diese Strukturen Bestandteile der untersuchten Nervenbahnen sind (sogenannte topographische Spezifität der evozierten Potentiale).

Schon in der 1875 erschienenen Arbeit von R. Caton "The Electrical Currents of the Brain" findet sich der Satz: "Impressions through the senses were found to influence the currents of certain areas ... of the ... brain." Hier wurde also schon vor über 100 Jahren mit vergleichsweise primitiven Methoden entdeckt, daß eine Sinnesreizung mit Veränderungen der elektrischen Aktivität bestimmter Anteile des zentralen Nervensystems verbunden ist. 1914 erfolgte die erste Fotografie eines evozierten Potentials beim Tier, 1939 die erste Registrierung beim Menschen.

Das Hauptproblem bei der Ableitung evozierter Potentiale, ihre im Vergleich zum EEG etwa zehnfach kleinere Amplitude, konnte durch Dawson 1954 elegant gelöst werden: Er registrierte die hirnelektrischen Reizantworten mehrfach in konstantem zeitlichen Bezug zum Reiz und bildete daraus den Mittelwert. Da die spontane EEG-Aktivität in keinem festen zeitlichen Verhältnis zum Reiz steht, konvergiert sie nach Mittelwertbildung gegen Null, so daß sich das evozierte Potential „herauskristallisiert“. Dieses Prinzip wird auch heute noch angewendet, allerdings unter Einsatz moderner Computertechnik.

Man unterscheidet bei den evozierten Potentialen unterschiedliche Modalitäten:

### **Visuell evozierte Potentiale (VEP)**

Nach Stimulation der Netzhaut (Retina) mit Lichtblitzen oder bestimmten Mustern läßt sich die Funktion der Sehbahn mit visuell evozierten Potentialen (VEP)

beurteilen. Diese Methode wird in der neurologischen Diagnostik u. a. bei Erkrankungen des Sehnerven eingesetzt (z. B. Sehnervenentzündung bei multipler Sklerose). Von unterschiedlichen Arbeitsgruppen ist die VEP-Ableitung auch bei operativen Eingriffen in der Umgebung der Sehbahn (z. B. neurochirurgische Operationen in der vorderen Schädelgrube) propagiert worden. Aufgrund der hohen Variabilität der Potentiale hat sich eine routinemäßige intraoperative VEP-Registrierung bisher jedoch nicht durchsetzen können.

### **Akustisch evozierte Potentiale (AEP)**

Die Funktion der Hörbahn kann durch die Ableitung akustisch evozierter Potentiale (AEP) objektiviert werden. Über Kopf- oder Ohrhörer werden dem Patienten akustische Reize zugeführt, deren Fortleitung und Verarbeitung im zentralen Nervensystem überprüft werden. Je nach Fragestellung kommt die Registrierung der frühen AEP-Antworten (sog. Hirnstammpotentiale, BAEP) oder der späteren Bestandteile zur Anwendung. Im Gegensatz zu den VEP haben die akustisch evozierten Hirnstammpotentiale auch intraoperativ einen festen Stellenwert erhalten. Speziell bei neurochirurgischen Eingriffen in der hinteren Schädelgrube und damit in der Nähe des Hirnstammes ist das BAEP-Monitoring seit etlichen Jahren in die allgemeine Patienten-Überwachung integriert. So kann der Neurochirurg bei der Entfernung eines Tumors, z. B. eines Akustikusneurinoms, bereits während der Operation wertvolle Hinweise auf die Funktionsfähigkeit der betroffenen Hörbahn erhalten.

In jüngster Zeit hat sich das Interesse der anästhesiologischen Forschung auch auf die akustisch evozierten Potentiale mittlerer Latenz konzentriert. Diese Art der

AEP liefert Informationen über die corticale Verarbeitung von akustischen Reizen und kann durch verschiedene Anästhetika beeinflusst werden. Nach den bisherigen Ergebnissen scheint hierin eine Möglichkeit zu liegen, die „Narkosetiefe“ zu messen. Ein anderer Schwerpunkt liegt auf der Charakterisierung der zentralnervösen Angriffspunkte unterschiedlicher Anästhetika<sup>8</sup>.

### **Somatosensorisch evozierte Potentiale (SEP)**

Die somatosensorisch evozierten Potentiale sind bioelektrische Reizantworten auf die (zumeist elektrische) Stimulation eines sensiblen Nerven. Wichtige Einsatzgebiete innerhalb der neurologischen Diagnostik sind beispielsweise Erkrankungen des Rückenmarkes, der Stammganglien oder des Großhirns. Hier sind die Multiple Sklerose sowie Tumoren des Rückenmarks besonders zu erwähnen. In einigen Fällen liefern die SEP-Befunde wichtige Hinweise auf die Art der zugrundeliegenden Erkrankung, so daß invasive Techniken wie z. B. Myelographie oder Angiographie dem Patienten unter Umständen erspart werden können. Für die spezielle Fragestellung der intraoperativen Überwachung sind insbesondere die Ableitungen nach Armnervenstimulation (Medianus-SEP) bzw. nach Beinervenstimulation (Tibialis-SEP) von Bedeutung. Dies betrifft hauptsächlich neurochirurgische Operationen, Eingriffe an hirnversorgenden Arterien und an der Aorta sowie spezielle Operationen an der Wirbelsäule.

#### **a) Operationen an der Halsschlagader (Arteria carotis)**

Verengungen im Bereich der Aufzweigungsstelle der Halsschlagader (Carotisgabel) gelten als besondere Risikofakto-



ren für die Entstehung eines Schlaganfalls. Ursächlich hierfür sind in einigen Fällen definitive Abnahmen der Hirndurchblutung aufgrund der Verengung (Stenose), wesentlich häufiger jedoch wird der Schlaganfall durch Verschleppung (Embolisierung) von losgerissenen Teilen dieser Engstelle in die Hirngefäße hinein verursacht. Nicht selten berichten diese Patienten über „Vorboten“ des Schlaganfalls, z. B. kurzfristige Sehstörungen oder vorübergehende halbseitige Lähmungsercheinungen (sog. transitorisch ischämische Attacken).

Die operative Beseitigung von ausgeprägten Stenosen im Bereich der Carotisgabel bei symptomatischen Patienten ist Bestandteil einer wirksamen medizinischen Schlaganfallprophylaxe. Dies konnte in jüngster Zeit durch großangelegte Studien in Europa, den USA und Kanada belegt werden<sup>4</sup>.

Seit Anfang der 80er Jahre wird von der Abteilung für Anaesthesiologie und Operative Intensivmedizin der Justus-Liebig-Universität eine SEP-Überwachung während der Operation von Carotis-Stenosen durchgeführt. Sinn und Zweck dieser Maßnahme ist es, eine Minderdurchblutung des Gehirns während spezieller Phasen der Operation so frühzeitig zu entdecken, daß durch geeignete Therapieformen eine bleibende Funktionseinschränkung vermieden werden kann.

Beispielhaft soll hier der Fall eines 59jährigen Patienten demonstriert werden (Abb. 3 und 4):

Aus der Krankheitsgeschichte ergaben sich frühere transitorisch ischämische Attacken, deren Ursachen in einer 70%igen Stenose der linken Halsschlagader (A. carotis) zu suchen waren. Vor dem Abklemmen („Clamping“) der A. carotis, das zur Beseitigung der Stenose immer notwendig ist, zeigten die SEP einen normalen Kurvenverlauf. Nach dem Abklemmen kam

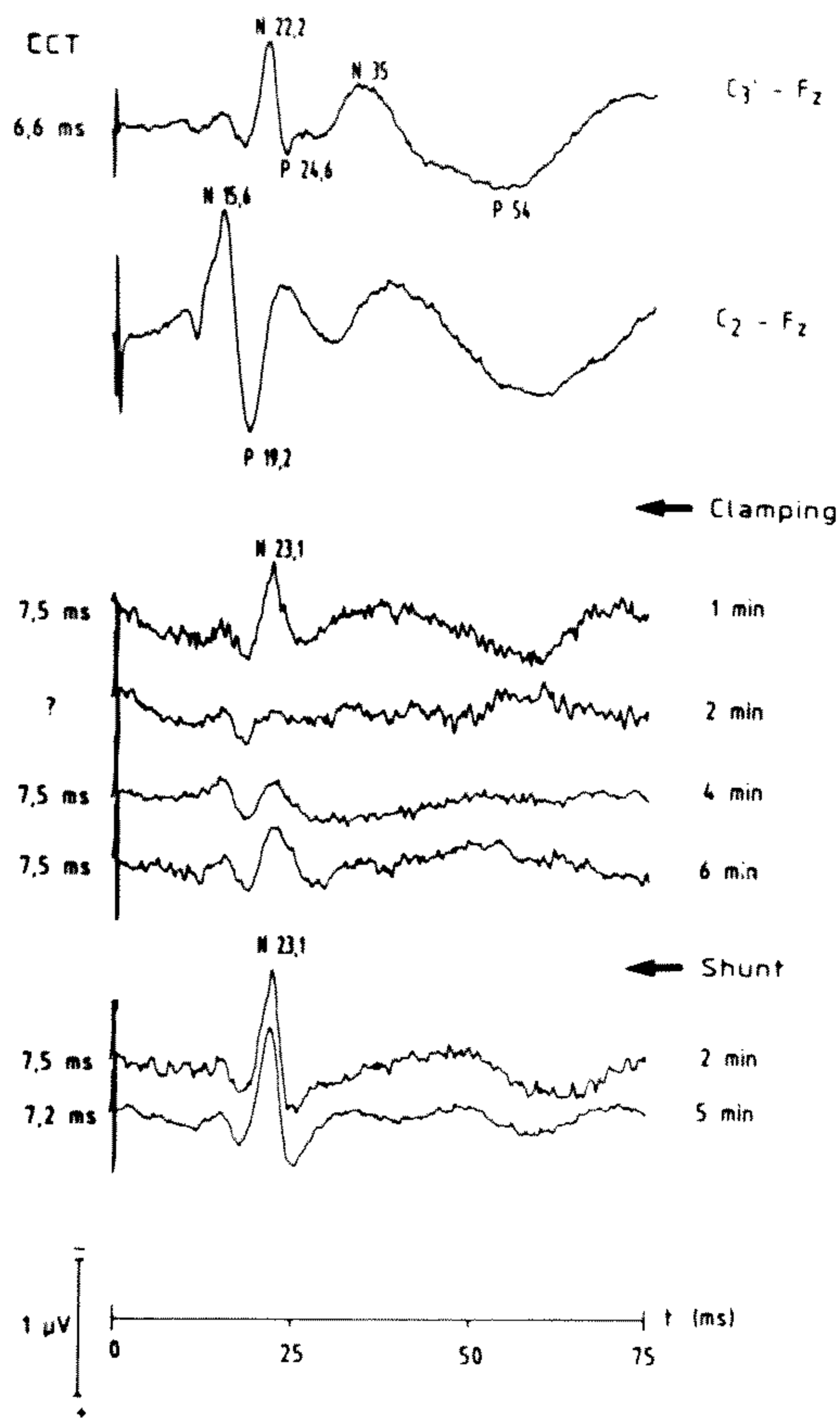


Abb. 3: Somatosensorisch evozierte Potentiale (SEP) nach Stimulation des rechten N. medianus während der operativen Behandlung einer Verengung der linken A. carotis. Die beiden oberen Kurven repräsentieren die corticale (C3' - Ft) bzw. cervicale (C 2 - Fz) Reizantwort. Innerhalb weniger Minuten nach Abklemmen („Clamping“) der A. carotis kommt es zu einer deutlichen Amplitudenminderung des corticalen SEP bei gleichzeitiger Zunahme der zentralen Überleitungszeit (CCT). Nach Shunteinlage können wieder eindeutige corticale Reizantworten abgeleitet werden, zunächst allerdings mit verlängerter CCT.

es jedoch aufgrund einer kritischen Verminderung der Hirndurchblutung innerhalb weniger Minuten zu deutlichen Verschlechterungen der corticalen Reizantwort. (Eine derartige Situation ist nach unseren Erfahrungen bei etwa 10–15% der Carotis-Patienten zu befürchten.) Daher war es notwendig, eine ausreichende

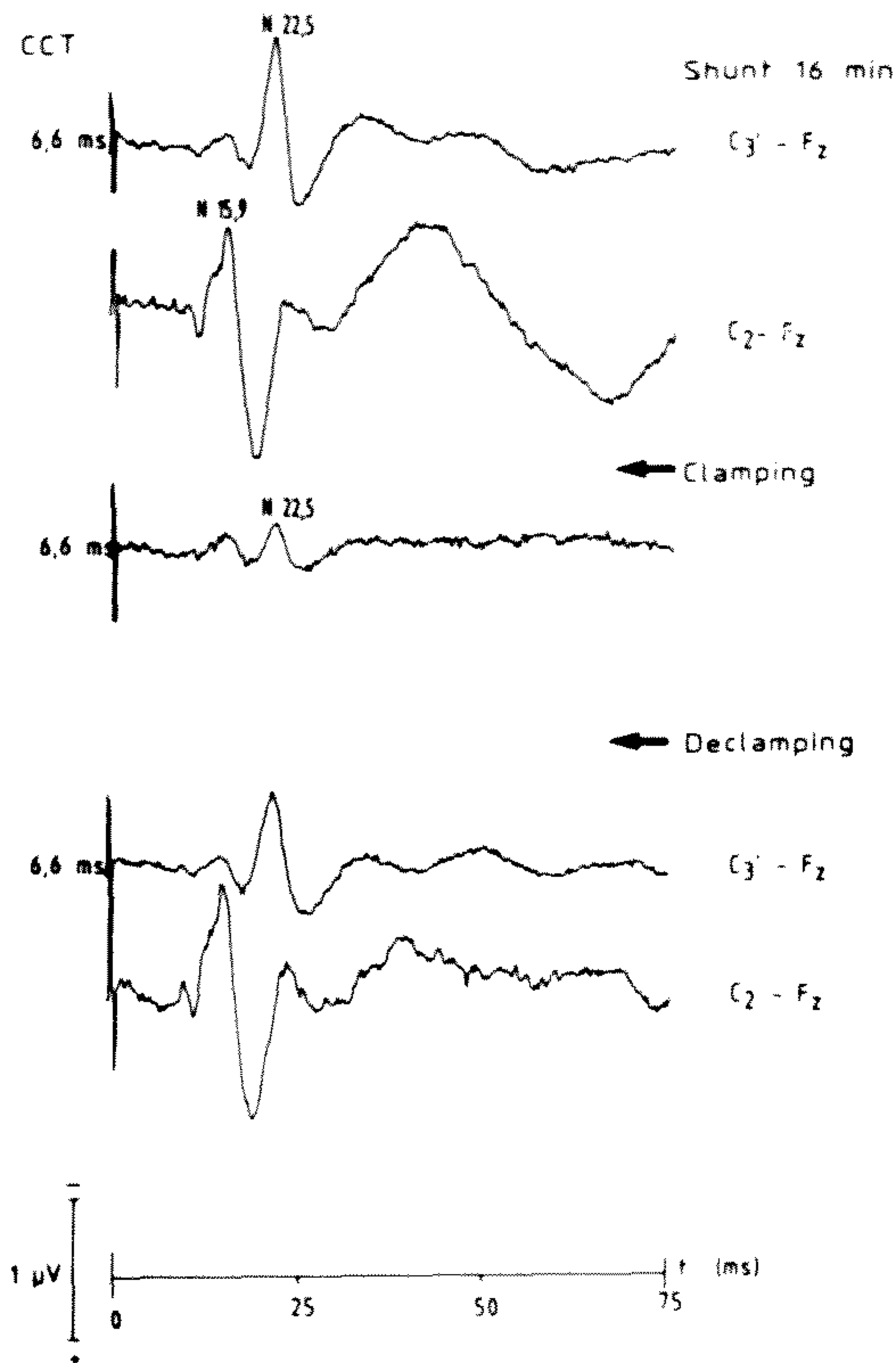


Abb. 4: 16 Minuten nach Shunteinlage stellt sich das SEP wieder normal dar. Zur Shuntentfernung ist ein erneutes Abklemmen der A. carotis erforderlich, das zu vergleichbaren Veränderungen der corticalen Reizantwort führt wie in Abb. 3. Nach definitiver Wiederfreigabe des Blutstromes über die A. carotis lassen sich wieder normal konfigurierte SEP ableiten. Nähere Erläuterungen zu diesem Beispiel siehe Text.

Hirndurchblutung mit Hilfe eines eingelegten Plastikröhrchens (sog. Shunt) wiederherzustellen. Wie aus den beiden unteren Kurven der Abb. 3 ersichtlich ist, kam es daraufhin schnell zu einer Normalisierung des SEP. Zur Shuntentfernung (Abb. 4) mußte die A. carotis erneut abgeklemmt werden. Wieder traten danach kurzfristig pathologische SEP auf, die sich nach definitiver Freigabe des Blutstromes („Declamping“) wieder normalisierten. Der postoperative Verlauf war unauffällig, es wurden keine neurologischen Komplikationen beobachtet.

Der offensichtliche Nutzen einer SEP-Überwachung bei Patienten mit operationswürdigen Verengungen der A. carotis ist in der Zwischenzeit sowohl von der eigenen Arbeitsgruppe<sup>7</sup> als auch von anderen Wissenschaftlern bestätigt worden<sup>3, 5</sup>. Mit Hilfe des SEP-Monitorings kann daher in den meisten Fällen auf die Shunteinlage verzichtet werden. Dies ist insofern bedeutsam, da auch die Shuntanlage selbst in wenigen Fällen zu neurologischen Folgeschäden führen kann (z. B. durch Embolisierung).

## b) Operationen an der Aorta

Die große Körperschlagader (Aorta) sorgt mit einer ganzen Reihe von kleinen Ästen für die regelrechte Blutversorgung des Rückenmarks. Aufgrund dieser speziellen anatomischen Situation kann es bei Operationen an der Aorta in einigen Fällen zu Beeinträchtigungen der Blutzufuhr zum Rückenmark und damit nachfolgend zu neurologischen Schäden kommen. Diese Komplikationen sind vor allem in den Fällen zu befürchten, in denen größere Abschnitte der Aorta im Operationsverlauf über längere Zeit abgeklemmt werden müssen. Als Beispiel wäre hier die Beseitigung einer krankhaften Gefäßaussackung im Inneren des Brustkorbs (sog. thorakales Aorten-Aneurysma) zu nennen, die u. a. durch einen Einriß der Gefäßwand (Dissektion) bedingt sein kann. Bei allen Eingriffen, die die Blutversorgung des Rückenmarks gefährden können, bietet sich die Überwachung der Rückenmarksfunktion mit SEP nach Beinnervenstimulation an. Auch bei orthopädischen Operationen zur Korrektur einer starken Wirbelsäulenverkrümmung (Skoliose) werden SEP vermehrt eingesetzt<sup>6</sup>.

Eines der wesentlichen Probleme bei der intraoperativen Überwachung der Rückenmarksfunktion mit Hilfe der Tibialis-

SEP liegt in der Tatsache, daß nur die aufsteigenden Bahnen beurteilt werden können. Diese befinden sich in den hinteren Anteilen des Rückenmarks. Die absteigenden Bahnen, die z. B. für die willkürliche Bewegung der Beine notwendig sind, liegen dagegen in den vorderen Abschnitten und sind daher mit der SEP-Überwachung aufgrund ihrer topographischen Spezifität nicht zu erfassen. Diese Lücke könnte in Zukunft durch sog. motorisch evozierte Potentiale (MEP) geschlossen werden.

### Motorisch evozierte Potentiale

Die Ableitung der motorisch evozierten Potentiale geschieht quasi „umgekehrt“ zu den SEP. Während die SEP die Reizfortleitung von der Peripherie (z. B. vom Arm) bis zur Hirnoberfläche beobachten lassen, erfolgt bei den MEP die elektrische oder magnetische Stimulation bestimmter Hirnanteile und die Registrierung der peripheren „Antwort“ (z. B. Muskelzucken). Die Methodik der MEP ist vergleichsweise neu, so daß bisher zumindest für den operativen Bereich nur geringe Erfahrungen vorliegen. Dennoch scheint die Überwachung der Rückenmarksfunktion mit MEP sehr vielversprechend zu sein.

Die unterschiedlichen elektrophysiologischen Methoden zur intraoperativen Überwachung des zentralen Nervensystems (z. B. EEG, evozierte Potentiale) konnten im Rahmen dieses Artikels nur kurz skizziert werden. Der interessierte Leser wird auf die Übersichtsarbeit von Kochs<sup>5</sup> hingewiesen, in der sämtliche modernen Verfahren der zerebralen Überwachung erwähnt werden. Darüber hinaus spielen die Verfahren der Hirndurchblutungsmessung (z. B. mit der transkranial-

len Dopplersonographie, die ebenfalls bei uns verstärkt intraoperativ eingesetzt wird) eine wichtige Rolle.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß im Klinikum der Justus-Liebig-Universität Gießen ein Großteil der modernen neurophysiologischen Überwachungsmethoden für unsere Patienten zur Verfügung steht. Die intraoperative Registrierung der Funktion des zentralen Nervensystems als Bestandteil der allgemeinen Patientenüberwachung gewinnt dabei im Bereich der Anästhesiologie zunehmende Bedeutung. So kann der Anästhesist bei einer Reihe von speziellen Operationsverfahren einen gezielten Beitrag zur Vermeidung neurologischer Komplikationen leisten.

### Literaturverzeichnis

- <sup>1</sup> Beinlich, I.: Anästhesiebezogene Morbidität und Mortalität. *Anästhesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 26:177–185, 1991.
- <sup>2</sup> Berger, H.: Über das Elektroenzephalogramm des Menschen. *Arch Psychiatr Nervenkr* 87:527 (1929).
- <sup>3</sup> Dinkel, M., Kamp H. D., Schweiger H.: Somatosensorisch evozierte Potentiale in der Karotischirurgie. *Anaesthesist* 40:72–78, 1991.
- <sup>4</sup> European Carotid Surgery Trialist's Collaborative Group, MRC European Carotid Surgery Trial: Interim results for symptomatic patients with severe (70–99%) or with mild (0–29%) carotid stenosis. *Lancet* 337:1235–1243, 1991.
- <sup>5</sup> Kochs, E.: Zerebrales Monitoring. *Anästhesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 26:363–374, 1991.
- <sup>6</sup> Loughnan, B. A., Hall, G. M.: Spinal cord monitoring 1989. *Br J Anaesth* 63:587–594, 1989.
- <sup>7</sup> Russ, W., Thiel, A., Moosdorf, R., Hempelmann, G.: Somatosensorisch evozierte Potentiale bei desobliterierenden Eingriffen an der Carotisgabel. *Klin Wochenschr* 66, Suppl 14:35–40, 1988.
- <sup>8</sup> Schwender, D., Keller, J., Schlund, M., Klasing, S., Madler, C.: Akustisch evozierte Potentiale mittlerer Latenz und intraoperative Aufwachreaktionen während Narkoseaufrechterhaltung mit Propofol, Isofluran und Flunitrazepam/Fentanyl. *Anaesthesist* 40:214–221, 1991.

**Wir leben und arbeiten in einer dynamischen Bürowelt. Deshalb gibt es jetzt ein dynamisches Büromöbelsystem: Tec 10 von VOKO.**

Die Bürowelt der 90er Jahre ist nicht mehr die Bürowelt, die wir aus den 80er Jahren kennen. Sie ist dynamischer geworden, als wir es je für möglich gehalten haben. Neue Werkzeuge wie Computer oder Telefon haben eine unerhörte Leistungsfähigkeit erreicht, obwohl sie immer kompakter in ihrer Form und immer simpler in ihrer Handhabung geworden sind. Und gemessen an dem, was sie leisten, auch immer billiger. Was uns bisher gefehlt hat, war ein Büromöbel, das mit dieser Dynamik Schritt halten kann. Wer, außer VOKO, hätte dieses Büromöbelsystem entwickeln können?



VOKO hat es entwickelt und stellt es Ihnen jetzt vor: Das neue Power Office Tec 10. Es unterscheidet sich von herkömmlichen Büromöbelsystemen vor allem in einem Punkt: Es ist nicht nur im Katalog modular, sondern auch in der Praxis. Das heißt: Sie können Tec 10 jederzeit schnell und ohne Umbauprobleme den sich wandelnden Bedürfnissen Ihres Unternehmens anpassen. Diese einfache Veränderbarkeit ist jedoch nur eine Dimension des Power Office Tec 10. Was es Ihnen in puncto Funktionalität, Design, Ökologie noch zu bieten hat, erfahren Sie am besten beim VOKO Fachhändler in Ihrer Nähe. Er wird Sie gerne über Tec 10 und die anderen modularen Büromöbel-Systeme von VOKO informieren. Oder Sie fordern zunächst Ihre persönliche Tec 10 Info-Broschüre an, direkt bei:

**VOKO** 

**Das Büro**

VOKO Franz Vogt & Co. KG  
Postfach 2000  
D-6301 Pohlheim  
Telefon (0 64 04) 9 29-0  
Telefax (0 64 04) 6719