

# Inhaltsverzeichnis

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Kapitel 1 Elektroenzephalographie (EEG) . . . . .</b>                  | <b>1</b>  |
| A.-M. BELTINGER. Mit 47 Abbildungen und 4 Tabellen                        |           |
| <b>1.1 Einleitung . . . . .</b>   | <b>1</b>  |
| <b>1.2 Apparative Voraussetzungen . . . . .</b>                           | <b>3</b>  |
| <b>1.3 Graphoelemente des EEG . . . . .</b>                               | <b>7</b>  |
| <b>1.4 Auswertekriterien . . . . .</b>                                    | <b>8</b>  |
| <b>1.5 Das normale EEG des Erwachsenen . . . . .</b>                      | <b>9</b>  |
| 1.5.1 Physiologische Normvarianten . . . . .                              | 10        |
| 1.5.2 Das EEG im physiologischen Schlaf . . . . .                         | 10        |
| <b>1.6 Artefakte . . . . .</b>  | <b>13</b> |
| <b>1.7 Das pathologische EEG . . . . .</b>                                | <b>16</b> |
| 1.7.1 Allgemeinveränderung . . . . .                                      | 16        |
| 1.7.2 Fortgeleitete Delta-Tätigkeit . . . . .                             | 17        |
| 1.7.3 Herdbefund . . . . .  | 18        |
| 1.7.4 Interiktale und iktale epileptiforme Potentiale . . . . .           | 22        |
| 1.7.5 Periodische EEG-Muster . . . . .                                    | 30        |
| <b>1.8 Das EEG im Koma . . . . .</b>                                      | <b>32</b> |
| 1.8.1 Paradoxe Delta-Aktivierung . . . . .                                | 33        |
| 1.8.2 Alpha-Koma . . . . .  | 34        |
| 1.8.3 Spindelkoma . . . . .   | 37        |
| 1.8.4 Burst-suppression-Muster . . . . .                                  | 37        |
| <b>1.9 Spezielle Krankheitsbilder . . . . .</b>                           | <b>39</b> |
| 1.9.1 Das EEG beim Schädel-Hirn-Trauma . . . . .                          | 39        |
| 1.9.1.1 Allgemeine Beurteilungskriterien . . . . .                        | 39        |
| 1.9.1.2 Prognose im posttraumatischen Koma . . . . .                      | 41        |
| 1.9.1.3 Posttraumatische Epilepsie . . . . .                              | 43        |
| 1.9.1.4 Apallisches Syndrom . . . . .                                     | 43        |
| 1.9.2 Intrakranielle Raumforderung . . . . .                              | 43        |
| 1.9.2.1 Befunde in Abhängigkeit von Lokalisation und Ausdehnung . . . . . | 43        |
| 1.9.2.2 Befunde im Verlauf . . . . .                                      | 44        |

|                  |   |    |
|------------------|---|----|
| 1.9.3            | Hypoxischer Hirnschaden . . . . .   | 46 |
| 1.9.4            | Meningitis/Enzephalitis . . . . .   | 49 |
| 1.9.4.1          | Herpesenzephalitis . . . . .  | 49 |
| 1.9.5            | Intoxikationen . . . . .  | 51 |
| 1.9.5.1          | Intoxikationen mit Barbituraten und Benzodiazepinen . . . . .   | 51 |
| 1.9.5.2          | Alkylphosphatvergiftung . . . . .   | 54 |
| 1.9.5.3          | Akute Intoxikation mit trizyklischen Antidepressiva . . . . .   | 55 |
| 1.9.5.4          | Lithiumintoxikation . . . . .   | 55 |
| 1.9.6            | Metabolische Enzephalopathien . . . . .   | 55 |
| 1.9.6.1          | Hepatische Enzephalopathie – Coma hepaticum . . . . .   | 55 |
| 1.9.6.2          | Urämische Enzephalopathie und Dysequilibriumssyndrom . . . . .  | 57 |
| 1.9.6.3          | Einfluß der Blutgase auf das EEG . . . . .  | 58 |
| 1.9.6.4          | Hypoglykämie . . . . .  | 58 |
| 1.9.6.5          | Hyperglykämie und hyperosmolares Koma . . . . .   | 58 |
| 1.9.6.6          | Elektrolytstörungen . . . . .   | 59 |
| 1.9.6.7          | Einfluß der Körpertemperatur auf das EEG . . . . .  | 59 |
| 1.9.6.8          | Schildrüsenstoffwechselstörungen . . . . .  | 59 |
| 1.9.6.9          | Andere metabolische Enzephalopathien . . . . .  | 60 |
| <b>1.10</b>      | <b>EEG-Monitoring auf der Intensivstation</b> . . . . .   | 60 |
| 1.10.1           | Indikationen/Anwendungsmöglichkeiten . . . . .  | 60 |
| 1.10.2           | Allgemeine apparative Voraussetzungen . . . . .   | 61 |
| 1.10.3           | Verschiedene Monitoring-Verfahren . . . . .   | 62 |
| <b>Literatur</b> | . . . . .   | 64 |
| <b>Kapitel 2</b> | <b>Ultraschalldiagnostik (Doppler-Sonographie, transkraniale Doppler-Sonographie, Duplex-Sonographie)</b> . . . . . | 69 |
|                  | K. PFADENHAUER. Mit 7 Abbildungen und 1 Tabelle   |    |
| <b>2.1</b>       | <b>Physikalische und apparative Voraussetzungen</b> . . . . .   | 69 |
| <b>2.2</b>       | <b>Anatomische und physiologische Voraussetzungen</b> . . . . .   | 70 |
| <b>2.3</b>       | <b>Untersuchungsgang</b> . . . . .  | 72 |
| 2.3.1            | c-w-Doppler-Sonographie . . . . .   | 72 |
| 2.3.2            | Transkranielle Doppler-Sonographie (TCD) . . . . .  | 73 |
| 2.3.3            | Duplex-Sonographie . . . . .  | 74 |
| <b>2.4</b>       | <b>Indikationen der Ultraschalldiagnostik in der Intensivmedizin</b> . . . . .                                      | 75 |
| 2.4.1            | Gefäßverschlüsse und Stenosen im Karotis-Stromgebiet . . . . .  | 75 |
| 2.4.2            | Vertebrabasiläre Verschlüsse . . . . .  | 78 |
| 2.4.3            | Vasospasmen in Hirnarterien . . . . .   | 82 |
| 2.4.3.1          | Subarachnoidalblutung (SAB) . . . . .   | 82 |
| 2.4.3.2          | Vasospasmus bei Meningitis . . . . .  | 85 |
| 2.4.3.3          | Schädel-Hirn-Traumen . . . . .  | 85 |
| 2.4.3.4          | Differentialdiagnose erhöhter Strömungsgeschwindigkeiten in den Hirnarterien . . . . .                              | 86 |
| <b>Literatur</b> | . . . . .   | 87 |

|   |            |
|---|------------|
| <b>Kapitel 3 Frühe akustisch evozierte Potentiale (FAEP) . . . . .</b>                    | <b>89</b>  |
| B. RIFFEL, B. SOMMER-EDLINGER und H. KROISS   |            |
| Mit 24 Abbildungen und 6 Tabellen   |            |
| <br>  |            |
| <b>3.1 Übersicht und Indikationen . . . . .</b>   | <b>89</b>  |
| 3.1.1 Primäre Hirnstammläsionen . . . . .   | 89         |
| 3.1.2 Sekundäre Hirnstammläsionen und den Hirnstamm mitbetroffende Erkrankungen . . . . . | 90         |
| 3.1.3 Monitoring . . . . .  | 93         |
| <br>  |            |
| <b>3.2 Methodik . . . . .</b>   | <b>94</b>  |
| 3.2.1 Stimulation . . . . .   | 94         |
| 3.2.2 Ableitungstechnik . . . . .   | 94         |
| 3.2.3 Probleme der Ableitung in der Intensivmedizin . . . . .                             | 96         |
| <br>  |            |
| <b>3.3 Auswertung . . . . .</b>   | <b>97</b>  |
| 3.3.1 Wellen I–VII (Generatoren) . . . . .  | 97         |
| 3.3.2 Krankheitsunabhängige Einflußgrößen auf die FAEP . . . . .                          | 98         |
| 3.3.2.1 Geschlecht . . . . .  | 98         |
| 3.3.2.2 Alter . . . . .   | 98         |
| 3.3.2.3 Vigilanz . . . . .  | 98         |
| 3.3.2.4 Körpertemperatur . . . . .  | 99         |
| 3.3.2.5 Pharmaka . . . . .  | 99         |
| 3.3.3 Normwerte und Auswertekriterien . . . . .   | 101        |
| <br>  |            |
| <b>3.4 Intensivmedizinische Einsatzmöglichkeiten . . . . .</b>                            | <b>102</b> |
| 3.4.1 Primäre Hirnstammläsionen . . . . .   | 102        |
| 3.4.1.1 Hirnstammbleutungen . . . . .   | 102        |
| 3.4.1.2 Hirnstamminfarkte . . . . .   | 105        |
| 3.4.1.3 Hirnstammtumoren . . . . .  | 108        |
| 3.4.1.4 Pontine Myelinolyse . . . . .   | 109        |
| 3.4.2 Sekundäre Hirnstammläsionen und den Hirnstamm mitbetroffende Erkrankungen . . . . . | 109        |
| 3.4.2.1 Schädel-Hirn-Trauma . . . . .   | 109        |
| 3.4.2.2 Supratentorielle Blutungen und Subarachnoidalblutungen . . . . .                  | 111        |
| 3.4.2.3 Supratentorielle Infarkte . . . . .   | 111        |
| 3.4.2.4 Supratentorielle Tumoren . . . . .  | 111        |
| 3.4.2.5 Globale hypoxische Hirnschädigung . . . . .                                       | 112        |
| 3.4.2.6 Entzündliche Hirnerkrankungen . . . . .   | 114        |
| 3.4.2.7 Toxische Enzephalopathie . . . . .  | 115        |
| 3.4.2.8 Metabolische Enzephalopathie . . . . .  | 117        |
| 3.4.3 Monitoring . . . . .  | 117        |
| 3.4.3.1 Therapie mit potentiell ototoxischen Antibiotika . . . . .                        | 117        |
| 3.4.3.2 Intraoperatives Monitoring . . . . .  | 117        |
| 3.4.3.3 Interventionelle Neuroradiologie . . . . .  | 119        |
| <br>  |            |
| <b>Literatur . . . . .</b>  | <b>120</b> |

|   |   |     |
|---|---|-----|
| <b>Kapitel 4</b>                            | <b>Somatosensorisch evozierte Potentiale (SEP)</b>                  | 129 |
| B. RIFFEL, B. SOMMER-EDLINGER und H. KROISS |   |     |
| Mit 12 Abbildungen und 8 Tabellen           |   |     |
| <b>4.1</b>                                  | <b>Übersicht und Indikationen</b>                                   | 130 |
| 4.1.1                                       | Primär supratentorielle Läsionen und diffuse zerebrale Erkrankungen | 130 |
| 4.1.2                                       | Primäre Hirnstammläsionen   | 131 |
| 4.1.3                                       | Spinale und periphere Läsionen                                      | 132 |
| 4.1.4                                       | Monitoring  | 133 |
| <b>4.2</b>                                  | <b>Methodik</b>   | 134 |
| 4.2.1                                       | Stimulation   | 134 |
| 4.2.2                                       | Ableitungstechnik   | 135 |
| 4.2.3                                       | Probleme der Ableitung in der Intensivmedizin                       | 138 |
| <b>4.3</b>                                  | <b>Auswertung der SEP</b>   | 139 |
| 4.3.1                                       | Medianus- und Tibialis-SEP (Generatoren)                            | 139 |
| 4.3.2                                       | Krankheitsunabhängige Einflußgrößen auf die SEP                     | 141 |
| 4.3.2.1                                     | Geschlecht  | 141 |
| 4.3.2.2                                     | Alter   | 141 |
| 4.3.2.3                                     | Körpergröße   | 141 |
| 4.3.2.4                                     | Vigilanz  | 142 |
| 4.3.2.5                                     | Körpertemperatur  | 142 |
| 4.3.2.6                                     | Pharmaka (einschl. Narkotika)                                       | 142 |
| 4.3.3                                       | Normwerte und Auswertekriterien                                     | 144 |
| <b>4.4</b>                                  | <b>Intensivmedizinische Einsatzmöglichkeiten</b>                    | 146 |
| 4.4.1                                       | Primär supratentorielle Läsionen und diffuse zerebrale Erkrankungen | 146 |
| 4.4.1.1                                     | Schädel-Hirn-Trauma   | 146 |
| 4.4.1.2                                     | Supratentorielle Blutungen und Subarachnoidalblutungen              | 150 |
| 4.4.1.3                                     | Supratentorielle Infarkte   | 152 |
| 4.4.1.4                                     | Supratentorielle Tumoren  | 153 |
| 4.4.1.5                                     | Globale hypoxische Hirnschädigung                                   | 154 |
| 4.4.1.6                                     | Entzündliche Hirnerkrankungen                                       | 155 |
| 4.4.1.7                                     | Toxische Enzephalopathien   | 155 |
| 4.4.2                                       | Primäre Hirnstammläsionen   | 156 |
| 4.4.2.1                                     | Hirnstammblutungen  | 156 |
| 4.4.2.2                                     | Hirnstamminfarkte   | 157 |
| 4.4.2.3                                     | Hirnstammtumoren  | 157 |
| 4.4.2.4                                     | Pontine Myelinolyse   | 158 |
| 4.4.3                                       | Spinale und periphere Läsionen                                      | 158 |
| 4.4.3.1                                     | Rückenmarksverletzungen   | 158 |
| 4.4.3.2                                     | Vaskuläre Myelopathien  | 158 |
| 4.4.3.3                                     | Spinale Raumforderungen   | 160 |
| 4.4.3.4                                     | Myelitis  | 160 |
| 4.4.3.5                                     | Guillain-Barré-Syndrom  | 161 |
| 4.4.3.6                                     | Traumatische Armplexusparese  | 162 |

|   |  |     |
|---|--|-----|
| 4.4.4   | Monitoring   | 163 |
| 4.4.4.1   | Überwachung der Hirnfunktion   | 163 |
| 4.4.4.2   | Überwachung der Rückenmarksfunktion                                      | 164 |
| <b>Literatur</b>                                      |  | 166 |
| <b>Kapitel 5 Visuell evozierte Potentiale</b>         |  | 177 |
| H.-U. VOELTER. Mit 11 Abbildungen und 2 Tabellen      |  |     |
| <b>5.1</b>  | <b>Einleitung</b>  | 177 |
| <b>5.2</b>  | <b>Durchführung</b>  | 177 |
| <b>5.3</b>  | <b>Auswertung</b>  | 179 |
| <b>5.4</b>  | <b>Beeinflussung der VEP durch innere und äußere Faktoren</b>            | 181 |
| 5.4.1   | Einflüsse von seiten des Patienten                                       | 181 |
| 5.4.2   | Pharmaka-Einflüsse   | 183 |
| <b>5.5</b>  | <b>Indikationen für VEP-Ableitungen</b>                                  | 184 |
| 5.5.1   | Koma   | 184 |
| 5.5.2   | Hirntod  | 187 |
| 5.5.3   | Schädel-Hirn-Trauma  | 188 |
| 5.5.4   | Globale hypoxische Hirnschädigung  | 190 |
| 5.5.5   | Fokale zerebrale Läsionen  | 190 |
| 5.5.6   | Hydrocephalus aresorptivus   | 191 |
| 5.5.7   | Objektive Visusprüfung bei Neugeborenen                                  | 191 |
| 5.5.8   | Therapieüberwachung beim Einsatz<br>potentiell neurotoxischer Substanzen | 193 |
| 5.5.9   | Postoperative Kontrollen nach neurochirurgischen Eingriffen              | 193 |
| 5.5.10  | Niereninsuffizienz   | 194 |
| <b>5.6</b>  | <b>Prognostische Aussagemöglichkeiten</b>                                | 194 |
| <b>Literatur</b>                                      |  | 195 |
| <b>Kapitel 6 Motorisch evozierte Potentiale (MEP)</b> |  | 201 |
| R. PFISTER. Mit 8 Abbildungen und 3 Tabellen          |  |     |
| <b>6.1</b>  | <b>Indikationen der MEP in der Intensivmedizin</b>                       | 201 |
| <b>6.2</b>  | <b>Untersuchungstechniken der MEP</b>                                    | 202 |
| 6.2.1   | Stimulation der motorischen Hirnrinde                                    | 202 |
| 6.2.1.1   | Elektrische Hochvoltstimulation  | 202 |
| 6.2.1.2   | Magnetstimulation  | 202 |
| 6.2.1.3   | Fazilitation der Reizantworten   | 204 |
| 6.2.1.4   | Methodenvergleich elektrische versus magnetische Stimulation             | 204 |
| 6.2.2   | Stimulation der motorischen Nervenwurzel                                 | 204 |
| 6.2.2.1   | Elektrische Hochvoltstimulation  | 204 |
| 6.2.2.2   | Magnetstimulation  | 205 |

|                            |   |            |
|----------------------------|---|------------|
| 6.2.2.3                    | Methodenvergleich elektrische versus magnetische Stimulation . . . . .                    | 205        |
| 6.2.3                      | Magnetstimulation peripherer Nerven . . . . .   | 206        |
| 6.2.4                      | Transkranielle Hirnnervenstimulation mit dem Magnetstimulator . . . . .                   | 206        |
| 6.2.5                      | Ableitetechnik . . . . .  | 206        |
| 6.2.6                      | Einfluß sedierender Medikamente . . . . .   | 206        |
| 6.2.7                      | Kontraindikationen . . . . .  | 207        |
| <b>6.3</b>                 | <b>Auswertekriterien und Normwerte . . . . .</b>  | <b>208</b> |
| 6.3.1                      | Latzenen . . . . .  | 208        |
| 6.3.2                      | Schwellenreizstärken und Amplituden . . . . .   | 210        |
| 6.3.2.1                    | Elektrische Hochvoltstimulation . . . . .   | 210        |
| 6.3.2.2                    | Magnetstimulation . . . . .   | 210        |
| <b>6.4</b>                 | <b>MEP-Befunde bei intensivmedizinisch relevanten Krankheiten und Syndromen . . . . .</b> | <b>211</b> |
| 6.4.1                      | Läsionen der Großhirnhemisphären . . . . .  | 211        |
| 6.4.2                      | Hirnstammläsionen . . . . .   | 211        |
| 6.4.3                      | Spinale Querschnittssyndrome . . . . .  | 212        |
| 6.4.4                      | Polyneuroradikulitis . . . . .  | 213        |
| 6.4.5                      | Umschriebene periphere Nervenläsionen . . . . .   | 213        |
| 6.4.6                      | Hysterische Lähmungen . . . . .   | 214        |
| <b>6.5</b>                 | <b>Prognostische Wertigkeit der MEP . . . . .</b>   | <b>215</b> |
| <b>Literatur . . . . .</b> |   | <b>215</b> |

|                  |   |            |
|------------------|---|------------|
| <b>Kapitel 7</b> | <b>Neurophysiologische Methoden in der Hirntoddiagnostik . . . . .</b>                                      | <b>219</b> |
|                  | M. STÖHR, B. SOMMER-EDLINGER, H. KROISS, K. PFADENHAUER<br>und B. RIFFEL. Mit 35 Abbildungen und 4 Tabellen |            |

|            |  |            |
|------------|--|------------|
| <b>7.1</b> | <b>Definition des Hirntodes und klinische Diagnostik . . . . .</b>                               | <b>219</b> |
| <b>7.2</b> | <b>EEG-Ableitungen im Hirntod . . . . .</b>  | <b>224</b> |
| 7.2.1      | Einleitung und Methodik . . . . .  | 224        |
| 7.2.2      | Typischer EEG-Befund im Hirntod . . . . .  | 226        |
| 7.2.3      | Erhaltene EEG-Aktivität trotz nachgewiesener klinischer<br>Hirntodkriterien . . . . .            | 228        |
| 7.2.4      | Nulllinien-EEG ohne Vorliegen des Hirntodes . . . . .  | 230        |
| 7.2.5      | Bedeutung des EEGs in der Feststellung des Hirntodes . . . . .                                   | 233        |
| <b>7.3</b> | <b>Frühe akustisch evozierte Potentiale (FAEP) . . . . .</b>                                     | <b>234</b> |
| 7.3.1      | Methodik . . . . .   | 234        |
| 7.3.2      | Typische FAEP-Befunde im Hirntod . . . . .   | 235        |
| 7.3.3      | Erhaltene Hirnstammkomponenten der FAEP<br>trotz erfüllter klinischer Hirntodkriterien . . . . . | 239        |
| 7.3.4      | Ausfall der im Hirnstamm generierten FAEP-Komponenten ohne<br>Vorliegen des Hirntodes . . . . .  | 242        |
| 7.3.5      | Bedeutung der FAEP in der Hirntoddiagnostik . . . . .  | 246        |

|  |     |
|--|-----|
| <b>7.4 Somatosensibel evozierte Potentiale (SEP)</b> . . . . .   | 248 |
| 7.4.1 Einleitung und Methodik . . . . .  | 248 |
| 7.4.2 Typische Medianus-SEP-Befunde im Hirntod . . . . .   | 249 |
| 7.4.3 Erhaltene supraspinale SEP-Komponenten<br>trotz erfüllter klinischer Hirntodkriterien . . . . .                      | 257 |
| 7.4.4 Ausfall der zerebralen SEP-Komponenten ohne Vorliegen<br>des Hirntodes . . . . .                                     | 258 |
| 7.4.5 Bedeutung der SEP in der Hirntoddiagnostik . . . . .   | 260 |
| <b>7.5 Doppler-Sonographie und<br/>transkranielle Doppler-Sonographie (TCD)</b> . . . . .                                  | 260 |
| <b>7.6 Rationeller Einsatz neurophysiologischer Untersuchungsmethoden<br/>bei der Feststellung des Hirntodes</b> . . . . . | 265 |
| <b>Literatur</b> . . . . .   | 267 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Kapitel 8 Elektromyographie und Neurographie</b> . . . . . | 271 |
| M. STÖHR und D. HEUSS. Mit 18 Abbildungen und 2 Tabellen      |     |

|  |     |
|--|-----|
| <b>8.1 Einleitung</b> . . . . .  | 271 |
| <b>8.2 Untersuchungsmethoden</b> . . . . .   | 271 |
| 8.2.1 Elektromyographie (EMG) . . . . .  | 271 |
| 8.2.2 Motorische Neurographie . . . . .  | 272 |
| 8.2.3 Sensible Neurographie . . . . .  | 273 |
| 8.2.4 Prüfung der neuromuskulären Überleitung (Myasthenie-Test) . . . . .  | 274 |
| 8.2.5 F-Antworten . . . . .  | 275 |
| 8.2.6 Reflexmessungen . . . . .  | 275 |
| <b>8.3 Akute Polyneuropathie (Guillain-Barré-Syndrom)</b> . . . . .  | 278 |
| 8.3.1 Klinik und Verlauf . . . . .   | 278 |
| 8.3.2 Elektrophysiologische Diagnostik . . . . .   | 280 |
| 8.3.3 Prognostische Aussagemöglichkeiten . . . . .   | 284 |
| <b>8.4 Myasthenia gravis</b> . . . . .   | 286 |
| 8.4.1 Klinik . . . . .   | 286 |
| 8.4.2 Neurophysiologische Diagnostik . . . . .   | 287 |
| <b>8.5 Präsynaptische Störungen der neuromuskulären Impulsübertragung<br/>(Lambert-Eaton-Syndrom und Botulismus)</b> . . . . . | 290 |
| 8.5.1 Lambert-Eaton-Syndrom . . . . .  | 290 |
| 8.5.2 Botulismus . . . . .   | 291 |
| <b>8.6 Dyskaliämische periodische Lähmungen</b> . . . . .  | 292 |
| 8.6.1 Klinik . . . . .   | 292 |
| 8.6.2 Elektrophysiologische Diagnostik . . . . .   | 293 |
| <b>8.7 Tetanie</b> . . . . .   | 293 |
| 8.7.1 Klinik . . . . .   | 293 |
| 8.7.2 Elektromyographische Befunde . . . . .   | 294 |

|                        |                                  |     |
|------------------------|----------------------------------|-----|
| <b>8.8</b>             | <b>Tetanus</b>                   | 295 |
| 8.8.1                  | Klinik                           | 295 |
| 8.8.2                  | Neurophysiologische Befunde      | 296 |
| <b>8.9</b>             | <b>Akute Hirnstammläsionen</b>   | 297 |
| 8.9.1                  | Klinik                           | 297 |
| 8.9.2                  | Elektrophysiologische Diagnostik | 298 |
| <b>Literatur</b>       |                                  | 300 |
| <b>Sachverzeichnis</b> |                                  | 303 |