



Bernd-Ulrich Meyer (Hrsg.)

Magnetstimulation des Nervensystems

Grundlagen und Ergebnisse der klinischen
und experimentellen Anwendung

Mit 112 Abbildungen und 20 Tabellen

Springer-Verlag
Berlin Heidelberg New York
London Paris Tokyo
Hong Kong Barcelona
Budapest

Dr. med. Bernd-Ulrich Meyer
Neurologische Klinik der TU München
Möhlstraße 28
D-8000 München 80

Auf dem Umschlag sind verschiedene Typen von Magnetspulen dargestellt.

ISBN-13: 978-3-642-47603-7

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Magnetstimulation des Nervensystems : Grundlagen und Ergebnisse der klinischen und experimentellen Anwendung / Bernd-Ulrich Meyer. – Berlin ; Heidelberg ; New York ; London ; Paris ; Tokyo ; Hong Kong ; Barcelona, Budapest : Springer, 1992

ISBN-13: 978-3-642-47603-7 e-ISBN-13: 978-3-642-47601-3

DOI: 10.1007/978-3-642-47601-3

NE: Meyer, Bernd-Ulrich

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweiligen geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1992
Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1992

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Produkthaftung: Für Angaben über Dosierungsanweisungen und Applikationsformen kann vom Verlag keine Gewähr übernommen werden. Angaben müssen vom jeweiligen Anwender im Einzelfall anhand anderer Literaturstellen auf ihre Richtigkeit überprüft werden.

Satz: Cicero Lasersatz GmbH, 8900 Augsburg

25/3145-5 4 3 2 1 0 – Gedruckt auf säurefreiem Papier

Inhaltsverzeichnis

Einführung mit methodengeschichtlichen Anmerkungen

| | |
|-----------------------|---|
| B.-U. MEYER | 1 |
| Literatur | 5 |

1. Anatomisch-funktionelle Grundlagen

H. STEINMETZ

| | |
|--|----|
| 1.1 Kortikale Ebene | 7 |
| 1.1.1 Allgemeiner Rindenbau | 7 |
| 1.1.2 Motorischer Kortex | 8 |
| 1.1.3 Somatosensorischer Kortex | 15 |
| 1.1.4 Visueller Kortex | 16 |
| 1.1.5 Transkallosale Verknüpfung | 18 |
| 1.1.6 Kraniozerebrale Topographie | 18 |
| 1.1.7 Variabilität der funktionellen Topographie | 20 |
| 1.2 Absteigende motorische Systeme | 21 |
| 1.2.1 Direktes kortikomotoneuronales System | 22 |
| 1.2.2 Indirektes kortikomotoneuronales System | 22 |
| Literatur | 23 |

2 Technische und physikalische Grundlagen

T. WEYH und K. SCHREIVOGEL

| | |
|--|----|
| 2.1 Das magnetische Feld | 27 |
| 2.1.1 Magnetfeld eines geraden stromdurchflossenen Leiters | 27 |
| 2.1.2 Zusammenhang zwischen magnetischer Feldstärke und Flußdichte | 28 |
| 2.1.3 Das lineare Superpositionsprinzip und das Biot-Savart- Gesetz | 29 |
| 2.1.4 Energieinhalt des magnetischen Feldes | 31 |
| 2.2 Zeitlich veränderliche magnetische Felder | 32 |
| 2.2.1 Faradays Induktionsversuche | 32 |
| 2.2.2 Selbstinduktion | 32 |

| | | |
|-------|---|----|
| 2.2.3 | Das Amperè'sche Durchflutungsgesetz und die Maxwellschen Gleichungen | 33 |
| 2.2.4 | Vektorpotential und skalares Potential | 34 |
| 2.3 | Veränderliches elektrisches Feld im Medium bzw. im Gewebe | 35 |
| 2.3.1 | Nervenreizung durch pulsformige Magnetfelder | 35 |
| 2.3.2 | Einflußgrößen für das magnetische und das induzierte elektrische Feld | 36 |
| 2.3.3 | Dielektrizitätszahl | 36 |
| 2.3.4 | Elektrische Leitfähigkeit | 37 |
| 2.3.5 | Elektrisches Feld im Gewebe | 38 |
| 2.4 | Elektrischer Leitungsmechanismus der magnetischen Stimulation | 39 |
| 2.4.1 | Elektrisches Leitungsmodell des Nerven | 39 |
| 2.4.2 | Auslösen einer Erregung durch ein äußeres elektrisches Feld | 40 |
| 2.4.3 | Mathematische Beschreibung des elektrischen Modells | 43 |
| 2.5 | Wichtige Parameter für die magnetische Stimulation | 46 |
| 2.5.1 | Geometrie der Spulen | 46 |
| 2.5.2 | Zusammenhang zwischen Reizstärke und Reizdauer | 47 |
| 2.5.3 | Einfluß der Pulsform auf die Reizantwort | 48 |
| 2.6 | Technische Grundlagen für Magnetstimulatorschaltungen | 49 |
| 2.7 | Vergleich verschiedener einfacher Spulengeometrien | 51 |
| 2.7.1 | Mathematischer Zusammenhang zwischen Vektorpotential und elektrischer Feldstärke | 51 |
| 2.7.2 | Verteilung von Vektorpotential und elektrischer Feldstärke entlang einer Nervenfasern | 52 |
| 2.7.3 | Runde Stimulationsspule | 53 |
| 2.7.4 | Doppelspule | 55 |
| 2.7.5 | Vergleich der beiden Spulentypen | 58 |
| | Literatur | 59 |

3 Sicherheitsaspekte und Kontraindikationen

B.-U. MEYER

| | | |
|-------|--|----|
| 3.1 | Energieübertragung auf das Gewebe | 61 |
| 3.2 | Mechanische und akustische Effekte | 62 |
| 3.3 | Strukturelle Gewebeveränderungen? | 64 |
| 3.4 | Beeinflussung von Körperfunktionen | 65 |
| 3.4.1 | Epileptogene Effekte | 65 |
| 3.4.2 | Hirnperfusion | 68 |
| 3.4.3 | Höhere Hirnfunktionen | 68 |
| 3.4.4 | Herz- und Kreislauffunktionen | 70 |
| 3.5 | Elektrische Hirnstimulation | 71 |
| | Literatur | 72 |

4 Physiologische Grundlagen

| | | |
|------------|--|-----|
| 4.1 | <i>Transkranielle Stimulation des motorischen Kortex</i> | |
| | B.-U. MEYER | 75 |
| 4.1.1 | Aktiviert Kortexstrukturen und deszendierende Bahnen . . . | 75 |
| 4.1.2 | Konzept der multiplen deszendierenden Erregungen | 78 |
| 4.1.3 | Kortikale Aktivierungsmechanismen der magnetischen Stimulation mit verschiedenen Richtungen des Spulenstromes und mit der elektrischen Stimulation | 84 |
| 4.1.4 | Faktoren mit Einfluß auf die exzitatorische Wirkung der Kortexstimulation | 87 |
| 4.1.5 | Untersuchungen zur Exzitabilität des kortikospinalen Systems | 93 |
| 4.1.6 | Inhibitorische Wirkungen der Kortexstimulation | 99 |
| 4.1.7 | Beeinflussung der Planung und Durchführung von Bewegungen | 103 |
| | Literatur | 104 |
| 4.2 | <i>Reifung von Pyramidenbahn und peripherem Nervensystem und Beziehungen zur Willkür- und Reflexmotorik</i> | |
| | K. MÜLLER und V. HÖMBERG | 109 |
| | Literatur | 116 |
| 4.3 | <i>Visuelles System</i> | |
| | R. DIEHL, B.-U. MEYER, G. BECKERS und V. HÖMBERG . . . | 118 |
| 4.3.1 | Auslösung von Phosphenen | 118 |
| 4.3.2 | Beeinflussung visueller Perzeption | 124 |
| 4.3.3 | Beeinflussung der Okulomotorik | 136 |
| | Literatur | 137 |

5 Grundlagen der diagnostischen Anwendung der Magnetstimulation

B.-U. MEYER und C. BISCHOFF

| | | |
|------------|--|-----|
| 5.1 | <i>Einführung</i> | 141 |
| 5.2 | <i>Standardisierte Untersuchung zentraler und peripherer motorischer Latenzzeiten</i> | 144 |
| 5.2.1 | Prinzip der Bestimmung zentraler motorischer Latenz- zeiten | 145 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 5.2.2 | Durchführung der magnetischen Kortextstimulation | 150 |
| 5.2.3 | Durchführung der magnetischen „Wurzelreizung“ und anderer Verfahren zur Bestimmung peripherer motorischer Latenzzeiten | 154 |
| 5.2.4 | Parameter kortikal ausgelöster Muskelantworten | 159 |
| 5.3 | <i>Magnetstimulation peripherer Nerven</i> | 162 |
| 5.3.1 | Vor- und Nachteile | 163 |
| 5.3.2 | Elektrophysiologische Eigenschaften | 164 |
| 5.3.3 | Auslösung somatosensorisch evozierter Potentiale | 174 |
| 5.3.4 | Untersuchung sensibler Nerven | 176 |
| 5.3.5 | Praktische Anwendung | 176 |
| 5.4 | <i>Untersuchung des Tractus corticonuclearis und der Hirnnerven</i> | 179 |
| 5.4.1 | Grundlagen | 179 |
| 5.4.2 | Diagnostische Anwendung | 186 |
| | Literatur | 190 |

6 Befunde bei verschiedenen Krankheiten

| | | |
|-----|---|-----|
| 6.1 | <i>Schlaganfälle und andere Hirnläsionen</i> C. FAUTH und B.-U. MEYER | 197 |
| | Literatur | 204 |
| 6.2 | <i>Umorganisation des motorischen Kortex bei Amputierten</i> B.-U. MEYER | 206 |
| | Literatur | 208 |
| 6.3 | <i>Spiegelbewegungen</i> B.-U. MEYER | 209 |
| | Literatur | 216 |
| 6.4 | <i>Pyramidale und extrapyramidale Läsionen im Kindesalter</i> K. MÜLLER und V. HÖMBERG | 218 |
| | Literatur | 221 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 6.5 | <i>Erkrankungen der Basalganglien</i> | |
| | B.-U. MEYER | 223 |
| 6.5.1 | Morbus Parkinson | 224 |
| 6.5.2 | Supranukleäre Blickparese | 226 |
| 6.5.3 | Dystonien | 226 |
| 6.5.4 | Morbus Huntington | 227 |
| 6.5.5 | Morbus Wilson | 233 |
| | Literatur | 234 |
| 6.6 | <i>Psychogene Lähmungen</i> | |
| | B.-U. MEYER | 238 |
| | Literatur | 241 |
| 6.7 | <i>Encephalomyelitis disseminata</i> | |
| | R. BENECKE und R. KNUR | 243 |
| 6.7.1 | Bedeutung neurophysiologischer Untersuchungsverfahren | 244 |
| 6.7.2 | Befunde mit der Magnetstimulation | 245 |
| 6.7.3 | Pathophysiologie und diagnostische Relevanz | 255 |
| | Literatur | 257 |
| 6.8 | <i>Motorische Systemerkrankungen</i> | |
| | G. KÜTHER und A. LUDOLPH | 259 |
| 6.8.1 | Amyotrophische Lateralsklerose | 259 |
| 6.8.2 | Spinale und neurale Muskelatrophien | 264 |
| 6.8.3 | Spastische Spinalparalyse | 265 |
| 6.8.4 | Lathyrismus und tropische spastische Paraparese | 265 |
| | Literatur | 267 |
| 6.9 | <i>Myelopathien</i> | |
| | C. BISCHOFF und B.-U. MEYER | 269 |
| | Literatur | 272 |
| 6.10 | <i>Erkrankungen mit überwiegender Beteiligung peripherer Nerven</i> | |
| | C. BISCHOFF und B.-U. MEYER | 273 |
| 6.10.1 | Radikulopathien | 274 |
| 6.10.2 | Traumatische Plexusläsionen und Läsionen peripherer Nerven | 280 |
| 6.10.3 | Plexusneuritiden | 282 |
| 6.10.4 | Neuropathien | 285 |

6.10.5 Hereditäre Ataxien 288
6.10.6 Sonstige Erkrankungen 289
Literatur 289

6.11 Motorische Störungen in von Hirnnerven versorgten Muskeln
B.-U. MEYER und C. BISCHOFF 292
6.11.1 Vom Nervus facialis versorgte Muskeln 292
6.11.2 Von anderen Hirnnerven versorgte Muskeln 299
Literatur 303

7 Intraoperatives Monitoring und Wirkungen von Anaesthetika

R. F. GHALY, W. J. LEVY und J. L. STONE

7.1 Intraoperatives Monitoring der descendierenden motorischen Bahnen 306
7.1.1 Erfassung von Läsionen 306
7.1.2 Erfassung von Perfusionsänderungen 308
7.1.3 Verbesserung der bisherigen Monitoring-Strategie 309
7.1.4 Einfluß von Randbedingungen 309
7.2 Anästhesieeffekte 313
7.2.1 Inhalationsanästhetika 315
7.2.2 Intravenöse Anästhetika 325
7.2.3 Muskelrelaxanzien 333
7.2.4 Antikonvulsiva 333
Literatur 333

8 Normwerte

B.-U. MEYER

Einleitung 339
Tabellen 344
Literatur 370

Sachregister 373

Autorenverzeichnis

Georg Beckers, Dipl.-Psych.

Neurologisches Therapiezentrum, Institut an der Heinrich-Heine-Universität,
Hohensandweg 37, 4000 Düsseldorf 13

Prof. Dr. med. R. Benecke

Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, Neurologische Klinik,
Moorenstr. 5, 4000 Düsseldorf 1

Dr. med. Christian Bischoff

Technische Universität München, Klinikum rechts der Isar, Neurologische Klinik,
Möhlstraße 28, 8000 München 80

Dr. rer. nat. Rolf Diehl

Fakultät für klinische Medizin der Universität Heidelberg, Neurologische Klinik,
Theodor-Kutzer-Ufer, 6800 Mannheim

Christine Fauth

Technische Universität München, Klinikum rechts der Isar, Neurologische Klinik,
Möhlstr. 28, 8000 München 80

Ramsis F. Ghaly, MD

University of Illinois, Division of Neurosurgery,
912 S.Woods street, Chicago, IL 60612, USA

Dr. med. Volker Hömberg

Neurologisches Therapiezentrum, Institut an der Heinrich-Heine-Universität,
Hohensandweg 37, 4000 Düsseldorf 13

Dr. med. Reiner Knur

Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, Neurologische Klinik,
Moorenstr. 5, 4000 Düsseldorf 1

Dr. med. Gerald Küther

Arzt für Neurologie, Lützowstr. 12, 8000 München 60

Walter J. Levy, MD

Department of Neurological Surgery,
3000 W. Cybrus Creek, Fort Lauderdale, Fl. 33309, USA

Priv. Doz. Dr. med. Albert C. Ludolph
Epileptologie, Universitätsnervenklinik und Poliklinik,
Sigmund-Freud-Str. 25, 5300 Bonn 1

Dr. med. Bernd-Ulrich Meyer
Technische Universität München, Klinikum rechts der Isar, Neurologische Klinik,
Möhlstr. 28, 8000 München 80

Dr. med. Katharina Müller
Kinderklinik der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf,
Moorenstr. 5, 4000 Düsseldorf 1

Klaus Schreivogel, Dipl.-Ing.
Technische Universität München, Lehrstuhl für elektrische Geräte und Maschinen
im Institut für Energietechnik,
Arcisstr. 21, 8000 München 2

Priv. Doz. Dr. med. Helmuth Steinmetz
Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, Neurologische Klinik,
Moorenstr. 5, 4000 Düsseldorf 1

James L. Stone, MD
University of Illinois
Department of Neurosurgery,
912 South Wood street, Chicago, IL 60612

Thomas Weyh, Dipl.-Phys.
Technische Universität München, Lehrstuhl für elektrische Geräte und Maschinen
im Institut für Energietechnik,
Arcisstr. 21, 8000 München 2