

Vorwort **XIII**

Hinweise zum Gebrauch dieses Werkes **XV**

Über den Herausgeber **XVII**

Autorenverzeichnis **XIX**

TEIL III: Elektromagnetisches Spektrum – nichtionisierende Strahlung **1**

1 Medizinrelevante Bereiche aus dem elektromagnetischen Spektrum **3**

2 Diagnostik **11**

2.1 Grundlagen der Magnetresonanztomografie (Magnetic Resonance Imaging, MRI) 11

2.1.1 Wechselwirkung eines kernmagnetischen Moments mit einem externen Magnetfeld 11

2.1.2 Klassische Beschreibung der NMR: Die Bloch-Gleichungen und die Relaxation 12

2.1.3 Das NMR-Experiment 13

2.1.3.1 Messung von Relaxationsraten 14

2.1.4 Prinzipien der Magnetresonanzbildgebung (MRI) 16

2.1.4.1 Räumliche Codierung 16

2.1.4.2 Der *k*-Raum 19

2.1.4.3 Scheibenselektion 20

2.1.4.4 Einige wichtige MRI-Aufnahmeverfahren 20

2.1.5 Kontrast in der Magnetresonanztomografie 23

2.1.5.1 Longitudinale und transversale Relaxation 23

2.1.5.2 Mikroskopische Bewegung – Diffusion und Mikrozirkulation 24

2.1.5.3 Kontrast infolge makroskopischer Bewegung 33

2.1.5.4 Magnetisierungsübertragung durch chemische Reaktionen oder Spindiffusion 36

2.1.5.5 Phasenkontrast und Suszeptibilitätsbildgebung 38

2.1.5.6 Kontrast in MR-Bildern 39

2.1.6 Empfindlichkeit der Magnetresonanztomografie 39

2.1.7 Schlussbemerkung 41

2.1.8 Statischer Magnet 42

2.1.8.1 Typische Magnetfeldstärken 45

2.1.8.2 Bedeutung der Feldstärke 46

- 2.1.9 Magnetfeldgradienten-Einheit 47
 - 2.1.9.1 Frequenzcodierung 48
 - 2.1.9.2 Phasencodierung 49
 - 2.1.9.3 Schichtselektion 49
 - 2.1.9.4 Hardware 50
- 2.1.10 Anregungs- und Empfangsspulen 50
- 2.1.11 Kontraste und Kontrastmittel 53
- 2.1.12 Spezifische Messstrategien 57
 - 2.1.12.1 Bewegungsartefakte 57
 - 2.1.12.2 Cine-MRT, Echtzeit-MRT 58
 - 2.1.12.3 Elastografie 59
 - 2.1.12.4 Funktionelle Bildgebung 60
 - 2.1.12.5 X-Kerne 61
 - 2.1.12.6 Field-Cycling 62
- 2.1.13 Anwendungsbeispiele 63
- 2.1.14 MRT-Sicherheit 69
 - 2.1.14.1 Potenzielle Gefahren 69
 - 2.1.14.2 Kennzeichnung und Überwachung der MR-Umgebung 72
 - 2.1.14.3 Prüfmethode für medizinische Geräte 72
 - 2.1.14.4 Vorgehen bei Notfallsituationen 73
 - 2.1.14.5 Aus Fehlern lernen 75
- 2.2 Diagnostik im Infrarotbereich 76
 - 2.2.1 Bildgebung im NIR und SWIR 76
 - 2.2.1.1 Vorteile und Unterschiede zwischen NIR und SWIR 77
 - 2.2.1.2 Kameratechnik 78
 - 2.2.1.3 Lichtquellen 82
 - 2.2.1.4 Bildgebung 83
 - 2.2.1.5 Bildbearbeitung 85
 - 2.2.2 Reflexionsbildgebung im Infrarotbereich 88
 - 2.2.3 Fluoreszenzbildgebung im Infrarotbereich 89
 - 2.2.4 Strahlenschutz 92
 - 2.2.5 Videonystagmografie (VNG)/Videookulografie (VOG) 94
 - 2.2.6 Dermatologische Diagnostik und Therapie im Infrarotbereich (IR) 97
 - 2.2.6.1 Optische Kohärenztomografie (OCT) 97
 - 2.2.6.2 In-vivo-konfokale Laserscanmikroskopie (In-vivo-KLM) 99
 - 2.2.6.3 Line-Field-konfokale optische Kohärenztomografie (LC-OCT) 101
 - 2.2.6.4 Lasertherapie in der Dermatologie im IR-Bereich 105
 - 2.2.7 Atemgasmessungen im IR 108
 - 2.2.7.1 Atemgase 108
 - 2.2.7.2 Nichtdispersive Infrarotmessung (NDIR-Messung) 109
 - 2.2.8 NIRS-Sonde zur endoskopischen Gewebediagnostik 115
 - 2.2.8.1 Messprinzip der NIRS-Spektroskopie 115
 - 2.2.8.2 Komponenten des Untersuchungsverfahrens 115
 - 2.2.8.3 Anwendungen 117
 - 2.2.9 NIRS-Monitoring des Harnblasenfüllungszustands 117
 - 2.2.9.1 Lambert-beersches Gesetz in Anwendung auf die Harnblase 117
 - 2.2.9.2 Messung der Strahlungsintensität und Messdatenverarbeitung 118

2.2.9.3	Interpretation des Messergebnisses durch Machine-Learning-Algorithmen	120
2.2.9.4	Technisch-konstruktive Umsetzung und patientenseitige Anwendung	120
2.2.10	Hyperspektrale Bildgebung (Hyperspectral Imaging, HSI)	121
2.2.10.1	Perfusionsprofile	123
2.2.10.2	Perfusionsprofile bei Diabetes- oder pAVK-Wundpatienten	124
2.2.10.3	Perfusionsprofile bei Narben	125
2.2.10.4	HSI bei Verbrennungswunden	126
2.3	Sichtbares Licht	127
2.3.1	Optische Verfahren in der Augendiagnostik	127
2.3.1.1	Spaltlampenfotografie	127
2.3.1.2	Fundusfotografie	128
2.3.1.3	Optische Kohärenztomografie (OCT)	129
2.3.1.4	Fluoreszenzangiografie	132
2.3.1.5	Optische Kohärenztomografie-Angiografie (OCT-A)	133
2.3.1.6	Untersuchungen der Hornhaut	134
2.3.1.7	Optische Biometrie	137
2.3.1.8	Ultraschall	138
2.3.2	Dermatologische Diagnostik und Therapie im sichtbaren Lichtbereich	139
2.3.2.1	Diagnostik mittels Auflichtmikroskopie	139
2.3.2.2	Lasertherapie in der Dermatologie im sichtbaren Lichtbereich	143
2.3.2.3	Photodynamische Therapie (PDT)	145
2.3.2.4	Ex-vivo-konfokale Laserscanmikroskopie (Ex-vivo-KLM)	146
3	Therapie	155
3.1	Magnetfeldtherapie	155
3.1.1	Physikalische und physiologische Grundlagen	155
3.1.2	Technische Umsetzung	156
3.1.3	Medizinische, klinische Anwendungen	158
3.1.4	Kontraindikationen und Nebenwirkungen	158
3.1.5	Zusammenfassung und Ausblick	159
3.2	Magnetische Neurostimulation	159
3.2.1	Transkranielle Magnetfeldstimulation	159
3.2.2	Niederfeld-Magnetfeldstimulation	163
3.3	Fototherapie	164
3.3.1	Lichtquellen	165
3.3.2	Biologische Effekte der Fototherapie	166
3.3.3	UV-Licht (100 – 400 nm)	168
3.3.4	Sichtbares Licht (380 – 780 nm)	169
3.3.5	Infrarotstrahlung (780 – 1000 µm)	170
3.3.6	Photodynamische Therapie (PDT)	170
3.3.7	Nebenwirkungen	171
3.3.8	Perspektiven der Fototherapie	171
3.4	Laser in der Medizin	172
3.4.1	Physikalische Grundlagen	172
3.4.1.1	Laserprinzip	172

3.4.1.2	Laservorgang	174
3.4.1.3	Eigenschaften der Laserstrahlung	175
3.4.2	Gerätetechnik	176
3.4.2.1	Technische Umsetzung des Laserprinzips	176
3.4.2.2	Lasermedien und Lasertypen	177
3.4.2.3	Betriebsarten	179
3.4.2.4	Laserparameter	180
3.4.3	Strahlführung und Applikationssysteme	181
3.4.3.1	Strahlführungssysteme	181
3.4.3.2	Optische Endglieder	182
3.4.3.3	Applikationstechniken	184
3.4.4	Biologische Wirkung von Laserstrahlung	185
3.4.4.1	Grundlagen der Gewebeoptik	185
3.4.4.2	Laser-Gewebe-Effekte	188
3.4.5	Therapeutische Laseranwendungen	190
3.4.5.1	Einsatzgebiete medizinischer Lasersysteme	190
3.4.5.2	Medizinische Laserverfahren	193
3.4.6	Lasersicherheit	195
3.4.6.1	Rechtlicher Rahmen	195
3.4.6.2	Sicherheitstechnische Anforderungen an Lasergeräte	196
3.4.6.3	Schutzmaßnahmen	197
3.4.6.4	Laserschutzbrillen	198
3.5	Kaltplasmatechnologie	199
3.5.1	Dielektrische behinderte Entladung (DBE)	201
3.5.2	Atmosphärendruck-Plasmajets (APPJ)	201
3.5.3	Technische Erzeugung und Eigenschaften	202
3.5.4	Klinische Anwendungen von kalten Plasmen	205
3.6	Dermatologische Therapie im UV-Bereich	206
3.6.1	Physikalische und biologische Grundlagen	206
3.6.2	Fotodiagnostik	207
3.6.3	Fototherapie	207
3.6.4	Fotochemotherapie	209
3.6.5	Lasertherapie im UV-Bereich	209
3.7	Therapie mit Hyperthermie	210
3.7.1	Definition	210
3.7.2	Pathophysiologische Grundlagen	210
3.7.3	Temperaturkurven	212
3.7.4	Physikalische Grundlagen	213
3.7.4.1	Konduktive Wärmeerzeugung	214
3.7.4.2	Elektromagnetische Wärmeerzeugung	214
3.7.4.3	Kapazitive Hyperthermiesysteme	214
3.7.4.4	Ultraschallhyperthermie	214
3.7.4.5	Magnetische Flüssigkeitshyperthermie	215
3.7.4.6	Thermosensitive Liposome (TSL)	215
3.7.5	Hyperthermieverfahren	215
3.7.5.1	Lokoregionäre hypertherme Perfusion	216
3.7.5.2	Regionale Tiefenhyperthermie in Kombination mit Kernspintomografie ..	216

3.7.6	Nebenwirkungen und Gefahren	216
3.7.7	Rechtliche und formale Vorgaben	217
TEIL IV: Elektrische Ströme		223
1	Einführung	225
1.1	Voraussetzungen für die Entstehung des Ruhe- und Aktionspotenzials	226
1.1.1	Ionenkanäle in der Membran	226
1.1.2	Konzentrationen von Ionen im Intra- und Extrazellulärraum	227
1.1.3	Zusammenwirken der chemischen und elektrischen Gradienten	227
1.1.4	Membranpumpen zur Stabilisierung der Gradienten	227
1.2	Das Ruhepotenzial	228
1.3	Das Aktionspotenzial	229
1.3.1	Entstehung/Auslösung des Aktionspotenzials	229
1.3.2	Weiterleitung des Aktionspotenzials	230
1.3.3	Aktionspotenzial am Herzen	231
1.4	Synaptische Übertragung	232
1.5	Elektrophysiologische Messtechnik	233
1.5.1	Feldpotenziale	233
1.5.2	Messung der Nervenleitgeschwindigkeit	233
1.5.3	Elektrokardiografie (EKG)	234
1.5.4	Elektroenzephalografie (EEG)	235
1.6	Reizung von Geweben und Organen mit elektrischem Strom	235
1.6.1	Bedeutung der Reizelektroden	236
1.6.2	Bedeutung von Stromrichtung, Stromstärke, Stromflussdauer und Anstiegssteilheit	236
1.6.3	Reizung mit Gleichstrom und Wechselstrom	237
1.6.4	Wärmewirkung hochfrequenter Wechselströme und Elektrochirurgie	238
2	Diagnostische Anwendungen	239
2.1	Elektroenzephalografie (EEG)	239
2.1.1	Messsystem	239
2.1.2	Ableitung	240
2.2	Elektroneurografie (ENG)	241
2.2.1	Messsystem	241
2.2.1.1	Differenzverstärker	242
2.2.1.2	Analog-digital-Wandler	242
2.2.1.3	Filter	243
2.2.1.4	Stimulatoren	243
2.2.2	Elektrische Eigenschaften des Axons	244
2.2.3	Motorische Elektroneurografie	245
2.2.4	F-Welle	246
2.2.5	Sensible Elektroneurografie	247
2.2.6	Repetitive Stimulation	247

2.3	Elektromyografie (EMG)	247
2.3.1	Motorische Einheit	247
2.3.2	Nadelelektroden	248
2.3.3	Ablauf der EMG-Untersuchung	248
2.3.3.1	In Ruhe	248
2.3.3.2	Willkürinnervation	248
2.3.3.3	Maximale Innervation	249
2.3.4	Single-Fiber-EMG (SF-EMG)	249
2.4	Evozierte Potenziale (EP)	250
2.4.1	Averaging	250
2.4.2	Platzierung der Elektroden	250
2.4.3	Messsystem	251
2.4.4	Potenzialgeneratoren	251
2.4.5	Visuell evozierte Potenziale (VEP)	252
2.4.6	Akustisch evozierte Potenziale (AEP)	252
2.4.7	Somatosensibel evozierte Potenziale (SEP)	252
2.5	Intraoperatives Neuromonitoring (IONM)	253
2.5.1	Kontinuierliche Überwachung	253
2.5.1.1	Prozessiertes Elektroenzephalogramm (pEEG)	253
2.5.1.2	Somatosensibel evozierte Potenziale (SSEP)	253
2.5.1.3	Motorisch evozierte Potenziale (MEP)	254
2.5.1.4	Akustisch evozierte Potenziale (AEP)	254
2.5.1.5	Visuell evozierte Potenziale (VEP)	254
2.5.2	Lokalisationstechniken	255
2.5.2.1	Direkte kortikale Stimulation (DCS)	255
2.5.2.2	SEP-Phasenumkehr	255
2.5.2.3	Elektromyografie (EMG)	256
2.6	Elektrophysiologische Diagnostik in der Augenheilkunde	256
2.6.1	Physiologische Grundlagen	257
2.6.1.1	Aufbau des Auges und der Netzhaut	257
2.6.1.2	Aufbau der Sehbahn	258
2.6.1.3	Die fotoelektrische Transduktion (Fototransduktion)	259
2.6.2	Durchführung einer elektrophysiologischen Untersuchung	260
2.6.2.1	Geräte und Verbrauchsmaterial	260
2.6.2.2	Ablauf der Untersuchung	261
2.6.2.3	Elektrophysiologische Untersuchungstypen	261
2.7	Elektronystagmografie (ENG)/Elektrookulografie (EOG)	267
2.7.1	Bitemporale Elektrodenanordnung	267
2.7.2	Monokulare Elektrodenanordnung	267
2.8	Elektrokardiografie (EKG)	268
2.8.1	Funktion eines EKG-Messgeräts	268
2.8.2	Entwicklung des EKGs	268
2.8.3	EKG über Körperoberfläche	270
2.8.3.1	Signalartefakte	270
2.8.3.2	Ergebnisse	271
2.8.3.3	Instrumentenverstärker	271

2.8.4	EKG: Extremitäten- und Brustwandableitung	273
2.8.5	Event-Ereignis-Rekorder	273
2.8.5.1	Externer Event-Rekorder	273
2.8.5.2	Externer Loop-Rekorder	274
2.8.5.3	Implantierbarer Event-Rekorder	274
2.8.5.4	Implantierbarer Loop-Rekorder	274
2.8.6	Innovative Entwicklungen	275
2.8.6.1	Rhythmuspflaster	275
2.8.6.2	Smarte Pflaster	275
2.8.7	Kathetergestützte EKG-Ableitung	276
2.8.7.1	Uni- und bipolarer Ableitungsmodus	277
2.8.7.2	Kathetervisualisierung	277
2.8.7.3	3D-Voltage-Mapping	278
3	Anwendungen in der Therapie	283
3.1	Elektrostimulation	283
3.1.1	Neurostimulation	283
3.1.1.1	Hirnstimulation	283
3.1.1.2	Rückenmarkstimulation	286
3.1.1.3	Anwendungen bei den Sinnesorganen	287
3.1.1.4	Sakralnervenstimulation (SNS)	288
3.1.2	Elektrische Beeinflussung der Herzaktion	290
3.1.2.1	Aufbau implantierbarer Herzschrittmacher	292
3.1.2.2	Defibrillatoren	306
3.1.2.3	CRT-Systeme zur kardialen Resynchronisation	324
3.1.2.4	Telemedizinische Funktionen	326
3.1.3	Elektrische Beeinflussung von Hohlorganen	326
3.1.3.1	Hohlorganschrittmacher	326
3.1.3.2	Magenschrittmacher	327
3.2	Elektrochirurgie	327
3.2.1	Physikalische und physiologische Grundlagen	328
3.2.2	Auswirkungen von Strom auf den menschlichen Körper	328
3.2.2.1	Elektrolyse	329
3.2.2.2	Faradischer Effekt	329
3.2.2.3	Thermischer Effekt	329
3.2.3	Thermischer Effekt im Gewebe	330
3.2.4	Anwendung der Elektrochirurgie	330
3.2.4.1	Monopolare Technik	330
3.2.4.2	Bipolare Technik	333
3.2.4.3	Risiken und Gefahren der Elektrochirurgie	334
3.2.4.4	Elektrochirurgischer Mode	335
3.2.5	Elektrochirurgiegeräte	336
3.2.6	Elektrochirurgische Instrumente	337
3.2.7	Anwendungen der Elektrochirurgie	338
3.2.7.1	Elektrochirurgische Koagulation	338
3.2.7.2	Elektrochirurgische Gefäßversiegelung (Thermofusion)	339
3.2.7.3	Elektrochirurgische Gewebeabtragung (Ablation)	339

3.2.7.4	Elektrochirurgischer Schnitt (Dissektion)	340
3.2.8	Elektrochirurgie mit Argonplasma	341
3.3	Elektrotherapie	343
3.3.1	Auswirkungen der Elektrotherapie auf das Gewebe	344
3.3.2	Klassifizierung der Modalitäten der Elektrotherapie	344
3.3.2.1	Transkutane elektrische Nervenstimulation (TENS)	345
3.3.2.2	Neuromuskuläre Elektrostimulation (NMES)	346
3.3.2.3	Galvanische Stimulation (GS)	347
3.3.2.4	Interferenzstromtherapie (IFT)	347
3.3.2.5	Stimulation des Rückenmarks (Spinal Cord Stimulation, SCS)	347
3.3.2.6	Kraniale Elektrotherapiestimulation (CES)	347
3.3.2.7	Transkranielle Gleichstromstimulation (tDCS)	347
3.3.2.8	Funktionelle Elektrostimulation (FES)	347
3.3.2.9	Hochfrequente Elektrostimulation (HFS)	347
3.3.3	Physikalische Parameter der Stromtherapie	348
3.3.4	Pulsformen	349
3.3.5	Sicherheit der Elektrotherapie	350
3.3.6	Kontraindikationen und Warnhinweise in der Stromtherapie	351
3.3.7	Leitlinien zur Anwendung der Elektrotherapie	351
3.3.8	Elektroden für die Elektrotherapie	352
3.3.8.1	Arten von Elektroden	352
3.3.8.2	Ort und Richtung der Elektrodenanlagen	352
3.3.8.3	Innovative Elektrodenmaterialien	352
3.3.9	Erforderliche Ausbildung zur Anwendung der Elektrotherapie	354
Index		359