Thieme

Sensomotorisches System

Physiologisches Detailwissen für Physiotherapeuten

Herausgegeben von
Wolfgang Laube

Christoph Anders
Christian Angleitner
Georg Blümel
Andreas Kannenberg
Hans-Georg Schaible
Andreas Schlumberger
Thomas Weiß

380 Abbildungen
28 Tabellen

Georg Thieme Verlag
Stuttgart · New York

Bibliografische Information
Der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.d-nb.de abrufbar.

Wichtiger Hinweis: Wie jede Wissenschaft ist die Medizin ständigen Entwicklungen unterworfen. Forschung und klinische Erfahrung erweitern unsere Erkenntnisse, insbesondere was Behandlung und medikamentöse Therapie anbelangt. Soweit in diesem Werk eine Dosierung oder eine Applikation erwähnt wird, darf der Leser zwar darauf vertrauen, dass Autoren, Herausgeber und Verlag große Sorgfalt darauf verwandt haben, dass diese Angabe **dem Wissensstand bei Fertigstellung des Werkes** entspricht.

Für Angaben über Dosierungsanweisungen und Applikationsformen kann vom Verlag jedoch keine Gewähr übernommen werden. **Jeder Benutzer ist angehalten**, durch sorgfältige Prüfung der Beipackzettel der verwendeten Präparate und gegebenenfalls nach Konsultation eines Spezialisten festzustellen, ob die dort gegebene Empfehlung für Dosierungen oder die Beachtung von Kontraindikationen gegenüber der Angabe in diesem Buch abweicht. Eine solche Prüfung ist besonders wichtig bei selten verwendeten Präparaten oder solchen, die neu auf den Markt gebracht worden sind. **Jede Dosierung oder Applikation erfolgt auf eigene Gefahr des Benutzers.** Autoren und Verlag appellieren an jeden Benutzer, ihm etwa auffallende Ungenauigkeiten dem Verlag mitzuteilen.

© 2009 Georg Thieme Verlag KG
Rüdigerstraße 14
D-70469 Stuttgart
Unsere Homepage: http://www.thieme.de

Printed in Germany

Fachredaktion: Johannes Ermel, Karlsbad
Zeichnungen: Andrea Schnitzler, Innsbruck
Umschlaggestaltung: Thieme Verlagsgruppe
Umschlagfoto: fotolia.com/Argus
Satz: medionet Publishing Services Ltd., Berlin
Gesetzt in Adobe InDesign CS3
Druck: Grafisches Centrum Cuno, Calbe

1 2 3 4 5 6

ISBN 978-3-13-148371-3

Geschützte Warennamen (Warenzeichen) werden **nicht** besonders kenntlich gemacht. Aus dem Fehlen eines solchen Hinweises kann also nicht geschlossen werden, dass es sich um einen freien Warennamen handelt.

Das Werk, einschließlich aller seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Anschriften

Herausgeber

Dr. sc. med. Wolfgang Laube
Landeskrankenhaus Rankweil
Abteilung für physikalische Medizin
Valdunastraße 16
6830 Rankweil (Österreich)

Autoren

Dr. Georg Blümel
BfMC Biofeedback Motor Control GmbH
Naumburger Str. 28
04229 Leipzig

Prim. Dr. Christian Angleitner MSc D.O.
Leiter des Instituts für Physikalische Medizin und Rehabilitation
und Leiter der Abteilung für Akutgeriatrie und Remobilisation
Krankenhaus der Barmherzigen Schwestern Ried Betriebsgesellschaft m.b.H.
Schlossberg 1
4910 Ried

PD Dr. Ch. Anders
Universitätsklinikum Jena
Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie
FB Motorik, Pathophysiologie und Biomechanik
07740 Jena

Dr. med. Andreas Kannenberg
Facharzt für Allgemeinmedizin – Naturheilverfahren
Breslauer Str. 1
37191 Katlenburg-Lindau

Prof. Dr. Hans-Georg Schaible
Klinikum der Friedrich-Schiller-Universität Jena
Institut für Physiologie I/Neurophysiologie
Teichgraben 8
07743 Jena.

Andreas Schlumberger
EDEN Reha, Klinik für Sport- und Unfallverletzte
Lessingstraße 39
93093 Donaustauf

Thomas Weiss
Friedrich-Schiller-Universität
Institut für Psychologie, Biologische und Klinische Psychologie
Am Steiger 3 Haus 1
07743 Jena

Geleitwort

Das sensomotorische System und dessen Erkrankungen spielen aus epidemiologischer Sicht nicht nur in den hoch entwickelten Industriestaaten eine bedeutsame Rolle. Um durch präventive und kurative Ansätze gezielt die Zahl dieser Erkrankungen und deren Kosten zu minimieren, ist eine breite Kenntnis der Physiologie und Pathophysiologie des Bewegungssystems Voraussetzung. Dabei ist entscheidend, dass derartige, aktuelle Kenntnisse in Fachgebieten wie der Prävention und Gesundheitsförderung, der Physio-, Sport- und Ergotherapie und den medizinischen Fachgebieten wie der Manuellen Medizin, Sportmedizin, Orthopädie, Unfallchirurgie und z.B. der Inneren Medizin wirksam werden und beim diagnostischen und therapeutischen Vorgehen behilflich sind.

Allein eine möglichst konkrete Kenntnis der Ätiopathogenese der Krankheitsbilder des Bewegungssystems wird es Therapeuten und Präventions- wie Rehabilitationsexperten ermöglichen, gezielt und erfolgreich zu intervenieren und damit die Leiden der Betroffenen zu beenden oder zumindest zu lindern.

Dem Herausgeber und den Autoren des vorliegenden Buches ist es gelungen, eine Brücke zwischen physiologischem und pathophysiologischem Grundlagenwissen und der therapeutischen sowie präventiven Praxis herzustellen. Es ist wichtig, dass sowohl spezielle ätiopathogenetische Mechanismen als auch die (patho)physiologischen Aspekte der Intervention dem potenziellen Leser so dargestellt werden, dass sie trotz der Heterogenität der an diesem Wissen interessierten Fachgebiete verständlich bleiben. Dem Herausgeber hat dabei geholfen, dass die Gliederung des Buches konventionelle Herangehensweisen überwindet und jeweils wichtige funktionelle Schwerpunkte den Kristallisationspunkt der einzelnen Kapitel darstellen. So gibt es jeweils ein Kapitel zur Physiologie der Leistungen des sensomotorischen Systems, deren Diagnostik und deren Training. Weiter wurde ein Kapitel der Darstellung von Belastung – Beanspruchung – Ermüdung – Erholung und Adaptation gewidmet. Das sind kardinale Inhalte, die sowohl in der Prävention und Gesundheitsförderung als auch beispielsweise in der Physio-, Sport- und Ergotherapie bedeutsam sind. Ebenso existieren Kapitel zu verschiedenen Problemen des Alterungsprozesses, einem schon aus demografischer Sicht wichtigen Thema, sowie zur Pathophysiologie des „low back pain“. Letzteres ist aus Gründen der jährlichen Kosten und nach wie vor geringen Effizienz präventiver und kurativer Bemühungen eine Notwendigkeit für ein derartiges Buch.

Das vorliegende Buch überwindet die Grenzen der an Erkrankungen des Bewegungssystems interessierten Fachgebiete, indem die nicht gestörten und gestörten funktionellen Prozesse des sensomotorischen Systems den Mittelpunkt der Darstellungen bilden. Diese Orientierung an kardinalen Mechanismen ist eine wichtige Voraussetzung, dass das Buch den Weg zu möglichst vielen Therapeuten und Präventionsexperten findet.

Jena, im Oktober 2009

Prof. Hans-Christoph Scholle
Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie des Universitätsklinikums Jena
Sprecher des Kompetenzzentrums für Interdisziplinäre Prävention (KIP) der Universität Jena
Mitglied des Vorstands der Internationalen Gesellschaft für Pathophysiologie

Prof. em. Dr. Erich Schmitt
Ehemaliger Leiter der Abteilung für Wirbelsäulenerkrankungen der Orthopädischen Universitätsklinik Friedrichsheim/Frankfurt
1. Vorsitzender des bundesweiten Forums Gesunder Rücken – besser leben e.V.
Wiesbaden

Vorwort

Die Medizin wird immer wissenschaftlicher geprägt, indem die empirischen Erfahrungen validisiert (Evidenzbasierte Medizin) werden. Es gilt Funktionsabläufe aus biologischer, biomechanischer, energetischer, informatorischer und bio-psycho-sozialer Sicht zu erklären, um mit dem Wissen um die physiologischen und pathophysiologischen Zustände eine möglichst kausale Prävention und Therapie ableiten, durchführen und kontrollieren zu können.

Aus der grundsätzlichen Wechselbeziehung zwischen Struktur (Anatomie) und Funktion (Physiologie, Pathophysiologie) resultiert, dass die

- primäre Prävention von Erkrankungen des Herz-Kreislauf-Systems, des Stoffwechsels und des sensomotorischen Systems einschließlich der Bindegewebs- und Gelenkstrukturen,
- Therapie und Rehabilitation bei Erkrankungen und nach Verletzungen als auch
- sekundäre (und tertiäre) Prävention zur morphologischen und funktionellen Erhaltung und Verbesserung eines Therapieerfolges unter ständiger fachspezifischer Begleitung hauptsächlich durch zielgerichtete und systematische physische Aktivitäten zu erreichen sind.

Für die primäre Prävention liefern die Sportwissenschaft, Leistungsphysiologie und Sportmedizin das erforderliche Wissen, die Methodik und die Objektivierungsverfahren zur effektiven Erhaltung, Verbesserung und Kontrolle der Funktionen des sensomotorischen Systems. Dies gilt grundsätzlich auch für die Therapie. Aber bei den Patienten müssen der Inhalt und die Methodik der physischen Belastungen durch die jeweiligen medizinischen Gegebenheiten modifiziert werden. Die Wechselbeziehungen zwischen den spezifischen erkrankungs- oder verletzungsbedingten Strukturstörungen, der zugehörigen Pathophysiologie, der Belastbarkeit, dem Alter und den biologischen Wirkungen von Belastungsprogrammen müssen noch intensiv untersucht werden.

Das Buch beschäftigt sich ausführlich mit der Physiologie des sensomotorischen Systems einschließlich seiner Logistiksysteme, dessen Leistungen und dem Alterungsprozess als auch mit den pathophysiologischen Verhältnissen beim low back pain Syndrom, nach Verletzungen und bei degenerativen Erkrankungen des Stütz- und Bewegungssystems sowie den Auswirkungen der chronischen metabolischen Azidose. Mit der Physiologie der manuellen Medizin, des Schmerzes gemeinsam mit der ausführlichen Darstellung des Zyklus Belastung – Adaptation und des Trainings von Bewegungshandlungen (sensomotorisches Lernen), der Ausdauer und der Kraft, insbesondere auch im Alter, schlägt das Buch eine wechselseitige Brücke zwischen den Grundlagen der Funktion oder Fehlfunktion und den praktischen therapeutischen Konsequenzen und seinen biologischen Wirkungen. Es verfolgt das Ziel, eine theoretisch gestützte praktische Grundlage für Physio-, Ergo- und Trainingstherapeuten zu sein. Aber auch alle ärztlichen Berufsgruppen sollten direkt oder indirekt angesprochen sein.

Es ist mir ein besonderes Bedürfnis, dem ganzen redaktionellen Team meinen ganz besonderen Dank auszusprechen. Herr Johannes Ermel hat mit seinen Hinweisen und Fragen aus der Sicht der Therapiepraxis wesentlich die fachliche Bearbeitung geprägt. Frau Susanne Schimmer hat insbesondere mit Ihrer strukturellen und sprachlichen Bearbeitung des Manuskripts die Lesbarkeit und Verständlichkeit der Texte wesentlich qualifiziert.

Dem Thieme Verlag gilt der besondere Dank, ein solch umfangreiches Werk zu verlegen. Der Herausgeber bedankt sich für die exzellente Zusammenarbeit mit allen verantwortlichen Mitarbeitern des Thieme Verlags und hier besonders bei Frau Eva Grünewald, Fritz Koller und Rosi Haarer Becker.

Rankweil, im Oktober 2009

Dr. sc. med. Wolfgang Laube

Facharzt für Sportmedizin, Physiologie und Physikalische und rehabilitative Medizin

Oberarzt, Abteilung für Physikalische Medizin und Rehabilitation Landeskrankenhaus Rankweil/Feldkirch (Lehrkrankenhaus der Universität Innsbruck)

Inhaltsverzeichnis

I Grundlagen

1 Grundlagen der Behandlungsstrategie 3

Wolfgang Laube

1.1 Verbesserung der aktiven Belastbarkeit und Belastungsverträglichkeit 4
1.2 Verbesserung der koordinativen Leistungsfähigkeit 5
1.3 Verbesserung der Ausdauerleistungsfähigkeiten und der Kraftfähigkeiten 6
1.4 Die fünf Aspekte des Therapieprozesses 7
1.4.1 Fachspezifisch behandeln 7
1.4.2 Aktive Therapie ermöglichen 7
1.4.3 Koordination verbessern 9
1.4.4 Kraft und Ausdauer steigern 14
1.4.5 Trainieren 19
1.4.6 Zusammenfassung 19

II Physiologie

2 Physiologie des sensomotorischen Systems 25

Wolfgang Laube

2.1 Biologische Grundlagen – Reaktions- und Aktionsfähigkeit lebender Organismen 25
2.1.1 Ruhemembranpotenzial 28
2.1.2 Aktionspotenzial 30
2.1.3 Leitung der Aktionspotenziale 32
2.1.4 Chemische Synapse 34
2.1.5 Bahnung und Hemmung 39
2.2 Sensomotorisches System – Schnittstelle zwischen Mensch und Umwelt 42
2.2.1 Grundelemente und Funktionsweisen 42
2.2.2 Strukturelemente des sensomotorischen Systems? 43
2.2.3 Sensoren 45
2.2.4 Aufsteigende sensorische Leitungsbahnen 57
2.2.5 Leistungen der verschiedenen Ebenen des sensomotorischen Systems – spinale und supraspinale neuronale Netzwerke 61
2.2.6 Absteigende motorische Leitungsbahnen 72
2.2.7 Motorische Einheiten (ME) und Kraftabstufung (Rekrutierungsordnung) 74
2.2.8 Skelettmuskel 85
2.3 Grundprinzip der Bewegungsprogrammierung und Bewegungsregulation 96
2.3.1 Bewegungsvorstellung 98
2.3.2 Erkennen des aktuellen Zustands 99
2.3.3 Sensomotorische Strategie 103
2.3.4 „Programmierung“ des Bewegungsprogramms 104
2.3.5 Ausführung der Bewegung 105
2.3.6 Bewegung als Quelle der afferenten Rückinformation 105
2.4 Muskeltonus – biophysikalische und neurophysiologische Zustandsgröße 107
2.4.1 Muskeltonus als biophysikalische Zustandsgröße 110
2.4.2 Muskeltonus als neurophysiologische Zustandsgröße . . . 115
2.4.3 Interaktionen zwischen biophysikalischen und neurophysiologischen Zustandsgrößen 116

3 Logistiksysteme des sensomotorischen Systems: die funktionelle Kette der aeroben Energieversorgung – Regulationssysteme der Homöostase und der Koordination der Organfunktionen 118

Wolfgang Laube

3.1 Funktionelle Kette der Sauerstoffversorgung und der aeroben Energieversorgung 118
3.1.1 Sauerstoffaufnahme in die Lunge 119
3.1.2 Herz-Kreislauf-System und Atemgastransport 125
3.1.3 Atemgastransport im Blut 137
3.1.4 Energiestoffwechsel 139
3.2 Regulationssysteme der Homöostase 147
3.2.1 Säure-Basen-Haushalt 147
3.2.2 Wasser- und Elektrolythaushalt 150
3.2.3 Temperaturregulation 151
3.3 Regulationssysteme zur zentralen Koordination der Organfunktionen . . 154
3.3.1 Neurovegetatives System 154
3.3.2 Hormonelles System 162

4 Physiologie der Hauptbeanspruchungen des sensomotorischen Systems 165

4.1 Sensomotorische Fähigkeiten und Fertigkeiten 165
Wolfgang Laube
4.1.1 Sensomotorische Fähigkeiten 165
4.1.2 Sensomotorische Fertigkeiten 166
4.2 Definitionen der sensomotorischen Hauptbeanspruchungsformen 167
4.3 Sensomotorische Koordination – koordinative Fähigkeiten 169
4.3.1 Neugeborene – Individuen mit phylogenetisch entwickelten Grundlagen der Sensomotorik 172
4.3.2 Gehirn als Strukturbasis der koordinativen Fähigkeiten 174
4.3.3 Konzepte koordinativer Fähigkeiten 177
4.3.4 Handlungsziele im Sport und im täglichen Leben 179
4.3.5 Koordinative Fähigkeiten 181
4.3.6 Bewegungsregulation und sensomotorisches Lernen 186
4.3.7 Wie lernt das sensomotorische System? 211
4.4 Schnelligkeit und die konditionelle Fähigkeit Kraft 218
Wolfgang Laube, Georg Blümel
4.4.1 Schnelligkeit – eine koordinative sensomotorische Leistung 218
4.5 Kraft – sensomotorische Koordination und Muskelhypertrophie 222
Wolfgang Laube
4.5.1 Schnellkraft – kraftakzentuierte sensomotorische Koordination 222
4.5.2 Maximalkraft 223
4.5.3 Kraftausdauer 223
4.5.4 Grundlagen des Kraftzuwachses – Koordination und Hypertrophie 224
4.6 Konditionelle Fähigkeit Ausdauer 225
4.6.1 Neurophysiologischer Mechanismus . . . 226

5 Diagnostik der Leistungen des sensomotorischen Systems: Koordination – Ausdauer – Kraft 228

5.1 Formen der Diagnostik 228
Wolfgang Laube
5.1.1 Funktionsdiagnostik 228
5.1.2 Direkter Zugang zum sensomotorischen System – EMG und Kraft 229
5.1.3 Indirekter Zugang zum sensomotorischen System – Kinetik und Kinematik 231
5.1.4 Direkter Zugang zu den Logistiksystemen – Ergometrie 232
5.1.5 Blutdruck 234
5.1.6 Herzschlagfrequenz und Laktat 234
5.2 Diagnostik der Koordination 235
5.2.1 Subjektive und objektive Diagnostik 236
5.2.2 Parameter 236

5.3 Diagnostik der Ausdauer 243
5.3.1 Diagnostik der Sauerstoffaufnahme 244
5.3.2 Diagnostik mittels Laktat 248
5.3.3 Leistungs-Laktat-Beziehung – physiologische und methodische Aspekte 250
5.3.4 Leistungs-Laktat-Beziehung im Labortest – Schwellenkonzepte 253
5.3.5 Leistungs-Laktat-Beziehung – Definition der verschiedenen Schwellen 254
5.3.6 Weitere Schwellenkonzepte auf der Basis der Ventilation und der Herzfrequenz .. 257
5.4 Diagnostik der Kraft 261
Wolfgang Laube, Georg Blümel
5.4.1 Klinische nichtquantitative Diagnostik . 261
5.4.2 Semiobjektive Diagnostik 262

6 Physiologie der Nozizeption und Wahrnehmung von Schmerzen 275

6.1 Grundlagen 275
Hans-Georg Schaible, Thomas Weiß
6.1.1 Definitionen 275
6.1.2 Akuter und chronischer Schmerz 275
6.1.3 Schmerzmessung 278
6.2 Strukturen der Nozizeption und der Schmerzverarbeitung 279
Thomas Weiß, Hans-Georg Schaible
6.2.1 Übersicht über das nozizeptive System 279
6.2.2 Nozizeptive Primärafferenzen 279
6.2.3 Nozizeptives System im Rückenmark 285
6.2.4 Supraspinale Strukturen und Mechanismen sowie ihre Plastizität 289
6.2.5 Deszendierende Hemmung und Bahnung 296
6.3 Psychologische Aspekte des Schmerzes 297
Thomas Weiß
6.3.1 Affektive Schmerzkomponente 298
6.4 Einfluss von Schmerz auf Psyche, Erleben und Verhalten 300
Thomas Weiß
6.4.1 Entstehung von Schmerz- und allgemeinem Krankheitsverhalten 300
6.4.2 Erlerntes Schmerzverhalten 302
6.4.3 Neuropsychologische und kognitive Prozesse, soziale Faktoren 305
6.4.4 Angst und Depression 306
6.5 Plazeboeffekte 307
Thomas Weiß
6.5.1 Begriffserklärung und Einordnung 307
6.5.2 Effizienz von Plazebos 307
6.5.3 Einfluss der Therapeutenpersönlichkeit auf den Behandlungseffekt 308

7 Klinik, Physiologie und Pathophysiologie der manuellen Therapie 310

Wolfgang Laube, Christian Angleitner

7.1 Manualtherapeutische Interventionen in der klinischen Praxis 310
7.1.1 Pathophysiologie der reversiblen Funktionsstörungen 310
7.1.2 Spinale Manipulation 312
7.1.3 Was ist manuelle Therapie? 313
7.2 Manipulationen und Wirkungen 314
7.2.1 Charakteristika manipulativer Maßnahmen 314
7.2.2 Manipulationsimpuls 315
7.2.3 Wirkungsmechanismen der Manipulation 317
7.2.4 Wirkung der spinalen Manipulation 318
7.3 Paraspinale Muskulatur 319
7.3.1 Funktionelle Verknüpfung 320
7.3.2 Intervertebrale Dysfunktion und funktionelle Veränderung 320
7.3.3 Veränderungen der Muskulatur bei LBP 321
7.4 Funktionsstörungen und neurophysiologische Folgen 323
7.4.1 Wechselwirkung von biomechanischen Veränderungen und Neurophysiologie .. 323

7.4.2 Auswirkungen von Manipulationen 324
7.4.3 Nacheffekte und Nacheffektivitätsdepression 327
7.5 Somatoneurovegetative Verknüpfungen/Wirkungen 328
7.6 Somatonozizeptive und nozizeptive Afferenzen und deren Wirkungen 332
7.6.1 Auslösung des Rückenschmerzes..... 332
7.6.2 Schmerzlinderung durch spinale Manipulation..... 332
7.6.3 Zentralnervöse somatische Wirkungen..... 336

8 Physiologie des Alterungsprozesses..... 339

Wolfgang Laube

8.1 Alterungsprozess im sensomotorischen System..... 339
8.1.1 Altern – ein physiologischer Prozess.... 339
8.1.2 Degenerative Erkrankungen und Alterungsprozesse 341
8.2 Theorien des Alterungsprozesses 341
8.3 Altersbedingte Veränderungen der Strukturen des SMS 344
8.3.1 Allgemeine Folgen des Alterungsprozesses für das sensomotorische System 344
8.3.2 Afferenter (und efferenter) Schenkel des sensomotorischen Systems im Alter.... 345
8.3.3 Zentrale Prozesse der Informationsverarbeitung im Alter..... 352
8.3.4 Visuelles System im Alter..... 354
8.3.5 Vestibuläre Leistungen im Alter..... 356
8.3.6 Efferenter Schenkel des sensomotorischen Systems im Alter..... 358

III Pathophysiologie

9 Deadaptationsprozesse durch Inaktivität und Immobilisation... 369

Wolfgang Laube

9.1 Merkmale der Inaktivität bzw. Immobilisation 370
9.1.1 Skelettmuskel 370
9.1.2 Spinales und supraspinales Nervensystem..... 372
9.1.3 Herz-Kreislauf-System 373
9.1.4 Enzymsystem und Durchblutung des Muskels 373
9.1.5 Neurovegetatives und hormonelles System 373
9.1.6 Auswirkungen auf das Bindegewebe und Knochen..... 373

10 Pathophysiologie des sensomotorischen Systems nach Verletzungen und bei degenerativen Gelenkerkrankungen.... 375

Wolfgang Laube

10.1 Funktion des sensomotorischen Systems nach Verletzungen 375
10.1.1 Störungsmuster des sensomotorischen Systems..... 375
10.1.2 Ruptur des vorderen Kreuzbands und operative Versorgung 378
10.1.3 Persistierende Aktivierungsinsuffizienz.. 395
10.1.4 Aktivierungsinsuffizienz repräsentiert eine funktionelle Teilparese 397
10.1.5 Ausheilungszustand – funktionelle Narbe im SMS 399
10.2 Funktion des sensomotorischen Systems bei degenerativen Gelenkerkrankungen und nach Gelenkprothesen..... 402
10.2.1 Osteoarthrose 403
10.2.2 Knie- und Hüftgelenktotalendoprothese (KG- und HG-TEP) 404

10.3 Hilfsmittelunterstützte therapeutische Interventionen ... 414
10.3.1 Biofeedback und -Muskelstimulation ... 414
10.3.2 Bandagen und Orthesen ... 415

11 Pathophysiologie des Low Back Pain ... 440

Wolfgang Laube, Christoph Anders

11.1 Das Bewegungssegment als kleinste morphologische und funktionelle Einheit ... 440
11.1.1 Systematik der Rumpfmuskulatur – State of the Art ... 441
11.2 Bewegungssegment und sensorische Versorgung ... 443
11.2.1 Regulation der Stiffness (Steifigkeit) von Bewegungssegmenten ... 443
11.2.2 Sensorische Versorgung ... 443
11.3 Bewegungssegment und Durchblutung ... 444
11.3.1 Durchblutungsstörungen als Ursache von Schmerzen und Degeneration ... 444
11.4 Bewegungssegment und paraspinale Muskelaktivität ... 447
11.5 Bewegungssegment und posturale Kontrolle ... 448
11.6 Zyklus „pain – muscle spasm – pain“ und „pain adaptation model“ ... 450
11.6.1 Zyklus „pain – muscle spasm – pain“ ... 450
11.6.2 Modell „pain adaptation“ ... 452
11.6.3 Konsequenzen für das Verständnis der Pathogenese von Rückenschmerzen ... 452
11.6.4 Physiologische und pathophysiologische Innervationsmuster der Körperstammmuskulatur ... 452
11.7 Spezifischer Low Back Pain ... 457
11.7.1 Definition ... 457
11.8 Unspezifischer Low Back Pain ... 458
11.8.1 Definition ... 458
11.9 Mechanismen der Schmerzauslösung ... 459
11.9.1 Bewegungssegment und peripheres Nervensystem ... 461
11.9.2 Zentrales Nervensystem ... 462
11.9.3 Grundsätzlich therapeutischer Ansatz beim unspezifischen, chronischen Low Back Pain ... 463

12 Chronische ernährungs- und altersbedingte metabolische Azidose ... 473

Wolfgang Laube, Andreas Kannenberg

12.1 Säure-Basen-Homöostase ... 473
12.1.1 Ursachen einer Azidose ... 473
12.1.2 Regulation der Säure-Basen-Homöostase ... 473
12.1.3 Azidose als Krankheitsursache ... 474
12.1.4 Auswirkungen der geringgradigen Azidose ... 476
12.2 Konzept der eubikarbonatämischen metabolischen Azidose ... 476
12.3 Altern als Ursache der metabolischen Azidose ... 479
12.3.1 Altersbedingte Veränderungen der Nierenfunktion ... 479
12.4 Auswirkungen der chronisch ernährungs- und altersbedingten metabolischen Azidose auf den Gesundheitszustand ... 482
12.4.1 Knochenstoffwechsel und chronische metabolische Azidose ... 482
12.4.2 Protein- und Muskelstoffwechsel und chronische metabolische Azidose ... 485
12.4.3 Endokrinium und chronische metabolische Azidose ... 486
12.4.4 Bindegewebe und chronische metabolische Azidose ... 487
12.4.5 Herz und chronische metabolische Azidose ... 488
12.4.6 Niere und chronische metabolische Azidose ... 488
12.4.7 Körperliche Leistungsfähigkeit und chronische metabolische Azidose ... 489
12.4.8 Schmerzsystem und chronische metabolische Azidose ... 491
12.5 Diagnostik der alters- und ernährungsbedingten metabolischen Azidose ... 492

12.6 Prophylaxe, Therapie und Kompensation der alters- und ernährungsbedingten Azidose 493
12.6.1 Ernährung 493
12.6.2 Nahrungsergänzung 494

IV Training und Therapie

13 Physiologie des Zyklus Belastung – Beanspruchung – Ermüdung – Erholung – Adaptation 499

Wolfgang Laube

13.1 Zyklus: Belastung – Beanspruchung – Ermüdung – Erholung – Adaptation . . 499
13.1.1 Belastung 500
13.1.2 Beanspruchung 500
13.1.3 Ermüdung 501
13.1.4 Erholung 502
13.1.5 Adaptation 503
13.2 Zyklus Belastung – Beanspruchung – Ermüdung – Erholung aus sensomotorischer und neurovegetativer Sicht 504
13.2.1 Belastungsprogramme 505
13.2.2 Diagnostische Verfahren 506
13.2.3 Muskuläre, sensomotorische und neurovegetative Reaktionen im Belastungs – Erholungs – Zyklus nach Kraftausdauer- und Schnellkraftbelastung – die Erholungsverläufe 509
13.2.4 Beziehungen zwischen Herzrhythmus und Laktatkonzentration in der Erholung 523
13.2.5 Parameter der Herzrhythmik bei systematisch verändertem muskulärem Stoffwechselmilieu 528
13.3 Wechselbeziehungen im Zyklus Belastung – Beanspruchung – Ermüdung – Erholung 533
13.3.1 Methodische Voraussetzung reliabler Bedingungen 534
13.3.2 Ergometerprogramme als Modelle unterschiedlicher Belastungsarten mit der Gemeinsamkeit einer maximalen anaeroben Stoffwechselstimulation 534
13.4 Erholung der neurovegetativ-chronotropen Tonuslage 536
13.4.1 Chemoafferenzen und neurovegetativ-chronotrope Regulation der Herzfunktion 536
13.4.2 Systematische Verschiebung des vegetativ-chronotropen Gleichgewichts bei schrittweise ansteigenden Laktatkonzentrationen 537
13.4.3 Stoffwechselmilieu des Muskels – muskuläre Chemoafferenzen als Basis der neurovegetativen Rückstellungen in der Erholung 539
13.4.4 Rückstellung des vegetativ-chronotropen Gleichgewichts in der Erholung nach verschiedenen intensiven Belastungen als Funktion der Rückführung des muskulären Stoffwechselmilieus 541

14 Training der sensomotorischen Hauptbeanspruchungsformen Koordination, Ausdauer und Kraft 556

14.1 Training als Konzept der Prävention, Therapie und Rehabilitation 556
Wolfgang Laube
14.2 Training: Definition, Begriffe, Zielstellung und Merkmale 557
Wolfgang Laube
14.2.1 Definition 557
14.2.2 Grundbegriffe des Trainings 557
14.2.3 Zielstellung 558
14.2.4 Merkmale des Trainings 558
14.2.5 Grundsätze oder Prinzipien des Trainings 558
14.2.6 Training der koordinativen Fähigkeiten und Fertigkeiten 561

14.2.7 Grundlagen 562
14.3 Lernprozess des Koordinationstrainings 566
Wolfgang Laube
14.3.1 Ausgangssituation analysieren 567
14.4 Trainingsgesichtspunkte 569
Wolfgang Laube
14.4.1 Trainingsparameter 570
14.4.2 Übungsanleitung 570
14.4.3 Ausführungsprozess 571
14.5 Training der koordinativen Fähigkeiten 573
Wolfgang Laube
14.5.1 Trainingswirkungen der Koordination 582
14.6 Training der Ausdauer 583
Wolfgang Laube
14.6.1 Trainingswirkungen der Ausdauer 588
14.7 Training der Kraft 591
Wolfgang Laube
14.7.1 Trainingswirkungen der Kraft 594
14.8 Beanspruchungen durch die medizinische Trainingstherapie 600
14.8.1 Aufbau der sensomotorischen Leistungsfähigkeit nach Verletzungen am Beispiel der Sportart Fußball 600
Andreas Schlumberger
14.8.2 Belastungen/Training der Fähigkeiten und Fertigkeiten im Alter 618
Wolfgang Laube

V Anhang

Abkürzungen **641**
Literaturverzeichnis **643**
Sachverzeichnis **671**
Abbildungsnachweis **692**

I

Grundlagen

1 Grundlagen der Behandlungsstrategie 3