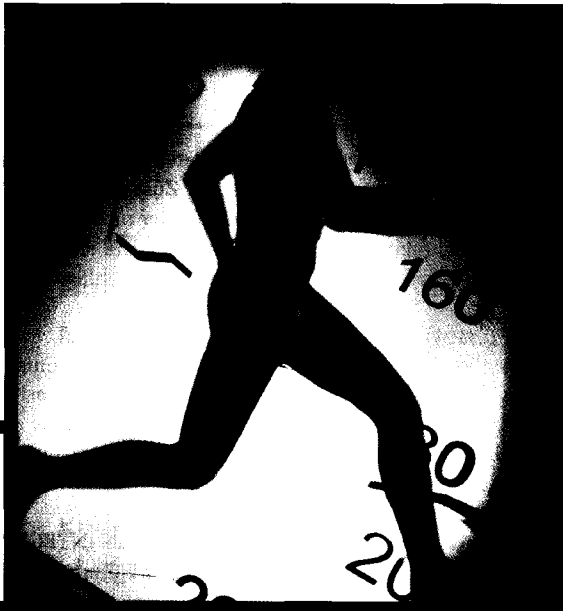


med
medizin



Dee U. Silverthorn

Physiologie

4., aktualisierte Auflage

Aus dem Amerikanischen von Carsten Biele, Monika Niehaus,
Jorunn Wissmann und Ursula Loos

Deutsche Bearbeitung von Wolf-Michael Weber

Mit über 700 Abbildungen

PEARSON
Studium

ein Imprint von Pearson Education
München • Boston • San Francisco • Harlow, England
Don Mills, Ontario • Sydney • Mexico City
Madrid • Amsterdam

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	xxix
Vorwort zur deutschen Ausgabe	xxxix
Kapitel 1 Einführung in die Physiologie	i
1.1 Physiologische Systeme	2
1.2 Zweck und Prozess	4
1.3 Homöostase	5
1.4 Physiologie: Jenseits des Genoms	7
1.5 Physiologie ist eine integrative Wissenschaft	8
1.6 Themen der Physiologie	12
1.7 Die Wissenschaft der Physiologie	14
1.7.1 Gute wissenschaftliche Experimente müssen sorgfältig geplant werden . . .	14
1.7.2 Die Schwierigkeiten der Interpretation von Experimenten mit menschlichen Probanden	15
1.7.3 Designs von Studien mit menschlichen Probanden	17
1.8 Suchen und Lesen wissenschaftlicher Literatur	21
Übungsaufgaben	25
Lösungen	28
Kapitel 2 Molekulare Wechselwirkungen	31
2.1 Chemische Grundlagen	32
2.1.1 Atome bestehen aus Protonen, Neutronen und Elektronen	32
2.1.2 Die Anzahl der Protonen im Atomkern bestimmt das Element	33
2.1.3 Isotope eines Elements enthalten unterschiedlich viele Neutronen	34
2.1.4 Die Rolle von Elektronen bei der Bildung von Bindungen und bei der Übertragung von Energie	35
2.2 Chemische Bindungen und Molekülstruktur	37
2.2.1 Kovalente Bindungen durch gemeinsame Elektronenpaare	38
2.2.2 Ionenbindungen durch die vollständige Übertragung von Elektronen	40
2.2.3 Wasserstoffbrücken und Van-der-Waals-Kräfte	41
2.2.4 Beziehungen zwischen der Struktur und der Funktion von Molekülen	42
2.3 Biomoleküle	43
2.3.1 Kohlenhydrate sind die mengenmäßig häufigsten Biomoleküle	44
2.3.2 Lipide sind eine strukturell vielfältige Klasse von Biomolekülen	45
2.3.3 Proteine sind die vielseitigsten Biomoleküle	47
2.3.4 In manchen Molekülen sind Kohlenhydrate, Proteine und Lipide miteinander verknüpft	50
2.3.5 Nucleotide und Nucleinsäuren als Überträger und Speicher von Energie und Information	50
2.4 Wässrige Lösungen, Säuren, Basen und Puffer	53
2.4.1 Nicht alle Moleküle sind wasserlöslich	53

2.4.2	Verschiedene Möglichkeiten, die Konzentration einer Lösung zu beschreiben	55
2.4.3	Massenprozent, Volumenprozent und Masse/Volumen	56
2.4.4	Der pH-Wert und die H ⁺ -Konzentration im Körper	57
2.5	Wechselwirkungen von Proteinen	59
2.5.1	Die Bindung von Molekülen an Proteine erfolgt spezifisch	60
2.5.2	Viele Faktoren beeinflussen die Ligandenbindung an Proteine.	62
2.5.3	Regulation der Ligandenbindung und der Proteinaktivität	63
2.5.4	Regulation und Inaktivierung von Proteinen durch pH-Wert und Temperatur	66
2.5.5	Der Proteingehalt in Zellen wird reguliert	67
2.5.6	Die Reaktionsgeschwindigkeit kann ein Maximum erreichen.	68
	Übungsaufgaben	74
	Lösungen	78

Kapitel 3	Kompartimentierung: Zellen und Gewebe	81
3.1	Funktionelle Kompartimente des Körpers	83
3.1.1	Das Lumen von Hohlorganen ist nicht immer Teil des inneren Milieus.	83
3.1.2	Unterteilung des Körpers in drei funktionelle Kompartimente.	84
3.2	Biologische Membranen	84
3.2.1	Die Zellmembran trennt das Zellinnere von der äußeren Umgebung	85
3.2.2	Membranen bestehen überwiegend aus Lipiden und Proteinen	85
3.2.3	Membranlipide als Barriere zwischen dem Cytoplasma und der extrazellulären Flüssigkeit.	86
3.2.4	Membranproteine können lose oder fest mit der Membran assoziiert vorliegen.	88
3.2.5	Sowohl Membranlipide als auch Membranproteine können Kohlenhydrate tragen	91
3.3	Intrazelluläre Kompartimente	91
3.3.1	Zellen sind in Kompartimente unterteilt	91
3.3.2	Das Cytoplasma – Cytosol, Zelleinschlüsse und Organellen	93
3.3.3	Zelleinschlüsse stehen in direktem Kontakt mit dem Cytosol.	93
3.3.4	Cytoplasmatische Proteinfilamente kommen in drei Größen vor	95
3.3.5	Mikrotubuli bilden Centriolen, Cilien und Flagellen.	95
3.3.6	Das Cytoskelett ist ein veränderliches Gerüst.	96
3.3.7	Motorproteine erzeugen Bewegung.	98
3.3.8	Organellen bilden Kompartimente für spezialisierte Funktionen	98
3.3.9	Der Zellkern ist das Kontrollzentrum der Zelle	103
3.4	Die Gewebe des Körpers	104
3.4.1	Die extrazelluläre Matrix besitzt viele Funktionen	104
3.4.2	Zellkontakte zwischen Zellen in Geweben	105
3.4.3	Epithelien bieten Schutz und regulieren den Stoffaustausch	108
3.4.4	Bindegewebe dient als mechanische Stütze und Barriere	114
3.4.5	Muskel- und Nervengewebe sind erregbar	118

3.5	Neubildung von Gewebe	119
3.5.1	Apoptose als saubere Form des Zelltods.	120
3.5.2	Aus Stammzellen entstehen neue spezialisierte Zellen	121
3.6	Organe	124
	Übungsaufgaben	128
	Lösungen	131

Kapitel 4 Energie- und Zellstoffwechsel 133

4.1	Energie in biologischen Systemen	135
4.1.1	Energie wird zur Verrichtung von Arbeit verwendet	136
4.1.2	Die zwei Hauptformen von Energie – Kinetische und potenzielle Energie.	137
4.1.3	Verschiedene Energieformen können ineinander umgewandelt werden	137
4.1.4	Die Thermodynamik	138
4.2	Chemische Reaktionen	139
4.2.1	Übertragung von Energie zwischen Molekülen während chemischer Reaktionen	139
4.2.2	Die Aktivierungsenergie.	140
4.2.3	Energieumsatz bei chemischen Reaktionen	140
4.2.4	Die Größe der Freien Reaktionsenthalpie bestimmt die Reversibilität einer Reaktion	142
4.3	Enzyme.	143
4.3.1	Wechselwirkungen von Enzymen	144
4.3.2	Enzyme können aktiviert, inaktiviert und reguliert werden	145
4.3.3	Enzyme verringern die Aktivierungsenergie.	146
4.3.4	Reaktionsgeschwindigkeiten sind variabel.	146
4.3.5	Reversible Reaktionen folgen dem Massenwirkungsgesetz	147
4.3.6	Klassifizierung von enzymatischen Reaktionen	148
4.4	Stoffwechsel – Metabolismus	151
4.4.1	Zellen regulieren die Aktivität ihrer Stoffwechselwege.	153
4.4.2	ATP ist ein kurzfristiger Energieüberträger.	154
4.5	ATP-Produktion	155
4.5.1	Glucose wird durch die Glycolyse zu Pyruvat abgebaut	157
4.5.2	Im anaeroben Stoffwechsel wird Pyruvat in Lactat umgewandelt.	157
4.5.3	Unter aeroben Bedingungen tritt Pyruvat über Acetyl-CoA in den Citronensäurezyklus ein.	159
4.5.4	Übertragung der Energie von NADH und FADH ₂ auf ATP durch die oxidative Phosphorylierung	161
4.5.5	Kopplung von Protonenfluss und ATP-Synthese	163
4.5.6	Die maximale Energieausbeute des Katabolismus eines Glucosemoleküls beträgt 30 bis 32 ATP.	163
4.5.7	Der Beitrag großer Biomoleküle zur ATP-Produktion.	164
4.6	Anabole Stoffwechselwege	167
4.6.1	Glycogen kann aus Glucose synthetisiert werden	167
4.6.2	Glucose kann aus Aminosäuren oder Glycerin synthetisiert werden	167
4.6.3	Acetyl-CoA als wichtiger Vorläufer in der Lipidsynthese	169

4.6.4	Proteine sind der Schlüssel zur Funktionsfähigkeit der Zelle	170
4.6.5	Der Weg von der DNA zum Protein ist kompliziert	171
4.6.6	Die DNA dient bei der Transkription als Matrize für die Synthese eines komplementären mRNA-Moleküls	173
4.6.7	Durch alternatives Spleißen kann eine DNA-Sequenz mehrere Proteine codieren	174
4.6.8	Proteinbiosynthese – Translation	176
4.6.9	Zielsteuerung der Proteine.	178
4.6.10	Die posttranslationale Modifizierung führt zur endgültigen Proteinstruktur	178
4.6.11	Der sekretorische Weg	181
	Übungsaufgaben	186
	Lösungen	189

Kapitel 5 Membrandynamik 193

5.1	Massenbilanz und Homöostase	194
5.1.1	Eliminierung von Substanzen aus dem Körper durch Exkretion.	195
5.1.2	Homöostase ist nicht Gleichgewicht	196
5.2	Diffusion.	198
5.2.1	Diffusion beruht nur auf der Eigenbewegung der Moleküle	199
5.2.2	Lipophile Moleküle können durch Lipiddoppelschichten diffundieren	203
5.3	Proteinvermittelter Transport	205
5.3.1	Membranproteine als strukturelle Proteine, Enzyme, Rezeptoren oder Transporter.	205
5.3.2	Kanalproteine bilden offene, wassergefüllte Poren	208
5.3.3	Carrier-Proteine verändern ihre Konformation für den Transport von Molekülen	209
5.3.4	Erleichterte Diffusion durch Carrier-Proteine.	211
5.3.5	Der aktive Transport erfolgt gegen einen Konzentrationsgradienten.	212
5.3.6	Der carriervermittelte Transport zeigt die Merkmale der Spezifität, Bindungskonkurrenz und Sättigung	218
5.4	Vesikulärer Transport.	221
5.4.1	Bei der Phagocytose werden Vesikel mithilfe des Cytoskeletts erzeugt	221
5.4.2	Bei der Endocytose werden kleinere Partikel gebildet	222
5.4.3	Durch Exocytose werden Moleküle freigesetzt, die für Transportproteine zu groß sind	223
5.5	Transepithelialer Transport	225
5.5.1	Transepithelialer Transport von Glucose mithilfe von Membranproteinen.	226
5.5.2	Transcytose – Durchquerung des Epithels in Vesikeln.	228
5.6	Osmose und Tonizität	229
5.6.1	Der Körper besteht überwiegend aus Wasser	229
5.6.2	Der Körper befindet sich im osmotischen Gleichgewicht	230
5.6.3	Die Osmolarität entspricht der Teilchenkonzentration in der Lösung	231
5.6.4	Die Tonizität einer Lösung beschreibt die Volumenänderung einer Zelle, die in der Lösung platziert wird	234
5.7	Das Membranpotenzial	238
5.7.1	Zellmembranen ermöglichen die Trennung von Ladungen	240

5.7.2	Das Membranpotenzial beruht hauptsächlich auf Kalium-Ionen	243
5.7.3	Änderungen des Membranpotenzials durch Variationen der Permeabilität für Ionen	246
5.8	Insulinsekretion – ein Beispiel für einen potenzialabhängigen Membranprozess . . .	247
	Übungsaufgaben	255
	Lösungen	259

Kapitel 6 Kommunikation, Integration und Homöostase 263

6.1	Zell-Zell-Kommunikation	264
6.1.1	Gap Junctions bilden cytoplasmatische Brücken	265
6.1.2	Kontaktabhängige Signale sind auf Zell-Zell-Kontakte angewiesen	265
6.1.3	Parakrine und autokrine Signale dienen der lokalen Kommunikation	266
6.1.4	Nervenimpulse, Hormone und Neurohormone dienen zur weitreichenden Kommunikation.	266
6.1.5	Cytokine können als lokale oder weitreichende Signale wirken	267
6.2	Signalwege	268
6.2.1	Rezeptorproteine befinden sich innerhalb der Zelle oder auf der Zelloberfläche	268
6.2.2	Membranproteine ermöglichen die Signaltransduktion.	271
6.2.3	Rezeptorenzyme besitzen Protein-Kinase- oder Guanylat-Cyclase-Aktivität	274
6.2.4	Die meisten Signaltransduktionen erfolgen über G-Proteine	275
6.2.5	Der Adenylat-Cyclase-Signalweg ist das Signaltransduktionssystem für viele lipophobe Hormone.	276
6.2.6	Der Phosphoinositid-Signalweg	276
6.2.7	Integrin-Rezeptoren übertragen Informationen von der extrazellulären Matrix	277
6.2.8	Die meisten schnellen Signalwege verändern den Ionenfluss durch Kanalproteine	278
6.3	Ungewöhnliche Signalmoleküle	280
6.3.1	Calcium-Ionen sind ein wichtiges intrazelluläres Signal.	280
6.3.2	Gase sind flüchtige Signalmoleküle	281
6.3.3	Eicosanoide sind wichtige parakrine Signale	281
6.4	Regulation von Signalwegen	283
6.4.1	Rezeptoren zeigen die Merkmale der Sättigung, der Spezifität und der Bindungskonkurrenz	283
6.4.2	Durch Aufwärts- und Abwärts-Regulation können Zellen Antworten modulieren.	284
6.4.3	Zellen müssen Signalwege beenden können	286
6.4.4	Viele Erkrankungen und Medikamente beeinflussen Proteine der Signaltransduktion.	286
6.5	Regelkreise: Antwort- und Rückkopplungsschleifen	287
6.5.1	Cannons Postulate beschreiben Regelgrößen und physiologische Kontrollsysteme	288
6.5.2	Homöostase kann durch lokale oder weitreichende Regelsysteme aufrechterhalten werden	290
6.5.3	Antwortschleifen beginnen mit einem Reiz und enden mit einer Antwort. . .	295

6.5.4	Sollwerte können variiert werden	296
6.5.5	Antwortschleifen werden durch Rückkopplungsschleifen moduliert	297
6.5.6	Feedforward-Kontrolle	299
6.5.7	Biologische Rhythmen resultieren aus Änderungen von Sollwerten	299
6.5.8	Kontroll- und Regelsysteme variieren in ihren Geschwindigkeiten und Spezifitäten	301
6.5.9	Komplizierte Reflexwege besitzen mehrere Datenverarbeitungszentren	305
	Übungsaufgaben	312
	Lösungen	314

Kapitel 7 Einführung in das endokrine System 317

7.1	Hormone	318
7.1.1	Hormone kannte man bereits im Altertum	318
7.1.2	Was macht eine Substanz zu einem Hormon?	320
7.2	Die Klassifizierung von Hormonen	325
7.2.1	Die meisten Hormone sind Peptide oder Proteine	325
7.2.2	Synthese, Speicherung und Freisetzung von Peptidhormonen	326
7.2.3	Steroidhormone werden aus Cholesterin gebildet	329
7.2.4	Aminhormone leiten sich von den Aminosäuren Tryptophan oder Tyrosin ab	331
7.3	Regulation der Hormonsekretion	332
7.3.1	Hormone können nach ihren Reflexwegen klassifiziert werden	332
7.3.2	Der Sensor in den einfachsten endokrinen Reflexwegen ist die endokrine Zelle selbst	334
7.3.3	An vielen endokrinen Reflexen ist das Nervensystem beteiligt	335
7.3.4	Neurohormone werden durch Neuronen ins Blut sezerniert	335
7.3.5	Die Hypophyse besteht tatsächlich aus zwei fusionierten Drüsen	335
7.3.6	Der Hypophysenhinterlappen speichert und sezerniert zwei Neurohormone	336
7.3.7	Der Hypophysenvorderlappen sezerniert sechs Hormone	337
7.3.8	Das Hypothalamus-Hypophysen-System zeigt andere Rückkopplungsmuster	337
7.3.9	Das hypothalamisch-hypophyseale Portalgefäßsystem	339
7.3.10	Adenohypophysenhormone kontrollieren Wachstum, Stoffwechsel und Reproduktion	341
7.4	Hormonelle Wechselwirkungen	342
7.4.1	Beim Synergismus ist der Effekt mehrerer Hormone nicht einfach additiv	342
7.4.2	Ein permissives Hormon ermöglicht einem anderen Hormon die Entfaltung seiner vollen Wirkung	343
7.4.3	Antagonistische Hormone zeigen entgegengesetzte Effekte	344
7.5	Endokrinopathien	344
7.5.1	Hypersekretion führt zu einer übermäßigen Hormonwirkung	344
7.5.2	Durch Hyposekretion wird die Hormonwirkung vermindert oder vollständig aufgehoben	345
7.5.3	Fehler in den Rezeptoren oder sekundären Botenstoffen verursachen anomales Reaktionsvermögen der Zielgewebe	346

7.5.4	Die Diagnose von Endokrinopathien wird durch die Komplexität des Reflexes beeinflusst	347
7.6	Die Evolution der Hormone	349
	Übungsaufgaben	356
	Lösungen	359

Kapitel 8 Neuronen: Zelluläre und vernetzende Eigenschaften 361

8.1	Organisation des Nervensystems	363
8.2	Die Zellen des Nervensystems	365
8.2.1	Neuronen sind erregbare Zellen, die elektrische Signale erzeugen und weiterleiten	365
8.2.2	Gliazellen bilden die Stütze des Nervensystems	370
8.3	Elektrische Signale in Neuronen	373
8.3.1	Die Nernst-Gleichung beschreibt das Membranpotenzial für eine einzelne Ionensorte	373
8.3.2	Die Goldman-Hodgkin-Katz-Gleichung	374
8.3.3	Ionenflüsse durch die Zellmembran erzeugen elektrische Signale	374
8.3.4	Gesteuerte Ionenkanäle kontrollieren die Ionenpermeabilität der Zellmembran von Neuronen	375
8.3.5	Elektrische Signale werden durch Änderungen der Permeabilität von Ionenkanälen erzeugt	377
8.3.6	Generatorpotenziale spiegeln die Stärke des auslösenden Reizes wider	378
8.3.7	Aktionspotenziale pflanzen sich ohne Intensitätsverlust über größere Entfernungen fort	380
8.3.8	Der Fluss von Na ⁺ - und K ⁺ -Ionen durch die Membran generiert Aktionspotenziale	382
8.3.9	Na ⁺ -Kanäle im Axon besitzen zwei Tore	384
8.3.10	Während der absoluten Refraktärphase kann kein neues Aktionspotenzial erzeugt werden	386
8.3.11	Die Reizstärke wird durch die Frequenz von Aktionspotenzialen codiert	386
8.3.12	Durch ein Aktionspotenzial werden die Konzentrationsgradienten der Ionen nicht verändert	388
8.3.13	Aktionspotenziale werden von der Triggerzone zur Axonterminale weitergeleitet	389
8.3.14	In größeren Axonen pflanzen sich Aktionspotenziale schneller fort	392
8.3.15	In myelinisierten Axonen ist die Leitungsgeschwindigkeit größer	393
8.3.16	Die elektrische Aktivität kann durch eine Vielfalt von chemischen Faktoren verändert werden	396
8.4	Zell-Zell-Kommunikation im Nervensystem	398
8.4.1	An einer Synapse werden Signale von Zelle zu Zelle übertragen	398
8.4.2	Calcium-Ionen dienen als Signal zur Freisetzung der Neurotransmitter an einer Synapse	400
8.4.3	Neurokrine tragen Informationen von Neuronen zu anderen Zellen	401
8.4.4	Das Nervensystem sezerniert eine Vielfalt von Neurokrinen	402
8.4.5	Viele Rezeptortypen verstärken die Effekte von Neurotransmittern	405
8.4.6	Nicht alle postsynaptischen Antworten sind schnell und von kurzer Dauer	406
8.4.7	Die Wirkung von Neurotransmittern wird schnell terminiert	408

8.5	Integration neural übertragener Informationen	408
8.5.1	An neuralen Signalwegen können viele Neuronen simultan beteiligt sein.	409
8.5.2	Die synaptische Aktivität kann auch an der Axonterminale moduliert werden.	412
8.5.3	Die Langzeitpotenzierung verändert die synaptische Kommunikation.	412
8.5.4	Störungen der synaptischen Signalübertragung sind für viele Krankheiten verantwortlich.	414
8.5.5	Die Entwicklung des Nervensystems hängt von chemischen Signalen ab	415
8.5.6	Bei Verletzungen sterben vom Perikaryon abgetrennte Segmente der Nervenzellen ab	416
	Übungsaufgaben	423
	Lösungen	426

Kapitel 9 Das Zentralnervensystem 429

9.1	Spontane Eigenschaften neuronaler Netze	430
9.2	Evolution der Nervensysteme	431
9.3	Anatomie des Zentralnervensystems	433
9.3.1	Das Zentralnervensystem entwickelt sich aus einem Rohr	433
9.3.2	Das Zentralnervensystem ist unterteilt in graue und weiße Substanz.	435
9.3.3	Knochen und Bindegewebe stützen das Zentralnervensystem	435
9.3.4	Das Gehirn schwimmt in Cerebrospinalflüssigkeit.	437
9.3.5	Die Blut-Hirn-Schranke schützt das Gehirn vor schädlichen Substanzen im Blut	439
9.3.6	Nervengewebe stellt spezielle metabolische Anforderungen.	440
9.4	Das Rückenmark	441
9.5	Das Gehirn	443
9.5.1	Der Hirnstamm ist der Übergang zwischen Rückenmark und Mittelhirn	445
9.5.2	Der Hirnstamm besteht aus Medulla, Pons und Mittelhirn	446
9.5.3	Das Cerebellum dient zur Bewegungskoordination	447
9.5.4	Das Diencephalon enthält Homöostasezentren.	447
9.5.5	Das Großhirn ist der Sitz höherer Hirnfunktionen	448
9.5.6	Das Großhirn weist separate Bereiche von grauer und weißer Substanz auf	449
9.6	Die Gehirnfunktion	449
9.6.1	Der cerebrale Cortex ist in funktionellen Arealen organisiert	451
9.6.2	Sensorische Information wird im Rückenmark und im Gehirn integriert.	453
9.6.3	Sensorische Information wird zu Wahrnehmung verarbeitet	453
9.6.4	Das motorische System steuert den Output des Zentralnervensystems	454
9.6.5	Das Verhaltenszustandssystem moduliert den motorischen Output	454
9.6.6	Das retikuläre aktivierende System beeinflusst Wachheitszustände	455
9.6.7	Warum schlafen wir?	456
9.6.8	Physiologische Funktionen zeigen eine circadiane Rhythmik.	459
9.6.9	An Emotion und Motivation sind komplexe neuronale Bahnen beteiligt.	459
9.6.10	Stimmungen sind lang anhaltende emotionale Zustände	461
9.6.11	Lernen und Erinnern verändern die synaptischen Verbindungen im Gehirn	462

9.6.12	Lernen ist der Erwerb von Wissen.	462
9.6.13	Erinnerung ist die Fähigkeit, Information zu behalten und abzurufen	462
9.6.14	Sprache ist das komplexeste kognitive Verhalten.	465
9.6.15	Persönlichkeit ist eine Kombination aus Erfahrung und Erbgut	466
	Übungsaufgaben	472
	Lösungen	475

Kapitel 10 Sinnesphysiologie 477

10.1	Allgemeine Eigenschaften sensorischer Systeme.	478
10.1.1	Rezeptoren sind hoch spezifisch für ganz bestimmte Energieformen	479
10.1.2	Sensorische Transduktion wandelt Reize in abgestufte Potenziale um.	481
10.1.3	Ein sensorisches Neuron hat ein rezeptives Feld.	481
10.1.4	Das Zentralnervensystem integriert sensorische Information	482
10.1.5	Codierung und Verarbeitung unterscheiden Reizmodalität, Reizort, Reizstärke und Reizdauer	484
10.2	Die somatischen Sinne	489
10.2.1	Bahnen für somatische Perzeption projizieren in den somatosensorischen Cortex und ins Cerebellum	489
10.2.2	Berührungsrezeptoren reagieren auf viele verschiedene Reize	491
10.2.3	Temperaturrezeptoren sind freie Nervenendigungen.	492
10.2.4	Nocizeptoren setzen Schutzreaktionen in Gang.	492
10.2.5	Schmerzen und Jucken werden von Nocizeptoren vermittelt	493
10.3	Chemorezeption: Geruch und Geschmack	496
10.3.1	Der Geruchssinn ist einer der ältesten Sinne	497
10.3.2	Geschmack ist eine Kombination aus fünf Grundgeschmacksempfindungen	499
10.4	Das Ohr: Hören.	502
10.4.1	Hören ist unsere Wahrnehmung von Schall	503
10.4.2	Die Transduktion von Schall ist ein mehrstufiger Prozess.	505
10.4.3	Die Cochlea ist mit Flüssigkeit gefüllt.	506
10.4.4	Schall wird zuerst in der Cochlea verarbeitet.	508
10.4.5	Hörbahnen projizieren in den auditorischen Cortex	509
10.4.6	Hörverlust kann eine Folge mechanischer oder neuronaler Schädigung sein	510
10.5	Das Ohr: Gleichgewicht.	511
10.5.1	Der Vestibularapparat ist mit Endolymphe gefüllt	511
10.5.2	Der Vestibularapparat liefert Information über Bewegung und Position im Raum	513
10.5.3	Die Bogengänge nehmen Winkelbeschleunigung wahr	513
10.5.4	Die Statolithenorgane nehmen Linearbeschleunigung und Kopfhaltung wahr.	513
10.5.5	Gleichgewichtsbahnen projizieren hauptsächlich ins Cerebellum	513
10.6	Auge und Sehen.	514
10.6.1	Das Auge wird vom Schädel geschützt	515
10.6.2	Licht tritt durch die Pupille ins Auge ein.	517

10.6.3	Die Linse fokussiert Licht auf der Retina	518
10.6.4	Die Phototransduktion findet in der Retina statt	521
10.6.5	Photorezeptoren wandeln Licht in elektrische Signale um	524
10.6.6	Die Signalverarbeitung beginnt in der Retina	526
	Übungsaufgaben	534
	Lösungen	537

Kapitel 11 Efferenter Teil:

Autonome und somatomotorische Kontrolle

		539
11.1	Autonomer Teil	540
11.1.1	Autonome Reflexe sind wichtig für die Homöostase	541
11.1.2	Die antagonistische Kontrolle ist typisch für das autonome System.	542
11.1.3	Autonome Leitungsbahnen bestehen aus zwei in Reihe geschalteten efferenten Neuronen	543
11.1.4	Sympathische und parasympathische Nerven treten in unterschiedlichen Rückenmarksabschnitten aus.	543
11.1.5	Das autonome Nervensystem bedient sich verschiedenster Neurotransmitter und Modulatoren	545
11.1.6	Autonome Leitungsbahnen kontrollieren glatte Muskulatur, Herzmuskulatur, Drüsen, lymphatisches und Fettgewebe.	546
11.1.7	Neurotransmitter des autonomen Systems werden im Axon synthetisiert.	547
11.1.8	Die meisten sympathischen Leitungsbahnen setzen Noradrenalin an adrenergen Rezeptoren frei.	548
11.1.9	Das Nebennierenmark bildet Katecholamine	549
11.1.10	Parasympathische Leitungsbahnen setzen Acetylcholin an muscarinergen Rezeptoren frei.	551
11.1.11	Autonome Agonisten und Antagonisten sind wichtige Werkzeuge der medizinischen Forschung und Praxis.	551
11.1.12	Primärerkrankungen des autonomen Nervensystems sind eher selten	552
11.1.13	Sympathikus und Parasympathikus: Zusammenfassung.	552
11.2	Somatomotorischer Teil.	554
11.2.1	Eine somatomotorische Leitungsbahn besteht aus einem einzigen Neuron	554
11.2.2	Die neuromuskuläre Endplatte enthält nicotinische Rezeptoren.	556
	Übungsaufgaben	560
	Lösungen	562

Kapitel 12 Muskulatur

		565
12.1	Skelettmuskulatur	567
12.1.1	Skelettmuskeln bestehen aus Muskelfasern	567
12.1.2	Myofibrillen sind die kontraktile Elemente einer Muskelfaser	570
12.1.3	Muskelkontraktion erzeugt Kraft.	572
12.1.4	Muskeln verkürzen sich bei der Kontraktion	573
12.1.5	Troponin und Tropomyosin regulieren die Kontraktion	576
12.1.6	Acetylcholin initiiert die elektromechanische Kopplung	578
12.1.7	Die Kontraktion der Skelettmuskeln erfordert ständigen Nachschub an ATP.	581

12.1.8	Die Ermüdung von Muskeln kann verschiedene Ursachen haben.	582
12.1.9	Skelettmuskelfasern werden nach ihrer Kontraktionsgeschwindigkeit und Ermüdbarkeit eingeteilt	584
12.1.10	Die von einer Muskelfaser entwickelte Spannung ist eine Funktion der Faserlänge.	585
12.1.11	Durch die Summation von Muskelzuckungen wird die Kontraktionskraft gesteigert.	586
12.1.12	Eine motorische Einheit umfasst ein somatomotorisches Neuron und die von ihm innervierten Muskelfasern	588
12.1.13	Die Kontraktion des Muskels richtet sich nach der Art und Zahl der motorischen Einheiten.	589
12.2	Mechanik der Bewegung	590
12.2.1	Isotonische Kontraktionen bewegen Lasten, isometrische Kontraktionen erzeugen Kraft ohne Bewegung	590
12.2.2	Knochen und Muskeln bilden mit Gelenken Hebel und Drehpunkte	590
12.2.3	Muskelerkrankungen haben verschiedenste Ursachen	594
12.3	Glatte Muskulatur	595
12.3.1	Die Zellen der glatten Muskulatur sind viel kleiner als Skelettmuskelfasern	597
12.3.2	Glatte Muskulatur verfügt über längere Actin- und Myosinfilamente.	598
12.3.3	Die kontraktile Elemente der glatten Muskulatur bilden keine Sarcomere. . .	598
12.3.4	Die Phosphorylierung von Proteinen spielt bei der Kontraktion glatter Muskulatur eine entscheidende Rolle.	599
12.3.5	Die Entspannung der glatten Muskulatur erfolgt in mehreren Schritten	601
12.3.6	Der Calciumeinstrom gibt das Signal zur Kontraktion der glatten Muskulatur.	602
12.3.7	Die Dehnung des Muskels öffnet Ca^{2+} -Kanäle	603
12.3.8	Manche glatten Muskeln haben instabile Membranpotenziale	603
12.3.9	Die Aktivität der glatten Muskulatur wird über chemische Signale reguliert.	604
12.4	Herzmuskulatur	606
	Übungsaufgaben	610
	Lösungen	612

Kapitel 13 Integrative Physiologie I: Kontrolle der Bewegung 615

13.1	Neuronale Reflexe	616
13.1.1	Neuronale Reflexbahnen werden nach unterschiedlichen Gesichtspunkten eingeteilt	616
13.2	Autonome Reflexe	617
13.3	Reflexe der Skelettmuskulatur	619
13.3.1	Muskelspindeln reagieren auf die Dehnung des Muskels	620
13.3.2	Golgi-Sehnenorgane reagieren auf die Spannung des Muskels	623
13.3.3	Muskeldehnungsreflexe und reziproke Hemmung steuern die Gelenkbewegung.	625
13.3.4	Beugereflexe lassen Gliedmaßen von schmerzhaften Reizen zurückzucken . . .	626
13.4	Die integrative Kontrolle der Bewegung	628

13.4.1	Man unterscheidet reflexhafte, willkürliche und rhythmische Bewegungen	628
13.4.2	Die Integration der Bewegung im ZNS	630
13.4.3	Symptome des Parkinson-Syndroms spiegeln die Funktion der Basalganglien wider.	634
13.5	Kontrolle der Bewegung der visceralen Muskulatur	634
	Übungsaufgaben	638
	Lösungen	639
Kapitel 14 Kardiovaskuläre Physiologie		641
14.1	Überblick über das kardiovaskuläre System.	643
14.1.1	Das kardiovaskuläre System transportiert viele verschiedene Stoffe durch den ganzen Körper.	643
14.1.2	Das kardiovaskuläre System besteht aus dem Herzen, den Blutgefäßen und dem Blut	644
14.2	Druck, Volumen, Fluss und Widerstand.	647
14.2.1	Der Druck einer bewegten Flüssigkeit sinkt mit zunehmender Wegstrecke ..	648
14.2.2	Flüssigkeiten sind inkompressibel (nicht komprimierbar)	648
14.2.3	Blut strömt von Orten höheren Drucks zu Orten niedrigeren Drucks	649
14.2.4	Dem Fluss steht ein Widerstand entgegen	650
14.2.5	Strömungsgeschwindigkeit, Volumenstrom und Querschnittsfläche	651
14.3	Der Herzmuskel und das Herz.	653
14.3.1	Das Herz besitzt vier Kammern	654
14.3.2	Die Herzklappen gewährleisten den Einbahn-Blutfluss im Herzen.	655
14.3.3	Einige Herzmuskelzellen kontrahieren ohne neurale Stimulation	658
14.3.4	Die elektromechanische Kopplung im Herzmuskel	661
14.3.5	Die Kontraktionskraft der einzelnen Herzmuskelzelle ist variabel	663
14.3.6	Eine Dehnung des Herzmuskels führt zu einer stärkeren Kontraktion	663
14.3.7	Aktionspotenziale in Herzmuskelzellen variieren mit dem Zelltyp	663
14.3.8	Neurotransmitter des vegetativen Nervensystems modulieren die Herzfrequenz	667
14.4	Das Herz als Pumpe	668
14.4.1	Koordination der Herzmuskelkontraktion	669
14.4.2	Schrittmacherzellen bestimmen die Herzfrequenz.	672
14.4.3	Das Elektrokardiogramm spiegelt die elektrische Aktivität des Herzens wider	674
14.4.4	Das Herz kontrahiert und relaxiert einmal während eines Herzzyklus.	679
14.4.5	Druck-Volumen-Diagramme zur Beschreibung des Herzzyklus.	682
14.4.6	Das Herzschlagvolumen	684
14.4.7	Das Herzzeitvolumen ist ein Maß für die Herzleistung	684
14.4.8	Regulierung der Herzfrequenz durch vegetative Neuronen	686
14.4.9	Das Schlagvolumen wird durch mehrere Faktoren beeinflusst	687
14.4.10	Regulierung der Kontraktilität durch Neuronen und das endokrine System. . .	689
14.4.11	Das EDV und der arterielle Blutdruck bestimmen die Nachlast	691
	Übungsaufgaben	699
	Lösungen	702

Kapitel 15	Blutfluss und Kontrolle des Blutdrucks	707
15.1	Die Blutgefäße	709
15.1.1	Vaskuläre glatte Muskulatur	709
15.1.2	In Arterien und Arteriolen fließt das Blut vom Herzen zu den Geweben	710
15.1.3	Austauschvorgänge zwischen dem Blut und der interstitiellen Flüssigkeit finden in den Kapillaren statt	711
15.1.4	Das Blut aus den Kapillaren fließt in den Venolen und Venen zusammen	711
15.1.5	Durch Angiogenese entstehen neue Blutgefäße	712
15.2	Der Blutdruck	713
15.2.1	Der Blutdruck ist in den Arterien am höchsten und in den Venen am niedrigsten	713
15.2.2	Der arterielle Blutdruck spiegelt den Antriebsdruck für den Blutfluss wider	715
15.2.3	Bestimmung des Blutdrucks durch Sphygmomanometrie	716
15.2.4	Das Herzzeitvolumen und der periphere Gefäßwiderstand bestimmen den mittleren arteriellen Blutdruck	718
15.2.5	Veränderungen des Blutvolumens beeinflussen den Blutdruck	718
15.3	Strömungswiderstand in den Arteriolen	720
15.3.1	Der Blutfluss wird durch myogene Autoregulation automatisch angepasst	721
15.3.2	Parakrine beeinflussen die Kontraktion der vaskulären glatten Muskulatur	723
15.3.3	Das sympathische Nervensystem kontrolliert den größten Teil der vaskulären glatten Muskulatur	725
15.4	Verteilung des Blutes auf die Gewebe	726
15.5	Stoffaustausch in den Kapillaren	728
15.5.1	Die Strömungsgeschwindigkeit des Blutes ist in den Kapillaren am kleinsten	729
15.5.2	Der Stoffaustausch in den Kapillaren erfolgt überwiegend durch Diffusion und Transcytose	730
15.5.3	Filtration und Reabsorption in Kapillaren	731
15.6	Das lymphatische Gefäßsystem	734
15.6.1	Ödeme sind die Folge von Veränderungen des kapillären Stoffaustauschs	735
15.7	Regulation des Blutdrucks	737
15.7.1	Der Barorezeptorreflex	737
15.7.2	Orthostatischer Hypertonus und der Barorezeptorreflex	740
15.8	Kardiovaskuläre Erkrankungen	741
15.8.1	Rauchen, Fettleibigkeit und vererbare Faktoren erhöhen das Risiko für kardiovaskuläre Erkrankungen	742
15.8.2	Arteriosklerose ist ein entzündlicher Prozess	743
15.8.3	Eine Hypertonie repräsentiert eine Störung der Homöostase	746
	Übungsaufgaben	752
	Lösungen	756

Kapitel 16 Das Blut 759

16.1	Das Plasma und die zellulären Bestandteile des Blutes	761
16.1.1	Das Blutplasma besteht aus Wasser, gelösten Proteinen, Ionen, organischen Molekülen und Gasen	761

16.1.2	Die zellulären Bestandteile des Blutes – Erythrocyten, Leukocyten und Thrombocyten	761
16.2	Blutzellbildung (Hämatopoese).	763
16.2.1	Die Hämatopoese erfolgt im Knochenmark.	765
16.2.2	Kontrolle der Hämatopoese durch koloniestimulierende Faktoren, Interleukine und andere Cytokine.	765
16.2.3	Koloniestimulierende Faktoren regulieren die Leukopoese	766
16.2.4	Kontrolle der Thrombopoese durch Thrombopoetin	767
16.2.5	Kontrolle der Erythropoese durch Erythropoetin.	768
16.3	Erythrocyten – rote Blutkörperchen	768
16.3.1	Reife Erythrocyten besitzen keinen Zellkern	769
16.3.2	Für die Hämoglobinsynthese ist Eisen erforderlich	771
16.3.3	Die Lebensdauer von Erythrocyten beträgt etwa vier Monate	772
16.3.4	Erkrankungen der Erythrocyten verursachen eine Senkung der Sauerstofftransportkapazität	773
16.4	Thrombocyten und Blutgerinnung	775
16.4.1	Thrombocyten sind kleine Zellfragmente.	776
16.4.2	Die Hämostase verhindert den Blutverlust aus beschädigten Gefäßen	777
16.4.3	Aktivierung von Thrombocyten und primäre Hämostase	779
16.4.4	Stabilisierung des weißen Thrombus durch die Blutgerinnung	780
16.4.5	Antikoagulanzen begrenzen das Ausmaß der Blutgerinnung.	782
	Übungsaufgaben	789
	Lösungen	791

Kapitel 17 Atemmechanik 793

17.1	Das respiratorische System	795
17.1.1	Die Knochen und Muskeln des Thorax umgeben die Lungen	796
17.1.2	Die Pleurahöhlen umschließen die Lungen	796
17.1.3	Die Atemwege verbinden die Lungen mit der äußeren Umgebung.	797
17.1.4	In den Alveolen erfolgt der Gasaustausch.	800
17.1.5	Im Lungenkreislauf herrschen ein großer Fluss und ein kleiner Druck	801
17.2	Gasgesetze	802
17.2.1	Luft ist eine Mischung aus verschiedenen Gasen.	802
17.2.2	Gase strömen in Richtung von Druckgradienten	804
17.2.3	Das Boyle'sche Gesetz beschreibt die Druck-Volumen-Beziehung in Gasen.	804
17.3	Ventilation	805
17.3.1	Während der Ventilation ändert sich das Lungenvolumen	805
17.3.2	Die inspirierte Luft wird in den Atemwegen erwärmt, angefeuchtet und gefiltert	807
17.3.3	Die Luftströmungen bei der Ventilation werden durch Druckgradienten hervorgerufen	808
17.3.4	Die Inspiration erfolgt, wenn der Alveolardruck sinkt.	809
17.3.5	Die Expiration erfolgt, wenn der Alveolardruck über den Atmosphärendruck steigt	811
17.3.6	Der Intrapleuraldruck verändert sich während der Ventilation.	813

17.3.7	Compliance und Elastance der Lungen können durch Krankheiten verändert werden	815
17.3.8	Der Surfactant-Faktor erleichtert die Atmung	816
17.3.9	Der Strömungswiderstand der Atemwege wird hauptsächlich durch ihren Durchmesser bestimmt	818
17.3.10	Atemfrequenz und Atemzugvolumen bestimmen die Effektivität der Atmung.	820
17.3.11	Die Gaszusammensetzung in den Alveolen während der Ruheatmung	822
17.3.12	Alveoläre Ventilation und alveolärer Blutvolumenstrom werden aufeinander abgestimmt	823
17.3.13	Die Lungenfunktion wird durch Auskultation und Spirometrie bewertet.	825
	Übungsaufgaben	831
	Lösungen	834

Kapitel 18 Austausch und Transport von Gasen 837

18.1	Diffusion und Löslichkeit von Gasen	838
18.1.1	Die Lösung von Gasen in Flüssigkeiten hängt vom Druck, der Löslichkeit und der Temperatur ab.	839
18.2	Gasaustausch in den Lungen und in den Geweben	841
18.2.1	Eine Abnahme des alveolaren pO_2 führt zu einer geringeren Sauerstoffaufnahme in den Lungen.	843
18.2.2	Veränderungen des Alveolarepithels beeinflussen den Gasaustausch	844
18.3	Gastransport im Blut	846
18.3.1	Der meiste Sauerstoff wird von Hämoglobin zu den Geweben transportiert	846
18.3.2	Ein Hämoglobinmolekül bindet bis zu vier Sauerstoffmoleküle	848
18.3.3	Die Bindung von Sauerstoff an Hämoglobin folgt dem Massenwirkungsgesetz	849
18.3.4	Der pO_2 bestimmt die an Hämoglobin gebundene Sauerstoffmenge	850
18.3.5	Sauerstoffsättigung des Hämoglobins	851
18.3.6	Beeinflussung der Sauerstoff-Hämoglobin-Bindung durch verschiedene Faktoren	853
18.3.7	Kohlendioxid wird auf drei Arten im Blut transportiert	855
18.4	Regulation der Atmung	859
18.4.1	Neuronen in der Medulla regulieren die Atmung	861
18.4.2	Kohlendioxid, Sauerstoff und der pH-Wert beeinflussen die Ventilation.	862
18.4.3	Schutzreflexe bewahren die Lungen vor Schäden	866
18.4.4	Höhere Hirnzentren beeinflussen die Atmung	866
	Übungsaufgaben	870
	Lösungen	873

Kapitel 19 Die Nieren 875

19.1	Funktionen der Nieren	876
19.2	Anatomie des Harnsystems	878
19.2.1	Das Harnsystem besteht aus den Nieren, den Harnleitern, der Harnblase und der Harnröhre	878
19.2.2	Das Nephron ist die funktionelle Einheit der Nieren.	879

19.3	Überblick über die Funktionen der Nieren.	883
19.3.1	Die drei Prozesse im Nephron sind die Filtration, die Resorption und die Sekretion.	883
19.3.2	Das Volumen und die Osmolarität des Filtrats ändern sich auf dem Weg durchs Nephron	884
19.4	Renale Filtration	885
19.4.1	Das Nierenkörperchen weist drei Filtrationsbarrieren auf.	885
19.4.2	Die Filtration wird durch den hydrostatischen Druck in den Kapillaren angetrieben	887
19.4.3	Der Blutdruck und der renale Blutfluss beeinflussen die GFR.	889
19.4.4	Die GFR unterliegt einer Autoregulation	890
19.4.5	Auch Hormone und autonome Neuronen beeinflussen die GFR.	892
19.5	Renale Resorption	893
19.5.1	Die Resorption kann passiv oder aktiv sein	893
19.5.2	Die Rolle der Sättigung der renalen Transportsysteme für die Nierenfunktion	897
19.5.3	Der peritubuläre Kapillardruck begünstigt die Resorption	900
19.6	Renale Sekretion	900
19.6.1	Verringerung der Penicillinsekretion durch Bindungskonkurrenz	901
19.7	Renale Exkretion	902
19.7.1	Die Clearance als nichtinvasive Methode zur Messung der GFR.	902
19.7.2	Clearance und GFR dienen zur Bestimmung des renalen Schicksals einer Substanz	905
19.8	Miktion.	907
	Übungsaufgaben	913
	Lösungen	915

Kapitel 20 Integrative Physiologie II: Flüssigkeits- und Elektrolythaushalt 917

20.1	Flüssigkeits- und Elektrolythomöostase	918
20.1.1	Die Osmolarität der EZF beeinflusst das Zellvolumen.	919
20.1.2	Ein ausgeglichener Flüssigkeits- und Elektrolythaushalt erfordert die Integration vieler Systeme	919
20.2	Wasserhaushalt	920
20.2.1	Die tägliche Aufnahme und Ausscheidung von Wasser gleichen sich gegenseitig aus.	921
20.2.2	Die Nieren sparen Wasser	922
20.2.3	Die Urinkonzentration wird in den Henle-Schleifen und den Sammelrohren eingestellt	923
20.2.4	Die Kontrolle der Wasserresorption durch ADH (Vasopressin)	924
20.2.5	Auslösung von Reflexen zur Regulierung des Wasserhaushalts	927
20.2.6	Die Henle-Schleife ist ein Gegenstrom-Multiplikator.	929
20.3	Natriumhaushalt und das EZF-Volumen	933
20.3.1	Aldosteron kontrolliert den Natriumhaushalt	934
20.3.2	Der Blutdruck als Hauptreiz zur Sekretion von Aldosteron	936
20.3.3	Angiotensin II beeinflusst den Blutdruck auf mehreren Wegen.	938

20.3.4	Das atriale natriuretische Peptid fördert die Exkretion von Na ⁺ -Ionen und Wasser	939
20.4	Kaliumhaushalt	939
20.5	Verhaltensmechanismen zur Regulation des Elektrolyt- und Wasserhaushalts	941
20.5.1	Trinken ersetzt einen Flüssigkeitsverlust	942
20.5.2	Ein niedriger Na ⁺ -Spiegel stimuliert den Appetit auf Salz	942
20.5.3	Vermeidungsverhalten zur Verhinderung einer Dehydratation	943
20.6	Integrative Kontrolle des Volumens und der Osmolarität	943
20.6.1	Osmolarität und Volumen können sich unabhängig voneinander ändern	943
20.6.2	Eine Dehydratation löst renale und kardiovaskuläre Antworten aus	945
20.7	Säure-Base-Haushalt	949
20.7.1	Enzyme und das Nervensystem sind besonders empfindlich gegenüber pH-Änderungen	950
20.7.2	Säuren und Basen im Körper stammen aus verschiedenen Quellen	950
20.7.3	Die pH-Homöostase ist auf Puffersysteme, die Lungen und die Nieren angewiesen	952
20.7.4	An Puffersystemen sind Proteine, Phosphat und Hydrogencarbonat beteiligt	952
20.7.5	Die Ventilation kann Störungen der pH-Homöostase kompensieren.	954
20.7.6	Die Nieren verwenden Ammoniak- und Phosphatpuffer.	955
20.7.7	Im proximalen Tubulus werden H ⁺ -Ionen sezerniert und HCO ₃ ⁻ -Ionen resorbiert	956
20.7.8	Das distale Nephron kontrolliert die Exkretion von Säure	958
20.7.9	Störungen der pH-Homöostase können respiratorischen oder nichtrespiratorischen Ursprungs sein.	959
	Übungsaufgaben	968
	Lösungen	971

Kapitel 21 Das Verdauungssystem

21.1	Funktionen und Prozesse des Verdauungssystems	975
21.2	Anatomie des Verdauungssystems	976
21.2.1	Das Verdauungssystem besteht aus Mundhöhle, Gastrointestinaltrakt und akzessorischen Drüsen	976
21.2.2	Die Wand des Gastrointestinaltrakts besteht aus vier Schichten.	977
21.3	Motilität	981
21.3.1	Die glatte Muskulatur des Gastrointestinaltrakts kontrahiert sich spontan.	981
21.3.2	Die glatte Muskulatur des Gastrointestinaltrakts weist unterschiedliche Kontraktionsmuster auf.	982
21.4	Sekretion	983
21.4.1	Das Verdauungssystem sezerniert Ionen und Wasser.	984
21.4.2	Verdauungsenzyme werden in den Mund, in den Magen und in den Darm sezerniert	986
21.4.3	Spezialisierte Zellen sezernieren Schleim	987
21.4.4	Speichel wird exokrin sezerniert.	987
21.4.5	Die Leber sezerniert Galle	988
21.5	Regulation der Funktion des Verdauungstrakts	988

21.5.1	Das enterische Nervensystem kann unabhängig auf das zentrale Nervensystem wirken	991
21.5.2	Zu den Peptiden des Magen-Darm-Trakts gehören auch Hormone, Neuropeptide und Cytokine	992
21.6	Verdauung und Absorption	993
21.6.1	Kohlenhydrate werden als Monosaccharide absorbiert	995
21.6.2	Proteine werden in kleine Peptide und Aminosäuren zerlegt	997
21.6.3	Einige größere Peptide können im Ganzen absorbiert werden	998
21.6.4	Gallensalze erleichtern die Fettverdauung	998
21.6.5	Nucleinsäuren werden in Stickstoffbasen und Monosaccharide aufgespalten.	1000
21.6.6	Der Darm absorbiert Vitamine und Mineralien.	1000
21.6.7	Der Darm absorbiert Ionen und Wasser.	1001
21.7	Die Cephalische Phase.	1002
21.7.1	Die chemische und mechanische Verdauung beginnt im Mund	1003
21.7.2	Durch die Schluckbewegung wird die Nahrung vom Mund in den Magen transportiert	1004
21.8	Die gastrische Phase.	1005
21.8.1	Der Magen speichert Nahrung	1005
21.8.2	Der Magen sezerniert Säure, Enzyme und Signalmoleküle	1005
21.8.3	Der Magen hält eine Balance zwischen Verdauung und Schutz	1007
21.9	Die intestinale Phase	1008
21.9.1	Bicarbonate im Dünndarm neutralisieren die Magensäure	1010
21.9.2	Die meiste Flüssigkeit wird im Dünndarm absorbiert	1010
21.9.3	Der größte Teil der Verdauung findet im Dünndarm statt	1011
21.9.4	Der Dickdarm konzentriert den Stuhl für die Ausscheidung.	1011
21.9.5	Durchfall kann zur Dehydratation führen.	1013
21.10	Immunologische Funktionen des Gastrointestinaltrakts	1014
21.10.1	M-Zellen nehmen Stichproben des Darminhalts	1014
21.10.2	Erbrechen ist ein Schutzreflex.	1014
	Übungsaufgaben	1019
	Lösungen	1022

Kapitel 22 Stoffwechsel und Energiehaushalt 1023

22.1	Energiebilanz	1026
22.1.1	Die Energieaufnahme entspricht der Energieabgabe	1026
22.1.2	Der Energieverbrauch eines Menschen spiegelt sich im Sauerstoffverbrauch	1027
22.1.3	Energie wird in Form von Fett und Glycogen gespeichert.	1029
22.2	Stoffwechsel	1030
22.2.1	Die Energie aus den Nährstoffen kann entweder sofort verbraucht oder gespeichert werden	1031
22.2.2	Hormone kontrollieren Stoffwechselprozesse, indem sie die Enzymaktivität verändern	1033
22.2.3	Anabole Stoffwechselprozesse dominieren in der absorptiven Phase	1034

22.2.4	Cholesterinspiegel im Blut als Risikofaktor für die koronare Herzkrankheit	1036
22.2.5	In der postabsorptiven Phase dominiert der katabole Stoffwechsel	1037
22.3	Die homöostatische Kontrolle des Stoffwechsels	1039
22.3.1	Der Pankreas sezerniert Insulin und Glucagon	1039
22.3.2	Das Verhältnis von Insulin zu Glucagon reguliert den Stoffwechsel	1039
22.3.3	Insulin ist das dominante Hormon der absorptiven Phase	1041
22.3.4	Insulin fördert den Anabolismus	1042
22.3.5	Glucagon dominiert in der postabsorptiven Phase	1045
22.3.6	Diabetes mellitus – eine Familie von Stoffwechselkrankheiten	1047
22.3.7	Typ-1-Diabetiker neigen zu einer Ketoacidose	1048
22.3.8	Typ-2-Diabetiker haben oft erhöhte Insulinspiegel	1050
22.3.9	Zum metabolischen Syndrom zählen sowohl Diabetes als auch kardiovaskuläre Erkrankungen	1052
22.4	Regulation der Körpertemperatur	1053
22.4.1	Die Körpertemperatur ist ein Gleichgewicht zwischen Wärmeproduktion, Wärmeaufnahme und Wärmeabgabe	1053
22.4.2	Die Körpertemperatur wird homöostatisch reguliert	1055
22.4.3	Der Körper produziert Wärme durch Bewegung und Stoffwechsel	1058
22.4.4	Der Thermostat des Körpers kann neu eingestellt werden	1059
	Übungsaufgaben	1064
	Lösungen	1065

Kapitel 23	Die hormonelle Kontrolle von Stoffwechsel und Wachstum	1069
23.1	Überblick über die Prinzipien der Hormonregulation	1070
23.2	Glucocorticoide der Nebennieren	1071
23.2.1	Die Nebennierenrinde sezerniert Steroidhormone	1071
23.2.2	Adrenocorticotropes Hormon (ACTH) kontrolliert die Ausschüttung von Cortisol	1073
23.2.3	Cortisol ist lebenswichtig	1074
23.2.4	Cortisol ist ein nützliches Medikament	1075
23.2.5	Ein zu hoher oder ein zu niedriger Cortisolspiegel verursacht Krankheiten	1075
23.2.6	CRH und ACTH haben zusätzliche physiologische Funktionen	1077
23.3	Schilddrüsenhormone	1078
23.3.1	Die Schilddrüsenhormone enthalten Iod	1078
23.3.2	Schilddrüsenhormone beeinflussen die Lebensqualität	1080
23.3.3	TSH kontrolliert die Schilddrüse	1082
23.4	Wachstumshormon/Somatotropin	1085
23.4.1	Das Somatotropin wirkt anabolisch	1085
23.4.2	Somatotropin ist wichtig für das normale Wachstum von Kindern	1086
23.4.3	Das gentechnisch hergestellte menschliche Somatotropin wirft ethische Fragen auf	1087
23.5	Gewebe- und Knochenwachstum	1088
23.5.1	Das Gewebewachstum erfordert Hormone und parakrine Signale	1088

23.5.2	Das Knochenwachstum erfordert angemessene Calciummengen in der Nahrung	1088
23.6	Calciumhaushalt	1090
23.6.1	Die Calciumkonzentration im Blut wird innerhalb eines engen Bereichs reguliert.	1091
23.6.2	Drei Hormone kontrollieren das Calciumgleichgewicht	1092
23.6.3	Die Homöostase von Calcium und Phosphat sind miteinander verknüpft. . .	1096
23.6.4	Osteoporose ist eine Krankheit, bei der Knochen abgebaut wird	1097
	Übungsaufgaben	1100
	Lösungen	1102

Kapitel 24 Das Immunsystem 1105

24.1	Ein Überblick über die Funktionen des Immunsystems	1106
24.2	Krankheitserreger des Menschen	1107
24.2.1	Der Körper braucht unterschiedliche Abwehrmechanismen gegen Bakterien und Viren.	1107
24.2.2	Viren können sich nur in einer Wirtszelle replizieren	1108
24.3	Die Immunantwort.	1109
24.4	Anatomie des Immunsystems	1110
24.4.1	Das Lymphgewebe ist über den gesamten Körper verteilt	1110
24.4.2	Leukocyten sind die wichtigsten Zellen des Immunsystems.	1111
24.5	Angeborene Immunität: Unspezifische Immunantwort	1115
24.5.1	Physikalische und chemische Barrieren sind die ersten Verteidigungslinien des Körpers.	1115
24.5.2	Phagocyten erkennen und verschlingen fremdes Material	1116
24.5.3	Natürliche Killerzellen eliminieren virusinfizierte Zellen und Tumorzellen	1117
24.5.4	Chemische Mediatoren sorgen für die Entzündungsreaktion	1117
24.6	Erworbene Immunität: Antigen-spezifische Reaktionen	1120
24.6.1	Lymphocyten sind die wichtigsten Zellen, die an der erworbenen Immunantwort beteiligt sind.	1121
24.6.2	Die B-Lymphocyten differenzieren in Plasmazellen und Gedächtniszellen. . .	1122
24.6.3	Antikörper sind Proteine, die von Plasmazellen ausgeschüttet werden . . .	1122
24.6.4	Die Bindung eines Antigenes an die Antikörper einer B-Zelle aktiviert die Zelle	1125
24.6.5	T-Lymphocyten müssen mit ihren Zielzellen in direkten Kontakt treten . . .	1125
24.6.6	Der Haupthistokompatibilitätskomplex baut Antigenfragmente ein	1125
24.7	Kontrollwege der Immunantwort	1128
24.7.1	Entzündung ist eine typische Reaktion auf eine Infektion mit Bakterien . . .	1128
24.7.2	Intrazelluläre Abwehrmechanismen sind beim Kampf gegen eine virale Infektion notwendig	1129
24.7.3	Allergische Reaktionen sind entzündliche Reaktionen, die durch spezifische Antigene ausgelöst werden.	1131
24.7.4	MHC-Proteine können fremdes Gewebe erkennen.	1133
24.7.5	Die Erkennung des „Selbst“ ist eine wichtige Funktion des Immunsystems. . .	1135

24.7.6	Durch die Überwachung durch das Immunsystem kann der Körper abnorme Zellen entfernen	1136
24.8	Interaktionen zwischen Nervensystem, Hormonsystem und Immunsystem	1136
24.8.1	Stress verändert die Funktion des Immunsystems	1138
24.8.2	Therapien der modernen Medizin berücksichtigen die Interaktionen zwischen Geist und Körper	1139
	Übungsaufgaben	1144
	Lösungen	1145

Kapitel 25 Integrative Physiologie III: Bewegung 1147

25.1	Stoffwechsel und Bewegung	1148
25.1.1	Hormone regulieren den Stoffwechsel während der Bewegung	1150
25.1.2	Der Sauerstoffverbrauch steht im Zusammenhang mit der Bewegungsintensität	1151
25.1.3	Mehrere Faktoren limitieren die Leistungsfähigkeit	1151
25.2	Reaktionen der Ventilation auf Bewegung.	1152
25.3	Reaktionen des Herz-Kreislauf-Systems auf Bewegung	1153
25.3.1	Das Herzzeitvolumen steigt während Bewegung leicht an.	1154
25.3.2	Bei körperlicher Bewegung leitet die periphere Durchblutung das Blut in den Muskel um	1154
25.3.3	Der Blutdruck steigt während Bewegung leicht an	1155
25.3.4	Der Barorezeptorreflex stellt sich auf Bewegung ein	1156
25.4	Feedforward-Reaktionen auf Bewegung	1156
25.5	Temperaturregulation bei körperlicher Aktivität	1157
25.6	Bewegung und Gesundheit	1158
25.6.1	Bewegung vermindert das Risiko für Herz-Kreislauf-Erkrankungen	1158
25.6.2	Diabetes mellitus Typ 2 kann durch Bewegung gelindert werden.	1159
25.6.3	Stress und Immunsystem können durch Bewegung beeinflusst werden.	1159
	Übungsaufgaben	1163
	Lösungen	1164

Kapitel 26 Fortpflanzung und Entwicklung 1167

26.1	Geschlechtsdetermination	1169
26.1.1	Die Geschlechtschromosomen bestimmen das genetische Geschlecht	1169
26.1.2	Die sexuelle Differenzierung findet im zweiten Entwicklungsmonat statt.	1170
26.2	Grundmuster der Fortpflanzung	1174
26.2.1	Die Gametogenese beginnt in der Gebärmutter und setzt sich während der Pubertät fort	1174
26.2.2	Das Gehirn steuert die Fortpflanzung	1176
26.2.3	Fortpflanzung wird durch Umweltfaktoren beeinflusst	1179
26.3	Die Fortpflanzungsorgane des Mannes	1179
26.3.1	Hoden produzieren Spermien und Testosteron	1181
26.3.2	Für die Spermatogenese sind Gonadotropine und Testosteron notwendig.	1184
26.3.3	Männliche akzessorische Drüsen fügen dem Samen Sekrete bei.	1185
26.3.4	Androgene beeinflussen sekundäre Geschlechtsmerkmale	1186

26.4	Die Fortpflanzungsorgane der Frau	1186
26.4.1	Zum weiblichen Fortpflanzungstrakt gehören Ovarien und Uterus	1186
26.4.2	Das Ovar produziert Oozyten und Hormone	1187
26.4.3	Ein Menstruationszyklus dauert ungefähr einen Monat lang.	1187
26.4.4	Die hormonelle Kontrolle des Menstruationszyklus ist komplex	1191
26.4.5	Östrogene und Androgene beeinflussen die sekundären Geschlechtsmerkmale der Frauen	1194
26.5	Zeugung	1195
26.5.1	Die sexuelle Erregung des Menschen besteht aus vier Phasen.	1195
26.5.2	Zum Geschlechtsakt des Mannes gehören Erektion und Ejakulation	1196
26.5.3	Eine sexuelle Dysfunktion kann sowohl Männer als auch Frauen betreffen . . .	1197
26.5.4	Kontrazeptiva sollen eine Schwangerschaft verhindern	1197
26.5.5	Infertilität ist die Unfähigkeit, ein Kind zu empfangen	1199
26.6	Schwangerschaft und Geburt	1200
26.6.1	Zur Befruchtung ist die Kapazitation notwendig	1200
26.6.2	Der Embryo nistet sich im Endometrium ein	1202
26.6.3	Die Plazenta gibt während der Schwangerschaft Hormone ab.	1203
26.6.4	Die Schwangerschaft endet mit den Wehen und der Geburt	1204
26.6.5	Die Brustdrüsen geben während der Stillperiode (Laktation) Milch ab	1206
26.6.6	Prolactin spielt noch andere physiologische Rollen	1207
26.7	Wachstum und Altern	1208
26.7.1	Die Pubertät ist ein Zeichen für den Beginn der fortpflanzungsfähigen Jahre.	1208
26.7.2	Menopause und Andropause sind eine Folge des Alterns.	1208
	Übungsaufgaben	1213
	Lösungen	1215

Anhang		1217
A	Lösungen	1219
B	Glossar	1285
C	Index.	1325
D	Abbildungsnachweis	1357