

Inhaltsverzeichnis

Allgemeine Physiologie und Zellphysiologie

1	Grundlagen der Zellphysiologie	3
1.1	Der menschliche Organismus als offenes System mit innerem Milieu	3
1.2	Regelung	5
1.2.2	Kennlinie eines Regelkreises	7
1.2.3	Zeitverhalten eines Regelkreises	8
1.2.4	Totzeit eines Regelkreises	9
1.3	Die Zelle und ihre Kompartimente	10
1.3.1	Membranen	10
1.3.2	Zellkompartimente	12
1.3.3	Zytoskelett	15
1.3.4	Zellkontakte	16
2	Transportprozesse und Signaltransduktion	18
2.1	Transportprozesse	18
2.1.1	Triebkräfte von Transportprozessen	18
2.1.2	Passiver und aktiver Transport	20
2.1.3	Vermittelter und unvermittelter Transport	20
2.1.4	Osmose und Filtration	22
2.1.5	Passiver Transport	23
2.1.6	Aktiver Transport über Zellmembranen	25
2.1.7	Transepithelialer Transport	30
2.2	Signaltransduktion	32
2.2.1	Allgemeines	32
2.2.2	Rezeptoren	33
2.2.3	Intrazelluläre Botenstoffe (Second Messenger)	42
3	Membranpotenzial	47
3.1	Pumpen und Kanäle in der Zellmembran	48
3.1.1	Na ⁺ /K ⁺ -ATPase	48
3.1.2	Ionenkanäle	51
3.2	Ruhemembranpotenzial	53
3.2.1	Das K ⁺ -Gleichgewichtspotenzial	53
3.2.2	Gleichgewichtspotenziale verschiedener wichtiger Ionen ...	55
3.2.3	Mischpotenziale	56
3.3	Ionenströme und Membranpotenzial	57
3.3.1	K ⁺ -Ionen	57
3.3.2	Cl ⁻ -Ionen	58

3.4	Aktionspotenzial	59
3.4.1	Entstehung des Aktionspotenzials	59
3.4.2	Verlauf des Aktionspotenzials	63
3.4.3	Schwellenwert und Erregbarkeit	70
3.4.4	Codierung der Reizstärke	71
4	Erregungsleitung und -übertragung	74
4.1	Erregungsleitung	74
4.1.1	Elektrotonische Fortleitung von Depolarisationen	75
4.1.2	Fortleitung des Aktionspotenzials in marklosen Nervenfasern	76
4.1.3	Fortleitung des Aktionspotenzials in markhaltigen Nervenfasern	78
4.1.4	Extrazelluläre Aktionspotenziale von Nervenfasern und Nerven	80
4.2	Erregungsübertragung	83
4.2.1	Synapsen	83
4.2.2	Erregende Synapsen im ZNS	88
4.2.3	Hemmende Synapsen im ZNS	91
4.2.4	Neuromuskuläre Endplatte	93
4.2.5	Elektrische Synapsen	96
4.3	Synaptische Plastizität	97
4.3.1	Cotransmitter	97
4.3.2	Weitere Neuromodulatoren	99
4.3.3	Langzeitpotenzierung und Langzeitdepression	101
4.4	Präsynaptische Hemmung und Bahnung	101
5	Muskulatur	103
5.1	Morphologische Charakteristika der drei Muskelarten	103
5.1.1	Skelettmuskel	103
5.1.2	Herzmuskel	107
5.1.3	Glatte Muskulatur	108
5.1.4	Muskelfilamente	109
5.2	Erregung der Muskelzellen	111
5.2.1	Innervation von Skelettmuskelzellen	112
5.2.2	Elektrische Erregung der Skelettmuskelzelle	113
5.2.3	Elektrische Erregung der Herzmuskelzelle	116
5.2.4	Elektrische Erregung der glatten Muskulatur	116
5.3	Elektromechanische Kopplung in Muskelzellen	118
5.3.1	Elektromechanische Kopplung in Skelettmuskelzellen	118
5.3.2	Elektromechanische Kopplung in Herzmuskelzellen	120

5.3.3	Elektromechanische und pharmakomechanische Kopplung glatter Muskelzellen	121
5.4	Kontraktion der Muskelzellen	122
5.4.1	Kontraktion der Skelettmuskelzellen	122
5.4.2	Kontraktion der Herzmuskelzellen	125
5.4.3	Kontraktion glatter Muskelzellen	125
5.4.4	Ende der Muskelkontraktion	126
5.5	Regulation der Kontraktionskraft	127
5.5.1	Skelettmuskel	127
5.5.2	Herzmuskel	130
5.5.3	Glatte Muskulatur	130
5.6	Ermüdung der Skelettmuskulatur	131
5.7	Muskelmechanik und Energiestoffwechsel	134
5.7.1	Kontraktionsformen	134
5.7.2	Ruhedehnungskurve, isotonische und isometrische Maxima	134
5.7.3	Verkürzungsgeschwindigkeit und Arbeit eines Muskels	135
5.7.4	Energiestoffwechsel der Muskelzelle	135

Vegetative Physiologie: Organe und Funktionssysteme

6	Herz-Kreislauf-System	139
6.1	Das Herz im Kreislaufsystem	139
6.1.1	Herzerregung und Ablauf der Herzfunktionen	140
6.1.2	Aktionspotenziale in Kardiomyozyten	143
6.1.3	Hierarchie der Herzschrittmacherzentren	148
6.1.4	Refraktärphase des Myokards	149
6.1.5	Das Elektrokardiogramm (EKG)	153
6.1.6	Kopplung von Erregung und Kontraktion in Kardiomyozyten	168
6.1.7	Herzmechanik	170
6.1.8	Regulation der Herzaktivität	177
6.1.9	Ernährung des Herzens	185
6.1.10	Metabolismus des Myokards	189
6.2	Herz-Kreislauf-System	191
6.2.1	Überblick: Aufbau und Funktion des Herz-Kreislauf-Systems	191
6.2.2	Das Blutgefäßsystem	192
6.2.3	Arteriell Gefäßsystem	202
6.2.4	Strömungswiderstand im Gefäßsystem	208
6.2.5	Venöses Gefäßsystem	209
6.2.6	Blutdruck bei Orthostase	215
6.2.7	Mikrozirkulation	217

6.2.8	Lymphgefäßsystem	223
6.2.9	Lokale Regulation der Durchblutung	223
6.2.10	Systemische Kontrolle des Blutdrucks	229
6.2.11	Spezifische Durchblutung verschiedener Organe	233
6.2.12	Lungenkreislauf	235

7

	Blut und Immunsystem	238
7.1	Blut	238
	7.1.1 Zusammensetzung des Blutes	238
	7.1.2 Das Blutplasma	238
	7.1.3 Die zellulären Bestandteile des Blutes	242
	7.1.4 Blutgruppen	250
7.2	Hämostase	252
	7.2.1 Thrombozyten	253
	7.2.2 Primäre Hämostase (Blutstillung)	253
	7.2.3 Sekundäre Hämostase (Blutgerinnung)	255
	7.2.4 Fibrinolyse	257
	7.2.5 Physiologische Antihämostasemechanismen	257
	7.2.6 Störungen der Hämostase	258
	7.2.7 Gerinnungstests	260
7.3	Das Abwehrsystem	260
	7.3.1 Das angeborene Abwehrsystem	262
	7.3.2 Das adaptive Abwehrsystem	267
	7.3.3 Impfung	277
	7.3.4 Allergien	277
	7.3.5 HIV-Infektion und AIDS	278

8

	Atmung und Säure-Basen-Haushalt	279
8.1	Aufbau und Funktion der luftleitenden Wege	279
	8.1.1 Aufbau der luftleitenden Wege	279
	8.1.2 Funktionen der luftleitenden Wege	279
	8.1.3 Atemwegswiderstand	282
8.2	Atemmechanik	284
	8.2.1 Inspiration und Expiration	284
	8.2.2 Druckverhältnisse bei Inspiration und Expiration	286
	8.2.3 Mechanische Eigenschaften von Lunge und Thorax	287
	8.2.4 Compliance	290
	8.2.5 Atemarbeit	290
8.3	Gasaustausch	291
	8.3.1 Fraktionelle Gaskonzentration, Partialdruck und Konzentration	291

8.3.2	Lungenvolumina	293
8.3.3	Totraumvolumen	295
8.3.4	Aufbau der Alveolarmembran	297
8.3.5	Alveolärer Gasaustausch	298
8.3.6	Respiratorischer Quotient	300
8.4	Ventilation und Perfusion	301
8.4.1	Ventilations-Perfusions-Quotient	303
8.5	Transport von O₂ und CO₂	305
8.5.1	Physikalische Lösung der Atemgase im Blut	305
8.5.2	Sauerstoffbindung an Hämoglobin	305
8.5.3	Regulation der Sauerstoffbindung an Hämoglobin	307
8.5.4	Sauerstoffverbrauch im Gewebe	308
8.5.5	CO ₂ -Transport im Blut	308
8.5.6	Haldane-Effekt	310
8.6	Atmungsregulation	310
8.6.1	Atemrhythmus	310
8.6.2	Regulation der Atmung	311
8.6.3	Störungen des Atemrhythmus	315
8.7	Atmung in der Höhe und Tauchen	316
8.7.1	Atmung in der Höhe	316
8.7.2	Tauchen	318
8.8	Säure-Basen-Haushalt	320
8.8.1	pH-Werte im menschlichen Körper	320
8.8.2	Der pH-Wert des Blutes	321
8.8.3	Pufferung	323
8.8.4	Säure-Basen-Bilanz	326
8.8.5	Säureausscheidung durch die Niere	328
8.8.6	Störungen des Säure-Basen-Haushalts	330
9	Niere, Wasser- und Mineralhaushalt	335
9.1	Bau und Funktion der Niere	336
9.1.1	Renales Gefäßsystem	336
9.1.2	Aufbau des Nierenkörperchens	337
9.1.3	Aufbau des juxtaglomerulären Apparats	338
9.1.4	Aufbau des Tubulusapparats	338
9.1.5	Endokrine Nierenfunktion	340
9.1.6	Renale Innervation	340
9.2	Prinzip der Ausscheidung	341
9.2.1	Renale Ausscheidung	342
9.2.2	Glomeruläre Filtration	344
9.2.3	Renaler Blutfluss	349
9.2.4	Regulation von RBF und GFR	351

9.3	Renaler Transport und Regulation von NaCl	353
9.3.1	Transportprozesse	355
9.3.2	Regulation	357
9.4	Renaler Transport von H₂O	359
9.4.1	Transportprozesse	359
9.4.2	Regulation	360
9.5	Renaler Transport und Regulation von Kalium	360
9.5.1	Kaliumaufnahme	361
9.5.2	Interne Kaliumverteilung	361
9.5.3	Kaliumfiltration und -resorption	362
9.5.4	Transportprozesse	362
9.5.5	Regulation	364
9.6	Renaler Transport und Regulation von Phosphat, Calcium und Magnesium	366
9.6.1	Phosphat	366
9.6.2	Calcium	367
9.6.3	Magnesium	371
9.7	Renaler Transport und Regulation von Glucose, Aminosäuren, Peptiden und Proteinen	372
9.7.1	Glucose	372
9.7.2	Aminosäuren	373
9.7.3	Oligopeptide	374
9.7.4	Proteine	374
9.8	Renaler Transport und Regulation weiterer organischer Substanzen	375
9.8.1	Carboxylate	375
9.8.2	Harnsäure	376
9.8.3	Organische Anionen	377
9.8.4	Organische Kationen	378
9.9	Renaler Transport von Säuren und Basen	378
9.9.1	Ausgeschiedene Säuren sind sezernierte Säuren	379
9.9.2	Die H ⁺ -Bilanz der Niere	380
9.9.3	Beitrag der Tubulusabschnitte	381
9.9.4	Zelluläre Transportmechanismen	381
9.10	Renaler Transport und Regulation von Harnstoff	385
9.10.1	Transportprozesse	385
9.10.2	Regulation	386
9.11	Urinkonzentrierung und Wasserhaushalt	386
9.11.1	Aufbau des osmotischen Gradienten	389
9.11.2	Gegenstromaustausch in den Vasa recta	392
9.11.3	Konzentrierung des Urins	394
9.12	Integration von Salz- und H₂O-Haushalt	395
9.12.1	Kontrolle des Extrazellulärraums	397

	9.12.2	Kontrolle des H ₂ O-Gehalts	402
	9.12.3	Diuretika	405
9.13		Hormonbildung	405
	9.13.1	Erythropoetin (EPO)	406
10		Ernährung, Energiehaushalt und Verdauung	408
10.1		Ernährung	408
	10.1.1	Anforderungen an die Ernährung	408
	10.1.2	Regulation der Nahrungsaufnahme	411
10.2		Energiehaushalt	420
	10.2.1	Energiebilanz	421
	10.2.2	Speicherung von Energie	421
	10.2.3	Energiefreisetzung	423
	10.2.4	Energieumsatz	424
	10.2.5	Energiegehalt der Nahrung	425
	10.2.6	Messung des Energiebedarfs	426
10.3		Verdauung	427
	10.3.2	Motilität des Magen-Darm-Traktes	432
	10.3.3	Mundspeicheldrüsen	442
	10.3.4	Magen	445
	10.3.5	Pankreas	452
	10.3.6	Leber	457
	10.3.7	Dünn- und Dickdarm	465
		Vegetatives Nervensystem	485
11.1		Sympathikus und Parasympathikus	485
	11.1.1	Organisation von Sympathikus und Parasympathikus	486
	11.1.2	Neurotransmitter und Rezeptoren	489
	11.1.3	Effekte von Sympathikus und Parasympathikus auf die Organe	493
11.2		Enterisches Nervensystem	495
11.3		Supraspinale Einflüsse auf das vegetative Nervensystem	497
11.4		Der afferente Anteil des vegetativen Nervensystems	500
11.5		Vegetative Kontrolle von Rektum, Harnblase und Genitalien	501
	11.5.1	Vegetative Kontrolle von Rektum und Harnblase	501
	11.5.2	Vegetative Kontrolle der Genitalien	507
12		Endokrines System	510
12.1		Grundlagen der endokrinen Regulation	510
	12.1.1	Peptidhormone und ihre Rezeptoren	510
	12.1.2	Steroidhormone und ihre Rezeptoren	512

	12.1.3 Aminosäurederivate	513
	12.1.4 Hormonelle Regelkreise	514
12.2	Hypothalamus und Hypophyse	515
	12.2.1 Organisation des hypothalamisch-hypophysären Systems ..	515
	12.2.2 Hormone der Adenohypophyse	517
	12.2.3 Hormone der Neurohypophyse	522
12.3	Hormone der Nebennierenrinde	524
	12.3.1 Funktionelle Anatomie der Nebennierenrinde	524
	12.3.2 Synthese der Steroidhormone	525
	12.3.3 Mineralokortikosteroide	525
	12.3.4 Glukokortikosteroide	527
12.4	Hormone der Schilddrüse	531
	12.4.1 Funktionelle Anatomie der Schilddrüse	531
	12.4.2 Thyroxin (T ₄) und Trijodthyronin (T ₃)	531
12.5	Hormone des endokrinen Pankreas	535
	12.5.1 Funktionelle Anatomie des endokrinen Pankreas	535
	12.5.2 Insulin	536
	12.5.3 Glukagon	539
	12.5.4 Somatostatin	540
12.6	Hormone zur Steuerung des Calcium- und Phosphathaushalts	541
	12.6.1 Parathyrin	541
	12.6.2 Calcitriol	543
	12.6.3 Calcitonin	544
12.7	Hormone des Fettgewebes	545
	12.7.1 Leptin	545
13	Sexualfunktionen, Schwangerschaft	546
13.1	Sexualentwicklung	546
13.2	Gametogenese	546
	13.2.1 Weibliche Gametogenese	547
	13.2.2 Männliche Gametogenese	551
13.3	Kohabitation	553
	13.3.1 Sexualreflexe des Mannes	553
	13.3.2 Sexualreflexe der Frau	554
13.4	Fertilisation und Implantation	554
	13.4.1 Aszension der Spermien	554
	13.4.2 Fertilisation	555
	13.4.3 Implantation	555
13.5	Schwangerschaft und Geburt	556
	13.5.1 Embryonal- und Fetalentwicklung	556
	13.5.2 Plazenta und fetoplazentare Einheit	557
	13.5.3 Geburt	559

13.6	Sexualsteroide	560
13.6.1	Androgene	561
13.6.2	Östrogene	562
13.6.3	Gestagene	563

Integrierte Körperfunktionen

14	Physiologie des Feten und Neugeborenen	567
15	Thermoregulation	574
15.1	Körpertemperatur und Thermoregulation	574
15.1.1	Physiologische und pathophysiologische Schwankungen der Körpertemperatur	574
15.2	Wärmebildung und Transfer im Körper	577
15.3	Wärmetausch mit der Umgebung	579
15.4	Temperaturegulation	582
15.4.1	Thermosensoren	583
15.4.2	Regulationszentrum	584
15.4.3	Effektoren	584
15.4.4	Regulationsstrategien	585
15.5	Angewandte Thermoregulation und Pathophysiologie	586
16	Leistungsphysiologie	592
16.1	Definition von Arbeit und Leistung	592
16.2	Energiebereitstellung	593
16.2.1	Anaerobe und aerobe Energiebereitstellung	593
16.2.2	Substrate und Produkte	596
16.3	Leistungsdauer und -intensität	598
16.3.1	Kurzzeitbelastung und Ausdauerleistung	598
16.3.2	Anaerobe Schwelle	600
16.4	Leistungsmessung	601
16.5	Organanpassung	604
16.5.1	Herz und Kreislauf	604
16.5.2	Atmung	605
16.5.3	Blut	606
16.5.4	Thermoregulation	606
16.6	Leistungssteigerung	607
16.6.1	Training	607
16.6.2	Doping	608

16.7	Leistungsgrenzen	609
	16.7.1 Ermüdung	609
	16.7.2 Erholung	609

17

	Altern und Tod	611
17.1	Gesellschaftliche Aspekte	611
17.2	Veränderungen des Organismus	613
17.3	Zelluläre und molekulare Aspekte	614

Sinnesphysiologie und höhere Funktionen

	Allgemeine Sinnesphysiologie	619
18.1	Umwandlung von Sinnesreizen in neuronale Signale	619
18.2	Verarbeitung von Sinnesreizen im ZNS	625
	18.2.1 Einige Prinzipien der Sinnesreizverarbeitung	626
	18.2.2 Verarbeitung der Sinnesinformation im Thalamus	628
	Somatosensorik	630
19.1	Tastsinn	631
	19.1.1 Qualitäten und Adaptation	631
	19.1.2 Typen von Mechanorezeptoren	633
	19.1.3 Molekulare Mechanismen der Mechanorezeption	636
19.2	Temperatursinn	636
	19.2.1 Typen von Thermorezeptoren	636
	19.2.2 Molekulare Mechanismen der Thermorezeption	638
19.3	Viszerale Sensibilität	638
19.4	Schmerz	639
	19.4.1 Nozizeptoren	641
	19.4.2 Molekulare Mechanismen der Nozizeption	642
	19.4.3 Entzündungsschmerz	644
	19.4.4 Pathologische Schmerzen	649
19.5	Zentrale Verschaltung	649
	19.5.1 Tastsinn	650
	19.5.2 Temperatursinn	650
	19.5.3 Schmerz	651
	Hören und Sprechen	655
20.1	Physiologische Akustik	655
20.2	Äußeres Ohr und Mittelohr	657

20.3	Innenohr	659
	20.3.1 Aufbau des Innenohrs	659
	20.3.2 Mechanoelektrische Transduktion	662
	20.3.3 Kodierung in afferenten Nervenfasern	666
20.4	Zentrale Hörbahn	667
20.5	Stimme und Sprache	669
	Gleichgewichtssinn	672
21.1	Das periphere Vestibularorgan	672
	21.1.1 Sinneszellen	672
	21.1.2 Bogengänge	673
	21.1.3 Die Makula-Organen	675
21.2	Zentrale vestibuläre Verschaltung	676
21.3	Vestibuläre Reflexe	677
	Visuelles System	680
22.1	Dioptrischer Apparat	680
	22.1.1 Licht	680
	22.1.2 Aufbau des Auges	680
	22.1.3 Lichtbrechung am Auge	683
	22.1.4 Pupillen- und Akkommodationsreflex	690
22.2	Signalverarbeitung in der Retina	692
	22.2.1 Aufbau der Retina	692
	22.2.2 Neurone in der Retina	692
	22.2.3 Phototransduktion	696
	22.2.4 Farbsehen	699
	22.2.5 Adaptationsmechanismen	701
	22.2.6 Signalverarbeitung in der Netzhaut	703
	22.2.7 Klassifizierung von Ganglienzellen	707
22.3	Die Sehbahn und die zentrale Verarbeitung der visuellen Information	708
	22.3.1 Verlauf der Sehbahn bis zum Thalamus	708
	22.3.2 Der visuelle Kortex	710
	22.3.3 Tiefenwahrnehmung	712
	Geschmacks- und Geruchssinn	714
23.1	Geschmackssinn	714
	23.1.1 Geschmacksqualitäten	714
	23.1.2 Geschmacksrezeptorzellen	716
	23.1.3 Rezeptoren für Geschmackstoffe und Signaltransduktion ..	718
	23.1.4 Die zentrale Geschmacksbahn	720

23.2	Geruchssinn	721
	23.2.1 Geruchsqualitäten	721
	23.2.2 Geruchsrezeptorzellen	723
	23.2.3 Rezeptoren für Duftstoffe und Signaltransduktion	724
	23.2.4 Die zentrale Geruchsbahn	725
	Sensomotorik	727
24.1	Spinalmotorik	728
	24.1.1 Elemente der Spinalmotorik	729
	24.1.2 Efferenzen der Spinalmotorik (Reflexe)	734
	24.1.3 Hemmmechanismen der Spinalmotorik	739
	24.1.4 Kontrolle der aufrechten Haltung	741
	24.1.5 Lokomotionsgenerator	742
24.2	Kleinhirn	743
	24.2.1 Funktionelle Gliederung des Kleinhirns	743
	24.2.2 Aufbau und neuronale Verschaltung	746
24.3	Basalganglien	749
	24.3.1 Einteilung der Basalganglien	750
	24.3.2 Projektionen und Verschaltungen innerhalb der Basalganglien	750
	24.3.3 Transmitter innerhalb der Basalganglien	753
24.4	Motorkortex	754
	24.4.1 Motorische Kortexareale	754
	24.4.2 Neuronale Verbindungen des Motorkortexes	757
	24.4.3 Zielbewegungen des Armes und der Hand	760
24.5	Augen- und Blickbewegungen	761
	24.5.1 Augenmuskeln und ihre Innervation	762
	24.5.2 Augenbewegungen	762
	24.5.3 Neuronale Kontrolle der Augenbewegungen	765
24.6	Planung einer Bewegung und motorischer Handlungsantrieb	766
	Integrative Funktionen des Gehirns	769
25.1	Allgemeine Physiologie des Kontexes	769
	25.1.1 Struktur des Kontexes	769
	25.1.2 Funktionelle Einteilung des Kontexes	772
	25.1.3 Kommunikation zwischen den Hemisphären	775
25.2	EEG, MEG und bildgebende Verfahren	776
	25.2.1 Elektroenzephalogramm	776
	25.2.2 Magnetenzephalogramm	781
	25.2.3 Bildgebende Verfahren	782
25.3	Zirkadiane Rhythmen	784
	25.3.1 Neurobiologie der Rhythmusgeber	785

25.4	Wachen und Schlafen	787
25.4.1	Die Schlafstadien	788
25.4.2	Neuronale Kontrolle der Schlafphasen	790
25.4.3	Funktion des Schlafes	793
25.5	Bewusstsein und Aufmerksamkeit	795
25.5.1	Neuronale Korrelate von Bewusstsein und Aufmerksamkeit	796
25.6	Lernen und Gedächtnis	799
25.6.1	Lernen	799
25.6.2	Informationsspeicherung im Gedächtnis	801
25.6.3	Neurobiologie des Gedächtnisses	803
25.7	Emotion und Motivation	809
25.7.1	Limbisches System	809
25.7.2	Neurobiologie der Furcht	811
25.7.3	Mesokortolimbisches Belohnungssystem	812
25.8	Sprache und Sprachverständnis	813
25.8.1	Sprachbildung	814
25.8.2	Elemente der Sprache	814
25.8.3	Funktionelle Sprachregionen im Gehirn	814
25.8.4	Genetische Voraussetzung der Sprachentstehung	818
25.9	Entwicklung und Plastizität	818
25.9.1	Differenzierung des Grundbauplans	818
25.9.2	Zelluläre und molekulare Entwicklung des ZNS	819
25.9.3	Hirnstoffwechsel	822
	Sachverzeichnis	824