

Kurzlehrbuch Biochemie

mit Zugang zur mediscript Lernwelt

Bearbeitet von

Ulf Dettmer, Malte Folkerts, Raphael Kunisch, Alexandra Lantermann, Eva-Maria Schindler, Andreas C. Sönnichsen

1. Auflage 2012. Taschenbuch. XX, 540 S. Softcover

ISBN 978 3 437 41784 9

Format (B x L): 17 x 24 cm

Gewicht: 1165 g

[Weitere Fachgebiete > Medizin > Vorklinische Medizin: Grundlagenfächer > Biochemie \(med.\)](#)

schnell und portofrei erhältlich bei


DIE FACHBUCHHANDLUNG

Die Online-Fachbuchhandlung beck-shop.de ist spezialisiert auf Fachbücher, insbesondere Recht, Steuern und Wirtschaft. Im Sortiment finden Sie alle Medien (Bücher, Zeitschriften, CDs, eBooks, etc.) aller Verlage. Ergänzt wird das Programm durch Services wie Neuerscheinungsdienst oder Zusammenstellungen von Büchern zu Sonderpreisen. Der Shop führt mehr als 8 Millionen Produkte.

Inhaltsverzeichnis

1	Bioenergetik und Biokatalyse	1	2.5	Enzymgesteuerte chemische Modifikation von Enzymen (Interkonversion)	33
1.1	Definitionen	1	2.5.1	Phosphorylierung und Dephosphorylierung	34
1.2	Bioenergetik	2	2.5.2	ADP-Ribosylierung	37
1.2.1	Grundlagen der Thermodynamik ...	2	2.6	Induktion und Repression der Enzymsynthese	37
1.2.2	Reversible und irreversible Reaktionen	6	2.6.1	Mechanismen	38
1.2.3	Fließgleichgewicht	6	2.6.2	Protein-Turnover als Voraussetzung	38
1.2.4	Gekoppelte Reaktionen	7	2.6.3	Beispiele	39
1.2.5	Energiereiche Verbindungen	7	2.7	Limitierte Proteolyse	40
1.3	Biokatalyse	11	2.7.1	Definition	40
1.3.1	Enzyme	11	2.7.2	Wichtige limitierte Proteolysen ...	40
1.3.2	Cofaktoren	14	2.8	Protein-Protein-Interaktion	41
1.3.3	Enzymkinetik	15	3	Der Kohlenhydratstoffwechsel ..	43
1.3.4	Hemmung von Enzymen	19	3.1	Chemie der Kohlenhydrate	44
1.3.5	Enzymaktivität: Einfluss des Milieus	22	3.1.1	Monosaccharide	44
1.3.6	Photometrische Methoden	23	3.1.2	Monosaccharidverbindungen	49
2	Prinzipien der Stoffwechselregulation	27	3.2	Mechanismen der Glucoseaufnahme in Zellen	52
2.1	Überblick	28	3.2.1	Na ⁺ -Glucose-Symport	53
2.2	Regulation der Enzymaktivität durch die Substrat- und Coenzymkonzentration	28	3.2.2	Glucoseaufnahme durch Transportproteine	53
2.2.1	Regulation durch die Substratkonzentration	28	3.3	Die Glykolyse	53
2.2.2	Regulation durch Limitierung von Coenzymen	29	3.3.1	Einführung	53
2.3	Negative Rückkopplung	30	3.3.2	Die Reaktionen der Glykolyse	54
2.3.1	Kompetitive Produkthemmung	30	3.3.3	Substratkettenphosphorylierung in der Glykolyse	55
2.3.2	Hemmung durch das Endprodukt eines Synthesewegs (Feedback-Hemmung)	30	3.3.4	Die Weiterverwertung des Pyruvats	58
2.4	Allosterische Regulation	30	3.3.5	Energiebilanz der Glykolyse	58
2.4.1	Der Mechanismus der allosterischen Regulation	31	3.3.6	Regulation der Glykolyse	59
2.4.2	Kooperativität	31	3.4	Die Gluconeogenese	61
2.4.3	Arten allosterischer Effektoren	32	3.4.1	Einführung	61
			3.4.2	Die Reaktionsfolge der Gluconeogenese	62
			3.4.3	Energiebilanz der Gluconeogenese ..	64

XIV Inhaltsverzeichnis

3.4.4	Regulation der Gluconeogenese . . .	65	4.6	Regulation des Fettsäure- und Triacylglycerinstoffwechsels	108
3.4.5	Der Cori-(Glucose-Lactat-) und der Alaninzyklus	66	4.6.1	Regulation im Fettgewebe	108
3.5	Der Pentosephosphatweg	68	4.6.2	Regulation in der Leber	111
3.5.1	Einführung	68	4.7	Stoffwechsel der Phosphoglyceride	112
3.5.2	Die Reaktionsabschnitte des Pentosephosphatwegs	69	4.7.1	Synthese	112
3.5.3	Regulation des Pentosephosphatwegs	70	4.7.2	Synthese aus bestehenden Phosphoglyceriden	112
3.6	Der Glykogenstoffwechsel	72	4.7.3	Abbau von Phosphoglyceriden	114
3.6.1	Einführung	72	4.8	Stoffwechsel der Sphingolipide	114
3.6.2	Glykogensynthese	73	4.8.1	Synthese der Sphingolipide	114
3.6.3	Glykogenabbau (Glykogenolyse)	75	4.8.2	Abbau der Sphingolipide	115
3.6.4	Regulation des Glykogenstoffwechsels	77	4.9	Stoffwechsel des Cholesterins	116
3.7	Stoffwechsel weiterer Kohlenhydrate	79	4.10	Die Transportform der Lipide: Lipoproteine	116
3.7.1	Fructosestoffwechsel	79	4.10.1	Aufbau und Einteilung der Lipoproteine	117
3.7.2	Galaktosestoffwechsel	80	4.10.2	Stoffwechsel der Lipoproteine	117
3.7.3	Synthese von Aminozuckern	82	4.10.3	Störungen im Lipoproteinstoffwechsel	120
3.7.4	Stoffwechsel der Glucuronsäure	82			
4	Lipide und Lipidstoffwechsel	85	5	Pyruvat-Dehydrogenase-Reaktion und Citratzyklus	123
4.1	Überblick über die Lipide	86	5.1	Überblick	123
4.1.1	Charakteristika der Lipide	86	5.2	Die Pyruvat-Dehydrogenase-Reaktion	124
4.1.2	Funktionen der Lipide	87	5.2.1	Aufbau und Cofaktoren der Pyruvat-Dehydrogenase	124
4.2	Einteilung der Lipide	88	5.2.2	Die Reaktionssschritte der Pyruvat-Dehydrogenase-Reaktion	125
4.2.1	Einfache Lipide	89	5.2.3	Regulation der Pyruvat-Dehydrogenase	127
4.2.2	Komplexe Lipide	90	5.3	Der Citratzyklus	128
4.3	Abbau von Triacylglycerinen und Fettsäuren	91	5.3.1	Reaktionsprinzip	128
4.3.1	Abbau von Triacylglycerinen	92	5.3.2	Die Reaktionen des Citratzyklus	129
4.3.2	Abbau von Fettsäuren (β -Oxidation)	92	5.3.3	Bilanz des Citratzyklus	130
4.4	Ketonkörper	98	5.3.4	Regulation des Citratzyklus	131
4.4.1	Definition und Bedeutung	98	5.3.5	Entnahme und Einschleusung von Substraten	132
4.4.2	Ketonkörpersynthese	98			
4.4.3	Ketonkörperverwertung	100			
4.5	Biosynthese der Fettsäuren und Triacylglycerine	100			
4.5.1	Fettsäuresynthese	100			
4.5.2	Triacylglycerinsynthese	108			

6	Atmungskette und oxidative Phosphorylierung	135	7.1.3	Die nichtproteinogenen Aminosäuren	157
6.1	Überblick	136	7.1.4	Ampholytcharakter der Aminosäuren	157
6.1.1	Die Atmungskette	136	7.2	Peptide und Proteine	158
6.1.2	Die oxidative Phosphorylierung	136	7.2.1	Die Peptidbindung	158
6.1.3	Lokalisation von Atmungskette und oxidativer Phosphorylierung ...	136	7.2.2	Räumliche Struktur der Proteine ...	159
6.2	Die Atmungskette	136	7.2.3	Trennung und Sequenzanalyse von Proteinen	163
6.2.1	Funktionsprinzip	136	7.2.4	Funktion der Peptide und Proteine im Organismus	165
6.2.2	Aufbau und Funktionsweise der Atmungskettenkomplexe	138	7.3	Proteinabbau	166
6.2.3	Beseitigung reaktiver Zwischenprodukte	142	7.3.1	Abbau von Nahrungsproteinen	166
6.3	Oxidative Phosphorylierung: die mitochondriale ATP-Synthase	142	7.3.2	Intrazelluläre Proteolyse	167
6.3.1	Bedeutung des Protonengradienten ..	142	7.4	Aminosäureabbau	168
6.3.2	Aufbau und Mechanismus der ATP-Synthase	144	7.4.1	Transaminierung, Desaminierung und Decarboxylierung	168
6.4	Mitochondriale Transportsysteme	145	7.4.2	Transport des Ammoniaks zur Leber ..	172
6.4.1	Transport von Reduktionsäquivalenten	145	7.4.3	Der Harnstoffzyklus	172
6.4.2	Transport von ATP, ADP und P_i	147	7.4.4	Abbau des Kohlenstoffskeletts der Aminosäuren	175
6.5	Regulation von Atmungskette und oxidativer Phosphorylierung	147	7.4.5	Störungen des Aminosäureabbaus ..	182
6.6	Blockade und Entkopplung von Atmungskette und oxidativer Phosphorylierung	147	7.5	Aminosäuresynthese	183
6.6.1	Blockade von Atmungskette und oxidativer Phosphorylierung ...	147	7.5.1	Übertragung von C_1 -Körpern	183
6.6.2	Entkopplung von Atmungskette und oxidativer Phosphorylierung	148	7.5.2	Synthese der nichtessenziellen Aminosäuren	184
6.6.3	Mitochondriale Thermogenese	148	7.6	Aminosäuren als Ausgangsstoffe für Synthesen	186
7	Stoffwechsel der Aminosäuren und Proteine	151	8	Regulation des Stoffwechsels	189
7.1	Aminosäuren	152	8.1	Wiederholung der wichtigsten Stoffwechselwege	189
7.1.1	Struktur und Einteilung der Aminosäuren	152	8.1.1	Kohlenhydratstoffwechsel	189
7.1.2	Die proteinogenen Aminosäuren ...	152	8.1.2	Pyruvat-Dehydrogenase, Citratzyklus und oxidative Phosphorylierung	190
			8.1.3	Fettstoffwechsel	190
			8.2	Bildung von Energiespeichern	191
			8.2.1	Schnell eintretende Insulineffekte	191
			8.2.2	Langsam eintretende Insulineffekte	192

XVI Inhaltsverzeichnis

8.3	Speicherverwertung	192	10.1.3	Funktion	227
8.3.1	Wirkung von Glucagon	192	10.1.4	Abbau und Wiederverwertung	228
8.3.2	Wirkung von Katecholaminen	193	10.1.5	Pathobiochemie	230
8.3.3	Wirkung von Glucocorticoiden	193	10.2	Nukleinsäuren	231
8.4	Anpassung der Speicherverwertung an Stoffwechseleränderungen	193	10.2.1	Definition und Struktur	231
8.4.1	Anpassung an Nahrungskarenz	193	10.2.2	Synthese	232
8.4.2	Anpassung an körperliche Anstrengung	195	10.2.3	Abbau	232
8.5	Pathobiochemie	195	10.3	Speicherung, Übertragung und Expression genetischer Information	233
8.5.1	Diabetes mellitus	195	10.3.1	Die genetische Information: das Genom	233
8.5.2	Adipositas	196	10.3.2	Der Fluss der genetischen Information	236
8.5.3	Angeborene Störungen der Energiespeicherverwertung	196	10.3.3	Der Schlüssel zur genetischen Information: der genetische Code	236
9	Vitamine	197	10.3.4	Mutationen, ihre Auswirkungen auf den genetischen Code und ihre Reparatur	238
9.1	Allgemeines	197	10.3.5	Die Replikation der DNA	241
9.1.1	Definition und Klassifikation	197	10.3.6	Von DNA zu RNA: die Transkription	246
9.1.2	Funktion	197	10.3.7	Reifung, Transport und Nachbearbeitung der RNA	251
9.1.3	Vorkommen	198	10.3.8	Von mRNA zum Protein: die Proteinbiosynthese (Translation)	254
9.1.4	Hypo- und Hypervitaminosen	198	10.3.9	Fertigstellung der Proteine	260
9.2	Wasserlösliche Vitamine	198	10.3.10	Regulation der Genexpression	261
9.2.1	Thiamin (Vitamin B ₁)	198	10.3.11	Übertragung der genetischen Information bei Bakterien und Viren	265
9.2.2	Riboflavin (Vitamin B ₂)	199	10.4	In-vitro-DNA-Rekombination und Gentechnik	269
9.2.3	Nikotinsäure oder Nikotinamid	200	10.4.1	Molekulare Werkzeuge in der Gentechnik	269
9.2.4	Pantothensäure	201	10.4.2	Übertragung der DNA	271
9.2.5	Folsäure	204	10.5	Analyse von Nukleinsäuren	271
9.2.6	Biotin	205	10.5.1	Grundtechniken	271
9.2.7	Pyridoxin (Vitamin B ₆)	206	10.5.2	Anwendungsbeispiele	274
9.2.8	Cobalamin (Vitamin B ₁₂)	206	10.6	Faltung und Modifikation von Proteinen	275
9.2.9	Ascorbinsäure (Vitamin C)	208	10.6.1	Proteinfaltung	275
9.3	Fettlösliche Vitamine	209	10.6.2	Adressierung von Proteinen	277
9.3.1	Tocopherole (Vitamin E)	209	10.6.3	Limitierte Proteolyse	278
9.3.2	Calciferole (Vitamin D)	210			
9.3.3	Phyllochinone (Vitamin K)	211			
9.3.4	Retinol (Vitamin A)	212			
9.4	Vitaminanaloga (Antivitamine)	215			
10	Genetik	217			
10.1	Nukleotide	218			
10.1.1	Definition und Struktur	218			
10.1.2	Synthese	220			

10.6.4	Proteinglykosylierung	279	11.8	Peroxisomen	308
10.6.5	Nichtenzymatische Glykosylierung (Glykierung)	280	11.8.1	Aufbau	308
10.6.6	Verankerung von Proteinen in Membranen	281	11.8.2	Funktion	309
10.7	Proteolyse	281	11.9	Zytoplasma (Zytosol)	309
10.7.1	Einteilung der Proteasen (Peptidasen)	281	11.10	Zytoskelett	309
10.7.2	Lysosomale Proteasen	283	11.10.1	Definition	309
10.7.3	Zytosolische Proteasen	284	11.10.2	Aufbau	310
10.8	Tumorentstehung und Tumorthherapie: Die Vorgänge auf Gen-Ebene	284	11.10.3	Funktion	310
10.8.1	Tumorentstehung (Kanzergenese)	284	11.11	Extrazelluläre Matrix	311
10.8.2	Tumorthherapie durch Zytostatika	287	11.11.1	Definition	311
11	Zytologie	289	11.11.2	Komponenten	311
11.1	Zelltypen	290	11.12	Zellzyklus	312
11.1.1	Prokaryote Zellen	290	11.12.1	Ablauf	312
11.1.2	Eukaryote Zellen	291	11.12.2	Regulation	313
11.1.3	Pro- und eukaryote Zellen im Vergleich	293	11.13	Apoptose	314
11.2	Membranen	293	11.13.1	Definition	314
11.2.1	Membrantypen	293	11.13.2	Ablauf	314
11.2.2	Aufbau	293	11.13.3	Bedeutung	315
11.2.3	Synthese und Abbau	296	12	Säure-Basen-Haushalt, Wasser- und Elektrolythaushalt, Spurenelemente	317
11.2.4	Funktion	296	12.1	Säure-Basen-Haushalt	317
11.3	Zellkern	301	12.1.1	Protonenbilanz	317
11.3.1	Aufbau	301	12.1.2	pH-Regulation	318
11.3.2	Funktion	302	12.2	Wasser- und Elektrolythaushalt	322
11.4	Mitochondrien	302	12.2.1	Wasserhaushalt	322
11.4.1	Aufbau	302	12.2.2	Elektrolythaushalt	322
11.4.2	Funktion	303	12.3	Spurenelemente	328
11.5	Lysosomen	304	12.3.1	Eisen (Fe ²⁺ , Fe ³⁺)	328
11.5.1	Aufbau	304	12.3.2	Kupfer (Cu ²⁺ , Cu ⁺)	332
11.5.2	Entstehung	304	12.3.3	Zink (Zn ²⁺)	333
11.5.3	Funktion	304	12.3.4	Selen (Se)	333
11.6	Endoplasmatisches Retikulum	306	12.3.5	Iod (Iodid = I ⁻)	333
11.6.1	Aufbau	306	13	Hormone und Zytokine	335
11.6.2	Funktion	306	13.1	Allgemeines	336
11.7	Golgi-Apparat (Dictyosom)	307	13.1.1	Definition	336
11.7.1	Aufbau	307	13.1.2	Klassifikation	336
11.7.2	Funktion	307	13.1.3	Hormonstoffwechsel	336
			13.1.4	Hormonrezeptoren und Signaltransduktionswege	338

XVIII Inhaltsverzeichnis

13.1.5	Hormonelle Regelkreise	343	13.8.3	Interleukine	374
13.1.6	Nachweismethoden	344	13.8.4	Wachstumsfaktoren	375
13.2	Regulation von Wachstum, Differen- zierung und Fortpflanzung	344	14	Immunsystem	377
13.2.1	Growth hormone (GH, Somatotropin, STH)	344	14.1	Allgemeines	377
13.2.2	Schilddrüsenhormone	345	14.1.1	Definition	377
13.2.3	Sexualhormone	348	14.1.2	Klassifikation	378
13.2.4	Prolaktin	353	14.2	Bestandteile der spezifischen Immunantwort	380
13.2.5	Oxytocin	354	14.2.1	Antigene	380
13.3	Regulation des Stoffwechsels	354	14.2.2	Antikörper	384
13.3.1	Insulin	354	14.2.3	B- und T-Lymphozyten	388
13.3.2	Glucagon	358	14.3	Komplementsystem	391
13.3.3	Katecholamine	360	14.3.1	Aufbau	391
13.3.4	Glucocorticoide	361	14.3.2	Aktivierung und Funktion	392
13.4	Regulation von Verdauung und Resorption	366	14.4	Blutgruppenantigene	394
13.4.1	Gastrin	366	14.5	Immundefekte	394
13.4.2	Sekretin	366	14.5.1	Allergien	394
13.4.3	Cholezystokinin (Pankreozym)	366	14.5.2	AIDS	395
13.4.4	Salzsäureproduktion	367	14.5.3	Autoimmunerkrankungen	396
13.4.5	Sekretion des Pankreas	367	15	Blut	397
13.5	Regulation des Elektrolyt- und Wasserhaushalts	367	15.1	Erythrozyten	397
13.5.1	Mineralocorticoide	367	15.1.1	Überblick	397
13.5.2	Atriales natriuretisches Peptid (ANP)	368	15.1.2	Sauerstoffaufnahme und -versorgung	398
13.5.3	Antidiuretisches Hormon (ADH, Vasopressin)	368	15.1.3	CO ₂ -Transport	403
13.6	Regulation des Calcium- und Phosphatstoffwechsels	369	15.1.4	Hämoglobin	403
13.6.1	Parathormon	369	15.1.5	Erythropoese und Erythrozytenabbau	405
13.6.2	Calcitonin	370	15.1.6	Stoffwechsel	411
13.6.3	Calciferole	371	15.2	Granulozyten, Monozyten und Makrophagen	414
13.7	Gewebshormone	371	15.2.1	Granulozyten	414
13.7.1	Histamin	371	15.2.2	Monozyten und Makrophagen	415
13.7.2	Serotonin (5-Hydroxytryptamin)	371	15.3	Lymphozyten	416
13.7.3	Kinine	372	15.4	Blutstillung, Blutgerinnung und Fibrinolyse	416
13.7.4	Eikosanoide	372	15.4.1	Thrombozyten	416
13.8	Zytokine	374	15.4.2	Blutgerinnung	418
13.8.1	Proinflammatorische Zytokine	374	15.4.3	Fibrinolyse	423
13.8.2	Chemokine	374			

15.5	Blutplasma	424	17.1.3	Bilanz	456
15.5.1	Wichtige Serumproteine	424	17.1.4	Parenterale Ernährung	460
15.5.2	Akute-Phase-Proteine	425	17.2	Verdauung und Resorption	460
15.5.3	Lipoproteine im Blut	426	17.2.1	Verdauungssekrete	460
			17.2.2	Kohlenhydrate	467
16	Leber	427	17.2.3	Proteine	468
16.1	Stoffwechsel der Leber	427	17.2.4	Lipide	469
16.1.1	Energiestoffwechsel	428	17.2.5	Vitamine	472
16.1.2	Glucosehomöostase	428	17.3	Wasser, Elektrolyte, Ballaststoffe ..	472
16.1.3	Lipidstoffwechsel	428	17.3.1	Wasser	472
16.1.4	Aminosäure- und Proteinstoffwechsel	430	17.3.2	Elektrolyte, Mineralstoffe, Spurenelemente	473
16.1.5	Weitere Stoffwechselleistungen	431	17.3.3	Ballaststoffe	475
16.2	Cholesterin	432	17.4	Endokrine Funktionen	475
16.2.1	Cholesterinbiosynthese	432	17.5	Resorptionsstörungen	475
16.2.2	Cholesterintransport	437	17.5.1	Malabsorption	475
16.2.3	Funktionen des Cholesterins	437	17.5.2	Maldigestion	476
16.2.4	Elimination von Cholesterin	438			
16.3	Gallenflüssigkeit und Gallensäuren	438	18	Fettgewebe	477
16.3.1	Gallenflüssigkeit	438	18.1	Stoffwechselleistungen	477
16.3.2	Synthese der Gallensäuren	439	18.1.1	Resorptionsphase	477
16.3.3	Funktion der Gallensäuren	439	18.1.2	Postresorptionsphase	481
16.3.4	Elimination der Gallensäuren	441	18.1.3	Regulation	481
16.4	Biotransformation	441	18.2	Endokrine Funktion	482
16.4.1	Prinzip und Bedeutung	441			
16.4.2	Phase I (Funktionalisierungsreaktion)	442	19	Niere	483
16.4.3	Phase II (Konjugation)	443	19.1	Energiestoffwechsel	483
16.4.4	Induktion des Biotransformationssystems	446	19.1.1	Energiegewinnung	483
16.5	Endokrine Funktionen	446	19.1.2	Gluconeogenese	484
16.5.1	Hepatische Synthese von Hormonen und Hormonvorstufen	446	19.2	Endokrine Funktion	485
16.5.2	Hepatischer Hormonabbau	447	19.2.1	Erythropoetin	485
			19.2.2	1,25-Dihydroxycholecalciferol	485
			19.2.3	Renin	487
17	Magen-Darm-Trakt	449	19.3	Grundlagen der Harnbildung	488
17.1	Grundlagen der Ernährung	449	19.3.1	Glomeruläre Filtration	488
17.1.1	Wert und Zusammensetzung der Nahrung	449	19.3.2	Tubuläre Rückresorption	489
17.1.2	Essenzielle Nahrungsbestandteile ..	451	19.3.3	Tubuläre Sekretion	491
			19.3.4	Wasserrückresorption und Harnkonzentration	491
			19.4	Rückresorption	492
			19.4.1	Rückresorption von Na ⁺	492
			19.4.2	Rückresorption von Chlorid	493

XX Inhaltsverzeichnis

19.4.3	Rückresorption von Glucose	493	22	Nervensystem	517
19.4.4	Rückresorption von Aminosäuren und Peptiden	493	22.1	Energiestoffwechsel	517
19.4.5	Rückresorption von Harnstoff	494	22.1.1	Aerobe Glykolyse	517
19.4.6	Rückresorption von Bicarbonat	494	22.1.2	Ketonkörperabbau	518
19.4.7	Rückresorption von Sulfat	494	22.2	Blut-Hirn-Schranke, Blut-Liquor-Schranke, Liquor cerebrospinalis	519
19.5	Ausscheidung von Protonen und Puffern	494	22.2.1	Blut-Hirn-Schranke	519
19.5.1	Protonenausscheidung	494	22.2.2	Blut-Liquor-Schranke	519
19.5.2	Puffersysteme im Harn	495	22.2.3	Liquor cerebrospinalis	520
20	Bewegung	497	22.3	Myelin	520
20.1	Kontraktils Aktomyosinsystem in Muskelzellen	497	22.4	Erregungsleitung und -übertragung	521
20.1.1	Struktur des quergestreiften Muskels	498	22.4.1	Membranpotenzial	521
20.1.2	Proteine des kontraktiven Apparats	498	22.4.2	Rezeptorpotenzial	522
20.1.3	Zytoskelett der Muskelzelle	501	22.4.3	Aktionspotenzial	522
20.1.4	Kontraktion und Relaxation	502	22.4.4	Fortleitung der Erregung innerhalb einer Zelle	522
20.1.5	Besonderheiten des Herzmuskels	504	22.4.5	Übertragung der Erregung auf eine andere Zelle	523
20.1.6	Besonderheiten glatter Muskelzellen	504	23	Auge	525
20.2	Motile Systeme	505	23.1	Grundlagen: Photorezeptoren und ihre Sehpigmente	525
20.2.1	Mikrotubuläres System	505	23.1.1	Aufbau und Funktion der Photorezeptoren	525
20.2.2	Aktin und Myosin in Nichtmuskelzellen	507	23.1.2	Struktur und Synthese der Sehpigmente	526
20.3	Energiestoffwechsel	508	23.2	Signalentstehung beim Sehvorgang	527
20.3.1	Skelettmuskel	508	23.3	Signaltransduktion beim Sehvorgang	527
20.3.2	Herzmuskel	509	23.3.1	Hyperpolarisation des Photorezeptors	527
20.3.3	Glatte Muskulatur	510	23.3.2	Weitergabe des Impulses an das 2. Neuron	527
20.4	Endokrine Funktionen	510	23.3.3	Wiederherstellung des Ruhemembranpotenzials	528
21	Stützgewebe	511		Register	529
21.1	Extrazelluläre Matrix	511			
21.2	Knorpelgewebe	511			
21.3	Knochen	512			
21.3.1	Knochenbildung	512			
21.3.2	Knochenabbau	514			
21.4	Zahnhartsubstanz	515			