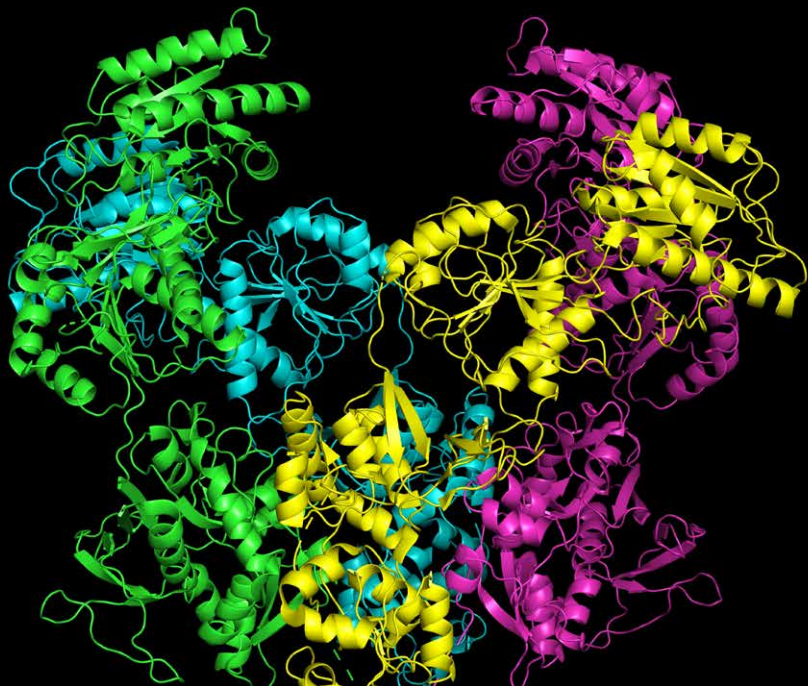


Jan Koolman, Klaus-Heinrich Röhms

Barevný atlas biochemie

Překlad 5. německého vydání

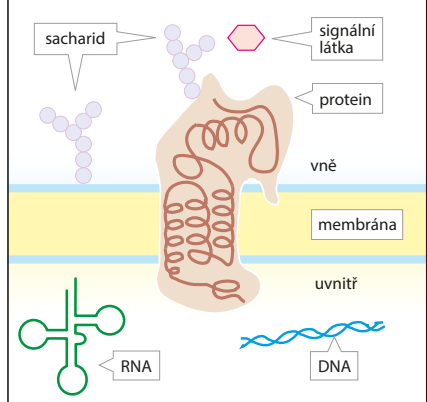
223 barevných obrazových tabulí od Jürgena Wirtha



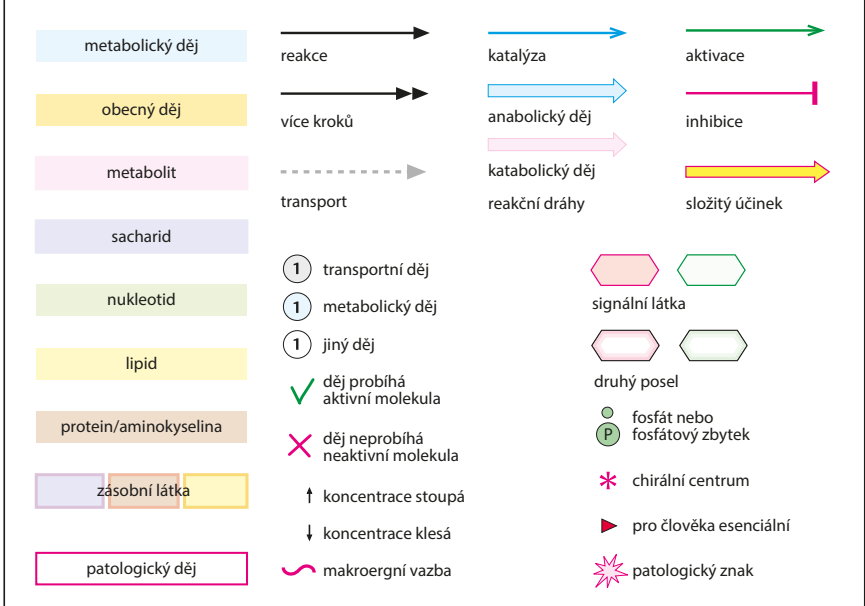
A. Důležité prvky

	symbol	van der Waalsův poloměr (pm)	relativní atomová hmotnost	kovalentní poloměr (pm)	
○	vodík	H	100	1,008	37
●	uhlík	C	170	12,011	77
●	dusík	N	150	14,007	70
●	kyslík	O	140	15,999	66
●	fosfor	P	190	30,974	110
●	síra	S	180	32,060	104
●	kov	Me	—	—	—

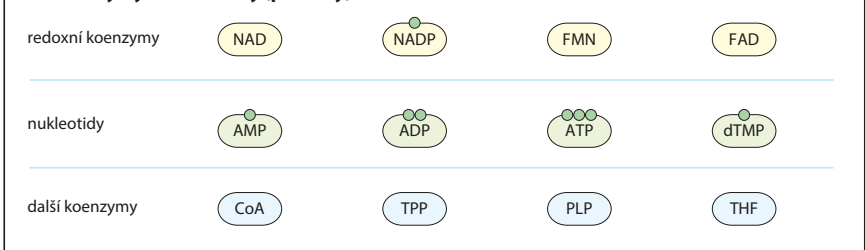
B. Biomolekuly



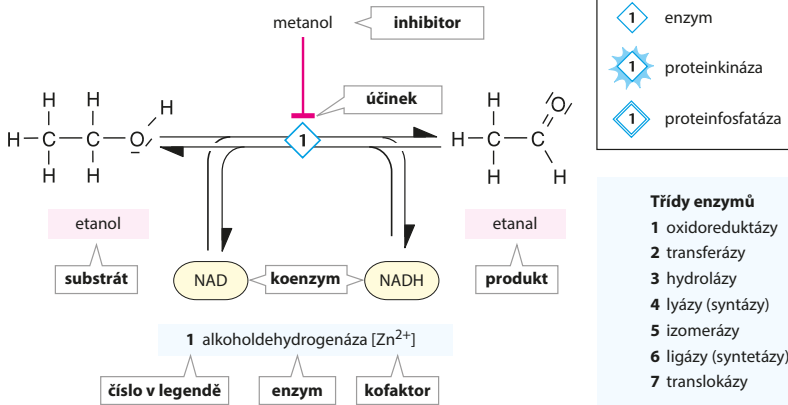
C. Děje, reakce a metabolismy



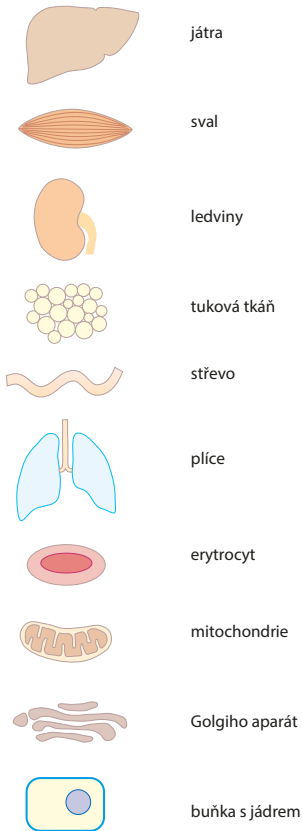
D. Koenzymy a nukleotidy (příklady)



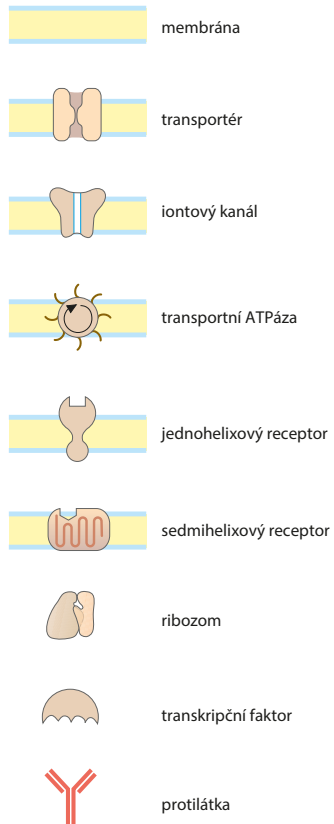
A. Znázornění enzymově katalyzovaných reakcí



B. Tkáně, orgány, organely



C. Struktury a složité molekuly



Jan Koolman, Klaus-Heinrich Röhm

Barevný atlas biochemie

Překlad 5. německého vydání

223 barevných obrazových tabulí od Jürgena Wirtha

Upozornění pro čtenáře a uživatele této knihy

Všechna práva vyhrazena. Žádná část této tištěné či elektronické knihy nesmí být reprodukována a šířena v papírové, elektronické či jiné podobě bez předchozího písemného souhlasu nakladatele. Neoprávněné užití této knihy bude **tretně stíháno**.

Automatizovaná analýza textů nebo dat ve smyslu čl. 4 směrnice 2019/790/EU a použití této knihy k trénování AI jsou **bez souhlasu nositele práv zakázány**.

BAREVNÝ ATLAS BIOCHEMIE

Překlad 5. německého vydání

Autoři:

Prof. Dr. rer. nat. Jan Koolman – Bergacker 11, 35091 Cölbe

Prof. Dr. rer. nat. Klaus-Heinrich Röhm – Krumme StraÙe 86, 10585 Berlin

Autoři barevných obrazových tabulí:

Prof. Jürgen Wirth – Visuelle Kommunikation, 63303 Dreieich

Nora Wirth – 3karat, Frankfurt

Překladatelé:

MUDr. Michal Horáček, DEAA

Ing. Eva Benešová, Ph.D. – spolupráce na kapitolách 1, 3.1–3.3, 5

Přeloženo z německého originálu „Taschenatlas Biochemie des Menschen“, 5. Auflage, ISBN 978-3-13-241740-3, a vydáno se souhlasem nakladatelství Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York.

Copyright © 2019 of the original German language edition by Georg Thieme Verlag KG, Stuttgart, Germany. Original title: „Taschenatlas Biochemie des Menschen“, 5th edition, by Jan Koolman and Klaus-Heinrich Roehm.

Translation © Grada Publishing, a.s., 2025

Cover Photo © shutterstock.com, 2025

Vydala Grada Publishing, a.s.

U Průhonu 22, Praha 7

jako svou 9860. publikaci

Odpovědný redaktor Mgr. Luděk Neužil

Sazba a zlom Antonín Plicka

Počet stran 504

2. české vydání, Praha 2025

Předchozí vydání: české 2012; německé 1994, 1997, 2003, 2009; francouzské 1994, 1999, 2004, 2011; anglické 1996, 2004, 2012; japonské 1997, 2007, 2015; portugalské 2005, 2013; ruské 2000, 2017; řecké 1999, 2007; španělské 2004, 2012; turecké 2002, 2016; čínské 2008; indonéské 2002; italské 1997; korejské 2008; nizozemské 2004; polské 2005.

Tisk Iva Vodáková – Durabo

Názvy produktů, firem apod. použité v knize mohou být ochrannými známkami nebo registrovanými ochrannými známkami příslušných vlastníků, což není zvláštním způsobem vyznačeno.

Postupy a příklady v této knize, rovněž tak informace o lécích, jejich formách, dávkování a aplikaci jsou sestaveny s nejlepším vědomím autorů. Z jejich praktického uplatnění ale nevyplývají pro autory ani pro nakladatelství žádné právní důsledky.

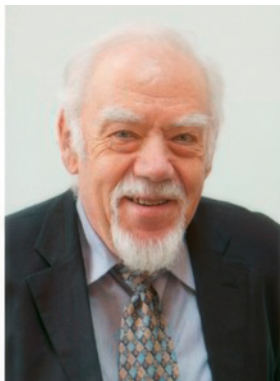
ISBN 978-80-271-7697-7 (pdf)

ISBN 978-80-271-3376-5 (print)

RYCHLÝ PŘEHLED

1	Základy	1
2	Biomolekuly	27
3	Metabolismus	71
4	Buněčné organely	193
5	Molekulární genetik	229
6	Tkáně a orgány	267
7	Výživa	387
8	Signální systémy	403
9	Růst a vývoj	449
10	Příloha	465
	Rejstřík	475

O autorech



Jan Koolman (na fotografii vlevo) se narodil v Lübecku a vyrostl na pobřeží Baltského moře. Výrazně ho ovlivnilo studium na humanistickém gymnáziu v tomto hanzovním městě. V letech 1963–1969 studoval biochemii na Eberhardově-Karlově univerzitě v Tübingenu. V oboru chemie promoval u Petera Karlsona v Marburgu, kde se také začal zabývat biochemií hmyzu a dalších bezobratlých. V roce 1977 habilitoval v oboru humánní medicína a roku 1984 byl jmenován profesorem. Hlavními oblastmi jeho zájmu jsou biochemická endokrinologie a didaktika biochemie. Jan Koolman je ženatý s učitelkou umění.

Klaus-Heinrich Röhm (na fotografii uprostřed) pochází ze Stuttgartu. Po maturitě na rovněž humanisticky zaměřeném evangelicko-teologickém semináři v Urachu pokračoval studiem fyziky a poté diplomovým studiem biochemie na univerzitě v Tübingenu. Zde se oba autoři poprvé setkali. Od roku 1970 je aktivní na poli medicíny

v Marburgu. Promoval u Friedhelma Schneidera a habilitoval v roce 1980 v oboru chemie. Od roku 1986 působí jako profesor. Jeho pracovní skupina se zabývá strukturou a funkcí enzymů v metabolismu aminokyselin. Klaus-Heinrich Röhm je ženatý s bioložkou a má dvě děti.

Jürgen Wirth (na fotografii vpravo) studoval na Vysoké škole výtvarných umění v Berlíně a na Vysoké škole designu v Offenbachu. Jako specializaci si vybral volnou grafiku a ilustraci. V letech 1963–1977 se podílel na výstavách Muzea přírodní historie Senckenberg ve Frankfurtu nad Mohanem. Současně na volné noze spolupracoval s různými nakladatelstvími na ilustracích a grafice učebnic, odborných knih a vědeckých publikací. Za knižní grafiku a design získal řadu ocenění. V roce 1978 byl jmenován profesorem na švábské Vysoké škole designu v Gmündu a v roce 1986 profesorem v oboru design na vysoké škole v Darmstadtu. Zaměřuje se na vědeckou a informační grafiku a zobrazovací metody.

Předmluva

Biochemie je dynamický, rychle se rozvíjející obor. V tomto atlasu se ji snažíme vysvětlit názornou formou. Na barevných obrazových tabulkách v něm probíráme a vykládáme základy biochemie člověka. Důraz při tom klademe na grafické znázornění – texty slouží v první řadě jako rozšíření a doplnění legend k obrázkům.

Přesné vymezení biochemie od sousedních oborů, jako jsou buněčná biologie, anatomie, fyziologie, genetika nebo farmakologie, je obtížné a v mnoha případech nemožné. Přesah do těchto oborů však není náhodný, protože předmět zájmu – např. nervová buňka nebo mitochondrie – je totiž často stejný, liší se jen úhel pohledu konkrétního oboru. Barevný atlas biochemie se v tomto smyslu doplňuje s ostatními kapesními atlasy.

Nejvíce místa v knize věnujeme biochemii člověka, jakkoli je biochemie živočichů, rostlin a mikroorganismů neméně zajímavá. Při výběru obsahu jsme se soustředili na témata, která jsou obzvláště důležitá pro studenty humánního lékařství, což je patrné na zahrnutí patobiochemických kapitol. Využíváme rovněž aktuální informace z předmětového katalogu Institutu pro medicínské a farmaceutické zkušební otázky (*Institut für medizinische und pharmazeutische Prüfungsfragen*, www.impp.de, pozn. překl.). Kvůli kompaktnímu formátu atlasu však nelze všechna témata vysvětlit důkladně a beze zbytku. Toto dílo proto doporučujeme jako doplněk k podrobným učebnicím nebo k dalším studijním zdrojům.

Biochemie není přirozeně tak názorná jako např. anatomie. Vedle obvyklých vzorců proto často používáme i prostorové modely molekul. Využíváme při tom zpravidla strukturní informace, které jsou k dispozici v *Protein Data Bank* (PDB). Trojrozměrné modely jsou nejen názor-

nější, ale v mnoha případech rovněž napovídají i o funkci molekul. Vezmeme-li v úvahu prostoro-
vé uspořádání podjednotek, lze tak například lépe odvodit biochemické mechanismy účinku mnoha enzymů.

Biochemické funkce jsou kromě toho znázorněny různými typy šipek. Reakční šipky jsou vždy černé, transportní šipky zase čárkované, kdežto modré šipky symbolizují katalytickou funkci. Je to součástí jednotného pojetí designu obrazových tabulí, jehož pravidla vysvětlujeme na vnitřní straně obálky vzadu. Biochemicky důležité skupiny látek i reakční prostory buněk se liší barevným kódováním a koenzymy znázorňujeme standardizovanými symboly, což grafiku činí na první pohled srozumitelnější.

5. vydání barevného kapesního atlasu biochemie člověka jsme přepracovali a rozšířili o aktuální témata z oblastí molekulární biologie, imunologie a metabolických regulací, současně jsme však zachovali osvědčený koncept.

Poděkování

Zvláštní poděkování patří paní Masche Friedrichové, paní Marianne Mauchové a dalším pracovnícům a pracovníkům nakladatelství Thieme za jejich odbornost a velké nasazení, které vynaložili při práci na tomto díle a při jeho uvádění na trh. Děkujeme rovněž pozorným čtenářkám a čtenářům za podněty a kritické i uznalé komentáře. I nadále se na tuto zpětnou vazbu těšíme, abychom mohli kapesní atlas biochemie zdokonalovat ku prospěchu čtenářské obce.

Jan Koolman, Marburg
Klaus-Heinrich Röhm, Berlín
Jürgen Wirth, Dreieich

Poznámka redakce k použitému názvosloví

V této knize nejsou beze zbytku respektovány zásady chemického názvosloví. Důvodem je určení knihy nejen chemikům, biochemikům a molekulárním biologům, ale především lékařům. Proto se překladatel po dohodě s redakcí držel terminologie spíše lékařské a současného pravopisu, jak tomu bylo již v prvním českém vydání *Barevného atlasu biochemie*. Oproti tomuto prvnímu vydání však byly tentokrát použity některé termíny spíše tradiční (např. adenosin) než úplně moderní (adenozin), a to i kvůli kolizím v prvním českém vydání (např. adenosin vs. adenosylkobalamin).

Jsme přesvědčeni, že odborná kniha by měla být nejen přesná, ale i čtivá a „uživatelsky příjemná“ pro současného čtenáře. O terminologických problémech v odborném textu píše velmi hezky prof. Kodíček v knize *Biochemie, chemický pohled na biologický svět* (VŠCHT Praha, 2022). Podle něj lze použít buď pravopis odvozený z mezinárodních základů, nebo pravopis moderní, nebo něco mezi. Jenže pak je obtížné udržet konzistentnost. Například u přípon -lysa/-lýza používá prof. Kodíček v obecných termínech modernější tvar (dialýza), ale jde-li o odborný chemický termín, píše např. glykolysa, což však bude na lékaře působit archaicky. Výsledkem těchto úvah je současný „jazykový“ stav našeho atlasu. Pro biochemiky bude zřejmě nedostatečně rigorózní, ale pro lékaře, doufáme, srozumitelný.

Obsah

O autorech	VI	Strukturní proteiny	58
Předmluva	VII	Rozpustné proteiny	60
1 Základy	1	Modifikace proteinů	62
1.1 Chemie	2	2.5 Nukleotidy	
Periodická soustava prvků	2	a nukleové kyseliny	64
Chemická vazba	4	Báze a nukleotidy	64
Izomerie	6	RNA	66
Skupiny látek	8	DNA	68
Chemické reakce	10	3 Metabolismus	71
Redoxní děje	12	3.1 Enzymy	72
Kyseliny a zásady	14	Základy	72
1.2 Fyzikální chemie	16	Enzymová katalýza	74
Energetika	16	Enzymová kinetika I	76
Termodynamika	18	Enzymová kinetika II	78
Katalýza	20	Alosterická regulace	80
Voda jako rozpouštědlo	22	Inhibitory	82
Hydrofobní interakce	24	Enzymová analýza	84
2 Biomolekuly	27	Koenzymy I	86
2.1 Sacharidy	28	Koenzymy II	88
Chemie sacharidů	28	Koenzymy III	90
Monosacharidy a disacharidy	30	Koenzymy IV	92
Polysacharidy	32	Patobiochemie enzymů	94
Glykoproteiny		3.2 Metabolické dráhy	96
a glykosaminoglykany	34	Intermediární metabolismus I	96
2.2 Lipidy	36	Intermediární metabolismus II	98
Přehled	36	Regulační mechanismy I	100
Mastné kyseliny a tuky	38	Regulační mechanismy II	102
Glycerolipidy	40	3.3 Energetický metabolismus ...	104
Sfingolipidy	42	ATP	104
Isoprenoidy	44	Energetické spřáhování	106
Steroidy	46	Uchovávání energie	
2.3 Aminokyseliny	48	na membránách	108
Vlastnosti	48	Přehled	110
Proteinogenní aminokyseliny	50	Dehydrogenázy oxokyselin	112
Selenocystein a neproteinogenní		Citrátový cyklus	114
aminokyseliny	52	Metabolické funkce citrátového	
2.4 Peptidy a proteiny	54	cyklu	116
Přehled	54	Mitochondriální transport	118
Struktura proteinů	56	Dýchací řetězec	120
		Syntéza ATP	122
		Regulace energetického	
		metabolismu	124
		Patobiochemie	126

3.4	Metabolismus sacharidů 128	4.2	Membrány 198
	Přehled 128		Struktura a součásti 198
	Glykolýza 130		Transportní procesy 200
	Pentózový cyklus 132		Transportní proteiny 202
	Glukoneogeneze 134		Endocytóza a exocytóza 204
	Metabolismus glykogenu 136	4.3	ER a Golgiho aparát 206
	Regulace metabolismu sacharidů I 138		Stavba a funkce 206
	Regulace metabolismu sacharidů II 140		Třídění proteinů 208
	Patobiochemie 142		Syntéza proteinů na granularním ER 210
3.5	Metabolismus lipidů 144		Zrání proteinů 212
	Přehled 144	4.4	Buněčné jádro a mitochondrie 214
	Odbourávání mastných kyselin: β-oxidace 146		Buněčné jádro 214
	Odbourávání mastných kyselin: vedlejší dráhy 148		Mitochondrie 216
	Biosyntéza mastných kyselin 150	4.5	Vezikuly 218
	Metabolismus mastných kyselin: další reakce 152		Lysozomy 218
	Biosyntéza složených lipidů 154		Peroxisomy 220
	Biosyntéza cholesterolu 156	4.6	Cytoskelet 222
	Patobiochemie 158		Složky 222
3.6	Metabolismus proteinů 160		Struktura a funkce 224
	Přehled 160		Motorické proteiny 226
	Proteolýza 162	5	Molekulární genetika 229
	Metabolismus dusíku 164	5.1	Kódování a exprese genetické informace 230
	Transaminace a deaminace 166		Přehled 230
	Odbourávání aminokyselin I 168		Geny a genomy 232
	Odbourávání aminokyselin II 170		Chromatin 234
	Cyklus močoviny 172		Epigenetika 236
	Biosyntéza aminokyselin 174		Enzymy modifikující nukleové kyseliny 238
	Patobiochemie 176		Replikace 240
3.7	Metabolismus nukleotidů 178		Transkripce 242
	Přehled 178		Kontrola transkripce 244
	Odbourávání nukleotidů 180		Zrání RNA 246
	Biosyntéza purinů a pyrimidinů 182		Genetický kód 248
	Biosyntéza nukleotidů 184		Translace I 250
	Patobiochemie 186		Translace II 252
3.8	Metabolismus porfyrinů 188		Antibiotika 254
	Biosyntéza hemu 188		Mutace a opravné mechanismy 256
	Odbourávání porfyrinů 190	5.2	Genové technologie 258
4	Buněčné organelly 193		Klonování DNA 258
4.1	Základy 194		Sekvenování DNA 260
	Stavba buňky 194		Polymerázová řetězová reakce (PCR) 262
	Součásti buňky a cytoplazma 196		Genové technologie v medicíně 264

6	Tkáně a orgány	267	6.7	Svaly	344
6.1	Trávicí systém	268		Svalová kontrakce	344
	Přehled	268		Řízení svalové kontrakce	346
	Trávicí sekrety	270		Metabolismus svalů	348
	Trávicí procesy	272		Patobiochemie	350
	Resorpce I	274	6.8	Pojivová tkáň	352
	Resorpce II	276		Kosti a zuby	352
	Patobiochemie	278		Kolageny	354
6.2	Krev	280		Extracelulární matrix I	356
	Složení a funkce	280		Extracelulární matrix II	358
	Plazmatické proteiny	282		Patobiochemie	360
	Lipoproteiny I	284	6.9	Mozek a smyslové orgány	362
	Lipoproteiny II	286		Přenos signálu v CNS	362
	Hemoglobin a transport			Klidový potenciál a akční	
	krevních plynů	288		potenciál	364
	Reaktivní formy kyslíku	290		Neurotransmitery	366
	Metabolismus erytrocytů	292		Receptory neurotransmiterů	368
	Acidobazická rovnováha	294		Metabolismus CNS	370
	Srážení krve (hemokoagulace)	296		Zrak	372
	Antikoagulace, fibrinolýza	298		Patobiochemie	374
	Krevní skupiny	300	6.10	Integrace metabolismu	376
	Patobiochemie	302		Integrace metabolismu I	376
6.3	Imunitní systém	304		Integrace metabolismu II	378
	Imunitní systém	304		Integrace metabolismu III	380
	Nespecifická imunitní odpověď	306		Integrace metabolismu IV	382
	Komplementový systém	308		Integrace metabolismu V	384
	Specifická imunitní odpověď	310	7	Výživa	387
	Aktivace T-buněk	312	7.1	Živiny	388
	Protilátky	314		Organické látky	388
	Patobiochemie	316		Minerální látky a stopové prvky	390
6.4	Játra	318		Metabolismus vápníku	392
	Funkce	318		Metabolismus železa	394
	Metabolismus sacharidů	320		Patobiochemie	396
	Metabolismus tuků	322		Vitaminy I	398
	Žlučové kyseliny	324		Vitaminy II	400
	Biotransformace	326	8	Signální systémy	403
	Systémy cytochromu P450	328	8.1	Přenos signálu	404
	Metabolismus etanolu	330		Přehled	404
	Patobiochemie	332		Membránové receptory	406
6.5	Tuková tkáň	334		Iontové kanály	408
	Funkce	334		Proteiny vázající GTP	
	Patobiochemie	336		(G-proteiny)	410
6.6	Ledviny	338		Druhý posel I	412
	Funkce	338		Druhý posel II	414
	Vylučování elektrolytů	340			
	Metabolismus	342			

Proteinkinázy a proteinfosfatázy ...	416	Tkáňové hormony a mediátory	442
Signální kaskády	418	Eikosanoidy	444
8.2 Hormonální systémy	420	Cytokiny	446
Základy	420	9 Růst a vývoj	449
Plazmatické koncentrace		9.1 Proliferační buněk	450
a hierarchie hormonů	422	Buněčný cyklus I	450
8.3 Lipofilní signální látky	424	Buněčný cyklus II	452
Mechanismus účinku	424	Apoptóza	454
Kortikosteroidy	426	Onkogeny	456
Pohlavní steroidy		Nádory	458
a menstruační cyklus	428	Cytostatika	460
Metabolismus steroidních		Viry	462
hormonů	430	10 Příloha	465
Hormony štítné žlázy	432	10.1 Zkratky a akronymy	466
8.4 Hydrofilní signální látky	434	10.2 Veličiny a jednotky	473
Inzulin	434	Rejstřík	475
Diabetes mellitus	436		
Další hormony	438		
Katecholaminy	440		

Kapitola

Základy

1

1.1	Chemie	2
1.2	Fyzikální chemie	16

Periodická soustava prvků

A. Biologicky významné prvky

V přírodě existuje 81 stabilních prvků. Patnáct z nich se vyskytuje ve všech živých bytostech, dalších 8–10 se nachází jen v některých organismech. Na protější straně je vyobrazena první polovina **periodické soustavy prvků**, která obsahuje všechny biologicky významné prvky. Kromě fyzikálních a chemických údajů (protonové číslo, relativní atomová hmotnost, příslušnost ke skupině a elektronová konfigurace) jsou zde uvedeny i informace o rozšíření těchto prvků v živé přírodě a o jejich výskytu v lidském těle.

Více než 99 % všech atomů v živočišném organismu představují pouhé čtyři prvky – vodík (H), kyslík (O), uhlík (C) a dusík (N). Vodík a kyslík jsou stavební prvky **vody**, jež sama o sobě tvoří 60–70 % hmotnosti buněk (str. 196). Spolu s uhlíkem a dusíkem jsou vodík a kyslík rovněž hlavními složkami **organických sloučenin**, které se účastní většiny životních pochodů. Mnohé biomolekuly obsahují navíc ještě síru (S) a fosfor (P). Výše uvedené prvky se označují jako **makroelementy**, jsou nepostradatelné pro život.

Druhou biologicky důležitou skupinu prvků, z níž však pochází jen asi 0,5 % všech atomů v těle, tvoří téměř výhradně anorganické ionty. K těmto tzv. **elektrolytům** patří *alkalické kovy* sodík (natrium, Na) a draslík (kalium, K), *kovy alkalických zemin* hořčík (magnézium, Mg) a vápník (kalcium, Ca). Výhradně v ionizované formě se pak v buňkách vyskytuje *halový prvek* chlór (Cl). Všechny ostatní životně důležité prvky jsou přítomny v tak malých množstvích, že se označují jako **stopové prvky** (str. 390). Řadí se k nim převážně kovy z přechodných (tranzitivních) skupin jako např. železo (Fe), zinek (Zn), měď (Cu), kobalt (Co) nebo mangan (Mn). Mezi nepostradatelné stopové prvky lze počítat i několik *nekovů* jako jod (I) či selen (Se).

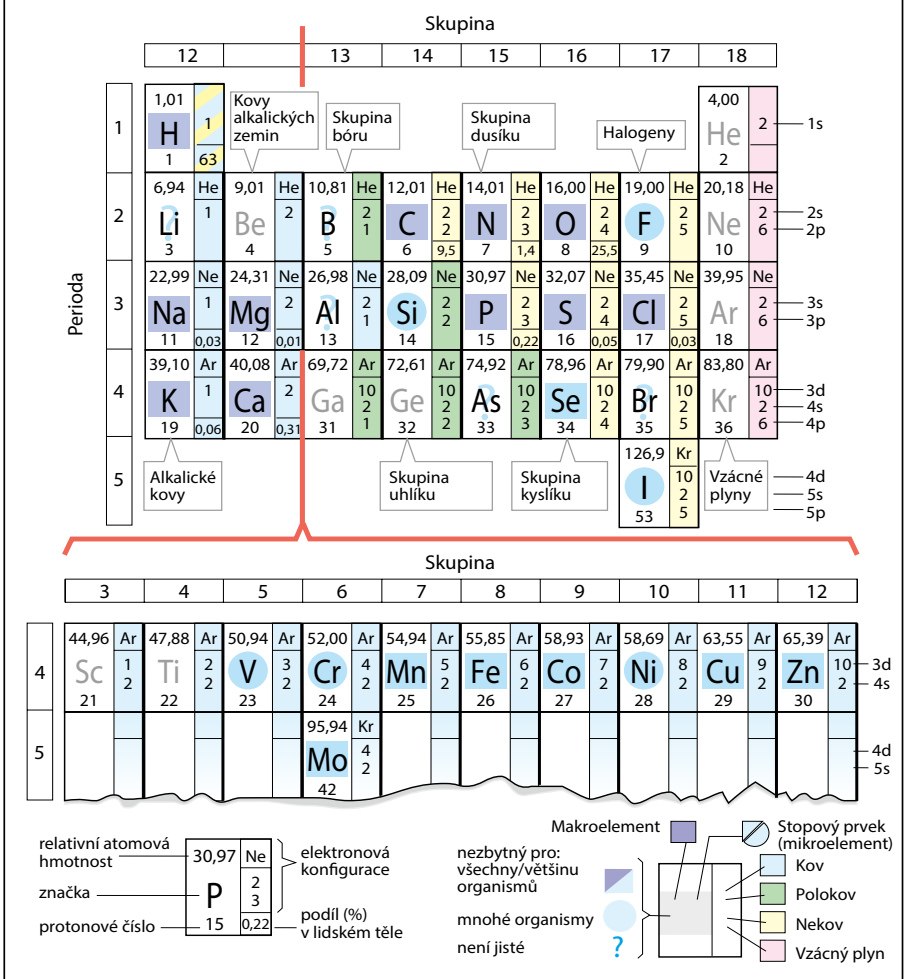
B. Elektronové konfigurace

Chemické vlastnosti atomů a typy vazeb, jimiž se atomy vzájemně spojují, záleží na stavbě jejich elektronového obalu. Na obr. A jsou proto rovněž uvedeny i **elektronové konfigurace** prvků, na obr. B jsou pak vysvětleny používané symboly a zkratky. Podrobněji se touto problematikou zabývají učebnice chemie.

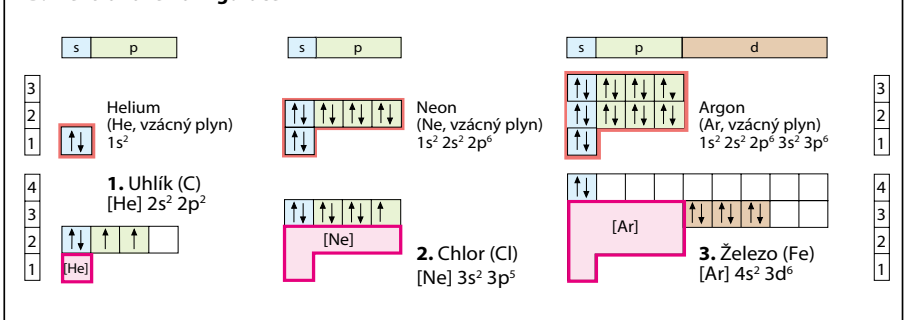
Přípustné stavy elektronů atomu se nazývají **orbitály**. Označují se číslicí, tzv. hlavním kvantovým číslem, a písmenem (např. s [sharp], p [principal] nebo d [diffuse], pozn. překl.). Se stoupajícím elektronovým číslem elektrony jednotlivé orbitály postupně obsazují, přičemž v každém orbitálu mohou být nejvýše dva elektrony, jež musejí mít opačně orientované „spiny“. Na obr. A je tak u každého prvku uvedeno rozdělení elektronů v orbitalech. Např. šest elektronů uhlíku (obr. B1) obsazuje orbitály 1s, 2s a dva orbitály 2p. Naplněný orbital 1s má stejnou elektronovou konfiguraci jako vzácný plyn helium (He), a proto je tato oblast elektronového obalu uhlíku na obr. A označena zkráceně jako „He“. Pod ní jsou udány počty elektronů v ostatních naplněných orbitalech vyjmenovaných na pravém okraji (v případě uhlíku v orbitalech 2s a 2p). Elektronový obal chloru (obr. B2) se např. skládá z části totožné s neonem a ze sedmi dalších elektronů v orbitalech 3s a 3p. V železu (obr. B3), v přechodném kovu z první vedlejší skupiny, je orbital 4s již obsazen, ačkoli orbital 3d není ještě zaplněn. Právě tyto ne zcela zaplněné orbitály d se pak podílejí na mnoha reakcích přechodných kovů, např. na tvorbě komplexů s bázeňmi nebo na redoxních reakcích.

Obzvláště stabilní elektronová konfigurace vzniká, je-li u prvků druhé a třetí periody vnější slupka plně obsazena osmi elektrony („**oktetové pravidlo**“). Je tomu tak např. u vzácných plynů, ale i u iontů, jako jsou Cl^- ($3s^2 3p^6$) nebo Na^+ ($2s^2 2p^6$). Pouze vodíku a heliu stačí jen dva elektrony, aby zcela zaplnily vnější orbital 1s, a tím rovněž dosáhly stabilní elektronové konfigurace.

A. Biologicky významné prvky



B. Elektronové konfigurace



Obr. 1.1 Periodická soustava prvků

Chemická vazba

A. Typy vazeb

Chemické vazby vznikají částečnou nebo úplnou výměnou valenčních elektronů mezi atomy. V tabulce jsou uvedeny důležité typy vazeb a jejich molekulární podstata.

B. Hybridizace orbitalů

Kovalentní vazby mezi dvěma nekovovými atomy vznikají, když se orbitály (str. 2) obou atomů sloučí do **molekulového orbitalu** obsazeného vždy jedním elektronem zúčastněných atomů. Čtyři vazebné elektrony uhlíku obsazují orbitály $2s$ a $2p$. Orbital $2s$ je kulově symetrický, kdežto tři orbitály $2p$ ve tvaru dvou rotačně symetrických laloků („činky“) směřují podél os x , y a z . Dalo by se tudíž očekávat, že jeden atom uhlíku vytvoří nejméně dva různé typy molekulových orbitalů. Skutečnost, že tomu tak není, je způsobena jevem označovaným jako **hybridizace** (energetické sjednocení, pozn. překl.) **orbitalů**. Kombinací orbitalu s a tří orbitalů p atomu uhlíku vznikají čtyři ekvivalentní do čtyřřetěnu (tetraedricky) uspořádané atomové orbitály sp^3 (**sp^3 hybridizace, 1a**). Překrývají-li se tyto orbitály s orbitalem $1s$ atomů vodíku, vytvoří se čtyři ekvivalentní molekulové orbitály σ (sigma; **1b**). Uhlík proto může mít čtyři vazby – je čtyřvazný. Podobně jako čtyři vazby σ neboli čtyři **jednoduché vazby** v metanu (CH_4) existují jednoduché vazby i mezi dalšími nekovovými atomy. Tetraedrickou strukturu mají např. hydrogenfosfátový (HPO_4^{2-}) či amonný ion (NH_4^+) (**1c**).

Druhý typ hybridizace orbitalů při tvorbě molekulových orbitalů zahrnuje vedle orbitalu $2s$ jen dva ze tří orbitalů $2p$ (**2a**). Tento typ se proto označuje jako **hybridizace sp^2** . Vznikají při ní tři ekvivalentní hybridní orbitály sp^2 , které leží v jedné rovině a zaujímají vzájemně úhel asi 120° . Zbývající orbital $2p_x$ je orientovaný kolmo na tuto rovinu. Na rozdíl od sp^3 hybridizovaných atomů vytvářejí sp^2 hybridizované atomy dvě různé vazby, když se slučují do molekulových orbitalů (**2b**): tři sp^2 orbitály vytvářejí jednoduché σ -vazby, jak je popsáno výše. Elektrony v obou orbitalech $2p_x$

(π elektrony) navíc vstupují do jednoho dalšího, podlouhlého molekulového orbitalu π , jenž leží nad a pod rovinou σ -vazeb. **Dvojně vazby** tedy sestávají z jedné σ -vazby a jedné π -vazby a na rozdíl od jednoduchých vazeb nejsou volně otáčivé, protože rotace by molekulový orbital π zničila. Všechny atomy leží v jedné rovině (**2c**), nado se zde projevuje *cis-trans* izomerie (str. 6). V biomolekulách jsou dvojně vazby $C=C$ a $C=O$ časté. Vazby $C=N$ se nalézají např. v aldiminech, v tzv. Schiffových bázích (str. 166). Trojně vazby, které vznikají hybridizací sp , jsou v biomolekulách naopak velmi vzácné.

C. Mezomerie

Mnohé molekuly s více dvojnými vazbami nejsou zdaleka tak reaktivní, jak by se čekalo, protože dvojně vazby se v nich nedají jednoznačně lokalizovat. Jejich orbitály π se totiž neprostrírají jen v prostoru mezi atomy spojenými dvojnou vazbou, nýbrž tvoří jeden společný, rozsáhlý **molekulový orbital π** (zelený). Podobné struktury jsou označovány jako **mezomery**, protože se skutečné vazebné poměry v nich nedají uspokojivě znázornit tradičními vzorci. Zobrazují se pak – jako na obrázku – **hraniční struktury** spojené oboustrannými šipkami, v nichž jsou π elektrony přiřazeny určitým atomům nebo delokalizované orbitály symbolizují čárkované linie nebo kruhy. K mezomerním systémům patří např. karboxylátové anionty (**1**) a mezomerní kruhové systémy, které se označují jako **aromatické**. Známý aromát je benzen, v jehož kruhu je delokalizováno šest π elektronů (**2**).

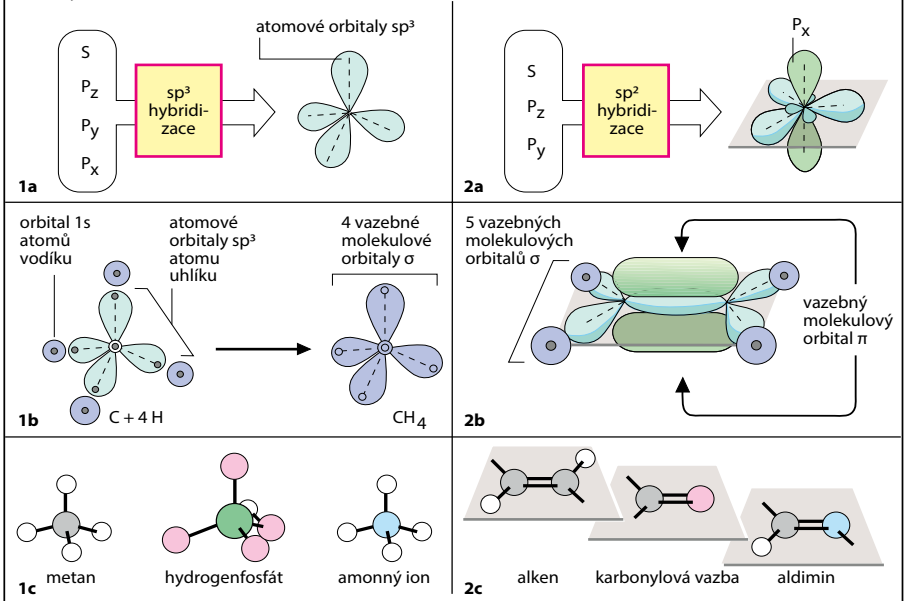
D. Heterocykly

Kruhové systémy, které vedle uhlíku obsahují i další typy atomů (tzv. heteroatomy), jsou označovány jako **heterocykly**. Obrázek ukazuje biochemicky důležité heterocykly a jejich výskyt. U aromatických kruhů jsou elektronové páry účastníci se mezomerie znázorněny modře. Podle tzv. Hückelova pravidla jsou kruhy aromatické, obsahují-li v molekulovém orbitalu $\pi 4n + 2$ elektrony, např. 6π elektronů pro $n = 1$ a 10π pro $n = 2$.

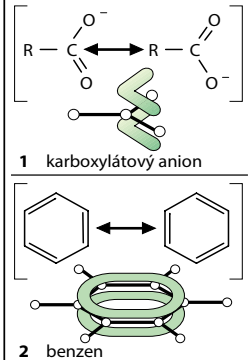
A. Typy vazeb

typ vazby	zakládá se na...	příklady
kovalentní vazba (spojení atomů)	...společných vazebných elektronech v molekulových orbitalech	organické sloučeniny
polární vazba	...tvorbě částečných nábojů v důsledku rozdílné elektronegativity	vodíkové můstky
iontová vazba	...elektrostatické přitažlivosti mezi úplně ionizovanými atomy	solí, např. NaCl, hydroxyapatit
kovová vazba	...volně pohyblivých elektronech v krystalické mřížce z kovových iontů	v biochemii nemá význam

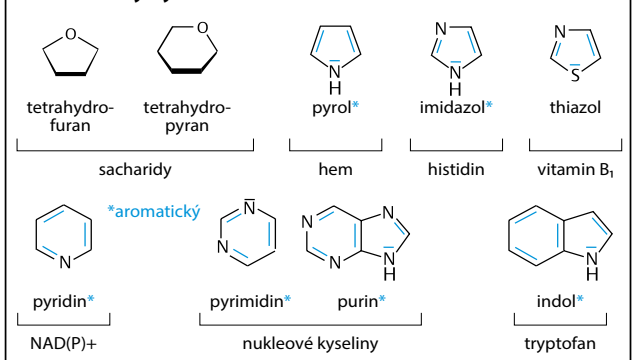
B. Hybridizace orbitalů



C. Mezomerie



D. Heterocykly



Obr. 1.2 Chemická vazba

Izomerie

A. Definice izomerie

Jako **izomery** se označují molekuly, které obsahují stejné atomy ve stejném počtu (tzn. mají stejný *sumární vzorec*), ale liší se svou strukturou. Je-li odlišné spojení atomů v molekule, jedná se o **konstituční izomery**. Příklady konstitučních izomerů jsou leucin a isoleucin (str. 50) nebo citrát a isocitrát (str. 114). **Stereoizomery** se liší prostorovým uspořádáním substituentů vzhledem k vazbě (B, C), nebo izomerie spočívá v přítomnosti chirálního centra v molekule (D). Pokud se stereoizomery chovají jako obraz a jeho odraz v zrcadle, mluví se o **enantiomerech**, všechny ostatní stereoizomery se označují jako **diastereoizomery**.

B. Cis-trans izomerie

(též *E/Z izomerie*, pozn. překl.)

Dvojně vazby se nemohou volně otáčet (rotovat). Nesou-li atomy spojené dvojnou vazbou různé substituenty, jsou možné dvě různé orientace těchto skupin. V dikarboxylové **kyselině fumarové** (str. 114), která je meziproduktem v citrátovém cyklu, leží karboxylové skupiny na *různých* stranách dvojně vazby (poloha E [z německého *entgegen* = proti, pozn. překl.] čili *trans*), kdežto v izomerní **kyselině maleinové**, která se v metabolismu živočichů nevyskytuje, jsou karboxylové skupiny na *téže* straně vazby (poloha Z [z německého *zusammen* = společně, pozn. překl.] neboli *cis*). *Cis-trans* izomery (**geometrické izomery**, starší název, pozn. překl.) se zřetelně liší svými chemickými a fyzikálními vlastnostmi, např. bodem tání či hodnotami pK_a . Jejich vzájemná přeměna je možná jen chemickou reakcí, viz např. *cis-trans* izomerace prolinu (str. 212).

C. Konformery

Molekulové formy, které vznikají rotací kolem vazeb umožňujících volné otáčení (např. jednoduché vazby C-C), se nazývají **konformery**. I malé molekuly tak mohou v roztoku nabývat mnoha velmi rozdílných konformací. Znázorněné konformery **kyseliny jantarové** (anion skupinát, pozn. překl.) mají podobné uspořádání atomů jako kyselina fumarová (*trans* izomer, pozn. překl.), resp. ma-

leinová (*cis* izomer, pozn. překl.). V roztoku se tato uspořádání objevují spolu s mnoha dalšími, přičemž konformace 1 (nahore) je kvůli většímu odstupu COOH skupin výhodnější, a proto častější. Biologicky aktivní makromolekuly jako proteiny nebo nukleové kyseliny obsahují tisíce volně otáčivých vazeb a teoreticky proto mohou zaujímat ohromné množství konformací. Většinou se však vyskytují jen v jedné dobře definované („*nativní*“) konformaci (str. 60), kterou stabilizují interakce v molekule (str. 68). Pokud se nativní konformace makromolekuly **denurací** ztratí, zmizí tím i její biologická aktivita.

D. Optické izomery

Další typ izomerie vzniká, obsahuje-li molekula chirální centrum, nebo je celá chirální. Chiralita (z řečtiny *cheir* = ruka) vede k tomu, že existují struktury, které se chovají jako obraz a jeho odraz v zrcadle a nelze je otočit tak, aby se shodovaly (*zrcadlové izomery*). Nejčastější příčinou chirálního chování je přítomnost nasyceného atomu uhlíku se čtyřmi různými substituenty. Sloučenina pak existuje ve dvou formách (**enantiomerech**) s různou **konfigurací**. Enantiomery téže sloučeniny mají velmi podobné chemické vlastnosti a dají se chemicky jen obtížně rozdělit. K rozlišení se využívá skutečnosti, že enantiomery stáčíjí rovinu polarizovaného světla různým směrem (**optická aktivita**, udává se jako specifická rotace $[\alpha]$ ve stupních, °).

Enantiomery téže molekuly se často označují jako D a L-forma (**D/L systém**, nahore). Pravootočivá kyselina L-mléčná ($[\alpha] > 0$), kterou produkují mikroorganismy, se vyskytuje u zvířat (str. 130), levotočivá kyselina D-mléčná ($[\alpha] < 0$) je v mléčných produktech. Jednoznačné přiřazení konfigurace dovoluje **R/S systém** (dole). Na chirální centrum se nejdříve vynesou substituenty v pořadí podle protonového čísla atomu přímo spojeného s centrem (zde: 1 = OH, 2 = COOH, 3 = CH₂, 4 = H). Pak se na tetraedr hledí ze směru ligandu s nejnižší prioritou, tj. substituent 4 (zde H) leží vzadu. Probíhá-li nyní kružnice z 1 přes 2 na 3 ve směru hodinových ručiček, jedná se o R-formu, jinak jde o S-formu. Ekvimolární směs enantiomerů se označuje jako **racemát**.

Vážení čtenáři, právě jste dočetli ukázkou z knihy ***Barevný atlas biochemie***.
Pokud se Vám ukáзка líbila, na našem webu si můžete zakoupit celou knihu.