

Spis treści

1

Chemiczne podstawy biochemii

Beata ŁUBKOWSKA

1.1.	Materia	1
1.1.1.	Budowa atomu	2
1.1.2.	Pierwiastki i izotopy	4
1.1.3.	Związki chemiczne	6
1.1.4.	Rodniki	8
1.2.	Wiązania chemiczne	8
1.2.1.	Wiązanie jonowe	10
1.2.2.	Wiązanie kowalencyjne niespolaryzowane i spolaryzowane	11
1.2.3.	Wiązanie wodorowe	13
1.3.	Mieszanki	14
1.3.1.	Roztwory, koloidy, zawiesiny	15
1.3.2.	Stężenie roztworów	15
1.3.3.	Reakcje chemiczne	16
1.3.4.	Procesy równowagowe	18
1.3.5.	Dysocjacja związków w wodzie	19
1.4.	Skala pH	19
1.4.1.	Kwasy i zasady	20
1.4.2.	Systemy buforowe	23
1.5.	Budowa organizmów żywych	24
1.5.1.	Substancje biologiczne	25
1.5.2.	Składniki odżywcze	25
1.5.3.	Struktura komórki	27

2

Metabolizm

Maciej PAWLAK, Tomasz PODGÓRSKI

2.1.	Energia – stały element reakcji chemicznych	30
2.1.1.	Obieg energii w przyrodzie	30
2.1.2.	Układy biologiczne i prawa termodynamiki	32
2.1.3.	Specyfika przebiegu reakcji metabolicznych	33
2.1.4.	Dwa typy przemian energetycznych	35
2.1.5.	Anabolizm i katabolizm	36
2.2.	Biochemiczne podstawy przemiany materii	39
2.3.	Adenozynotrifosforan (ATP) i inne związki bogate w energię	40
2.3.1.	Funkcje adenozynotrifosforanu w organizmie	43
2.3.2.	Struktura i funkcja nukleotydów	44

2.4.	Utlenianie i redukcja	45
2.4.1.	Struktura i funkcja dinukleotydów	47
2.4.2.	Dinukleotyd nikotynamidoadeninowy	47
2.4.3.	Dinukleotyd flawinoadeninowy	48
2.4.4.	Fosforan dinukleotydu nikotynamidoadeninowego (NADPH)	49
2.4.5.	Budowa i rola koenzymu A (CoA lub CoA-SH)	50
2.5.	Jak i na co organizm pozyskuje i wydatkuje energię?	51
2.5.1.	Na co zużywana jest energia?	53

3

Aminokwasy, białka i ich metabolizm 55

Tomasz PODGÓRSKI, Ewa SADOWSKA-KRĘPA

3.1.	Aminokwasy – podstawowe cegiełki budowy i funkcjonowania organizmu	55
3.1.1.	Budowa i funkcje	56
3.1.2.	Podział	59
3.2.	Aminokwasy w sporcie	62
3.2.1.	BCAA	62
3.2.2.	Glutamina	63
3.2.3.	Arginina	63
3.2.4.	Beta-alanina	63
3.2.5.	Cytrulina i ornityna	63
3.2.6.	Inne aminokwasy	64
3.3.	Wiązanie peptydowe	64
3.4.	Białka – budowa i rola	65
3.4.1.	Struktury przestrzenne białek	65
3.4.2.	Właściwości białek	68
3.4.3.	Funkcje peptydów i białek	70
3.4.4.	Rola białek w skurczu mięśni	71
3.4.5.	Rola hemoglobiny i mioglobiny w zaopatrzeniu tkanek w tlen	72
3.5.	Enzymy	73
3.5.1.	Budowa	74
3.5.2.	Klasyfikacja	75
3.5.3.	Izoenzymy	77
3.5.4.	Regulacja aktywności	78
3.5.5.	Znaczenie w diagnostyce sportowej	78
3.6.	Proces trawienia białek i wchłanianie aminokwasów w jelitach	79
3.6.1.	Smak umami	79
3.6.2.	Trawienie	79
3.6.3.	Wchłanianie	80
3.7.	Przemiany aminokwasów	80
3.7.1.	Transaminacja	81
3.7.2.	Dekarboksylacja	82
3.7.3.	Deaminacja	82

- 3.8. Obrót białek w organizmie i przemiana amoniaku w mocznik 83
- 3.9. Zapotrzebowanie człowieka na białko 86

4

Kwasy nukleinowe i ekspresja genów 89

Agata LEOŃSKA-DUNIEC, Monika MICHAŁOWSKA-SAWCZYN,
Ewa BRZEZIAŃSKA-LASOTA, Kinga HUMIŃSKA-LISOWSKA, Paweł CIĘSZCZYK

- 4.1. Przepływ informacji genetycznej 89
- 4.2. Struktura DNA 90
 - 4.2.1. Nukleotydy jako podstawowe jednostki budujące DNA 90
 - 4.2.2. Polinukleotydowy łańcuch DNA 92
 - 4.2.3. Dwuniciowa helisa DNA 92
- 4.3. Struktura i rodzaje RNA 94
 - 4.3.1. Informacyjny RNA 96
 - 4.3.2. Transportujący RNA 96
 - 4.3.3. Rybosomalny RNA 98
 - 4.3.4. Nowe rodzaje RNA 99
- 4.4. Organizacja materiału genetycznego 100
- 4.5. Kod genetyczny 101
- 4.6. Budowa genomu 103
 - 4.6.1. Geny 105
- 4.7. Replikacja DNA 106
- 4.8. Zmienność genetyczna 110
- 4.9. Transkrypcja 115
- 4.10. Dojrzewanie mRNA 117
- 4.11. Translacja 120
- 4.12. Geny markerowe związane ze sportem 123

5

Węglowodany i lipidy 127

Małgorzata CHARMAS, Ewa JÓWKO

- 5.1. Węglowodany 127
 - 5.1.1. Cukry proste 128
 - 5.1.2. Cukry złożone 131
- 5.2. Lipidy 137
 - 5.2.1. Kwasy tłuszczowe 137
 - 5.2.2. Lipidy proste 140
 - 5.2.3. Lipidy złożone 143
 - 5.2.4. Pochodne lipidów 144

6

Witaminy i minerały 147

Urszula LEWANDOWSKA, Katarzyna OWCZAREK, Ewa BRZEZIAŃSKA-LASOTA

- 6.1. Witaminy 147
 - 6.1.1. Witaminy rozpuszczalne w wodzie 147

6.1.2.	Witaminy rozpuszczalne w tłuszczach	163
6.2.	Składniki mineralne	171
6.2.1.	Makroelementy	171
6.2.2.	Mikroelementy	180
6.2.3.	Inne mikroelementy	185

7

Neuronalna kontrola aktywności mięśni szkieletowych	189
Barbara MORAWIN, Agnieszka ZEMBRON-ŁACNY	

7.1.	Unerwienie mięśni szkieletowych	189
7.2.	Jednostka motoryczna	190
7.3.	Receptory wewnątrzmięśniowe	192
7.4.	Receptory ścięgniste	193
7.5.	Złącze nerwowo-mięśniowe	194
7.5.1.	Struktura złącza nerwowo-mięśniowego	195
7.5.2.	Mechanizm przekaźnictwa sygnału w złączu nerwowo-mięśniowym	195
7.6.	Potencjał spoczynkowy i czynnościowy włókna mięśniowego	198

8

Aktywność mięśni szkieletowych	203
Barbara MORAWIN, Agnieszka ZEMBRON-ŁACNY	

8.1.	Struktura komórki mięśniowej	203
8.2.	Ślizgowy model skurczu mięśni szkieletowych	209
8.3.	Bioenergetyka skurczu mięśni szkieletowych	211
8.4.	Rodzaje skurczu mięśni szkieletowych	212
8.5.	Siła rozwijana przez mięśnie szkieletowe	213
8.6.	Zmęczenie mięśni szkieletowych	214

9

Metabolizm wysiłkowy	217
Magdalena WIĘCEK	

9.1.	Charakterystyka rodzajów wysiłku fizycznego	217
9.1.1.	Intensywność wysiłków dynamicznych	219
9.1.2.	Intensywność wysiłków statycznych	221
9.1.3.	Charakterystyka metabolizmu wysiłkowego	222
9.2.	Regulacja metabolizmu wysiłkowego	224
9.2.1.	Regulacja alosteryczna	224
9.2.2.	Sprzężenie zwrotne ujemne	225
9.2.3.	Modyfikacja kowalencyjna	225
9.2.4.	Zmiana stężenia substratu	226
9.2.5.	Zmiana stężenia enzymu	226
9.2.6.	Regulacja nerwowa i hormonalna	226
9.3.	Badania naukowe – techniki laboratoryjne w badaniach metabolizmu wysiłkowego	227

Związki o wysokim potencjale przenoszenia fosforanów 235

Ewa BAKOŃSKA-PACOŃ, Eugenia MURAWSKA-CIAŁOWICZ

- | | | |
|-------|--|-----|
| 10.1. | Charakterystyka związków wysokoenergetycznych | 235 |
| 10.2. | Przemiany ATP-ADP i cykl ATP-ADP w czasie wysiłku fizycznego | 236 |
| | 10.2.1. Cykl ATP-ADP w wysiłku fizycznym | 238 |
| 10.3. | Fosfokreatyna i jej udział w skurczu mięśniowym | 240 |
| 10.4. | Nieinwazyjne metody obserwacji metabolizmu wysiłkowego | 246 |
| 10.5. | Reakcja kinazy adenylanowej (miokinazowa) | 247 |
| | 10.5.1. Udział AMP w regulacji metabolizmu w wysiłku fizycznym | 247 |
| 10.6. | Przemiany puryn w wysiłkach o wysokiej intensywności | 250 |

Metabolizm węglowodanów 255

Tomasz PODGÓRSKI, Maciej PAWLAK

- | | | |
|-------|--|-----|
| 11.1. | Biochemiczne aspekty trawienia i wchłaniania węglowodanów | 255 |
| | 11.1.1. Trawienie węglowodanów | 255 |
| | 11.1.2. Transporty przez błonowe węglowodanów | 257 |
| | 11.1.3. Smak słodki | 259 |
| 11.2. | Przemiany węglowodanów w organizmie | 262 |
| | 11.2.1. Cukrzyca jako przykład zaburzeń przemian węglowodanów | 264 |
| | 11.2.2. Wskaźniki biochemiczne charakteryzujące gospodarkę węglowodanową | 264 |
| 11.3. | Synteza węglowodanów (glukoneogeneza) | 265 |
| 11.4. | Magazynowanie węglowodanów w organizmie | 266 |
| | 11.4.1. Synteza glikogenu | 269 |
| | 11.4.2. Ładowanie węglowodanami (carbo loading) | 269 |
| | 11.4.3. Rozkład glikogenu (glikogenoliza) | 273 |
| 11.5. | Glukoza – podstawowy substrat energetyczny sportowca | 275 |
| | 11.5.1. Glikoliza – element wspólny dla przemian aerobowych i anaerobowych | 276 |
| | 11.5.2. Rola mitochondriów w metabolizmie węglowodanów | 279 |
| | 11.5.3. Dekarboksylacja oksydacyjna | 280 |
| | 11.5.4. Cykl Krebsa | 280 |
| | 11.5.5. Fosforylacja substratowa | 282 |
| | 11.5.6. Fosforylacja oksydacyjna | 284 |
| 11.6. | Anaerobowe losy glukozy | 285 |
| | 11.6.1. Redukcja pirogronianu | 286 |
| | 11.6.2. Mleczan | 287 |
| | 11.6.3. Cykl Corich | 287 |
| | 11.6.4. Jak usunąć mleczan z mięśni po wysiłku? | 289 |
| 11.7. | Szlak pentozofosforanowy | 289 |
| 11.8. | Metabolizm fruktozy | 291 |
| 11.9. | Metabolizm galaktozy | 292 |

11.10.	Bilans energetyczny przemian węglowodanów	292
11.11.	Wskaźniki diagnostyczne z obszaru metabolizmu węglowodanów istotne dla sportowca	295

12

Metabolizm tłuszczów a wysiłek fizyczny 297

Eugenia MURAWSKA-CIAŁOWICZ, Ewa BAKOŃSKA-PACOŃ

12.1.	Trawienie, wchłanianie i dystrybucja tłuszczów	297
12.1.1.	Trawienie tłuszczów	298
12.1.2.	Wchłanianie tłuszczów	301
12.1.3.	Dystrybucja triglicerydów	302
12.2.	Synteza triglicerydów w tkance tłuszczowej	304
12.3.	Lipoliza	307
12.3.1.	Wysiłek fizyczny a lipoliza w tkance tłuszczowej	308
12.3.2.	Wysiłek fizyczny a lipoliza triglicerydów mięśni szkieletowych	314
12.3.3.	Losy produktów lipolizy	315
12.4.	Degradacja kwasów tłuszczowych	318
12.4.1.	Zysk energetyczny utleniania kwasów tłuszczowych	322
12.4.2.	Degradacja nienasyconych kwasów tłuszczowych	323
12.4.3.	Ketogeneza	323
12.5.	Synteza kwasów tłuszczowych (lipogeneza <i>de novo</i>)	327
12.6.	Wpływ wysiłku fizycznego na metabolizm lipidów	330
12.6.1.	Wpływ wysiłku na utlenianie kwasów tłuszczowych w mięśniach	330
12.6.2.	Zmiany stężenia lipidów podczas i po wysiłku fizycznym	334
12.7.	Zasoby tłuszczu w organizmie	335
12.7.1.	Biała tkanka tłuszczowa	337
12.7.2.	Brunatna tkanka tłuszczowa	339
12.7.3.	Różowa tkanka tłuszczowa	340
12.8.	Lipoproteiny osocza	341
12.8.1.	Apoproteiny	343
12.8.2.	Metabolizm lipoprotein	343
12.9.	Profil lipidowy (lipidogram)	346
12.10.	Wpływ wysiłku na parametry lipidogramu	347

13

Metabolizm białek a wysiłek fizyczny 351

Anna ONISZCZUK, Agnieszka KACZMAREK, Ewa BAKOŃSKA-PACOŃ,
Eugenia MURAWSKA-CIAŁOWICZ

13.1.	Procesy degradacji białek pokarmowych	351
13.2.	Zawartość białka w organizmie	354
13.3.	Przemiany białek	354
13.3.1.	Wpływ wysiłku na przemiany białek	356
13.3.2.	Degradacja aminokwasów	358
13.3.3.	Synteza aminokwasów	362

13.3.4.	Wpływ wysiłku na metabolizm aminokwasów w mięśniach szkieletowych	362
13.3.5.	Wpływ wysiłku na metabolizm aminokwasów w wątrobie	364
13.4.	Cykl mocznikowy	366
13.5.	Stężenie aminokwasów, amoniaku i mocznika w osoczu podczas wysiłku fizycznego	368
13.6.	Udział białek w wydatkowaniu energii podczas wysiłku fizycznego	370
13.7.	Wpływ treningu na przemiany białek	370
13.7.1.	Trening oporowy	371
13.7.2.	Trening wytrzymałościowy	373

14

Wpływ treningu na ekspresję genów 375

Kinga HUMIŃSKA-LISOWSKA, Jan MIESZKOWSKI, Agata LEOŃSKA-DUNIEC, Ewa BRZEZIAŃSKA-LASOTA, Paweł CIĘSZCZYK

14.1.	Specyficzność odpowiedzi organizmu na wysiłek fizyczny	375
14.2.	Etapy kontroli ekspresji genów	377
14.3.	Regulacja ekspresji genów w świetle wysiłku fizycznego i treningu sportowego	380
14.4.	Zmiany kinetyki powstawania produktów ekspresji genów w świetle wysiłku fizycznego	383
14.5.	Molekularne podłoże adaptacji do wysiłku fizycznego	386
14.5.1.	Adaptacje w treningu zdrowotnym	388
14.5.2.	Adaptacje w treningu sportowym	389
14.5.3.	Adaptacje w treningu wytrzymałościowym	391
14.5.4.	Adaptacje w treningu siłowym	402
14.6.	Mechanizmy epigenetyczne w regulacji ekspresji genów indukowanej wysiłkiem fizycznym	409
14.6.1.	Metylacja DNA	410
14.6.2.	Modyfikacja histonów	411
14.6.3.	Niekodujący RNA	412
14.7.	Wysiłek fizyczny a „OMIKA”	413
14.7.1.	Genomika i epigenomika	414
14.7.2.	Transkryptomika	415
14.7.3.	Proteomika	416
14.7.4.	Metabolomika i lipidomika	417

15

Kontrola regulacji metabolicznej w wysiłku o wysokiej intensywności 419

Ewa SADOWSKA-KRĘPA, Ilona POKORA

15.1.	Definicja wysiłku o wysokiej intensywności	419
15.2.	Systemy energetyczne wykorzystywane w wysiłku o wysokiej intensywności	419
15.2.1.	System fosfagenowy	420

15.2.2.	Rozpad glikogenu i glikoliza beztlenowa	421
15.2.3.	Reakcja miokinazowa	421
15.3.	Regulacja metabolizmu w wysiłku o wysokiej intensywności	422
15.4.	Wpływ odżywiania na funkcjonowanie organizmu	424
15.4.1.	Kreatyna	424
15.4.2.	Substancje alkalizujące	425
15.4.3.	Kofeina	425
15.4.4.	β -alanina	425
15.5.	Wpływ treningu na poziom adaptacji	426
15.6.	Mechanizmy odpowiedzialne za zmęczenie w wysiłku o wysokiej intensywności	426
15.6.1.	Obniżenie poziomu ATP	427
15.6.2.	Wzrost nieorganicznego fosforanu (Pi)	427
15.6.3.	Wzrost stężenia LA i jonów H^+	428

16

Kontrola metabolizmu w wysiłkach wytrzymałościowych 431

Ilona POKORA, Ewa SADOWSKA-KRĘPA

16.1.	Definicja i modele wysiłków wytrzymałościowych	431
16.1.1.	Wpływ intensywności ćwiczeń na wykorzystanie źródeł węglowodanowo-tłuszczowych	432
16.1.2.	Wpływ czasu trwania ćwiczeń na wykorzystanie źródeł węglowodanowo-tłuszczowych	432
16.2.	Przegląd regulacji metabolicznych w wysiłkach wytrzymałościowych	433
16.2.1.	Szlaki metabolizmu węglowodanów (CHO)	435
16.2.2.	Wykorzystanie metabolizmu lipidów w wysiłkach wytrzymałościowych	437
16.2.3.	Wykorzystanie białek w wysiłkach wytrzymałościowych	441
16.3.	Wpływ stanu odżywiania na wykorzystanie źródeł węglowodanowo-tłuszczowych podczas wysiłku wytrzymałościowego	442
16.3.1.	Znaczenie przyjmowania CHO przed i w trakcie ćwiczeń	446
16.3.2.	Przyjmowanie lipidów, adaptacja tłuszczowa	447
16.4.	Wpływ stanu wytrenowania na wykorzystanie źródeł węglowodanowo-tłuszczowych	449
16.4.1.	Wpływ stanu wytrenowania na metabolizm węglowodanów	450
16.4.2.	Wpływ stanu wytrenowania na metabolizm lipidów	450
16.4.3.	Wpływ stanu wytrenowania na metabolizm białek	452
16.5.	Mechanizm zmęczenia w wysiłku wytrzymałościowym	452
16.5.1.	Zmęczenie ośrodkowe	452
16.5.2.	Zmęczenie obwodowe (mięśniowe)	453

Biochemia sportu w zdrowiu i chorobie 455

Anna GRZYWACZ, Violetta DZIEDZIEJKO, Monika RAĆ, Agnieszka BOROŃ,
Paweł CIĘSZCZYK

17.1.	Zdrowie, choroba i ćwiczenia fizyczne	455
17.2.	Układ sercowo-naczyniowy	456
	17.2.1. Adaptacja mięśnia sercowego i układu naczyniowego do treningu	456
	17.2.2. Ćwiczenia fizyczne a schorzenia sercowo-naczyniowe	460
17.3.	Cukrzyca – choroba cywilizacyjna naszych czasów	462
	17.3.1. Biochemia cukrzycy	463
	17.3.2. Powikłania cukrzycy	465
	17.3.3. Wysiłek fizyczny w cukrzycy – podstawy biochemiczne i kliniczne	465
17.4.	Otyłość jako stan zagrażający zdrowiu i życiu	467
	17.4.1. Szkodliwy wpływ otyłości na organizm człowieka – aspekty biologiczny i kliniczny	470
	17.4.2. Ćwiczenia fizyczne u pacjentów z otyłością	473
17.5.	Choroby onkologiczne w kontekście wysiłku fizycznego	478
17.6.	Osteoporoza a wysiłek fizyczny	480
	17.6.1. Mechanizm zmian patologicznych w osteoporozie	480
	17.6.2. Rola ćwiczeń fizycznych w osteoporozie	481
17.7.	Choroby psychiczne a wysiłek fizyczny	482
17.8.	Uzależnienia a wysiłek fizyczny	484
17.9.	Konsekwencje braku aktywności fizycznej – konteksty biochemiczny i kliniczny	486
17.10.	Wysiłek fizyczny jako recepta na długie życie	486
17.11.	Korzyści z aktywności fizycznej	488
17.12.	Podsumowanie	489

Biochemiczne monitorowanie wysiłku i treningu fizycznego 491

Magdalena WIĘCEK

18.1.	Cele analizy biochemicznej	491
18.2.	Materiał biologiczny	492
	18.2.1. Różnica między osoczem a surowicą krwi	495
18.3.	Markery biochemiczne	496
18.4.	Zakresy referencyjne	496
	18.4.1. Metoda pomiaru	498
	18.4.2. Populacja referencyjna	498

Gospodarka żelazem 501

Magdalena WIĘCEK

19.1.	Żelazo	503
19.2.	Transferyna	506

19.2.1.	Całkowita zdolność wiązania żelaza	507
19.2.2.	Wysycenie transferyny żelazem	507
19.2.3.	Rozpuszczalny receptor transferyny	508
19.3.	Ferrytyna	508
19.4.	Hemoglobina	509
19.4.1.	Hemokoncentracja i hemodylucja	511
19.5.	Niedobór żelaza	514

20

Metabolity 517

Ewa JÓWKO, Andrzej KLUSIEWICZ

20.1.	Mleczan	518
20.1.1.	Ocena wydolności anaerobowej kwasomlekowej	518
20.1.2.	Ocena wydolności tlenowej	520
20.1.3.	Planowanie programu treningowego	525
20.2.	Glukoza	527
20.3.	Profil lipidowy	530
20.3.1.	Cholesterol	531
20.3.2.	Triacyloglicerole	533
20.3.3.	Profil lipidowy a aktywność fizyczna	533
20.4.	Glicerol	535
20.5.	Mocznik	536
20.6.	Amoniak	539
20.7.	Kwas moczowy	541
20.8.	Kreatynina	542
20.9.	Glutation	544

21

Enzymy i hormony 549

Magdalena DZITKOWSKA-ZABIELSKA, ALEKSANDRA BOJARCZUK,
Paweł CIĘSZCZYK

21.1.	Wstęp	549
21.2.	Kinaza kreatynowa	550
21.3.	γ -glutamylotransferaza	553
21.4.	Enzymy antyoksydacyjne	554
21.5.	Hormony steroidowe	555
21.6.	Kortyzol	557
21.7.	Testosteron	558
21.8.	Insulina	560
21.9.	Syndrom przetrenowania	562
21.10.	Podsumowanie	563

Skorowidz

567