

REKOMENDACJA

*Komitetu Rehabilitacji, Kultury Fizycznej i Integracji Społecznej PAN*

# FIZJOLOGIA WYSIŁKU I TRENINGU FIZYCZNEGO

Redakcja naukowa  
JAN GÓRSKI



Wydawnictwo  
Lekarskie  
PZWL

# FIZJOLOGIA WYSIŁKU I TRENINGU FIZYCZNEGO

Redakcja naukowa

prof. dr hab. n. med. JAN GÓRSKI

REKOMENDACJA

*Komitetu Rehabilitacji, Kultury Fizycznej  
i Integracji Społecznej PAN*



Wydawnictwo  
Lekarskie  
PZWL

---

# SPIS TREŚCI

---

<b>PRZEDMOWA</b> . . . . .	13
<b>1. PODSTAWY FIZJOLOGII WYSIŁKU – Jan Górski</b> . . . . .	15
1.1. Narząd ruchu . . . . .	15
1.1.1. Mięśnie szkieletowe . . . . .	15
1.1.1.1. Budowa . . . . .	15
1.1.1.2. Czynność skurczowa mięśnia . . . . .	19
1.2. Wykorzystanie tlenu przez ustrój ludzki . . . . .	23
1.2.1. Przemiana materii . . . . .	24
1.2.1.1. Podstawowa przemiana materii (PPM) . . . . .	24
1.2.1.2. Całkowita przemiana materii (CPM) . . . . .	24
1.2.1.3. Współczynnik oddechowy (RQ) . . . . .	25
1.2.1.4. Deficyt tlenowy i dług tlenowy . . . . .	25
1.2.2. Pobór tlenu w czasie wysiłku o stałym obciążeniu . . . . .	26
1.2.3. Pobór tlenu w czasie wysiłku o wzrastającym obciążeniu; $\dot{V}O_{2max}$ . . . . .	27
1.2.3.1. Metody pomiaru $\dot{V}O_{2max}$ . . . . .	29
1.2.3.2. Czynniki determinujące $\dot{V}O_{2max}$ . . . . .	30
1.2.3.3. Wydolność fizyczna . . . . .	32
1.3. Ocena obciążeń wysiłkiem . . . . .	32
1.3.1. Skala Borga . . . . .	32
1.3.2. Próg mleczanowy . . . . .	33
1.3.2.1. Zastosowanie wyników pomiaru progu mleczanowego . . . . .	35
1.3.3. MET . . . . .	35
1.4. Źródła energii dla mięśni . . . . .	35
1.4.1. ATP i fosfokreatyna . . . . .	35
1.4.2. Substraty wewnątrzmięśniowe . . . . .	37
1.4.2.1. Glikogen . . . . .	37
1.4.2.2. Triacyloglicerole mięśniowe . . . . .	39
1.4.3. Substraty krwiopochodne . . . . .	39
1.4.3.1. Glukoza . . . . .	39

	1.4.3.2.	Wolne kwasy tłuszczowe . . . . .	42
	1.4.3.3.	Lipoproteiny osocza . . . . .	44
	1.4.3.4.	Ciała ketonowe . . . . .	45
	1.4.3.5.	Aminokwasy. . . . .	45
	1.4.4.	Białka . . . . .	46
	1.4.4.1.	Zapotrzebowanie na białko w czasie wysiłku . . . . .	46
	1.4.5.	Amoniak . . . . .	47
1.5.		Wpływ treningu na wykorzystanie węglowodanów i tłuszczów . . . . .	47
	1.5.1.	Trening wytrzymałościowy . . . . .	47
	1.5.2.	Trening beztlenowy . . . . .	48
1.6.		Wpływ wysiłku na układ wewnętrzznego wydzielania . . . . .	48
	1.6.1.	Wprowadzenie . . . . .	48
	1.6.2.	Wpływ wysiłku na stężenie hormonów we krwi . . . . .	50
	1.6.2.1.	Adrenokortykotropina i hormony wydzielane przez korę nadnerczy . . . . .	51
	1.6.2.2.	TSH i hormony wydzielane przez gruczoł tarczowy . . . . .	53
	1.6.2.3.	Gonadotropiny i hormony wydzielane przez gruczoły płciowe (gonady) . . . . .	53
	1.6.2.4.	Prolaktyna . . . . .	54
	1.6.2.5.	Hormon wzrostu (GH) . . . . .	54
	1.6.2.6.	Hormon antydiuretyczny (wazopresyna, ADH) . . . . .	55
	1.6.2.7.	Przedionkowy peptyd natriuretyczny (sodopędny) (ANP) . . . . .	56
	1.6.2.8.	Hormony wydzielane przez wyspy trzustki (wyspy Langerhansa) . . . . .	56
	1.6.2.9.	Aminy katecholowe (adrenalina, noradrenalina). . . . .	57
	1.6.2.10.	Erytropoetyna . . . . .	58
	1.6.2.11.	Leptyna . . . . .	58
	1.6.2.12.	Oksytocyna . . . . .	59
	1.6.2.13.	Parathormon i kalcytonina . . . . .	59
	1.6.2.14.	Peptydy opioidowe . . . . .	59
1.7.		Wpływ wysiłku na układ krążenia . . . . .	59
	1.7.1.	Wprowadzenie . . . . .	59
	1.7.2.	Wysiłki dynamiczne . . . . .	61
	1.7.2.1.	Objętość minutowa serca . . . . .	61
	1.7.2.2.	Ciśnienie tętnicze . . . . .	63
	1.7.2.3.	Wykonywanie wysiłku kończynami górnymi . . . . .	63
	1.7.2.4.	Wpływ wysiłku na dystrybucję krwi w ustroju . . . . .	63
	1.7.3.	Wysiłek statyczny a czynność układu krążenia . . . . .	66
	1.7.4.	Krążenie płucne . . . . .	66
	1.7.5.	Ekstrakcja tlenu w tkankach . . . . .	67
	1.7.6.	Mioglobina . . . . .	67
1.8.		Wpływ treningu na układ krążenia . . . . .	68
	1.8.1.	Częstość skurczów serca . . . . .	68
	1.8.2.	Wielkość serca . . . . .	68
	1.8.3.	Objętość wyrzutowa . . . . .	68
	1.8.4.	Objętość minutowa . . . . .	69
	1.8.5.	Naczynia krwionośne . . . . .	69
	1.8.6.	Ciśnienie tętnicze . . . . .	69
1.9.		Wpływ wysiłku na układ oddechowy . . . . .	69
	1.9.1.	Wprowadzenie . . . . .	69
	1.9.2.	Wpływ wysiłku na wentylację płuc . . . . .	70

1.9.3.	Wpływ treningu wytrzymałościowego na wentylację płuc . . . . .	72
1.10.	Wpływ wysiłku na krew . . . . .	72
1.10.1.	Wprowadzenie . . . . .	72
1.10.2.	Wpływ wysiłku . . . . .	74
1.10.3.	Wpływ treningu wytrzymałościowego . . . . .	74
1.11.	Wpływ wysiłku na równowagę kwasowo-zasadową . . . . .	75
1.12.	Wpływ wysiłku na czynność nerek . . . . .	76
1.12.1.	Wprowadzenie . . . . .	76
1.12.2.	Wpływ wysiłku . . . . .	77
1.13.	Wpływ wysiłku na czynność przewodu pokarmowego . . . . .	77
1.13.1.	Wprowadzenie . . . . .	77
1.13.2.	Wpływ wysiłku . . . . .	78
1.14.	Wpływ wysiłku na układ odpornościowy . . . . .	79
1.14.1.	Wprowadzenie . . . . .	79
1.14.2.	Wpływ wysiłku . . . . .	79
1.14.3.	Wpływ treningu wytrzymałościowego . . . . .	80
1.14.4.	Cytokiny . . . . .	80
1.15.	Zmęczenie . . . . .	81
1.15.1.	Wprowadzenie . . . . .	81
1.15.2.	Zmęczenie obwodowe . . . . .	81
1.15.2.1.	Droga ruchowa . . . . .	81
1.15.2.2.	Przyczyny mięśniowe . . . . .	81
1.15.3.	Zmęczenie ośrodkowe . . . . .	83
1.15.4.	Przetrenowanie . . . . .	83

## **2. PODSTAWY TRENINGU FIZYCZNEGO – Zdzisław Adach, Mariusz Naczek** 86

2.1.	Trening wytrzymałościowy . . . . .	86
2.1.1.	Metody treningu wytrzymałościowego . . . . .	87
2.1.1.1.	Metody treningu ciągłego . . . . .	87
2.1.1.2.	Metody treningu powtórzeniowego . . . . .	89
2.1.1.3.	Metoda treningu interwałowego . . . . .	89
2.1.2.	Wpływ treningu wytrzymałościowego na organizm . . . . .	91
2.1.3.	Wpływ treningu na ekonomikę wysiłku . . . . .	92
2.1.4.	Ocena wydolności tlenowej . . . . .	92
2.1.4.1.	Metody pomiaru maksymalnego poboru tlenu . . . . .	92
2.2.	Trening szybkości (wydolności beztlenowej) . . . . .	101
2.2.1.	Ocena wydolności beztlenowej . . . . .	102
2.2.1.1.	Test Margarii–Kalamena . . . . .	103
2.2.1.2.	Test ergometryczny „siła–szybkość” według Vandewalle’a . . . . .	104
2.2.1.3.	Test Wingate (Bar-Ora) . . . . .	106
2.2.1.4.	Stężenie kwasu mlekowego w ocenie wydolności beztlenowej . . . . .	107
2.3.	Trening ogólnorozwojowy . . . . .	108
2.4.	Trening siły mięśniowej . . . . .	109
2.4.1.	Rola treningu siłowego w utrzymaniu zdrowia . . . . .	109
2.4.2.	Trening siłowy u dzieci . . . . .	110
2.4.3.	Metody treningu siły i ich wpływ na organizm . . . . .	111
2.4.3.1.	Trening izometryczny (statyczny) . . . . .	112
2.4.3.2.	Trening dynamiczny . . . . .	112
2.4.3.3.	Elektrostymulacja mięśni (EMS) . . . . .	119

<b>3. WYSIŁEK FIZYCZNY I TRENING KOBIET</b> – <i>Zdzisław Adach, Wioletta Brzenczek-Owczarzak</i> . . . . .	122
3.1. Wprowadzenie . . . . .	122
3.2. Skład ciała . . . . .	122
3.3. Metabolizm . . . . .	123
3.4. Układ ruchu . . . . .	123
3.5. Siła mięśniowa . . . . .	123
3.6. Trening siłowy . . . . .	124
3.7. Krew i układ krążenia . . . . .	124
3.8. Układ oddechowy . . . . .	124
3.9. Termoregulacja . . . . .	125
3.10. Wydolność tlenowa . . . . .	125
3.11. Cykl miesięczkowy a zdolność do wykonywania wysiłków wytrzymałościowych, szybkościowych i siłowych . . . . .	126
3.12. Trening wytrzymałościowy . . . . .	126
3.13. Zdolność do wykonywania wysiłków beztlenowych . . . . .	127
3.14. Trening a zaburzenia cyklu miesięczkowego . . . . .	127
3.15. Hormony a wysiłek . . . . .	128
3.16. Wysiłek fizyczny i trening kobiet w ciąży . . . . .	129
3.16.1. Rola hormonów płciowych w przebiegu ciąży . . . . .	130
3.16.1.1. Progesteron . . . . .	130
3.16.1.2. Estrogeny . . . . .	130
3.16.1.3. Relaksyna . . . . .	131
3.16.1.4. Somatomammotropina kosmówkowa . . . . .	131
3.16.2. Uwarunkowania wysiłku podczas ciąży . . . . .	131
3.16.2.1. Zmiany w składzie ciała oraz układzie ruchu . . . . .	131
3.16.2.2. Wydatek energetyczny oraz zapotrzebowanie na tlen . . . . .	132
3.16.2.3. Układ krążenia . . . . .	133
3.16.2.4. Termoregulacja matki i płodu . . . . .	133
3.16.3. Trening rekreacyjny w okresie ciąży i uzasadnienie jego stosowania . . . . .	134
3.16.4. Wpływ treningu w okresie ciąży na zdolność do wykonywania wysiłków długotrwałych (wydolność tlenową) . . . . .	135
3.16.5. Demineralizacja kości . . . . .	136
3.16.6. Karmienie piersią . . . . .	136
3.16.7. Cięża a sport wyczynowy . . . . .	136
3.16.8. Trening siłowy w okresie ciąży . . . . .	138
<b>4. WYSIŁEK FIZYCZNY I TRENING SPORTOWY W WIEKU ROZWOJOWYM</b> – <i>Marian Krawczyński</i> . . . . .	140
4.1. Rozwój ontogenetyczny (osobniczy) i czynniki rozwoju . . . . .	140
4.2. Granice normy auksologicznej (rozwojowej) . . . . .	141
4.3. Rozwój motoryczny w wieku rozwojowym . . . . .	142
4.4. Odrębności reakcji układu krążenia i układu oddechowego u dzieci na wysiłek fizyczny . . . . .	144
4.5. Sprawność i wydolność fizyczna u dzieci i młodzieży oraz metody ich oceny . . . . .	146
4.6. Wydolność fizyczna i trening sportowy a rozwój dziecka . . . . .	150
4.7. Wiek biologiczny a zwiększony wysiłek fizyczny . . . . .	154

<b>5. STARZENIE SIĘ A WYDOLNOŚĆ FIZYCZNA CZŁOWIEKA – Jerzy A. Żołądź, Joanna Majerczak, Krzysztof Duda</b>	157
5.1. Starzenie się a skład ciała	157
5.2. Starzenie się a masa mięśni szkieletowych	159
5.3. Starzenie się a siła i moc mięśni szkieletowych człowieka	160
5.4. Starzenie się a maksymalny pobór tlenu	161
5.5. Trening fizyczny osób w starszym wieku	162
5.5.1. Trening siłowy	162
5.5.2. Trening wytrzymałościowy	163
<b>6. WYSIŁEK FIZYCZNY W RÓŻNYCH TEMPERATURACH OTOCZENIA – Zbigniew Szyguta, Anna Lubkowska</b>	166
6.1. Wprowadzenie	166
6.2. Podstawy termoregulacji	166
6.3. Wysiłek w wysokiej temperaturze otoczenia	170
6.3.1. Następstwa odwodnienia	172
6.3.2. Następstwa hipertermii	172
6.3.3. Profilaktyka zaburzeń cieplnych i poprawa zdolności do wysiłku	173
6.4. Wysiłek w niskiej temperaturze otoczenia	175
6.4.1. Fizjologiczna reakcja na zimno	175
6.4.1.1. Reakcje naczyniowe	176
6.4.1.2. Termogeneza	176
6.4.2. Adaptacja do długotrwałej ekspozycji na zimno	177
6.4.3. Wysiłek w zimnym powietrzu	177
6.4.4. Wysiłek w zimnej wodzie	178
6.4.5. Zdolność do wysiłku w niskiej temperaturze otoczeniu	179
6.4.6. Zagrożenia związane z wysiłkiem w niskiej temperaturze otoczenia	180
6.4.7. Zapobieganie wychłodzeniu	181
<b>7. ZINTEGROWANA ODPOWIEDŹ USTROJU NA NIEDOTLENIE WYSOKOŚCIOWE – Bruno Grassi, Jerzy A. Żołądź</b>	183
7.1. Wprowadzenie	183
7.2. Zmiana ciśnienia tlenu wraz ze wzrostem wysokości nad poziom morza	184
7.3. Hipoksja i hiperwentylacja wysokościowa – wpływ aklimatyzacji	185
7.4. Wymiana tlenu w płucach na szczycie Mount Everestu	187
7.5. Przesunięcia krzywej dysocjacji oksyhemoglobiny	188
7.6. Konsekwencje kwasowo-zasadowe hipoksji wysokościowej	190
7.7. Wydolność fizyczna w warunkach wysokogórskich	192
7.7.1. Wysiłki krótkotrwałe o mocy maksymalnej	193
7.7.2. Wysiłki długotrwałe	193
7.8. Trening w warunkach wysokogórskich	195
<b>8. WYSIŁEK I SPORT OSÓB NIEPEŁNOSPRAWNYCH – Krzysztof Klukowski</b>	198
8.1. Wprowadzenie	198
8.2. Specyfika zdolności wysiłkowej w procesie usprawniania	198
8.3. Testy czynnościowe i ich odrębności w przypadku osób niepełnosprawnych	201
8.4. Wybrane zagadnienia sportu osób niepełnosprawnych	203

8.4.1.	Wydolność tlenowa osób z uszkodzeniem rdzenia kręgowego	204
8.4.2.	Rola i znaczenie wydolności beztlenowej w życiu codziennym oraz sportowej aktywności fizycznej osób z uszkodzeniem rdzenia kręgowego w odcinku szyjnym	205
8.4.3.	Metody oceny wydolności beztlenowej mięśni kończyn górnych osób z uszkodzeniem rdzenia kręgowego w warunkach laboratoryjnych	206
<b>9.</b>	<b>WPLYW NIEDOBORU AKTYWNOŚCI RUCHOWEJ (HIPOKINEZJI) NA USTRÓJ</b> – <i>Krzysztof Klukowski</i>	209
9.1.	Roztrenowanie i hipokinezja sportowców	209
9.1.1.	Zapobieganie zmniejszaniu się $VO_{2max}$ i tolerancji wysiłku	211
9.2.	Ograniczenie aktywności fizycznej i długotrwałe pozostawanie w pozycji leżącej przez osoby zdrowe	211
9.2.1.	Objętość i skład płynów ustrojowych	213
9.2.2.	Czynność układu krążenia	214
9.2.3.	Nietolerancja ortostatyczna	214
9.2.4.	Termoregulacja	214
9.2.5.	Mięśnie szkieletowe	215
9.2.6.	Metabolizm kości	215
9.2.7.	Tolerancja węglowodanów	215
9.2.8.	Układ odpornościowy	216
9.2.9.	Zdolność do wysiłków fizycznych	216
9.2.10.	Właściwości psychofizjologiczne	216
9.3.	Przebywanie w warunkach mikrogravitacji	216
9.4.	Hipokinezja a proces starzenia się	218
9.5.	Zapobieganie skutkom hipokinezji	218
<b>10.</b>	<b>WYSIŁEK FIZYCZNY W WYBRANYCH CHOROBAH</b> – <i>Anna Jegier</i>	220
10.1.	Wprowadzenie	220
10.2.	Aktywność fizyczna a choroba niedokrwienna serca	220
10.3.	Aktywność fizyczna a otyłość	225
10.4.	Aktywność fizyczna a cukrzyca	228
<b>11.</b>	<b>TRENING ZDROWOTNY</b> – <i>Anna Jegier</i>	235
11.1.	Wprowadzenie	235
11.2.	Trening zdrowotny – efekty fizjologiczne	237
11.3.	Trening zdrowotny – zalecenia	238
11.4.	Kwalifikacja do treningu zdrowotnego	240
11.5.	Trening zdrowotny – tolerancja wysiłku fizycznego i możliwość powikłań	241
<b>12.</b>	<b>WYSIŁEK FIZYCZNY A ŻYWIENIE</b> – <i>Irena Celejowa</i>	245
12.1.	Współczesne poglądy na żywienie w sporcie	245
12.2.	Specyfika żywienia sportowców w okresie treningów, zawodów i odnowy	254
12.3.	Posiłki podczas treningów i zawodów – pora spożywania, częstotliwość i rodzaj	257



<b>13. DOPING W SPORCIE</b> – <i>Jerzy Smorawiński, Andrzej Pokrywka</i> . . . . .	261
13.1. Wprowadzenie . . . . .	261
13.2. Definicja dopingu . . . . .	261
13.3. Reguły antydopingowe . . . . .	262
13.4. Analiza środków dopingujących . . . . .	263
13.5. Lista substancji i metod zabronionych w sporcie . . . . .	264
13.6. Medyczne aspekty stosowania środków dopingujących . . . . .	266
13.7. Steroidy anaboliczno-androgenne . . . . .	267
13.8. Erytropoetyna . . . . .	268
13.9. Insulina . . . . .	268
13.10. Hormon wzrostu . . . . .	269
13.11. Agoniści receptorów beta <sub>2</sub> -adrenergicznych . . . . .	269
13.12. Diuretyki . . . . .	270
13.13. Stymulanty . . . . .	270
13.14. Narkotyki . . . . .	271
13.15. Kanabinoidy . . . . .	271
13.16. Glikokortykosteroidy . . . . .	272
13.17. Beta-blokery (beta-adrenolityki) . . . . .	272
13.18. Nieświadome użycie substancji dopingujących . . . . .	273
<b>14. PODSTAWY GENETYKI WYSIŁKU FIZYCZNEGO</b> – <i>Małgorzata Żen- dzian-Piotrowska</i> . . . . .	277
14.1. Wprowadzenie . . . . .	277
14.2. Geny warunkujące zdolność organizmu do wysiłku fizycznego . . . . .	278
14.2.1. Gen ACTN3 . . . . .	279
14.2.2. Gen ACE . . . . .	280
14.2.3. Gen BDKRB2 . . . . .	280
14.2.4. Gen PPAR-alfa . . . . .	281
14.2.5. Gen MSTN . . . . .	281
14.3. Doping genowy . . . . .	282
<b>SKOROWIDZ</b> . . . . .	285