

Pod redakcją Prof. dr. hab. med. Władysława Z. Traczyka  
Prof. dr. hab. med. Andrzeja Trzebskiego

# **Fizjologia człowieka z elementami fizjologii stosowanej i klinicznej**

**2**

Warszawa 1990



PAŃSTWOWY ZAKŁAD WYDAWNICTW LEKARSKICH

# Spis treści

|                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>17. Fizjologia serca — B. Lewartowski</b>                                                            | 15 |
| 17.1. Elektrofizjologia serca                                                                           | 15 |
| 17.1.1. Elektrofizjologia komórkowa                                                                     | 15 |
| 17.1.1.1. Potencjał spoczynkowy                                                                         | 15 |
| 17.1.1.2. Potencjał czynnościowy                                                                        | 16 |
| 17.1.1.2.1. Mechanizmy jonowe potencjału czynnościowego                                                 | 17 |
| 17.1.1.2.2. Szybkość narastania i amplituda potencjału czynnościowego a wyjściowy potencjał spoczynkowy | 18 |
| 17.1.1.2.3. Przewodzenie stanu czynnego                                                                 | 18 |
| 17.1.2. Cykl pobudliwości mięśnia sercowego                                                             | 20 |
| 17.1.3. Struktura i elektrofizjologia układu przewodzącego serca                                        | 21 |
| 17.1.3.1. Mechanizm jonowy powolnej spoczynkowej depolaryzacji                                          | 27 |
| 17.1.3.2. Elektrofizjologia mięśnia komór                                                               | 27 |
| 17.1.4. Elektrofizjologia zewnątrzkomórkowa                                                             | 28 |
| 17.1.5. Elektrokardiografia                                                                             | 30 |
| 17.1.5.1. Odprowadzenia elektrokardiograficzne                                                          | 30 |
| 17.1.5.2. Depolaryzacja serca                                                                           | 31 |
| 17.1.5.3. Repolaryzacja serca (gradient komorowy)                                                       | 36 |
| 17.1.5.4. Okres refrakcji a zespół komorowy QRST                                                        | 37 |
| 17.1.5.5. Podstawy zastosowania EKG w diagnostyce                                                       | 38 |
| 17.1.6. Wektokardiografia                                                                               | 39 |
| 17.1.7. Podstawowe rodzaje i mechanizmy zaburzeń przewodzenia i rytmu                                   | 43 |
| 17.1.7.1. Zaburzenia przewodzenia                                                                       | 43 |
| 17.1.7.2. Zaburzenia rytmu                                                                              | 44 |
| 17.1.7.2.1. Mechanizmy zaburzeń rytmu                                                                   | 46 |
| 17.2. Skurcz mięśnia sercowego                                                                          | 51 |
| 17.2.1. Metabolizm $Ca^{2+}$ w mięśniu sercowym                                                         | 51 |
| 17.2.2. Sprężenie elektromechaniczne i zależność siły skurczu od rytmu pobudzeń                         | 55 |
| 17.2.3. Regulacja siły skurczu                                                                          | 57 |
| 17.2.4. Środki inotropowe i mechanizm ich działania                                                     | 58 |
| 17.2.4.1. Fizjologiczne lub endogenne dodatnie czynniki inotropowe                                      | 58 |
| 17.2.4.2. Egzogenne czynniki inotropowe dodatnie                                                        | 59 |
| 17.2.4.3. Fizjologiczne i endogenne czynniki inotropowe ujemne                                          | 59 |
| 17.2.5. Siła skurczu a szybkość i zakres skracania w mięśniu sercowym                                   | 60 |
| 17.3. Hemodynamika i mechanika serca                                                                    | 60 |
| 17.3.1. Hemodynamiczny cykl serca                                                                       | 60 |
| 17.3.2. Tony serca                                                                                      | 64 |
| 17.3.3. Metody badania cyklu hemodynamicznego serca                                                     | 64 |
| 17.3.3.1. Pomiary ciśnienia                                                                             | 64 |
| 17.3.3.2. Pomiary przepływu krwi                                                                        | 65 |
| 17.3.3.3. Metody badania morfologii i czynności serca w ustroju                                         | 67 |
| 17.3.3.3.1. Echokardiografia                                                                            | 67 |
| 17.3.3.3.2. Metody izotopowe                                                                            | 72 |
| 17.3.3.3.3. Cineangiokardiografia                                                                       | 72 |
| 17.3.4. Mechanika lewej komory serca                                                                    | 73 |
| 17.3.4.1. Napięcie i naprężenie ściany lewej komory. Obciążenie serca in situ                           | 73 |
| 17.3.5. Kurczliwość mięśnia sercowego in situ oraz metody jej badania                                   | 76 |

|           |                                                                                                                                |     |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 17.3.6.   | Niewydolne serce . . . . .                                                                                                     | 78  |
| 17.3.7.   | Praca serca . . . . .                                                                                                          | 79  |
| 17.4.     | Regulacja czynności serca . . . . .                                                                                            | 79  |
| 17.4.1.   | Unerwienie serca . . . . .                                                                                                     | 79  |
| 17.4.2.   | Wpływ układu współczulnego na czynność serca . . . . .                                                                         | 80  |
| 17.4.2.1. | Mechanizm dodatniego efektu chronotropowego oraz pobudzenia automatyzmu komórek mięśniowych przewodzących serca . . . . .      | 80  |
| 17.4.2.2. | Mechanizm zwiększania szybkości przewodzenia w węzle przedsionkowo-komorowym . . . . .                                         | 81  |
| 17.4.2.3. | Metaboliczne działanie amin katecholowych . . . . .                                                                            | 81  |
| 17.4.3.   | Wpływ układu przywspółczulnego na czynność serca . . . . .                                                                     | 81  |
| 17.4.3.1. | Komórkowy mechanizm działania acetylocholino . . . . .                                                                         | 82  |
| 17.4.4.   | Regulacja pojemności minutowej serca . . . . .                                                                                 | 83  |
| 17.5.     | Krążenie wieńcowe . . . . .                                                                                                    | 85  |
| 17.5.1.   | Morfologia czynnościowa naczyń wieńcowych . . . . .                                                                            | 85  |
| 17.5.1.1. | Obszary zaopatrywane przez tętnice wieńcowe . . . . .                                                                          | 85  |
| 17.5.1.2. | Mikrokrążenie i zespolenia tętniczo-żylne . . . . .                                                                            | 85  |
| 17.5.2.   | Metabolizm mięśnia sercowego i jego substraty energetyczne . . . . .                                                           | 85  |
| 17.5.3.   | Czynniki wpływające na wielkość przepływu wieńcowego . . . . .                                                                 | 87  |
| 18.       | Fizjologia krążenia krwi — A. Trzebski . . . . .                                                                               | 90  |
| 18.1.     | Znaczenie fizjologiczne układu krążenia krwi . . . . .                                                                         | 90  |
| 18.2.     | Organizacja czynnościowa układu krążenia krwi . . . . .                                                                        | 91  |
| 18.2.1.   | Ciśnienie krwi . . . . .                                                                                                       | 91  |
| 18.2.2.   | Prawo Poiseuille'a . . . . .                                                                                                   | 92  |
| 18.2.3.   | Zróźnicowanie czynnościowe układu krążenia krwi w przekroju podłużnym . . . . .                                                | 93  |
| 18.2.4.   | Zróźnicowanie strukturalne ściany naczyń krwionośnych . . . . .                                                                | 95  |
| 18.2.5.   | Zróźnicowanie czynnościowe układu naczyniowego w przekroju równoległym . . . . .                                               | 97  |
| 18.3.     | Właściwości biofizyczne ściany naczyń krwionośnych . . . . .                                                                   | 97  |
| 18.3.1.   | Napięcie i naprężenie ściany naczyniowej . . . . .                                                                             | 97  |
| 18.3.2.   | Rozciągliwość i sprężystość ściany naczyń krwionośnych . . . . .                                                               | 98  |
| 18.3.3.   | Ciśnienie krytyczne zamknięcia . . . . .                                                                                       | 101 |
| 18.4.     | Zasady hemodynamiki . . . . .                                                                                                  | 102 |
| 18.4.1.   | Zasada ciągłości przepływu . . . . .                                                                                           | 102 |
| 18.4.2.   | Opór przepływu i przepływność . . . . .                                                                                        | 103 |
| 18.4.3.   | Energia przepływu. Ciśnienie końcowe i boczne . . . . .                                                                        | 105 |
| 18.4.4.   | Przepływ krwi warstwowy i burzliwy . . . . .                                                                                   | 106 |
| 18.4.5.   | Lepkość efektywna krwi i osiowa akumulacja krwinek . . . . .                                                                   | 108 |
| 18.4.6.   | Zjawisko zbierania osocza . . . . .                                                                                            | 109 |
| 18.4.7.   | Efekt sigma . . . . .                                                                                                          | 110 |
| 18.4.8.   | Wpływ rozciągliwości ściany naczyniowej na przepływ krwi . . . . .                                                             | 110 |
| 18.4.9.   | Autoregulacja przepływu krwi . . . . .                                                                                         | 110 |
| 18.4.9.1. | Przystosowanie strukturalne naczyń krwionośnych do długotrwałych zmian ciśnienia tętniczego i podaży tlenu do tkanek . . . . . | 112 |
| 18.4.10.  | Teoria powietrzni . . . . .                                                                                                    | 113 |
| 18.4.11.  | Tętno tętnicze i impedancja tętnicza . . . . .                                                                                 | 114 |
| 18.5.     | Wpływ siły ciężkości na krążenie krwi . . . . .                                                                                | 115 |
| 18.6.     | Przepływ tętniczy . . . . .                                                                                                    | 118 |
| 18.6.1.   | Ciśnienie tętnicze chwilowe i średnie . . . . .                                                                                | 118 |
| 18.6.2.   | Czynniki decydujące o wysokości średniego ciśnienia tętniczego . . . . .                                                       | 118 |
| 18.6.3.   | Czynniki decydujące o wysokości amplitudy skurczowo-rozkurczowej ciśnienia tętniczego . . . . .                                | 120 |
| 18.6.4.   | Rozprzestrzenianie się fali tętna tętniczego . . . . .                                                                         | 122 |
| 18.6.5.   | Tętno tętnicze centralne i obwodowe . . . . .                                                                                  | 124 |
| 18.6.6.   | Chwilowy pulsacyjny przepływ krwi w tętnicach . . . . .                                                                        | 126 |
| 18.6.7.   | Znaczenie czynnościowe układu tętniczego . . . . .                                                                             | 127 |
| 18.7.     | Mikrokrążenie . . . . .                                                                                                        | 128 |
| 18.7.1.   | Przepływ krwi w naczyniach włosowatych . . . . .                                                                               | 128 |



|            |                                                                                                                                                                        |     |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 18.7.2.    | Dyfuzja przez ścianę naczyń włosowatych . . . . .                                                                                                                      | 131 |
| 18.7.3.    | Przesuwanie się płynu przez ścianę naczyń włosowatych. Filtracja i reabsorpcja . . . . .                                                                               | 133 |
| 18.7.4.    | Czynniki wpływające na wzajemną równowagę procesów filtracji i reabsorpcji . . . . .                                                                                   | 135 |
| 18.8.      | Powstawanie i krążenie chłonki . . . . .                                                                                                                               | 136 |
| 18.8.1.    | Mechanizmy fizjologiczne obrzęku . . . . .                                                                                                                             | 137 |
| 18.9.      | Krążenie żyłne . . . . .                                                                                                                                               | 139 |
| 18.9.1.    | Gradient ciśnienia w układzie żylnym . . . . .                                                                                                                         | 139 |
| 18.9.2.    | Pompa mięśniowa . . . . .                                                                                                                                              | 140 |
| 18.9.3.    | Tętno żyłne . . . . .                                                                                                                                                  | 141 |
| 18.10.     | Regulacja miejscowa i humoralna przepływu krwi . . . . .                                                                                                               | 142 |
| 18.10.1.   | Czynne napięcie ściany naczyń krwionośnych i rezerwa przepływu . . . . .                                                                                               | 142 |
| 18.10.2.   | Ogólne zasady miejscowej regulacji przepływu krwi . . . . .                                                                                                            | 143 |
| 18.10.3.   | Czynność wydzielnicza komórek śródbłonna naczyniowego w regulacji napięcia mięśni gładkich naczyń krwionośnych i przepływu krwi . . . . .                              | 144 |
| 18.10.3.1. | Eikozanoidy — prostacyklina i prostaglandyny . . . . .                                                                                                                 | 144 |
| 18.10.3.2. | Śródbłonkowe czynniki aktywne naczyniowo: śródbłonkowy czynnik rozluźniający mięśnie gładkie naczyń (EDRF) i śródbłonkowe czynniki zwężające naczynia (EDCF) . . . . . | 146 |
| 18.11.     | Neuroregulacja krążenia krwi . . . . .                                                                                                                                 | 149 |
| 18.11.1.   | Neurogenne napięcie naczyń krwionośnych . . . . .                                                                                                                      | 149 |
| 18.11.2.   | Unerwienie rozszerzające naczynia krwionośne . . . . .                                                                                                                 | 149 |
| 18.11.3.   | Odruch z baroreceptorów tętniczych . . . . .                                                                                                                           | 150 |
| 18.11.3.1. | Odbarczenie baroreceptorów tętniczych . . . . .                                                                                                                        | 154 |
| 18.11.4.   | Znaczenie odruchu z baroreceptorów tętniczych . . . . .                                                                                                                | 155 |
| 18.11.5.   | Odruchy z receptorów serca i z mechanoreceptorów obszaru sercowo-płucnego . . . . .                                                                                    | 156 |
| 18.11.6.   | Rola fizjologiczna odruchów z receptorów serca i z receptorów sercowo-płucnych . . . . .                                                                               | 159 |
| 18.11.7.   | Reakcja ortostatyczna i wpływ stanu nieważkości na układ krążenia . . . . .                                                                                            | 161 |
| 18.11.8.   | Odruch krążeniowy z chemoreceptorów tętniczych . . . . .                                                                                                               | 162 |
| 18.11.9.   | Odpowiedź odruchowa na nurkowanie . . . . .                                                                                                                            | 165 |
| 18.11.10.  | Niemiarowość oddechowa (zatokowa) rytmu serca u człowieka . . . . .                                                                                                    | 166 |
| 18.11.11.  | Udział wyższych struktur mózgowych w neuroregulacji krążenia krwi . . . . .                                                                                            | 167 |
| 19.        | Regulacja przepływu krwi w niektórych obszarach naczyniowych i ogólna regulacja ciśnienia tętniczego krwi — A. Trzebski . . . . .                                      | 169 |
| 19.1.      | Krążenie płucne krwi . . . . .                                                                                                                                         | 169 |
| 19.1.1.    | Hemodynamika krążenia płucnego . . . . .                                                                                                                               | 169 |
| 19.1.2.    | Wpływ ruchów oddechowych na krążenie płucne . . . . .                                                                                                                  | 171 |
| 19.1.3.    | Naczynia płucne jako zbiornik krwi . . . . .                                                                                                                           | 172 |
| 19.1.4.    | Mikrokrążenie płucne . . . . .                                                                                                                                         | 172 |
| 19.1.5.    | Regulacja humoralna przepływu płucnego . . . . .                                                                                                                       | 173 |
| 19.1.6.    | Regulacja nerwowa czynności naczyń płucnych . . . . .                                                                                                                  | 174 |
| 19.1.7.    | Krążenie płucne jako filtr krwi . . . . .                                                                                                                              | 175 |
| 19.1.8.    | Rola metaboliczna krążenia płucnego . . . . .                                                                                                                          | 175 |
| 19.2.      | Krążenie mózgowe . . . . .                                                                                                                                             | 176 |
| 19.2.1.    | Autoregulacja przepływu mózgowego . . . . .                                                                                                                            | 176 |
| 19.2.2.    | Bariera krew — mózg . . . . .                                                                                                                                          | 177 |
| 19.2.2.1.  | Okolokomorowe obszary mózgu pozbawione bariery krew — mózg . . . . .                                                                                                   | 178 |
| 19.2.3.    | Obrzęk mózgu . . . . .                                                                                                                                                 | 180 |
| 19.2.4.    | Regulacja humoralna i nerwowa przepływu mózgowego . . . . .                                                                                                            | 180 |
| 19.2.5.    | Nieinwazyjne metody pomiaru przepływu mózgowego u człowieka . . . . .                                                                                                  | 182 |
| 19.3.      | Regulacja przepływu krwi w mięśniach szkieletowych . . . . .                                                                                                           | 186 |
| 19.3.1.    | Regulacja nerwowa krążenia w mięśniach szkieletowych . . . . .                                                                                                         | 186 |
| 19.3.2.    | Przekrwienie czynnościowe i regulacja metaboliczna przepływu mięśniowego . . . . .                                                                                     | 189 |

|            |                                                                                                                                          |            |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 19.4.      | Przepływ krwi skórny . . . . .                                                                                                           | 189        |
| 19.5.      | Zmienność i regulacja ciśnienia tętniczego krwi u człowieka . . . . .                                                                    | 191        |
| <b>20.</b> | <b>Fizjologia oddychania — A. Trzebski . . . . .</b>                                                                                     | <b>195</b> |
| 20.1.      | Główne zasady czynności układu oddechowego . . . . .                                                                                     | 195        |
| 20.2.      | Mechanika oddychania . . . . .                                                                                                           | 197        |
| 20.2.1.    | Wdech . . . . .                                                                                                                          | 197        |
| 20.2.2.    | Wydech . . . . .                                                                                                                         | 198        |
| 20.2.3.    | Wentylacja płuc . . . . .                                                                                                                | 199        |
| 20.2.4.    | Opory oddechowe . . . . .                                                                                                                | 203        |
| 20.2.5.    | Opór dróg oddechowych . . . . .                                                                                                          | 205        |
| 20.2.6.    | Podział czynnościowy i rola fizjologiczna dróg oddechowych . . . . .                                                                     | 208        |
| 20.2.7.    | Anatomiczna i fizjologiczna przestrzeń nieużyteczna . . . . .                                                                            | 209        |
| 20.2.8.    | Resuscytacja . . . . .                                                                                                                   | 211        |
| 20.2.9.    | Nerwowa i humoralna regulacja czynności mięśni gładkich dróg oddechowych . . . . .                                                       | 211        |
| 20.2.10.   | Ochronna rola dróg oddechowych . . . . .                                                                                                 | 213        |
| 20.2.11.   | Powstawanie ujemnego ciśnienia w klatce piersiowej . . . . .                                                                             | 214        |
| 20.2.12.   | Napięcie powierzchniowe pęcherzyków płucnych . . . . .                                                                                   | 216        |
| 20.2.13.   | Czynnik powierzchniowy płuc (surfaktant) i współzależność pomiędzy siłami napięcia powierzchniowego a siłami sprężystości płuc . . . . . | 217        |
| 20.2.14.   | Opór sprężysty i podatność płuc . . . . .                                                                                                | 219        |
| 20.2.15.   | Opór sprężysty oraz podatność ścian klatki piersiowej i całego układu oddechowego . . . . .                                              | 220        |
| 20.2.16.   | Praca oddechowa . . . . .                                                                                                                | 222        |
| 20.3.      | Wymiana gazowa w płucach . . . . .                                                                                                       | 223        |
| 20.3.1.    | Skład powietrza pęcherzykowego . . . . .                                                                                                 | 223        |
| 20.3.2.    | Równanie uśrednionego powietrza pęcherzykowego . . . . .                                                                                 | 225        |
| 20.3.3.    | Miejscowa wentylacja płuc . . . . .                                                                                                      | 226        |
| 20.3.4.    | Sztuczna wentylacja płuc oscylacjami o wysokiej częstotliwości (HFO) . . . . .                                                           | 228        |
| 20.3.5.    | Mechanizmy wymiany gazowej w płucach . . . . .                                                                                           | 229        |
| 20.3.5.1.  | Zróznicowanie stosunku wentylacji do przepływu krwi w różnych częściach płuc . . . . .                                                   | 230        |
| 20.3.5.2.  | Przeciek płucny . . . . .                                                                                                                | 233        |
| 20.3.6.    | Dyfuzja gazów w płucach . . . . .                                                                                                        | 234        |
| 20.4.      | Neurogeniza oddychania . . . . .                                                                                                         | 236        |
| 20.4.1.    | Cykl oddechowy . . . . .                                                                                                                 | 236        |
| 20.4.2.    | Ośrodkowy generator wzorca oddechowego . . . . .                                                                                         | 237        |
| 20.4.3.    | Klasyczny model przetwarzania ośrodkowego napędu wdechowego (CIE) w rytmiczną aktywność oddechową . . . . .                              | 238        |
| 20.4.4.    | Neurony oddechowe . . . . .                                                                                                              | 242        |
| 20.4.5.    | Neuronalny model rytmogenezy oddychania . . . . .                                                                                        | 244        |
| 20.5.      | Odruchy wychodzące z układu oddechowego . . . . .                                                                                        | 247        |
| 20.5.1.    | Receptory dróg oddechowych i płuc . . . . .                                                                                              | 247        |
| 20.5.1.1.  | Wolno adaptujące mechanoreceptory płuc (SAR) . . . . .                                                                                   | 247        |
| 20.5.1.2.  | Receptory szybko adaptujące płuc (RAR) . . . . .                                                                                         | 248        |
| 20.5.1.3.  | Receptory oskrzelowe typu C . . . . .                                                                                                    | 248        |
| 20.5.1.4.  | Receptory J . . . . .                                                                                                                    | 249        |
| 20.5.2.    | Odruchy z receptorów dróg oddechowych i płuc . . . . .                                                                                   | 249        |
| 20.5.2.1.  | Odruch Heringa-Breuera . . . . .                                                                                                         | 249        |
| 20.5.2.2.  | Odruch z receptorów szybko adaptujących płuc (RAR) . . . . .                                                                             | 250        |
| 20.5.2.3.  | Obronne odruchy oddechowe . . . . .                                                                                                      | 251        |
| 20.5.3.    | Odruchowa regulacja motoneuronów oddechowych na poziomie rdzenia kręgowego . . . . .                                                     | 253        |
| 20.5.4.    | Odruchy oddechowe ze ścian klatki piersiowej . . . . .                                                                                   | 254        |
| 20.5.5.    | Nieswoiste odruchy oddechowe . . . . .                                                                                                   | 254        |



|             |                                                                                                     |     |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 20.5.6.     | Znaczenie krtani jako rytmicznie zmiennego oporu dróg oddechowych . . . . .                         | 255 |
| 20.5.7.     | Czynność oddechu podczas snu i zespół bezdechu sennego . . . . .                                    | 255 |
| 20.5.8.     | Nicoddechowa rola układu oddechowego . . . . .                                                      | 256 |
| 20.6.       | Chemiczna regulacja oddychania . . . . .                                                            | 258 |
| 20.6.1.     | Wpływ CO <sub>2</sub> na wentylację płuc i obszary chemowrażliwe mózgu . . . . .                    | 259 |
| 20.6.2.     | Obwodowe chemoreceptory tętnicze . . . . .                                                          | 261 |
| 20.6.3.     | Odruch oddechowy z chemoreceptorów tętniczych . . . . .                                             | 265 |
| 20.6.4.     | Hamujące działanie hipoksji na neurony oddechowe . . . . .                                          | 266 |
| 20.6.5.     | Wzajemnie potęgujące działanie hipoksji i hiperkapni w warunkach niewydolności oddechowej . . . . . | 267 |
| 20.6.6.     | Oddychanie periodyczne . . . . .                                                                    | 268 |
| 21.         | <b>Układ trawienny — S. Konturek . . . . .</b>                                                      | 271 |
| 21.1.       | Motoryka przewodu pokarmowego . . . . .                                                             | 271 |
| 21.1.1.     | Żucie . . . . .                                                                                     | 272 |
| 21.1.2.     | Polykanie . . . . .                                                                                 | 273 |
| 21.1.3.     | Mechanizmy zamykające wpust . . . . .                                                               | 277 |
| 21.1.4.     | Motoryka żołądka . . . . .                                                                          | 278 |
| 21.1.4.1.   | Aktywność skurczowa żołądka . . . . .                                                               | 279 |
| 21.1.4.2.   | Aktywność elektryczna żołądka . . . . .                                                             | 280 |
| 21.1.4.3.   | Regulacja aktywności skurczowej żołądka . . . . .                                                   | 282 |
| 21.1.4.4.   | Opróżnianie żołądka . . . . .                                                                       | 283 |
| 21.1.5.     | Motoryka jelita cienkiego . . . . .                                                                 | 284 |
| 21.1.5.1.   | Aktywność skurczowa jelita cienkiego . . . . .                                                      | 285 |
| 21.1.5.2.   | Aktywność elektryczna jelita cienkiego . . . . .                                                    | 286 |
| 21.1.5.3.   | Regulacja aktywności motorycznej jelit . . . . .                                                    | 287 |
| 21.1.6.     | Zwieracz krętniczko-kątnicy . . . . .                                                               | 289 |
| 21.1.7.     | Motoryka jelita grubego . . . . .                                                                   | 289 |
| 21.1.7.1.   | Aktywność skurczowa i elektryczna jelita grubego . . . . .                                          | 289 |
| 21.1.8.     | Motoryczne mechanizmy odbytniczo-prostnicze . . . . .                                               | 291 |
| 21.2.       | Czynności wydzielnicze gruczołów trawiennych . . . . .                                              | 292 |
| 21.2.1.     | Wydzielanie śliny . . . . .                                                                         | 293 |
| 21.2.1.1.   | Budowa gruczołów ślinowych . . . . .                                                                | 293 |
| 21.2.1.2.   | Objętość i skład śliny . . . . .                                                                    | 294 |
| 21.2.1.3.   | Mechanizmy wydzielnicze śliny . . . . .                                                             | 295 |
| 21.2.1.4.   | Regulacja wydzielania śliny . . . . .                                                               | 296 |
| 21.2.2.     | Wydzielanie żołądkowe . . . . .                                                                     | 297 |
| 21.2.2.1.   | Budowa błony śluzowej żołądka . . . . .                                                             | 297 |
| 21.2.2.2.   | Bariera śluzówkowa żołądka . . . . .                                                                | 299 |
| 21.2.2.3.   | Metody badania wydzielania żołądkowego . . . . .                                                    | 300 |
| 21.2.2.4.   | Skład i wydzielanie soku żołądkowego . . . . .                                                      | 301 |
| 21.2.2.5.   | Regulacja wydzielania żołądkowego . . . . .                                                         | 306 |
| 21.2.2.5.1. | Pobudzanie wydzielania żołądkowego . . . . .                                                        | 310 |
| 21.2.2.5.2. | Hamowanie wydzielania żołądkowego . . . . .                                                         | 312 |
| 21.2.3.     | Wydzielanie trzustkowe . . . . .                                                                    | 313 |
| 21.2.3.1.   | Budowa trzustki . . . . .                                                                           | 313 |
| 21.2.3.2.   | Metody badania wydzielania trzustkowego . . . . .                                                   | 314 |
| 21.2.3.3.   | Skład soku trzustkowego . . . . .                                                                   | 315 |
| 21.2.3.4.   | Mechanizm wydzielania elektrolitów . . . . .                                                        | 316 |
| 21.2.3.5.   | Mechanizm wydzielania enzymów . . . . .                                                             | 318 |
| 21.2.3.6.   | Regulacja wydzielania trzustkowego . . . . .                                                        | 318 |
| 21.2.3.7.   | Interakcja wewnątrz- i zewnątrzwydzielnicza trzustki . . . . .                                      | 320 |
| 21.2.4.     | Wydzielanie jelitowe . . . . .                                                                      | 321 |
| 21.2.4.1.   | Budowa błony śluzowej jelita cienkiego . . . . .                                                    | 321 |
| 21.2.4.2.   | Wydzielanie gruczołów dwunastniczych . . . . .                                                      | 323 |
| 21.2.4.3.   | Wydzielanie jelita cienkiego . . . . .                                                              | 324 |
| 21.2.4.4.   | Wydzielanie jelita grubego . . . . .                                                                | 324 |
| 21.2.4.5.   | Czynności dokrewne jelita cienkiego . . . . .                                                       | 324 |

|           |                                                                                                                           |     |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 21.3.     | Trawienie i wchłanianie . . . . .                                                                                         | 327 |
| 21.3.1.   | Podstawy strukturalne wchłaniania . . . . .                                                                               | 327 |
| 21.3.2.   | Procesy transportu jelitowego . . . . .                                                                                   | 328 |
| 21.3.3.   | Wchłanianie wody i elektrolitów . . . . .                                                                                 | 328 |
| 21.3.4.   | Wchłanianie żelaza . . . . .                                                                                              | 331 |
| 21.3.5.   | Wchłanianie witamin rozpuszczalnych w wodzie . . . . .                                                                    | 332 |
| 21.3.6.   | Trawienie i wchłanianie węglowodanów . . . . .                                                                            | 333 |
| 21.3.7.   | Trawienie i wchłanianie białek . . . . .                                                                                  | 335 |
| 21.3.8.   | Trawienie i wchłanianie tłuszczów . . . . .                                                                               | 337 |
| 21.3.9.   | Wchłanianie cholesterolu i witamin rozpuszczalnych w tłuszczach . . . . .                                                 | 339 |
| 21.3.10.  | Wchłanianie w jelicie grubym . . . . .                                                                                    | 340 |
| 21.3.11.  | Formowanie kału . . . . .                                                                                                 | 342 |
| 22.       | Czynności wątroby — <i>S. Konturek</i> . . . . .                                                                          | 343 |
| 22.1.     | Budowa wątroby . . . . .                                                                                                  | 343 |
| 22.2.     | Wydzielanie żółci . . . . .                                                                                               | 344 |
| 22.2.1.   | Mechanizmy wydzielania żółci . . . . .                                                                                    | 348 |
| 22.2.2.   | Regulacja wydzielania żółci . . . . .                                                                                     | 349 |
| 22.3.     | Czynności wątrobowego układu krążenia . . . . .                                                                           | 350 |
| 22.4.     | Czynności metaboliczne wątroby . . . . .                                                                                  | 351 |
| 22.5.     | Inne czynności wątroby . . . . .                                                                                          | 352 |
| 22.6.     | Próby czynnościowe wątroby . . . . .                                                                                      | 352 |
| 22.7.     | Pęcherzyk żółciowy i drogi żółciowe . . . . .                                                                             | 353 |
| 23.       | Regulacja gospodarki wodno-elektrolitowej organizmu — <i>S. Kozłowski, E. Szczepańska-Sadowska</i> . . . . .              | 354 |
| 23.1.     | Objętość, rozmieszczenie i skład elektrolitowy płynów ustrojowych . . . . .                                               | 354 |
| 23.1.1.   | Objętość całkowitej wody ustrojowej . . . . .                                                                             | 354 |
| 23.1.2.   | Przestrzenie wodne organizmu . . . . .                                                                                    | 354 |
| 23.1.3.   | Zasada pomiaru objętości płynów ustrojowych . . . . .                                                                     | 356 |
| 23.1.4.   | Skład elektrolitowy płynów ustrojowych . . . . .                                                                          | 356 |
| 23.1.5.   | Osmolalność płynów ustrojowych . . . . .                                                                                  | 359 |
| 23.2.     | Mechanizmy kontroli fizjologicznej bilansu wodnego i elektrolitowego . . . . .                                            | 360 |
| 23.2.1.   | Równowaga bilansu wodnego . . . . .                                                                                       | 361 |
| 23.2.2.   | Regulacja równowagi bilansu wodnego . . . . .                                                                             | 362 |
| 23.2.3.   | Regulacja równowagi bilansu sodowego . . . . .                                                                            | 367 |
| 23.2.4.   | Regulacja równowagi bilansu potasowego . . . . .                                                                          | 368 |
| 23.2.5.   | Regulacja równowagi bilansu wapniowego . . . . .                                                                          | 369 |
| 23.3.     | Wewnątrzuustrojowe przemieszczenia wody i elektrolitów oraz mechanizmy ich kontroli fizjologicznej . . . . .              | 369 |
| 23.3.1.   | Mechanizmy utrzymujące stałą objętość płynu wewnątrznaczyniowego . . . . .                                                | 369 |
| 23.3.2.   | Mechanizmy utrzymujące stałą objętość płynu śródmiąższowego . . . . .                                                     | 370 |
| 23.3.3.   | Mechanizmy odpowiedzialne za utrzymanie stałej objętości płynu zewnątrzkomórkowego ośrodkowego układu nerwowego . . . . . | 371 |
| 23.3.4.   | Mechanizmy utrzymujące stałą objętość komórek . . . . .                                                                   | 372 |
| 24.       | Czynność nerek i wydalanie moczu — <i>J. Sadowski</i> . . . . .                                                           | 376 |
| 24.1.     | Wstęp . . . . .                                                                                                           | 376 |
| 24.2.     | Anatomia czynnościowa nerki: powiązania struktury i funkcji . . . . .                                                     | 376 |
| 24.3.     | Metody badania czynności nerek . . . . .                                                                                  | 380 |
| 24.3.1.   | Metody badania poszczególnych nefronów . . . . .                                                                          | 381 |
| 24.3.2.   | Metody badania czynności całej nerki . . . . .                                                                            | 383 |
| 24.3.2.1. | Badania klirensowe. Oznaczanie filtracji kłębuszkowej (GFR) . . . . .                                                     | 383 |
| 24.4.     | Krążenie krwi w nerkach . . . . .                                                                                         | 385 |
| 24.4.1.   | Wielkość przepływu krwi . . . . .                                                                                         | 385 |
| 24.4.2.   | Pomiar przepływu krwi . . . . .                                                                                           | 385 |
| 24.4.3.   | Współczynnik ekstrakcji PAH i pojęcie efektywnego RPF . . . . .                                                           | 386 |
| 24.4.4.   | Ukrwienie rdzenia nerki . . . . .                                                                                         | 387 |



|            |                                                                                           |     |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 24.4.5.    | Autoregulacja przepływu krwi przez nerki . . . . .                                        | 387 |
| 24.5.      | Filtracja kłębuszkowa . . . . .                                                           | 389 |
| 24.5.1.    | Błona filtracyjna . . . . .                                                               | 389 |
| 24.5.2.    | Siły napędowe filtracji kłębuszkowej . . . . .                                            | 390 |
| 24.5.3.    | Czynniki stabilizujące i modyfikujące filtrację . . . . .                                 | 391 |
| 24.5.4.    | Charakterystyka przesączu kłębuszkowego . . . . .                                         | 392 |
| 24.6.      | Transport kanalikowy elektrolitów i wody . . . . .                                        | 393 |
| 24.6.1.    | Uwagi wstępne . . . . .                                                                   | 393 |
| 24.6.2.    | Kanalik bliższy . . . . .                                                                 | 393 |
| 24.6.2.1.  | Równowaga kłębuszkowo-kanalikowa . . . . .                                                | 394 |
| 24.6.2.2.  | Mechanizm resorpcji płynu w kanalik bliższym . . . . .                                    | 394 |
| 24.6.3.    | Kanalik dalszy i zbiorczy . . . . .                                                       | 396 |
| 24.7.      | Mechanizm zagęszczania i rozcieńczania moczu . . . . .                                    | 398 |
| 24.7.1.    | Ilościowe ujęcie rozcieńczania i zagęszczania moczu . . . . .                             | 400 |
| 24.8.      | Transport kanalikowy słabych elektrolitów i substancji nieelektrolitowych . . . . .       | 402 |
| 24.8.1.    | Głukoza . . . . .                                                                         | 402 |
| 24.8.2.    | Mocznik . . . . .                                                                         | 403 |
| 24.8.3.    | Aminokwasy . . . . .                                                                      | 403 |
| 24.8.4.    | Inne substancje . . . . .                                                                 | 403 |
| 24.9.      | Rola w regulacji równowagi kwasowo-zasadowej ustroju . . . . .                            | 403 |
| 24.9.1.    | Resorpcja $\text{HCO}_3^-$ i wydzielanie $\text{H}^+$ w kanalik krętym bliższym . . . . . | 404 |
| 24.9.2.    | Wydalanie jonu wodorowego w formie zbuforowanej . . . . .                                 | 405 |
| 24.9.2.1.  | Wydalanie kwasności miareczkowej . . . . .                                                | 405 |
| 24.9.2.2.  | Wydalanie jonu wodorowego w połączeniu z amoniakiem . . . . .                             | 405 |
| 24.10.     | Czynność wewnątrzwydzielnicza nerek. Metabolizm tkanki nerkowej . . . . .                 | 406 |
| 24.10.1.   | Udział nerki w procesach wydzielania wewnętrznego . . . . .                               | 407 |
| 24.10.1.1. | Renina . . . . .                                                                          | 407 |
| 24.10.1.2. | Erytropoetyna . . . . .                                                                   | 408 |
| 24.10.1.3. | Prostaglandyny . . . . .                                                                  | 409 |
| 24.10.2.   | Niektóre cechy metabolizmu tkanki nerkowej . . . . .                                      | 409 |
| 24.11.     | Drogi moczowe i wydalanie moczu . . . . .                                                 | 410 |
| 24.11.1.   | Moczowody . . . . .                                                                       | 410 |
| 25.        | <b>Fizjologia rozrodu — T. Pajszczyk-Kieszkiewicz</b> . . . . .                           | 411 |
| 25.1.      | Spermatogeneza . . . . .                                                                  | 411 |
| 25.2.      | Cykl miesięczkowy, owulacja . . . . .                                                     | 413 |
| 25.2.1.    | Wydzielanie hormonów w cyklu miesięczkowym . . . . .                                      | 413 |
| 25.2.1.1.  | Luliberyna (LH–RH) i gonadotropiny . . . . .                                              | 413 |
| 25.2.1.2.  | Hormony steroidowe . . . . .                                                              | 416 |
| 25.2.2.    | Jajnik . . . . .                                                                          | 418 |
| 25.2.3.    | Błona śluzowa macicy . . . . .                                                            | 419 |
| 25.2.4.    | Miesiączka . . . . .                                                                      | 420 |
| 25.2.5.    | Zmiany w narządach płciowych . . . . .                                                    | 421 |
| 25.3.      | Zapłodnienie i zagnieżdżenie . . . . .                                                    | 421 |
| 25.4.      | Rozwój łożyska i wymiana matka – płód . . . . .                                           | 424 |
| 25.4.1.    | Powstawanie łożyska . . . . .                                                             | 424 |
| 25.4.2.    | Płyn owodniowy . . . . .                                                                  | 426 |
| 25.5.      | Rola hormonalna jednostki płodowo-łożyskowej . . . . .                                    | 429 |
| 25.5.1.    | Hormony białkowe . . . . .                                                                | 429 |
| 25.5.2.    | Hormony steroidowe . . . . .                                                              | 430 |
| 25.5.3.    | Biosynteza progesteronu w łożysku . . . . .                                               | 432 |
| 25.5.4.    | Biosynteza i metabolizm estrogenów . . . . .                                              | 433 |
| 25.6.      | Rozwój płodu . . . . .                                                                    | 433 |
| 25.6.1.    | Metabolizm płodu . . . . .                                                                | 435 |
| 25.7.      | Zmiany w organizmie kobiety ciężarnej . . . . .                                           | 437 |
| 25.7.1.    | Zmiany objętości krwi krążącej i jej składu . . . . .                                     | 437 |
| 25.7.2.    | Zmiany hemodynamiczne . . . . .                                                           | 438 |
| 25.7.3.    | Zmiany w układzie oddechowym . . . . .                                                    | 438 |
| 25.7.4.    | Zmiany w płynach ustrojowych i czynności nerek . . . . .                                  | 438 |



|                                                                                                |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 25.7.5. Metabolizm węglowodanów w ciąży . . . . .                                              | 438        |
| 25.8. Poród i połóg . . . . .                                                                  | 439        |
| 25.9. Pokwitanie . . . . .                                                                     | 441        |
| 25.9.1. Okres okołoporodowy . . . . .                                                          | 441        |
| 25.9.1.1. Gonadotropiny . . . . .                                                              | 442        |
| 25.9.1.2. Hormony steroidowe . . . . .                                                         | 442        |
| 25.9.2. Przebieg pokwitania . . . . .                                                          | 442        |
| 25.10. Menopauza . . . . .                                                                     | 443        |
| 25.10.1. Mechanizm menopauzy . . . . .                                                         | 443        |
| 25.10.2. Objawy menopauzy . . . . .                                                            | 444        |
| <b>26. Wysiłek fizyczny i adaptacja do środowiska naturalnego — S. Kozłowski . . . . .</b>     | <b>445</b> |
| 26.1. Klasyfikacja fizjologiczna wysiłków fizycznych . . . . .                                 | 445        |
| 26.2. Źródła energii do pracy mięśniowej . . . . .                                             | 446        |
| 26.3. Zaopatrzenie mięśni podczas pracy w substraty energetyczne . . . . .                     | 447        |
| 26.4. Regulacja neurohormonalna metabolizmu wysiłkowego . . . . .                              | 451        |
| 26.5. Metabolizm w okresie powysiłkowym . . . . .                                              | 451        |
| 26.6. Zmiany składu chemicznego krwi podczas wysiłków fizycznych . . . . .                     | 452        |
| 26.7. Energetyka pracy . . . . .                                                               | 453        |
| 26.8. Adaptacja organizmu do wysiłku fizycznego . . . . .                                      | 454        |
| 26.8.1. Czynność układu krążenia podczas wysiłków fizycznych . . . . .                         | 455        |
| 26.8.2. Zmiany objętości minutowej serca . . . . .                                             | 456        |
| 26.8.3. Zmiany różnicy tętniczo-żylną zawartości tlenu we krwi . . . . .                       | 457        |
| 26.8.4. Zmiany miejscowego przepływu krwi . . . . .                                            | 458        |
| 26.8.5. Ciśnienie tętnicze krwi . . . . .                                                      | 460        |
| 26.8.6. Mechanizm wysiłkowych zmian czynności układu krążenia . . . . .                        | 461        |
| 26.8.7. Czynność układu oddechowego podczas wysiłków fizycznych . . . . .                      | 462        |
| 26.8.8. Mechanizm wysiłkowych zmian czynności układu oddechowego . . . . .                     | 463        |
| 26.8.9. Skład gazowy i pH krwi podczas wysiłków fizycznych . . . . .                           | 463        |
| 26.8.10. Czynność układu pokarmowego podczas wysiłków fizycznych . . . . .                     | 463        |
| 26.8.11. Czynność nerek i gospodarka wodno-elektrolitowa podczas wysiłków fizycznych . . . . . | 464        |
| 26.8.12. Układ wydzielania wewnętrznego podczas wysiłku fizycznego . . . . .                   | 464        |
| 26.8.13. Mechanizm glukostatyczny w kontroli metabolizmu wysiłkowego . . . . .                 | 466        |
| 26.9. Wysiłki statyczne . . . . .                                                              | 467        |
| 26.10. Analiza obrazu adaptacji wysiłkowej ustroju w diagnostyce czynnościowej . . . . .       | 469        |
| 26.11. Wydolność fizyczna i kryteria jej oceny . . . . .                                       | 469        |
| 26.12. Bezczynność ruchowa (hipokineza) i jej skutki fizjologiczne . . . . .                   | 471        |
| 26.13. Nasiloną aktywność ruchową i trening fizyczny . . . . .                                 | 472        |
| 26.14. Zmęczenie i wypoczynek . . . . .                                                        | 473        |
| 26.15. Zmienne warunki termiczne środowiska . . . . .                                          | 474        |
| 26.15.1. Otoczenie o wysokiej temperaturze . . . . .                                           | 474        |
| 26.15.2. Niska temperatura otoczenia . . . . .                                                 | 475        |
| 26.16. Zmienne warunki środowiska gazowego . . . . .                                           | 475        |
| 26.16.1. Ostra ekspozycja na działanie niskiego ciśnienia parcjalego tlenu . . . . .           | 476        |
| 26.16.2. Przewlekła ekspozycja na działanie niskiego ciśnienia parcjalego tlenu . . . . .      | 478        |
| <b>27. Człowiek w środowisku wielkoprzemysłowym i elementy ergonomii — B. Gwóźdź . . . . .</b> | <b>479</b> |
| 27.1. Mikroklimat i promieniowanie cieplne . . . . .                                           | 480        |
| 27.1.1. Wysoka temperatura . . . . .                                                           | 480        |
| 27.1.2. Niska temperatura . . . . .                                                            | 483        |
| 27.1.3. Promieniowanie cieplne . . . . .                                                       | 484        |
| 27.2. Światło i promieniowanie nadfioletowe . . . . .                                          | 485        |
| 27.2.1. Znaczenie barw . . . . .                                                               | 486        |
| 27.2.2. Promieniowanie nadfioletowe . . . . .                                                  | 488        |
| 27.3. Dźwięki i ultradźwięki . . . . .                                                         | 489        |
| 27.3.1. Pozasłuchowe reakcje ustroju . . . . .                                                 | 490        |
| 27.3.2. Ultradźwięki . . . . .                                                                 | 491        |
| 27.4. Promieniowanie jonizujące . . . . .                                                      | 492        |

|                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------|-----|
| 27.5. Czynniki mechaniczne środowiska . . . . .               | 492 |
| 27.6. Przeciążenie i stany nieważkości . . . . .              | 495 |
| 27.7. Pole elektromagnetyczne . . . . .                       | 496 |
| 27.8. Zmiany ciśnienia powietrza atmosferycznego . . . . .    | 498 |
| 27.8.1. Dekompresja . . . . .                                 | 499 |
| 27.9. Zanieczyszczenia powietrza gazowe i cząstkowe . . . . . | 500 |
| 27.10. Ergonomia . . . . .                                    | 501 |
| Dodatek . . . . .                                             | 505 |
| Skorowidz rzeczowy . . . . .                                  | 515 |