

Małgorzata Bujnowska

# **ZARYS FIZJOLOGII CZŁOWIEKA**



**MAŁGORZATA BUJNOWSKA**

# **ZARYS FIZJOLOGII CZŁOWIEKA**

**KSIĄŻKA NALEŻY DO**

**Imię**

**Nazwisko**

**E-mail**

**Telefon**

|                                                                      |                                                                                                   |
|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| AUTOR                                                                | dr n. med. Małgorzata Bujnowska                                                                   |
| OPRACOWANIE REDAKCYJNE                                               | Monika Nowicka                                                                                    |
| RECENZENT                                                            | dr n. med. Joanna Żółtańska                                                                       |
| PROJEKT OKŁADKI                                                      | Magdalena Skrzydlewska                                                                            |
| OPRACOWANIE GRAFICZNE,<br>SKŁAD I ŁAMANIE,<br>PRZYGOTOWANIE DO DRUKU | UKRYTY WYMIAR<br>Krzysztof Kanclerski<br>nowy@uwymiar.pl                                          |
| ILUSTRACJE                                                           | Krystian Klaczyński, Fotolia® oraz Wikimedia Commons                                              |
| WYDAWNICTWO                                                          | Centrum Rozwoju Edukacji EDICON sp. z o.o.<br>ul. Kościuszki 57<br>61–891 Poznań<br><br>Wydanie I |
| ISBN                                                                 | 978–83–943650–7–3                                                                                 |
| DRUK I OPRAWA                                                        | CGS Drukarnia<br>ul. Towarowa 3<br>62–090 Mrowino<br>www.cgs.pl                                   |

Materiały edukacyjne obejmują zagadnienia zawarte w rozporządzeniu Ministra Edukacji Narodowej z dnia 7 lutego 2012 r. w sprawie podstawy programowej kształcenia w zawodach (Dz.U. 2012 poz. 184).

# SPIS TREŚCI

|           |                                    |
|-----------|------------------------------------|
| <b>13</b> | <b>Fizjologia komórki</b>          |
| 14        | Struktury komórki                  |
| 14        | Cytoszkielecik                     |
| 14        | Organella komórkowe                |
| 15        | Błona komórkowa                    |
| 16        | Cytoplazma                         |
| 16        | Siateczka śródplazmatyczna         |
| 17        | Aparat Golgiego                    |
| 17        | Lizosomy                           |
| 18        | Mitochondria                       |
| 18        | Rybosomy                           |
| 19        | Jądro komórkowe                    |
| 20        | Transport błonowy                  |
| 20        | Dyfuzja prosta                     |
| 21        | Dyfuzja ułatwiona                  |
| 22        | Transport aktywny                  |
| 23        | Pompa sodowo-potasowa              |
| 24        | Endocytoza                         |
| 25        | Egzocytoza                         |
| 26        | Procesy metaboliczne komórki       |
| 26        | Podstawowe substancje odżywcze     |
| 26        | Białka                             |
| 27        | Lipidy                             |
| 27        | Węglowodany                        |
| 27        | Procesy metaboliczne               |
| 28        | Katabolizm                         |
| 28        | Cykl Krebsa oraz łańcuch oddechowy |
| 29        | Anabolizm                          |
| 30        | Cykl komórkowy                     |
| 31        | Mitoza                             |
| 31        | Profaza                            |



|           |                                                      |
|-----------|------------------------------------------------------|
| 32        | Metafaza                                             |
| 32        | Anafaza                                              |
| 32        | Telofaza                                             |
| 32        | Mejoza                                               |
| 33        | I podział mejotyczny                                 |
| 34        | II podział mejotyczny                                |
| 35        | Interfaza                                            |
| 36        | Apoptoza                                             |
| 36        | Pobudliwość komórki                                  |
| 36        | Potencjał spoczynkowy                                |
| 37        | Powstanie pobudzenia                                 |
| 38        | Repolaryzacja komórki                                |
| 38        | Refrakcja bezwzględna                                |
| 38        | Refrakcja względna                                   |
| 39        | Czynność komórki nerwowej                            |
| 43        | Czynność komórki mięśniowej                          |
| 44        | Tkanka mięśniowa poprzecznie prążkowana              |
| 45        | Mechanizm skurczu mięśnia szkieletowego              |
| 46        | Rodzaje komórek mięśniowych                          |
| 46        | Tkanka mięśniowa gładka                              |
| 47        | Skurcz mięśnia gładkiego                             |
| 48        | Tkanka mięśnia sercowego                             |
| 48        | Pytania kontrolne                                    |
| <b>51</b> | <b>Fizjologia układu sercowo-naczyniowego</b>        |
| 51        | Właściwości fizjologiczne mięśnia sercowego          |
| 52        | Pobudzenie komórek roboczych mięśnia sercowego       |
| 55        | Czynność bioelektryczna serca                        |
| 57        | Przebieg impulsów w mięśniu sercowym                 |
| 60        | Cykl hemodynamiczny serca                            |
| 63        | Fizjologia krążenia krwi                             |
| 63        | Układ tętniczy                                       |
| 66        | Układ żylny                                          |
| 67        | Naczynia włosowate                                   |
| 71        | Krew (krwinki czerwone i białe, płytki krwi, osocze) |
| 72        | Osocze                                               |
| 74        | Erytrocyty (krwinki czerwone)                        |
| 77        | Leukocyty                                            |

79            Odporność i jej rodzaje

81            Trombocyty

81            Hemostaza

83            Krążenie limfatyczne

85            Pytania kontrolne

## **89            Fizjologia układu oddechowego**

89            Wentylacja płuc

89            Mechanizm wdechu

90            Mechanizm wydechu

91            Pojemność płuc

93            Dyfuzja gazów w pęcherzykach płucnych i w komórkach

93            Dyfuzja gazów w pęcherzykach płucnych

96            Dyfuzja gazów w komórkach

98            Transport gazów

98            Transport tlenu

100          Transport dwutlenku węgla

101          Regulacja oddychania

102          Regulacja ośrodkowego układu nerwowego

103          Mechanoreceptory płucne

104          Chemiczna regulacja oddychania

105          Pytania kontrolne

## **107          Fizjologia układu pokarmowego**

108          Mechanizmy regulacyjne spożywania pokarmu

108          Substancje odżywcze

111          Regulacja przyjmowania pokarmu

113          Trawienie i wchłanianie pokarmów

114          Trawienie mechaniczne

115          Trawienie chemiczne

121          Jama ustna

121          Narządy jamy ustnej

124          Połykanie

125          Żołądek

128          Jelito cienkie

128          Trawienie w jelicie cienkim

129          Wchłanianie w jelicie cienkim

130          Czynność motoryczna jelita cienkiego

|            |                                             |
|------------|---------------------------------------------|
| 130        | Hormony jelitowe                            |
| 131        | Jelito grube                                |
| 132        | Motoryka jelita grubego i defekacja         |
| 132        | Namnażanie drobnoustrojów                   |
| 133        | Czynność wątroby i trzustki                 |
| 133        | Fizjologia wątroby                          |
| 134        | Fizjologia trzustki                         |
| 135        | Pytania kontrolne                           |
| <b>139</b> | <b>Fizjologia nerek i wydalanie moczu</b>   |
| 140        | Czynność nerek                              |
| 140        | Czynność regulacyjna                        |
| 143        | Funkcja wewnątrzwydzielnicza nerek          |
| 144        | Filtracja kłębuszkowa                       |
| 146        | Budowa ciała nerkowego                      |
| 147        | Resorpcja i sekrecja kanalikowa             |
| 150        | Wydalanie moczu                             |
| 150        | Właściwości moczu                           |
| 151        | Pytania kontrolne                           |
| <b>155</b> | <b>Fizjologia wydzielania wewnętrznego</b>  |
| 155        | Działanie hormonów, regulacja hormonalna    |
| 158        | Samoregulacja działania hormonów            |
| 161        | Hormony podwzgórza                          |
| 162        | Hormony podwzgórza                          |
| 162        | Tyreoliberyna                               |
| 162        | Luliberyna                                  |
| 163        | Kortykoliberyna                             |
| 163        | Somatoliberyna                              |
| 163        | Prolaktoliberyna                            |
| 163        | Wazopresyna                                 |
| 163        | Oksytocyna                                  |
| 164        | Hormony przysadki mózgowej                  |
| 165        | Płat przedni przysadki mózgowej             |
| 165        | Hormony płata przedniego przysadki mózgowej |
| 167        | Hormony gonadotropowe                       |
| 168        | Hormony płata tylnego przysadki mózgowej    |
| 168        | Hormony tarczycy i przytarczyc              |

|            |                                                           |
|------------|-----------------------------------------------------------|
| 168        | Hormony tarczycy                                          |
| 170        | Hormony przytarczyc                                       |
| 171        | Hormony nadnerczy                                         |
| 172        | Kortykosteron i kortyzol                                  |
| 172        | Aldosteron                                                |
| 172        | Adrenalina i noradrenalina                                |
| 174        | Hormony trzustki                                          |
| 174        | Insulina                                                  |
| 175        | Glukagon                                                  |
| 175        | Somatostatyna                                             |
| 176        | Hormony płciowe                                           |
| 176        | Hormony płciowe żeńskie                                   |
| 177        | Estrogeny                                                 |
| 177        | Progesteron                                               |
| 178        | Relaksyna                                                 |
| 178        | Hormony płciowe męskie                                    |
| 178        | Testosteron                                               |
| 178        | Androstendion                                             |
| 179        | Pytania kontrolne                                         |
| <b>181</b> | <b>Fizjologia rozrodu</b>                                 |
| 181        | Spermatogeneza                                            |
| 185        | Cykl płciowy żeński                                       |
| 187        | Cykl jajnikowy                                            |
| 187        | Fazy zmian błony śluzowej macicy                          |
| 189        | Zmiany hormonalne w czasie cyklu płciowego żeńskiego      |
| 191        | Ciąża i poród                                             |
| 191        | Błony płodowe                                             |
| 192        | Listki zarodkowe                                          |
| 193        | Faza rozwoju zarodkowego i płodowego                      |
| 193        | Pierwszy trymestr                                         |
| 194        | Drugi trymestr                                            |
| 195        | Trzeci trymestr                                           |
| 195        | Zmiany fizjologiczne i anatomiczne w czasie trwania ciąży |
| 195        | Macica                                                    |
| 196        | Zmiany w układzie oddechowym                              |
| 196        | Zmiany w układzie sercowo-naczyniowym                     |
| 197        | Zmiany w układzie rozrodczym                              |
| 197        | Łożysko                                                   |

|            |                                                     |
|------------|-----------------------------------------------------|
| 199        | Poród                                               |
| 200        | Pytania kontrolne                                   |
| <b>203</b> | <b>Fizjologia układu nerwowego</b>                  |
| 203        | Komórki nerwowe i ich rola fizjologiczna            |
| 204        | Podział układu nerwowego                            |
| 206        | Czynność rdzenia kręgowego                          |
| 207        | Drogi rdzenia kręgowego                             |
| 207        | Drogi wstępujące – aferentne (rdzeniowo-mózgowe)    |
| 208        | Drogi zstępujące – eferentne                        |
| 209        | Drogi własne rdzenia                                |
| 209        | Łuk odruchowy                                       |
| 210        | Podział odruchów                                    |
| 211        | Czynność mózgowia                                   |
| 211        | Przodomózgowie                                      |
| 212        | Kresomózgowie                                       |
| 219        | Międzymózgowie                                      |
| 220        | Śródmózgowie                                        |
| 221        | Tyłomózgowie                                        |
| 221        | Rdzeń przedłużony                                   |
| 221        | Móżdżek                                             |
| 223        | Układ siatkowaty                                    |
| 224        | Autonomiczny układ nerwowy                          |
| 225        | Neuroprzekaźniki i receptory                        |
| 225        | Neuroprzekaźniki (neurotransmitery, neuromediatory) |
| 226        | Receptory                                           |
| 228        | Regulacja autonomicznego układu nerwowego           |
| 230        | Część współczulna                                   |
| 232        | Część przywspółczulna                               |
| 233        | Ośrodki kierujące zachowaniem                       |
| 233        | Sen i czuwanie                                      |
| 233        | Ośrodki motywacyjne                                 |
| 234        | Ośrodek głodu i sytości                             |
| 234        | Ośrodek pragnienia                                  |
| 235        | Ośrodek agresji i ucieczki                          |
| 235        | Ośrodek rozrodczy                                   |
| 236        | Pamięć                                              |
| 237        | Ośrodek mowy                                        |

238 Ośrodek kary i nagrody

239 Pytania kontrolne

## **243 Fizjologia receptorów**

246 Czucie i percepcja

248 Zmysł wzroku

249 Refrakcja

249 Akomodacja

250 Pręciki i czopki

250 Pręciki

250 Czopki

251 Proces widzenia

252 Zmysł słuchu i równowagi

252 Słuch

255 Zmysł smaku

257 Zmysł węchu

258 Pytania kontrolne

## **261 Homeostaza**

262 Płyny ustrojowe

263 Najważniejsze płyny ustroju

263 Płyn mózgowo-rdzeniowy

264 Krew

264 Ślina

265 Inne płyny układu pokarmowego

266 Mocz

266 Łzy

267 Gospodarka wodno-elektrolitowa

267 Skład elektrolitowy płynów ustrojowych

267 Sód

267 Potas

268 Wapń

269 Magnez

269 Chlor

269 Gospodarka wodno-elektrolitowa

270 Regulacja gospodarki wodnej i elektrolitowej

270 Procesy regulacyjne wydalania wody

272 Termoregulacja

|            |                                                 |
|------------|-------------------------------------------------|
| 273        | Ośrodek termoregulacji                          |
| 275        | Termogeneza                                     |
| 275        | Termoliza                                       |
| 276        | Pytania kontrolne                               |
| <b>279</b> | <b>Fizjologia wysiłku fizycznego</b>            |
| 279        | Klasyfikacja wysiłków                           |
| 281        | Wpływ wysiłku fizycznego na poszczególne układy |
| 281        | Układ nerwowy a wysiłek fizyczny                |
| 281        | Układ sercowo-naczyniowy                        |
| 284        | Układ oddechowy                                 |
| 285        | Układ pokarmowy                                 |
| 285        | Układ hormonalny                                |
| 286        | Układ wydalniczy                                |
| 287        | Metabolizm                                      |
| 287        | Termoregulacja                                  |
| 289        | Adaptacja do wysiłku fizycznego                 |
| 290        | Zmiany w układzie oddechowym                    |
| 290        | Zmiany w układzie krążenia                      |
| 291        | Zmiany w układzie kostno-stawowym               |
| 291        | Zmiany w układzie mięśniowym                    |
| 293        | Pytania kontrolne                               |
| <br>       |                                                 |
| 296        | Bibliografia                                    |
| 297        | Spis ilustracji                                 |
| 298        | Spis tabel                                      |

# Od AUTORA

*Zarys fizjologii człowieka* jest drugą publikacją skupiającą się na omówieniu najistotniejszych zagadnień dotyczących ludzkiego ciała. Książka została napisana z myślą o Słuchaczach kierunków medycznych szkół policealnych.

Fizjologia człowieka znajduje się w kręgu najważniejszych nauk podstawowych medycyny i zajmuje się badaniem procesów życiowych zachodzących w ludzkim ciele. Opisuje aspekt czynnościowy oraz funkcje komórek, tkanek i narządów, a także prawa, które tymi funkcjami rządzą. W książce zostały omówione zagadnienia dotyczące podstaw cytologii, histologii oraz funkcjonowania poszczególnych układów. Dzięki znajomości tych zagadnień staje się możliwe zrozumienie organizmu ludzkiego jako całości, w której wszystkie układy i narządy współpracują ze sobą, dążąc przez cały czas do zachowania homeostazy.

Aby móc zrozumieć fizjologię niezbędne jest posiadanie wiedzy z zakresu anatomii człowieka, dlatego książka *Zarys fizjologii człowieka*, łącznie z publikacją *Zarys anatomii człowieka*, tworzy kompendium podstawowej wiedzy opisującej wielowątkowość i wieloaspektowość budowy i funkcjonowania naszego organizmu.

Życząc przyjemnej lektury żywię nadzieję, iż znajdująca się w Państwa rękach publikacja będzie tekstem łatwym i przejrzystym w odbiorze, stanowiącym uzupełnienie wiedzy przekazywanej podczas zajęć. Dodatkowo będzie wsparciem podczas nauki do zaliczeń i egzaminów oraz lekturą, do której z chęcią będą Państwo wracać w swojej praktyce zawodowej.

*dr n. med. Małgorzata Bujnowska*





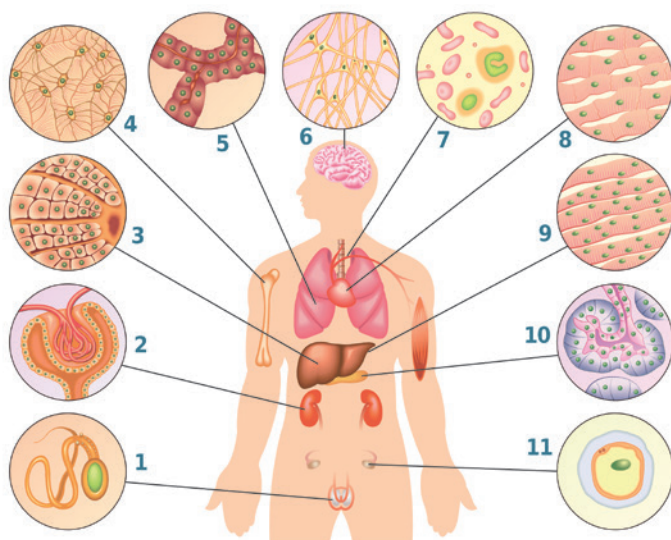
# FIZJOLOGIA KOMÓRKI

# 1

Komórka jest podstawowym elementem budującym organizm człowieka. Jednocześnie stanowi najmniejszą jednostkę funkcjonalną, w której zachodzą procesy przemiany materii, wzrostu, rozmnażania i dziedziczenia.

Zróżnicowanie komórek wynika z pełnionych przez nie funkcji. Różnice występują w wielkości, kształcie oraz budowie.

Średnia liczba wszystkich komórek ciała człowieka waha się w granicach 10 bilionów. Największą komórką człowieka jest komórka jajowa o średnicy osiągającej 130  $\mu\text{m}$ . Do najmniejszych komórek należy plemnik osiągający długość ok. 50–60  $\mu\text{m}$ .



1. plemnik
2. ciało nerkowe
3. hepatocyty  
– komórki wątrobowe
4. osteocyty  
– dojrzałe komórki kostne
5. pęcherzyki płucne

6. komórki nerwowe
7. elementy morfotyczne krwi
8. komórki mięśnia sercowego
9. komórki mięśni poprzecznie prążkowanych
10. komórki trzustki
11. komórka jajowa

Rys. 1. Komórki organizmu człowieka

## Struktury komórki

Prawie każda komórka zbudowana jest z cytoplazmy, struktur cytoplazmatycznych oraz jądra komórkowego. Występowanie poszczególnych organelli komórkowych uzależnione jest od pełnionej przez komórkę funkcji.

Wszystkie organella rozmieszczone są w komórce w sposób uporządkowany. O ich odpowiednim rozmieszczeniu decyduje cytoszkielet komórki.

### CYTOSZKIELET

Cytoszkielet to sieć włóknistych struktur białkowych, zbudowanych z filamentów (aktynowych i pośrednich) oraz mikrotubuli. Filamenty charakteryzują się statycznością, dzięki czemu organella komórkowe zachowują swoje położenie. Mikrotubule mają zdolność kurczenia lub wydłużania swoich włókien, dzięki czemu szkielet ma charakter elastyczny.

Do najważniejszych funkcji cytoszkieletu można zaliczyć:

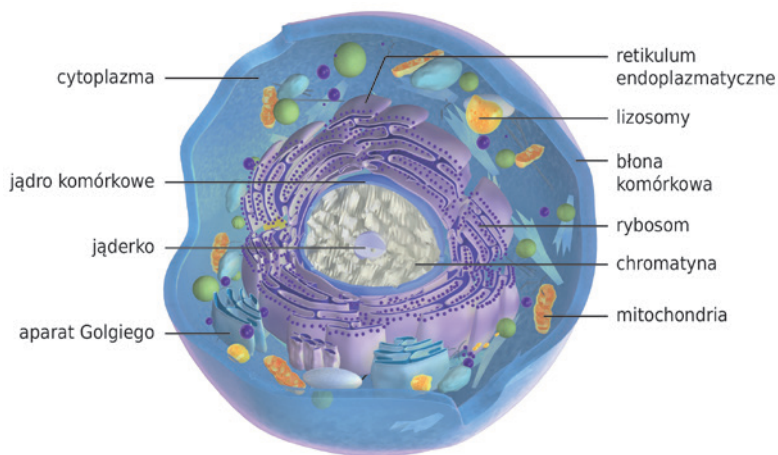
- nadawanie oraz utrzymanie kształtu komórki,
- rozmieszczenie i utrzymanie położenia poszczególnych organelli komórkowych,
- poruszanie się komórek,
- przekazywanie informacji pomiędzy komórkami,
- udział w transporcie wewnątrzkomórkowym.

### ORGANELLA KOMÓRKOWE

Elementami składowymi komórki są organella komórkowe. Są wysoko wyspecjalizowane, mają określoną budowę oraz pełnią określone funkcje w komórce.

Zalicza się do nich:

- błonę komórkową,
- cytoplazmę,
- siateczkę śródplazmatyczną,
- aparat Golgiego,
- lizosomy,
- mitochondria,
- rybosomy,
- jądro komórkowe.



Rys. 2. Budowa komórki

## Błona komórkowa

W każdej komórce istnieje wiele struktur błoniastych. Jedne z nich oddzielają komórkę od środowiska zewnętrznego, inne ograniczają określone obszary cytoplazmy, a jeszcze inne stanowią osłonki dla organelli komórkowych oddzielając je od cytoplazmy.

Wszystkie komórki otoczone są błoną komórkową (plazmolemmą), która stanowi granicę pomiędzy wnętrzem komórki a otoczeniem.

Błona komórkowa zbudowana jest z dwóch warstw fosfolipidów oraz białek. Część białek związana jest luźno z powierzchnią błony. Należą do nich tzw. białka peryferyjne. Kolejną grupę stanowią białka błonowe, które są ściśle związane z błoną komórkową i są w niej osadzone.

Białka błonowe, w zależności od pełnionej funkcji, można podzielić na:

- białka integralne,
- białka nośnikowe,
- białka enzymatyczne,
- białka receptorowe,
- białka tworzące kanały jonowe,
- białka adhezyjne.

Błona komórkowa chroni komórkę przed czynnikami zewnętrznymi. Dzięki obecności białek przez błonę komórkową odbywa się transport substancji, zarówno do przestrzeni międzykomórkowej, jak i do wnętrza komórki. Jej najważniejszą cechą jest wybiórcza przepuszczalność, dzięki której warunkuje stałość środowiska wewnętrznego. Pełni również funkcje enzymatyczne, utrzymuje równowagę osmotyczną komórki, jak również odbiera informacje i reaguje na bodźce chemiczne, fizyczne i termiczne.

## Cytoplazma

Cytoplazma stanowi największą część masy komórki. Buduje ona środowisko wewnątrzkomórkowe, w którym rozmieszczone są organella komórkowe. W jej strukturze można wyróżnić tzw. egzoplazmę, czyli część obwodową cytoplazmy pozbawioną ziarnistości, oraz część środkową, tzw. endoplazmę. W skład cytoplazmy wchodzi: woda, białka, tłuszcze, cukrowce oraz składniki nieorganiczne.

Najważniejsze funkcje cytoplazmy to:

- zapewnienie komórkom elastyczności i wytrzymałości mechanicznej,
- umożliwianie przebiegu procesów chemicznych zachodzących w komórce,
- tworzenie środowiska dla organelli komórkowych,
- umożliwianie ruchów chromosomów w czasie mitozy i mejozy,
- umożliwianie transportu substancji odżywczych wewnątrz komórki.

## Siateczka śródplazmatyczna

Siateczka śródplazmatyczna, tzw. retikulum endoplazmatyczne, to zespół kanalików zapewniających trójwymiarową sieć. Jej główne zadanie polega na zwiększaniu powierzchni komórki oraz dzieleniu cytoplazmy na obszary, w których odbywają się różne reakcje chemiczne, często wymagające odmiennych warunków.

W obrębie siateczki śródplazmatycznej zachodzi biosynteza oraz magazynowanie (m.in. tłuszczowców). W poszczególnych narządach może pełnić dodatkowe funkcje. W komórkach jajników, nerek czy jąder siateczka śródplazmatyczna gładka bierze udział w biosyntezie hormonów.

W komórce można wyróżnić dwa rodzaje retikulum:

- szorstkie – zawiera na swojej powierzchni ziarnistości, tzw. rybosomy, odpowiedzialne za wytwarzanie białka wydzielanego przez komórkę,
- gładkie – nie zawiera rybosomów.

## Aparat Golgiego

Działanie aparatu (układu) Golgiego polega na wytwarzaniu enzymów na powierzchni jego błon i gromadzeniu ich w postaci ziarnistości (w retikulum endoplazmatycznym).

Stałym elementem budowy aparatu jest diktiosom, zbudowany z cystern oraz (w momencie aktywności aparatu) pęcherzyków. Pomiędzy cysternami występują tzw. elementy międzycysternowe, których zadaniem jest utrzymanie aparatu w odpowiednim kształcie. Diktiosom ma budowę dwubiegunową. Strona zwrócona w kierunku siateczki śródplazmatycznej szorstkiej jest wypukła (cis), natomiast strona zwrócona w kierunku plazmolemy jest wklęsła (trans). Na jednej i drugiej powierzchni występują struktury błoniaste.

Do głównych zadań aparatu Golgiego należy:

- modyfikowanie białek oraz lipidów i przekazywanie ich na zewnątrz komórki lub do innych miejsc w komórce,
- modyfikowanie białek wytworzonych w siateczce śródplazmatycznej oraz tworzenie środowiska dla syntezy wielocukrów, pektyn, śluzu i innych wydzielin komórkowych.

Aparat Golgiego stanowi centralną stację modyfikacji, sortowania oraz rozdzielania białek i lipidów przejmowanych z retikulum endoplazmatycznego.

## Lizosomy

Lizosomy to organella komórkowe posiadające enzymy trawienne, które odpowiedzialne są za trawienie węglowodanów, białek i kwasów nukleinowych. W lizosomach zachodzi również proces trawienia własnych fragmentów komórki, jak również innych obcych cząsteczek, które zostały wchłonięte na drodze endocytozy (por. Transport błonowy).

Można wyróżnić trzy rodzaje lizosomów:

- trawienne – odpowiadają za rozkład substancji,
- magazynujące – magazynują substancje,
- tzw. grabarze – dokonują rozkładu obumarłych składników cytoplazmy.

## Mitochondria

Mitochondria mogą mieć kształt owalny, kulisty lub nitkowaty. Otoczone są podwójną błoną białkowo-lipidową. Błona wewnętrzna tworzy liczne wpuklenia do środka (co znacznie zwiększa jej powierzchnię), zwane grzebieniami mitochondrialnymi. Wnętrze mitochondriów wypełnia substancja, tzw. macierz, zawierająca magnez, wapń i kwas rybonukleinowy (RNA).

W mitochondriach zachodzi proces utleniania biologicznego. Są one miejscem oksydacji węglowodanów oraz lipidów. Zachodzą w nich takie procesy jak: cykl kwasu cytrynowego, łańcuch oddechowy oraz tworzenie ATP (adenozynotrójfosforanu).

Najwięcej mitochondriów znajduje się w komórkach tych narządów, których zapotrzebowanie energetyczne jest największe (np. w komórkach mięśnia sercowego). Z kolei niewielka liczba mitochondriów jest charakterystyczna dla tkanki tłuszczowej.

## Rybosomy

Mają postać małych cząstek biorących udział w syntezie białka. Wytwarzane są w jądrze komórkowym, z którego przechodzą do cytoplazmy. Tam występują zarówno w postaci wolnej, jak i w połączeniu z błonami retikulum endoplazmatycznego, tworząc retikulum szorstkie.

Każdy rybosom budują dwie dopasowane do siebie podjednostki: mała i duża. Podjednostki zbudowane są z białek oraz rRNA (rybosomowego RNA). Podjednostki są ze sobą połączone tylko podczas translacji (procesu syntezy łańcucha polipeptydowego białka w czasie biosyntezy białek), natomiast po zakończeniu translacji danego łańcucha białkowego następuje ich rozdzielenie. W momencie kolejnej inicjacji translacji, znajdujące się blisko siebie podjednostki (jedna duża i jedna mała) łączą się ze sobą, odtwarzając rybosom.

## Jądro komórkowe

Jądro komórkowe pełni nadrzędną rolę w komórce, ponieważ steruje przemianami biochemicznymi komórki poprzez zawarty w nim kwas dezoksyrybonukleinowy (DNA), w którym umieszczony jest zapis informacji genetycznej o cechach organizmu.

Jądro ma kształt kulisty, a jego wielkość jest wprost proporcjonalna do wielkości cytoplazmy. Zazwyczaj położone jest centralnie. Wokół jądra występuje podwójna błona białkowo-lipidowa, która zawiera liczne pory. To właśnie one umożliwiają utrzymywanie kontaktu jądra z pozostałą częścią komórki.

Jądro komórkowe gromadzi i przechowuje DNA w postaci chromatyny (stanowi formę chromosomów w okresie międzypodziałowym).

W jądrze komórkowym znajduje się jąderko. Jąderko ma kształt kulisty i stanowi gęsto upakowaną sieć materiału genetycznego. Ta część materiału odpowiedzialna jest za kodowanie RNA tworzącego rybosomy.

### MOJE NOTATKI

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



## Transport błonowy

Błona komórkowa otacza komórkę, chroniąc ją przed czynnikami zewnętrznymi. Jest jednak przepuszczalna i umożliwia wymianę substancji pomiędzy wnętrzem komórki a środowiskiem zewnętrznym, umożliwiając tym samym tzw. transport błonowy.

Transport błonowy jest zależny od kilku czynników:

- masy cząsteczkowej,
- właściwości cząsteczki,
- średnicy cząsteczki,
- ładunku elektrycznego cząsteczki.

W zależności od tych czynników transport odbywa się na dwa sposoby.

Pierwszy sposób – następuje bez zmian w strukturze błony komórkowej:

- dyfuzja prosta,
- dyfuzja ułatwiona,
- transport aktywny.

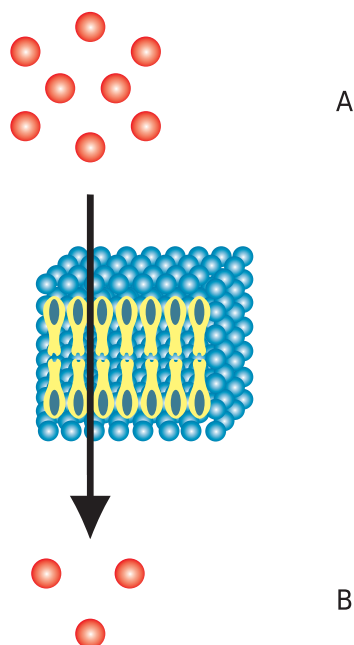
Drugi sposób – powoduje nieodwracalne zmiany w strukturze błony komórkowej:

- endocytoza,
- egzocytoza.

### DYFUZJA PROSTA

Dyfuzja prosta, zwana inaczej transportem biernym beznośnikowym, przebiega bez udziału energii. Dotyczy przede wszystkim takich substancji jak  $O_2$ ,  $CO_2$ , kwasy tłuszczowe, inne cząsteczki hydrofobowe oraz takich, które są dobrze rozpuszczalne w tłuszczach. Dyfuzja tych cząsteczek jest niezależna od ich wielkości i odbywa się zgodnie z gradientem stężeń. Cząsteczki przechodzą ze środowiska o wyższym stężeniu do środowiska o niższym stężeniu.

W ten sposób transportowane są cząsteczki na krótkich dystansach, np. w obrębie przedziałów komórkowych.



Rys. 3. Schemat przebiegu dyfuzji prostej

## DYFUZJA UŁATWIONA

Dyfuzja ułatwiona, zwana inaczej transportem biernym ułatwionym, odbywa się za pomocą przekaźników. Jest to transport, który podobnie jak dyfuzja prosta nie wymaga nakładu energii i odbywa się zgodnie z gradientem stężeń. Różnica polega na tym, że w błonie komórkowej znajduje się nośnik (tzw. białko transmembranowe), który ułatwia przejście danej cząsteczki przez błonę komórkową. Na drodze dyfuzji ułatwionej zachodzi transport substancji nierozpuszczalnych w tłuszczach, np. glukozy, do erytrocytów, hepatocytów i mięśni, jak również transport anionów do erytrocytów.

W związku z przechodzeniem cząsteczek z wnętrza i do wnętrza komórki, nośnik występuje pod postacią trzech konformacji:

- otwartej do przestrzeni zewnątrzkomórkowej,
- przejściowej,
- otwartej do cytoplazmy.

Dzięki tej różnicy ciśnień dwutlenek węgla dyfunduje do krwi (przenika przez błonę komórkową, przestrzeń międzykomórkową i ścianę naczyń włosowatych), a następnie jest transportowany do płuc, gdzie następuje jego eliminacja.

Przenikanie tlenu również zachodzi dzięki różnicy ciśnienia parcjalnego. Ciśnienie parcjalne  $O_2$  we krwi jest wyższe w porównaniu z ciśnieniem panującym w komórkach. Zgodnie z gradientem stężeń  $O_2$  przenika przez barierę kapilara-komórka. Cząsteczka tlenu przechodzi przez otoczkę erytrocytu, następnie przez komórki śródbłónka naczynia włosowatego do płynu komórkowego i przez błonę komórkową wnika do komórki, gdzie wykorzystywana jest do oddychania komórkowego.

W warunkach fizjologicznych, w spoczynku, organizm zużywa około 300 ml tlenu i wydala podobną ilość dwutlenku węgla. Transport tlenu oraz dwutlenku węgla we krwi odbywa się na drodze wiązań chemicznych, zgodnie z gradientem prężności tych gazów.

#### MOJE NOTATKI

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

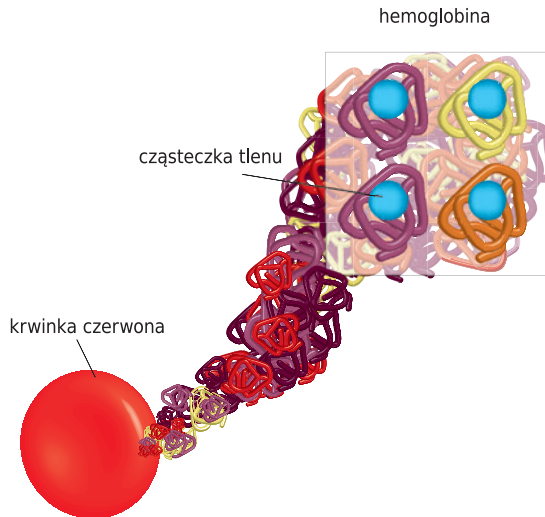
## Transport gazów

### Transport tlenu

Tlen po przedostaniu się z pęcherzyków płucnych do krwi trafia do osocza, a następnie przechodzi przez błonę erythrocytu i łączy się z hemoglobina. W ten sposób powstaje oksyhemoglobina. Jeden gram hemoglobiny może wiązać około 1,34 ml tlenu. Jedna cząsteczka hemoglobiny wiąże maksymalnie 4 cząsteczki tlenu.

Wzór chemiczny oksyhemoglobiny:  $\text{Hb}_4 + 4\text{O}_2 = \text{Hb}_4\text{O}_8$

W ten sposób transportowane jest 97% tlenu, natomiast pozostałe 3% transportowane jest w osoczu.



Rys. 27. Transport tlenu we krwi

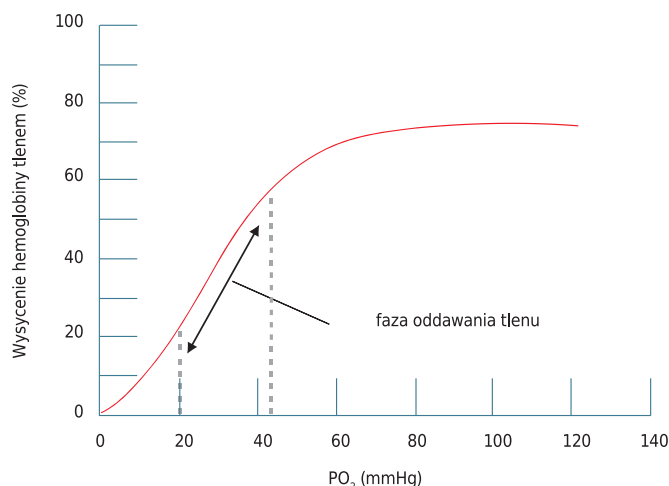
Hemoglobina pełni swoistą rolę magazynu tlenu, który następnie jest wykorzystywany w tkankach. Wysłęcenie hemoglobiny tlenem nie jest proporcjonalne do prężności tlenu. Jeżeli żadna (z czterech) podjednostek hemoglobiny nie jest połączona z tlenem, to przyłączenie pierwszej jest wyjątkowo trudne. Wiąże się to z tym, że do przyłączenia pierwszej cząsteczki, prężność tlenu musi być wysoka, ponieważ miejsca wiązania na hemoglobinie są ukryte. W momencie połączenia pierwszej cząsteczki odsłaniają się dwa kolejne miejsca przyłączenia, dlatego dołączenie dwóch kolejnych cząsteczek jest łatwiejsze i nie wymaga aż tak

wysokiej prężności tlenu. Sytuacja zmienia się przy czwartej podjednostce hemoglobiny. Przyłączenie trzech cząsteczek tlenu zmniejsza maksymalnie powinowactwo do czwartego połączenia, ponieważ następuje ponowne ukrycie miejsca wiązania. Dlatego przyłączenie czwartej cząsteczki tlenu wymaga (podobnie jak przy pierwszej) ponownego wzrostu prężności tego gazu.

Krzywa dysocjacji (oddawania tlenu do tkanek) oksyhemoglobiny to zależność pomiędzy wysyceniem hemoglobiny tlenem a ciśnieniem parcyjnym tego gazu w poszczególnych częściach organizmu.

Stopień i krzywa dysocjacji jest zależna od wielu czynników:

- wzrost prężności tlenu wpływa na zwiększenie wysycenia hemoglobiny tlenem,
- wzrost prężności dwutlenku węgla wpływa na zmniejszenie wysycenia hemoglobiny tlenem,
- spadek temperatury krwi, przy tej samej prężności tlenu, zwiększa wysycenie hemoglobiny tlenem,
- wzrost temperatury sprawia, że rośnie tempo metabolizmu, a tym samym zapotrzebowanie na tlen, czego konsekwencją jest zmniejszenie wysycenia hemoglobiny,
- spadek pH krwi, spowodowany zwiększeniem jonów wodorowych zmniejsza stopień wysycenia hemoglobiny tlenem.



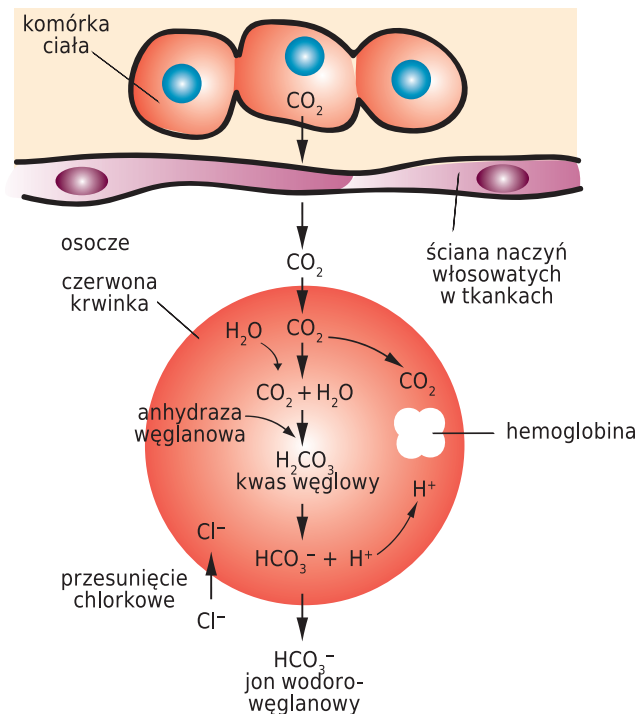
Rys. 28. Krzywa dysocjacji hemoglobiny

### Transport dwutlenku węgla

Transport dwutlenku węgla przebiega na trzy sposoby. Około 10% dwutlenku węgla rozpuszcza się fizycznie w osoczu. Kolejne 20% transportowane jest w połączeniu z białkami osocza i z białkową częścią hemoglobiny. Jednym z takich połączeń jest karbaminohemoglobina. Hemoglobina łącząc się z dwutlenkiem węgla tworzy połączenia nietrwałe, dlatego do płuc transportuje dwutlenek węgla, a z płuc może przyłączyć tlen. Pozostała część dwutlenku węgla (ok. 70%) przenoszona jest w osoczu w formie jonów wodorowęglanowych  $\text{HCO}_3^-$ .

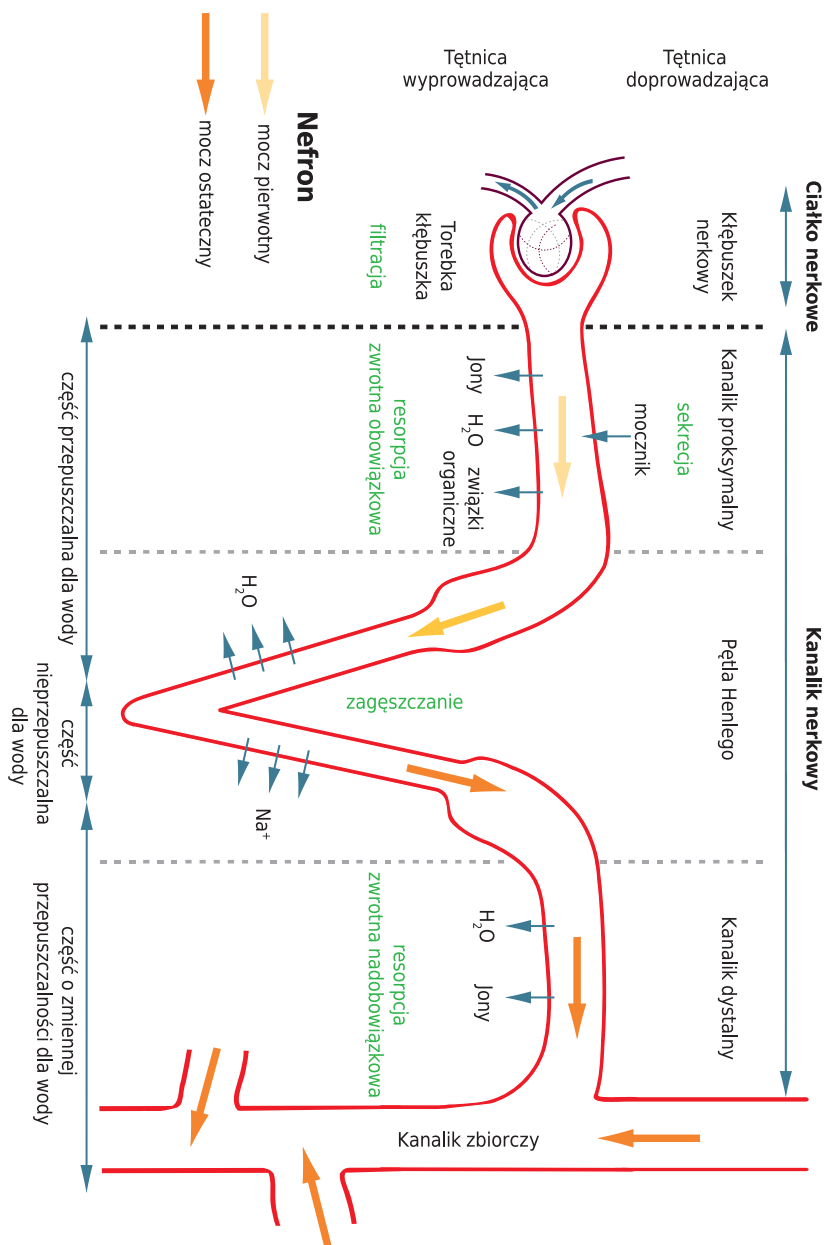
Dwutlenek węgla transportowany jest zatem w organizmie w trzech formach, jako:

- jony wodorowęglanowe  $\text{HCO}_3^-$  (ok. 70%),
- fizycznie rozpuszczony w osoczu (ok. 10%),
- połączony z białkami osocza i białkową częścią hemoglobiny (ok. 20%).



Rys. 29. Transport dwutlenku węgla we krwi

która zależna jest tylko i wyłącznie od stężenia substancji (np. glukoza, potas) oraz związki o największej proporcjonalnej wchłanianości, która zależna jest od stężenia i czasu wchłaniania (np. sól).



Rys. 35. Sekrecja i resorpcja w nefronie

W zależności od miejsca nefronu można również wyróżnić dwa rodzaje resorpcji. Pierwszą jest resorpcja obowiązkowa (obligatoryjna). Ma ona miejsce w kanalikach krętych proksymalnych, czyli w kanaliku I rzędu i w pętli nefronu. Wchłanianiu podlega woda, glukoza, aminokwasy i sole mineralne. Drugą jest resorpcja nadobowiązkowa (fakultatywna). Zachodzi w kanalikach dystalnych, czyli II rzędu. Tutaj odbywa się wchłanianie zwrotne wody i soli mineralnych. Jest ona jednak uzależniona od aktualnego nawodnienia organizmu.

### Sekrecja

Przez komórki nabłonka nefronu wydzielane są różne związki do śródmiąższu, a w konsekwencji do naczyń krwionośnych. Proces ten odbywa się na zasadzie dwóch mechanizmów. Pierwszym jest sekrecja bierna, zgodna z gradientem stężeń. W ten sposób wydzielaniu podlegają np. sole amonowe. Drugim rodzajem jest sekrecja czynna, o tzw. bezwzględnej ograniczonej największej pojemności wydzielniczej. Czynne wydzielanie może być zależne od stężenia substancji (sekrecja kreatyniny) lub stężenia substancji i czasu wydzielania (sekrecja jonów potasowych i sodowych).

### MOJE NOTATKI

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



## Wydalenie moczu

Z kanalików nerkowych zbiorczych mocz ostateczny trafia do miedniczek nerkowych, skąd przepływa do pęcherza moczowego dzięki ruchom perystaltycznym moczowodów. Ich skurcze mają charakter miogeny i pojawiają się z różną częstotliwością, co kilka sekund lub minut. Częstotliwość zależy od autonomicznego układu nerwowego. Włókna przywspółczulne przyspieszają, a włókna współczulne zwalniają perystaltykę. Mocz płynie jednokierunkowo, od nerek do pęcherza, ponieważ w ścianie pęcherza, w miejscu gdzie uchodzą moczowody, znajduje się fałd błony śluzowej zapobiegający cofaniu się moczu.

W miarę wypełniania pęcherza moczowego następuje rozciąganie jego ścian, poprzez wzrost ciśnienia hydrostatycznego, co jest bodźcem dla receptorów. Ośrodek oddawania moczu, który znajduje się w rdzeniu kręgowym (starowany z wyższych pięter układu nerwowego) wysyła informacje, które mają na celu skurcz mięśni pęcherza moczowego. Jednocześnie dochodzi do rozkurczu zwieracza wewnętrznego cewki moczowej oraz rozkurczu zwieracza zewnętrznego cewki moczowej.

W wyniku skurczu ściany pęcherza moczowego wytwarza się ciśnienie, dzięki czemu następuje wydalenie moczu do środowiska, tzw. mikcja.

Uczucie wypełnienia pęcherza jest sygnalizowane przy pojemności 150–200 ml. Potrzeba opróżniania pęcherza występuje przy wypełnieniu 250–300 ml.

## Właściwości moczu

Ciężar właściwy moczu jest zależny od stężenia związków rozpuszczalnych w moczu i waha się w granicach 1,005–1,038 g/ml. Po wypiciu dużych ilości płynów następuje wydalenie moczu o niskim ciężarze właściwym, a w przypadku diety ubogiej w płyny, mocz ulega zagęszczeniu. Na ciężar właściwy moczu mają wpływ głównie związki występujące w nim w wysokich stężeniach, a więc mocznik, sód i towarzyszące aniony oraz kreatynina.

Barwa moczu powinna być słomkowa do ciemnożółtej. Zabarwienie moczu jest uzależnione od jego zagęszczenia oraz od obecności barwników endogennych. Na barwę moczu ma wpływ także rodzaj pożywienia. Odczyn moczu jest lekko kwaśny, pH średnio wynosi 6,2.

Mocz składa się z:

- wody (96%),
- azotowych produktów przemiany materii, głównie mocznika (2,5%),
- soli mineralnych (1,5%),
- innych substancji, np. barwników żółciowych (nadających charakterystyczny kolor i zapach).

W moczu zdrowego człowieka nie powinny znajdować się cukry, białka, krwinki czerwone i krwinki białe oraz bakterie.

## Pytania kontrolne

1. Wyjaśnij, na czym polega funkcja wewnątrzwydzielnicza nerek.
2. Omów budowę ciała nerkowego.
3. Wyjaśnij, na czym polegają procesy resorpcji i sekrecji.
4. Omów proces wydalania moczu.
5. Wymień składniki moczu.

# BIBLIOGRAFIA

1. Borodulin-Nadzieja L., *Fizjologia człowieka - podręcznik dla studentów licencjatów medycznych*, Górnickie Wydawnictwo Medyczne, Wrocław 2005, wyd. 1.
2. Traczyk W. Z., *Fizjologia człowieka w zarysie*, PZWL, Warszawa 2013, wyd. 8.
3. Traczyk W. Z., *Fizjologia człowieka z elementami fizjologii stosowanej i klinicznej*, PZWL, Warszawa 2015, wyd. 3.
4. White D., Stamford J., McLaughlin D., *Krótkie wykłady. Fizjologia człowieka*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2008.

# SPIS ILUSTRACJI

|     |                                                                                           |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| 13  | Rys. 1. Komórki organizmu człowieka                                                       |
| 15  | Rys. 2. Budowa komórki                                                                    |
| 21  | Rys. 3. Schemat przebiegu dyfuzji prostej                                                 |
| 22  | Rys. 4. Schemat przebiegu dyfuzji ułatwionej                                              |
| 23  | Rys. 5. Schemat przebiegu transportu aktywnego na przykładzie pompy sodowo-potasowej      |
| 24  | Rys. 6. Schemat przebiegu endocytozy                                                      |
| 25  | Rys. 7. Schemat przebiegu egzocytozy                                                      |
| 28  | Rys. 8. Schemat anabolizmu i katabolizmu                                                  |
| 31  | Rys. 9. Schemat przebiegu mitozy                                                          |
| 33  | Rys. 10. Schemat przebiegu mejozy                                                         |
| 38  | Rys. 11. Zmiana potencjału błonowego podczas trwania potencjału czynnościowego w komórce  |
| 41  | Rys. 12. Budowa neuronu                                                                   |
| 42  | Rys. 13. Przekazanie informacji na kolbce synaptycznej                                    |
| 44  | Rys. 14. Schemat skurczu i rozkurczu mięśnia poprzecznie prążkowanego                     |
| 52  | Rys. 15. Zmiany jonowe zachodzące w poszczególnych fazach potencjału czynnościowego       |
| 53  | Rys. 16. Przebieg procesu depolaryzacji i repolaryzacji w komórce mięśnia sercowego       |
| 54  | Rys. 17. Fazy potencjału czynnościowego w komórce mięśnia sercowego                       |
| 58  | Rys. 18. Układ bódźcôtwórczo-przewodzący serca                                            |
| 62  | Rys. 19. Schemat cyklu hemodynamicznego serca                                             |
| 66  | Rys. 20. Strumień przepływu krwi w okolicy podziału naczynia                              |
| 75  | Rys. 21. Schematyczny model budowy hemoglobiny                                            |
| 76  | Rys. 22. Grupy krwi                                                                       |
| 80  | Rys. 23. Schematyczny model pięciu klas immunoglobulin                                    |
| 91  | Rys. 24. Objętość i pojemność płuc oraz ich składowe                                      |
| 94  | Rys. 25. Dyfuzja i transport gazów                                                        |
| 96  | Rys. 26. Dyfuzja gazów w pęcherzykach płucnych                                            |
| 98  | Rys. 27. Transport tlenu we krwi                                                          |
| 99  | Rys. 28. Krzywa dysocjacji hemoglobiny                                                    |
| 100 | Rys. 29. Transport dwutlenku węgla we krwi                                                |
| 113 | Rys. 30. Trawienie i wchłanianie pokarmu w przewodzie pokarmowym                          |
| 117 | Rys. 31. Wchłanianie glukozy przez nabłonek kosmka jelitowego                             |
| 119 | Rys. 32. Wchłanianie tłuszczów przez nabłonek kosmka jelitowego do naczynia limfatycznego |
| 141 | Rys. 33. Wzmocnienie przeciwprądowe w pętli nefronu                                       |
| 145 | Rys. 34. Schemat budowy nefronu                                                           |
| 148 | Rys. 35. Sekrecja i resorpcja w nefronie                                                  |
| 156 | Rys. 36. Narządy układu wewnątrzwydzielniczego                                            |
| 159 | Rys. 37. Schemat ujemnego sprzężenia zwrotnego na przykładzie tyreksyny                   |

|     |                                                                                             |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| 160 | Rys. 38. Schemat antagonistycznego działania hormonów na przykładzie insuliny i glukagonu   |
| 182 | Rys. 39. Proces spermatogenezy                                                              |
| 183 | Rys. 40. Budowa plemnika                                                                    |
| 186 | Rys. 41. Proces dojrzewania komórki jajowej                                                 |
| 188 | Rys. 42. Zmiany zachodzące w jajniku i błonie śluzowej macicy podczas cyklu menstruacyjnego |
| 189 | Rys. 43. Zmiany hormonalne w czasie trwania cyklu menstruacyjnego                           |
| 198 | Rys. 44. Macica i płód w trzecim trymestrze ciąży                                           |
| 209 | Rys. 45. Łuk odruchowy                                                                      |
| 214 | Rys. 46a. Pola Brodmanna                                                                    |
| 215 | Rys. 46b. Pola Brodmanna                                                                    |
| 247 | Rys. 47. Mapa dermatomów człowieka – widok z przodu                                         |
| 251 | Rys. 48. Mechanizm przejścia bodźców świetlnych przez soczewkę                              |
| 256 | Rys. 49. Budowa kubka smakowego                                                             |

## SPIS TABEL

|     |                                                                                            |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| 72  | Tabela 1. Prawidłowe normy wybranych elementów morfotycznych krwi                          |
| 116 | Tabela 2. Najważniejsze enzymy trawienne układu pokarmowego człowieka                      |
| 173 | Tabela 3. Wybrane metaboliczne funkcje adrenaliny                                          |
| 192 | Tabela 4. Podział listków zarodkowych oraz wybrane narządów, które wytwarzają              |
| 208 | Tabela 5. Drogi wstępujące rdzenia kręgowego                                               |
| 208 | Tabela 6. Podział dróg zstępujących                                                        |
| 229 | Tabela 7. Wybrane czynności układu współczulnego i przywspółczulnego                       |
| 265 | Tabela 8. Płyny wydzielane przez przewód pokarmowy                                         |
| 270 | Tabela 9. Wydalanie i pobieranie wody przez organizm                                       |
| 274 | Tabela 10. Mechanizmy kompensacyjne organizmu na zmiany temperatury                        |
| 283 | Tabela 11. Dystrybucja krwi do poszczególnych narządów w czasie trwania wysiłku fizycznego |
| 288 | Tabela 12. Wpływ wysiłku fizycznego na poszczególne układy                                 |
| 292 | Tabela 13. Zmiany adaptacyjne organizmu w zależności od rodzaju treningu                   |

## ZARYS FIZJOLOGII CZŁOWIEKA



**Małgorzata Bujnowska** – absolwentka Uniwersytetu Medycznego we Wrocławiu oraz Uniwersytetu Medycznego w Łodzi. Od 2014 roku doktor nauk medycznych. Autorka i współautorka wielu artykułów oraz monografii z zakresu medycyny ratunkowej, kardiologii i medycyny społecznej. Współautorka podręczników dla studentów szkół wyższych. Od 2008 roku związana z uczelniami wyższymi prowadzącymi kształcenie na kierunkach medycznych. Od 2010 roku pracownik Policealnej Szkoły TEB Edukacja w Legnicy, gdzie prowadzi zajęcia z anatomii i fizjologii człowieka. Prywatnie swoje pasje dzieli pomiędzy podróżowanie, nurkowanie i fotografię.

„Zakres zawartych w książce informacji jest odpowiedni do poziomu kształcenia w szkole policealnej. Zawiera niezbędne minimum, ale wystarczająco dokładnie opisane, aby zrozumieć szczegółowo zabiegi wykonywane przez przyszłych absolwentów w ich pracy zawodowej.”

*dr n. med. Joanna Żółtańska*

 **EDICON**  
CENTRUM ROZWOJU EDUKACJI  
wydawnictwo@edicon.pl

ISBN 978-83-943650-7-3



9 788394 365073

cena: 110,00 zł