

Małgorzata Bujnowska

# ZARYS FIZJOLOGII CZŁOWIEKA



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

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	Cytoszkielec
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

### **139 Fizjologia nerek i wydalanie moczu**

- 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

### **155 Fizjologia wydzielania wewnętrznego**

- 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	Cięża 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	Łóżysko

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	Mózdzek
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
<b>243</b>	<b>Fizjologia receptorów</b>
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
<b>261</b>	<b>Homeostaza</b>
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
296	Bibliografia
297	Spis ilustracji
298	Spis tabel

# OD AUTORA

*Zarys fizjologii człowieka* jest drugą publikacją skupiającą się na najistotniejszych zagadnieniach 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 podstawowe zagadnienia: cytologia, histologia oraz funkcjonowanie poszczególnych układów. Dzięki ich znajomości można zrozumieć organizm ludzki jako całość, w której wszystkie układy i narządy współpracują, 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*, tworzą 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 stanie się 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*

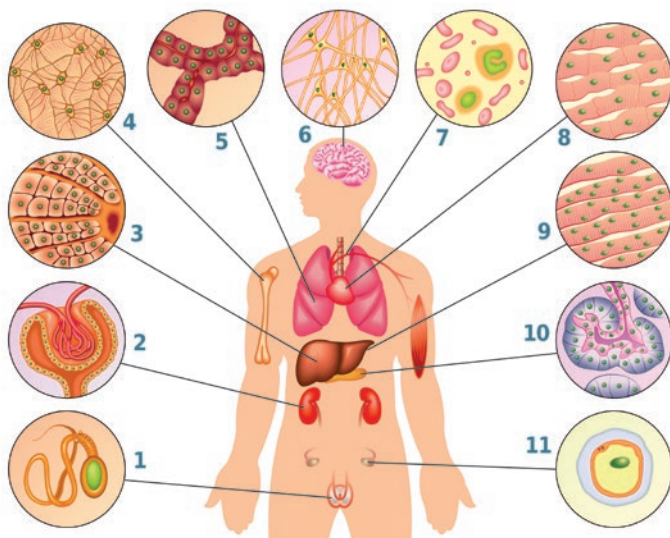
# FIZJOLOGIA KOMÓRKI



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                                | 6) komórki nerwowe                             |
| 2) ciało nerkowe                          | 7) elementy morfotyczne krwi                   |
| 3) hepatocyty<br>– komórki wątrobowe      | 8) komórki mięśnia sercowego                   |
| 4) osteocyty<br>– dojrzałe komórki kostne | 9) komórki mięśni poprzecznych<br>prążkowanych |
| 5) pęcherzyki płucne                      | 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 jest elastyczny.

Do najważniejszych funkcji cytoszkieletu można zaliczyć:

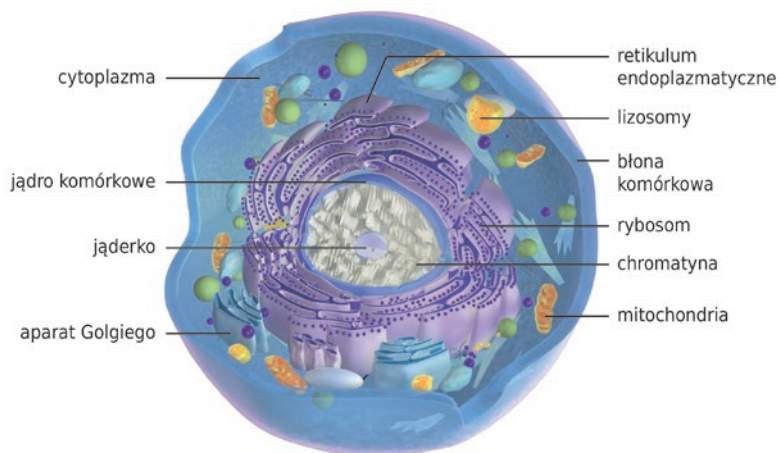
- nadawanie oraz utrzymanie kształtu komórki,
- rozmieszczenie i utrzymanie położenia poszczególnych organelli komórkowych,
- poruszanie się komórek,
- przekazywanie informacji pomiędzy komórkami,
- udział w transporcie wewnątrzkomórkowym.

### 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 – ściśle związane z błoną komórkową i 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. Najważniejszą cechą błony 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 zachodzą 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. Pomiedzy 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 należą:

- 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 mające 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 inicjacji kolejnej translacji znajdujące się blisko siebie podjednostki (jedna duża i jedna mała) łączą się, odtwarzając rybosom.

# FIZJOLOGIA UKŁADU ODDECHOWEGO

# 3

Układ oddechowy człowieka składa się z dróg oddechowych, do których należą: jama nosowa, gardło, krtań, tchawica i oskrzela, oraz z narządu głównego, czyli płuc. W płucach zachodzi wymiana gazowa pomiędzy krwią a powietrzem atmosferycznym.

Do najważniejszych funkcji układu oddechowego należą:

- utrzymywanie stałości środowiska wewnętrznego przez wymianę gazową,
- regulacja równowagi kwasowo-zasadowej,
- ogrzewanie, nawilżanie i oczyszczanie wdychanego powietrza,
- odbieranie bodźców zapachowych,
- produkcja hormonów polipeptydowych (przez komórki nabłonka dróg oddechowych).

## Wentylacja płuc

Wentylacja płuc, czyli dostarczenie powietrza do pęcherzyków płucnych oraz odprowadzanie powietrza z płuc do środowiska, odbywa się na zasadzie dwóch mechanizmów: wdechu i wydechu.

### Mechanizm wdechu

W czasie wdechu powietrze atmosferyczne dostaje się do płuc za pomocą dróg oddechowych. Mechanizm wdechu uzależniony jest od kilku czynników. Pierwszym z nich jest działanie mięśni wdechowych. Zalicza się do nich m.in. przeponę oraz mięśnie międzyżebrowe zewnętrzne. Skurcz tych mięśni powoduje poszerzenie klatki piersiowej w trzech wymiarach:

- pionowym (górnym-dolnym) – uwarunkowanym przez skurcz przepony, w wyniku czego następuje jej obniżenie w stronę jamy brzusznej, co odpowiada za wprowadzenie ok. 75% całego powietrza wdychanego do płuc;

- strzałkowym (przednio-tylnym) – uwarunkowanym przez skurcz górnych mięśni międzyżebrowych zewnętrznych (I–VI), czego efektem jest uniesienie dolnych żeber, co prowadzi do przesunięcia mostka do przodu;
- poziomym (bocznym) – uwarunkowanym przez dolne partie mięśni międzyżebrowych zewnętrznych (VII–X); powoduje to ustawienie żeber do góry i na boki.

Drugim elementem biorącym udział w fazie wdechu jest opłucna. W warunkach fizjologicznych w czasie wydechu w jamie opłucnej panuje ciśnienie ujemne wynoszące  $-0,3$  do  $-0,8$  kPa. Podczas wdechu, kiedy płuca rozprężają się (pod wpływem ruchów klatki piersiowej), ujemne ciśnienie powoduje rozciągnięcie tkanki płucnej, obniżenie ciśnienia w pęcherzykach płucnych i napływ powietrza w celu wyrównania powstałej różnicy ciśnień.

### Mechanizm wydechu

Wydech jest aktem biernym. Polega na zmniejszeniu wymiarów klatki piersiowej przez rozkurcz mięśni wdechowych. W tym momencie zmniejsza się również objętość klatki piersiowej, co prowadzi do wzrostu ciśnienia powietrza panującego w płucach. Na skutek różnicy ciśnień pomiędzy powietrzem atmosferycznym a pęcherzykowym dochodzi do wydalenia powietrza z płuc (w celu wyrównania tych różnic).

Fizjologicznie wydech jest zawsze dłuższy od wdechu.

W czasie wydechu i wdechu mogą zostać zaangażowane dodatkowe mięśnie:

- pomocnicze mięśnie wdechowe – mięśnie zębaty przedni, piersiowy większy i mniejszy, mostkowo-obojczykowo-sutkowy, mięśnie czworoboczne, dźwigacz łopatki, mięśnie równoległoboczne,
- pomocnicze mięśnie wydechowe – mięśnie międzyżebrowe wewnętrzne oraz mięśnie przedniej ściany brzucha.

Wdech i wydech wykonywany jest średnio 16–20 razy na minutę. W tym czasie następuje cyrkulacja ok. 8 litrów powietrza. Jest to tzw. minutowa wentylacja płuc. Wielkość wentylacji uzależniona jest od wielu czynników. Należą do nich m.in. płeć, wiek, aktywność fizyczna, palenie tytoniu, choroby układu oddechowego.

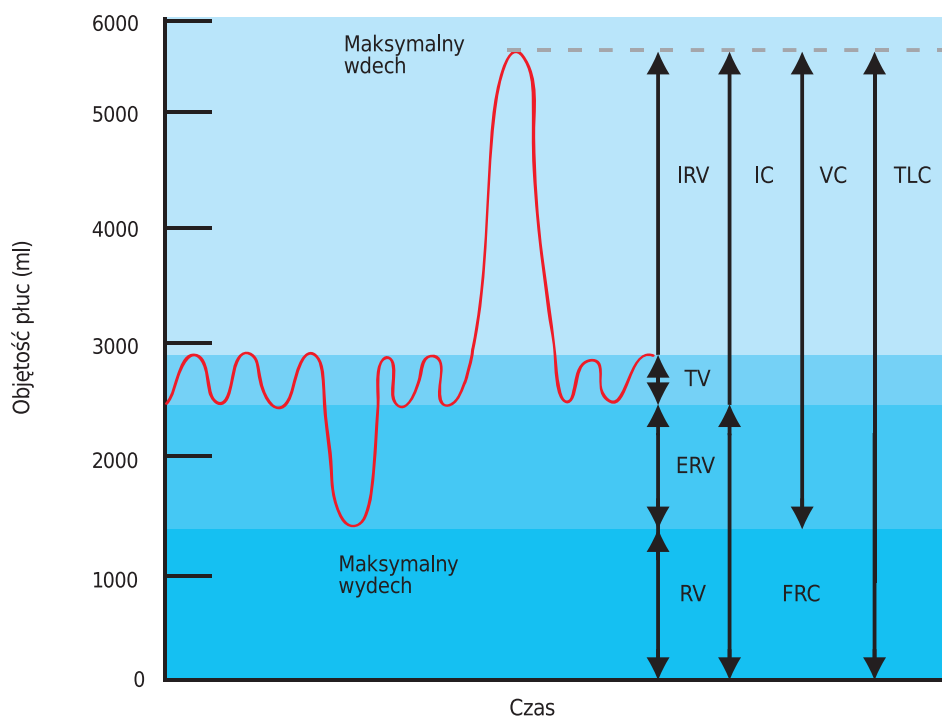
## Pojemność płuc

Pojemność płuc jest to ilość powietrza zawarta w pęcherzykach płucnych.

Na całkowitą pojemność płuc wpływa pojemność życiowa. Przeciętna pojemność życiowa u dorosłego mężczyzny wynosi ok. 4,5 litra. U kobiet jest mniejsza i stanowi ok. 3,2 litra. Obejmuje:

- objętość spoczynkową oddechową,
- objętość wdechową zapasową, czyli ilość powietrza zaaspirowaną do płuc przy głębokim wdechu,
- objętość wydechową zapasową, czyli ilość powietrza wydaloną z płuc przy głębokim wydechu.

Dodatkowo w płucach po wykonaniu maksymalnego wydechu zostaje pewna ilość powietrza – jest to tzw. objętość zalegająca. Średnia ilość powietrza zalegającego wynosi 1,2 litra.



Rys. 24. Objętość i pojemność płuc oraz ich składowe

Objętości płuc:

- TV (ang. *tidial volume*) – spoczynkowa objętość oddechowa (500 ml),
- IRV (ang. *inspiratory reserve volume*) – objętość wdechowa zapasowa, maksymalny wdech (2000 ml),
- ERV (ang. *expiratory reserve volume*) – objętość wydechowa zapasowa, maksymalny wydech (1500 ml),
- RV (ang. *residual volume*) – objętość zalegająca (1200 ml).

Pojemności płuc:

- TLC (ang. *total lung capacity*) – pojemność całkowita płuc:  $TLC = TV + IRV + ERV + RV$  (5200 ml),
- VC (ang. *vital capacity*) – pojemność życiowa:  $VC = TV + IRV + ERV$  (4000 ml),
- IC (ang. *inspiratory capacity*) – pojemność wdechowa maksymalna:  $IC = TV + IRV$  (2500 ml),
- FRC (ang. *functional residual capacity*) – pojemność zalegająca czynnościowa:  $FRC = ERV + RV$  (2700 ml).

### Objętość nieużyteczna

Objętość nieużyteczna obejmuje dwie przestrzenie: przestrzeń nieużyteczną anatomicznie i fizjologicznie.

Przestrzeń nieużyteczna anatomicznie to miejsca w układzie oddechowym, gdzie nie zachodzi wymiana gazowa. Należą do niej drogi oddechowe (jama nosowa, krtań, tchawica i oskrzela do 16 generacji). Głównymi zadaniami tych elementów anatomicznych są: transport, ogrzewanie, oczyszczanie i nawilżanie wdychanego powietrza atmosferycznego. W drogach oddechowych, czyli przestrzeni nieużytecznej anatomicznie, zalega cały czas ok. 30% wdychanego powietrza, dlatego do pęcherzyków dociera tylko 70% objętości spoczynkowej oddechowej.

Przestrzeń nieużyteczna fizjologicznie to przestrzeń nieużyteczna anatomicznie oraz objętość powietrza pęcherzykowego niebiorącego udziału w wymianie gazowej z krwią. W związku z tym w warunkach prawidłowych obie objętości są prawie równe, jednak w warunkach patologicznych (wyłączenie z wentylacji pęcherzyków płucnych) przestrzeń nieużyteczna fizjologicznie jest większa.

MOJE NOTATKI

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

## Dyfuzja gazów w pęcherzykach płucnych i w komórkach

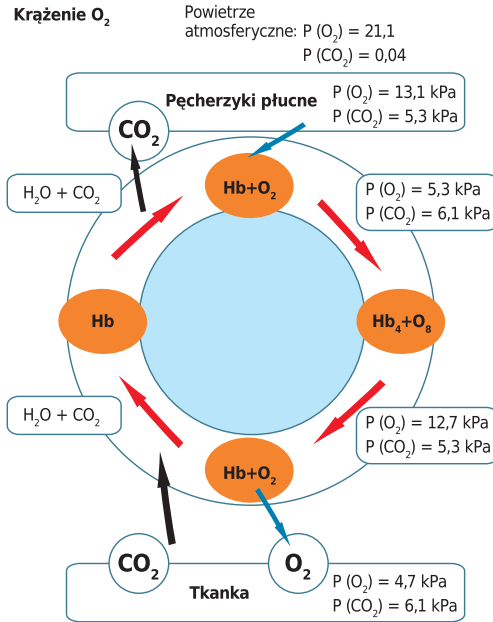
### Dyfuzja gazów w pęcherzykach płucnych

Oddychanie polega na wymianie gazowej pomiędzy organizmem a powietrzem atmosferycznym.

Powietrze atmosferyczne, które trafia do pęcherzyków płucnych, ma stały skład:

- azot – 78%,
- tlen – 21%,
- dwutlenek węgla – 0,03%,
- inne gazy – 0,97%.

Podczas wydechu skład powietrza zmienia się w związku z wymianą gazową, która zaszła w pęcherzykach płucnych.



Rys. 25. Dyfuzja i transport gazów

Skład powietrza wydychanego:

- azot – 78%,
- tlen – 17%,
- dwutlenek węgla – 4%,
- inne gazy – 1%.

Wymiana powietrza w pęcherzykach płucnych odbywa się na zasadzie dyfuzji. Zachodzi ona dzięki różnicy ciśnienia parcjalnego  $O_2$  i  $CO_2$  i odbywa się zgodnie z gradientem prężności cząsteczek tych gazów. Tlen dyfunduje do krwi z pęcherzyków płucnych, natomiast dwutlenek węgla z krwi do pęcherzyków.

Ciśnienie parcjalne powietrza w pęcherzykach płucnych dla poszczególnych gazów wynosi odpowiednio:

- $P(O_2) = 13,1$  kPa,
- $P(N) = 76,4$  kPa,
- $P(CO_2) = 5,3$  kPa.

Przedstawione wartości ciśnienia parcjalnego stanowią wartości średnie. Ciśnienie parcjalne tlenu oraz dwutlenku węgla różni się w zależności od części płuc, w której jest mierzone. W górnych partiach płuc ciśnienie parcjalne tlenu jest wyższe, a ciśnienie parcjalne dwutlenku węgla niższe. Sytuacja jest odwrotna w dolnych partiach płuc. Jest to zależne od ilości przepływającej krwi przez górne i dolne części płuc.

Różnica w ilości przepływającej krwi przez poszczególne partie płuc ma również przełożenie na dyfuzję. W dolnych partiach płuc ilość przepływającej krwi jest większa i część krwi nie zdąża się utlenić. Dopływa wówczas do krwi tętniczej, opuszczającej płuca, jako krew nieutleniona. Zjawisko to nosi nazwę fizjologicznego przecieku płucnego. Jest to więc minutowa pojemność krwi, która pomimo przepływu przez płuca nie zdążyła się utlenić.

Do czynników, które wpływają na dyfuzję gazów, można zaliczyć:

- ciśnienie krwi w naczyniach włosowatych,
- temperaturę powietrza i krwi,
- ciśnienie wdychanego powietrza,
- stężenie tlenu i dwutlenku węgla we wdychanym powietrzu oraz we krwi.

Każdy pęcherzyk płucny otoczony jest przez sieć naczyń krwionośnych kapilarnych. We wszystkich naczyniach otaczających pęcherzyki płucne znajduje się ok. 100 ml krwi, a przepływ wynosi ok. 0,8 s.

Cząsteczki gazów przechodzą z pęcherzyków płucnych do krwi i odwrotnie – z krwi do pęcherzyków płucnych, na zasadzie różnicy ciśnień parcjalnych gazów.

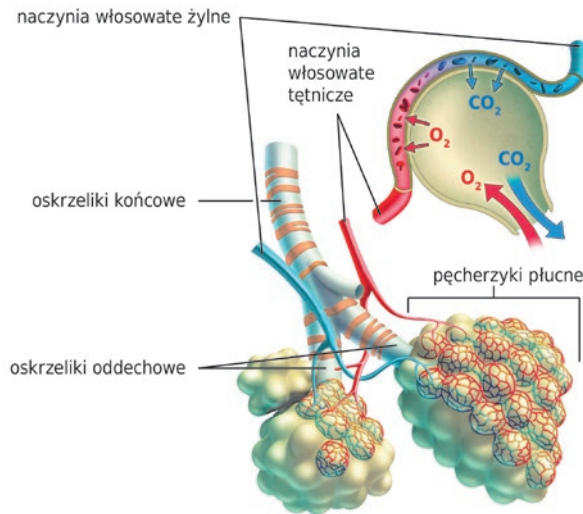
Droga, jaką musi przejść cząsteczka gazu (od światła pęcherzyka do krwi), obejmuje kilka warstw. Są to:

- surfaktant – wydzielina pneumocytów typu II, która wyściela wnętrze pęcherzyków płucnych, zwiększając tym samym ich napięcie powierzchniowe, oraz dodatkowo zapobiega zlepianiu się pęcherzyków płucnych;
- nabłonek pęcherzykowy – inaczej nabłonek oddechowy, stanowi ścianę pęcherzyka płucnego, zbudowany jest z pneumocytów i oddziela pęcherzyki od przestrzeni międzykomórkowej;
- przestrzeń międzykomórkowa;
- błona podstawna i śródbłonek naczyń kapilarnych.



Grubość całej drogi pęcherzykowo-włośniczkowej wynosi ok. 0,1–0,5 mm. Przejście przez całą błonę jest zależne od różnicy ciśnienia parcjalnego. W pęcherzykach płucnych ciśnienie parcjalne tlenu jest wyższe w porównaniu z ciśnieniem parcjalnym tlenu w naczyniach kapilarnych. Dzięki temu gaz ten dyfunduje do naczyń kapilarnych, rozpuszcza się w osoczu i łączy z hemoglobiną.

Dyfuzja  $\text{CO}_2$  przebiega w sposób podobny. Ciśnienie parcjalne  $\text{CO}_2$  w naczyniach kapilarnych jest wyższe w porównaniu z ciśnieniem parcjalnym panującym w pęcherzykach płucnych, dzięki czemu  $\text{CO}_2$  dyfunduje do ich wnętrza i zostaje usunięty z organizmu podczas fazy wydechu.



Rys. 26. Dyfuzja gazów w pęcherzykach płucnych

### Dyfuzja gazów w komórkach

Transport gazów na poziomie komórkowym odbywa się również na zasadzie dyfuzji.

Podczas procesów metabolicznych w tkankach powstaje  $\text{CO}_2$ , który jest zbędnym produktem przemian metabolicznych i musi zostać usunięty z organizmu. W związku z tym ciśnienie parcjalne tego gazu w komórkach jest wyższe w porównaniu z ciśnieniem parcjalnym panującym w naczyniach kapilarnych.

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 erythrocytu, następnie przez komórki śródbłonna 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 ok. 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

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

# BIBLIOGRAFIA

Borodulin-Nadzieja L., *Fizjologia człowieka – podręcznik dla studentów licencjatów medycznych*, Górnickie Wydawnictwo Medyczne, Wrocław 2005, wyd. 1.

Traczyk W. Z., *Fizjologia człowieka w zarysie*, PZWL, Warszawa 2013, wyd. 8.

Traczyk W. Z., *Fizjologia człowieka z elementami fizjologii stosowanej i klinicznej*, PZWL, Warszawa 2015, wyd. 3.

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
45	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 bodźcotwórczo-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 tyroksyny

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 i z tyłu
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 narządy, 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 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*



wydawnictwo@edicon.pl

ISBN 978-83-943650-7-3



9 788394 365073

cena: 130,00 zł