



Powstawanie leukocytów i nabywanie kompetencji immunologicznej

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Animacja](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



Powstawanie leukocytów i nabywanie kompetencji immunologicznej

Neutrofil (kolor żółty) pochłaniający bakterię węgla (kolor pomarańczowy). Zdjęcie spod skaningowego mikroskopu elektronowego.

Źródło: Volker Brinkmann, licencja: CC BY 2.5.

Zakażenia drobnoustrojami czy uszkodzenia tkanek wywołują reakcję obronną organizmu: w odpowiedzi na zagrożenie aktywowane zostają mechanizmy odpornościowe. W reakcji tej biorą udział wyspecjalizowane komórki krwi – leukocyty. Powstają one z komórek macierzystych czerwonego szpiku kostnego w procesie zwanym **leukopoezą**. Jednym z mechanizmów odpornościowych jest **pamięć immunologiczna**, powodująca, że powtórne zetknięcie z danym patogenem uruchamia szybszą, bardziej intensywną i dłużej trwającą reakcję obronną.

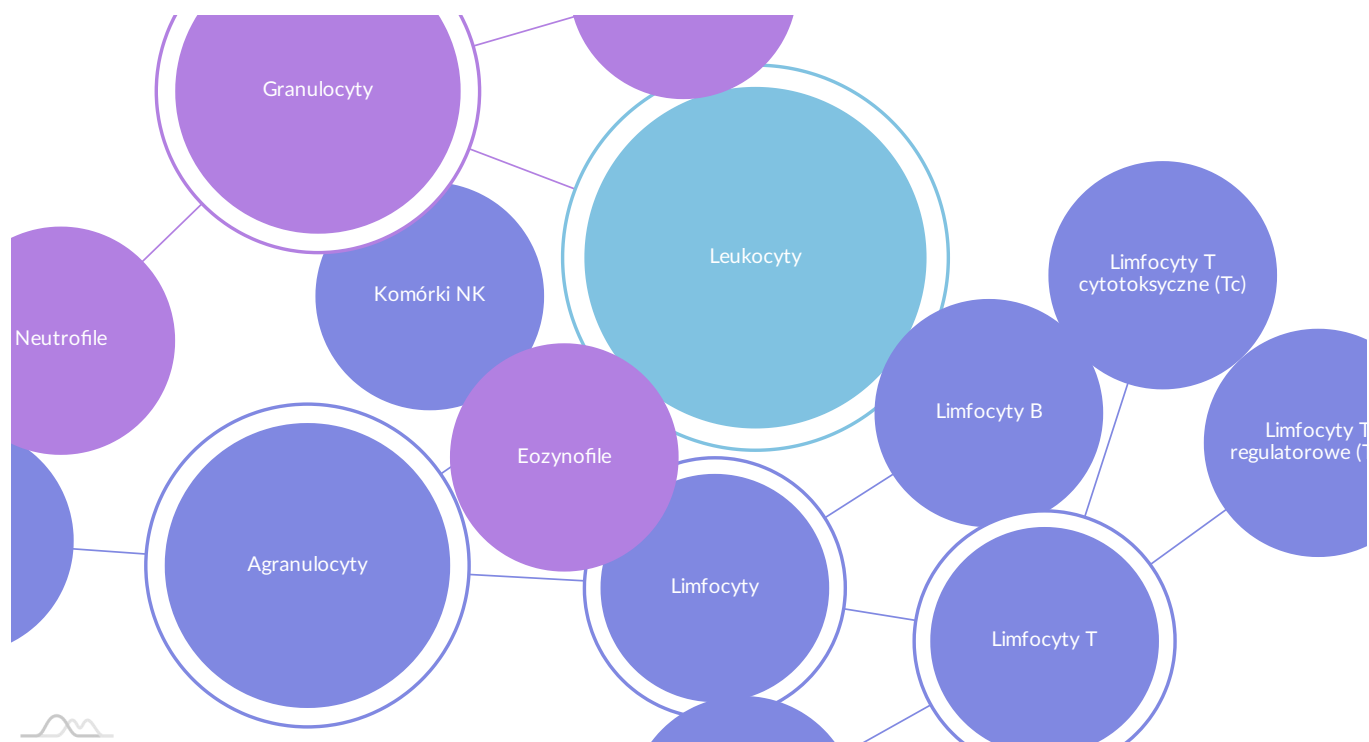
Twoje cele

- Przedstawisz rodzaje leukocytów.
- Przeanalizujesz proces powstawania limfocytów.
- Omówisz sposób nabywania kompetencji immunologicznej przez limfocyty.
- Opiszysz rozwój odpowiedzi immunologicznej typu komórkowego i humoralnego.

Przeczytaj

Leukocyty to zróżnicowane morfologicznie i funkcjonalnie komórki krwi uczestniczące w procesach odpornościowych, m.in. przeciwko bakteriom, wirusom i grzybom. Powstają w czerwonym szpiku kostnym, znajdującym się u dorosłego człowieka w kościach płaskich i nasadach kości długich. Ich klasyfikacja może opierać się na cechach morfologicznych lub funkcjonalnych. Ze względu na obecność lub brak ziarnistości w cytoplazmie wyróżnia się odpowiednio: **granulocyty** (bazofile, neutrofile i eozynofile) oraz **agranulocyty** (limfocyty i monocyty).

Wspólną funkcją wszystkich leukocytów jest udział w ochronie organizmu przed patogenami. Niektóre rodzaje tych krwinek, takie jak neutrofile, monocyty i makrofagi (dojrzałe monocyty), określane są mianem **fagocytów**, ponieważ pobierają i trawią patogeny w drodze fagocytozy. Natomiast **limfocyty**, nazywane immunocytami, wywołują specyficzną reakcję immunologiczną przeciwko obcym substancjom – [limfocyty B](#) produkują przeciwciała, [limfocyty T](#) niszczą komórki zawierające obce antygeny, a [komórki NK](#) bezpośrednio niszczą komórki zainfekowane i nowotworowe. Więcej informacji o funkcjach poszczególnych typów leukocytów znajdziesz w materiale: [Komórki układu odpornościowego człowieka](#).



Podział leukocytów ze względu na obecność lub brak ziarnistości.

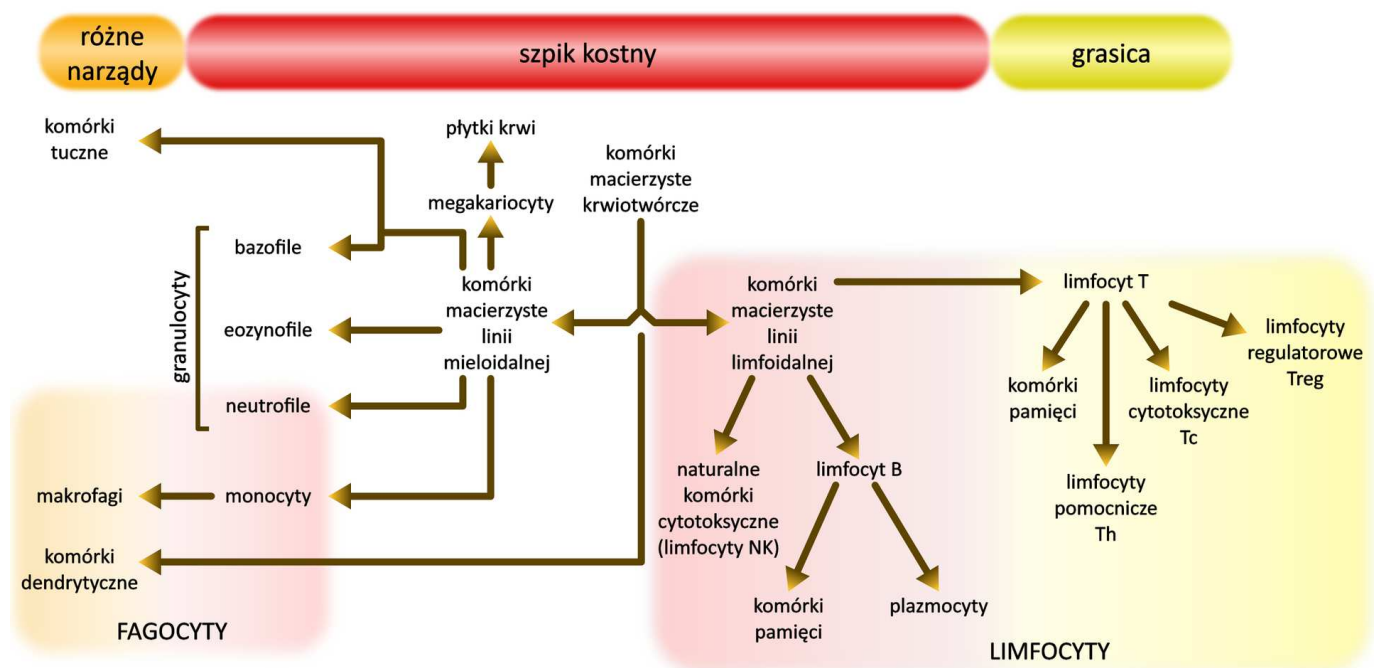
Źródło: Englishsquare.pl Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Powstawanie komórek krwi

Proces wytwarzania komórek krwi, tzw. [hemopoeza](#), rozpoczyna się podczas rozwoju embrionalnego i zachodzi wówczas m.in. w pęcherzyku żółtkowym, śledzionie i wątrobie. Po narodzinach miejscem ich produkcji staje się **czerwony szpik kostny**, który u płodu i noworodka wypełnia wszystkie kości, a u dorosłego jedynie kości płaskie i nasady kości długich, ponieważ w miarę dorastania jego część przekształca się w żółty szpik kostny. Znajdujące się w czerwonym szpiku kostnym [komórki macierzyste \(pluripotencjalne\)](#) mają zdolność przekształcania się w różne typy komórek. Różnicują się one asymetrycznie, co oznacza, że jedna komórka zostaje pluripotencjalną komórką macierzystą, a druga – ukierunkowaną [komórką prekursorową \(progenitorową\)](#), przekształcającą się w określoną komórkę krwi.

Proces, w wyniku którego powstają krwinki czerwone, nosi nazwę [erytropoezy](#), natomiast proces powstawania leukocytów – [leukopoezy](#).

Komórki krwi mają więc wspólną, prekursorową komórkę macierzystą (ang. *hematopoietic stem cell*, HSC), z której powstają [mieloidalne komórki](#) macierzyste krwi i limfoidalne komórki progenitorowe. Pod wpływem czynników stymulujących różnicowanie komórek, takich jak czynnik wzrostu i interleukiny, z limfoidalnych komórek progenitorowych powstają limfocyty T i B. Pozostałe komórki krwi powstają z mieloidalnych komórek macierzystych krwi.



Schemat powstawania leukocytów. Wszystkie powstają w czerwonym szpiku kostnym z komórek macierzystych krwiotwórczych, które dzieląc się tworzą komórki macierzyste linii mieloidalnej oraz limfoidalnej. Komórki linii mieloidalnej produkują komórki, które następnie różnicują się dalej w szpiku w granulocyty lub dojrzeją w makrofagi i komórki tłuszczne w innych narządach. Natomiast z komórek linii limfoidalnej powstają limfocyty: typu B i NK dojrzeją jeszcze w szpiku, a limfocyty T dopiero w grasicy.

Źródło: Englishsquare.pl Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Limfocyty T powstają w czerwonym szpiku kostnym, skąd wędrują do grasicy (dlatego są nazywane grasiczozależnymi), gdzie nabywają odpowiednich kompetencji immunologicznych – uczą się rozpoznawać komórki obce, by nie atakować własnych. Limfocyty B również powstają w czerwonym szpiku kostnym, ale nie przechodzą przez grasicę (dlatego są nazywane szpikozależnymi).

Czynniki regulujące leukopoezę

Czynniki stymulujące

Różnicowanie wielopotencjalnych, progenitorowych komórek macierzystych do prekursorów erytrocytów, granulocytów i monocytów oraz limfoidalnych komórek progenitorowych do prekursorów limfocytów T i B zachodzi pod wpływem czynnika wzrostu komórek macierzystych oraz niektórych interleukin.

Czynniki hamujące

Brak lub niskie stężenie czynników stymulujących leukopoezę wpływa hamująco na proces powstawania białych krwinek. Dodatkowo obecność niektórych białek i peptydów, np. interferonu oraz prostaglandyn, działa hamująco na proliferację prekursorowych komórek macierzystych.

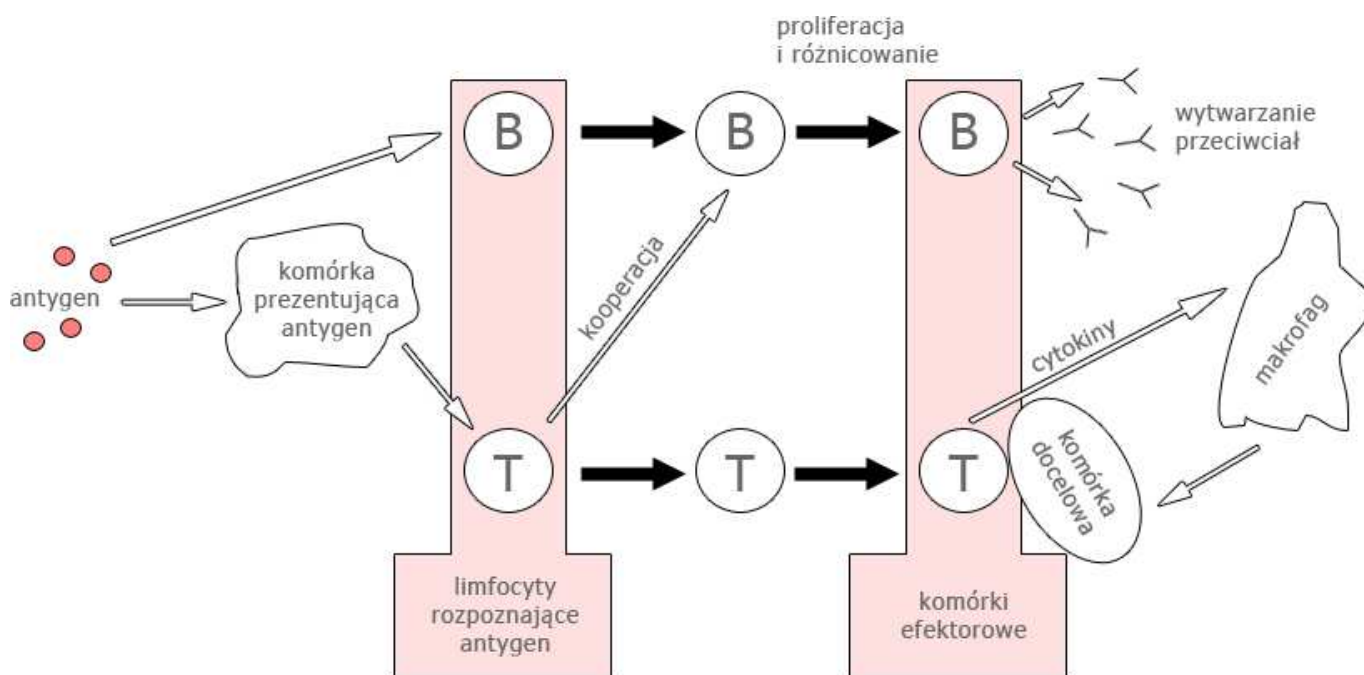
Rozwój odpowiedzi odpornościowej typu komórkowego (limfocyty T) i humoralnego (limfocyty B)

W wyniku zakażenia lub uszkodzenia tkanek uruchamiane są mechanizmy odpowiedzi immunologicznej **typu komórkowego i humoralnego**. Bardzo rzadko w obronie organizmu bierze udział tylko jeden typ reakcji. Więcej informacji na ten temat znajdziesz w e-materiale: [Kryteria i podział odporności człowieka](#).

W **odpowieź odpornościową typu komórkowego** zaangażowane są limfocyty T. Przykładami tego typu odporności są reakcje skierowane przeciw patogenom wewnątrzkomórkowym lub nowotworom. Komórki prezentujące antygen tworzą kompleksy z krótkimi łańcuchami peptydowymi pochodzącymi z trawienia antygenów drobnoustrojów. Są one rozpoznawane przez limfocyty T, które w odpowiedzi wydzielają cytokiny. Białka te pełnią różne funkcje, w wyniku czego powstaje

skomplikowany i skuteczny system reakcji odpornościowych. Ważnym składnikiem tego typu odpowiedzi immunologicznej jest [efekt cytotoksyczny](#).

W **odpowieź odpornościową typu humoralnego** zaangażowane są przeciwciała (immunoglobuliny): IgA, IgD, IgE, IgG, IgM. Występują one przede wszystkim we krwi obwodowej i limfie. Są wydzielane przez aktywowane limfocyty B, które w wyniku kontaktu z antygenem i kooperacji z limfocytami T namnażają się i różnicują w komórki wytwarzające i uwalniające przeciwciała lub komórki pamięci. W ten sposób dochodzi do **nabywania kompetencji immunologicznej** przez limfocyty. Komórki pamięci przechowują informację na temat budowy antygenów, co pozwala na szybszą i skuteczniejszą odpowiedź w przypadku ponownego zakażenia tym samym patogenem. Ponowne pojawienie się antygenów powoduje przekształcenie się komórek pamięci w limfocyty B, które automatycznie produkują przeciwciała. Odpowiedź typu humoralnego występuje np. przy kontakcie z patogenem, jak również po podaniu [szczepionki](#).



Rozwój odpowiedzi odpornościowej typu komórkowego (limfocyt T) i humoralnego (limfocyt B).

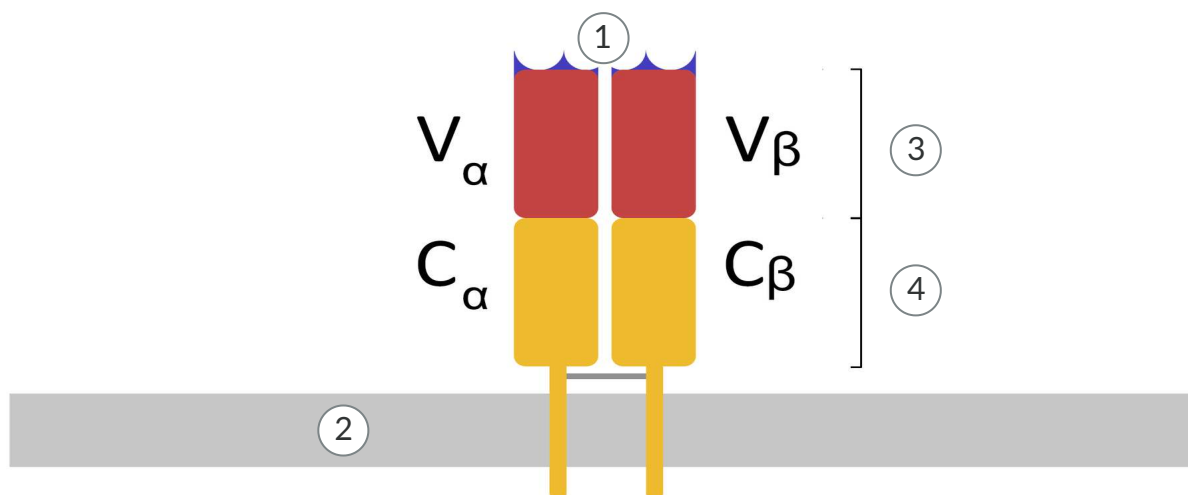
Źródło: Urszula Foryś, Jan Poleszczuk (ilustracje), *Modelowanie matematyczne w biologii i medycynie*, Wydział Matematyki, Informatyki i Mechaniki UW, licencja: CC BY-NC-ND 3.0.

Po kontakcie z antygenem dochodzi do proliferacji (namnażania się) tylko tych limfocytów, które mogą rozpoznać dany antygen. Jest to mechanizm tzw. selekcji klonalnej. W konsekwencji wydzielane są przeciwciała i zostają aktywowane liczne podziały mitotyczne. W wyniku podziałów dochodzi do zwiększenia liczby limfocytów mających receptor dla danego antygeny. Dzięki selekcji klonalnej dochodzi więc do wytworzenia swoistej odporności na patogen w bardzo krótkim czasie. Po wyeliminowaniu patogenu aktywowane komórki ulegają [apoptozie](#), a jedynie nieliczne przeżywają jako komórki warunkujące [pamięć immunologiczną](#).

Rozpoznawanie antygeny przez limfocyty

Na błonach komórkowych limfocytów T i B znajdują się receptory antygenowo specyficzne. Umożliwiają one rozpoznawanie obcych antygenów. Na pojedynczym limfocycie występuje ok. 100 tys. takich receptorów.

Receptory limfocytów T składają się z dwóch różnych łańcuchów polipeptydowych (alfa i beta, połączonych mostkami disiarczkowymi). Na zewnętrznym końcu znajdują się części zmienne (V), które stanowią miejsce wiązania antygeny, natomiast pozostałe części (C) są stałe.



1

Miejsce wiązania antygeny

2

Błona komórkowa limfocyty T

3

Części zmienne

4

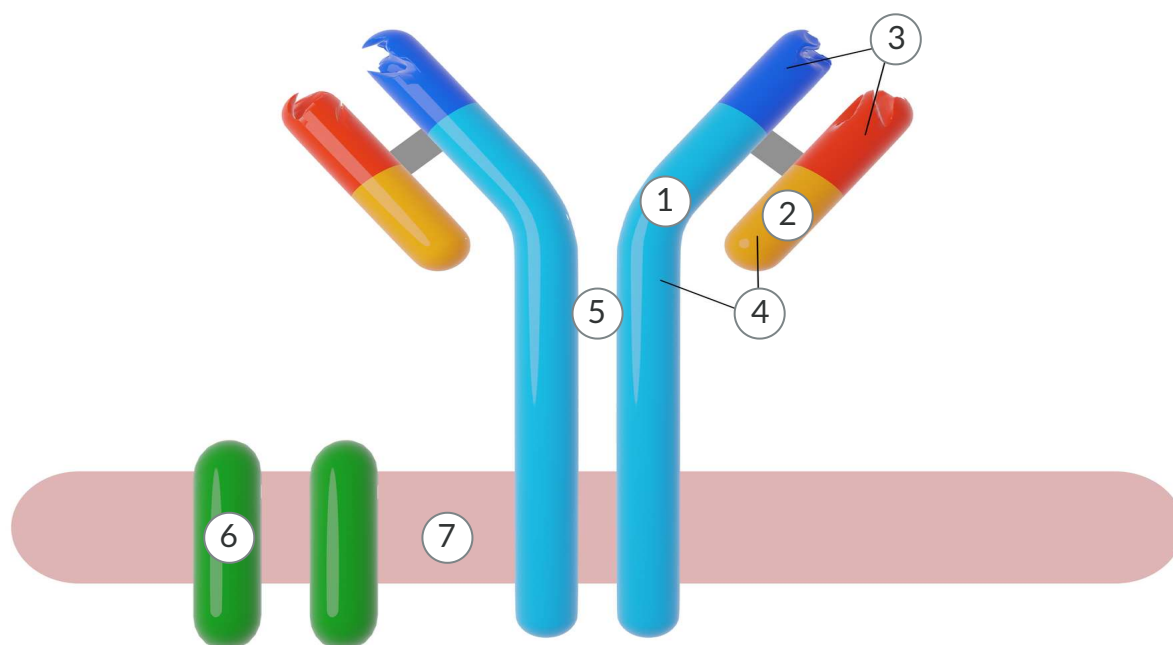
Części stałe

Budowa receptora limfocyty T.

Źródło: Englishsquare.pl Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Receptory limfocytów B mają kształt litery Y i składają się z czterech łańcuchów polipeptydowych (dwóch identycznych łańcuchów ciężkich i dwóch identycznych

łańcuchów lekkich, połączonych mostkami disiarczkowymi) oraz dwóch dodatkowych łańcuchów polipeptydowych: Ig-alfa i Ig-beta. Odcinki N-końcowe, tzw. części zmienne łańcuchów lekkiego i ciężkiego, wiążą antygen, z kolei odcinki C-końcowe, tzw. części stałe łańcucha ciężkiego, oddziałują z innymi częściami receptora.



1

Łańcuch ciężki

2

Łańcuch lekki

3

Części zmienne

4

Części stałe

Mostek disiarczkowy

Region transdukcji sygnału

Błona komórkowa limfocytu B

Budowa receptora limfocytu B.

Źródło: Englishsquare.pl Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Słownik

apoptoza

naturalny proces programowej i kontrolowanej śmierci komórek własnych organizmu; proces usunięcia z wielokomórkowego organizmu starych, zużytych lub uszkodzonych komórek, na miejsce których wprowadzane są nowe

cytokiny

substancje białkowe regulujące aktywność krwinek i innych komórek podczas procesów zapalnych

efekt cytotoksyczny

efekt oddziaływania komórek odpornościowych lub ich produktów (przeciwciała, cytokiny) wobec innych komórek własnych lub obcych (m.in. przeszczepy, nowotwory), prowadzący do uszkodzenia i śmierci komórki rozpoznanej i poddanej temu oddziaływaniu

epitop

fragment antygeny łączący się bezpośrednio z wolnym przeciwciałem

erytropoeza

proces powstawania i różnicowania się erytrocytów (krwinek czerwonych)

hemopoeza

proces powstawania i różnicowania się komórek krwi kręgowców

komórki NK

ang. *natural killer*; rodzaj limfocytów; charakteryzują się obecnością w cytoplazmie licznych ziarnistości; stanowią ok. 10% wszystkich limfocytów krwi obwodowej; mają zdolność do tzw. naturalnej cytotoksyczności komórkowej, tj. do spontanicznego zabijania komórek docelowych bez konieczności uprzedniej immunizacji gospodarza; komórkami docelowymi komórek NK są głównie komórki zakażone wirusem i komórki nowotworowe

komórki macierzyste

komórki pluripotencjalne o właściwościach wielopotencjalnych; mogą różnicować się w różne typy komórek

komórki mieloidalne

komórki progenitorowe komórek krwi, występujące w szpiku kostnym

komórki pluripotencjalne

komórki macierzyste o właściwościach wielopotencjalnych; mogą różnicować się w różne typy komórek

komórki progenitorowe (prekursorowe)

komórki powstałe w wyniku podziału komórek pluripotencjalnych, ukierunkowane na dany typ komórki

leukopoeza

proces powstawania leukocytów z komórek macierzystych

limfocyty B

subpopulacja limfocytów zdolna do produkcji swoistych przeciwciał (immunoglobuliny); część z nich przekształca się w komórki plazmatyczne uwalniające przeciwciała, a część, tworząc komórki pamięci, odpowiada za pamięć immunologiczną organizmu

limfocyty T

komórki układu odpornościowego; dojrzewają w grasicy; są zdolne do rozpoznawania ciał obcych i niszczenia zainfekowanych komórek; wyróżnia się 3 funkcjonalne subpopulacje limfocytów T: limfocyty Th (limfocyty T pomocnicze, ang. helpers), pełniące funkcję komórek regulujących odpowiedź immunologiczną, limfocyty Tc (limfocyty T cytotoksyczne, ang. cytotoxic), które są odpowiedzialne za niszczenie antygenów na drodze cytotoksyczności komórkowej oraz limfocyty Treg (limfocyty T regulatorowe, dawniej supresorowe), odpowiadające za tłumienie zbyt nasilonej lub autoreaktywnej odpowiedzi immunologicznej

pamięć immunologiczna

właściwość układu immunologicznego organizmu polegająca na szybszym i swoistym reagowaniu przy kolejnym kontakcie z danym antygenem

szczepionki

preparaty zawierające drobnoustroje lub pochodzące z nich antygeny, które po podaniu człowiekowi lub zwierzęciu wywołują powstanie odporności przeciw danym drobnoustrojom

Animacja



Film dostępny pod adresem </preview/resource/Rq6S9bTBxjdbO>

Powstawanie leukocytów i nabywanie kompetencji immunologicznej.

Źródło: reż. Englishsquare.pl Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Film prezentuje powstawanie leukocytów i nabywanie kompetencji immunologicznej.

Polecenie 1

Wyjaśnij, czym jest leukopoeza, i opisz jej przebieg, uwzględniając podziały komórkowe i różnicowanie komórek.

Polecenie 2

Opisz proces nabywania kompetencji immunologicznej przez limfocyty, zwracając uwagę na czynniki, pod wpływem których zachodzi i jego przebieg.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Przyporządkuj rodzaje białych krwinek do odpowiedniej grupy na podstawie obecności lub braku ziarnistości w ich cytoplazmie.

Leukocyty zawierające ziarnistości w cytoplazmie

monocyty

limfocyty B

neutrofile

eozynofile

bazofile

limfocyty T

Leukocyty niezawierające ziarnistości w cytoplazmie

Ćwiczenie 2



Uporządkuj podane komórki w kolejności ich powstawania, zaczynając od multipotencjalnych hematopoetycznych komórek macierzystych.

Multipotencjalne hematopoetyczne komórki macierzyste



Limfoblasty



Plazmocyty



Limfoidalne komórki progenitorowe



Limfocyty B



Ćwiczenie 3



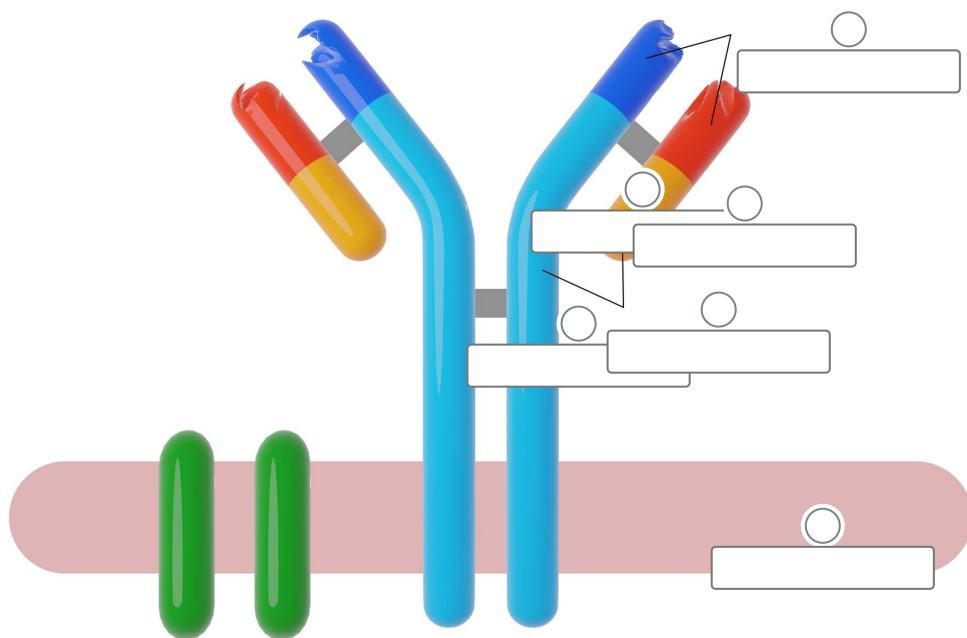
Oceń, czy podane stwierdzenia są prawdziwe czy fałszywe.

	Prawda	Fałsz
Obecność komórek pamięci jest gwarancją szybszej i skuteczniejszej odpowiedzi układu odpornościowego na patogen w przypadku ponownego zakażenia.	☐	☐
Aktywowane limfocyty B wytwarzają przeciwciała, które są obecne przede wszystkim we krwi i limfie i pełnią istotną funkcję w odpowiedzi odpornościowej typu humoralnego.	☐	☐
Limfocyty T rozpoznają antygeny bezpośrednio na komórkach drobnoustrojów chorobotwórczych, które wniknęły do organizmu człowieka.	☐	☐

Ćwiczenie 4



Na poniższej ilustracji przedstawiono budowę receptora limfocytu B. Przyporządkuj nazwy do odpowiadających im struktur.



Mostek disiarczkowy

Części stałe

Błona komórkowa limfocytu B

Części zmienne

Łańcuch lekki

Łańcuch ciężki

Źródło: Englishsquare.pl Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Ćwiczenie 5



Zaznacz wszystkie elementy, które wchodzą w skład receptora limfocytu T.

- ☐ Mostek disiarczkowy
- ☐ Łańcuch lekki
- ☐ Łańcuch ciężki
- ☐ Łańcuch polipeptydowy beta
- ☐ Ig-beta
- ☐ Łańcuch polipeptydowy alfa

Ćwiczenie 6



Do podanych pojęć przyporządkuj definicje.

Limfopoeza

Typ odpowiedzi układu odpornościowego, w którym biorą udział limfocyty T.

Odpowiedź odpornościowa typu humoralnego

Typ odpowiedzi układu odpornościowego, w którym główną rolę odgrywają przeciwciała wytwarzane przez aktywowane limfocyty B.

Odpowiedź odpornościowa typu komórkowego

Proces immunologiczny polegający na selektywnej aktywacji limfocytów zdolnych do rozpoznania określonego patogenu.

Selekcja klonalna

Proces wytwarzania limfocytów.



” Mechanizmy autotolerancji można podzielić na centralne, tzn. zachodzące w centralnych lub inaczej pierwotnych narządach limfatycznych (grasicy w przypadku limfocytów T i szpiku kostnym oraz wątrobie w przypadku limfocytów B), i obwodowe – zachodzące w obwodowych, wtórnych narządach limfatycznych (śledzionie, węzłach chłonnych, migdałkach, grudkach chłonnych). Indukcja tolerancji centralnej polega głównie na delecji klonalnej, czyli eliminacji odpowiednich klonów limfocytów. Procesy te zachodzą już podczas dojrzewania komórek odpornościowych i polegają na tzw. selekcji pozytywnej – którą przeżywają jedynie limfocyty niereagujące z własnymi antygenami organizmu oraz takie, które choć rozpoznają te antygeny, to wiążą się z nimi bardzo słabo – i negatywnej, w której przypadku limfocyty wiążące się z dużym powinowactwem do antygenów ulegają apoptozie, czyli samobójczej śmierci. (...) Zaburzenia autotolerancji prowadzą do tzw. autoimmunizacji, czyli skierowania odpowiedzi układu odpornościowego na własne struktury organizmu.

Źródło: Anna Kurcek, *Choroby autoimmunologiczne*, portal e-biotechnologia.

Wyjaśnij, w jaki sposób dochodzi do rozwoju chorób autoimmunologicznych u człowieka.

Ćwiczenie 8



Limfocyty obecne w naszym organizmie wyposażone są w receptory zdolne do rozpoznawania określonych antygenów. Podczas infekcji, kiedy dochodzi do wniknięcia drobnoustroju chorobotwórczego, tylko część z obecnych w ciele człowieka limfocytów będzie w stanie go rozpoznać i unieszkodliwić. By odpowiedź na dany patogen była szybka, aktywacji i proliferacji ulegają tylko te limfocyty, które mają receptory dla antygenów obecnych na powierzchni danego drobnoustroju. Taki proces nazywamy selekcją klonalną.

Wyjaśnij, dlaczego selekcja klonalna jest korzystna dla organizmu.

Dla nauczyciela

Autor: Anna Juwan

Przedmiot: Biologia

Temat: Powstawanie leukocytów i nabywanie kompetencji immunologicznej

Grupa docelowa: uczniowie III etapu edukacyjnego – kształcenie w zakresie podstawowym i rozszerzonym

Podstawa programowa:

Zakres podstawowy

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

V. Budowa i fizjologia człowieka.

3. Odporność. Uczeń:

2) opisuje sposoby nabywania odporności swoistej (czynny i bierny);

Zakres rozszerzony

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

XI. Funkcjonowanie zwierząt.

2. Porównanie poszczególnych czynności życiowych zwierząt, z uwzględnieniem struktur odpowiedzialnych za ich przeprowadzanie.

2) Odporność. Uczeń:

c) przedstawia narządy i komórki układu odpornościowego człowieka,

Kształtowane kompetencje kluczowe:

- kompetencje cyfrowe;
- kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się;
- kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii.

Cele operacyjne (językiem ucznia):

- Przedstawisz rodzaje leukocytów.
- Przeanalizujesz proces powstawania limfocytów.
- Omówisz sposób nabywania kompetencji immunologicznej przez limfocyty.
- Opisziesz rozwój odpowiedzi immunologicznej typu komórkowego i humoralnego.

Strategie nauczania:

- konstruktywizm;
- konektywizm.

Metody i techniki nauczania:

- z użyciem komputera;
- ćwiczenia interaktywne;
- praca z filmem;
- śniegowa kula;
- analiza tekstu źródłowego;
- gra dydaktyczna;
- mapa myśli.

Formy pracy:

- praca indywidualna;

- praca w parach;
- praca w grupach;
- praca całego zespołu klasowego.

Środki dydaktyczne:

- komputery z głośnikami, słuchawkami i dostępem do internetu;
- zasoby multimedialne zawarte w e-materiale;
- tablica interaktywna/tablica, pisak/kreda;
- telefony z dostępem do internetu.

Przed lekcją:

1. Uczniowie zapoznają się z treścią w sekcji „Przeczytaj”.

Przebieg lekcji

Faza wstępna:

1. Nauczyciel wyświetla i odczytuje temat lekcji oraz zawarte w sekcji „Wprowadzenie” cele zajęć. Prosi uczniów lub wybraną osobę o sformułowanie kryteriów sukcesu.
2. **Wprowadzenie do tematu.** Nauczyciel prowadzi pogadankę, zadając pytania:
 - Jakie występują rodzaje limfocytów?
 - Jaką pełnią funkcję?
 Następnie prosi chętnych uczniów o opisanie procesu przedstawionego na ilustracji okładkowej.

Faza realizacyjna:

1. **Kula śniegowa.** Nauczyciel informuje uczniów, że będą pracować metodą kuli śniegowej, poszukując w udostępnionym e-materiale odpowiedzi na następujące pytania:

- W jakich miejscach powstają i dojrzewają leukocyty?
- Jak przebiega proces powstawania leukocytów?
- W jaki sposób nabywana jest kompetencja immunologiczna?

Nauczyciel objaśnia wspomnianą wyżej metodę i wynikające z niej kolejne etapy pracy:

- 1) najpierw uczniowie będą indywidualnie opracowywać odpowiedzi na zadane pytania;
- 2) potem połączą się w pary i porównają swoje propozycje, a na osobnej kartce zapiszą wspólne odpowiedzi;
- 3) kolejnym krokiem będzie połączenie się par w czwórki, które – jak poprzednio – skonfrontują swoje odpowiedzi;
- 4) uczniowie utworzą 8-osobowe zespoły i znów porównają swoje propozycje;
- 5) przedstawiciele poszczególnych zespołów 8-osobowych zaprezentują na forum klasy uzgodnione w grupie odpowiedzi.

2. **Praca z multimediami („Animacja”).** Uczniowie zapoznają się z filmem udostępnionym przez nauczyciela i tworzą notatki uzupełniające treści z sekcji „Przeczytaj”.
3. **Praca w parach z treścią e-materiału.** Uczniowie na podstawie przeczytanego tekstu oraz informacji zawartych w medium w sekcji „Animacja” układają pytania do quizu dla innych par. Nauczyciel wraz z uczniami określa zasady rywalizacji i punktowania dobrych odpowiedzi (np. gra na czas lub na liczbę poprawnych odpowiedzi). Przeprowadzenie gry w klasie. Nauczyciel lub wybrany uczeń dba o prawidłowy przebieg quizu zgodnie z wcześniejszymi ustaleniami.
4. **Utrwalenie wiedzy i umiejętności.** Uczniowie rozwiązują samodzielnie ćwiczenia nr 7 (w którym mają za zadanie – na podstawie tekstu źródłowego – wyjaśnić, w jaki sposób dochodzi do rozwoju chorób autoimmunologicznych u człowieka) i nr 8 (w którym mają za zadanie – w odniesieniu do przedstawionych informacji – wyjaśnić, dlaczego selekcja klonalna jest korzystna dla organizmu) z sekcji „Sprawdź się”. Po ustalonym czasie wybrani uczniowie przedstawiają odpowiedzi, a reszta klasy ustosunkowuje się do nich. Nauczyciel w razie potrzeby koryguje odpowiedzi, dopowiada istotne informacje.

Faza podsumowująca:

1. Klasa wspólnie wykonuje mapę myśli podsumowującą zajęcia.
2. Omówienie ewentualnych problemów z rozwiązaniem zadań z sekcji „Sprawdź się”.

Praca domowa:

1. Wykonaj ćwiczenia od 1 do 6 z sekcji „Sprawdź się”.

Materiały pomocnicze:

- Jane B. Reece i in., „Biologia Campbella”, tłum. K. Stobrawa i in., Dom Wydawniczy REBIS, Poznań 2021.
- „Encyklopedia szkolna. Biologia”, red. Marta Stęplewska, Robert Mitoraj, Wydawnictwo Zielona Sowa, Kraków 2006.

Dodatkowe wskazówki metodyczne:

- Uczniowie mogą przed lekcją zapoznać się z materiałem w sekcji „Animacja”, aby aktywnie uczestniczyć w zajęciach i pogłębić swoją wiedzę.