



Współdziałanie humoralnej i komórkowej odpowiedzi immunologicznej

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

A high-magnification electron micrograph of a lymphocyte, showing its complex, irregular surface structure. The cell is rendered in shades of blue and yellow against a dark background. The surface is covered in numerous small, protruding structures, giving it a highly textured appearance.

Współdziałanie humoralnej i komórkowej odpowiedzi immunologicznej

Zdjęcie limfocyty wykonane przy użyciu mikroskopu elektronowego.
Źródło: National Institutes of Health, WikimediaCommons, domena publiczna.

Odporność nabyta (swoista) kształtuje się po kontakcie organizmu z patogenem w sposób bierny bądź czynny. Co ważne, odpowiedź nabyta skierowana jest przeciwko konkretnemu patogenowi. Wyróżniamy dwa mechanizmy odporności nabytej: odpowiedź komórkową i odpowiedź humoralną. Mimo różnego działania oba mechanizmy współdziałają ze sobą w walce z patogenami.

Twoje cele

- Poznasz mechanizmy działania komórkowej oraz humoralnej odporności nabytej.
- Omówisz sposób współdziałania odporności komórkowej i humoralnej.
- Ocenisz rolę odporności nabytej w obronie przeciwdrobnoustrojowej człowieka.

Przeczytaj

Ze względu na precyzję w rozpoznawaniu antygenów można wyróżnić dwa rodzaje odporności. W mniej selektywnej **odporności nieswoistej** biorą udział między innymi komórki żerne: makrofagi, granulocyty obojętnochłonne i kwasochłonne oraz **komórki NK**. Z kolei **odporność swoista (nabyta)** jest bardzo selektywna i precyzyjna. Ten rodzaj odporności warunkują limfocyty T i B.

Odporność swoista (nabyta) opiera się na dwóch mechanizmach działania. Pierwszy z nich to odpowiedź **komórkowa**, drugi to odpowiedź **humoralna**.

Aby zrozumieć poruszane w tym materiale zagadnienia, przypomnij sobie:

- e-materiał pod tytułem *Komórki układu odpornościowego człowieka*
- film pod tytułem *Cechy i mechanizmy odporności nabytej*.

Mechanizm działania odporności nabytej humoralnej

Odpowiedź humoralna jest warunkowana przez limfocyty B, które wytwarzają przeciwciała niszczące patogeny. Wytworzenie odporności nabytej humoralnej trwa kilka dni.

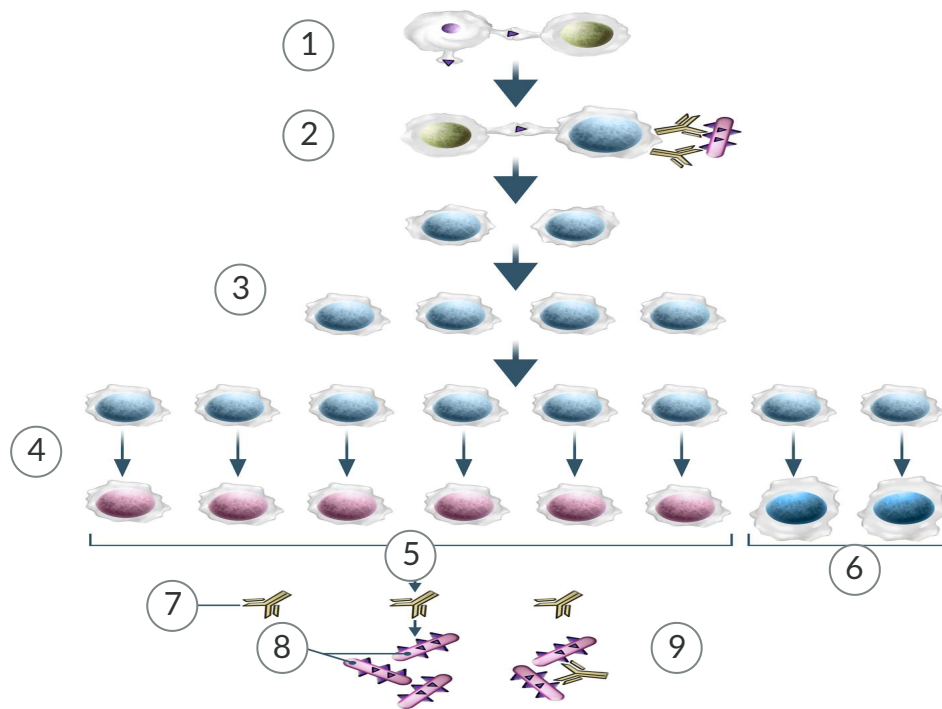
Po wnikięciu do organizmu patogen zostaje pochłonięty przez makrofaga. Na powierzchni swojej błony makrofag ekspozuje antygen pochłoniętego patogenu. Antygeny są prezentowane limfocytom Th przez białka **MHC klasy II**. Białka te są jednymi z antygenów zgodności tkankowej, które tworzą zespół białek zwany **głównym układem zgodności tkankowej (MHC)** (ang. *major histocompatibility complex*).

Więcej informacji na temat głównego układu zgodności tkankowej znajdziesz w e-materiale pt. *Antygeny zgodności tkankowej*.

Powstaje kompleks obcy antygen–MHC. W ten sposób makrofagi „pokazują” limfocytom, jakie zmiany w strukturze własnych antygenów zgodności tkankowej, rozpoznawanych przez wszystkie limfocyty T, nastąpiły pod wpływem dodatkowo prezentowanego antygeny. Dzięki temu, z wielozadaniowej populacji limfocytów T są „rekrutowane” limfocyty swoście rozpoznające prezentowany antygen. Prezentacja antygeny limfocytowi pomocniczemu (Th) prowadzi do wytwarzania cytokin stymulujących namnażanie limfocytów B.

Aktywowane **immunokompetentne** limfocyty B namnażają się (proliferyją). W wyniku podziałów mitotycznych powstają dwa rodzaje komórek: **komórki plazmatyczne** i **komórki**

pamięci. Komórki plazmatyczne zaczynają produkcję przeciwciał. Przeciwciała docierają do miejsc, gdzie znajdują się patogeny i wiążą je w nieaktywne kompleksy antygen–przeciwciało. Następnie kompleksy te są fagocytowane przez **makrofagi**. Komórki pamięci utrzymują się w organizmie przez wiele lat od pierwotnego kontaktu z antygenem. Podczas ponownego kontaktu z tym patogenem rozwija się wtórna odpowiedź humoralna, która jest znacznie szybsza i silniejsza.



1

Makrofag prezentuje na swojej powierzchni kompleks antygen–MHC. Limfocyt Th rozpoznaje te kompleksy i wydziela cytokiny.

2

Poprzez produkowanie cytokin limfocyt Th przywołuje limfocyty B mające ten sam receptor. Zostają one aktywowane po związaniu antygeny.

3

Aktywowany limfocyt B dzieli się mitotycznie. Następuje namnażanie kompetentnych limfocytów B.

4

Limfocyty B różnicują się na komórki plazmatyczne i limfocyty B pamięci.

5

Komórki plazmatyczne pozostają w tkankach limfatycznych. Produkują przeciwciała swoiste, które są transportowane z krwią lub limfą.

6

Limfocyty B pamięci pozostają w tkankach po opanowaniu zakażenia. Utrzymują się w organizmie przez wiele lat od pierwotnego kontaktu z antygenem. Dzięki nim, w przypadku ponownego kontaktu z antygenem, rozwija się wtórna odpowiedź humoralna, która jest szybsza i bardziej efektywna.

7

Przeciwciała transportowane są z krwią i limfą do objętych zakażeniem tkanek.

8

Antygeny na powierzchni patogenu (np. bakterii)

9

W wyniku związania przeciwciał z antygenami patogenu powstaje kompleks antygen-przeciwciało, co prowadzi do unieszkodliwienia patogenu. Następnie zachodzi fagocytoza patogenów przez makrofagi.

Mechanizm odporności nabytej humoralnej.

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

Mechanizm działania odporności nabytej komórkowej

Odpowiedź komórkowa warunkowana jest przez limfocyty T i ściśle związana z działaniem makrofagów. Komórki te bezpośrednio atakują patogeny. Odpowiedź immunologiczna o podłożu komórkowym skierowana jest głównie przeciw patogenom wewnątrzkomórkowym, takim jak wirusy czy bakterie, a także przeciwko zmienionym

nowotworowo komórkom organizmu. Odporność swoista komórkowa prowadzi do lizy zainfekowanej komórki, dzięki białkom cytotoksycznym oraz enzymom indukującym apoptozę.

Po wnikięciu obcego antygeny do organizmu następuje prezentacja antygeny limfocytom T przez zakażoną komórkę. Po rozpoznaniu antygeny limfocyt migruje do węzła chłonnego, gdzie ulega podziałom i różnicowaniu. Proces ten prowadzi do powstania dwóch rodzajów komórek: komórek pamięci immunologicznej oraz komórek wykonawczych. Komórki wykonawcze to limfocyty Th (pomocnicze) i limfocyty Tc (cytotoksyczne).

Limfocyty Th wytwarzają cytokiny, które pobudzają inne limfocyty do działania. Do pobudzanych przez nie limfocytów należą limfocyty Tc (cytotoksyczne).

Limfocyty cytotoksyczne uczestniczą w reakcjach przeciwko własnym zmienionym komórkom. Reakcje te są wywoływane pojawieniem się na powierzchni komórek obcych antygenów, np. bakteryjnych, wirusowych czy nowotworowych. Limfocyty Tc uczestniczą także w odrzucaniu przeszczepionych komórek, które mają odmienne antygeny zgodności tkankowej.

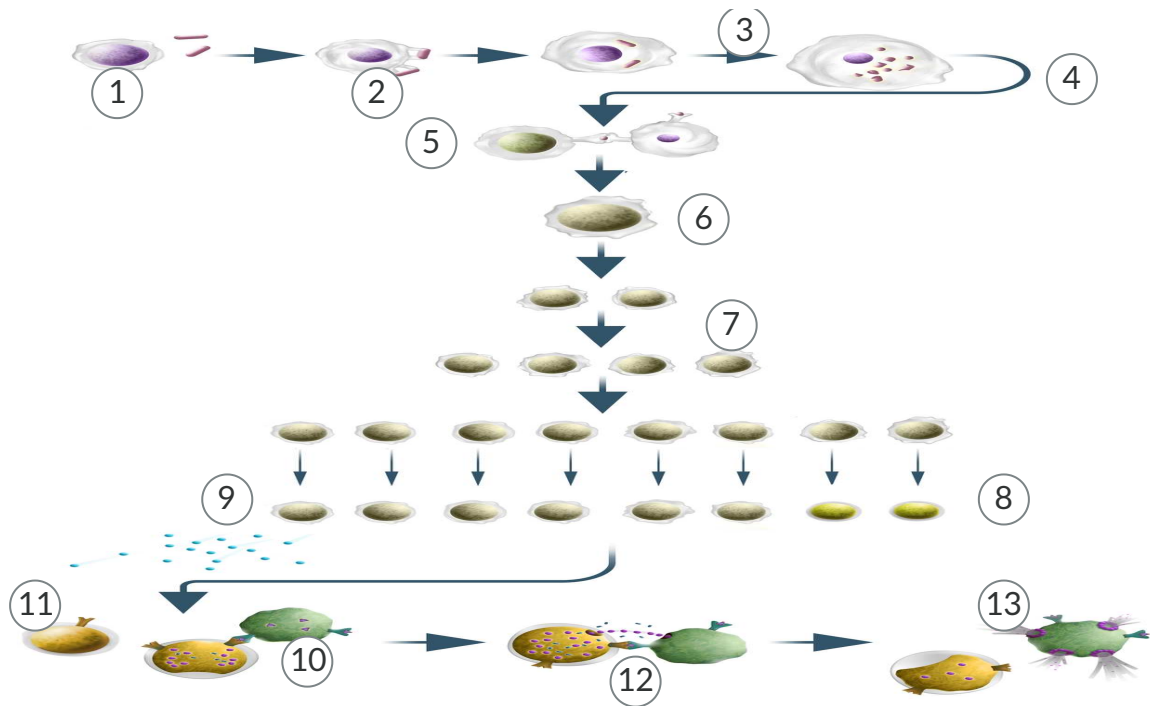
Przebieg odpowiedzi komórkowej z udziałem limfocytów Tc rozpoczyna się od zetknięcia się limfocytu Tc z komórką mającą obcy antygen. Do tej komórki wprowadzane są perforyny – substancje indukujące apoptozę komórki mającej obcy antygen. Perforyny niszczą błonę komórkową komórki i umożliwiają wnikięcie granzym, czyli substancji powodujących zniszczenie DNA komórki.

Martwe komórki są następnie pochłaniane przez makrofagi. Cytokiny wytwarzane i rozsyłane przez limfocyty Th pobudzają także limfocyty B, co było opisane wcześniej, w akapicie dotyczącym odporności humoralnej.

Całość reakcji komórkowej prowadzi do tzw. odpowiedzi typu późnego. Charakteryzuje się ona naciekaniem i zwiększoną aktywnością komórek zapalnych, które uczestniczą w niszczeniu patogenu i komórek zmienionych.

Ważne!

Nie wszystkie antygeny powodują indukcję odporności komórkowej. Antygenami powodującymi reakcję odporności komórkowej są: antygeny wirusowe, antygeny grzybów i antygeny niektórych bakterii.



1

Patogen wnika do organizmu i zbliża się do makrofaga (APC).

2

Patogen jest wchłaniany przez makrofaga.

3

Patogen jest rozbijany w środku makrofaga, a jego fragmenty antygenowe opłaszczają razem z głównym układem zgodności tkankowej (MHC) powierzchnię makrofaga.

4

Makrofag staje się komórką prezentującą antygen (APC).

5

Limfocyt Th przyłącza się do głównego układu zgodności tkankowej (MHC).

6

Aktywowany limfocyt Th powiększa się, po czym dzieli się mitotycznie.

7

W węzłach chłonnych następuje szybkie namnażanie kompetentnych limfocytów Th.

8

Część limfocytów Th różnicuje się w komórki pamięci, które gromadzone są w węzłach chłonnych.

9

Limfocyty Th uwalniają cytokiny oddziałujące na limfocyty Tc.

10

Limfocyty Tc gromadzą się w miejscu wtargnięcia patogenu. Są aktywowane przez kompleksy antygen-MHC obecne na zakażonych komórkach.

11

Po aktywowaniu limfocyty Tc dzielą się, dając początek klonom komórek, które migrują do innych tkanek w poszukiwaniu zakażonych komórek.

12

Limfocyty Tc doprowadzają do lizy zainfekowanej komórki dzięki białkom cytotoksycznym oraz enzymom indukującym apoptozę.

13

Zainfekowana komórka zostaje zniszczona.

Mechanizm odporności nabytej komórkowej.

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

Zależność pomiędzy odpowiedzią humoralną a komórkową

Mechanizmy komórkowe i humoralne ściśle ze sobą współpracują. Podział odpowiedzi nabytej na odpowiedź humoralną i komórkową jest sztuczny, ponieważ w większości zakażeń obserwuje się oba typy reakcji. Jednak ich udział w obronie organizmu może być różny. Oznacza to, że podczas reakcji skierowanej na dany antygen jeden typ odpowiedzi może dominować nad drugim.

Odporność komórkowa w pewnym stopniu uzupełnia odporność humoralną. Pobudzone limfocyty Th produkują cytokiny, które stymulują limfocyty B do szybkich podziałów komórkowych (tzw. [selekcja klonalna](#)). Zatem podobnie jak na wszystkich etapach odpowiedzi immunologicznej, również tutaj dochodzi do współdziałania różnych mechanizmów (w tym wypadku komórkowych i humoralnych).

Słownik

antygeny zgodności tkankowej

tzw. antygeny transplantacyjne; zespół antygenów charakteryzujących indywidualność immunologiczną organizmu (u człowieka ludzkie antygeny MHC I i II klasy, nazywane też leukocytarnymi HLA), występujących na powierzchni jego komórek

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

peptydy lub białka, najczęściej glikoproteiny, regulujące wiele procesów zachodzących w komórkach organizmu; wytwarzane są przez różne komórki i tkanki, głównie układu odpornościowego – limfocyty i makrofagi; większość cytokin wykazuje działanie pleiotropowe (wielokierunkowe), wpływając na różne komórki o różnorodnych funkcjach; do cytokin należą m.in.: interferony, interleukiny i czynniki wzrostu

główny układ zgodności tkankowej (MHC)

(ang. *major histocompatibility complex*); zespół białek odpowiedzialnych za prezentację antygenów limfocytom T; umożliwia limfocytom rozpoznawanie i odróżnianie antygenów własnych od obcych

granzymy

białka apoptyczne; substancje powodujące zniszczenie DNA komórki

interleukiny

zaliczane do cytokin białka (glikoproteiny) o charakterze cząsteczek sygnałowych (hormonów tkankowych), wytwarzane i wydzielane przez różne typy komórek kręgowców; działają na inne komórki i regulują ich wzrost i różnicowanie oraz

uczestniczą w odpowiedziach immunologicznych związanych z infekcjami bakteryjnymi, stanami zapalnymi lub uszkodzeniami tkanek; działają przez specyficzne receptory błonowe

komórka immunokompetentna

dojrzała komórka układu odpornościowego, która ma zdolność rozpoznawania antygenów i jest zdolna do odpowiedzi odpornościowej na ten antygen

komórki NK

(ang. *natural killer*) rodzaj limfocytów charakteryzujących 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, stąd przypisuje się im istotną rolę w zwalczaniu zakażeń wirusowych i nadzorze immunologicznym nad rozwojem nowotworów

komórki pamięci

komórki limfocytarne mające swoiste receptory dla danego antygeny, na który organizm reagował; po przebyciu zakażenia komórki pamięci są przygotowane do wytworzenia wielu przeciwciał w krótkim czasie, jeśli w organizmie ponownie pojawi się ten sam rodzaj chorobotwórczego drobnoustroju

komórki plazmatyczne

plazmocyty; komórki tkanki łącznej stanowiące końcowy etap różnicowania się limfocytów B; wytwarzają i wydzielają immunoglobuliny; występują licznie w błonie śluzowej przewodu pokarmowego i narządach limfatycznych

komórki śródbłona

odgrywają kluczową rolę w utrzymywaniu prawidłowej funkcji naczyń krwionośnych

limfocyty Tc

limfocyty T cytotoksyczne (z ang. *cytotoxic*), nazywane także limfocytami CD8; odpowiedzialne są za niszczenie antygenów na drodze cytotoksyczności komórkowej, tzn. w wyniku oddziaływania na inne komórki własne lub obce (m.in. przeszczepy, nowotwory), prowadzącego do uszkodzenia i śmierci rozpoznanej komórki

limfocyty Th

limfocyty T pomocnicze (z ang. *helper*) pełnią funkcję komórek regulujących odpowiedź immunologiczną

makrofagi

przekształcone w tkankach monocyty; zdolne do pełzakowatego ruchu i o dużych zdolnościach do fagocytozy

MHC klasy II

antygeny zgodności tkankowej występujące na komórkach prezentujących antygen limfocytom T pomocniczym (Th); obecne są m.in. na komórkach dendrytycznych i makrofagach

odporność nieswoista

wrodzony mechanizm obrony, w który zaangażowane są komórki żerne oraz naturalne bariery ochronne takie jak ślina i łzy zawierające lizozym, nieuszkodzona skóra, odruchy obronne (np. kaszel, wymioty, kichanie), niskie pH potu; odporność niezależna od rozpoznawania antygenów przez przeciwciała i receptory limfocytów T i B

perforyny

białka wydzielane przez limfocyty i komórki cytotoksyczne; wbudowują się w błonę komórkową, tworząc białkowy kanał, przez który wnikają jony sodowe i woda do wnętrza komórki, powodując jej lizę (rozpad)

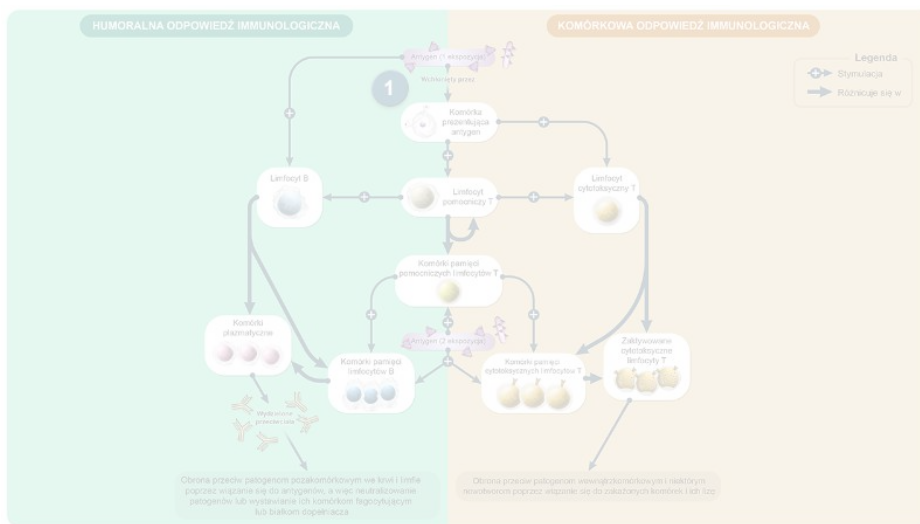
selekcja klonalna

proces, dzięki któremu odpowiedź odpornościowa jest swoista; polega na tym, że aktywacji ulegają tylko te limfocyty, które mogą rozpoznać dany antygen

Grafika interaktywna

Polecenie 1

Przeanalizuj poniższą grafikę. Kliknij punkty z cyframi i rozwiąż zadania dotyczące odpowiedzi immunologicznej. W przypadku udzielenia niepoprawnej odpowiedzi, zamknij okno z zadaniem, a następnie otwórz je ponownie, by spróbować rozwiązać zadanie jeszcze raz.



Zasób interaktywny dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/DTctXS3Ht>

Współdziałanie humoralnej i komórkowej odpowiedzi immunologicznej.

Źródło: Englishsquare.pl Sp. z o.o. na podstawie: *Biologia Campbella*, 2016, opracowanie zbiorowe, wyd. Rebis, s. 962, licencja: CC BY-SA 3.0.

Polecenie 2

Przeanalizuj powyższy schemat i wyjaśnij, na czym polega współdziałanie humoralnej i komórkowej odpowiedzi immunologicznej.

Polecenie 3

Korzystając ze schematu i innych dostępnych źródeł wiedzy, opisz przebieg wtórnej odpowiedzi immunologicznej.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Zaznacz poprawną odpowiedź. Komórki zdolne do fagocytozy to:

☐ cytokiny

☐ limfocyty B

☐ limfocyty T

☐ makrofagi

Ćwiczenie 2



Połącz w logiczne pary rodzaje limfocytów z pełnionymi przez nie funkcjami.

limfocyty Tc

bezpośrednie niszczenie
drobnoustrojów

limfocyty Th

wzmacnianie odpowiedzi
immunologicznej poprzez bezpośredni
kontakt oraz wydzielanie cytokin

limfocyty B

wytwarzanie przeciwciał

Ćwiczenie 3



Zaznacz poprawne odpowiedzi. Które z poniższych elementów nie biorą udziału w komórkowej odpowiedzi immunologicznej?

☐ Limfocyty Tc

☐ Limfocyty Th

☐ Przeciwciała

☐ Limfocyty B

Ćwiczenie 4



Określ, czy poniższe zdania są prawdziwe czy fałszywe.

Zdanie	Prawda	Fałsz
Limfocyty B stanowią element mechanizmu odporności nabytej komórkowej.	☐	☐
Makrofag może prezentować antygen limfocytom Th.	☐	☐
Nie wszystkie antygeny powodują indukcję odporności komórkowej.	☐	☐

Ćwiczenie 5



Uzupełnij luki w tekście odpowiednimi wyrażeniami.

Odpowiedź jest warunkowana przez , które wytwarzają przeciwciała niszczące komórki patogenne. Na wytworzenie humoralnej odporności potrzebne jest kilka dni. Odpowiedź komórkowa warunkowana jest natomiast przez i ściśle związana z działaniem . Komórki te bezpośrednio atakują .

limfocyty T

makrofagów

humoralna

swoistej

patogeny

antygeny

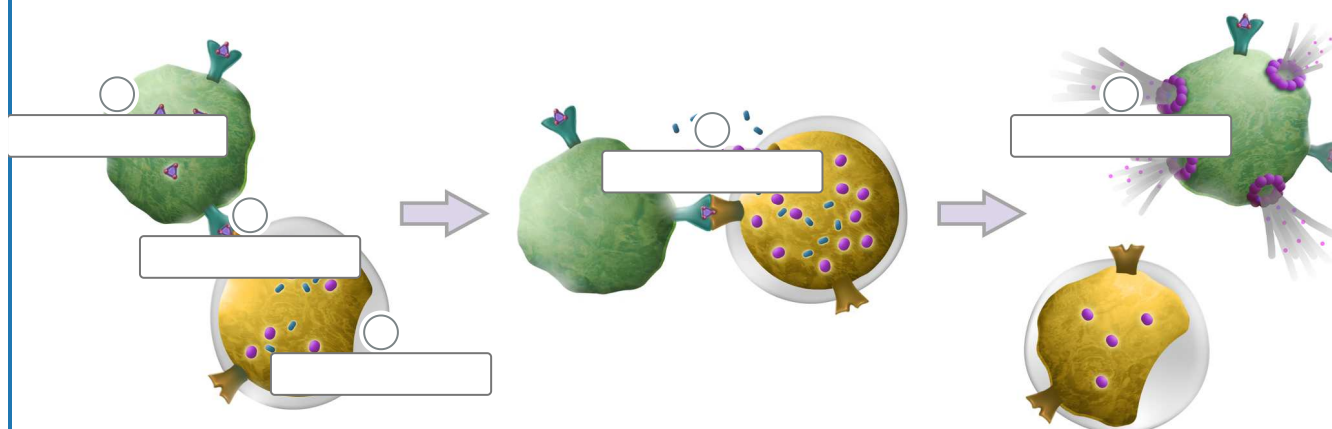
nabytej

limfocyty B

Ćwiczenie 6



Wstaw podpisy w odpowiednie miejsca schematu przedstawiającego mechanizm odporności komórkowej.



Obcy antygen

Enzymy inicjujące apoptozę

Limfocyt Tc

Zainfekowana komórka

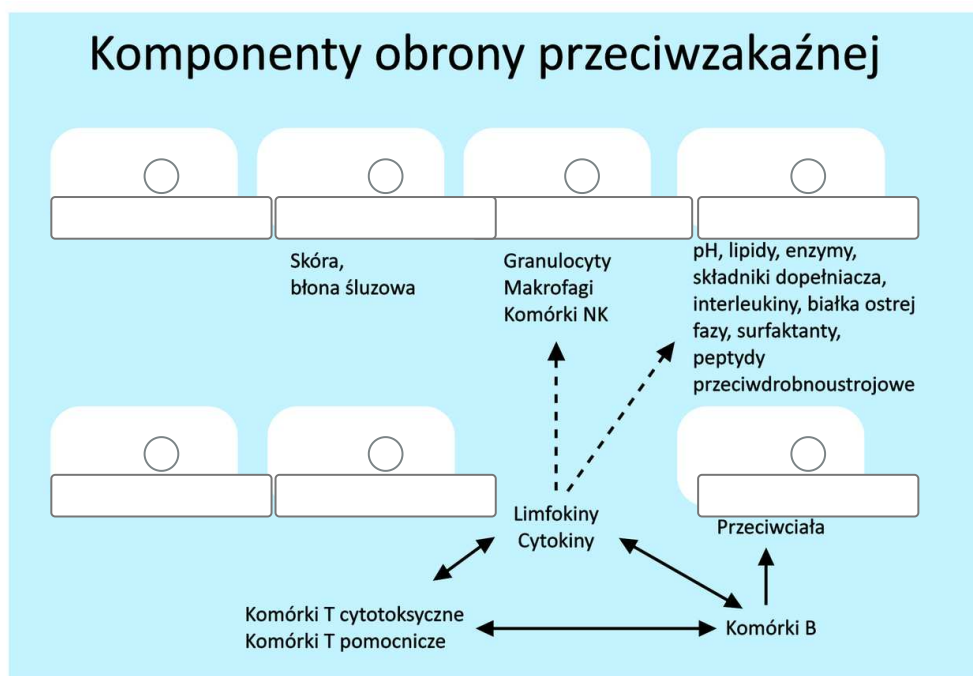
Liza zainfekowanej komórki

Układ limfatyczny człowieka

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



Różne mechanizmy układu odpornościowego człowieka ściśle ze sobą współpracują. Uzupełnij poniższy schemat, wskazując na kooperację mechanizmów odpornościowych swoistych i nieswoistych.



Obrona komórkowa

Obrona komórkowa

Odporność nabyta swoista

Bariera chemiczna

Odporność wrodzona nieswoista

Obrona humoralna

Bariera fizyczna (mechaniczna)



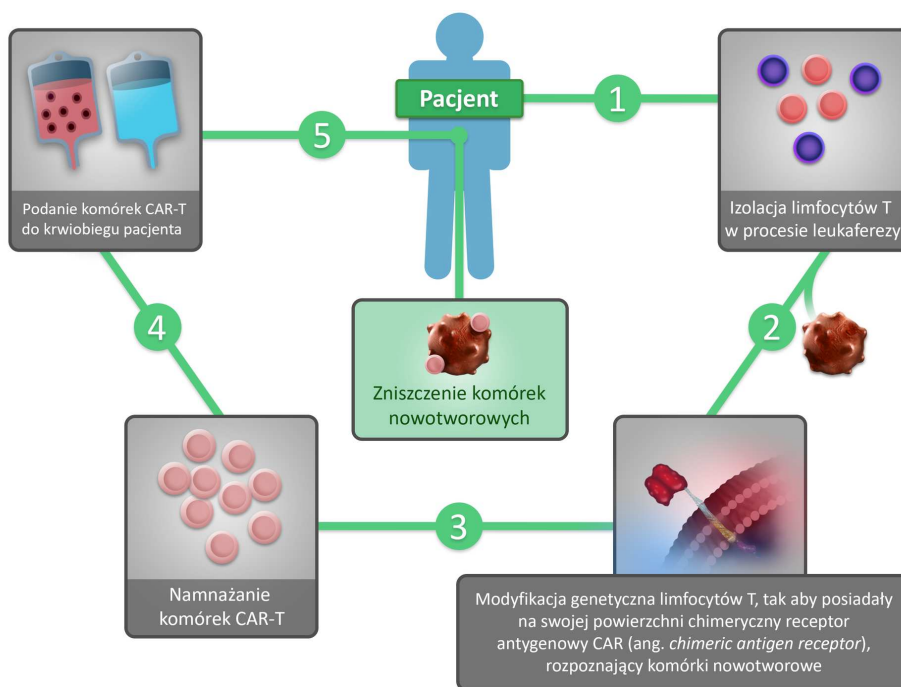
„Aby limfocyt B przekształcił się w plazmocyty i zaczął wytwarzać przeciwciała, nie zawsze wystarczy samo związanie antygeny z jego receptorem (...). Sygnał musi pochodzić, w większości przypadków, także od limfocytów Th, które wiążąc antygen, wytwarzają cytokiny pobudzające między innymi właśnie limfocyty B”.

Źródło: Jasiulewicz A., Lisowska K. A., Bryl E., Witkowski J., M. (2011), *Rola limfocytów B w mechanizmach patogenezy wybranych chorób*, Forum Medycyny Rodzinnej, 5, 37

Na podstawie informacji zamieszczonej powyżej oraz własnej wiedzy wyjaśnij znaczenie limfocytów Th w procesie odpowiedzi odpornościowej organizmu. W odpowiedzi wymień minimum trzy funkcje tych komórek.



Limfocyty T wykorzystywane są do walki z nowotworami. Jedną z takich metod jest terapia CAR-T (ang. *chimeric antigen receptors T cells*), służąca do walki z białaczką.



Terapia CAR-T.

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

Zapoznaj się ze schematem, a następnie wyjaśnij, dlaczego w terapii CAR-T wykorzystywane są zmodyfikowane genetycznie limfocyty T, a nie limfocyty B. Odpowiedz w min. trzech zdaniach.

Dla nauczyciela

Autor: Anna Juwan

Przedmiot: biologia

Temat: Współdziałanie humoralnej i komórkowej odpowiedzi 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:

- 1) rozróżnia odporność wrodzoną (nieswoistą) i nabytą (swoistą) oraz komórkową i humoralną;
- 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:

- a) rozróżnia odporność wrodzoną (nieswoistą) i nabytą (swoistą) oraz komórkową i humoralną,
- b) opisuje sposoby nabywania odporności swoistej (czynny i bierny),

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):

- Poznasz mechanizmy działania komórkowej oraz humoralnej odporności nabytej.
- Omówisz sposób współdziałania odporności komórkowej i humoralnej.
- Ocenisz rolę odporności nabytej w obronie przeciwdrobnoustrojowej człowieka.

Strategie nauczania:

- konstruktywizm;
- konektywizm.

Metody i techniki nauczania:

- z użyciem komputera;
- ćwiczenia interaktywne;
- analiza grafiki interaktywnej;
- śniegowa kula.

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.

Przed lekcją:

1. **Przygotowanie do zajęć.** Nauczyciel loguje się na platformie i udostępnia uczniom e-materiał „Współdziałanie humoralnej i komórkowej odpowiedzi immunologicznej”. Prosi uczestników zajęć o rozwiązanie ćwiczenia nr 2 (w którym mają za zadanie połączyć w logiczne pary rodzaje limfocytów T z pełnionymi przez nie funkcjami) z sekcji „Sprawdź się” na podstawie treści w sekcji „Przeczytaj”.

Przebieg lekcji

Faza wstępna:

1. Nauczyciel wyświetla na tablicy temat lekcji oraz cele zajęć, omawiając lub ustalając razem z uczniami kryteria sukcesu.
2. **Wprowadzenie do tematu.** Nauczyciel zadaje uczniom pytanie: „Czym różnią się mechanizmy działania odporności nabytej komórkowej i humoralnej?”. Wybrana osoba wszystkie odpowiedzi zapisuje na tablicy.

Faza realizacyjna:

1. **Kula śniegowa.** Nauczyciel informuje uczniów, że będą pracować metodą kuli śniegowej, poszukując w udostępnionym e-materiale odpowiedzi na następujące pytania:
 - Na czym polega mechanizm działania odporności nabytej komórkowej?
 - Jaką rolę odgrywa odporność nabyta komórkowa w obronie przeciwdrobnoustrojowej człowieka?
 - Które struktury mogą być antygenami bakteryjnymi?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) na koniec uczniowie utworzą 8-osobowe zespoły i znów porównają swoje propozycje.
2. **Praca z grafiką interaktywną pt. „Współdziałanie humoralnej i komórkowej odpowiedzi immunologicznej”.** Uczniowie zapoznają się z grafiką interaktywną udostępnioną przez nauczyciela, a następnie rozwiązują zadania dotyczące odpowiedzi immunologicznej.
3. Uczniowie wykonują w parach polecenie nr 2, w którym mają za zadanie wyjaśnić, na czym polega współdziałanie humoralnej i komórkowej odpowiedzi immunologicznej. Wybrane osoby przedstawiają odpowiedź na forum klasy.
4. **Utrwalenie wiedzy i umiejętności.** Uczniowie w parach wykonują ćwiczenie nr 7 (polegające na uzupełnieniu schematu, z uwzględnieniem kooperacji mechanizmów odpornościowych swoistych i nieswoistych) z sekcji „Sprawdź się”. Następnie porównują swoje odpowiedzi z najbliższymi siedzącymi sąsiadami. Nauczyciel w razie trudności naprowadza podopiecznych na właściwe rozwiązania lub wyjaśnia wątpliwości.

Faza podsumowująca:

1. Uczniowie rozwiązują ćwiczenie nr 4 (typu „prawda/fałsz”) z sekcji „Sprawdź się”. Następnie przygotowują podobne zadanie dla osoby z pary: tworzą trzy prawdziwe lub

falszywe zdania dotyczące tematu lekcji. Uczniowie wykonują ćwiczenie otrzymane od kolegi lub koleżanki.

2. Nauczyciel wyświetla treści zawarte w sekcji „Wprowadzenie” i na ich podstawie dokonuje podsumowania najważniejszych informacji przedstawionych na lekcji. Wyjaśnia także wątpliwości uczniów.

Praca domowa:

1. Wykonaj ćwiczenia nr 3, 5, 6 i 8 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.

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania grafiki interaktywnej:

- Nauczyciel może wykorzystać grafikę interaktywną do podsumowania lekcji.