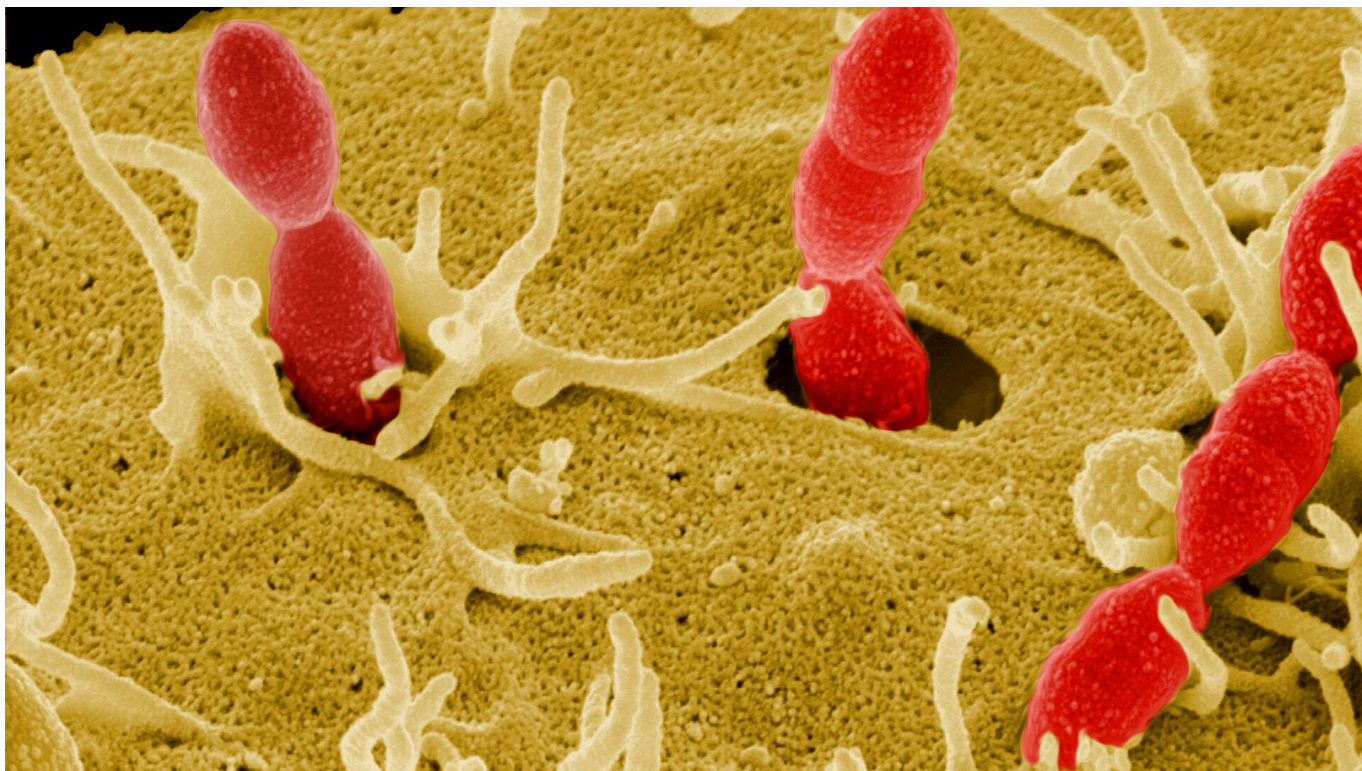




Układ dopełniacza – struktura i funkcje w reakcjach odporności wrodzonej

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



Układ dopełniacza – struktura i funkcje w reakcjach odporności wrodzonej

Na zdjęciu bakterie *Streptococcus gordonii* (zakolorowane na czerwono) atakują komórki jamy ustnej człowieka. W ramach odpowiedzi immunologicznej organizmu białka układu dopełniacza wbudowują się w osłony zewnętrzne drobnoustrojów: drążą w nich kanały i doprowadzają do ich rozpadu.

Źródło: ZEISS Microscopy, Flickr, licencja: CC BY-NC-ND 2.0.

Układ dopełniacza to grupa ponad 30 białek. Tworzą one element wrodzonego mechanizmu obrony immunologicznej organizmu – chronią go przed szkodliwymi drobnoustrojami. Przeciwciała same z siebie nie potrafią niszczyć drobnoustrojów – jest to możliwe właśnie przy udziale białkowego dopełniacza. Białka układu dopełniacza oznaczają się dużą literą C (od angielskiego słowa *complement*) oraz cyframi arabskimi i niekiedy małymi literami alfabetu łacińskiego, np. C9, C4b.

Twoje cele

- Wyjaśnisz rolę układu dopełniacza w obronie przeciwdrobnoustrojowej organizmu.
- Opiszysz strukturę układu dopełniacza.
- Wyjaśnisz związek układu dopełniacza z działaniem przeciwciał.

Układ dopełniacza



Jules Jean Baptiste Vincent Bordet – belgijski mikrobiolog i immunolog, laureat Nagrody Nobla w 1919 roku.

Źródło: A. B. Lagrelus & Westphal, Stockholm, Wikimedia Commons, domena publiczna.

Układ dopełniacza (dopełniacz, komplement) to istotny element odporności wrodzonej (nieswoistej) humoralnej kręgowców. Nazwą tą określa się zespół ok. 30 białek, które znajdują się w osoczu krwi. Białka te są nieaktywne, aktywują je związki obecne na powierzchni drobnoustrojów.

Układ dopełniacza został odkryty przez Julesa Bordeta (1870–1961), belgijskiego mikrobiologa i immunologa. Zaobserwował on właściwości bakteriolityczne surowicy krwi. Komórki bakterii przecinkowca cholery (*Vibrio cholerae*) uległy rozpadowi pod wpływem znajdujących się w surowicy substancji. Za odkrycie otrzymał w 1919 r. Nagrodę Nobla w dziedzinie fizjologii i medycyny.

Aktywacja układu dopełniacza

Układ dopełniacza to grupa białek **osocza** krwi i innych płynów ustrojowych. Są one aktywowane kaskadowo (każdy uaktywniony składnik aktywuje z kolei następny) przez związki występujące na powierzchni drobnoustrojów, prowadząc do powstania cylindrycznej struktury białkowej – **kompleksu atakującego błonę**, czyli **MAC** (ang. *membrane attack complex*). W wyniku jego działania dochodzi do lizy komórki.

Enzymatyczna kaskada układu dopełniacza może być aktywowana trzema ścieżkami. W przypadku każdej z dróg aktywacji powstają dwa istotne enzymy: **konwertaza C3** i **konwertaza C5**, które bardzo silnie wzmacniają efekt dopełniacza. Niezależnie od sposobu aktywacji dochodzi do powstania kompleksu atakującego błonę komórkową patogenu (MAC). Klasyczna ścieżka aktywacji układu dopełniacza zależy od obecności

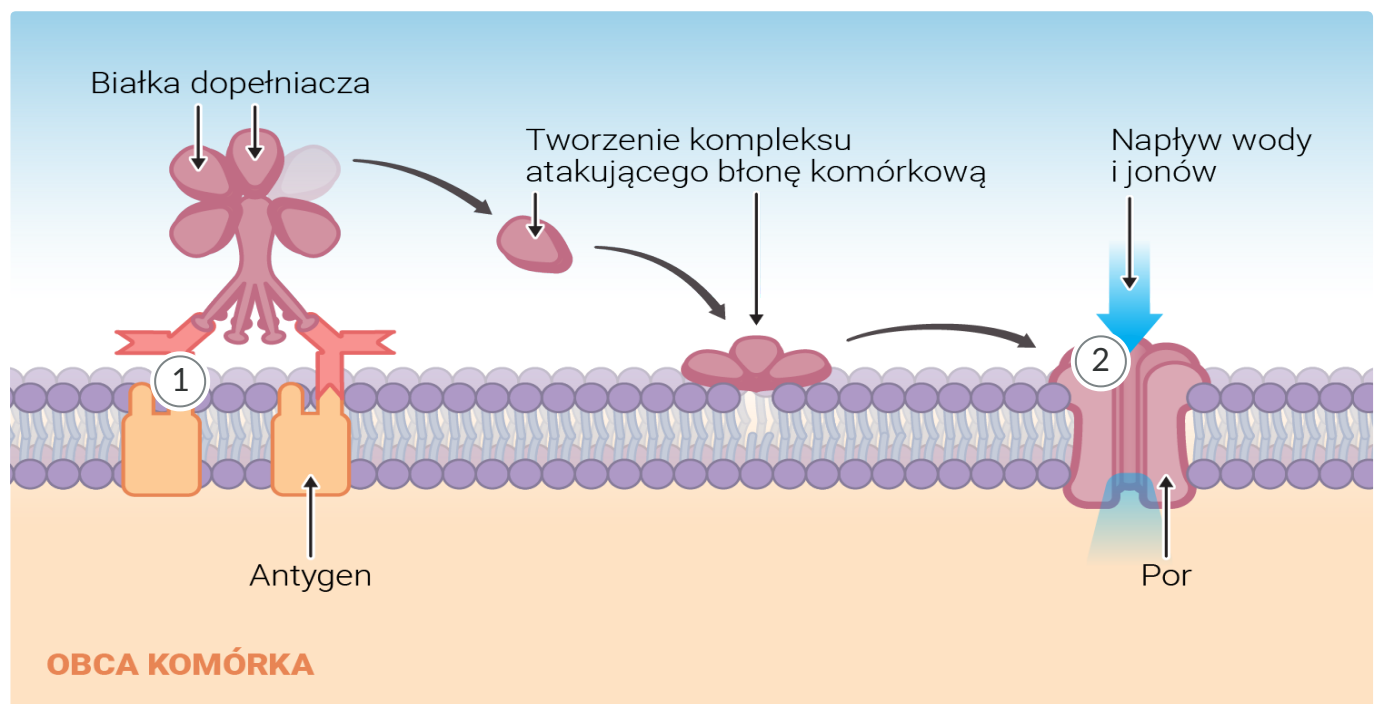
przeciwciał. Pozostałe dwie ścieżki – alternatywna i **lektynowa** – są niezależne od przeciwciał. Są one inicjowane na skutek zetknięcia się białek dopełniacza z drobnoustrojami wówczas, gdy nie są obecne przeciwciała. W osoczu jest najwięcej **białka C3**, które stanowi główny wspólny element wszystkich dróg aktywacji dopełniacza. Jego niedobory w organizmie są przyczyną ciężkich, nawracających infekcji.

Układ dopełniacza jest ogniwem łączącym mechanizmy odporności nieswoistej i swoistej, gdyż jego aktywacja może zachodzić, gdy są obecne przeciwciała, co jest cechą odpowiedzi swoistej, jak i wówczas gdy przeciwciał brak, co jest cechą odpowiedzi nieswoistej.

Kaskada aktywacji dopełniacza jest skomplikowana. Każdą ze ścieżek aktywacji inicjuje inny czynnik.

Kompleks atakujący błonę

Pomimo różnych ścieżek późniejsze etapy aktywacji układu dopełniacza są takie same i prowadzą do utworzenia kompleksu atakującego błonę, czyli MAC. MAC tworzy kanał w błonie komórkowej patogenu. W ten sposób prowadzi do napływu płynu zewnątrzkomórkowego do wnętrza komórki drobnoustroju, co skutkuje jej rozerwaniem, czyli **lizą**.



Układ dopełniacza jest aktywowany poprzez wiązanie przeciwciał do antygenów znajdujących się na powierzchni obcej komórki.

2

Kompleks atakujący błonę komórkową tworzy pory w błonie komórkowej obcej komórki. Przez pory napływa woda wraz z jonami, przez co komórka pęcznieje i ulega lizie.

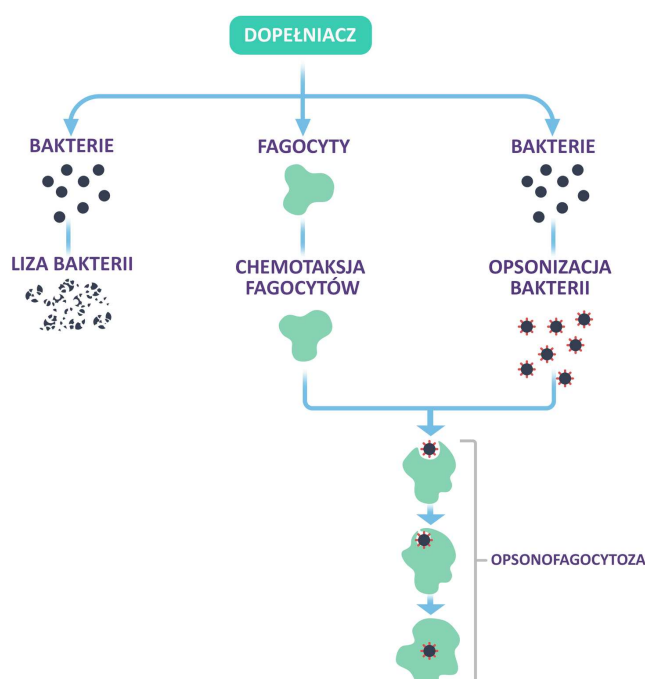
Proces tworzenia kompleksu atakującego błonę.

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

Pozostałe funkcje układu dopełniacza

Oprócz lizy patogenów oraz wywoływania stanu zapalnego w organizmie gospodarza układ dopełniacza wspiera odpowiedź odpornościową również przez oddziaływanie **chemotaktyczne** na komórki fagocytyjące – stymuluje to ich napływ do miejsca zakażenia. Innym działaniem jest **opsonizacja** drobnoustrojów, która również wzmacnia fagocytozę.

Do funkcji układu dopełniacza należy także bezpośrednia eliminacja nieprawidłowych komórek organizmu, np. martwych, **apoptycznych** lub nowotworowych, stymulowanie uwalniania mediatorów zapalnych z **komórek tucznych** i **bazofilów** oraz wzmacnianie **odpowiedzi humoralnej** poprzez wiązanie się białek dopełniacza do powierzchni **limfocytów B** i stymulowanie ich do wytwarzania przeciwciał.



Układ dopełniacza bierze udział w lizie bakterii, chemotaksji fagocytów oraz opsonizacji. Opsonofagocytoza to proces, w wyniku którego komórka żerna należąca do układu odpornościowego fagocytuje antygen opłaszczony opsoninami z udziałem receptorów dla opsonin.

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

bazofile

rodzaj leukocytów występujących u kręgowców; wykazują zdolność endocytozy; zawierają heparynę przeciwdziałającą krzepnięciu krwi, a także serotoninę, histaminę i inne związki, które powodują rozszerzanie naczyń i zwiększanie ich średnicy

chemotaksja

ruch drobnych i niewielkich organizmów (bakterii, okrzemek, jednokomórkowych glonów, pierwotniaków, robaków, stawonogów itp.), a także wolnych komórek (jak płytki roślin niższych, plemniki, leukocyty) ukierunkowany gradientem czynnika chemicznego w środowisku

komórki tuczne

komórki tkanki łącznej kręgowców wypełnione zasadochłonnymi ziarnistościami (pęcherzykami); ziarnistości komórek tucznych zawierają substancje biologicznie czynne, m.in. heparynę, histaminę, które uwolnione z komórek wywołują miejscowe reakcje alergiczne oraz uczestniczą w wytwarzaniu nabytej odporności na pasożyty; komórki tuczne produkują także mediatory, które nie są magazynowane w ziarnistościach, ale powstają wkrótce po zadziałaniu bodźca — należą do nich np. prostaglandyny i leukotrieny stymulujące m.in. stany zapalne (obrzemiecie, zaczerwienienie i podwyższenie temperatury)

konwertaza

ogólna nazwa różnych enzymów, które działając na substrat (np. białkowy proenzym), zmieniają go i przez to powodują jego uczynnienie

lektyny

białka występujące powszechnie w błonie komórkowej bakterii, roślin i zwierząt, wiążące się specyficznie z glikoproteinami i glikolipidami błon innych komórek; biorą udział w oddziaływaniach między komórkami, np. komórki jajowej z plemnikiem, patogenów z komórką żywiciela, bakterii *Rhizobium* z włosnikami korzeni roślin motylkowych

limfocyty B

subpopulacja limfocytów zdolna do produkcji swoistych przeciwciał (immunoglobuliny); część z nich, tworząc komórki pamięci, odpowiada za pamięć immunologiczną organizmu; u większości ssaków limfocyty B dojrzewają w szpiku kostnym

liza

rozpad komórek bakteryjnych, roślinnych lub zwierzęcych pod wpływem czynników litycznych uszkadzających ściany i błony komórkowe, prowadzący do śmierci komórki i uwolnienia zawartości cytoplazmy do otoczenia

odpowiedź humoralna

pobudzenie komórek układu odpornościowego do produkcji swoistych przeciwciał

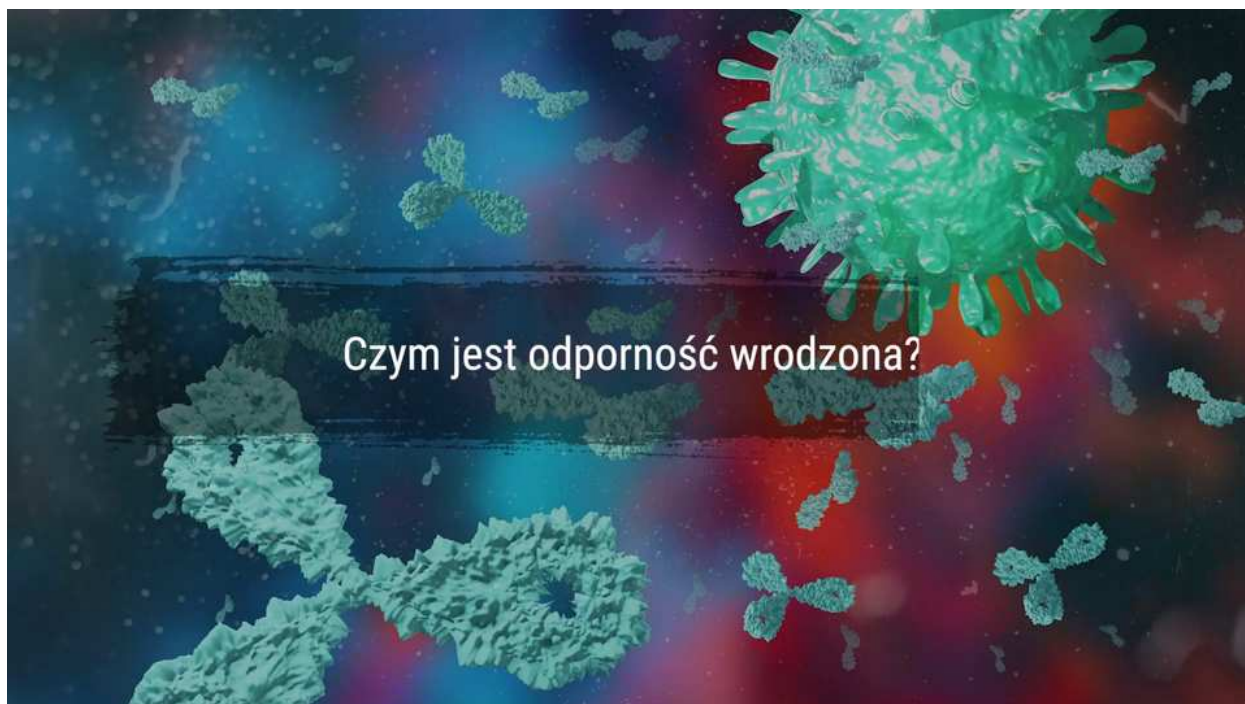
opsonizacja

proces polegający na ułatwieniu fagocytozy mikroorganizmów i innych cząstek przez otoczenie ich np. białkami układu dopełniacza lub przeciwciałami (opsonizacja immunologiczna)

osocze

płynna część krwi złożona z surowicy i fibrynogenu

Film



Film dostępny pod adresem </preview/resource/R1JIINZNzG5JR>

Układ dopełniacza – struktura i funkcje w reakcjach odporności wrodzonej.

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

Film pod tytułem "Układ dopełniacza – struktura i funkcje w reakcjach odporności wrodzonej".

Polecenie 1

Omów budowę układu dopełniacza. W odpowiedzi uwzględnij nazwy białek, które go tworzą.

Polecenie 2

Wymień trzy funkcje układu dopełniacza w organizmie człowieka.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Zaznacz prawidłowe dokończenie zdania.

Aktywacja układu dopełniacza prowadzi do...

- ☐ powstania kompleksu atakującego błonę.
- ☐ strawienia patogenów przez neutrofile.
- ☐ fagocytozy.
- ☐ neutralizacji wirusa poprzez zablokowanie jego zdolności do wiązania z komórką.

Ćwiczenie 2



Uzupełnij poniższe zdanie.

Układ dopełniacza to element mechanizmów odpornościowych. Zaliczamy go do odporności . Układ dopełniacza to zespół ok. , które znajdują się w . Białka te są .

komórkowej 30 białek nieaktywne nieswoistych osoczu krwi limfie
 40 białek swoistych aktywne humoralnej

Ćwiczenie 3



Zaznacz opsoniny.

☐ mannoza

☐ przeciwciała

☐ mureina

☐ układ dopełniacza

Ćwiczenie 4



Zaznacz, które z podanych stwierdzeń są prawdziwe, a które fałszywe.

Stwierdzenie	Prawda	Fałsz
MBL to kompleks atakujący błonę.	☐	☐
Alternatywna ścieżka aktywacji układu dopełniacza jest zależna od przeciwciał.	☐	☐
Białko C5a układu dopełniacza odpowiada za powstanie stanu zapalnego w organizmie.	☐	☐

Ćwiczenie 5



Wśród poniższych kolorem fioletowym zaznacz elementy odporności nieswoistej humoralnej, kolorem zielonym elementy odporności nieswoistej komórkowej, a kolorem niebieskim elementy odporności swoistej.

☐ fioletowy

☐ zielony

☐ niebieski

przeciwciała

układ dopełniacza

makrofagi

lizozym

MAC

limfocyty T

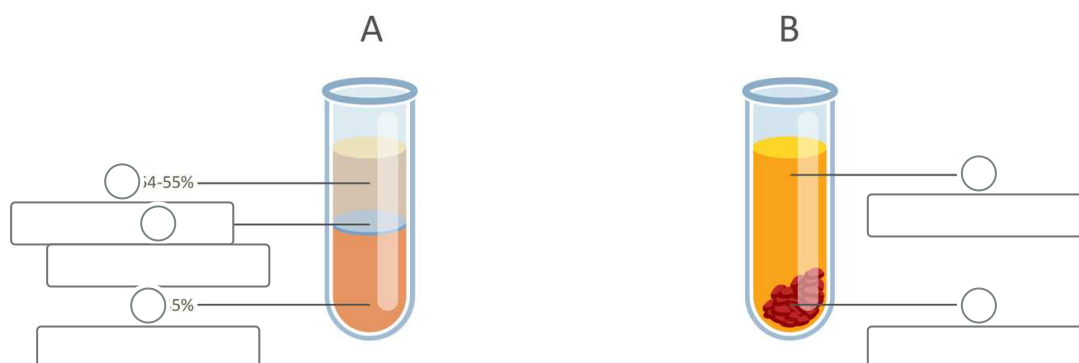
limfocyty B

neutrofile

Ćwiczenie 6



Poniższy schemat przedstawia różnice między osoczem a surowicą krwi. Uzupełnij schemat o brakujące opisy.



Surowica

Włóknik krwi

Erytrocyty

Płytki krwi i leukocyty

Osocze

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

W której z próbek będzie występował układ dopełniacza?

Układ dopełniacza będzie występował w

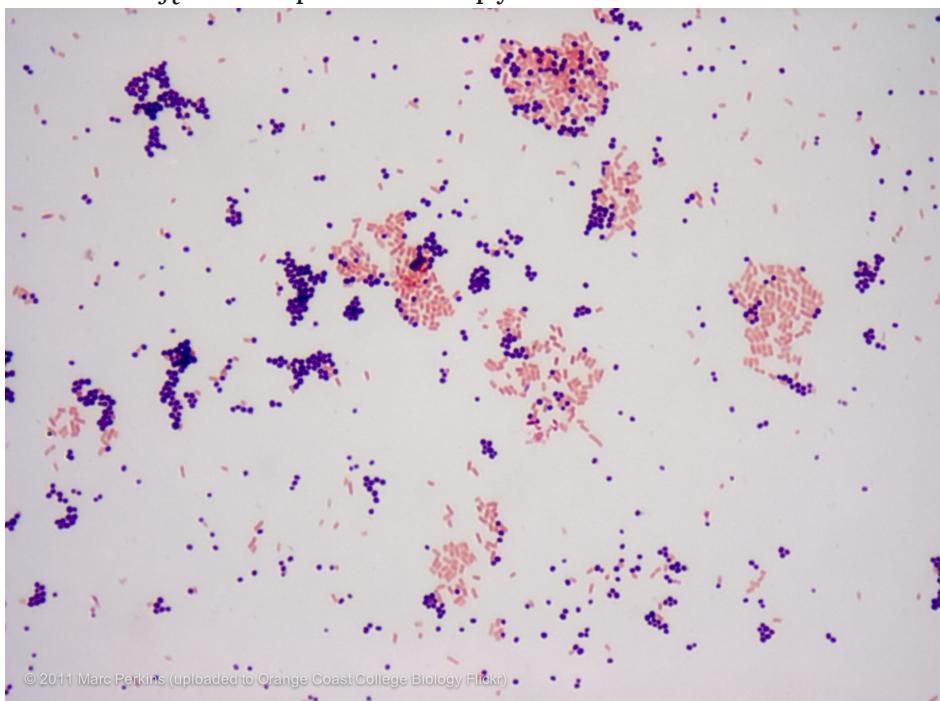
próbce A ☐

próbce B ☐

obu próbkach ☐

Ilustracja do ćwiczeń 8 i 9

Poniższe zdjęcie przedstawia obraz mikroskopowy dwóch różnych gatunków bakterii. Przeanalizuj poniższe zdjęcie i odpowiedz na pytania.



Dwa gatunki bakterii oglądane pod mikroskopem świetlnym. Powiększenie 1000 ×.

Źródło: Marc Perkins, Flickr, licencja: CC BY-NC 2.0.

Ćwiczenie 7



Wyjaśnij, co oznaczają różnice w kolorach tych bakterii.

Ćwiczenie 8



Podaj, które z tych bakterii będą ulegać lizie pod wpływem działania układu dopełniacza.

Uzasadnij swoją odpowiedź.

Dla nauczyciela

Autor: Anna Juwan

Przedmiot: biologia

Temat: Układ dopełniacza – struktura i funkcje w reakcjach odporności wrodzonej

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;

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,

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):

- Wyjaśnisz rolę układu dopełniacza w obronie przeciwdrobnoustrojowej organizmu.
- Opiszysz strukturę układu dopełniacza.
- Wyjaśnisz związek układu dopełniacza z działaniem przeciwciał.

Strategie nauczania:

- konstruktywizm;
- konektywizm.

Metody i techniki nauczania:

- z użyciem komputera;
- ćwiczenia interaktywne;
- praca z filmem;
- 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;
- telefony z dostępem do internetu.

Przed lekcją:

1. **Przygotowanie do zajęć.** Nauczyciel loguje się na platformie i udostępnia uczniom e-materiał „Układ dopełniacza – struktura i funkcje w reakcjach odporności wrodzonej”. Prosi uczestników zajęć o rozwiązanie ćwiczenia nr 2 (w którym uczniowie mają uzupełnić zdanie na temat układu dopełniacza) z sekcji „Sprawdź się” na podstawie treści w sekcji „Przeczytaj”.

Przebieg lekcji

Faza wstępna:

1. Nauczyciel wyświetla zawartość sekcji „Wprowadzenie”. Uczniowie wspólnie z nauczycielem omawiają cele lekcji i określają kryteria sukcesu.
2. **Praca z multimedium („Film”).** Uczniowie zapoznają się z filmem udostępnionym przez nauczyciela. Następnie wybrane osoby wskazują trzy funkcje układu dopełniacza

w organizmie człowieka (polecenie nr 2).

Faza realizacyjna:

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

- Jaką strukturę ma układ dopełniacza?
- Jakie funkcje pełni układ dopełniacza w obronie przeciwdrobnoustrojowej organizmu?
- Jakie inne funkcje poza obroną przed drobnoustrojami pełni układ dopełniacza?
- Jaki związek ma układ dopełniacza z działaniem przeciwciał?

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 prezentują na forum klasy uzgodnione w grupie odpowiedzi.

Nauczyciel uzupełnia odpowiedzi uczniów lub koryguje błędy.

2. **Praca w grupach z treścią e-materiału.** Nauczyciel dzieli uczniów na cztery grupy. Każda grupa na podstawie e-materiału przygotowuje zestaw pięciu pytań. Nauczyciel obserwuje pracę uczniów, w razie potrzeby służy pomocą. Zwraca uwagę, aby pytania były problemowe, a nie pamięciowe. Koryguje wypowiedzi uczniów. Nauczyciel tworzy nowe grupy tak, aby w każdej znalazła się jedna osoba z każdej grupy poprzedniej. Każdy członek zespołu zadaje pytanie przygotowane przez swój zespół, pozostali odpowiadają na nie.
3. **Utrwalenie wiedzy i umiejętności.** Uczniowie samodzielnie wykonują polecenie nr 1 do filmu (w którym mają omówić budowę układu dopełniacza, uwzględniając nazwy białek, które go tworzą) oraz ćwiczenie nr 8 z sekcji „Sprawdź się” (polegające na wskazaniu, które z przedstawionych bakterii będą ulegać lizie pod wpływem działania układu dopełniacza). Następnie w 4-osobowych grupach omawiają prawidłowe rozwiązanie. Po upływie wyznaczonego czasu wskazany przez nauczyciela przedstawiciel grupy prezentuje odpowiedź wraz z jej uzasadnieniem. Klasa ustosunkowuje się do niej. Nauczyciel udziela uczniom informacji zwrotnej.

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 od 2 do 3 oraz od 5 do 7 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 filmu:

- Film można wykorzystać jako materiał służący powtórzeniu i utrwaleniu wiedzy uczniów.