



# Mediatory odpowiedzi immunologicznej i ich funkcje

- Wprowadzenie
- Przeczytaj
- Grafika interaktywna
- Sprawdź się
- Dla nauczyciela



## Mediatory odpowiedzi immunologicznej i ich funkcje

Osocze krwi transportuje liczne białka biorące udział w mechanizmach odpowiedzi immunologicznej – m.in. interleukiny (na zdjęciu).

Źródło: Pixabay, domena publiczna.

Narządy układu odpornościowego nie mają ze sobą bezpośrednich połączeń. Pomostem między nimi są stale krążące komórki odpornościowe, przede wszystkim leukocyty. Komunikują się one z poszczególnymi częściami układu, jak również między sobą poprzez rozpuszczalne nośniki informacji – mediatory odpowiedzi immunologicznej. Są to różnego rodzaju białka, które odgrywają ważną rolę w rozpoznawaniu i niszczeniu patogenów.

### Twoje cele

- Przedstawisz strukturę przeciwciał i ich rolę w procesach odpornościowych.
- Wykażesz różnorodność czynników biorących udział w odpowiedzi immunologicznej.
- Opiszysz rolę mediatorów odpowiedzi immunologicznej w odporności organizmu.

# Przeczytaj

---

Narządy układu immunologicznego to szpik kostny, węzły chłonne, grasica, migdałki, śledziona i rozmieszczone w całym organizmie grudki chłonne. Większość komórek tego układu powstaje w szpiku kostnym i dojrzewa w różnych narządach. System powiązań między elementami układu odpornościowego tworzą mediatory odpowiedzi immunologicznej: **przeciwciała (immunoglobuliny)**, **białka układu dopełniacza**, **białka ostrej fazy** oraz **cytokiny**.

## Przeciwciała

**Przeciwciała** (immunoglobuliny) są białkami z grupy glikoprotein produkowanych przez komórki plazmatyczne, czyli aktywowane limfocyty B. Występują w organizmie jako receptory powierzchniowe limfocytów B oraz jako przeciwciała wolne, znajdujące się w płynach ustrojowych. Przeciwciała mają zdolność do swoistego rozpoznawania **antygenów** i łączenia się z nimi.

### Budowa przeciwciała

Przeciwciało składa się z czterech łańcuchów polipeptydowych: dwóch ciężkich (H, ang. *heavy*) (3) i dwóch lekkich (L, ang. *light*) (4), tworzących razem cząsteczkę w kształcie litery Y. W obrębie łańcuchów lekkich i ciężkich znajdują części zmienne – fragment Fab (1), o bardzo niestałej sekwencji aminokwasowej, oraz część stała – fragment Fc (2). Fragment zmienny to miejsce wiążące antygen (5); jego struktura przestrzenna jest doskonale dopasowana do swoistej struktury konkretnego antygeny.


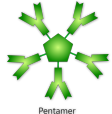



Źródło: Artur Jan Fijałkowski, Wikimedia Commons, licencja: CC BY-SA 2.5.

Olbrzymia zmienność sekwencji aminokwasowych fragmentu Fab jest podstawą różnorodności przeciwciał oraz ich specyficzności – jeden rodzaj przeciwciała wiąże się tylko z jednym rodzajem antygeny. Część stała fragmentu Fc jest charakterystyczna dla określonej klasy przeciwciał i odpowiada za łączenie się z receptorami występującymi na powierzchni niektórych komórek, m.in. makrofagów i neutrofilów, które dzięki temu mogą wiązać rozpoznany przez przeciwciało antygen.

U człowieka wyróżnia się pięć klas immunoglobulin, wśród których dominują przeciwciała klasy IgG krążące w płynach ustrojowych. Kontrolują one wszystkie tkanki organizmu w poszukiwaniu obcych komórek. Przeciwciała mogą występować w formie pojedynczej lub podwójnej cząsteczki albo tworzyć kompleksy pięciu elementów połączonych w makrocząsteczkę.

**Klasy poszczególnych przeciwciał (immunoglobulin – Ig), ich funkcja i forma**

---

Klasa immunoglobulin	Zawartość w surowicy [% wszystkich Ig]	Miejsce działania	Funkcja	Forma
IgG	80	Układ krążenia, węzły chłonne; przechodzą przez łożysko do krążenia płodowego	Aktywacja układu dopełniacza, ochrona płodu	 Monomer Źródło: Englishsquare.pl Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.
IgM	6	Układ krążenia, receptory limfocytów B	Aktywacja dopełniacza, uczestniczą w odpowiedzi pierwotnej	 Pentamer Źródło: Englishsquare.pl Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.
IgA	13	Powierzchnie błon śluzowych; obecne w łzach, ślinie, śluzie i mleku	Lokalna obrona przed infekcjami; uczestniczą w tworzeniu biernej odporności noworodka karmionego piersią	 Dimer Źródło: Englishsquare.pl Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.
IgD	0-1	Receptory limfocytów B	Udział w różnicowaniu limfocytów B	 Monomer Źródło: Englishsquare.pl Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.
IgE	0,002	Tkanki	Udział w reakcjach alergicznych, udział w zwalczaniu pasożytów, uwalnianie histaminy z komórek tłuszczowych	 Monomer Źródło: Englishsquare.pl Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Zastanów się, jak zmienia się liczba i różnorodność przeciwciał od narodzin do późnego wieku u człowieka.

Antygeny związane z przeciwciałami rozpoznawane są przez limfocyty Tc lub białka układu dopełniacza, które są odpowiedzialne za niszczenie zakażonych i zmutowanych komórek.

## Białka układu dopełniacza

Układ dopełniacza obejmuje ok. 30 białek osocza krwi i płynów ustrojowych, które biorą udział w niszczeniu patogenów. Jego odpowiedź inicjowana jest nawet przez niewielką ilość drobnoustrojów oraz przeciwciał. Stanowi element [odporności nieswoistej](#), może też zostać aktywowany w ramach [odporności swoistej](#).

### Jak działają białka układu dopełniacza?

<b>Liza</b>
Białka dopełniacza przyczyniają się do bezpośredniego niszczenia patogenów, powodując ich <a href="#">lizę</a> (rozpad) – tworząc tysiące kompleksów, atakują ścianę komórkową bakterii (MAC, ang. <i>membrane attack complex</i> ).
<b>Opsonizacja</b>
<b>Fagocytoza immunologiczna</b>
<b>Stan zapalny</b>

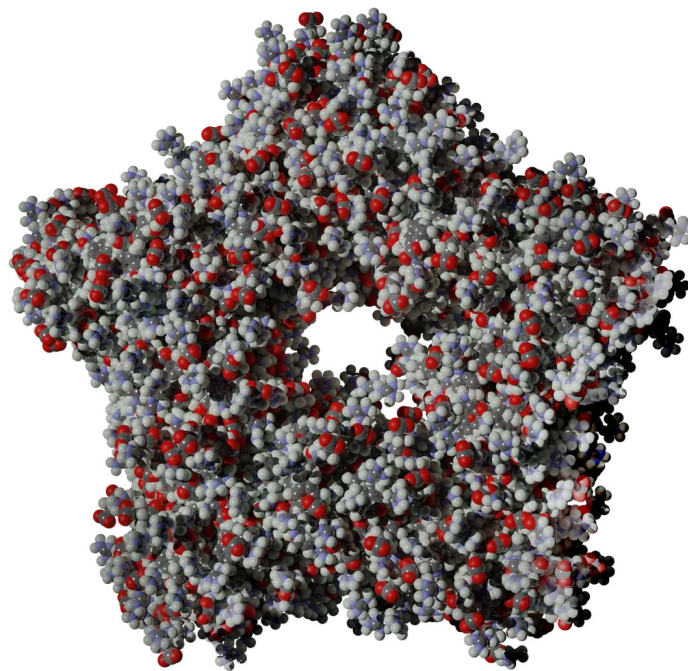
### Działanie układu dopełniacza

Składniki układu dopełniacza są stale obecne w osoczu w formie nieaktywnej. Ich aktywacja następuje w wyniku połączenia antygeny z przeciwciałem (IgG lub IgM). Wywołuje to kaskadę reakcji biochemicznych prowadzących do niszczenia na różne sposoby komórek inwazyjnych i zakażonych komórek organizmu.

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

## Białka ostrej fazy

Ostre infekcje bakteryjne lub wirusowe, zranienie, oparzenie, a także np. niedokrwienie tkanek, które prowadzi m.in. do martwicy serca (zawał), powodują uwolnienie do osocza dużych ilości białek ostrej fazy. Białka te są zaangażowane w mechanizmy wrodzonej [odporności humoralnej](#). Biorą udział w opsonizacji (opłaszczaniu) bakterii, co ułatwia ich [fagocytozę](#) przez komórki żerne podczas eliminacji zakażenia.



Struktura chemiczna białka ostrej fazy: C-reaktywnego (CRP).

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

Do białek ostrej fazy należą głównie glikoproteiny produkowane przez wątrobę, m.in. białko C-reaktywne (CRP) i fibrynogen. Induktorami ich wzmożonej produkcji są [cytokiny](#) prozapalne uwalniane przez fagocyty w trakcie natychmiastowej reakcji odporności wrodzonej.

Białka ostrej fazy pełnią różne funkcje fizjologiczne.

### Tworzenie skrzepu

W przypadku przerwania ciągłości naczyń krwionośnych aktywowany zostaje układ krzepnięcia – białka ostrej fazy uczestniczą w procesie prowadzącym do wytworzenia skrzepu, który chroni przed możliwym wnikaniem patogenów, czyli zakażeniem. Kluczowym białkiem układu krzepnięcia jest **fibrynogen**.

### Hamowanie namnażania drobnoustrojów

### Ułatwienie fagocytozy immunologicznej

### Aktywacja układu dopełniacza

### Ciekawostka

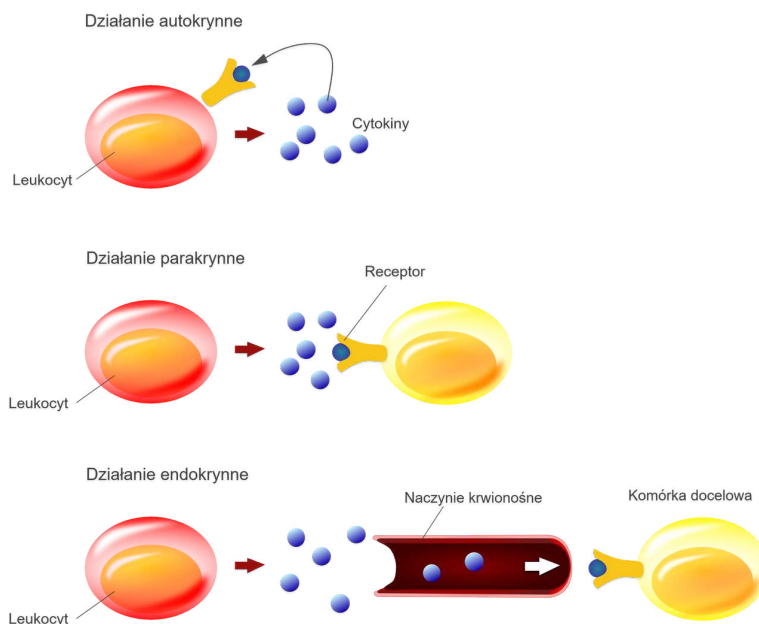
Białka ostrej fazy, zwłaszcza białka C-reaktywne (CRP), są [markerami diagnostycznymi](#) aktywnego ostrego odczynu zapalnego. W ciągu kilku godzin od ostrej infekcji poziom CRP w osoczu może wzrosnąć nawet 200–1000-krotnie, a jego wysokie stężenie może się utrzymywać nawet 2–3 tygodnie od momentu zadziałania czynnika

stymulującego. Badanie stężenia CRP wykorzystuje się w diagnostyce reumatoidalnego zapalenia stawów, a także w chorobach związanych z miażdżycą (zawał serca, udar mózgu). Najwyższe stężenie tego białka występuje u chorych na nowotwory złośliwe – zwłaszcza układu krwiotwórczego (np. białaczki).

## Cytokiny

Cytokiny to glikoproteiny uwalniane przez aktywowane komórki układu odpornościowego i różnych tkanek organizmu, np. skóry. Pełnią funkcję mediatorów regulujących typ i nasilenie odpowiedzi immunologicznej. Ponadto, poprzez swoiste receptory, aktywują komórki do namnażania, różnicowania i wydzielania. Do cytokin zalicza się m.in. **chemokiny, interleukiny, interferony i czynniki martwicy nowotworu (TNF)**.

### Jak działają cytokiny?



Cytokiny mogą działać na te same komórki, które je wytwarzają (działanie autokryjne), albo na komórki sąsiadujące (działanie parakryjne). Mogą również za pośrednictwem krwi oddziaływać na komórki w innych narządach (działanie endokryjne).

Nierzadko działanie cytokin jest wielokierunkowe. Na przykład interleukina 2 (IL-2), wydzielana przez limfocyty Th, z jednej strony pobudza do podziałów komórkowych limfocyty B (działanie parakryjne), a z drugiej strony działa zwrotnie na komórkę, która ją wydzieliła, stymulując ją do podziałów (działanie autokryjne). Natomiast interleukiny 1 i 6 (IL-1 i IL-6), uwalniane przez makrofagi w miejscu zakażenia, wpływają na ośrodek termoregulacji w podwzgórzu, powodując wzrost temperatury organizmu, oraz na hepatocyty (komórki wątroby), aktywując syntezę białek ostrej fazy (działanie endokryjne).

Niektóre cytokiny działają antagonistycznie (przeciwstawnie) wobec siebie, inne zaś synergistycznie – wzmacniając się nawzajem.

Do rozpuszczalnych mediatorów uczestniczących w nieswoistych reakcjach odpornościowych zalicza się także składniki niektórych wydzielin, np. łez, potu i śluzu. Zawierają one enzymy niszczące drobnoustroje, m.in. **lizozym**, który rozkłada cukrowce wchodzące w skład ścian komórkowych bakterii.

## Słownik

### aglutynacja

zjawisko skupiania się i zlepiania rozproszonych w środowisku płynnym komórek, np. bakterii, krwinek, pod wpływem aglutynin – ciał zawartych w osoczu krwi

### antygeny

struktury makrocząsteczkowe (najczęściej glikoproteiny) rozpoznawane przez limfocyty, indukujące odpowiedź immunologiczną i reagujące z produktami tej odpowiedzi: uczulonymi limfocytami i/lub przeciwciałami; rozróżnia się antygeny własne (składniki organizmu) i obce

### 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

### cytokiny

peptydowe substancje hormonopodobne wytwarzane głównie przez komórki układu odpornościowego i oddziałujące na aktywność biologiczną innych, sąsiadujących z nimi i współdziałających komórek; cytokiny wytwarzane przez limfocyty noszą nazwę limfokin, przez monocyty – monokin; powszechnie stosowana nazwa „interleukiny” odnosi się do cytokin (m.in. limfokin i monokin) wytwarzanych przez leukocyty (krwinki białe)

### fagocytoza

(gr. *phágos* „pożeracz” *kýtos* „naczynie”, „komórka”), biol. rodzaj endocytozy; proces pochłaniania (pożerania) cząstek nieorganicznych oraz komórek lub ich fragmentów przez organizmy jednokomórkowe lub wyspecjalizowane komórki organizmów o bardziej złożonej budowie (fagocyty)

### liza

rozpad komórek bakteryjnych, roślinnych lub zwierzęcych pod wpływem czynników litycznych uszkodzających ściany i błony komórkowe, prowadzący do śmierci komórki i uwolnienia zawartości cytoplazmy do otoczenia; wywołują ją głównie czynniki o charakterze enzymów – przede wszystkim lizozym, a także liczne enzymy bakteryjne, enzymy obecne w pierwotniakach i komórkach fagocytykujących organizmów wyżej uorganizowanych, czynniki fizyczne, związki chemiczne oraz niektóre grupy antybiotyków

### **lizozym, muramidaza**

enzym rozkładający polisacharydowy składnik ściany komórkowej niektórych bakterii

### **marker diagnostyczny, marker molekularny**

związek chemiczny, którego obecność w analizowanej próbce tkanki wskazuje na określony stan organizmu, np. chorobę

### **odporność humoralna**

jeden z mechanizmów odporności swoistej, w której najważniejszą rolę odgrywają przeciwciała

### **odporność nieswoista**

odporność niezależna od rozpoznawania antygenów przez przeciwciała i receptory limfocytów T i B; jest mniej selektywna niż odporność swoista

### **odporność swoista**

odporność zależna od rozpoznawania antygenów przez przeciwciała i receptory limfocytów T i B; jest bardzo selektywna i precyzyjna

### **odpowiedź immunologiczna, reakcja odpornościowa lub immunologiczna**

całokształt zmian, jakie zachodzą w organizmie pod wpływem kontaktu z antygenem

### **opsonizacja**

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

### **przeciwciała, immunoglobuliny**

ciała odpornościowe; substancje białkowe zdolne do swoistego łączenia się z antygenem; wytwarzane przez limfocyty B (plazmocyty)

## **stan zapalny, odczyn zapalny, zapalenie**

miejscowa fizjologiczna reakcja obronna tkanki na uszkodzenie mechaniczne lub urazy chemiczne i biologiczne; charakteryzuje się zaczerwienieniem, podwyższoną temperaturą, obrzękiem, bólem i upośledzeniem funkcji

# Grafika interaktywna

---

Mediatory odpowiedzi immunologicznej.

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




Polecenie 1

Polecenie 2

Polecenie 3

# Sprawdź się

---

Pokaż ćwiczenia:   

## Ćwiczenie 1



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



## Ćwiczenie 2



Wybierz prawidłowe dokończenie zdania.

Fragment stały Fc przeciwciała...

- jest charakterystyczny dla określonej klasy przeciwciał.
- jest tak samo zbudowany u przeciwciał wszystkich klas.
- odpowiada za wiązanie się przeciwciała z receptorami makrofagów.
- odpowiada za wiązanie się przeciwciała z antygenem zainfekowanej komórki.

### Ćwiczenie 3



Wybierz dwie klasy przeciwciał, których zawartość w surowicy człowieka jest największa, a następnie rozwiąż polecenie poniżej.

- IgG
- IgM
- IgA
- IgD
- IgE

Opisz ich rolę w procesach odpornościowych. Uwzględnij miejsce działania przeciwciał i ich funkcję oraz współdziałanie z innymi składnikami układu odpornościowego.

### Ćwiczenie 4



Produkty końcowe ciągu reakcji kaskadowych opłaszczają bakterie w procesie tzw. opsonizacji. Opłaśczone bakterie stają się łatwiejsze do sfagocytowania przez makrofagi lub neutrofile.

Wskaż rodzaj mediatorów odpowiedzi immunologicznej, których działanie opisuje tekst.

- białka układu dopełniacza
- białka ostrej fazy
- interferony
- chemokiny

## Ćwiczenie 5



Wybierz odpowiednie pojęcia dotyczące funkcjonowania cytokin, tak by tekst był poprawny.

W przebiegu reakcji odpornościowej istotne znaczenie mają cytokiny – cząsteczki glikoproteinglikofosfolipidów, które pełnią funkcję mediatorówimpulsów regulujących typ i nasilenie odpowiedzi immunologicznej. Są one wydzielane przez komórki układu odpornościowego po ich aktywacji przez kompleks anty.gen–przeciwciałoanty.gen–antygenprzeciwciało–przeciwciało. Działają wielokierunkowojednokierunkowo na inne elementy układu odpornościowego. Szczególną grupę cytokin stanowią chemokinyinterleukiny, które sterują wędrówką leukocytów, kierując je do miejsc zakażeniaaglutynacji.

## Ćwiczenie 6



## Ćwiczenie 7

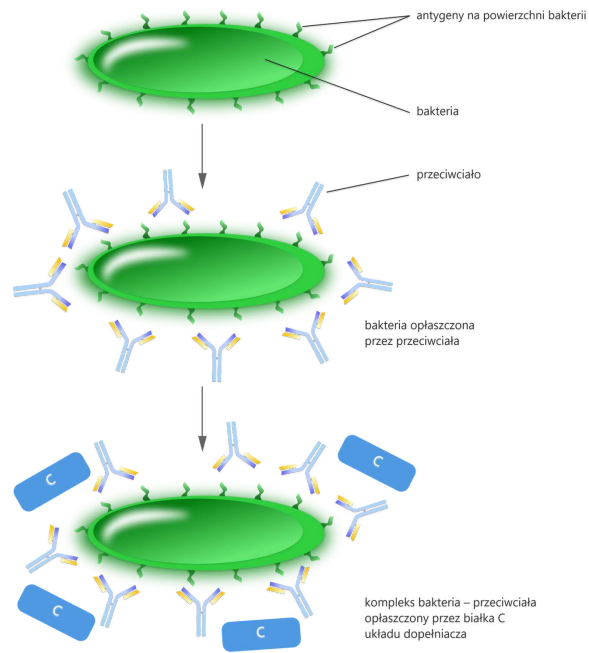


*Ostra infekcja bakteryjna powoduje uwolnienie do osocza dużych ilości białek układu dopełniacza.*

## Ćwiczenie 8



Dokonaj analizy schematu, a następnie rozwiąż polecenie poniżej.



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

# Dla nauczyciela

---

## Scenariusz lekcji

**Autor:** Alicja Kasińska

**Przedmiot:** biologia

**Temat:** Mediatorzy odpowiedzi immunologicznej i ich funkcje

**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:

4) przedstawia rolę mediatorów układu odpornościowego w reakcji odpornościowej (białka ostrej fazy, cytokiny);

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:

d) przedstawia rolę mediatorów układu odpornościowego w reakcji odpornościowej (białka ostrej fazy, cytokiny),

### Kształtowane kompetencje kluczowe:

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

### Cele operacyjne:

Uczeń:

- przedstawia strukturę przeciwciał i ich rolę w procesach odpornościowych;
- wykazuje różnorodność czynników biorących udział w odpowiedzi immunologicznej;

- opisuje rolę mediatorów odpowiedzi immunologicznej w odporności organizmu.

### **Strategie nauczania:**

- konstruktywizm;
- konektywizm;
- strategia asocjacyjna;
- strategia emocjonalna.

### **Metody i techniki nauczania:**

- lekcja odwrócona;
- pogadanka;
- analiza tekstu źródłowego;
- gra dydaktyczna – symulacja/drama.

### **Formy pracy:**

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

### **Środki dydaktyczne:**

- komputery z dostępem do internetu;
- zasoby multimedialne zawarte w e-materiale;
- kartki papieru, kolorowe pisaki oraz inne pomoce zaproponowane przez uczniów.

### **Przed lekcją**

Uczniowie dzielą się na cztery grupy, w których przygotowują scenariusze ilustrujące działanie poszczególnych mediatorów odpowiedzi immunologicznej, zgodnie z poniższymi poleceniami. Wykorzystują w tym celu treść e-materiału i grafikę interaktywną.

Grupa I: Przygotujcie scenkę ilustrującą strukturę przeciwciał i ich rolę w procesach odpornościowych.

Grupa II: Przygotujcie scenkę ilustrującą rolę i efekty działania białek układu dopełniacza w organizmie zaatakowanym przez patogeny.

Grupa III: Przygotujcie scenkę ilustrującą różnorodne funkcje białek ostrej fazy w procesach odpornościowych.

Grupa IV: Przygotujcie scenkę ilustrującą różne rodzaje cytokin oraz efekty ich działania w procesach odpornościowych.

### **Przebieg zajęć**

## **Faza wstępna**

1. Nauczyciel zadaje pytanie kluczowe: „Jak sądzicie, czy układ odpornościowy ma jakieś własne kanały połączeń?”
2. Nauczyciel zadaje kolejne pytania jako wprowadzenie do tematu lekcji: „Czy istnieje jakiś sposób komunikacji między komórkami odpornościowymi?”, „Czy komórki odpornościowe komunikują się z komórkami ciała człowieka?”
3. Uczniowie zapoznają się z wprowadzeniem do e-materiału, czytają cele lekcji i wspólnie z nauczycielem określają kryteria sukcesu.

## **Faza realizacyjna**

1. Nauczyciel zapoznaje uczniów z rodzajami mediatorów układu odpornościowego.
2. Uczniowie, pracując w czterech grupach, w które dobrali się na poprzedniej lekcji, odgrywają krótkie (5-minutowe) scenki ilustrujące działanie poszczególnych mediatorów. Wykorzystują przygotowane przed lekcją informacje oraz treści zawarte w e-materiale i grafice interaktywnej.
3. Po zakończeniu prezentacji scenek uczniowie wykonują polecenia od 1 do 3 do grafiki interaktywnej. Chętne osoby prezentują swoje wyniki. Nauczyciel wyjaśnia wątpliwości uczniów, odpowiada na ich pytania.

## **Faza podsumowująca**

1. Nauczyciel zadaje uczniom pytanie: „Co na dzisiejszych zajęciach było łatwe, a co trudne?”
2. Chętni lub wybrani uczniowie podsumowują zajęcia.
3. Na zakończenie uczniowie w krótkiej rozmowie próbują wspólnie ustalić odpowiedź na pytanie postawione w e-materiale: „Jak zmienia się liczba i różnorodność przeciwciał od narodzin do późnego wieku u człowieka?”

## **Praca domowa**

Wykonaj ćwiczenia interaktywne od 1 do 8.

## **Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania grafiki interaktywnej**

Grafika interaktywna powinna zostać wykorzystana w ramach przygotowywania się uczniów do zajęć oraz w fazie realizacyjnej lekcji. Można ją również wykorzystać na lekcjach dotyczących układu odpornościowego człowieka.