

Rodzaje i mechanizmy odporności

Organizm człowieka (poziom rozszerzony) · edubiologia.pl

MODUŁ 11 · LEKCJA 11.8 · ORGANIZM CZŁOWIEKA – POZIOM ROZSZERZONY

Lekcja pokazuje, jak organizm broni się przed patogenami. Obejmuje **odporność nieswoistą (wrodzoną)** i **swoistą (nabytą)**, **odpowiedź komórkową i humoralną**, **sposoby nabywania odporności swoistej** oraz to, jaką **rolę w reakcji odpornościowej odgrywają białka ostrej fazy i cytokiny**.

Trzy linie obrony organizmu

Odporność oznacza, że organizm jest zdolny bronić się przed czynnikami chorobotwórczymi. Mechanizmy, które się na nią składają, tworzą **trzy główne linie obrony**.

Linia obrony	Rodzaj odporności	Z czego się składa	Przykłady
Linia I – bariery ochronne	nieswoista	bariery anatomiczne oraz mechanizmy fizjologiczne, które nie są związane z układem odpornościowym ; hamują wnikanie patogenów do wnętrza organizmu	skóra, która oddziela wnętrze ciała od środowiska zewnętrznego z patogenami
Linia II – obrona komórkowa i obrona chemiczna	nieswoista	komórki i cząsteczki układu odpornościowego	makrofag, granulocyt, komórka NK, białka ostrej fazy
Linia III – obrona komórkowa i obrona chemiczna	swoista	komórki i cząsteczki układu odpornościowego	limfocyt T, limfocyt B, plazmocyt, przeciwciała

Linie II i III działają wobec tych patogenów, które przeszły przez pierwszą linię i znalazły się we wnętrzu ciała. Komórki i cząsteczki układu odpornościowego rozpoznają je i likwidują.

Odporność nieswoista i swoista – zestawienie cech

Porównanie obu rodzajów odporności:

Cecha	Odporność nieswoista	Odporność swoista
-------	----------------------	-------------------

Kiedy powstaje	istnieje od momentu narodzin — jest odpornością wrodzoną	kształtuje się w ciągu życia — jest odpornością nabytą
Dziedziczenie	jest dziedziczona: przechodzi z pokolenia na pokolenie	potomstwo jej nie dziedziczy (nie jest przekazywana w procesie dziedziczenia)
Występowanie	u wszystkich organizmów ; to uniwersalny mechanizm obrony przed infekcją	wyłącznie u kręgowców
Przeciw czemu jest skierowana	działa niewybiórczo — ogólnie przeciwko patogenom	działa wybiórczo — przeciwko ściśle określonym antygenom
Rozpoznawanie	komórki tej odporności nie potrafią rozpoznawać konkretnych antygenów; odpowiednimi receptorami rozpoznają wzorce molekularne związane z patogenami (PAMP)	limfocyty rozpoznają prezentowane antygeny receptorami powierzchniowymi TCR i BCR
Uczestnicy	bariery ochronne (linia I) oraz komórki i czynniki humoralne linii II	komórki prezentujące antygen, limfocyty T i limfocyty B; limfocyty B potrafią wytwarzać przeciwciała
Kolejne kontakty z tym samym patogenem	reakcja jest zawsze taka sama, bez względu na to, jaki czynnik chorobotwórczy zagraża organizmowi; wielokrotny kontakt ani jej nie przyspiesza, ani nie nasila	przy powtórnym kontakcie z tym samym antygenem reakcja odpornościowa jest skuteczniejsza — zapewnia to pamięć immunologiczną
Pamięć immunologiczna	nie występuje	zostaje wytworzona
Efekty reakcji	stan zapalny, który pozwala aktywować komórki odpornościowe i ułatwia im dotarcie do miejsca zakażenia; niszczenie patogenów toksynami, które wydzielają komórki odpornościowe	ostateczne zniszczenie patogenów; wytworzenie pamięci immunologicznej
Kiedy się włącza	odpowiada najszybciej	rozwija się po pewnym czasie — wtedy, gdy mechanizmy nieswoiste zawodzą

 **Odporność nieswoista to odporność wrodzona, a swoista — nabyta. Trzecią linię obrony organizmu tworzą komórki i substancje uczestniczące w swoistych reakcjach odpornościowych.**

Co uruchamia patogen: odpowiedź immunologiczna

Gdy w organizmie pojawia się patogen, rusza **odpowiedź immunologiczna** – ciąg reakcji obronnych, których celem jest eliminacja czynnika chorobotwórczego.

 **Kolejność w czasie.** W pierwszej fazie duże znaczenie ma odporność nieswoista, bo reakcja z udziałem jej mechanizmów pojawia się najszybciej. Mechanizmy swoiste rozwijają się dopiero po pewnym czasie; główną rolę odgrywają w nich limfocyty T i B.

Odpowiedź immunologiczna ma dwa typy:

Typ odpowiedzi	Co działa i jak
Odpowiedź komórkowa (odporność komórkowa)	działają komórki układu odpornościowego ; niszczą komórki rozpoznane jako obce (np. zakażone wirusem) lub komórki nowotworowe
Odpowiedź humoralna (odporność humoralna)	działają cząsteczki związków chemicznych , m.in. przeciwciała lub enzymy układu dopełniacza

Linia I – bariery, które utrudniają patogenom wejście

Odporność nieswoista przejawia się m.in. tym, że organizm ma naturalne bariery anatomiczne i mechanizmy fizjologiczne. Ograniczają one wnikanie patogenów do wnętrza organizmu. Należą do nich m.in.:

Bariera	Jak chroni
Skóra	Nieuszkodzona skóra jest mechaniczną zaporą dla drobnoustrojów i dla wielu substancji chemicznych. Główną barierę fizyczną dla patogenów tworzy jej nabłonek wielowarstwowy płaski .
Pot i łój	Utrudniają rozwój mikroorganizmów. Pot ma niskie pH (pH = 5,5), które utrudnia rozwój patogenów.
Sok żołądkowy	Ma niskie pH (pH = 1–2), czyli odczyn kwasowy. Utrudnia to rozwój patogenów, a dla bakterii jest zabójcze.
Błona śluzowa przewodu pokarmowego i dróg oddechowych	Ma śluz i rzęski, dzięki którym liczne patogeny są zatrzymywane i usuwane. Rzęski i śluz, obecne np. w drogach oddechowych, utrudniają patogenom poruszanie się.

Ślina i łzy	Zawierają lizozym . To białko – enzym hydrolityczny – działa bakteriobójczo.
Mikrobiom przewodu pokarmowego	Wytwarza substancje bakteriobójcze i grzybobójcze, a przez to hamuje rozwój patogenów.
Fizjologiczne odruchy obronne	Np. kichanie, kaszel, wymioty, łzawienie. Pozwalają organizmowi natychmiast pozbyć się patogenów.

Linia II – nieswoista obrona wewnątrz organizmu

Patogen, który pokonał naturalne bariery anatomiczne i fizjologiczne i wniknął do organizmu, trafia na drugą linię obrony. Tworzą ją:

Składnik drugiej linii	Opis
Komórki żerne	m.in. granulocyty i makrofagi
Komórki NK	wyzwalają apoptozę
Czynniki humoralne	jest ich wiele; należą do nich takie czynniki, jak enzymy układu dopełniacza czy białka ostrej fazy

 **Komórki, które uczestniczą w nieswoistej reakcji odpornościowej, nie potrafią rozpoznawać konkretnych antygenów.** Mają za to odpowiednie receptory, którymi rozpoznają wzorce molekularne związane z patogenami (ang. *pathogen associated molecular patterns*, w skrócie **PAMP**).

Wzorcem PAMP nazywa się taką cząsteczkę drobnoustrojów chorobotwórczych, która spełnia cztery warunki: (1) u człowieka jej nie ma, (2) drobnoustroje potrzebują jej do przeżycia, (3) jest charakterystyczna dla dużych grup drobnoustrojów, (4) w toku ewolucji zmienia się bardzo powoli.

Wzorcami PAMP są m.in.:

Wzorzec	Gdzie występuje
Mureina	składnik ścian komórkowych bakterii
Chityna	składnik ścian komórkowych grzybów
Dwuniciowy RNA	występuje u niektórych wirusów

Komórki żerne i fagocytoza

Komórki żerne to makrofagi, granulocyty i komórki dendrytyczne. Łączy je zdolność **fagocytozy**: pochłaniają patogeny, po czym trawią je enzymami lizosomalnymi. W ten sposób neutralizują patogeny.

Etap	Przebieg
1	Patogeny, np. bakterie, zostają pochłonięte przez komórkę żerną. Odbywa się to na drodze endocytozy .
2	W fagosomach komórki bakteryjne są trawione. Robią to enzymy lizosomalne.
3	Trawienie daje antygeny bakteryjne. Komórka umieszcza je na cząsteczkach MHC .
4	Resztki bakterii, które nie zostały strawione, komórka żerna usuwa na drodze egzocytozy .

Komórka żerna ma jądro komórkowe i lizosomy; to z lizosomów pochodzą enzymy, które trawią bakterie w fagosomach.

🔑 Prezentowanie na cząsteczkach MHC obcych antygenów, które powstały podczas trawienia, dotyczy **makrofagów i komórek dendrytycznych**.

Reakcja zapalna (stan zapalny)

Reakcja zapalna (stan zapalny) jest uogólnioną reakcją immunologiczną. To ciąg procesów z udziałem różnych komórek układu odpornościowego i czynników humoralnych, np. białek ostrej fazy. Należy do odporności nieswoistej – wrodzonej, czyli działającej od momentu narodzin, i skierowanej przeciwko patogenom niewybiórczo.

Zagadnienie	Opis
Możliwe przyczyny	m.in. infekcja, uraz mechaniczny, kontakt ze środkiem chemicznym – toksycznym lub żrącym
Objawy stanu zapalnego	ból, obrzęk, zaczerwienienie skóry i gorączka
Znaczenie	nie pozwala patogenom rozprzestrzeniać się do pobliskich tkanek; umożliwia usuwanie martwych komórek
Rola gorączki	hamuje rozmnażanie się patogenów; przyspiesza reakcje odpornościowe, m.in. fagocytozę
Czas trwania	do chwili, gdy patogeny i martwe komórki zostaną wyeliminowane, a tkanki całkowicie się zregenerują

Przebieg reakcji zapalnej dobrze widać na przykładzie zranienia:

Etap	Przebieg
1	W miejsce zranienia, gdzie powierzchnia skóry jest przzerwana, dostają się bakterie lub inne patogeny. Płytki krwi uwalniają się z naczyń krwionośnych i gromadzą przy ranie. Płytki oraz uszkodzone tkanki wydzielają czynniki, od których zaczyna się krzepnięcie krwi.
2	W obrębie uszkodzonej tkanki są komórki tuczne i bazofile . Wydzielają histaminę , a ta zwiększa przepuszczalność naczyń krwionośnych.
3	Bakterie są fagocytowane przez komórki żerne – makrofagi i neutrofile . Te same komórki wydzielają dodatkowo substancje, które zabijają patogeny.
4	Makrofagi wydzielają cytokiny . Cytokiny przyciągają komórki odpornościowe w miejsce zranienia. Aktywują też komórki zaangażowane w naprawę tkanek.

W naczyniu krwionośnym obok erytrocytów znajdują się neutrofile, monocyty i limfocyty. Neutrofile i limfocyty przechodzą z naczynia do uszkodzonej tkanki. Monocyt także opuszcza naczynie – w tkance jest już makrofagiem.

Komórki NK – nieswoista odpowiedź typu komórkowego

Komórki NK biorą udział w nieswoistej odpowiedzi typu komórkowego. Jej celem są komórki zakażone wirusem i komórki nowotworowe.

Działanie komórek NK jest **cytotoksyczne**. Ich cytozol zawiera **ziarna cytolityczne**, a w nich m.in.:

Składnik ziaren	Czym jest	Co robi
Granzymy	enzymy hydrolityczne	rozkładają m.in. białka cytozolowe i jądrowe; zapoczątkowują proces apoptozy
Perforyna	białko	niszczy błony komórkowe

Na powierzchni komórki NK są **receptory hamujące** i **receptory aktywujące**. Jedne i drugie rozpoznają inne cząsteczki.

Co porównujemy	Komórka prawidłowa	Komórka nieprawidłowa (zakażona wirusem lub nowotworowa)
Powierzchnia komórki	są na niej cząsteczki MHC I	niektóre takie komórki nie mają cząsteczek MHC I, mają jednak specjalne cząsteczki aktywujące – charakterystyczne dla komórek nieprawidłowych
Receptor komórki NK	hamujący (receptor dla MHC I) – rozpoznaje cząsteczki MHC I	aktywujący – rozpoznaje cząsteczkę aktywującą
Reakcja komórki NK	nie zabija komórki	komórkę bez MHC I, ale z cząsteczkami aktywującymi, uznaje za niebezpieczną dla organizmu i zabija
Los komórki	prawidłowa komórka przeżywa	np. komórka zakażona wirusem ulega apoptozie

Limfocyty Tc – swoista odpowiedź komórkowa

Swoista odpowiedź komórkowa jest wymierzona w antygeny wewnątrzkomórkowe prezentowane na MHC I. Są to głównie antygeny wirusowe i nowotworowe.

 **Uczestniczą w niej przede wszystkim limfocyty Tc (cytotoksyczne).** Doprowadzają one nieprawidłowe komórki do apoptozy.

Kolejne etapy tej reakcji odpornościowej, pokazane na komórce nowotworowej:

Etap	Przebieg
1	Na cząsteczce MHC I komórki nowotworowej prezentowany jest antygen nowotworowy.
2	Nieaktywny limfocyt Tc rozpoznaje receptorem TCR antygen nowotworowy związany z MHC I. Staje się wtedy aktywnym limfocytą Tc.

3	Aktywny limfocyt Tc dzieli się mitotycznie, i to wielokrotnie.
4a	Część limfocytów Tc przylega do komórek nowotworowych. Wydzielają one związki cytotoksyczne, m.in. perforynę i granzymy.
4b	Reszta limfocytów Tc zostaje komórkami pamięci.
5	Błona komórkowa komórki nowotworowej zostaje uszkodzona przez perforynę. Granzymy rozkładają białka cytoplazmy i jądra komórkowego, a także zapoczątkowują apoptozę.

Limfocyty B — swoista odpowiedź humoralna

W **swoistej odpowiedzi typu humoralnego** działają przeciwciała. Produkują je **komórki plazmatyczne**, czyli aktywne limfocyty B.

 **Aktywacja limfocytu B jest dwuetapowa:**

Etap aktywacji	Przebieg
Pierwszy	Receptor BCR limfocytu B rozpoznaje antygen. Potem limfocyt B prezentuje ten antygen na cząsteczkach MHC II.
Drugi	Z limfocytom B łączy się aktywny limfocyt Th — taki, który wcześniej rozpoznał ten sam antygen. Limfocytowi Th zaprezentował go makrofag lub komórka dendrytyczna.

Kiedy aktywacja się zakończy, w limfocycie B zmienia się ekspresja genów. Komórka zaczyna wytwarzać przeciwciała swoiste dla antygeny.

Ta sama reakcja odpornościowa krok po kroku, pokazana na komórce bakteryjnej:

Etap	Przebieg
1a	Limfocyt B rozpoznaje receptorem BCR antygen bakteryjny. Pochłania go (pinocytoza), po czym prezentuje na MHC II.
1b	Komórka dendrytyczna fagocytuje bakterię i prezentuje jej antygen na MHC II limfocytowi Th. Limfocyt Th rozpoznaje antygen receptorem TCR i dzięki temu ulega aktywacji.
2	Aktywny limfocyt Th łączy się z limfocytom B: połączenie tworzą receptor TCR limfocytu Th i antygen na MHC II limfocytu B. Limfocyt Th wydziela cytokiny , a pod ich wpływem limfocyt B ulega aktywacji.
3	W aktywnym limfocycie B zmienia się ekspresja genów. Następnie komórka wielokrotnie dzieli się mitotycznie.

4a	Część komórek potomnych różnicuje się w komórki plazmatyczne. Wytwarzają one przeciwciała swoiste dla rozpoznanego antygeny.
4b	Część limfocytów B namnożonych przez podział staje się komórkami pamięci. Po powtórny kontakt z antygenem potrafią one szybko produkować przeciwciała.

🔑 Pochłanianie odbywa się tu na dwa sposoby: limfocyt B pobiera antygen przez **pinocytozę**, a komórka dendrytyczna pochłania bakterię przez **fagocytozę**.

Odpowiedź pierwotna, pamięć immunologiczna i odpowiedź wtórna

Pierwotna odpowiedź immunologiczna to reakcja na pierwszy kontakt z antygenem. Kiedy jest już w pełni rozwinięta, limfocyty są zróżnicowane w komórki plazmatyczne oraz w limfocyty Th i Tc.

Kiedy czynnik chorobotwórczy zostaje zwalczony, w organizmie wytwarza się **pamięć immunologiczna**. Dzięki niej przy ponownym kontakcie z antygenem organizm jest zdolny odpowiedzieć szybciej (odpowiedź przyspieszona) i skuteczniej.

Pamięć immunologiczną umożliwiają dwa elementy:

Element	Opis
Komórki pamięci immunologicznej	limfocyty B pamięci i limfocyty T pamięci; powstają, gdy limfocyty różnicują się podczas pierwszego kontaktu z antygenem
Przeciwciała	te, które pozostały w organizmie

Ponowny kontakt z antygenem wywołuje dzięki temu **wtórną odpowiedź immunologiczną**.

Odpowiedź	Co ją wywołuje	Tempo	Siła
Pierwotna	pierwszy kontakt z antygenem	pełny rozwój po ok. 10–17 dniach , licząc od momentu zakażenia	słabsza — komórki plazmatyczne produkują mniej przeciwciał niż w odpowiedzi wtórnej
Wtórna	ponowny kontakt z antygenem	szybsza — pojawia się już po ok. 2–7 dniach , licząc od momentu zakażenia	silniejsza — komórki plazmatyczne produkują więcej przeciwciał

Różnicę pokazuje stężenie przeciwciał śledzone od dnia 0 do ok. 70. dnia. Po pierwszym podaniu antygeny stężenie przeciwciał zaczyna rosnąć dopiero po kilku dniach, dochodzi do szczytu, a potem częściowo spada — nie do zera. Powtórne podanie antygeny następuje mniej więcej 30 dni po pierwszym. Tym razem stężenie rośnie bez takiej zwłoki jak za pierwszym

razem i osiąga wyraźnie wyższy poziom. Potem opada powoli i do końca pomiaru pozostaje wyższe niż w szczycie odpowiedzi pierwotnej.

Szczepienia ochronne — pamięć immunologiczna w praktyce

 **Szczepienia ochronne wykorzystują mechanizm pamięci immunologicznej.**

Szczepionka to preparat biologiczny przygotowany precyzyjnie. Szczepionki opracowuje się przeciwko chorobom groźnym i trudnym w leczeniu, niekiedy szybko się rozprzestrzeniającym. Często zaszczepienie przeciwko danemu patogenowi to jedyny sposób, żeby uniknąć choroby, którą on wywołuje, albo złagodzić jej przebieg.

Zależnie od rodzaju szczepionka zawiera patogeny — martwe lub osłabione — albo oczyszczone antygeny lub ich fragmenty. Podanie takich składników imituje naturalną infekcję. Układ odpornościowy odpowiada swoiście: wytwarza przeciwciała i komórki pamięci immunologicznej. To one chronią organizm przed rozwojem choroby, jeśli znów zetknie się on z obcym antygenem.

Przykład: dzieci w wieku 13.–14. miesięcy dostają trójskładnikową szczepionkę — przeciwko odrze, śwince i różyczce. U osób nieszczepionych te choroby zakaźne wieku dziecięcego mogą skończyć się ciężkimi powikłaniami.

Czy wiesz, że...

- Wyjazd do niektórych krajów, zwłaszcza tropikalnych, wymaga obowiązkowego szczepienia przeciwko chorobom, które tam występują. Listę zalecanych szczepień podaje np. witryna internetowa Ministerstwa Spraw Zagranicznych.

Jak nabywa się odporność swoistą: czynnie albo biernie

Odporność swoistą dzieli się według sposobu, w jaki organizm ją nabył, na **odporność swoistą czynną** i **odporność swoistą bierną**.

Rodzaj odporności	Kiedy się pojawia	Skąd pochodzą przeciwciała
Czynna naturalna	po przebytej chorobie; układ odpornościowy samoistnie reaguje wtedy na antygeny, które wnikają do organizmu	organizm sam reaguje na antygeny i sam wytwarza przeciwciała
Czynna sztuczna	po podaniu szczepionki; sprawia ona, że układ odpornościowy wytwarza przeciwciała	
Bierna naturalna	po otrzymaniu przeciwciał od matki – przez łożysko lub z mlekiem w czasie karmienia	organizm dostaje gotowe przeciwciała, które wytworzył inny organizm
Bierna sztuczna	po przyjęciu surowicy odpornościowej; surowica ta jest osoczem z gotowymi przeciwciałami	

Odporność czynna powstaje po przebytej chorobie lub po szczepieniu. Nazwa bierze się stąd, że organizm wytworzył ją samodzielnie.

Odporność bierna jest nabywana inaczej: do organizmu trafiają gotowe przeciwciała skierowane przeciwko konkretnym antygenom. Tak uzyskuje odporność noworodek. Matka wyposaża go w przeciwciała w dwóch okresach: jeszcze w rozwoju płodowym (przez łożysko) i po urodzeniu (podczas karmienia piersią).

Surowica odpornościowa, nazywana też antytoksyną, zawiera przeciwciała. Podaje się ją w szczególnych sytuacjach; przykłady to surowica przeciwwężcowa i surowice neutralizujące jady węży. Te drugie uzyskuje się tak: jad podaje się innym organizmom, m.in. koniom, a one wytwarzają przeciwciała.

 **Surowica pozwala szybko unieszkodliwić antygen, ale trwałej odporności nie daje.**

Pułapki konkursowe – rodzaje i mechanizmy odporności

- **Pierwsza linia obrony nie jest związana z układem odpornościowym.** Tworzą ją bariery anatomiczne i mechanizmy fizjologiczne. Komórki i cząsteczki układu odpornościowego działają dopiero w liniach II i III.
- **Linie I i II to odporność nieswoista, linia III – swoista.** Linie II i III noszą tę samą nazwę („obrona komórkowa i obrona chemiczna”), więc rozróżniaj je po rodzaju odporności.
- **Odporność nieswoistą mają wszystkie organizmy, swoistą – wyłącznie kręgowce.**
- **Nieswoista = wrodzona, dziedziczona z pokolenia na pokolenie. Swoista = nabyta, potomstwo jej nie dziedziczy.**

- **pH potu = 5,5; pH soku żołądkowego = 1–2.** Obie wartości są niskie i obie utrudniają rozwój patogenów.
- **Lizozym ze śliny i też działa bakteriobójczo.** Poprawne są oba jego określenia: „enzym hydrolityczny” i „białko”.
- **Komórki odporności nieswoistej nie rozpoznają konkretnych antygenów** – rozpoznają wzorce PAMP. Prezentowane antygeny rozpoznają limfocyty, receptorami powierzchniowymi TCR i BCR.
- **Cztery cechy PAMP:** nie ma ich u człowieka · drobnoustroje potrzebują ich do przeżycia · są charakterystyczne dla dużych grup drobnoustrojów · zmieniają się w ewolucji bardzo powoli. Lista przykładów jest otwarta („m.in.”): mureina, chityna, dwuniciowy RNA niektórych wirusów.
- **W odporności nieswoistej nie ma pamięci immunologicznej.** Kolejne kontakty z tym samym patogenem nie przyspieszają reakcji i jej nie nasilają.
- **Komórki żerne to makrofagi, granulocyty i komórki dendrytyczne.** Prezentowanie antygenów na cząsteczkach MHC dotyczy jednak makrofagów i komórek dendrytycznych.
- **Komórka żerna pochłania patogen na drodze endocytozy, a niestrawione resztki usuwa na drodze egzocytozy.** Trawienie odbywa się w fagosomach, a prowadzą je enzymy lizosomalne.
- **Objawy stanu zapalnego: zaczerwienienie skóry, obrzęk, ból, gorączka.** Gorączka hamuje rozmnażanie się patogenów i przyspiesza reakcje odpornościowe, m.in. fagocytozę.
- **Histaminę w reakcji zapalnej wydzielają i komórki tuczne, i bazofile.** Cytokiny, które przyciągają komórki odpornościowe, pochodzą z makrofagów.
- **Perforyna niszczy błony komórkowe; granzymy zapoczątkowują apoptozę i rozkładają m.in. białka cytozolowe i jądrowe.** Tę samą parę substancji mają komórki NK (odpowiedź nieswoista) i limfocyty Tc (odpowiedź swoista).
- **Receptor hamujący komórki NK rozpoznaje MHC I komórki prawidłowej → komórka przeżywa.** Komórka bez MHC I, za to z cząsteczkami aktywującymi, ginie. Pamiętaj o słowie „niektóre”: MHC I nie mają tylko niektóre komórki zakażone wirusem i nowotworowe.
- **Swoista odpowiedź komórkowa → antygeny wewnątrzkomórkowe na MHC I → limfocyty Tc.** Swoista odpowiedź humoralna → antygen na MHC II → limfocyt B i limfocyt Th → przeciwciała.
- **Limfocyt B aktywuje się dwuetapowo** i potrzebuje aktywnego limfocytu Th. Ten limfocyt Th musiał wcześniej rozpoznać ten sam antygen – zaprezentowany mu przez makrofaga lub komórkę dendrytyczną.
- **Odpowiedź pierwotna: pełny rozwój po ok. 10–17 dniach. Odpowiedź wtórna: pojawia się już po ok. 2–7 dniach.** Wtórna jest i szybsza, i silniejsza.
- **Pamięć immunologiczną umożliwiają dwie rzeczy:** komórki pamięci (limfocyty B pamięci, limfocyty T pamięci) oraz przeciwciała, które pozostały w organizmie.
- **Szczepionka → odporność czynna sztuczna. Surowica → odporność bierna sztuczna.** Przebyta choroba → czynna naturalna. Przeciwciała od matki (łożysko, mleko) → bierna naturalna.
- **Surowica szybko unieszkodliwia antygen, ale trwałej odporności nie daje.** Zestaw to z definicjami: w odporności biernej organizm dostaje gotowe przeciwciała wytworzone przez inny organizm, a w czynnej sam reaguje na antygeny i sam wytwarza przeciwciała.

To najważniejsze!

1. Odporność tworzą trzy linie obrony. Linia I to bariery ochronne niezwiązane z układem odpornościowym. W liniach II i III działają komórki i cząsteczki układu odpornościowego. Linie I i II to odporność nieswoista, linia III — swoista.
2. Odporność nieswoista jest wrodzona, dziedziczona i niewybiórcza; mają ją wszystkie organizmy. Jej komórki rozpoznają wzorce PAMP, a reakcja nie ma pamięci immunologicznej.
3. Odporność swoista jest nabyta i wybiórcza; mają ją wyłącznie kręgowce. Limfocyty rozpoznają prezentowane antygeny receptorami TCR i BCR. Jej efekty to ostateczne zniszczenie patogenów i pamięć immunologiczna.
4. Komórki żerne (makrofagi, granulocyty, komórki dendrytyczne) fagocytują patogeny. W reakcji zapalnej histamina z komórek tucznych i bazofilów zwiększa przepuszczalność naczyń krwionośnych, a cytokiny makrofagów przyciągają komórki odpornościowe.
5. Komórki NK (odpowiedź nieswoista) i limfocyty Tc (odpowiedź swoista) działają cytotoksycznie dzięki perforynie i granzymom. Receptor hamujący komórki NK rozpoznaje MHC I komórki prawidłowej — taka komórka przeżywa.
6. W swoistej odpowiedzi humoralnej limfocyt B jest aktywowany dwuetapowo, z udziałem aktywnego limfocytu Th. Powstają komórki plazmatyczne, które wytwarzają przeciwciała, oraz komórki pamięci.
7. Odpowiedź pierwotna jest w pełni rozwinięta po upływie ok. 10–17 dni. Odpowiedź wtórna pojawia się już po ok. 2–7 dniach i jest silniejsza. Umożliwia ją pamięć immunologiczna, którą wykorzystują szczepienia ochronne.
8. Odporność czynną organizm wytwarza sam (po chorobie lub szczepionce). Odporność bierna to gotowe przeciwciała — od matki albo z surowicy odpornościowej. Surowica nie daje trwałej odporności.