




Apoptoza i jej znaczenie w rozwoju organizmów wielokomórkowych

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



Apoptoza i jej znaczenie w rozwoju organizmów wielokomórkowych

Syndaktylia jest wadą wrodzoną, która polega na częściowym lub całkowitym połączeniu ze sobą palców u stóp lub rąk. Przyczyną jest niezajście procesu apoptozy, czyli programowanej śmierci komórki (inaczej zwanej autodestrukcją komórki). Jedynym sposobem leczenia syndaktylii jest chirurgiczne rozdzielanie zrosniętych palców.

Źródło: Wikipedia Commons, licencja: CC BY-SA 3.0.

Apoptoza, czyli programowana śmierć komórek, odgrywa ważną rolę w rozwoju wielokomórkowych organizmów i formowaniu struktur ciała. Proces ten jest charakterystyczny dla królestwa zwierząt. Umożliwia eliminację komórek starych lub zbędnych, bez uszkodzenia otaczających tkanek. Dziś zastanowimy się, jak proces ten przebiega oraz dlaczego jest tak istotny dla prawidłowego rozwoju i funkcjonowania organizmu.

Twoje cele

- Wyjaśnisz pojęcie apoptozy.
- Omówisz przebieg procesu apoptozy.
- Przedstawisz znaczenie apoptozy dla rozwoju organizmu wielokomórkowego.

Przeczytaj

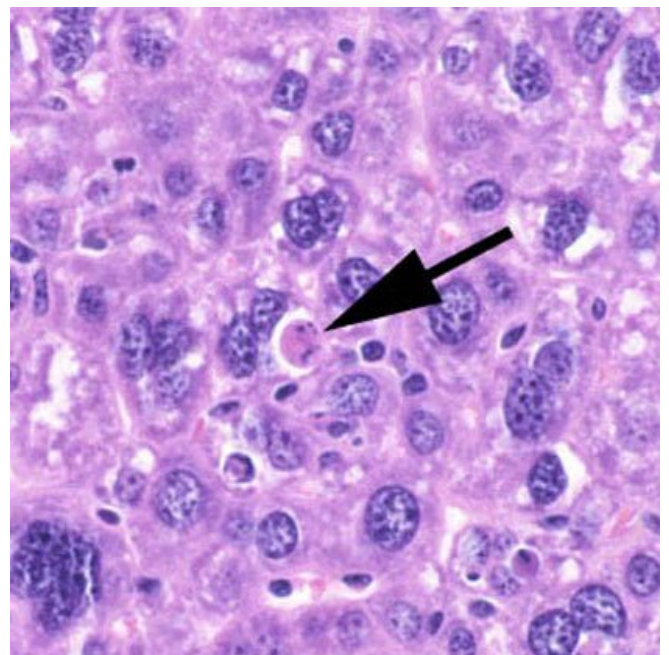
Proces programowanej śmierci komórki, czyli apoptoza, jest regulowany genetycznie. Każda komórka organizmu wielokomórkowego ma określony czas życia, po którym uruchamiane są procesy jej obumierania. Zapobiega to starzeniu się komórek oraz związanej z tym pogorszeniem ich funkcjonalności. Apoptoza jest też bardzo ważna dla prawidłowego przebiegu rozwoju embrionalnego: warunkuje wykształcenie się odpowiednich struktur ciała, charakterystycznych dla danego gatunku.

Inicjacja apoptozy

Rozpoczęcie procesu apoptozy wymaga aktywacji określonych genów, wywołanej przez sygnał pochodzący od samej komórki (zmiany w mitochondriach) lub pochodzący z zewnątrz (wskutek związania odpowiedniego **liganda** przez receptory powierzchniowe komórki, zwane receptorami śmierci).

Do czynników inicjujących apoptozę zaliczamy między innymi:

- **stres oksydacyjny** komórki;
- niedobór niektórych hormonów (np. hormonu wzrostu);
- szok termiczny;
- obecność **cytokin**;
- niektóre patogeny (np. wirusy);
- limfocyty cytotoksyczne;
- obecność niektórych jonów (np. kadmu) lub ich niedobór (np. jonu wapnia).



Apoptoza zachodząca w komórkach mysiej wątroby. Komórka kurczy się, tracąc wodę, i zmienia kształt – wydłuża się. Następnie dochodzi do trawienia jej wnętrza przez enzymy proteolityczne.

Źródło: Wikimedia Commons, domena publiczna.

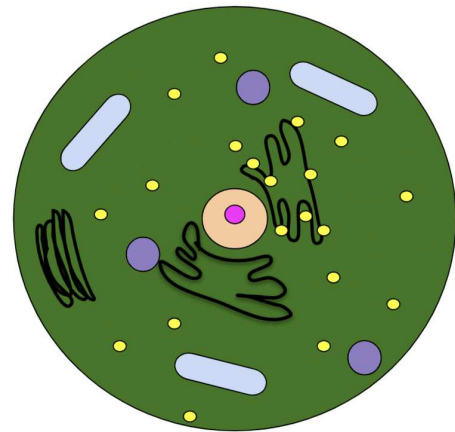
Odebranie sygnału powoduje szereg przemian biochemicznych, określanych jako mitochondrialny i receptorowy szlak apoptozy. Ich skutkiem jest aktywacja białek z rodziny **kaspaz** oraz uruchomienie procesów proteolitycznych i nukleolitycznych, prowadzących do pojawienia się charakterystycznych zmian morfologicznych i ostatecznie do śmierci komórki.

Kaspazy to grupa enzymów, których głównym celem jest zniszczenie białek strukturalnych i enzymatycznych, a w efekcie całkowita dezintegracja komórki. Kaspazy produkowane są w postaci prokaspaz, a ich aktywacja zachodzi pod wpływem innych białek biorących udział w szlaku apoptozy. Kaspazy przeprowadzają hydrolizę wiązań występujących po reszcie kwasu asparaginowego w łańcuchu białkowym.

Przebieg apoptozy

W trakcie apoptozy w komórce zachodzą charakterystyczne zmiany morfologiczne i biochemiczne. Przebiegają one następująco:

1. Odwodnienie (dehydratacja) i zmiana kształtu komórki.
2. Obkurczenie jądra komórkowego i kondensacja chromatyny w jednym z jego biegunów.
3. Cięcie materiału genetycznego przez enzymy nukleolityczne na fragmenty o charakterystycznej długości od 180 do 200 pz (par zasad).
4. Zanik otoczki jądrowej i rozpad jądra.
5. Rozpad cytoszkieletu.
6. Tworzenie się pęcherzyków poprzez otaczanie błoną komórkową fragmentów cytoplazmy – powstawanie **ciałek apoptycznych**.



Przebieg apoptozy.

Źródło: Wikimedia Commons, licencja: CC BY-SA 4.0.

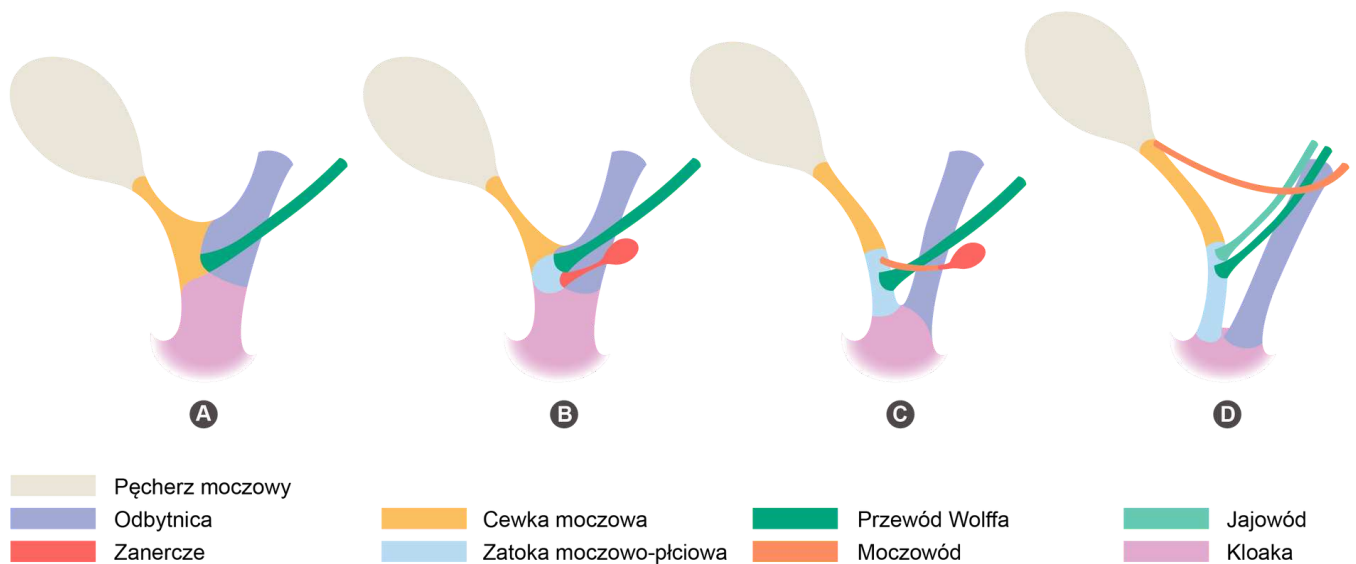
Ciała apoptyczne są następnie fagocytowane przez makrofagi, które oczyszczają miejsce śmierci komórki z jej resztek.

Znaczenie apoptozy

Apoptoza odgrywa ważną rolę w trakcie rozwoju embrionalnego – dzięki niej możliwe jest kształtowanie się struktur ciała charakterystycznych dla danego gatunku. To właśnie proces apoptozy warunkuje prawidłowe modelowanie tkanek i narządów w czasie embriogenezy. Programowanej śmierci komórki podlegają między innymi neurony, które

podczas początkowego etapu rozwoju płodowego powstają w bardzo dużej liczbie, a następnie ok. 50% z nich obumiera w trakcie formowania mózgu.

U ssaków, w tym człowieka, proces apoptozy obserwowany jest też podczas kształtowania się układu rozrodczego. Początkowo u płodu powstają elementy wspólne dla obu płci (tzw. męskie **przewody Wolffa** i żeńskie **przewody Müllera**). Następnie przewody niewłaściwe dla danego osobnika ulegają apoptozie.



Schemat ilustruje zmiany kloaki u ssaków podczas rozwoju embrionalnego. Obraz A to najwcześniejszy etap rozwoju embrionalnego, natomiast D – najpóźniejszy.

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

Apoptoza warunkuje również powstawanie palców rąk i nóg, powodując eliminację komórek z rejonów międzypalcowych i ukształtowanie właściwych struktur. Brak prawidłowego przebiegu apoptozy na tym etapie prowadzi do powstania wady wrodzonej zwanej syndaktylią, czyli zrośnięcia się dwóch lub więcej palców dłoni czy stóp.



Syndaktylia u niemowlaka.

Źródło: Wikimedia Commons, domena publiczna.

Programowana śmierć komórek odgrywa również rolę w sprawnym funkcjonowaniu układu odpornościowego. Gdy limfocyty T i B dojrzewają, kontrolowana jest ich zdolność do odróżniania komórek własnego organizmu od komórek obcych. Jeśli takie limfocyty atakują własne komórki (czyli działają błędnie), to uruchamiany jest wobec nich szlak apoptozy. Wszelkie nieprawidłowości w tym zakresie są przyczyną powstawania chorób autoimmunologicznych.

Prawidłowy przebieg apoptozy warunkuje również eliminację komórek nowotworowych. Jeżeli szlak apoptozy zostanie zaburzony, to możliwe jest niekontrolowane namnażanie się tych komórek i rozwój choroby nowotworowej.

Ciekawostka

W 2002 r. Robert H. Horvitz (amerykański biolog), sir John E. Sulston (brytyjski biolog molekularny) i Sydney Brenner (brytyjski genetyk) otrzymali Nagrodę Nobla za odkrycie mechanizmów odpowiedzialnych za rozwój organów i programowaną śmierć komórki.



John E. Sulston.

Źródło: Wikimedia Commons, licencja: CC BY 3.0.

Inne rodzaje śmierci komórek

Apoptoza znacząco różni się od innych rodzajów śmierci, której mogą ulec komórki. W przypadku komórek zwierzęcych obserwuje się również śmierć w wyniku **nekrozy**, która następuje na skutek uszkodzenia komórki przez czynniki fizyczne lub mechaniczne. Nekroza różni się przebiegiem od apoptozy. W czasie nekrozy dochodzi do naruszenia integralności błony komórkowej, obrzęku i degradacji organelli komórkowych, cięcia DNA w przypadkowych miejscach i powstania stanu zapalnego w miejscu wystąpienia nekrozy. Procesowi temu ulegają zazwyczaj całe grupy komórek, a nie pojedyncze komórki.

Porównanie nekrozy i apoptozy.

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

U roślin i grzybów nie występuje apoptoza, a najczęstszą formą programowanej śmierci komórki jest śmierć wakuolarna wskutek **autofagii**. Wyróżnia się również nekrozę, czyli śmierć komórki zachodzącą w wyniku uszkodzenia komórek bodźcami zewnętrznymi i obejmującą większą liczbę komórek jednocześnie.

Słownik

autofagia

proces śmierci komórek powszechny u roślin i grzybów, polegający na trawieniu przez komórkę jej własnych struktur; proces trawienia przebiega w wakuoli, dzięki obecności enzymów hydrolitycznych

ciałka apoptyczne

pęcherzyki powstające w trakcie apoptozy przez otaczanie błoną komórkową fragmentów cytoplazmy

cytokiny

substancje białkowe regulujące aktywność krwinek i innych komórek podczas procesów zapalnych

kaspazy

grupa enzymów, których celem jest zniszczenie białek strukturalnych i enzymatycznych w trakcie procesu apoptozy komórki

ligand

cząsteczka sygnałowa wiążąca się specyficznie z inną, zwykle większą cząsteczką, tzw. receptorem komórkowym

nekroza

śmierć komórki zachodzącą w wyniku uszkodzenia komórek bodźcami zewnętrznymi (fizycznymi lub mechanicznymi)

przewody Müllera

przewody występujące w trakcie rozwoju embrionalnego ssaków, przekształcające się następnie w jajowody, macicę i część pochwy

przewody Wolffa

przewody występujące w trakcie rozwoju embrionalnego ssaków, przekształcające się następnie w najądrza, powrózek nasienny i pęcherzyki nasienne

stres oksydacyjny

patologiczny stan komórki związany z nagromadzeniem w jej cytoplazmie nadmiaru wolnych rodników tlenowych

Film

Film dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/DERkVae44>

Apoptoza i jej znaczenie w rozwoju organizmów wielokomórkowych.

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

Nagranie filmowe lekcji.




Polecenie 1

Opisz zmiany morfologiczne zachodzące w komórce podczas apoptozy.

Polecenie 2

Wyjaśnij, jakie jest znaczenie procesu apoptozy dla człowieka.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Ćwiczenie 2



Ćwiczenie 3



Ćwiczenie 4



Ćwiczenie 5



Źródło: Jhayes21, Wikimedia Commons, licencja: CC BY-SA 3.0.

Ćwiczenie 6



Ćwiczenie 7



Ćwiczenie 8



Przebieg apoptozy.

Źródło: H. Hoffmeister, Emma Farmer, Wikimedia Commons, licencja: CC BY-SA 3.0.

Dla nauczyciela

Autor: Sylwia Brawata

Przedmiot: biologia

Temat: Apoptoza i jej znaczenie w rozwoju organizmów wielokomórkowych

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

Podstawa programowa:

Zakres podstawowy

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

IV. Podziały komórkowe. Uczeń:

5) wyjaśnia znaczenie apoptozy dla prawidłowego rozwoju i funkcjonowania organizmu.

Zakres rozszerzony

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

IV. Podziały komórkowe. Uczeń:

9) przedstawia apoptozę jako proces warunkujący prawidłowy rozwój i funkcjonowanie organizmów wielokomórkowych.

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 pojęcie apoptozy.
- Omówisz przebieg procesu apoptozy.
- Przedstawisz znaczenie apoptozy dla rozwoju organizmu wielokomórkowego.

Strategie nauczania:

- konstruktywizm;
- konektywizm.

Metody i techniki nauczania:

- z użyciem komputera;
- rozmowa kierowana;

- mapa myśli;
- praca z filmem.

Formy pracy:

- 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 „Apoptoza i jej znaczenie w rozwoju organizmów wielokomórkowych”. Prosi uczestników zajęć o rozwiązanie ćwiczenia nr 2 z sekcji „Sprawdź się” na podstawie treści 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. **Odwołanie do wcześniejszej wiedzy.** Nauczyciel zadaje pytanie:
 - Dlaczego śmierć niektórych komórek może być istotna dla prawidłowego funkcjonowania organizmu?Chętne osoby wypowiadają się na forum klasy. Nauczyciel podsumowuje odpowiedzi uczniów.

Faza realizacyjna

1. Nauczyciel wyświetla film pt. „Apoptoza i jej znaczenie w rozwoju organizmów wielokomórkowych”. Uczniowie w parach opisują w formie linii czasu zmiany morfologiczne i biochemiczne zachodzące w komórce podczas programowanej śmierci komórki. Następnie porównują swoją odpowiedź z inną parą. Ochotnicy przedstawiają wyniki pracy swojej grupy na forum klasy.
2. Nauczyciel dzieli uczniów na cztery grupy i prosi ich, by na podstawie e-materiału opracowali mapę myśli dotyczącą przydzielonych zagadnień:
 - grupa I i II – inicjacja i przebieg apoptozy;
 - grupa III i IV – znaczenie apoptozy i inne rodzaje śmierci komórek.

Grupy otrzymują po dwa arkusze papieru A2 i na jednym z nich sporządzają mapę myśli. Następnie wybierają po dwóch ekspertów, którzy najlepiej opanowali otrzymane zagadnienia. Eksperci zamieniają się grupami (I z III, II z IV) i przekazują zdobytą wiedzę. Uczniowie z drugiej grupy robią na drugim arkuszu notatki w formie mapy myśli, porządkując informacje przekazywane przez eksperta. Po upływie wyznaczonego czasu eksperci wracają do swoich grup. Grupy prezentują wyniki swojej pracy, nauczyciel uzupełnia brakujące informacje, koryguje ewentualne błędy.

Praca domowa:

1. Wykonaj w domu ćwiczenia niezrealizowane na lekcji.

Materiały pomocnicze:

- Neil A. Campbell i in., „Biologia Campbella”, tłum. K. Stobrawa i in., Rebis, Poznań 2019.
- „Encyklopedia szkolna. Biologia”, red. Marta Stęplewska, Robert Mitoraj, Wydawnictwo Zielona Sowa, Kraków 2006.

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania filmu:

- Uczniowie mogą wykorzystać film w celu przygotowania się do lekcji powtórkowej.