


## Komórki macierzyste – szanse i zagrożenia

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



## Komórki macierzyste – szanse i zagrożenia

Fotografia przedstawia dystrofinę (zabarwiona na zielono) w komórkach mięśniowych pacjenta z dystrofią mięśniową Duchenne'a, pochodzącą z indukowanych pluripotencjalnych komórek macierzystych. Widoczne są jądra komórkowe (kolor niebieski) oraz włókna miozynowe (kolor czerwony).

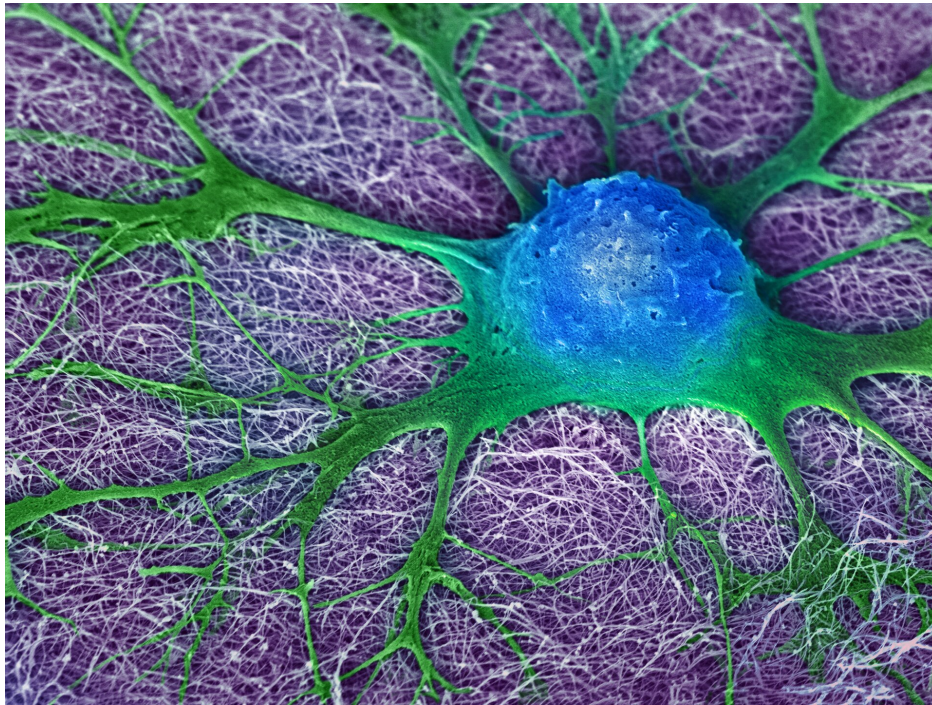
Źródło: Courtney Young, M.S., Melissa Spencer lab, University of California, Los Angeles, licencja: CC BY-NC 2.0.

Zastosowanie komórek macierzystych w transplantologii czy medycynie regeneracyjnej budzi z jednej strony ogromne nadzieje, z drugiej zaś kontrowersje. W ostatnich latach naukowcy szczególną uwagę poświęcili dorosłym komórkom macierzystym, zasiedlającym wyspecjalizowane nisze w większości organów. Komórki te mogą stanowić alternatywę dla problematycznych etycznie embrionalnych komórek macierzystych, izolowanych z zarodków.

### Twoje cele

- Przedstawisz szanse i zagrożenia związane z wykorzystaniem komórek macierzystych do różnych celów.
- Ukazesz problemy społeczne i etyczne wynikające z wykorzystania komórek macierzystych w inżynierii genetycznej.

## Wykorzystanie komórek macierzystych



Nerwowa komórka macierzysta myszy (kolor niebieski i zielony). Komórka rośnie i tworzy wrzecionowate wypustki – aksony (kolor zielony), próbując przywrócić połączenia z innymi pobliskimi komórkami nerwowymi. Te obserwacje dają badaczom nadzieję, że dzięki zastosowaniu komórek macierzystych możliwe stanie się odwrócenie uszkodzeń rdzenia kręgowego.

Źródło: NIH Image Gallery, Flickr, licencja: CC BY-NC 2.0.

Komórki macierzyste mają zdolność samoodnowy i rozpoczynania szlaków różnicowania się w określony typ wyspecjalizowanych komórek. Komórki pozyskane z embrionu złożonego z kilku komórek mają właściwości **totipotencjalne** – mogą się różnicować w każdy typ komórek organizmu, łącznie z komórkami łożyska. Te pochodzące z zarodka w stadium blastocysty mają właściwości **pluripotencjalne** – mogą zapoczątkować tworzenie się każdego typu komórek oprócz komórek tworzących łożysko. Terapie wykorzystujące komórki macierzyste są obecnie uważane za najbardziej perspektywiczne w leczeniu pacjentów po nieodwracalnych urazach, z nowotworami (zwłaszcza krwi i układu limfatycznego), z chorobami związanymi z brakiem lub niewłaściwym działaniem niektórych **enzymów** oraz z niektórymi chorobami dziedzicznymi.

## Terapie wykorzystujące komórki macierzyste

### Transplantacja komórek macierzystych

Terapia ta wykorzystywana jest w celu leczenia chorób krwi i układu odpornościowego (m.in. białaczki) lub odbudowy układu krwionośnego po leczeniu niektórych nowotworów. Przeprowadza się ją dzięki przeszczepom szpiku kostnego lub krwi pępowinowej.

### Hodowanie skóry potrzebnej do przeszczepów

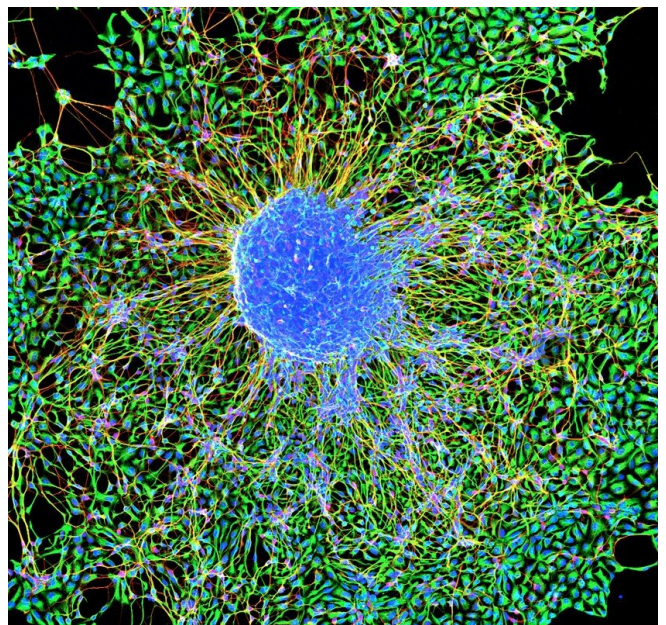
### Leczenie niektórych typów uszkodzeń rogówki

Opracowano na podstawie strony projektu „EuroStemCell”.

## Potencjalne wykorzystanie komórek macierzystych i leczenie eksperymentalne

Potencjalne zastosowanie medyczne komórek macierzystych jest ogromne. Naukowcy i lekarze wciąż prowadzą badania w kierunku ich wykorzystania w różnych schorzeniach i urazach, takich jak:

- białaczki, chłoniaki, szpiczaki;
- niedobory odporności;
- niedokrwistości;
- ciężkie oparzenia skóry;
- uszkodzenia rogówki;
- nowotwory;
- rekonstrukcja kości;
- cukrzyca;
- choroba Parkinsona;
- zwyrodnienie plamki żółtej;
- choroby autoimmunologiczne.



Zarodkowe komórki macierzyste małpy marmozety (*Leontopithecus*) tworzące neurony.

Źródło: NIH Image Gallery, Flickr.

Opracowano na podstawie: Józef Dulak, *Komórki macierzyste: zastosowania, perspektywy, nieporozumienia*, „Nauka” 2020, nr 1, s. 99–123.

Coraz częściej prowadzi się **lecnicze terapie eksperymentalne** z wykorzystaniem komórek macierzystych. Dotychczas przeszczepiono je osobom ze stwardnieniem rozsianym oraz po urazach kręgosłupa. W przypadku dzieci komórki macierzyste stosuje się w leczeniu chorób neurologicznych, np. mózgowego porażenia dziecięcego czy **rozszczepeu kręgosłupa**. Prowadzone są również zaawansowane badania w kierunku wykorzystania tych komórek do regeneracji uszkodzeń mózgu, kręgosłupa (także u pacjentów z uszkodzeniem rdzenia kręgowego) i dystrofii mięśniowej. Leczenie to przynosi pozytywne efekty, m.in. w postaci zwiększonego czucia czy zwiększenia zdolności motorycznych. Jednak ponieważ w większości przypadków są to dopiero terapie eksperymentalne, nie są one objęte przez system publicznej opieki zdrowotnej i nie są dostępne dla szerszego grona pacjentów.

Naukowcy wciąż prowadzą badania w celu opracowania kolejnych terapii medycznych wykorzystujących komórki macierzyste. Wykazano ich potencjał m.in. w leczeniu schorzeń związanych z utratą funkcji neuronów lub komórek głojowych, takich jak choroby: Parkinsona, Alzheimerera, Huntingtona, a także u osób po udarze mózgu. Aby rzetelnie udokumentować skuteczność komórek macierzystych w leczeniu tych chorób, naukowcy muszą jeszcze przeprowadzić dalsze badania.

## Zagrożenia związane z wykorzystaniem komórek macierzystych

Stosowanie komórek pluripotencjalnych wiąże się z ryzykiem rozwoju tzw. **teratom**, czyli nowotworów wywodzących się z tego typu komórek macierzystych. Do zainicjowania procesu nowotworzenia dochodzi, gdy komórki macierzyste przekształcą się w inny typ komórek niż oczekiwany.

Kolejnym ryzykiem jest odrzucenie przeszczepu przez biorcę, co wskutek silnej odpowiedzi immunologicznej może stanowić zagrożenie dla życia pacjenta lub skutkować zniszczeniem przeszczepu.

## Problemy etyczne

Jednym ze źródeł problemów etycznych dotyczących wykorzystania komórek macierzystych jest dylemat polegający na wyborze pomiędzy obowiązkiem poszanowania

życia ludzkiego a obowiązkiem zapobiegania cierpieniu.

⌋ Przeszczep komórek macierzystych u ludzi stwarza poważne problemy etyczne, gdy źródłem pochodzenia komórek są zarodki lub płody człowieka. Użycie **autologicznych komórek** mezenchymalnych, np. pochodzących ze szpiku pacjenta, rozwiązuje zarówno problem etyczny, ponieważ nie niszczy się embrionów lub płodów, jak i problem odrzucania przeszczepionych komórek, bo są to komórki własne pacjenta, które nie są odrzucane przez biorcę.

Zdzisław Gliński, Dorota Luft-Deptuła, *Komórki macierzyste – korzyści i zagrożenia*, „Życie Weterynaryjne” 2015, t. 90, nr 3, s. 141-144.

## Słownik

### enzymy

biokatalizatory obniżające energię aktywacji reakcji, a przez to umożliwiające lub ułatwiające zachodzenie reakcji chemicznych w organizmie

### *in vitro*

sposób przeprowadzania doświadczeń polegający na badaniu procesów biologicznych w warunkach sztucznych, poza organizmem

### komórki autologiczne

komórki pozyskane od tej samej osoby, której są wszczepiane

### rozzszczep kręgosłupa

wada rozwojowa polegająca na niezrośnięciu się łuków kręgowych lub rzadziej skutek niedorozwoju trzonów kręgowych

### teratoma

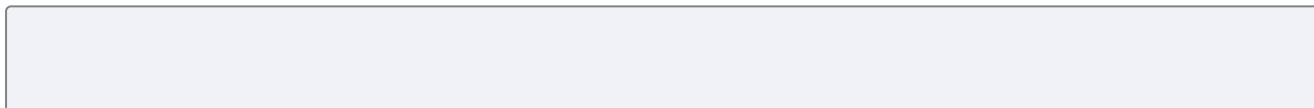
potworniak; nowotwór przeważnie w postaci torbieli, zbudowany z bezładnie ułożonych tkanek i fragmentów narządów (np. tkanka chrzęstna sąsiaduje z mięśniową, obecne są włosy, zęby, gruczoły)

# Audiobook

---

## Polecenie 1

Zapoznaj się z nagraniem, a następnie wyjaśnij, w jaki sposób można pozyskać komórki macierzyste do terapii.



Audiobook można wysłuchać pod adresem: <https://zpe.gov.pl/b/P1LLUas10>

---

Komórki macierzyste to komórki niezróżnicowane, które charakteryzuje zdolność do samoodnowy i przekształcania się w komórki wyspecjalizowane. Dlatego znajdują coraz większe zastosowanie w medycynie regeneracyjnej. Kluczowe znaczenie dla zrozumienia ich przydatności terapeutycznej ma fakt, że poszczególne rodzaje komórek macierzystych różnią się od siebie potencjałem różnicowania.

### **Jak dzielimy komórki macierzyste w zależności od ich potencjału różnicowania?**

Największe możliwości różnicowania mają komórki pluripotencjalne (zwane również pluripotentnymi). Mogą się one rozwinąć w niemal wszystkie komórki organizmu ssaka, wywodzące się z trzech listków zarodkowych. Mają zdolność odtworzenia zarówno komórek somatycznych, jak rozrodczych, z wyjątkiem komórek łożyska. To ograniczenie sprawia, że nie może z nich powstać cały organizm, tak jak z totipotencjalnej zygoty czy blastomerów. Komórki multipotencjalne różnicują do kilku typów komórek wywodzących się z tego samego listka zarodkowego. Na przykład komórki macierzyste krwi, znajdujące się w szpiku kostnym oraz w krwi pępowinowej (która zostaje w pępowinie i łożysku po narodzinach), przekształcają się we wszystkie komórki krwi, a powstające z nich monocyty różnicują do makrofagów. Z kolei (zawarte również w szpiku) szkieletowe komórki macierzyste mają zdolność regeneracji tkanki kostnej, chrzęstnej i komórek tłuszczowych. Komórki unipotencjalne (progenitorowe) mogą się przekształcić tylko w jeden rodzaj komórek. Na przykład komórki satelitarne – w mięśnie szkieletowe, a komórki rąbkowe – w komórki nabłonka rogówki.

### **Jakie jest pochodzenie poszczególnych rodzajów komórek macierzystych?**

Komórki pluripotencjalne można uzyskać na dwa sposoby: z rozwijającego się naturalnie zarodka lub z dowolnej komórki somatycznej, która w laboratorium zostaje "przeprogramowana" tak, aby przekształciła się w komórkę pluripotencjalną. Komórki pozyskiwane z zarodka to tzw. zarodkowe (embrionalne) komórki macierzyste (ang.

ESC, *embryonic stem cells*). Pobierane są z kilkudniowego zarodka, czyli blastocysty, a ściślej: z jego wewnętrznej warstwy. Dla przypomnienia, blastocysta składa się z warstwy zewnętrznej, przekształcającej się później w łożysko, oraz wewnętrznej, z której rozwiną się wszystkie tkanki organizmu. Zarodkowe komórki macierzyste zwierząt wykorzystuje się m.in. w badaniach genetycznych. Natomiast zastosowanie ludzkich embrionalnych komórek macierzystych budzi wątpliwości natury etycznej, ponieważ ich pobieranie powoduje zniszczenie zarodków. W większości krajów zakazane jest wytwarzanie zarodków, natomiast wykorzystanie nadliczbowych embrionów, czyli zarodków pozostałych po zapłodnieniu *in vitro*, nawet w krajach, w które je dopuszczają, jest obwarowane restrykcyjnymi warunkami.

Odpowiedzią na te problemy jest opracowanie metody otrzymywania komórek macierzystych z komórek somatycznych. W laboratorium poddaje się je reprogramowaniu: wprowadza się do nich cztery geny, nazwane "koktajlem Yamanaki" od nazwiska wynalazcy tej metody. Dzięki temu komórki przekształcają się do postaci, którą miały jako zarodkowe komórki macierzyste - wracają do stanu pierwotnego. Po upływie kilkunastu dni mają już takie same właściwości jak zarodkowe komórki macierzyste - czyli mogą się przekształcić w dowolne komórki organizmu z wyjątkiem komórek łożyska. Komórki te nazywamy indukowanymi pluripotencjalnymi komórkami macierzystymi (z ang. iPSC, *induced pluripotent stem cells*).

Zarówno komórki multipotencjalne, jak i unipotencjalne występują w tkankach. Na przykład u podstawy nabłonka jelitowego występują multipotencjalne komórki macierzyste, które mogą się przekształcić w kilka typów komórek jelita. Obecność takich komórek również w dorosłym organizmie uzasadnia fakt, że nabłonek jelita wymaga ciągłej regeneracji. Warto przy tym zauważyć, że komórki macierzyste jelita grubego nie mogą zregenerować uszkodzeń w jelicie cienkim i *vice versa*. Multipotencjalne są też komórki z krwi pępowinowej. Różnicują one do wszystkich typów komórek krwi. Komórki satelitarne mięśni szkieletowych są z kolei unipotencjalne. Znajdują się one pod błoną podstawną mięśni i zaczynają się dzielić i różnicować w wyniku uszkodzenia mięśni.

### **Jak możemy wykorzystać komórki macierzyste?**

Wydawać by się mogło, że potencjał terapii komórkami macierzystymi jest nieograniczony. Ogranicza go jednak nie tylko zdolność określonych komórek do przekształcania się w komórki danego typu, ale i między innymi niezdolność niektórych tkanek do regeneracji. Nie regenerują się kardiomiocyty, czyli komórki mięśnia sercowego, ani komórki kory mózgowej, mimo że w niektórych obszarach mózgu stwierdzono obecność komórek macierzystych. A nawet jeśli dany narząd ma

zdolność regeneracji, nie oznacza to jeszcze, że wynika ona z obecności w nim komórek macierzystych - np. wątroba odnawia się dzięki podziałom hepatocytów, czyli komórek zróżnicowanych. Z terapią komórkami macierzystymi wiąże się też ryzyko transformacji nowotworowej. Wynika to z faktu, że w iPSC, uzyskiwanych dzięki manipulacji genetycznej, w długotrwałej hodowli mogą nastąpić mutacje, podobnie w otrzymanych z nich komórkach zróżnicowanych. Jeśli natomiast zróżnicowanie komórek macierzystych (zarówno iPSC, jak i ESC) będzie niepełne, istnieje ryzyko rozwoju potworniaków, czyli nowotworów zbudowanych z różnych tkanek. Nie można zatem podać komórek pluripotencjalnych bezpośrednio do organizmu. Przed implantacją do żywego organizmu różnicujące się komórki macierzyste trzeba więc, w większości wypadków, nadzorować *in vitro*. Na przykład komórki rąbkowe są najpierw hodowane i różnicowane w laboratorium do komórek nabłonka i dopiero w zróżnicowanej postaci są wszczepiane do oka, gdzie regenerują rogówkę. Wypracowanie metod takiej kontroli w przypadku większości terapii jest jeszcze w fazie badań.

### **Jakie terapie z udziałem komórek macierzystych są obecnie dopuszczone do stosowania, a jakie znajdują się dopiero na etapie badań?**

Uznane i rutynowo stosowane terapie obejmują wykorzystanie komórek hematopoetycznych (w leczeniu białaczek, chłoniaków, szpiczaków, niedoborów odporności i niedokrwistości) i komórek macierzystych skóry (w ciężkich oparzeniach skóry). Zatwierdzone przez instytucje medyczne, ale stosowane tylko komercyjnie, są m.in. terapie z wykorzystaniem komórek rąbkowych (w uszkodzeniach rogówki). W fazie eksperymentów pozostaje m.in. wykorzystanie zarodkowych komórek macierzystych w ciężkich uszkodzeniach rdzenia kręgowego i w leczeniu choroby Parkinsona.

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

#### **Polecenie 2**

Wykaż, że stosowanie komórek macierzystych w leczeniu może stanowić zagrożenie dla zdrowia i życia pacjenta.

### Polecenie 3

Wymień choroby, w których leczeniu można zastosować terapię z wykorzystaniem komórek macierzystych.

# Sprawdź się

---

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Ćwiczenie 2



Ćwiczenie 3



Ćwiczenie 4



Ćwiczenie 5



Dzięki komórkom macierzystym już od lat możliwe jest leczenie pacjentów po nieodwracalnych urazach rdzenia kręgowego, ponieważ komórki te mogą przekształcać się w komórki nerwowe i łatwo można w ten sposób odtworzyć zniszczoną tkankę rdzenia kręgowego.

Ćwiczenie 6



## Ćwiczenie 7



„Spektakularnym, acz jak dotychczas jednostkowym przykładem skutecznego połączenia terapii komórkami macierzystymi z terapią genową, jest opisany dwa lata temu w »Nature« przypadek wyleczenia ciężko chorego chłopca cierpiącego na pęcherzowe złuszczenie naskórka (*epidermolysis bullosa*), spowodowane brakiem prawidłowego genu *LAMB3* (Hirsch et al., 2017). Badacze włoscy (...) we współpracy z opiekującymi się syryjskim siedmiolatkiem lekarzami niemieckimi wprowadzili prawidłowy gen *LAMB3* do komórek macierzystych pobranych i namnożonych z nieuszkodzonego fragmentu skóry pacjenta, zróżnicowali tak naprawione komórki do komórek naskórka i zastosowali taki autoprzeszczep do odtworzenia zniszczonej w ponad 70% powierzchni skóry. Wyniki są rzeczywiście spektakularne, chłopiec nie tylko został uratowany z zagrażających życiu ciężkich szoków septycznych, ale prowadzi normalne życie, związane także z aktywnością fizyczną, dotychczas niemożliwą dla pacjentów z tak ciężką chorobą”.

Źródło: Józef Dulak, *Komórki macierzyste: zastosowania, perspektywy, nieporozumienia*, „Nauka” 2020, s. 99–123.

## Ćwiczenie 8



# Dla nauczyciela

---

**Autor:** Anna Juwan

**Przedmiot:** Biologia

**Temat:** Komórki macierzyste – szanse i zagrożenia

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

**Podstawa programowa:**

Zakres podstawowy

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

VIII. Biotechnologia. Podstawy inżynierii genetycznej. Uczeń:

- 8) przedstawia sposoby otrzymywania i pozyskiwania komórek macierzystych oraz ich zastosowania w medycynie;
- 11) przedstawia szanse i zagrożenia wynikające z zastosowań biotechnologii molekularnej;
- 12) dyskutuje o problemach społecznych i etycznych związanych z rozwojem inżynierii genetycznej oraz formułuje własne opinie w tym zakresie.

Zakres rozszerzony

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

XV. Biotechnologia. Podstawy inżynierii genetycznej. Uczeń:

- 10) przedstawia sposoby otrzymywania i pozyskiwania komórek macierzystych oraz ich zastosowania w medycynie;
- 13) przedstawia szanse i zagrożenia wynikające z zastosowań biotechnologii molekularnej;
- 14) dyskutuje o problemach społecznych i etycznych związanych z rozwojem inżynierii genetycznej oraz formułuje własne opinie w tym zakresie.

**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):**

- Przedstawisz szanse i zagrożenia związane z wykorzystaniem komórek macierzystych do różnych celów.
- Ukażesz problemy społeczne i etyczne wynikające z wykorzystania komórek macierzystych w inżynierii genetycznej.

### **Strategie nauczania:**

- konstruktywizm;
- konektywizm.

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

- z użyciem komputera;
- rozmowa kierowana;
- odwrócona klasa;
- ćwiczenia interaktywne;
- praca z audiobookiem;
- gwiazda pytań;
- analiza tekstu źródłowego.

### **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;
- arkusz papieru A3 z ilustracją gwiazdy.

### **Przed lekcją:**

1. **Przygotowanie do zajęć.** Nauczyciel loguje się na platformie i udostępnia uczniom e-materiał „Komórki macierzyste – szanse i zagrożenia”. Prosi uczestników zajęć o zapoznanie się z tekstem w sekcji „Przeczytaj” i multimedium w sekcji „Audiobook”, tak aby podczas lekcji mogli w niej aktywnie uczestniczyć i rozwiązywać zadania.

2. Uczniowie wykonują ćwiczenie nr 5 (w którym mają za zadanie określić prawdziwość informacji na temat zastosowania komórek macierzystych w medycynie).

## Przebieg lekcji

### Faza wstępna:

1. Nauczyciel wyświetla zawartość sekcji „Wprowadzenie”. Uczniowie wspólnie z nauczycielem omawiają cele lekcji i określają kryteria sukcesu.
2. **Wprowadzenie do tematu.** Nauczyciel prowadzi pogadankę, zadając pytania:
  - W przypadku jakich chorób stosuje się już terapię z użyciem komórek macierzystych? W przypadku jakich chorób jest to potencjalnie możliwe?
  - Z jakimi szansami oraz jakimi zagrożeniami wiąże się zastosowanie komórek macierzystych w transplantologii czy medycynie regeneracyjnej?
  - Jakie problemy społeczne i etyczne związane są z zastosowaniem komórek macierzystych w medycynie?

### Faza realizacyjna:

1. **Praca z multimedium („Audiobook”).** Jeśli to konieczne, nauczyciel odtwarza ponownie audiobook. Uczniowie wykonują polecenie nr 2: „Wykaż, że stosowanie komórek macierzystych w leczeniu może stanowić zagrożenie dla zdrowia i życia pacjenta”. Wybrane osoby prezentują propozycję odpowiedzi, a pozostali uczniowie ustosunkowują się do niej. Nauczyciel w razie potrzeby uzupełnia je, udziela też uczniom informacji zwrotnej.
2. **Gwiazda pytań.** Nauczyciel dzieli klasę na trzy grupy. Każdy zespół otrzymuje arkusz papieru A3 z ilustracją gwiazdy. Zadaniem uczniów jest umieszczenie na ramionach gwiazdy pięciu pytań dotyczących tematu lekcji. Każdy zespół po napisaniu pytań przekazuje gwiazdę innej grupie, zgodnie z kierunkiem wskazówek zegara. Teraz zadaniem uczniów jest udzielenie odpowiedzi na zadane pytania na podstawie wiadomości znajdujących się w e-materiale.  
Uczniowie swoje odpowiedzi zapisują na otrzymanym arkuszu papieru A3. Po upływie wyznaczonego czasu grupy prezentują swoje gwiazdy. Nauczyciel w razie potrzeby uzupełnia informacje, wyjaśnia wątpliwości.
3. **Utrwalenie wiedzy i umiejętności.** Nauczyciel przechodzi do sekcji „Sprawdź się”. Uczniowie wykonują indywidualnie ćwiczenie interaktywne nr 7 (w którym mają za zadanie – na podstawie przedstawionego tekstu – wyjaśnić, dlaczego opisany przypadek połączenia terapii genowej z terapią komórkami macierzystymi był przełomowy), a następnie porównują swoje odpowiedzi z kolegą lub koleżanką.
4. Uczniowie wykonują w parach ćwiczenie nr 8 (w którym mają za zadanie wykazać, czy istnieje możliwość prowadzenia terapii z użyciem komórek macierzystych, tak by nie wiązało się to z problemami etycznymi, oraz uwzględnić w odpowiedzi źródło komórek macierzystych i ryzyko odrzucenia przeszczepu), wyświetlone przez nauczyciela na

tablicy. Podczas wspólnych dyskusji rozwiązują zadanie, następnie łączą się z inną parą i kontynuują swoją dyskusję, uzasadniając swój wybór.

### **Faza podsumowująca:**

1. Nauczyciel prosi uczniów o rozwinięcie zdań: „Dziś nauczyłem/nauczyłam się...”, „Zrozumiałem/zrozumiałam, że...”, „Zaskoczyło mnie...”, „Dowiedziałem/dowiedziałam się...”.

### **Praca domowa:**

1. Wykonaj ćwiczenia 4 i 6 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.
- Józef Dulak, *Komórki macierzyste: zastosowania, perspektywy, nieporozumienia*, „Nauka” 2020, nr 1, s. 99–123.

### **Dodatkowe wskazówki metodyczne:**

- Uczniowie zapoznają się z multimediami w sekcji „Audiobook” i przygotowują do niego pytania. Następnie zadają je sobie nawzajem, sprawdzając stopień przyswojenia jego treści.