

Oddychanie tlenowe i beztlenowe – porównanie

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



Oddychanie tlenowe i beztlenowe – porównanie

Oddychanie tlenowe zachodzi głównie w mitochondriach, oddychanie beztlenowe na wpukleniach błony komórkowej, a fermentacja w cytoplazmie.

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

Oddychanie wewnątrzkomórkowe (oddychanie komórkowe, utlenianie biologiczne) to podstawowy proces dostarczający komórkom energii niezbędnej do życia. W czasie oddychania komórkowego dochodzi do rozkładu złożonych związków organicznych na związki proste, czemu towarzyszy uwolnienie energii. Część wydzielonej energii rozprasza się w postaci ciepła, a część wykorzystywana jest do syntezy uniwersalnego nośnika energii – ATP. Głównym substratem oddychania komórkowego jest glukoza, rzadziej są nimi inne cukry, tłuszcze lub białka. Proces rozkładu glukozy jest wieloetapowy, dzięki czemu dochodzi do stopniowego uwalniania energii skumulowanej w wiązaniach chemicznych. Wyróżnia się trzy rodzaje oddychania wewnątrzkomórkowego: oddychanie tlenowe, oddychanie beztlenowe i fermentację.

Twoje cele

- Określisz warunki, w jakich zachodzi oddychanie wewnątrzkomórkowe.
- Przedstawisz główne cechy oddychania tlenowego, oddychania beztlenowego i fermentacji.

- Wykażesz różnice między oddychaniem tlenowym, oddychaniem beztlenowym i fermentacją.

Przeczytaj

Na czym polega oddychanie wewnątrzkomórkowe?

Oddychanie wewnątrzkomórkowe jest podstawowym procesem [katabolicznym](#) zachodzącym w każdej żywej komórce. W zależności od dostępności tlenu [oddychanie komórkowe](#) może przebiegać w warunkach tlenowych lub beztlenowych.

Większość organizmów występuje w środowisku zasobnym w tlen i przeprowadza tzw. **oddychanie tlenowe**. Organizmy, które uzyskują energię niezbędną do życia na drodze oddychania tlenowego, nazywa się **tlenowcami** lub **aerobami**.

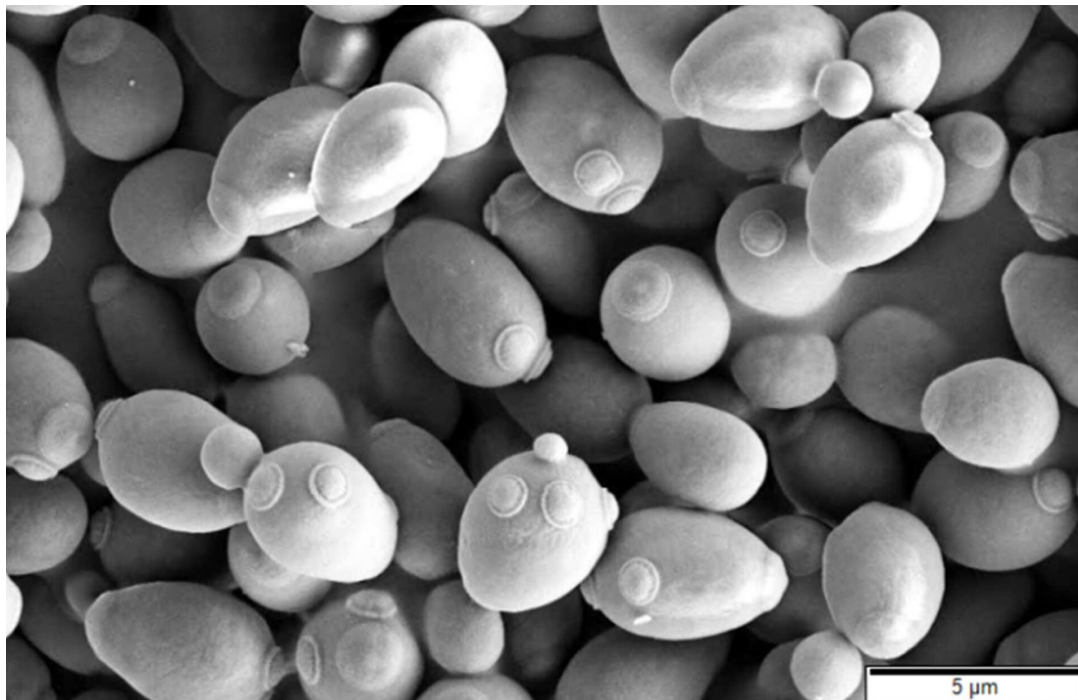
Niektóre organizmy występują w środowisku ubogim w tlen, dlatego przeprowadzają one tzw. **oddychanie beztlenowe** lub **fermentację**. Organizmy, które w ten sposób uzyskują energię niezbędną do życia, określa się mianem **beztlenowców** lub **anaerobów**.

Sposoby oddychania wewnątrzkomórkowego.

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

Dla części beztlenowców tlen jest substancją toksyczną, której obecność wywołuje śmierć organizmu – są to tzw. **beztlenowce bezwzględne (anaeroby obligatoryjne)**.

Metabolizm niektórych beztlenowców jest stosunkowo elastyczny. W warunkach dostatecznej ilości tlenu oddychają tlenowo, a w przypadku jego braku – oddychają beztlenowo lub na drodze fermentacji. Takie organizmy to **beztlenowce względne** (anaeroby fakultatywne).



Drożdże (*Saccharomyces cerevisiae*) to mikroorganizmy zaliczane do **beztlenowców względnych**. W zależności od dostępności tlenu w środowisku życia mogą uzyskiwać energię w procesie oddychania tlenowego lub na drodze fermentacji. *Saccharomyces cerevisiae* widoczne pod elektronowym mikroskopem skaningowym.

Źródło: Mogana Das Murtey and Patchamuthu Ramasamy, Wikimedia Commons, licencja: CC BY-SA 3.0.

Więcej na temat oddychania wewnątrzkomórkowego przeczytasz w e-materiale pt. *Substraty oddechowe – mobilizacja i główne etapy rozkładu katabolicznego*.

Reakcje oksydacyjno-redukcyjne

W czasie przemian metabolicznych w oddychaniu wewnątrzkomórkowym zachodzą reakcje oksydacyjno-redukcyjne z wykorzystaniem [przenośników wodorowych](#) – NAD^+ i FAD . Związki te, przyjmując elektrony i jony wodoru, ulegają redukcji i przybierają postać NADH i FADH_2 . Zredukowane przenośniki wodoru magazynują czasowo znaczne ilości energii, która może zostać ponownie wykorzystana m.in. do syntezy [ATP](#).

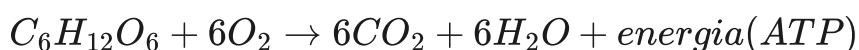
Formy utlenione i zredukowane przenośników wodorowych.

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

Oddychanie tlenowe

Oddychanie tlenowe polega na całkowitym utlenieniu substratu oddechowego do CO_2 i H_2O w obecności tlenu. Podstawowym substratem oddechowym dla większości komórek jest **glukoza**. W czasie wieloetapowego rozkładu substratu dochodzi do uwolnienia energii, która jest magazynowana w **wysokoenergetycznych wiązaniach ATP**. Więcej na ten temat przeczytasz w e-materiale: Sposoby syntezy ATP w komórce.

Zapis sumaryczny oddychania tlenowego



Substratami oddychania tlenowego mogą być także inne związki organiczne, uzyskiwane z pożywienia, np. kwasy tłuszczowe i aminokwasy.

Rodzaj utlenianego substratu	Wstępne przemiany metaboliczne	Dalsze przemiany metaboliczne
cukry	glikoliza, utlenianie pirogronianu	cykl Krebsa
kwasy tłuszczowe	β -oksydacja	cykl Krebsa
aminokwasy	dezaminacja	cykl Krebsa

Utlenianie pirogronianu pochodzącego z glikolizy oraz β -oksydacja kwasów tłuszczowych prowadzą do wytworzenia acetylo-CoA, który jest włączany do cyklu Krebsa. Produkty [dezaminacji](#) aminokwasów również włączane są do tego cyklu.

W oddychaniu tlenowym dochodzi do **wytworzenia znacznych ilości** zredukowanych przenośników wodorowych – **NADH + H⁺** i **FADH₂**. Związki te ulegają utlenieniu na [łańcuchu oddechowym](#), a energia odszczepionych elektronów jest wykorzystywana do syntezy ATP. Ostatecznym akceptorem elektronów pochodzących z przenośników wodorowych jest **tlen**, dlatego jeden z produktów końcowych stanowi **woda**.

Wydajność energetyczna oddychania tlenowego bywa różna i zależy od rodzaju wykorzystanego substratu oddechowego. W przypadku **całkowitego utlenienia glukozy** bilans energetyczny jest zazwyczaj zbliżony: z 1 mola tego związku powstaje ok. **30 moli ATP**.

Oddychanie tlenowe występuje u **organizmów prokariotycznych** (większość bakterii) i **eukariotycznych** (rośliny, zwierzęta, grzyby, część protistów).

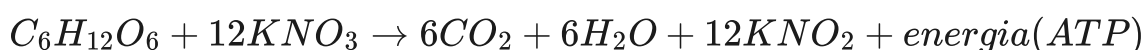
Procesy związane z rozkładem substratu oddechowego zachodzą w:

- cytoplazmie i wpukleniach błony komórkowej (dawniej zwanych mezosomami) u organizmów prokariotycznych;
- cytoplazmie i mitochondriach u organizmów eukariotycznych.

Oddychanie beztlenowe

Oddychanie beztlenowe polega na całkowitym utlenieniu substratu oddechowego do CO_2 i H_2O bez udziału tlenu. Zamiast tlenu cząsteczkowego wykorzystywane są **azotany** (NO_3^-) i **siarczany** (SO_4^{2-}). W czasie wieloetapowego rozkładu substratu oddechowego dochodzi do **uwolnienia energii**, która jest magazynowana w wysokoenergetycznych wiązaniach ATP.

Zapis sumaryczny oddychania beztlenowego, w którym akceptorem elektronów jest azotan(V) potasu



W oddychaniu beztlenowym dochodzi do **wytworzenia dość dużych ilości** zredukowanych przenośników wodorowych – **NADH** i **FADH₂**. Związki te ulegają utlenieniu, a energia odszczepionych elektronów jest wykorzystywana do syntezy ATP. Ostatecznym akceptorem elektronów pochodzących z przenośników wodorowych nie

jest tlen, lecz **siarczany(VI)** lub **azotany(V)**, dlatego jeden z produktów końcowych stanowi **związek nieorganiczny**. Wydajność energetyczna oddychania beztlenowego jest nieco mniejsza niż oddychania tlenowego. W przypadku całkowitego utlenienia glukozy bilans energetyczny wynosi **od 15 do 25 moli ATP** z 1 mola tego związku, w zależności od rodzaju organizmu przeprowadzającego ten proces.

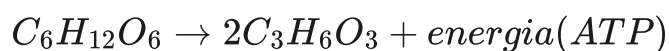
Oddychanie beztlenowe występuje u organizmów **prokariotycznych** (część bakterii chorobotwórczych, bakterie żyjące na dnie zbiorników wodnych i w przewodzie pokarmowym zwierząt, bakterie denitryfikacyjne).

Procesy związane z rozkładem substratu oddechowego zachodzą w cytoplazmie i w wpukleniach błony komórkowej (dawniej zwanych mezosomami).

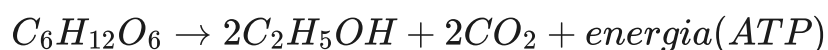
Fermentacja

Fermentacja polega na częściowym utlenieniu substratu oddechowego do związku organicznego bez udziału tlenu. W czasie dwuetapowego rozkładu substratu oddechowego dochodzi do uwolnienia energii, która jest magazynowana w wysokoenergetycznych wiązaniach ATP.

Zapis sumaryczny fermentacji glukozy



lub



Podczas fermentacji dochodzi do **wytworzenia małych ilości** zredukowanych przenośników wodorowych – **NADH** i **FADH₂**. Związki te ulegają utlenieniu, a pozyskane w ten sposób elektrony są wykorzystywane do redukcji związków

organicznych. Ostatecznym akceptorem elektronów nie jest zatem tlen, lecz substancja organiczna, np. **pirogronian** lub **aldehyd octowy**, dlatego jeden z produktów końcowych stanowi **związek organiczny**. Wydajność energetyczna fermentacji jest znacząco mniejsza niż oddychania tlenowego czy beztlenowego. W przypadku częściowego utlenienia glukozy bilans energetyczny jest zawsze taki sam: z 1 mola tego związku powstają **2 mole ATP**.

Fermentacja występuje u organizmów **prokariotycznych** (bakterie mlekowe) i **eukariotycznych** (drożdże, protisty zwierzęce zasiedlające przewody pokarmowe przeżuwaczy, pasożyty przewodu pokarmowego człowieka). Procesy związane z rozkładem substratu oddechowego zachodzą w cytoplazmie zarówno u organizmów prokariotycznych, jak i eukariotycznych.

Więcej na temat fermentacji przeczytasz [tutaj](#).

Oddychanie wewnątrzkomórkowe zachodzące w warunkach tlenowych i beztlenowych – porównanie

Cecha	Oddychanie tlenowe	Oddychanie beztlenowe	Fermentacja
Substrat oddechowy	glukoza	glukoza	glukoza
Produkty oddychania	CO ₂ , H ₂ O, ATP	CO ₂ , H ₂ O, związek nieorganiczny zredukowany, np. jony azotanowe(III), ATP	związek organiczny, np. etanol, ATP
Ostateczny akceptor elektronów	O ₂	związek nieorganiczny utleniony, np. jony azotanowe(V)	związek organiczny, np. pirogronian

Cecha	Oddychanie tlenowe	Oddychanie beztlenowe	Fermentacja
Lokalizacja procesu w komórce	cytoplazma i wpuklenia błony komórkowej/ mitochondrium	cytoplazma i wpuklenia błony komórkowej	cytoplazma
Wydajność energetyczna	ok. 30 ATP	15–25 ATP	2 ATP

Słownik

ATP

adenozyno-5'-trifosforan; nukleotyd adeninowy, zawierający grupę trifosforanową połączoną wiązaniem estrowym z grupą 5'-OH adenozyiny; jest głównym nośnikiem energii w komórce ze względu na wysoką energię wiązań pomiędzy grupami fosforanowymi

dezaminacja

enzymatyczny proces odłączania reszty aminowej od aminokwasu; powstający amoniak włączany jest do cyklu mocznikowego i przekształcany w mocznik, wydalany następnie z moczem; pozostały po dezaminacji ketokwas zostaje przekształcony w metabolit pośredni przemian cukrowych lub tłuszczowych i wykorzystywany dalej jako źródło energii

katabolizm

reakcje rozkładu związków złożonych na związki prostsze (np. polisacharydów na monosacharydy, białek na aminokwasy), podczas których dochodzi do zerwania wiązań chemicznych i uwolnienia energii

łańcuch oddechowy

łańcuch transportu elektronów, końcowy szlak utleniania cząsteczek różnych substratów energetycznych zlokalizowany w błonie wewnętrznej mitochondrium;

substratami są bogate energetycznie zredukowane nukleotydy: NADH i FADH₂, pochodzące z cyklu kwasu cytrynowego, glikolizy i β-oksydacji; energia swobodna uwalniana podczas przenoszenia elektronów na tlen cząsteczkowy jest wykorzystywana do syntezy ATP (fosforylacja oksydacyjna); utlenianie sprzężone jest z fosforylacją dzięki gradientowi protonowemu wytworzonemu w poprzek błony mitochondrialnej

oddychanie komórkowe

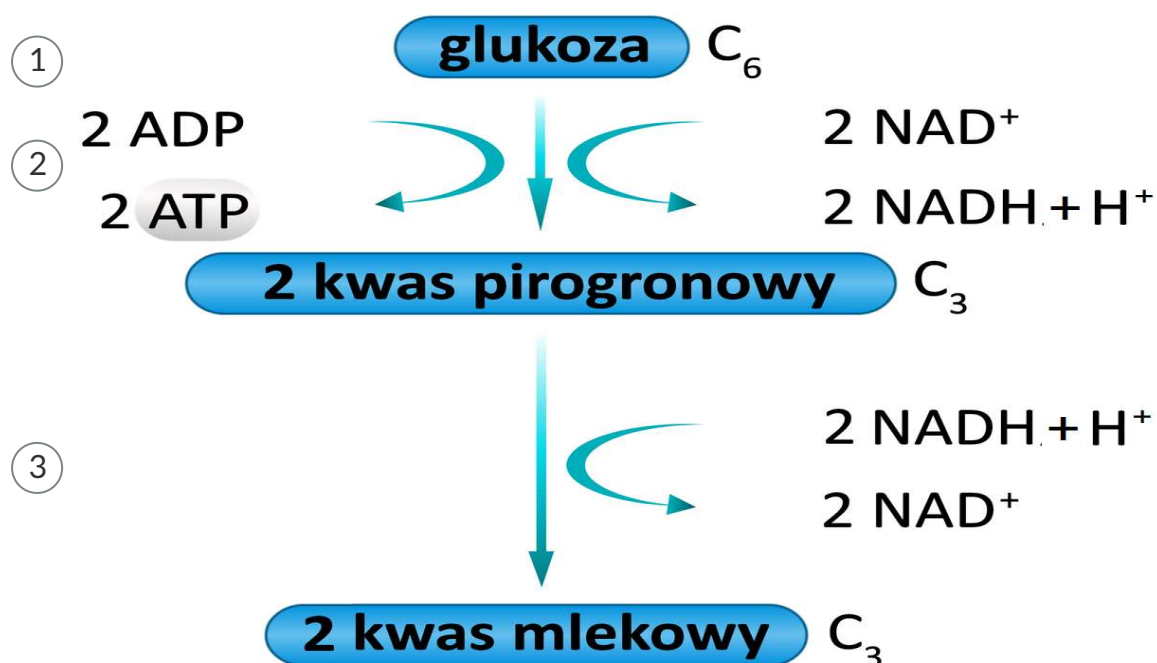
inaczej oddychanie wewnątrzkomórkowe lub utlenianie biologiczne; wieloetapowy proces rozkładu substratu oddechowego, prowadzący do wydzielenia energii wykorzystywanej do syntezy ATP; zachodzi w warunkach tlenowych (oddychanie tlenowe) lub w warunkach beztlenowych (oddychanie beztlenowe i fermentacja)

przenośniki wodorowe

związki organiczne: NAD⁺, FAD, NADP⁺ ulegające w przemianach metabolicznych reakcjom utleniania i redukcji; transportują elektrony i jony wodoru

Grafika interaktywna

Ogólny przebieg fermentacji i oddychania tlenowego



1

Glikoliza

Pierwszy etap fermentacji zachodzący w cytoplazmie. Polega na rozłożeniu glukozy do dwóch cząsteczek kwasu pirogronowego, czemu towarzyszy powstanie dwóch cząsteczek NADH i dwóch cząsteczek ATP.

2

Synteza ATP

Podczas glikolizy dochodzi do syntezy ATP na drodze fosforylacji substratowej, w której energia niezbędna do przyłączenia reszty fosforanowej do ADP pochodzi

z przekształceń związku organicznego.

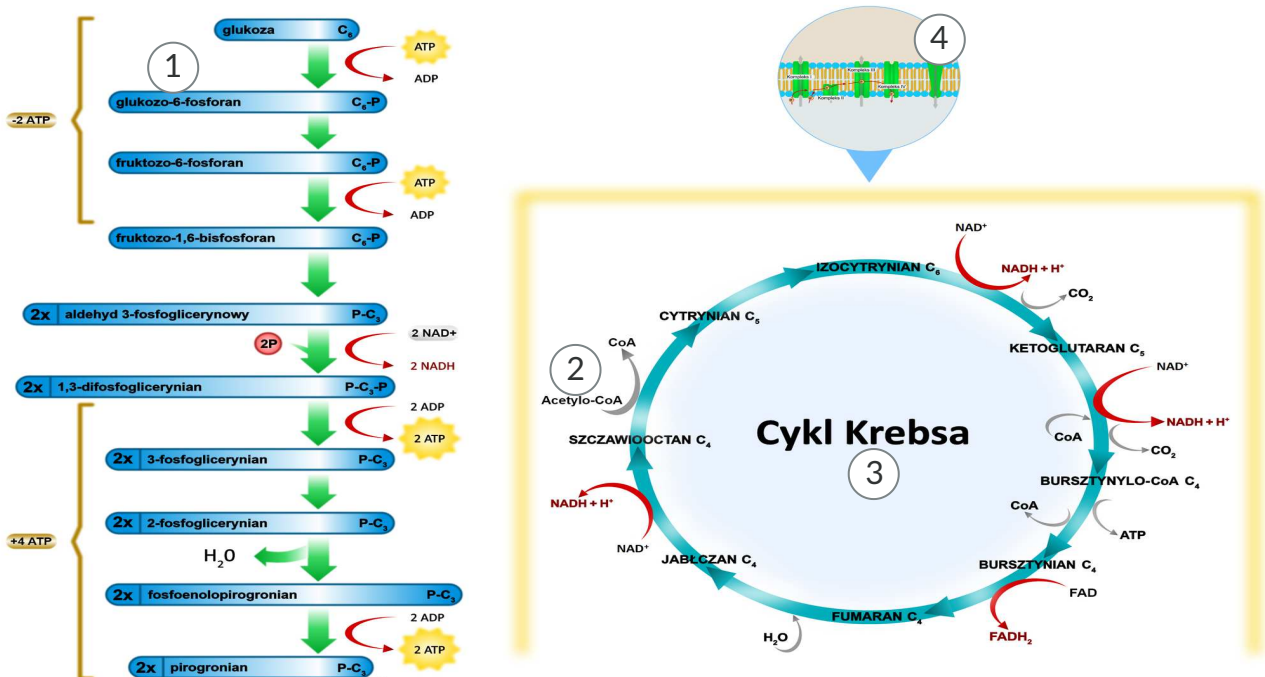
3

Redukcja

Drugi etap fermentacji zachodzący w cytoplazmie. Polega na redukcji kwasu pirogronowego do kwasu mlekowego z jednoczesnym utlenieniem NADH do NAD^+ . Cząsteczki NAD^+ mogą zostać wykorzystane w kolejnej glikolizie.

Przebieg fermentacji mleczanowej.

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



1

Glikoliza

Pierwszy etap oddychania tlenowego zachodzący w cytoplazmie. Polega na rozłożeniu glukozy do dwóch cząsteczek kwasu pirogronowego, czemu towarzyszy powstanie dwóch cząsteczek NADH i dwóch cząsteczek ATP.

2

Reakcja pomostowa

Drugi etap oddychania tlenowego zachodzący w matriks mitochondrium. Polega na dekarboksylacji pirogronianiu i utlenieniu grupy acetylowej, która zostaje przyłączona do koenzymu A, w wyniku czego powstaje acetylokoenzym A.

3

Cykl Krebsa

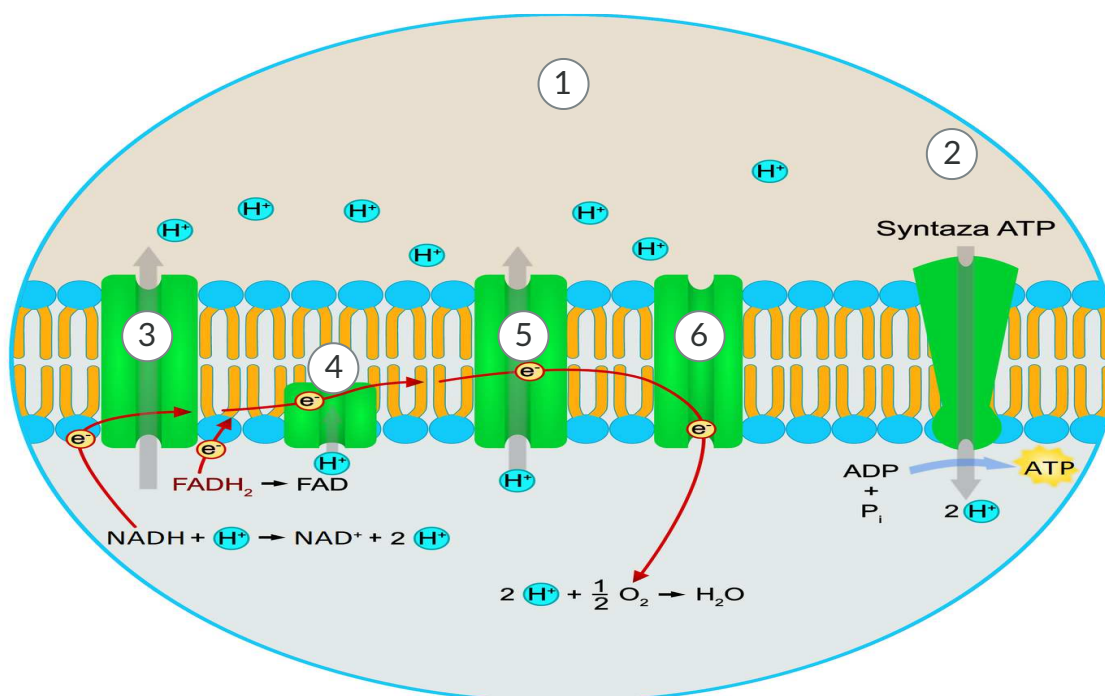
Trzeci etap oddychania tlenowego zachodzący w matriks mitochondrium. Polega na licznych przekształceniach cytrynianu, czemu towarzyszy powstanie niewielkich ilości ATP i stosunkowo dużych ilości NADH i FADH₂.

4

Łańcuch oddechowy

Przebieg oddychania tlenowego.

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



1

Łańcuch oddechowy

Czwarty etap oddychania tlenowego zachodzący na grzebieniach mitochondrialnych. Polega na utlenieniu zredukowanych przenośników wodorowych powstałych w czasie glikolizy, reakcji pomostowej i cyklu Krebsa. Odszczepione elektrony wędrują przez przenośniki białkowe, a ich energia jest wykorzystana do syntezy ATP.

2

Synteza ATP

W oddychaniu tlenowym dochodzi do syntezy ATP na drodze fosforylacji substratowej (glikoliza i cykl Krebsa) oraz na drodze fosforylacji oksydacyjnej (łańcuch oddechowy).

3

Kompleks I

4

Kompleks II

5

Kompleks III

6

Kompleks IV

Łańcuch oddechowy – czwarty etap oddychania tlenowego.

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

Polecenie 1

Przeanalizuj powyższe grafiki interaktywne, a następnie na ich podstawie wykaż dwie różnice między fermentacją i oddychaniem tlenowym.

Polecenie 2

Energia potrzebna do skurczu mięśni jest czerpana z ATP, który to związek chemiczny powstaje w wyniku oddychania komórkowego. Substratami oddychania są glukoza i tlen, dostarczane do mięśni przez układ krwionośny. W wyjątkowych sytuacjach synteza ATP może zachodzić w warunkach beztlenowych.

1. Opisz warunki, w jakich dochodzi do uzyskiwania energii na drodze fermentacji przez komórki mięśni szkieletowych.
2. Podaj nazwę produktu, który powstaje w czasie fermentacji zachodzącej w komórkach mięśni szkieletowych.

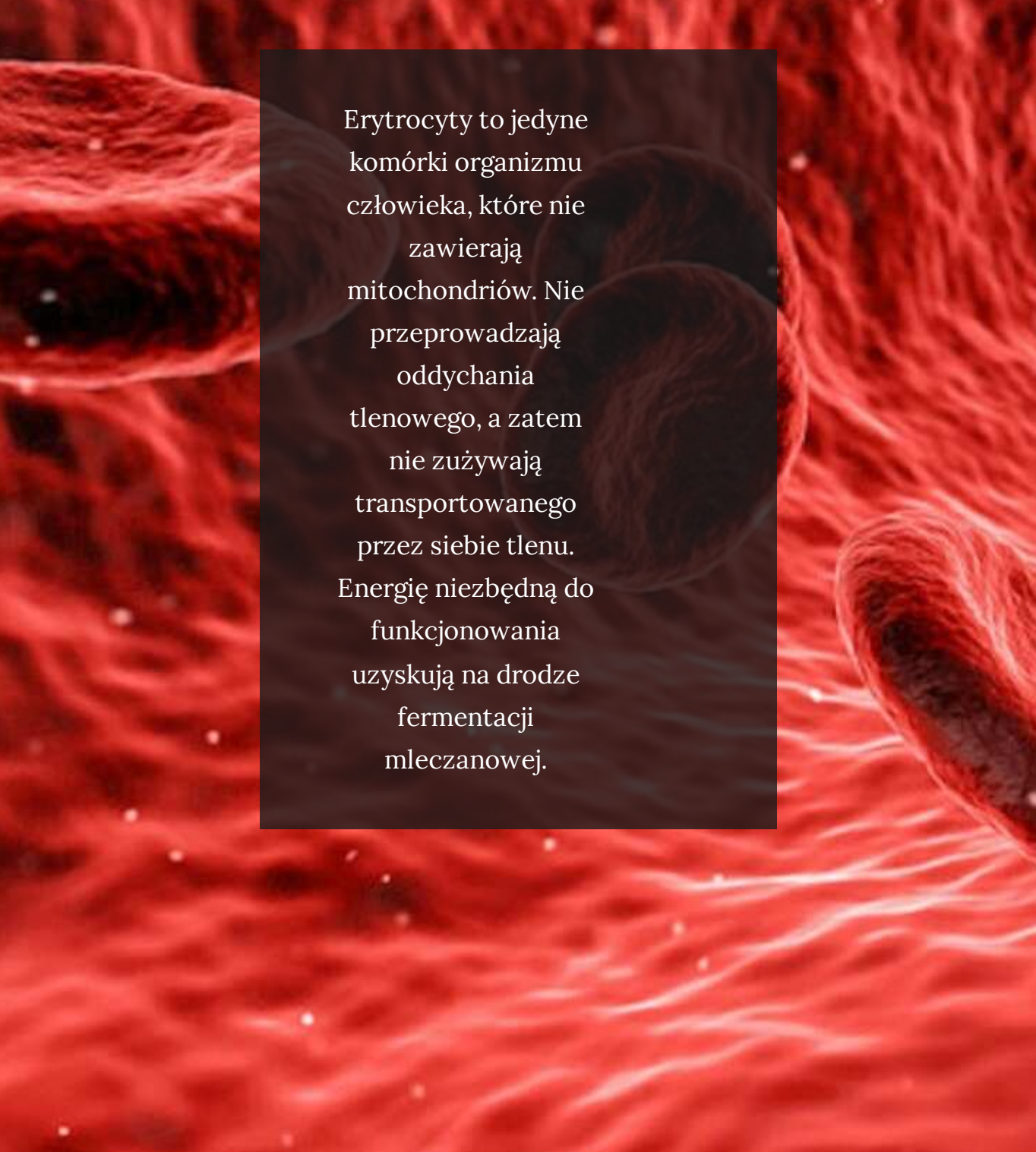
Odpowiedź.

Polecenie 3

Uzasadnij prawdziwość stwierdzenia: „Oddychanie wewnątrzkomórkowe jest podstawowym procesem katabolicznym zachodzącym w każdej komórce”.

Komórki organizmu człowieka i sposób ich oddychania








Erytrocyty to jedyne komórki organizmu człowieka, które nie zawierają mitochondriów. Nie przeprowadzają oddychania tlenowego, a zatem nie zużywają transportowanego przez siebie tlenu. Energię niezbędną do funkcjonowania uzyskują na drodze fermentacji mleczanowej.

Źródło: Mike Goad, Flickr, domena publiczna.

Polecenie 4

Zapoznaj się z treścią powyższej interaktywnej galerii, a następnie podaj przykłady komórek występujących w ciele człowieka, które uzyskują energię niezbędną do funkcjonowania w wyniku oddychania beztlenowego.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Substratami oddychania komórkowego mogą być różne związki organiczne. Przyporządkuj substraty do odpowiednich reakcji.

aminokwasy

dezaminacja

cukry

glikoliza

kwasy tłuszczowe

β -oksydacja

Ćwiczenie 2



Uporządkuj w odpowiedniej kolejności etapy oddychania tlenowego i fermentacji.

Oddychanie tlenowe

łańcuch oddechowy



cykl Krebsa



glikoliza



reakcja pomostowa



Fermentacja

redukcja



glikoliza



Ćwiczenie 3



Oceń prawdziwość poniższych stwierdzeń.

Stwierdzenie	Prawda	Fałsz
Niektóre komórki organizmu człowieka mogą oddychać tlenowo lub na drodze fermentacji.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Glikoliza zachodząca podczas oddychania tlenowego jest bardziej korzystna energetycznie niż glikoliza zachodząca podczas fermentacji.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bakterie oddychają wyłącznie na drodze fermentacji, ponieważ nie mają mitochondriów.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
U bakterii występuje tylko oddychanie beztlenowe.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Ćwiczenie 4



Przyporządkuj opisy do odpowiednich rodzajów oddychania wewnątrzkomórkowego.

Oddychanie tlenowe

Produktem ubocznym tego procesu jest woda.

Proces ten przeprowadzają zarówno bakterie, jak i niektóre komórki eukariotyczne.

Jest to jedyny sposób oddychania dojrzałych erytrocytów ssaków.

Fermentacja mleczanowa

Proces ten przeprowadza większość komórek organizmu człowieka.

Ostatecznym akceptorem elektronów jest tlen.

Rolę utleniacza pełnią nieorganiczne związki chemiczne.

Proces ten przeprowadzają wyłącznie niektóre gatunki bakterii.

Zachodzi wyłącznie w cytoplazmie.

Stanowi najbardziej wydajny energetycznie rodzaj oddychania komórkowego.

Oddychanie beztlenowe

Ćwiczenie 5



Zaznacz poprawne określenia w poniższym tekście.

Oddychanie tlenowe jest skomplikowanym, wieloetapowym procesem, który ma na celu uzyskanie energii w postaci ATP. W czasie oddychania tlenowego dochodzi zarówno do

fosforylacji substratowej oksydacyjnej fotosyntetycznej podczas glikolizy, jak i do fosforylacji substratowej oksydacyjnej fotosyntetycznej , odbywającej się w trakcie reakcji pomostowej łańcucha oddechowego .

Glikoliza, pierwszy z etapów oddychania tlenowego, zachodzi w cytozolu matriks mitochondrium błonie komórkowej . Cykl Krebsa ma miejsce w

cytozolu przestrzeni międzybłonowej macierzy mitochondrialnej , natomiast ostatni etap oddychania tlenowego – łańcuch oddechowy – zachodzi

w matriks na grzebieniach mitochondrialnych . Podczas fermentacji zysk energetyczny jest możliwy jedynie na etapie glikolizy regeneracji NAD⁺ .

Dochodzi wtedy do fosforylacji fermentacyjnej substratowej oksydacyjnej .

Ćwiczenie 6



Uzupełnij tabelę odpowiednimi wyrażeniami.

Cecha	Oddychanie tlenowe	Fermentacja
Zysk energetyczny z 1 mola glukozy	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Lokalizacja w komórce	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ostateczny akceptor elektronów	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Produkty końcowe	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Rodzaj fosforylacji	<input type="text"/>	<input type="text"/>

wyłącznie substratowa

tylko mitochondrium

glukoza

substratowa i oksydacyjna

2 ATP

30 ATP

cytoplazma i mitochondrium

tylko oksydacyjna

fotosyntetyczna

kwas pirogronowy

tlen

kwasy organiczne lub alkohol

cytoplazma

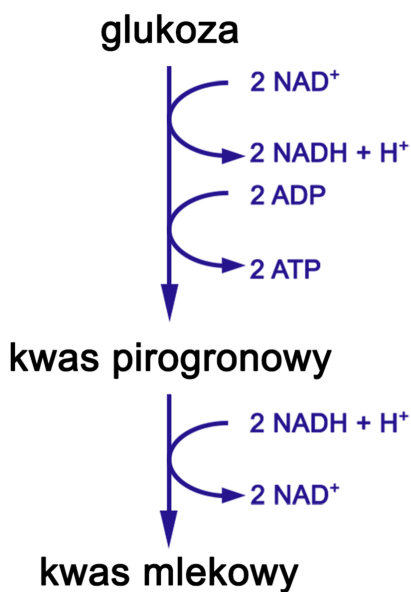
10 ATP

CO₂ i H₂O

Ćwiczenie 7

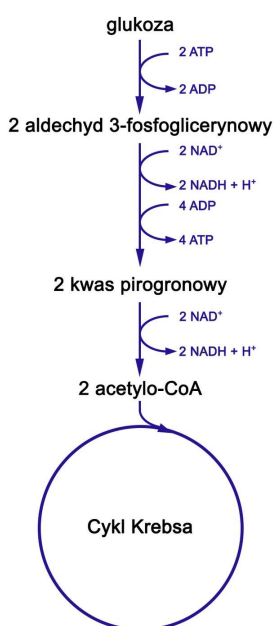


Komórki mięśni szkieletowych człowieka dostosowują sposób oddychania do warunków środowiska. W warunkach deficytu tlenowego zachodzi fermentacja mleczanowa.



Fermentacja mleczanowa.

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



Uproszczony przebieg dwóch pierwszych etapów oddychania komórkowego.

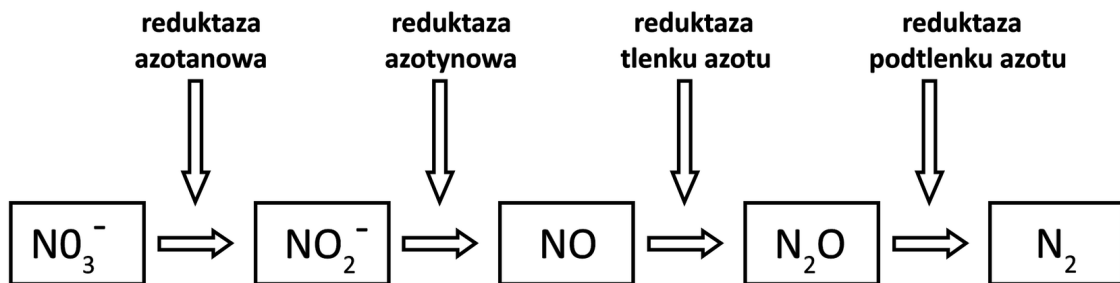
Źródło: Englishsquare.pl Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Wyjaśnij, jakim przemianom – utlenianiu czy redukcji – ulega pirogronian podczas fermentacji i oddychania tlenowego.

Ćwiczenie 8



Bakterie denitryfikacyjne przeprowadzają proces denitryfikacji, w czasie którego dochodzi do przekształcenia jonów azotanowych(V) – dobrze przyswajalnych przez rośliny – w nieprzyswajalny przez nie azot atmosferyczny. Proces denitryfikacji przedstawia poniższy schemat.



Denitryfikacja.

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

Określ znaczenie denitryfikacji dla funkcjonowania bakterii denitryfikacyjnych.

W odpowiedzi uwzględnij sposób oddychania tych mikroorganizmów.

Dla nauczyciela

Autor: Anna Juwan

Przedmiot: Biologia

Przedmiot: biologia

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

Podstawa programowa:

Zakres podstawowy

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

III. Energia i metabolizm.

3. Oddychanie komórkowe. Uczeń:

3) porównuje na podstawie analizy schematu, drogi przemiany pirogronianu jako produktu glikolizy w fermentacji mleczanowej i w oddychaniu tlenowym;

4) wyjaśnia, dlaczego utlenianie substratu energetycznego w warunkach tlenowych dostarcza więcej energii niż w warunkach beztlenowych;

Zakres rozszerzony

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

III. Energia i metabolizm.

5. Pozyskiwanie energii użytecznej biologicznie. Uczeń:

5) porównuje drogi przemiany pirogronianu w fermentacji alkoholowej, mleczanowej i w oddychaniu tlenowym;

6) wyjaśnia, dlaczego utlenianie substratu energetycznego w warunkach tlenowych dostarcza więcej energii niż w warunkach beztlenowych;

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):

- Określisz warunki, w jakich zachodzi oddychanie wewnątrzkomórkowe.
- Przedstawisz główne cechy oddychania tlenowego, oddychania beztlenowego i fermentacji.
- Wykażesz różnice między oddychaniem tlenowym, oddychaniem beztlenowym i fermentacją.

Strategie nauczania:

- konstruktywizm;
- konektywizm.

Metody i techniki nauczania:

- z użyciem komputera;
- ćwiczenia interaktywne;
- analiza grafiki interaktywnej;
- mapa myśli;
- gra dydaktyczna.

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;
- arkusze papieru, flamastry.

Przed lekcją:

1. Uczniowie zapoznają się z treścią w sekcji „Przeczytaj”.

Przebieg lekcji

Faza wstępna:

1. Nauczyciel wyświetla na tablicy temat lekcji oraz cele zajęć, omawiając lub ustalając razem z uczniami kryteria sukcesu.
2. **Wprowadzenie do tematu.** Nauczyciel zadaje uczniom pytanie:
 - Na czym polega oddychanie wewnątrzkomórkowe?Wybrana osoba wszystkie odpowiedzi zapisuje na tablicy.

Faza realizacyjna:

1. **Praca w grupach z treścią e-materiału.** Nauczyciel dzieli klasę na trzy grupy. Każda z grup opracowuje jedno zagadnienie na podstawie informacji zawartych w e-materiale.
 - Grupa I – oddychanie tlenowe
 - Grupa II – oddychanie beztlenowe
 - Grupa III – fermentacja

Po opracowaniu zagadnień przez każdą z grup nauczyciel miesza uczniów tak, aby w każdym z nowych zespołów było przynajmniej dwóch przedstawicieli ze starej grupy. Każdy z uczniów przedstawia kolegom partię materiału, którą opracował wcześniej (uczenie się przez nauczanie innych).

Nauczyciel prosi o wypisanie na małych kartkach pojęć, jakie uczniowie zapamiętali na dany temat. Grupy porządkują kartki w zbiory, wyszukując połączenia pomiędzy zapisanymi pojęciami. Grupy przyklejają kartki na arkuszu papieru A1, łączą strzałkami, rysują linie i dopisują nowe hasła, tworząc mapę myśli.

Przedstawiciele grup omawiają swoje mapy myśli. Nauczyciel weryfikuje informacje, w razie potrzeby uzupełnia.

- 2. Praca z multimedium („Grafika interaktywna”).** Nauczyciel wyświetla grafikę interaktywną i wspólnie z uczniami dokonuje jej analizy. Prosi podopiecznych, by pracując w parach, wykazali dwie różnice między oddychaniem tlenowym i fermentacją. Następnie uczniowie konsultują swoje rozwiązania z inną, najbliższą siedzącą parą.
- 3. Utrwalenie wiedzy i umiejętności.** Nauczyciel dzieli klasę na 4-osobowe grupy. Uczniowie rozwiązują ćwiczenia interaktywne od 1 do 6 z sekcji „Sprawdź się”, od najłatwiejszego do najtrudniejszego. Grupa, która poprawnie rozwiąże zadania jako pierwsza, wygrywa.

Faza podsumowująca:

1. Nauczyciel prosi uczniów, by uzasadnili prawdziwość stwierdzenia: „Oddychanie wewnątrzkomórkowe jest podstawowym procesem katabolicznym zachodzącym w każdej komórce”.
2. Nauczyciel wyświetla temat lekcji i cele zawarte w sekcji „Wprowadzenie”, podsumowuje omawiany na lekcji materiał, wyjaśnia wątpliwości uczniów.

Praca domowa:

1. Wykonaj ćwiczenia nr 7 i 8 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 grafiki interaktywnej:

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