Pierwsza Ławka · zestaw działowy · liceum i technikum

Dział 6

Oddychanie komórkowe, fermentacja i glukoneogeneza

Budowa mitochondrium a oddychanie, glikoliza, reakcja pomostowa i cykl Krebsa, fosforylacja substratowa i oksydacyjna (chemiosmoza), fermentacja alkoholowa i mleczanowa, bilans energetyczny, glikogenoliza i glukoneogeneza. Dziewięć kart: najważniejsze wiadomości z przykładami, ćwiczenia, zadania typu maturalnego, dwie kartkówki i sprawdzian w grupach A i B – z kluczem i zasadami oceniania.



Biologia | klasa 1 LO i technikum | Dział 6 | zakres rozszerzony (ZR)

	Karta	Rodzaj	Poziom	Zadania
1	**Oddychanie komórkowe – najważniejsze wiadomości** Teoria, przykłady z wyjaśnieniem, rozgrzewka	Najważniejsze wiadomości	ZR	3 zad. · 10 pkt
2	**Oddychanie komórkowe – ćwiczenia** Ćwiczę umiejętności z działu	Ćwiczenia	ZR	8 zad. · 22 pkt
3	**Oddychanie komórkowe – zadania typu maturalnego** Polecenia, wiązki i punktacja jak na maturze 2027	Zadania typu maturalnego	ZR	5 zad. · 14 pkt
4	**Kartkówka 1: mitochondrium, etapy oddychania i fosforylacja substratowa – grupa A** 15 minut · 6 pkt	Kartkówka	ZR	4 zad. · 6 pkt 15 min
5	**Kartkówka 1: mitochondrium, etapy oddychania i fosforylacja substratowa – grupa B** 15 minut · 6 pkt	Kartkówka	ZR	4 zad. · 6 pkt 15 min
6	**Kartkówka 2: chemiosmoza, fermentacje i glukoneogeneza – grupa A** 15 minut · 6 pkt	Kartkówka	ZR	4 zad. · 6 pkt 15 min
7	**Kartkówka 2: chemiosmoza, fermentacje i glukoneogeneza – grupa B** 15 minut · 6 pkt	Kartkówka	ZR	4 zad. · 6 pkt 15 min
8	**Sprawdzian: Oddychanie komórkowe – grupa A** 45 minut · 20 pkt	Sprawdzian	ZR	10 zad. · 20 pkt 45 min
9	**Sprawdzian: Oddychanie komórkowe – grupa B** 45 minut · 20 pkt	Sprawdzian	ZR	10 zad. · 20 pkt 45 min

Jak korzystać z zestawu

- Karta 1 to najważniejsze wiadomości z działu, przykłady z wzorcową odpowiedzią i krótka rozgrzewka – od niej warto zacząć.
- Karta 2 to ćwiczenia, karta 3 – zadania typu maturalnego – polecenia, wiązki i punktacja jak w arkuszach CKE.
- Karty 4–7 to dwie kartkówki (po 15 minut), karty 8–9 – sprawdzian (45 minut). Każde w grupach A i B: te same typy zadań i ta sama punktacja, inne treści.
- Klucz na końcu zawiera odpowiedzi i zasady oceniania zadań otwartych w stylu CKE: przykładowa odpowiedź, za co jest punkt i czego się nie uznaje.
- Osobny plik „Powtórka" zbiera pojęcia i schematy działu, typowe błędy i test „Sprawdź się" z odpowiedziami.

Oznaczenia

ZP	zakres podstawowy
ZR	zakres rozszerzony (treści tylko dla ZR)
(0–2 pkt)	liczba punktów możliwych do zdobycia za zadanie
Zadanie 4.1.	wiązka zadań do wspólnego materiału źródłowego
Jak to sprawdza CKE	typ zadania i typowy błąd ze sprawozdań CKE
Na maturze	wymagania z podstawy programowej, których dotyczy temat

Wymagania z podstawy programowej (Dz.U. 2024 poz. 1019)

- **III.5.1** wykazuje związek budowy mitochondrium z przebiegiem procesu oddychania komórkowego
- **III.5.2** analizuje na podstawie schematu przebieg glikolizy, reakcji pomostowej i cyklu Krebsa, wyróżnia substraty i produkty tych procesów
- **III.5.3** przedstawia, na czym polega fosforylacja substratowa
- **III.5.4** wyjaśnia mechanizm powstawania ATP w procesie chemiosmozy w mitochondriach (fosforylacja oksydacyjna)
- **III.5.5** porównuje drogi przemiany pirogronianu w fermentacji alkoholowej, mleczanowej i w oddychaniu tlenowym
- **III.5.6** wyjaśnia, dlaczego utlenianie substratu energetycznego w warunkach tlenowych dostarcza więcej energii niż w warunkach beztlenowych
- **III.5.7** analizuje na podstawie schematu przebieg glukoneogenezy i glikogenolizy oraz wykazuje związek tych procesów z pozyskiwaniem energii przez komórkę

Materiał oryginalny – nie jest kopią materiałów CKE ani podręczników. Podstawa programowa LO i technikum, zakres rozszerzony (Dz.U. 2018 poz. 467 w brzmieniu Dz.U. 2024 poz. 1019). Wymagania: I.2, I.3 / III.5.1–III.5.7. Do użytku własnego i pracy z własnymi uczniami.

Oddychanie komórkowe – najważniejsze wiadomości

Teoria, przykłady z wyjaśnieniem, rozgrzewka

ZR KARTA 1/9

Imię i nazwisko: ..... Klasa: ..... Data: ..... Wynik: ..... / 10 pkt

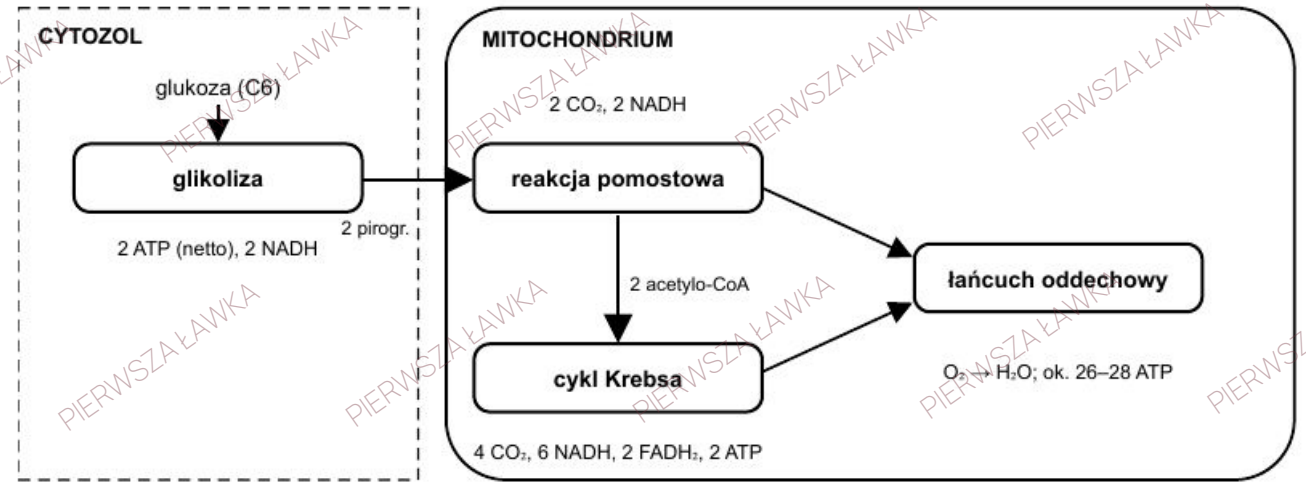
Najważniejsze wiadomości · 10 pkt

Przypomnij sobie

- **Oddychanie komórkowe** to wieloetapowe utlenianie związków organicznych (głównie glukozy), w którym energia jest wiązana w ATP. Sumarycznie: $C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 \rightarrow 6\ CO_2 + 6\ H_2O$ + energia (ok. 30–32 ATP). U eukariontów glikoliza zachodzi w cytozolu, a pozostałe etapy – w **mitochondriach**.

Element mitochondrium	Co się w nim znajduje	Związek z oddychaniem komórkowym
błona zewnętrzna	białka kanałowe (poryny)	przepuszcza drobne cząsteczki, m.in. pirogronian, do przestrzeni międzybłonowej
przestrzeń międzybłonowa	roztwór wodny	tu gromadzą się H^+ pompowane przez łańcuch oddechowy – mała objętość ułatwia powstanie gradientu
błona wewnętrzna z grzebieniami	kompleksy łańcucha oddechowego, syntaza ATP; słabo przepuszcza H^+	grzebienie zwiększają powierzchnię – mieści się więcej łańcuchów i syntaz ATP
macierz (matriks)	enzymy reakcji pomostowej i cyklu Krebsa, DNA, rybosomy 70S	tu powstają NADH i $FADH_2$ oddające elektrony do łańcucha oraz ATP z syntazy ATP

- **Glikoliza** (cytozol, bez udziału tlenu): glukoza (C6) zostaje rozłożona do 2 cząsteczek **pirogronianu** (C3). W fazie początkowej zużywane są 2 ATP, w końcowej powstają 4 ATP i 2 NADH – zysk netto: **2 ATP i 2 NADH**. **Reakcja pomostowa** (macierz): pirogronian jest dekarboksylowany i utleniany do **acetylo-CoA**; powstają CO_2 i NADH. W **cyklu Krebsa** (macierz) reszta acetylowa (C2) łączy się ze szczawiooctanem (C4) w cytrynian (C6), który w kolejnych reakcjach traci 2 CO_2 i odtwarza szczawiooctan; w jednym obrocie powstają 3 NADH, 1 $FADH_2$ i 1 ATP (lub GTP).

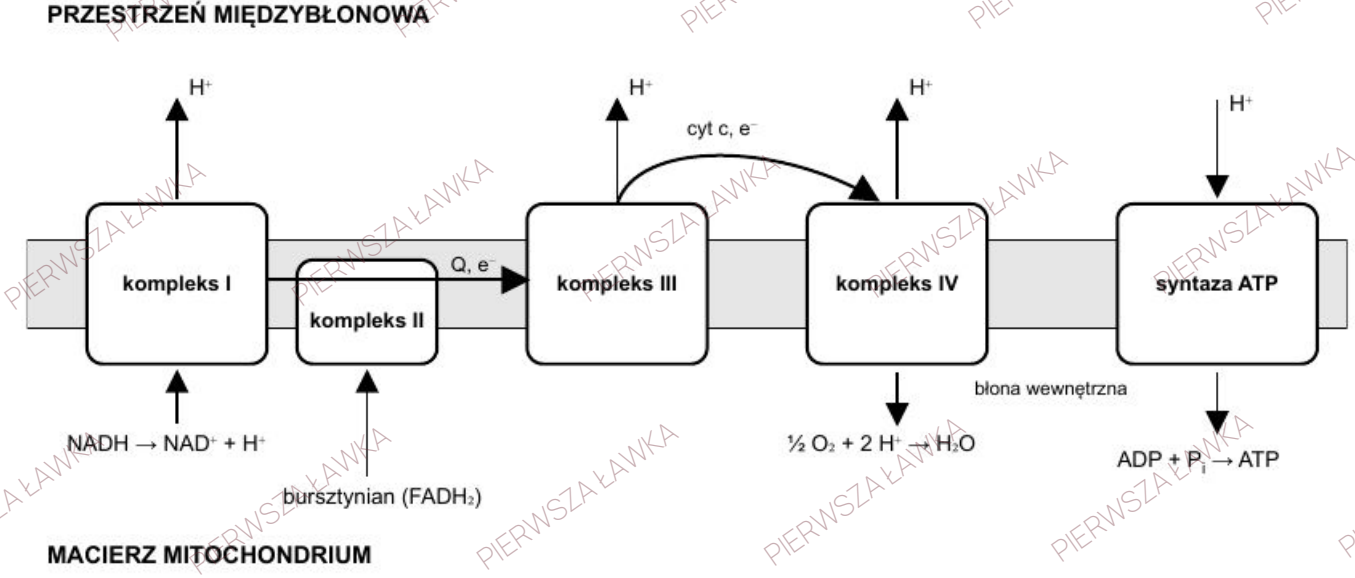


Etapy oddychania tlenowego w komórce eukariotycznej – bilans na 1 cząsteczkę glukozy (schemat uproszczony, rysunek własny).

Etap	Miejsce	Substraty	Produkty (na 1 glukozę)
glikoliza	cytozol	glukoza, 2 NAD^+, 2 ADP (netto)	2 pirogronian, 2 NADH, 2 ATP netto (4 powstają, 2 są zużywane)
reakcja pomostowa	macierz	2 pirogronian, 2 NAD^+, 2 CoA	2 acetylo-CoA, 2 CO_2, 2 NADH
cykl Krebsa	macierz	2 acetylo-CoA, szczawiooctan (odtwarzany), NAD^+, FAD, ADP	4 CO_2, 6 NADH, 2 $FADH_2$, 2 ATP (lub GTP)

łańcuch oddechowy i fosforylacja oksydacyjna	błona wewnętrzna	NADH, $FADH_2$, O_2, ADP + P_i	NAD^+, FAD, H_2O, ok. 26–28 ATP

- **Pułapka:** Liczby produktów reakcji pomostowej i cyklu Krebsa podaje się na 1 cząsteczkę **glukozy** (2 pirogroniany, 2 obroty cyklu) albo na 1 cząsteczkę **pirogronianu** – sprawdź, o co pyta polecenie. Tlen nie bierze udziału w glikolizie ani w cyklu Krebsa; cykl zatrzymuje się jednak bez tlenu, bo brakuje NAD^+ i FAD odtwarzanych w łańcuchu oddechowym.
- **Fosforylacja substratowa** to wytworzenie ATP (lub GTP) przez przeniesienie grupy fosforanowej z bogatego w energię metabolitu szlaku na ADP, w reakcji katalizowanej przez enzym szlaku. Zachodzi w glikolizie (cytozol) i w cyklu Krebsa (macierz); nie wymaga błony, gradientu H^+ ani tlenu.
- **Fosforylacja oksydacyjna (chemiosmoza).** NADH oddaje elektrony kompleksowi I, a $FADH_2$ (w dehydrogenazie bursztynianowej – kompleksie II) – ubichinonowi (Q). Elektrony przechodzą przez kompleks III i cytochrom c do kompleksu IV, który przekazuje je na **tlen – ostateczny akceptor** (powstaje woda). Energia przepływu elektronów jest wykorzystywana przez kompleksy I, III i IV do **pompowania H^+ z macierzy do przestrzeni międzybłonowej**. Powstaje gradient protonów; H^+ wracają do macierzy głównie przez kanał **syntazy ATP**, której część katalityczna po stronie macierzy łączy ADP z P_i.



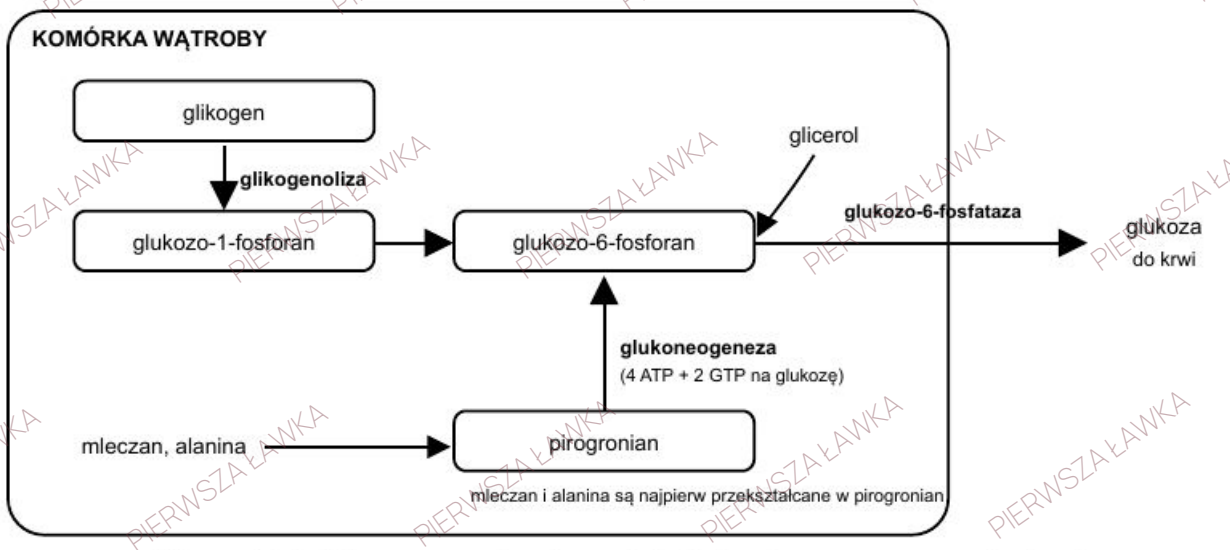
Łańcuch oddechowy i syntaza ATP w błonie wewnętrznej mitochondrium (schemat uproszczony, rysunek własny). Q – ubichinon, cyt c – cytochrom c.

- **Kluczowe:** Elektrony z $FADH_2$ omijają kompleks I, więc ich przepływ powoduje przepompowanie mniejszej liczby H^+: utlenienie NADH daje ok. 2,5 ATP, a $FADH_2$ – ok. 1,5 ATP (wartości przybliżone).
- **Pułapka:** W mitochondrium H^+ są pompowane **do przestrzeni międzybłonowej**, a ATP powstaje **w macierzy**. Tlen nie „daje energii" – przyjmuje elektrony na końcu łańcucha, dzięki czemu przepływ elektronów i pompowanie H^+ mogą trwać.
- **Fermentacja** zachodzi w cytozolu przy braku tlenu (albo u organizmów, które nie mają łańcucha oddechowego). Pirogronian nie trafia do mitochondrium, lecz zostaje zredukowany przez NADH z glikolizy. Celem tej redukcji jest **odtworzenie NAD^+**, bez którego glikoliza by się zatrzymała. Jedynym ATP jest ATP z glikolizy.

Cecha	Fermentacja alkoholowa	Fermentacja mleczanowa	Oddychanie tlenowe
los pirogronianu	dekarboksylacja do aldehydu octowego, redukcja do etanolu	redukcja do mleczanu	reakcja pomostowa → acetylo-CoA → cykl Krebsa

czy uwalnia się CO_2	tak (1 na pirogronian)	nie	tak (3 na pirogronian)
co dzieje się z NADH z glikolizy	utlenia go redukcja aldehydu octowego	utlenia go redukcja pirogronianu	elektrony trafiają do łańcucha oddechowego
ATP z 1 glukozy	2 (tylko z glikolizy)	2 (tylko z glikolizy)	ok. 30–32
przykłady	drożdże, komórki roślin przy braku tlenu	bakterie fermentacji mlekowej, mięśnie szkieletowe przy niedoborze tlenu	większość komórek eukariotycznych

- **Kluczowe:** Oddychanie tlenowe daje ok. 15 razy więcej ATP z glukozy niż fermentacja, bo glukoza jest utleniana całkowicie do CO_2, a elektrony z NADH i $FADH_2$ napędzają chemiosmozę. Produkty fermentacji (etanol, mleczan) zawierają jeszcze dużo energii chemicznej.
- **Glikogenoliza** to rozkład glikogenu do glukozo-1-fosforanu, przekształcanego w glukozo-6-fosforan. W wątrobie glukozo-6-fosfataza odłącza fosforan i glukoza trafia do krwi; w mięśniach (brak tego enzymu) glukozo-6-fosforan wchodzi do glikolizy tej samej komórki. **Glukoneogeneza** (głównie wątroba, w mniejszym stopniu nerki) to synteza glukozy ze związków niecukrowych: mleczanu, alaniny i innych aminokwasów glukogennych, glicerolu. Nie jest prostym odwróceniem glikolizy – nieodwracalne etapy glikolizy są ominięte innymi enzymami – i zużywa energię (4 ATP + 2 GTP na cząsteczkę glukozy).



Glikogenoliza i glukoneogeneza w komórce wątroby (schemat uproszczony, rysunek własny).

- Między posiłkami stężenie glukozy we krwi utrzymuje najpierw glikogenoliza w wątrobie; gdy po ok. dobie głodu zapas glikogenu wątroby się wyczerpuje, glukozę dostarcza głównie glukoneogeneza. Dzięki temu komórki zależne od glukozy (np. erytrocyty, neurony) mogą stale wytwarzać ATP.
- **Doświadczenie: Wydzielanie ciepła przez kiełkujące nasiona.** *Problem:* czy podczas oddychania kiełkujących nasion część energii jest uwalniana jako ciepło? *Hipoteza:* temperatura w termosie z żywymi nasionami wzrośnie bardziej niż w termosie z nasionami sparzonymi. Do dwóch jednakowych termosów wkłada się tyle samo kiełkujących nasion fasoli oraz takich samych nasion sparzonych wrzątkiem i ostudzonych (próba kontrolna), zatyka watą z umieszczonym termometrem i co kilka godzin odczytuje temperaturę. Zmienna niezależna: stan nasion (żywe / sparzone); zmienna zależna: temperatura; stałe: liczba nasion, rodzaj termosu, temperatura otoczenia, czas. *Wynik:* temperatura rośnie tylko w termosie z żywymi nasionami. *Wniosek:* część energii uwalnianej w oddychaniu nie zostaje związana w ATP, lecz rozprasza się jako ciepło. Wrzątkiem posługujemy się ostrożnie, pod nadzorem nauczyciela.

Oddychanie komórkowe – ćwiczenia

Ćwiczę umiejętności z działu

ZR KARTA 2/9

Imię i nazwisko: Klasa: Data: Wynik: ..... / 22 pkt

Ćwiczenia · 22 pkt

Zadanie 1. (0–6 pkt) ..... / 6

Przyporządkuj substancje do etapu, w którym są produktem. Wpisz je w odpowiednie kolumny.

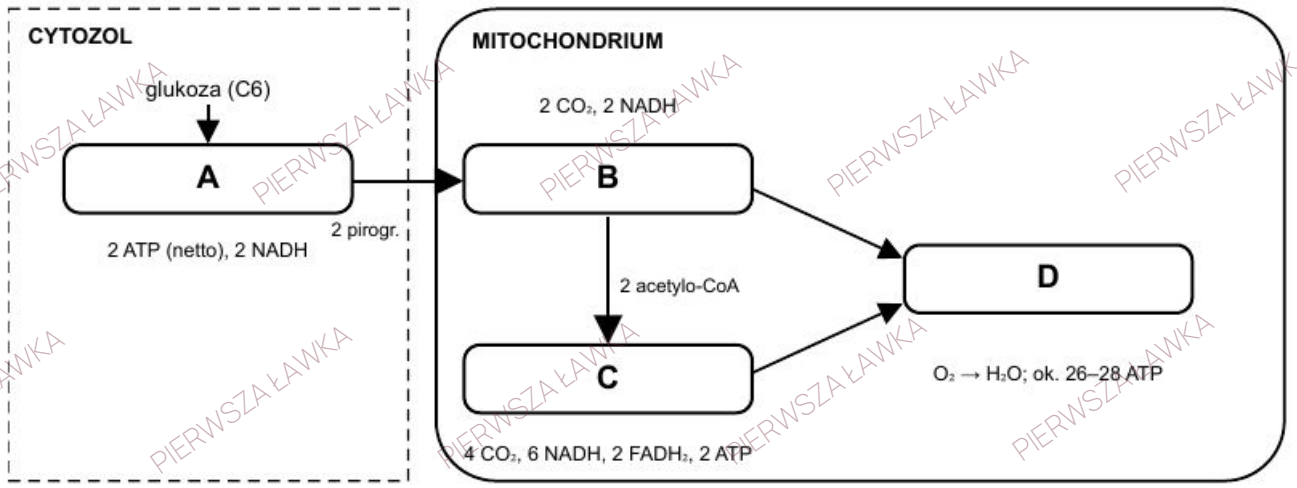
pirogronian acetylo-CoA $FADH_2$ szczawiooctan ATP netto z glukozy (2) CO_2 (1 na pirogronian)

produkt glikolizy	produkt reakcji pomostowej	produkt cyklu Krebsa

Zadanie 2. (0–2 pkt) ..... / 2

Na schemacie literami A–D oznaczono etapy oddychania tlenowego. Podaj nazwy etapów A–D oraz litery etapów, w których powstaje CO_2.

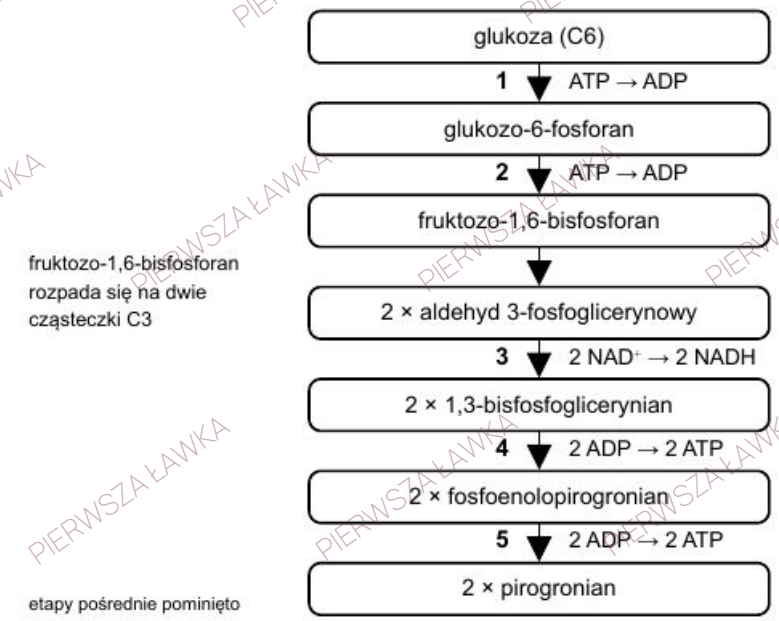
Miejsce na odpowiedź



Zadanie 3. (0–2 pkt) ..... / 2

Na schemacie przedstawiono glikolizę z wybranymi związkami pośrednimi; numerami 1–5 oznaczono etapy. Podaj numery etapów, w których ATP jest zużywany, i etapów, w których ATP powstaje w fosforylacji substratowej, oraz oblicz zysk netto ATP z 1 cząsteczki glukozy.

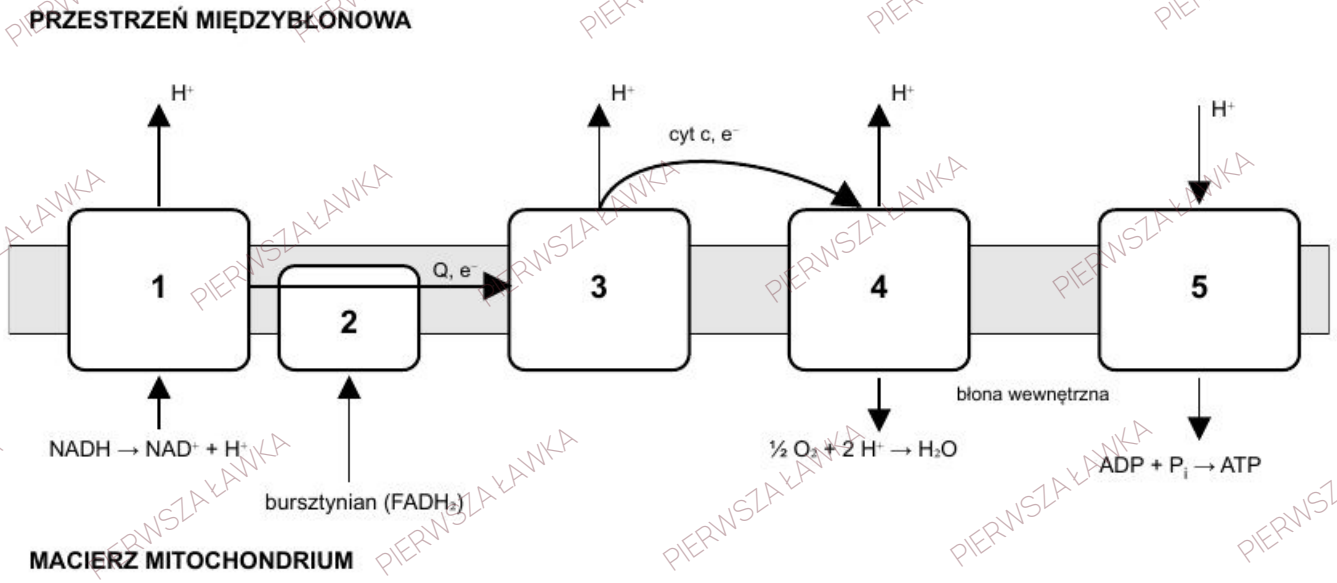
Miejsce na odpowiedź



Zadanie 4. (0–2 pkt) ..... / 2

Na schemacie numerami 1–5 oznaczono kompleksy białkowe błony wewnętrznej mitochondrium. Podaj numery kompleksów, które pompują H^+ do przestrzeni międzybłonowej, oraz numer kompleksu, który przyjmuje elektrony z bursztynianu.

Miejsce na odpowiedź



Zadanie 5. (0–4 pkt) ..... / 4

Oceń prawdziwość zdań o drogach przemiany pirogronianu.

1. W fermentacji mleczanowej pirogronian jest redukowany bez uwolnienia CO_2.	P	F
2. W fermentacji alkoholowej pirogronian jest najpierw dekarboksylowany.	P	F
3. W obu fermentacjach NADH z glikolizy jest utleniany do NAD^+.	P	F
4. W oddychaniu tlenowym pirogronian jest przekształcany w acetylo-CoA w cytozolu.	P	F

Zadanie 6. (0–2 pkt) ..... / 2

Przyjmij, że utlenienie 1 NADH w łańcuchu oddechowym daje 2,5 ATP, a 1 $FADH_2$ – 1,5 ATP. Oblicz, ile ATP powstaje w fosforylacji oksydacyjnej z NADH i $FADH_2$ wytworzonych w **jednym obrocie** cyklu Krebsa, i ile ATP powstaje w tym obrocie w fosforylacji substratowej.

Miejsce na rozwiązanie

Zadanie 7. (0–2 pkt) ..... / 2

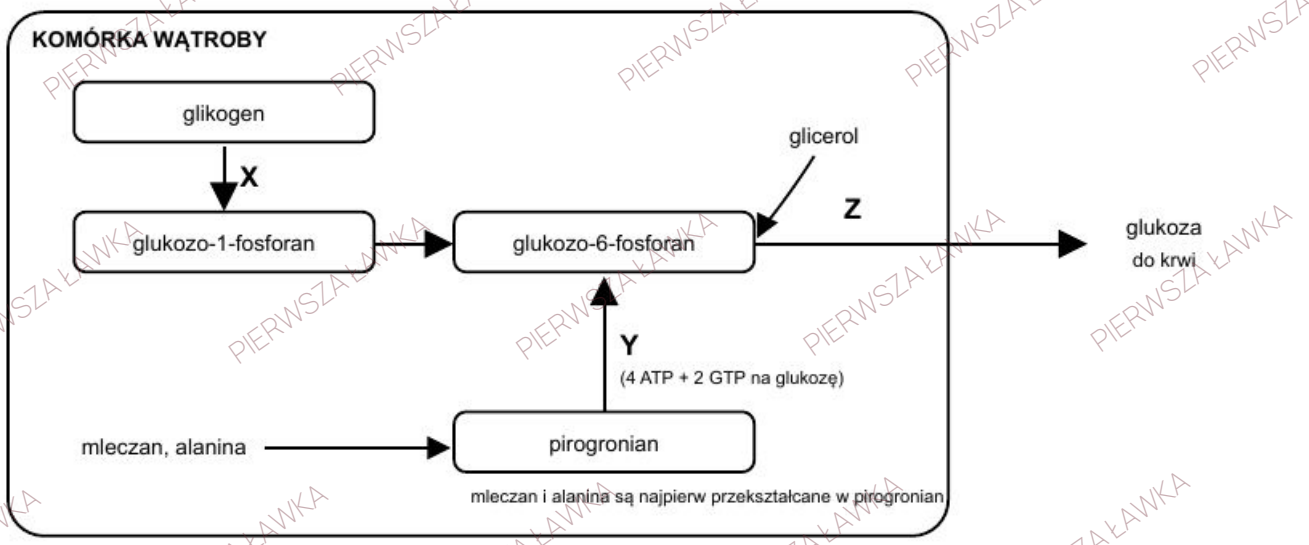
Neurony w hodowli przy dobrym zaopatrzeniu w tlen zużywały 0,3 µmol glukozy na minutę. Przyjmij, że z 1 cząsteczki glukozy komórka uzyskuje 30 ATP w oddychaniu tlenowym i 2 ATP w glikolizie zakończonej fermentacją. Oblicz, ile glukozy na minutę musiałyby zużywać te komórki bez tlenu, aby wytwarzać tyle samo ATP, i wyjaśnij przyczynę różnicy.

Miejsce na odpowiedź

Zadanie 8. (0–2 pkt) ..... / 2

Na schemacie literami X–Z oznaczono procesy i enzym w komórce wątroby. Podaj nazwy procesów X i Y oraz enzymu Z i wyjaśnij, dlaczego bez enzymu Z glikogen nie mógłby być źródłem glukozy dla innych komórek ciała.

Miejsce na odpowiedź



Zadanie 3. (0–4 pkt)

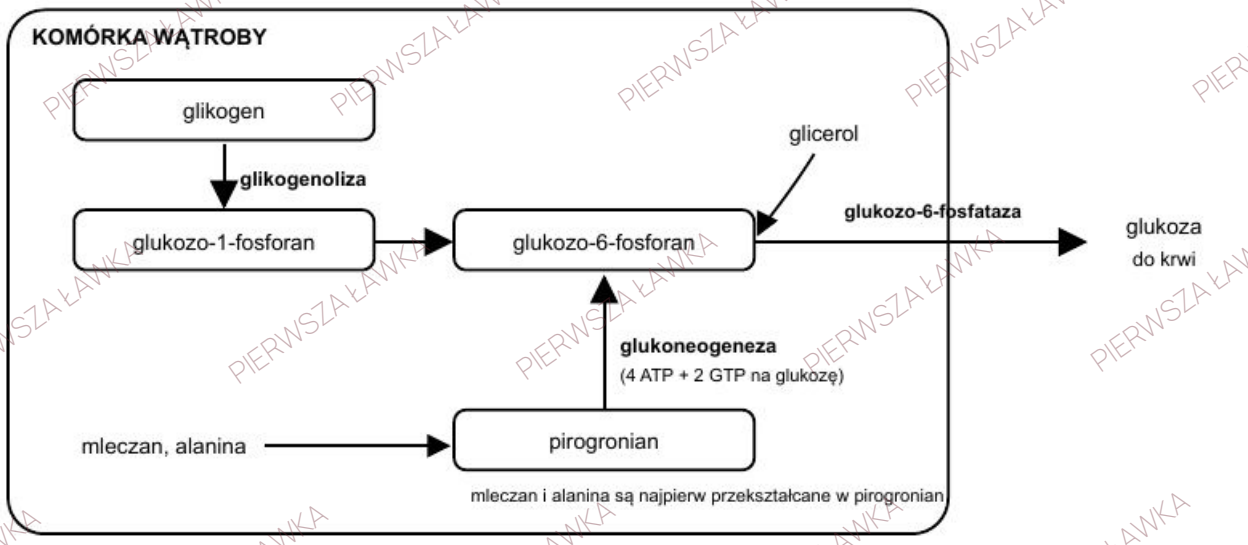
Wykonaj polecenia na podstawie tekstu, tabeli i schematu.

Hepatocyty szczurów najedzonych i głodzonych

Komórki wątroby (hepatocyty) pobrano od szczurów najedzonych i od szczurów głodzonych przez 24 h. Oznaczono w nich glikogen, a następnie inkubowano je przez godzinę w buforze bez dodatku albo z mleczanem, alaniną lub glicerolem i mierzono ilość glukozy uwolnionej do roztworu [µmol/(g · h)].

Hepatocyty od szczurów	Glikogen w komórkach [µmol glukozy/g]	Uwolniona glukoza [µmol/(g · h)] – bez dodatku	… z mleczanem	… z alaniną	… z glicerolem
najedzonych	280	48	56	52	50
głodzonych 24 h	15	4	38	30	26

Opracowanie własne, wyniki przykładowe.



Zadanie 3.1. (0–1 pkt) ..... / 1

Glukoza uwalniana przez hepatocyty szczurów najedzonych w buforze bez dodatku pochodzi głównie z

A. glikogenolizy.
B. glikolizy.
C. fermentacji mleczanowej.
D. glukoneogenezy z mleczanu.

Zadanie 3.2. (0–2 pkt) ..... / 2

Wyjaśnij, dlaczego hepatocyty szczurów głodzonych uwalniały dużo glukozy tylko wtedy, gdy do roztworu dodano mleczan, alaninę lub glicerol.

Miejsce na odpowiedź

Sprawdzian: Oddychanie komórkowe – grupa A

45 minut · 20 pkt

ZR KARTA 8/9

Imię i nazwisko: ..... Klasa: ..... Data: ..... Wynik: ..... / 20 pkt

Sprawdzian · 45 minut · 20 pkt

Zadanie 1. (0–1 pkt) ..... / 1

Ostatecznym akceptorem elektronów w łańcuchu oddechowym jest

A. NAD^+.
B. ubichinon.
C. cytochrom c.
D. tlen.

Zadanie 2. (0–1 pkt) ..... / 1

Oceń prawdziwość stwierdzeń dotyczących budowy mitochondrium.

1. Syntaza ATP znajduje się w błonie zewnętrznej mitochondrium.	P	F
2. W macierzy znajduje się DNA mitochondrium i rybosomy.	P	F
3. Grzebienie to fałdy błony wewnętrznej.	P	F

Zadanie 3. (0–2 pkt) ..... / 2

Przyporządkuj procesy do miejsca, w którym zachodzą w komórce eukariotycznej.

glikoliza cykl Krebsa fermentacja mleczanowa reakcja pomostowa

cytozol	macierz mitochondrium

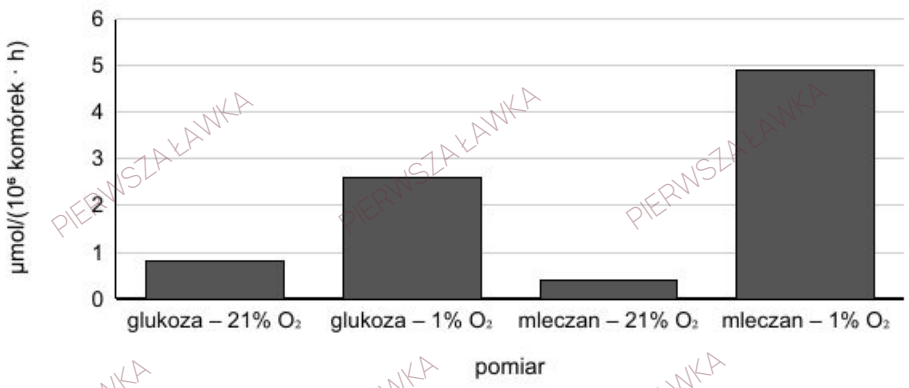
Zadanie 4. (0–4 pkt)

Wykonaj polecenia na podstawie tekstu i wykresu.

Komórki nabłonka przy niedoborze tlenu

Komórki nabłonka hodowano w dwóch inkubatorach: przy 21% tlenu w powietrzu i przy 1% tlenu. Po 6 godzinach zmierzono szybkość zużywania glukozy z pożywki i szybkość wydzielania mleczanu do pożywki.

Opracowanie własne, wyniki przykładowe.



Zadanie 5.1. (0–1 pkt) ..... / 1

Który kompleks przyjmuje elektrony z bursztynianu?

A. 5 B. 2 C. 1 D. 3

Zadanie 5.2. (0–2 pkt) ..... / 2

Wyjaśnij, dlaczego zablokowanie kompleksu 4 zatrzymuje syntezę ATP przez kompleks 5. Odwołaj się do numerów kompleksów na schemacie.

Miejsce na odpowiedź

Zadanie 6. (0–2 pkt) ..... / 2

Przedstaw, na czym polega fosforylacja substratowa, i wyjaśnij, dlaczego w cyklu Krebsa powstają w niej 2 cząsteczki ATP (lub GTP) z 1 cząsteczki glukozy.

Miejsce na odpowiedź

Zadanie 7. (0–2 pkt) ..... / 2

Oblicz, ile cząsteczek CO_2, NADH i $FADH_2$ powstaje w cyklu Krebsa podczas rozkładu 2 cząsteczek glukozy.

Miejsce na rozwiązanie

Zadanie 8. (0–2 pkt) ..... / 2

Porównaj fermentację mleczanową i oddychanie tlenowe pod względem końcowych produktów przemiany pirogronianu i miejsca tej przemiany w komórce eukariotycznej.

Miejsce na odpowiedź

PIERWSZA ŁAWKA

CO JESZCZE JEST W ŚRODKU

Oddychanie komórkowe, fermentacja i glukoneogeneza – kartkówki, sprawdzian, karty pracy, biologia kl. 1 LO (zakres rozszerzony)

Podgląd pokazał 12 z 37 stron. Pełna wersja: 37 stron A4, PDF do druku i DOCX do edycji.

- Karta 1: Oddychanie komórkowe – najważniejsze wiadomości – 3 zadania, 10 pkt
- Karta 2: Oddychanie komórkowe – ćwiczenia – 8 zadań, 22 pkt
- Karta 3: Oddychanie komórkowe – zadania typu maturalnego – 5 zadań, 14 pkt
- Karta 4: Kartkówka 1: mitochondrium, etapy oddychania i fosforylacja substratowa – grupa A – 4 zadania, 6 pkt
- Karta 5: Kartkówka 1: mitochondrium, etapy oddychania i fosforylacja substratowa – grupa B – 4 zadania, 6 pkt
- Karta 6: Kartkówka 2: chemiosmoza, fermentacje i glukoneogeneza – grupa A – 4 zadania, 6 pkt
- Karta 7: Kartkówka 2: chemiosmoza, fermentacje i glukoneogeneza – grupa B – 4 zadania, 6 pkt
- Karta 8: Sprawdzian: Oddychanie komórkowe – grupa A – 10 zadań, 20 pkt
- Karta 9: Sprawdzian: Oddychanie komórkowe – grupa B – 10 zadań, 20 pkt Karta 1 to teoria z przykładami i wzorcowymi odpowiedziami, karta 2 – ćwiczenia, karta 3 – zadania typu matur

Kup pełną wersję – plik od razu na e-mail

pierwszalawka.pl/material/biologia-liceum-klasa-1-zr-dzial-06-oddychanie-komorkowe-fermentacja-i-gl