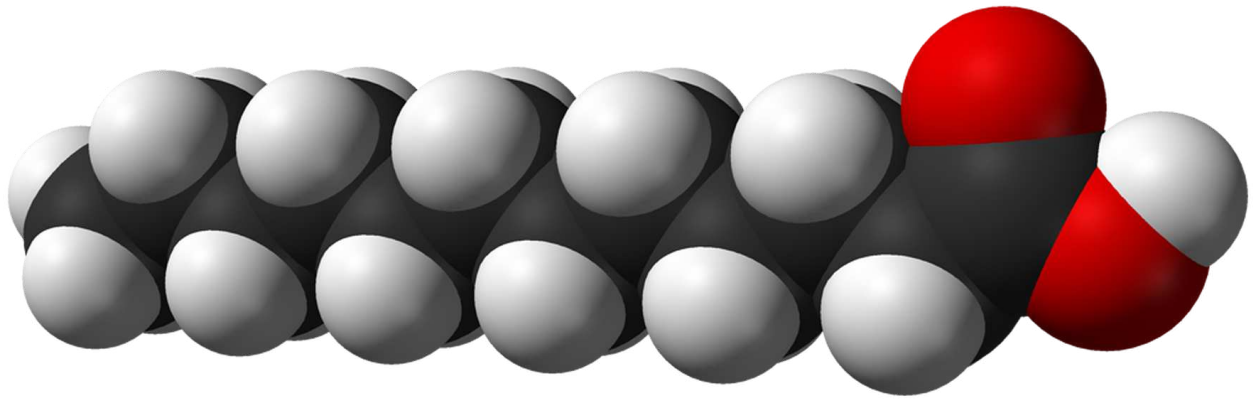




Katabolizm kwasów tłuszczowych

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



Kwas laurynowy jest nasyconym kwasem tłuszczowym, który wspomaga układ immunologiczny człowieka. Występuje m.in. w oleju kokosowym.

Źródło: Ben Mills, Wikimedia Commons, domena publiczna.

Utleniane w mitochondriach kwasy tłuszczowe to bogate źródło energii, która może zostać zmagazynowana w wiąźaniach wysokoenergetycznych ATP. Przemiany kataboliczne kwasów tłuszczowych dostarczają substratów do cyklu Krebsa będącego zwornikiem przemian metabolicznych w komórkach.

Twoje cele

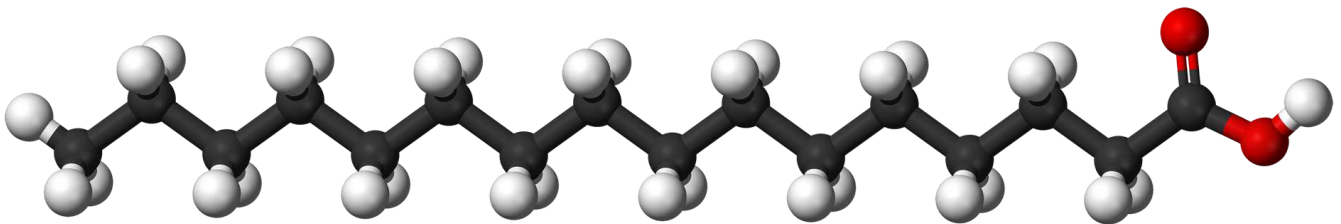
- Scharakteryzujesz znaczenie utleniania kwasów tłuszczowych w komórkach.
- Opisziesz przebieg β -oksydacji kwasów tłuszczowych.
- Ocenisz zysk energetyczny z katabolizmu kwasów tłuszczowych.

Przeczytaj

Kwasy tłuszczowe jako źródło energii

Kwasy tłuszczowe to organiczne związki chemiczne zbudowane z łańcucha węglowodorowego zakończonego grupą karboksylową ($-\text{COOH}$). Łańcuch węglowodorowy kwasów tłuszczowych składa się najczęściej z parzystej liczby atomów węgla.

Kwasy tłuszczowe dzieli się na nasycone, które nie mają podwójnych wiązań między atomami węgla, oraz nienasycone – z podwójnymi wiązaniami. Do kwasów tłuszczowych nasyconych należą np. kwas masłowy i kwas palmitynowy. Nienasycone kwasy tłuszczowe to np. kwas oleinowy i linolenowy.



Model 3D kwasu palmitynowego, który między atomami węgla ma wiązania pojedyncze. Jest m.in. składnikiem oleju palmowego.

Źródło: Jynto, Wikimedia Commons, domena publiczna.

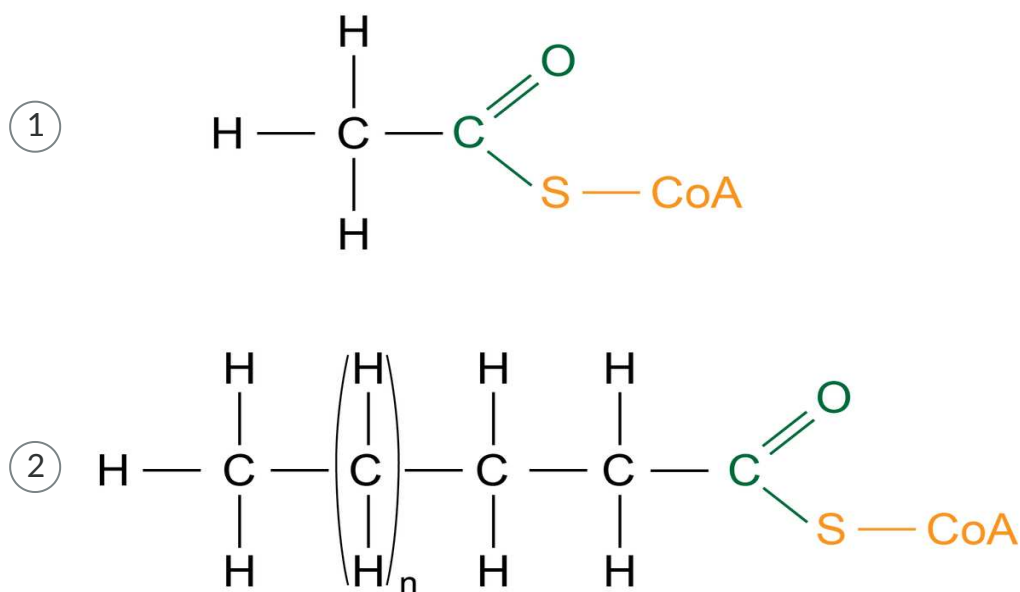
Jednym ze źródeł energii w organizmach **heterotroficznych** są acyloglicerole, czyli związki będące estrami glicerolu i kwasów tłuszczowych. Zwykle są to triacyloglicerole (tłuszcze właściwe) zbudowane z trzech reszt kwasu tłuszczowego. Tłuszcze właściwie stanowią nawet 90% tkanki tłuszczowej.

Triacyloglicerole są związkami o dużym stopniu zredukowania, dzięki czemu stanowią bogatsze źródło energii od cukrów. Stosunek atomów wodoru do tlenu jest w nich o wiele wyższy, niż w cukrach. Utlenienie jednego grama tłuszczu daje dwa razy więcej energii, niż utlenienie jednego grama cukru (odpowiednio: 37 kJ/g i 17 kJ/g).

Katabolizm kwasów tłuszczowych

Źródłami kwasów tłuszczowych w organizmie są: rozkład acylogliceroli i estrów cholesterolu oraz synteza tych kwasów w komórce. Te reakcje biochemiczne zachodzą w cytoplazmie. Natomiast powstałe w ten sposób kwasy tłuszczowe ulegają rozkładowi w macierzy mitochondrialnej.

Aby kwasy tłuszczowe mogły być poddane reakcjom **katabolicznym**, muszą zostać odpowiednio aktywowane. Aktywacja ta polega na przyłączeniu do kwasu tłuszczowego cząsteczki **koenzymu A** (CoA-SH), co wymaga nakładu energii w postaci **ATP**. Koenzym A jest przenośnikiem grup acylowych (taka grupa powstaje po oderwaniu grupy -OH od kwasu tłuszczowego). W reakcji tej tworzy się związek acylokoenzym A, **acylo-CoA**, który ulega dalszym przemianom.



1

acetylo-CoA

zawiera resztę dwuwęglową

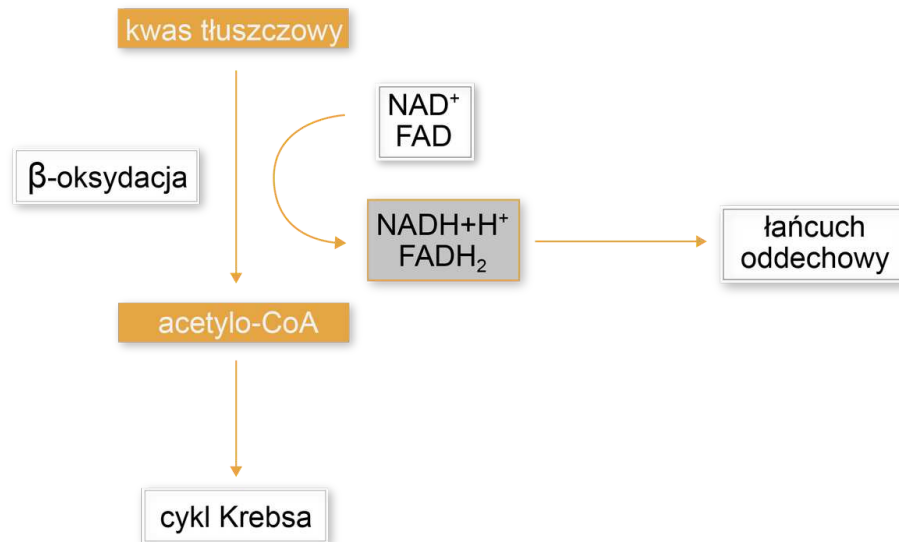
2

acylo-CoA

grupa acylowa może mieć różną liczbę atomów węgla

Cząsteczka acetylo-CoA wprowadza do cyklu Krebsa grupy acetylowe, a te utleniane są do CO₂. Acylokoenzym A to połączenie koenzymu A z resztą acylową, które umożliwia jej transport w organizmie.

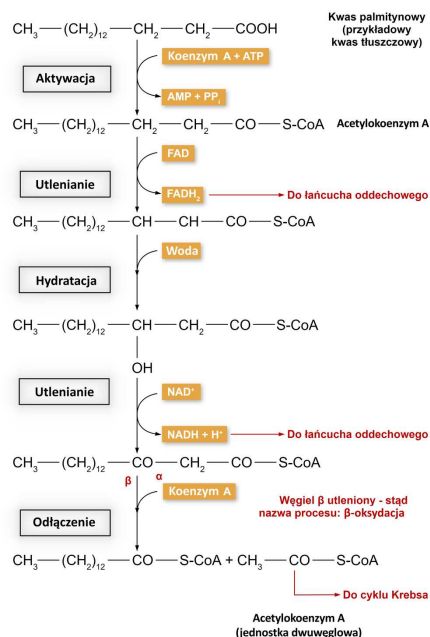
Oznacza to, że aby kwas tłuszczowy mógł podlegać reakcjom katabolicznym, których kolejnym etapem jest **β -oksydacja** (beta-oksydacja), najpierw musi zostać przekształcony do acylo-CoA.



Główne etapy katabolizmu tłuszczów.

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

β -oksydacja kwasów tłuszczowych



Schemat β -oksydacji.

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

β -oksydacja jest ważnym etapem przemian katabolicznych kwasów tłuszczowych. Jak wskazuje nazwa procesu, polega on na utlenieniu węgla β (beta) kwasu tłuszczowego do grupy karbonylowej. Pierwszą reakcją β -oksydacji, jakiej ulega po aktywacji acylo-CoA, jest **utlenienie** przy udziale enzymu **dehydrogenazy** acylo-CoA. W jej wyniku wodór odłącza się od acylo-CoA, tworząc **FADH₂** (zredukowaną formę dinukleotydu flawinoadeninowego).

Produkt powstały z dehydrogenacji acylo-CoA ulega następnie **hydratacji**, co oznacza, że zostaje do niego przyłączona cząsteczka wody. Tworzy się związek o nazwie hydroksyacylo-CoA, który w kolejnym etapie ulega **utlenieniu** z udziałem enzymu dehydrogenazy. W wyniku tej reakcji powstają β -ketoacylo-CoA oraz cząsteczka **NADH+H⁺** (zredukowana forma dinukleotydu nikotynoamidoadeninowego).

Produkt tej reakcji podlega kolejnej przemianie. Dochodzi do **odłączenia** od niego **acetylo-CoA** i powstania acylo-CoA krótszego o dwa atomy węgla. Reakcję tę katalizuje enzym **tiolaza**.

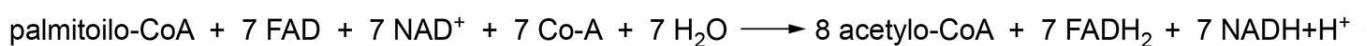
Te cztery reakcje składają się na β -oksydację i powtarzają się aż do momentu całkowitego rozpadu kwasu tłuszczowego na pewną ilość acetylo-CoA, zależnie od liczby atomów węgla danego kwasu. W przypadku kwasów tłuszczowych o nieparzystej liczbie atomów węgla acylo-CoA, złożony z pięciu atomów węgla, w ostatnim cyklu zostaje rozszczepiony do dwuwęglowego acetylo-CoA oraz trójwęglowego propinylo-CoA. Jest on następnie przekształcany do bursztynylo-CoA i włączany do cyklu Krebsa.

Cząsteczki acetylo-CoA powstałe w tych reakcjach mogą służyć jako substrat cyklu Krebsa (w którym ulegają utlenianiu do dwutlenku węgla) lub do syntezy cholesterolu. Kwasy

tłuszczowe są więc źródłem substratów do kluczowego procesu energetycznego w komórkach, podczas którego dochodzi do powstania wysokoenergetycznych wiązań, czyli do cyklu Krebsa. U roślin natomiast acetylo-CoA jest włączany do [cyklu glioksalowy](#), w którym zostaje przekształcony w bursztynian.

Bilans energetyczny β -oksydacji

Ilość energii, jaką można uzyskać z utleniania kwasów tłuszczowych, zależy przede wszystkim od długości łańcucha węglowego danego kwasu. Zysk energetyczny można prześledzić na przykładzie utleniania 16-węglowego nasyconego kwasu tłuszczowego, jakim jest kwas palmitynowy.



Reakcja utleniania kwasu palmitynowego.

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

Każdy kwas tłuszczowy musi ulec aktywacji, czyli przyłączeniu koenzymu A, co powoduje utratę dwóch cząsteczek ATP. β -oksydacja aktywowanego już kwasu tłuszczowego wiąże się z uzyskaniem czterech cząsteczek ATP w wyniku [fosforylacji oksydacyjnej](#) na [łańcuchu oddechowym](#) (powstaje 1,5 cząsteczki ATP dzięki reakcji z wytworzeniem FADH_2 i 2,5 cząsteczki ATP na skutek reakcji, w której tworzy się $\text{NADH} + \text{H}^+$). W przypadku kwasu palmitynowego takie reakcje będą mogły zajść siedem razy, co da w sumie 28 cząsteczek ATP.

Reszty acetylowe, które powstaną w wyniku reakcji β -oksydacji, wejdą do cyklu Krebsa, co wygeneruje 10 cząsteczek ATP z jednej cząsteczki acetylo-CoA. W przypadku kwasu palmitynowego dojdzie do powstania ośmiu cząsteczek acetylo-CoA, co da w sumie 80 cząsteczek ATP (8×10). Zatem zysk energetyczny z utleniania kwasu palmitynowego pozwoli uzyskać 106 cząsteczek ATP ($28 + 80 - 2$).

Słownik

acetylo-CoA

połączenie koenzymu A (organicznego związku chemicznego pełniącego funkcję przenośnika grup acylowych) z grupą acetylową (grupą funkcyjną pochodzącą z kwasu octowego)

acylo-CoA

połączenie koenzymu A (organicznego związku chemicznego pełniącego funkcję przenośnika grup acylowych) z grupą acylową (grupą funkcyjną utworzoną przez oderwanie przynajmniej jednej grupy hydroksylowej od cząsteczki kwasu karboksylowego o wzorze ogólnym $-C(=O)R$)

ATP

adenozyno-5'-trifosforan, organiczny związek chemiczny będący nośnikiem energii użytecznej biologicznie. Między trzema resztami fosforanowymi(V) znajdują się dwa wysokoenergetyczne wiązania bezwodnikowe. Energia uwolniona w wyniku zerwania jednego lub obu wiązań jest wykorzystywana do przeprowadzania funkcji życiowych

β -oksydacja

wieloetapowy rozkład enzymatyczny kwasów tłuszczowych do acetylo-CoA

cykl glioksalowy

ciąg reakcji, w wyniku których dwuwęglowe reszty kwasu octowego (acetylo-CoA) zostają przekształcone w czterowęglowy bursztynian; zachodzi w glioksydomach nasion roślin oleistych oraz u bakterii, protistów i grzybów

dehydrogenazy

grupa enzymów zdolna do odszczepienia atomów wodoru od związków organicznych

FADH₂

zredukowana forma dinukleotydu flawinoadeninowego; pełni funkcję przenośnika elektronów i protonów oraz koenzymu oksydoreduktaz

fosforylacja oksydacyjna

proces syntezy ATP w warunkach tlenowych z wykorzystaniem łańcucha oddechowego

heterotrofizm

gr. *héteros* – różny, *trophikós* – odżywczy, sposób odżywiania się polegający na przyjmowaniu związków organicznych wytworzonych przez inne organizmy. Organizmy heterotroficzne to inaczej organizmy cudzożywne

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

koenzym A

związek organiczny zbudowany z 3'-fosforanu ADP i panteteiny; występuje we wszystkich organizmach, pełniąc funkcję przenośnika grup acylowych, które wiążą się do niego grupą tiolową ($-SH$)

kwasy tłuszczowe

kwasy monokarboksylowe o alifatycznym łańcuchu węglowodorowym nasyconym lub nienasyconym. Kwasy tłuszczowe występujące naturalnie w tłuszczach mają parzystą liczbę atomów węgla w cząsteczce

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

metabolizm

przemiana materii, całokształt zachodzących w komórkach żywego organizmu reakcji chemicznych i związanych z nimi przemian energetycznych stanowiący podłoże wszelkich zjawisk biologicznych

numeracja atomów węgla

numerację atomów węgla zaczyna się od grupy karboksylowej; kolejne atomy węgla numeruje się cyframi arabskimi (nr 1 węgiel grupy karboksylowej) bądź literami greckimi α , β , γ itd. (zaczynając od atomu węgla sąsiadującego z grupą karboksylową); końcowy węgiel w łańcuchu węglowodorowym (węgiel grupy -CH₃) oznacza się literą ω

NADH + H⁺

zredukowana forma dinukleotydu nikotynoamidoadeninowego; jest utleniana na kompleksie I pierwszego łańcucha oddechowego



Katabolizm kwasów tłuszczowych



Film dostępny pod adresem </preview/resource/RHUFcPX0COW5M>

Katabolizm kwasów tłuszczowych.

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

Film nawiązujący do treści materiału pod tytułem "Katabolizm kwasów tłuszczowych".

Polecenie 1

Na podstawie filmu i wiedzy własnej uzasadnij słuszność twierdzenia: tłuszcze są znacznie lepszym materiałem energetycznym niż węglowodany.

Polecenie 2

Wyjaśnij związek beta-oksydacji kwasów tłuszczowych z funkcją mitochondriów w komórce eukariotycznej.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Wskaż zdanie zawierające prawdziwe informacje o kwasach tłuszczowych.

- ☐ Kwasy tłuszczowe są uboższym źródłem energii niż cukry.
- ☐ Triacyloglicerole zbudowane są z dwóch reszt kwasu tłuszczowego.
- ☐ Kwasy tłuszczowe zbudowane są z łańcucha węglowodorowego zakończonego grupą hydroksylową.
- ☐ Nienasycone kwasy tłuszczowe zawierają wiązania podwójne pomiędzy atomami węgla.

Ćwiczenie 2



Wskaż, które lipidy stanowią nawet 90% tkanki tłuszczowej.

- ☐ cholesterol
- ☐ sfingolipidy
- ☐ fosfolipidy
- ☐ triacyloglicerole

Ćwiczenie 3



Uzupełnij tekst odpowiednimi sformułowaniami.

Rozkład acylogliceroli i estrów cholesterolu zachodzi w komórki, natomiast rozkład kwasów tłuszczowych ma miejsce w . Utlenienie kwasów tłuszczowych jest możliwe po kwasów tłuszczowych. Proces ten polega na przyłączeniu do kwasu tłuszczowego cząsteczki . Dzięki temu kwasy tłuszczowe mogą podlegać reakcjom .

rybosomach

utleniania

beta-oksydacji

macierzy mitochondrialnej

koenzymu A

aktywacji

eliminacji

cytoplazmie

Ćwiczenie 4



Przyporządkuj pojęciom ich definicje.

dehydrogenaza

enzym katalizujący reakcje utleniania

FADH_2

zredukowana forma dinukleotydu nikotynoamidoadeninowego

hydratacja

przenośnik grup acylowych

$\text{NADH} + \text{H}^+$

zredukowana forma dinukleotydu flawinoadeninowego

tiolaza

enzym katalizujący odłączanie od substratu acetylo-CoA

koenzym A

reakcja, w wyniku której dochodzi do przyłączenia cząsteczki wody

Ćwiczenie 5



Wskaż, które z poniższych stwierdzeń są prawdziwe, a które fałszywe.

Stwierdzenie	Prawda	Fałsz
Kwasy tłuszczowe są źródłem substratów dla cyklu Krebsa.	☐	☐
Łańcuch węglowodorowy kwasu tłuszczowego jest typowo zbudowany z nieparzystej liczby atomów węgla.	☐	☐
Fragment hydrofilowy kwasu tłuszczowego stanowi grupa karboksylowa.	☐	☐
Kwasy tłuszczowe o nieparzystej liczbie atomów węgla nie mogą być w pełni wykorzystane w cyklu Krebsa.	☐	☐

Ćwiczenie 6



Zaznacz, które z wymienionych kwasów tłuszczowych należą do nienasyconych kwasów tłuszczowych.

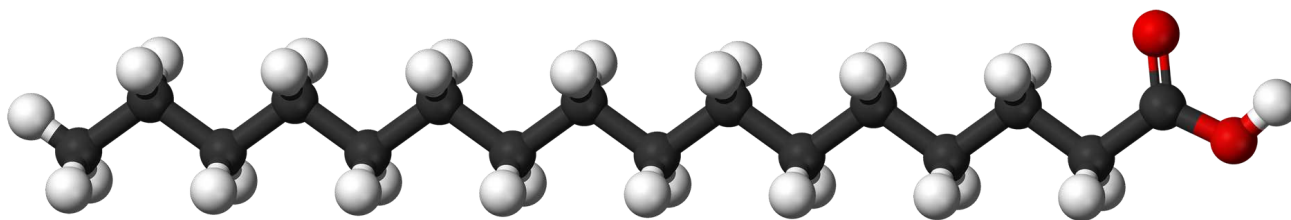
☐ kwas palmitynowy

☐ kwas masłowy

☐ kwas oleinowy

☐ kwas linolenowy

Ćwiczenie 7



Źródło: Jynto, Ben Mills, Wikimedia Commons, domena publiczna.

Na podstawie budowy kwasu tłuszczowego wyjaśnij, dlaczego kwasy te są lepszym materiałem energetycznym niż cukry.

Ćwiczenie 8



Zysk energetyczny z utleniania kwasów tłuszczowych zależy przede wszystkim od liczby atomów węgla danego kwasu tłuszczowego. Aktywacja kwasu tłuszczowego pociąga za sobą utratę dwóch cząsteczek ATP. Podczas każdej beta-oksydacji zachodzą dwie reakcje utleniania (z udziałem FADH_2 oraz $\text{NADH}+\text{H}^+$). Dostarczają one czterech cząsteczek ATP. W przypadku 16-węglowego kwasu palmitynowego beta-oksydacja, w wyniku której odłączany jest fragment dwuwęglowy jako acetylo-CoA, zachodzi 7 razy. Oznacza to, że powstanie 28 cząsteczek ATP. Nie można zapomnieć, że z 16-węglowego kwasu palmitynowego powstanie również 8 cząsteczek acetylo-CoA. Są one źródłem 80 cząsteczek ATP – każdy acetylo-CoA pozwala uzyskać 10 cząsteczek ATP. Łączny rachunek: $80 + 28 - 2$, co daje zysk 106 cząsteczek ATP.

Na podstawie: Edward Bańkowski, *Biochemia, wydanie II*, Wydawnictwo MedPharm, Wrocław 2014.

Na podstawie powyższych informacji oblicz, jaki będzie zysk energetyczny z utleniania kwasu tłuszczowego o 18 atomach węgla.

Dla nauczyciela

Autor: Anna Juwan

Przedmiot: Biologia

Temat: Katabolizm kwasów tłuszczowych

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:

5) przedstawia na podstawie analizy schematu znaczenie utleniania kwasów tłuszczowych, glukoneogenezy, glikogenolizy w przemianach energetycznych komórki.

Zakres rozszerzony

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

III. Energia i metabolizm.

5. Pozyskiwanie energii użytecznej biologicznie. Uczeń:

7) analizuje na podstawie schematu przebieg utleniania kwasów tłuszczowych, syntezy kwasów tłuszczowych, glukoneogenezy, glikogenolizy i wykazuje związek tych procesów z pozyskiwaniem energii przez komórkę.

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):

- Scharakteryzujesz znaczenie utleniania kwasów tłuszczowych w komórkach.

- Opisziesz przebieg β -oksydacji kwasów tłuszczowych.
- Ocenisz zysk energetyczny z katabolizmu kwasów tłuszczowych.

Strategie nauczania:

- konstruktywizm;
- konektywizm.

Metody i techniki nauczania:

- z użyciem komputera;
- ćwiczenia interaktywne;
- praca z filmem samouczkiem;
- mapa myśli;
- gra dydaktyczna.

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;
- arkusze papieru, flamastry.

Przed lekcją:

1. Nauczyciel prosi uczniów o zapoznanie się z medium w sekcji „Film samouczek”.
2. Uczniowie przypominają sobie informacje na temat podstawowych zasad metabolizmu.

Przebieg lekcji

Faza wstępna:

1. Nauczyciel wyświetla na tablicy lub za pomocą rzutnika zawartość sekcji „Wprowadzenie”. Uczniowie wspólnie z nauczycielem omawiają cele lekcji i określają kryteria sukcesu.
2. **Rozmowa wprowadzająca.** Nauczyciel prosi chętnych/wybranych uczniów o krótkie scharakteryzowanie kwasów tłuszczowych i wyjaśnienie, czym jest katabolizm.

Faza realizacyjna:

1. **Praca z tekstem.** Uczniowie indywidualnie zapoznają się z treścią w sekcji „Przeczytaj” i zapisują na kartkach minimum pięć pytań do tekstu. Przedstawiają propozycje pytań nauczycielowi, który w razie potrzeby odrzuca niektóre z nich lub proponuje nowe (np. by się nie powtarzały). Uczniowie wybierają 25 pytań, które zostają umieszczone w urnie. Następnie dzielą się na 5 grup, losują 5 pytań z puli i przygotowują odpowiedzi. Zespół, który jest gotowy, zgłasza się i przedstawia rezultaty swojej pracy. Pozostali uczniowie wraz z nauczycielem weryfikują poprawność odpowiedzi.
2. **Mapa myśli.** Nauczyciel dzieli uczniów na trzy grupy. Każda z nich opracowuje mapę myśli na temat katabolizmu kwasów tłuszczowych. Grupy prezentują wyniki swojej pracy. Nauczyciel uzupełnia brakujące informacje, koryguje ewentualne błędy.
3. **Praca z multimedium („Film samouczek”).** Jeśli to konieczne, nauczyciel odtwarza ponownie multimedium, z którym uczniowie mieli się zapoznać w ramach przygotowania do zajęć. Następnie uczniowie odczytują polecenie nr 2 („Wyjaśnij związek beta-oksydacji kwasów tłuszczowych z funkcją mitochondriów w komórce eukariotycznej”) i opracowują je w parach. Po wykonanej pracy dzielą się swoimi odpowiedziami na forum klasy.
4. **Utrwalanie wiedzy i umiejętności.** Uczniowie, pracując w parach, wykonują ćwiczenie nr 7 (w którym mają za zadanie wyjaśnić – na podstawie budowy kwasu tłuszczowego – dlaczego kwasy te są lepszym materiałem energetycznym niż cukry) i ćwiczenie nr 8 (w którym mają za zadanie obliczyć – na podstawie podanych informacji – jaki będzie zysk energetyczny z utleniania kwasu tłuszczowego o 18 atomach węgla) w sekcji „Sprawdź się”. Następnie konsultują swoje rozwiązania z inną parą uczniów i ustalają jedną wersję odpowiedzi.

Faza podsumowująca:

1. Uczniowie rozwiązują ćwiczenie nr 5 (typu „prawda/fałsz”) z sekcji „Sprawdź się”. Następnie przygotowują podobne zadanie dla osoby z pary: tworzą trzy prawdziwe lub fałszywe zdania dotyczące tematu lekcji. Uczniowie wykonują ćwiczenie otrzymane od kolegi lub koleżanki.
2. Zalogowany na platformie nauczyciel wyświetla na tablicy temat lekcji i cele zawarte w sekcji „Wprowadzenie”. W tym kontekście podsumowuje omówione zagadnienia.

Praca domowa:

1. Wykonaj ćwiczenia od 1 do 4 oraz 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.

Dodatkowe wskazówki metodyczne:

- Uczniowie mogą wykorzystać multimedium z sekcji „Film samouczek” w celu przygotowania się do lekcji powtórkowej.