



Zmęczenie mięśni i dług tlenowy

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



Zmęczenie mięśni i dług tlenowy

Narastające zmęczenie, spowodowane brakiem odpoczynku między treningami, może prowadzić do długotrwałych zaburzeń pracy mięśni.

Źródło: Nicolas Hoizey, domena publiczna.

Komórki mięśniowe (miocyty), jako komórki pobudliwe, odpowiadają skurczom na działające na nie bodźce. W wyniku wzmożonej aktywności pracujące mięśnie mogą stać się przejściowo niezdolne do reagowania na sygnały docierające do miocytów. Ten chwilowy brak zdolności mięśni do skurczu, ustępujący po wypoczynku, określany jest mianem zmęczenia.

Więcej na temat procesów biochemicznych uwalniających energię niezbędną do prawidłowej pracy mięśni znajdziesz w e-materiale: [Przemiany biochemiczne zachodzące w mięśniach w czasie skurczu](#)

Twoje cele

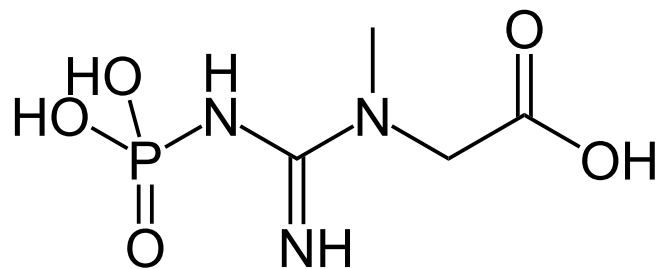
- Zdefiniujesz pojęcie zmęczenia mięśni.
- Określisz związki będące źródłem energii do pracy mięśni.
- Wyjaśnisz przyczyny zmęczenia mięśni, uwzględniając czas oraz intensywność wykonywanej pracy.

- Omówisz przyczyny występowania długu tlenowego w mięśniach.

Przeczytaj

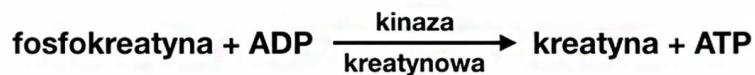
Źródła energii niezbędnej do skurczu mięśni

Skurcz mięśni to proces wymagający wysokich nakładów energetycznych. Bezpośrednim źródłem energii w mięśniach jest **adenozynotrójfosforan** ([ATP](#)), wysokoenergetyczny związek fosforanowy. Zawartość ATP w komórkach mięśniowych jest niewielka i wymaga nieustannego uzupełniania. Szybka resynteza ATP możliwa jest dzięki obecnej w mięśniach [fosfokreatynie](#). Związek ten ulega hydrolizie do kreatyny i grupy fosforanowej, z uwolnieniem znacznej ilości energii, która w czasie pracy mięśni wykorzystywana jest do odtwarzania rezerw ATP. W spoczynku część ATP w mitochondriach przekazuje swoją grupę fosforanową do kreatyny, prowadząc do odbudowy zapasów fosfokreatyny.



Wzór strukturalny fosfokreatyny.

Źródło: Kopiersperre, Wikimedia Commons, domena publiczna.



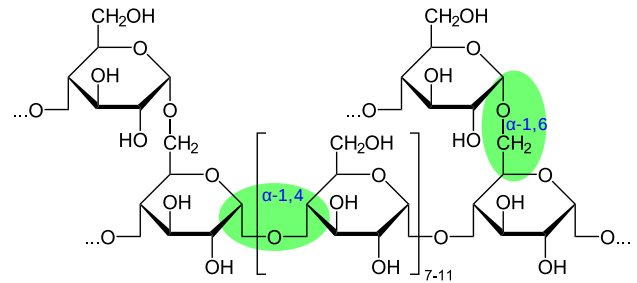
Schemat reakcji przenoszenia grupy fosforanowej z fosfokreatyny na ADP, w wyniku której powstaje cząsteczka ATP.

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

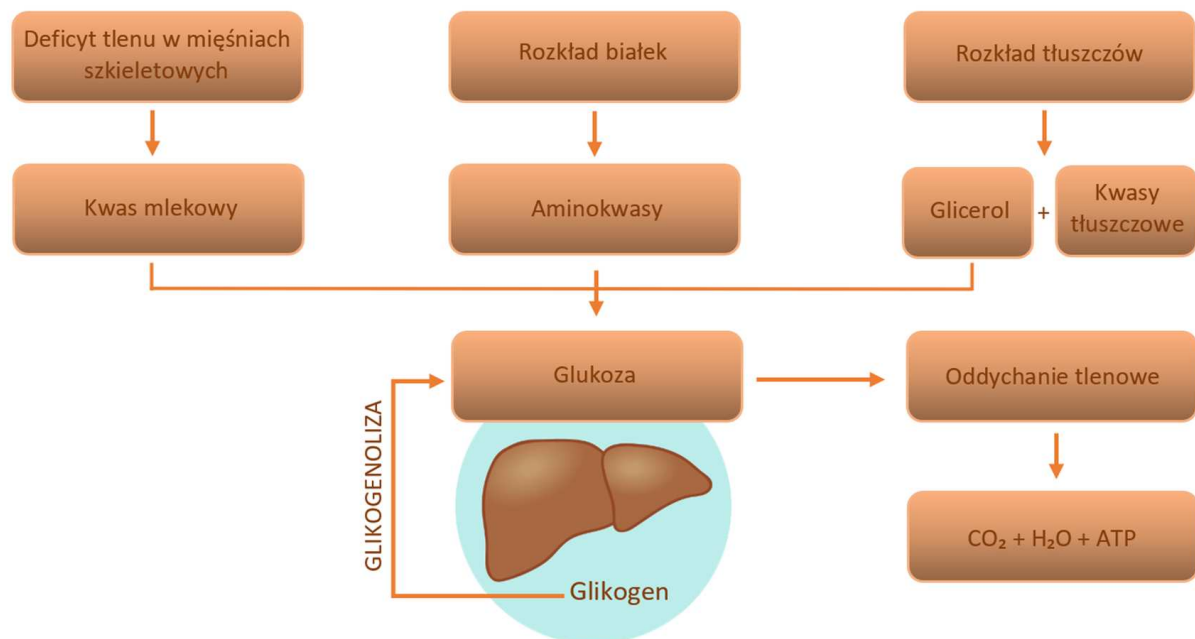
Ze względu na niewielkie zasoby fosforanowych związków wysokoenergetycznych w mięśniach głównym źródłem energii do ich pracy są **węglowodany** (przede wszystkim **glukoza** zmagazynowana w postaci **glikogenu**). Inne substraty, z których

może być pozyskana energia do pracy mięśni, to **tłuszcze i białka**. Procesy metaboliczne mające na celu uzyskanie energii z przemian wyżej wymienionych związków mogą przebiegać zarówno w warunkach tlenowych, jak i beztlenowych.

Większość energii potrzebnej do odbudowy ATP pochodzi z rozpadu glukozy. Głównym źródłem wewnątrzkomórkowej glukozy jest **glikogen** – polimer glukozy, który w szczególnie dużych ilościach występuje w wątrobie i mięśniach szkieletowych. Podczas glikogenolizy ulega on rozpadowi do cząsteczek glukozy, które następnie w procesie **oddychania tlenowego** są utleniane. Końcowym efektem tego procesu są CO_2 , H_2O oraz energia gromadzona w postaci wysokoenergetycznych wiązań w cząsteczce ATP.



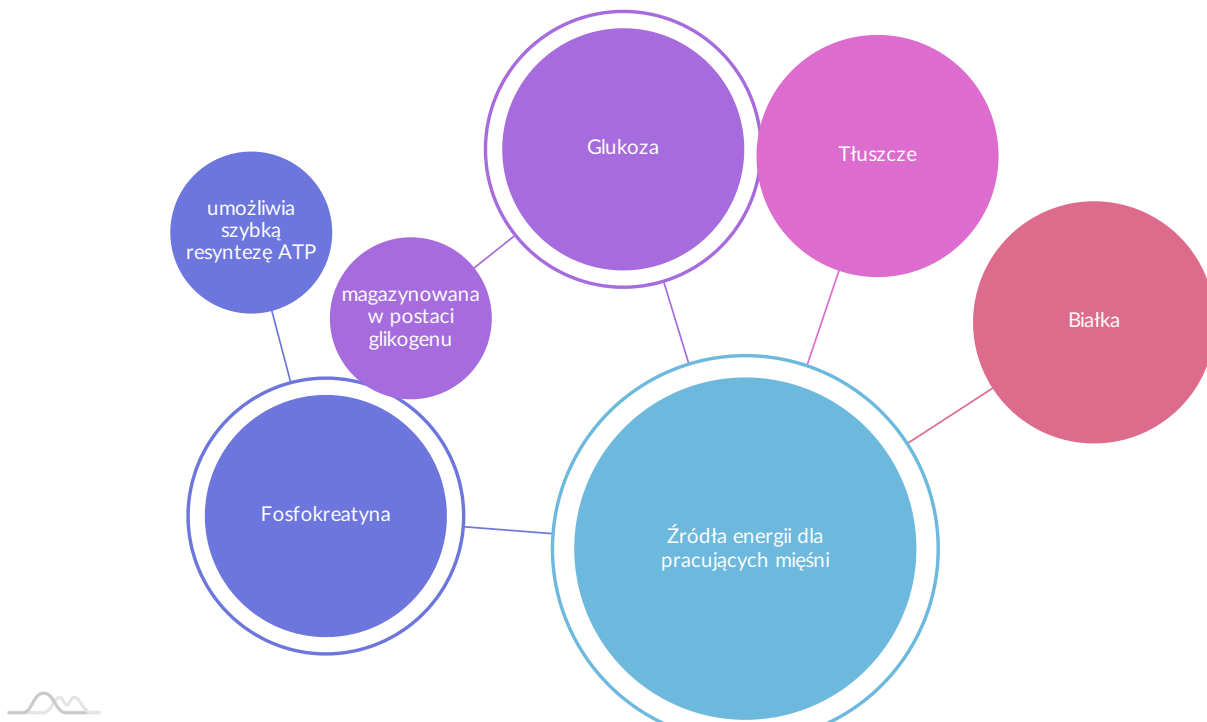
Wzór strukturalny glikogenu z zaznaczonymi wiązaniami glikozydowymi.
Źródło: NEUROtiker, Wikimedia Commons, domena publiczna.



Glukoneogeneza w komórkach zwierząt.

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

Tylko część energii uzyskanej przez mięśnie jest wykorzystywana do wykonania pracy (skurczu), a jej procent określa się mianem **wydajności energetycznej mięśni**. Pozostała część energii jest rozpraszana w postaci ciepła (stąd uczucie ciepła podczas podejmowania wzmożonej aktywności fizycznej).



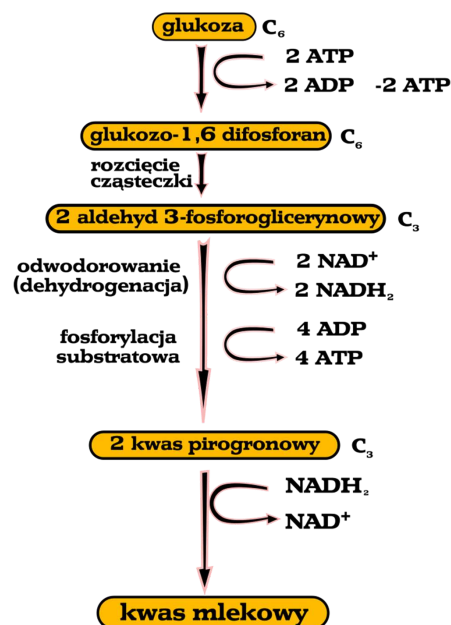
Źródła energii dla pracujących mięśni.

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

Przebieg oddychania beztlenowego w komórkach mięśniowych

Jeżeli zapotrzebowanie mięśni na tlen przekracza jego ilość dostarczaną im przez krew, powstający podczas przemian glukozy kwas pirogronowy przekształcany jest w procesach beztlenowych do **kwasu mlekowego**.

W czasie przemian glukozy w warunkach beztlenowych wytwarzane są, poza kwasem mlekowym, również wysokoenergetyczne związki fosforanowe, ale w ilościach znacznie mniejszych niż podczas przemian glukozy odbywających się w warunkach tlenowych. Zatem proces pozyskiwania ATP na drodze [glikolizy](#) beztlenowej jest mniej wydajny energetycznie niż glikoliza tlenowa. ATP może być wytwarzany również w procesach przemian metabolicznych tłuszczów i białek. Do pozyskania energii ze spalania tłuszczów dochodzi jedynie w przypadku pracy mięśni o małej lub umiarkowanej intensywności, trwającej powyżej 25–30 min. Energia z przemian białek uzyskiwana jest natomiast wyłącznie w sytuacjach skrajnych niedoborów energetycznych, tzn. podczas długotrwałego głodzenia lub bardzo intensywnego wysiłku fizycznego w czasie niedożywienia.



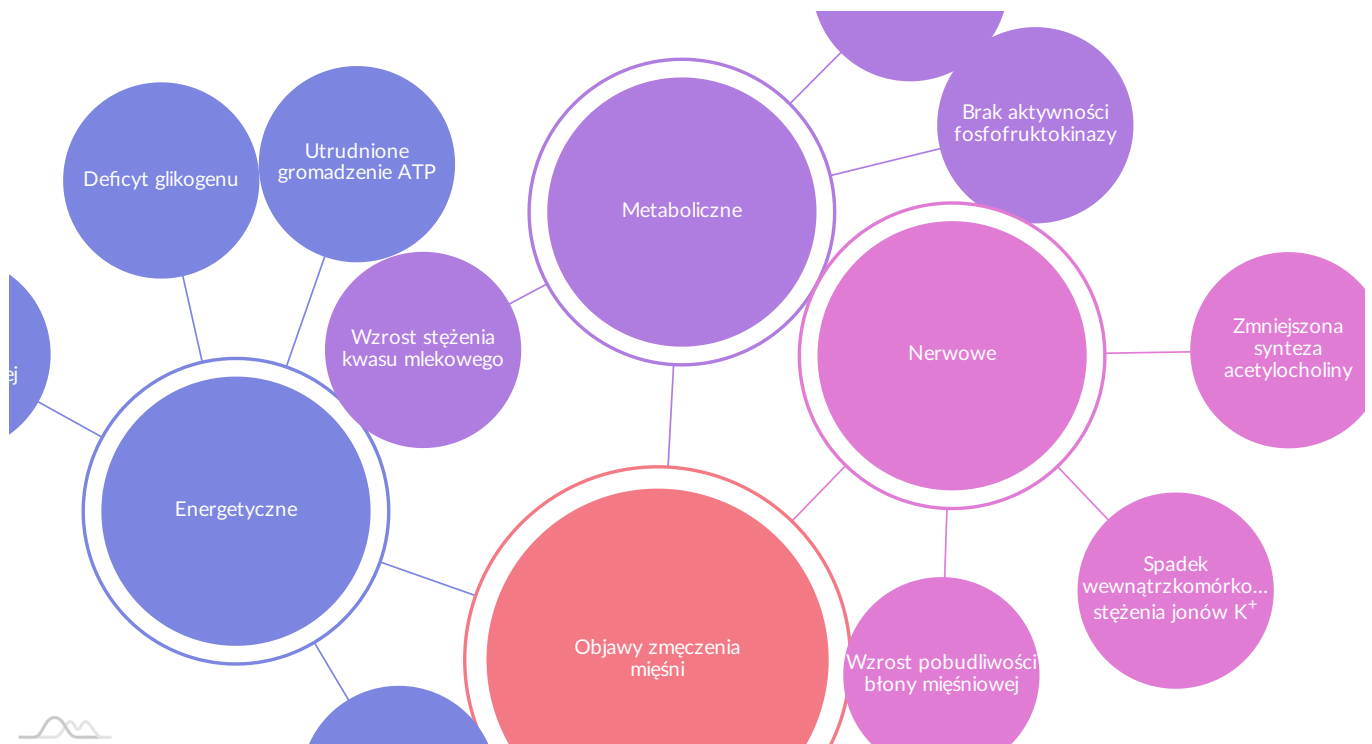
Przebieg fermentacji mlekowej, zachodzącej w komórkach mięśni w warunkach beztlenowych.

Źródło: Krzysztof Pado, Wikimedia Commons, licencja: CC BY-SA 2.5.

Objawy zmęczenia mięśni na poziomie komórkowym

Zmęczenie komórek mięśniowych ma podłoże energetyczne, metaboliczne i nerwowe. To pierwsze związane jest z obniżeniem zawartości fosfokreatyny, wyczerpaniem rezerw glikogenowych i zmniejszeniem możliwości gromadzenia ATP, co skutkuje wzmożoną produkcją energii cieplnej. Z kolei metaboliczne przyczyny zmęczenia mięśni polegają na zwiększeniu stężenia kwasu mlekowego i w konsekwencji na obniżeniu pH. W kwaśnym środowisku zostaje zahamowana aktywność enzymu fosfofruktokinazy, biorącego udział w glikolizie. Zmęczenie mięśniowe związane jest

również ze zmniejszoną syntezą acetylocholin, wzrostem progu pobudliwości błony mięśniowej, a także spadkiem wewnątrzkomórkowego stężenia jonów K^+ .



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

Przyczyny zmęczenia mięśni

Przyczyny zmęczenia mięśni podczas krótkotrwałej, ale intensywnej pracy

Przyczyny przejściowej niezdolności mięśni do pracy są różne i uzależnione od czasu oraz intensywności wykonywanego wysiłku. Podczas krótkotrwałego, ale intensywnego wysiłku (np. biegu na krótkim dystansie) pojawia się przejściowo duże zapotrzebowanie mięśni na tlen. W celu pokrycia aktualnego zapotrzebowania czynność oddechowa wzrasta, a serce zaczyna szybciej pracować, aby dostarczyć tlen do intensywnie pracujących mięśni. Jednak nawet w takiej sytuacji mogą występować **niedobory tlenowe** w mięśniach. Wówczas uruchamiane są zapasy tlenu zgromadzone w mięśniach w postaci utlenowanej [mioglobiny](#) (**oksymoglobiny**). Jeżeli wysiłek jest zbyt intensywny, zapasy tlenu

zgromadzone w postaci mioglobiny również ulegają wyczerpaniu. Pojawia się deficyt tlenu, co prowadzi do wystąpienia tzw. długu tlenowego.

W warunkach deficytu tlenowego energia niezbędna do pracy mięśni pozyskiwana jest przez pewien czas z przemian zachodzących na drodze **glikolizy beztlenowej**. Jednak poza wysokoenergetycznymi związkami fosforanowymi, powstałymi w czasie glikolizy beztlenowej i będącymi źródłem energii dla pracujących mięśni, powstaje również **kwask mlekowy**, przyczyniający się do zakwaszenia środowiska i zahamowania aktywności układów enzymatycznych kontrolujących przebieg skurczu mięśni. W następstwie opisanych powyżej procesów fizjologicznych dochodzi do przejściowej niezdolności mięśni do dalszej pracy, czyli ich **zmęczenia**.

Po zakończeniu intensywnego wysiłku fizycznego czynność układu oddechowego i krążenia jeszcze przez pewien czas pozostaje wzmożona. Dzięki temu zostaje dostarczony do organizmu tlen, wykorzystywany do usunięcia nadmiaru zgromadzonego w mięśniach kwasu mlekowego, odnowy fosfokreatyny, ATP i uzupełnienia zasobów tlenu magazynowanego w mioglobinie. Ilość dodatkowo pobranego tlenu po zakończeniu wysiłku jest proporcjonalna do zapotrzebowania energetycznego w czasie wysiłku, które zostało pokryte przez wytwarzanie energii w procesach beztlenowych.



Biegacze krótkodystansowi niekiedy pokonują drogę od startu do mety na całkowitym bezdechu, co znacząco zwiększa u nich dług tlenowy.

Źródło: Jonathan Chng, Unsplash, domena publiczna.

Przyczyny zmęczenia mięśni podczas pracy długotrwałej, wykonywanej

Ważne!

Niekiedy, jako skutek bardzo intensywnej pracy mięśni, w kolejnych dniach po wysiłku może się pojawić charakterystyczny ból mięśni. Pomimo tego, że potocznie określany jest mianem „zakwasów”, nie wynika z obecności kwasu mlekowego, ale z mikrourazów i stanów zapalnych w mięśniach.

Słownik

ATP (adenozyno-5'-trifosforan)

związek chemiczny zbudowany z adenozyiny oraz grupy trifosforanowej, będący głównym magazynem energii produkowanej w procesach fotosyntezy i oddychania komórkowego

dług tlenowy

czasowy deficyt tlenu w mięśniach powstający w sytuacji, gdy zapotrzebowanie na energię przekracza wydajność tlenowych procesów metabolicznych

fosfokreatyna

związek chemiczny występujący w tkance mięśniowej, gromadzący energię w wiązaniach wysokoenergetycznych

glikoliza

cykl reakcji biochemicznych stanowiących główny szlak metaboliczny glukozy, zachodzących zarówno w warunkach tlenowych, jak i beztlenowych

miocyt

komórka mięśniowa

mioglobina

białko zdolne do wiązania tlenu; obecne w mięśniach szkieletowych i w mięśniu sercowym

pobudliwość

zdolność reagowania komórki pobudzeniem na działający na nią bodziec

Film



Film dostępny pod adresem </preview/resource/R1drUTAzIrf3Y>

Zmęczenie mięśni i dług tlenowy.

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

Film pod tytułem: "Zmęczenie mięśni i dług tlenowy".

Dla zainteresowanych

Polecenie 1

Obejrzyj wywiad z ekspertem, a następnie zdefiniuj termin „zmęczenie mięśni”.

Polecenie 2

Wyjaśnij, jaką funkcję pełni tlen w łańcuchu oddechowym. Co dzieje się w sytuacji, gdy go brakuje – jaki proces może być źródłem energii?

Polecenie 3

„Magazynowanie energii w postaci ATP jest niezbędne w procesie skurczu mięśni”.

Uzasadnij, czy to stwierdzenie jest prawdziwe.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Określ prawdziwość poniższych zdań.

Zdanie	Prawda	Fałsz
Mianem zmęczenia mięśniowego określamy chwilowy brak zdolności mięśni do skurczu.	☐	☐
Przyczyną zmęczenia mięśniowego może być jedynie wysiłek trwający bardzo długo.	☐	☐
Zmęczenie mięśniowe może zostać wywołane przez brak tlenu w środowisku zewnętrznym, w warunkach dekompresji kabiny samolotu lub podczas zatrucia tlenkiem węgla blokującym reakcje oddychania komórkowego.	☐	☐

Ćwiczenie 2



Przyporządkuj warunki towarzyszące zmęczeniu mięśniowemu rodzajom pracy wykonywanej przez mięśnie.

Praca krótkotrwała, intensywna

Wystarczająca czynność układu oddechowego i krążenia.

Wyczerpanie zasobów energetycznych.

Praca długotrwała, w umiarkowanym tempie

Równowaga między zapotrzebowaniem na tlen i jego dystrybucją.

Uruchomienie przemian glikolizy beztlenowej.

Zbyt mała dystrybucja tlenu w stosunku do zapotrzebowania.

Niewystarczająca czynność układu oddechowego i krążenia.

Ćwiczenie 3



Uzupełnij tekst odpowiednimi sformułowaniami.

Główną przyczyną wystąpienia zmęczenia mięśniowego podczas biegów krótkodystansowych są . Podczas sprintu pojawia się przejściowo duże zapotrzebowanie mięśni na , które nie może zostać skompensowane w wystarczającym stopniu przez zwiększenie pracy . Uruchamiane są wówczas jego zapasy, zgromadzone w mięśniach w postaci . Często jednak tlenu wciąż jest zbyt mało.

W tych warunkach w mięśniach przemiany energetyczne przechodzą – uruchamiany jest proces . W jej trakcie z wytwarzane są potrzebne związki wysokoenergetyczne, jak również . Proces ten jest wydajny w dostarczaniu energii niż oddychanie tlenowe, ale stanowi źródło energii podczas przejściowego stanu, jakim jest zmęczenie mięśni.

kwas mlekowy

oksymoglobiny

anabolizy tlenowej

niedobory tlenowe

mniej

mózgu i nerek

bardziej

mechaniczne nadwyrężenie włókien mięśniowych

glikogenu

kwasu pirogronowego

układu oddechowego i krążenia

z tlenowych na beztlenowe

wodę

tlen

kwasu mlekowego

z beztlenowych na tlenowe

glikolizy beztlenowej

kwas glikozydowy

Ćwiczenie 4



Ułóż substraty, z których pozyskiwana jest energia do pracy mięśni, w kolejności od cząsteczki wykorzystywanej na samym początku do związku wykorzystywanego w ostateczności.

Fosfokreatyna



Glikogen i inne cukry złożone



ATP



Tłuszcze



Glukoza i inne cukry proste



Białka



Ćwiczenie 5



Zaznacz sformułowania, które prawidłowo opisują fosfokreatynę.

- ☐ Jej hydroliza do kreatyny i grupy fosforanowej uwalnia znaczne ilości energii.
- ☐ Umożliwia szybką resyntezę ATP.
- ☐ Energia do jej syntezy pochodzi w większości z utleniania monomerów glikogenu.
- ☐ Magazynowana jest w obwodowej krwi krążącej.
- ☐ W wyniku jej hydrolizy powstają CO_2 , H_2O i ATP.
- ☐ Znajduje się i jest magazynowana w mięśniach szkieletowych.
- ☐ Nie może być syntetyzowana z kreatyny w sytuacji nadmiaru ATP.

Ćwiczenie 6



Tabela przedstawia udział oddychania beztlenowego i tlenowego w uwalnianiu energii podczas pracy mięśni trwającej określony czas.

Czas pracy	Oddychanie beztlenowe (%)	Oddychanie tlenowe (%)
5 s	95	5
1 min	70	30
4 min	30	70
10 min	10	90
30 min	6	94

Określ tendencję zmian w udziale oddychania beztlenowego i tlenowego podczas pracy mięśni i na tej podstawie wyjaśnij, dlaczego kilkunastominutowa rozgrzewka powinna poprzedzać właściwe ćwiczenia sportowe.

Ćwiczenie 7



„Przypadłość ta występuje w momencie niewłaściwych proporcji obciążenia treningiem do wypoczynku. Zawodnikowi takiemu znacznie spada zdolność do wykonywanych ćwiczeń. Objawia się to ogólnym osłabieniem organizmu, mniejszą siłą mięśni, zaburzeniami precyzji i koordynacji wykonywanych ruchów. W wyniku przetrenowania zawodnik może doznać poważnych urazów lub odnowić stare wyleczone kontuzje”.

Źródło: Michał Kołodziejczyk, Aleksandra Szulc, Adam Szulc, Wojciech Wojtasik, *Wybrane zagadnienia dotyczące wpływu wysiłku fizycznego na organizm człowieka*, „Journal of Education, Health and Sport” 2015, nr 5 (10), s. 370.

Na podstawie przedstawionego fragmentu artykułu oraz własnej wiedzy oceń prawidłowość sformułowania: „Spadek wydolności fizycznej u sportowców zawsze wymaga zwiększenia intensywności planu treningowego w celu poprawy osiągnięć sportowca”. Odpowiedź uzasadnij.

Ćwiczenie 8



„Zespół opóźnionej bolesności mięśni (...) określa ból i napięcie mięśni występujące po wysiłku fizycznym. Dotyczy to przeważnie mięśni wcześniej niepoddawanych intensywnemu obciążeniu. Występuje u osób rozpoczynających trening danej partii mięśni oraz u sportowców, którzy powrócili do treningów po dłuższej przerwie. Ból mięśni objawia się najczęściej od 24 do 72 godzin po wysiłku. Spowodowany jest niszczeniem najłabszych sarkomerów, powodując[ym] reakcję zapalną w mięśniu. Następstwem tego jest pojawienie się leukocytów, makrofagów oraz mediatorów zapalenia, zwiększających pobudliwość tkanki nerwowej, a tym samym wrażliwość na odczucia bólowe”.

Źródło: Michał Kołodziejczyk, Aleksandra Szulc, Adam Szulc, Wojciech Wojtasik, Wybrane zagadnienia dotyczące wpływu wysiłku fizycznego na organizm człowieka, „Journal of Education, Health and Sport” 2015, nr 5 (10), s. 359.

Na podstawie informacji zawartych w tekście oraz własnej wiedzy określ, czym różni się zespół opóźnionej bolesności mięśniowej od zmęczenia mięśniowego. Podaj przynajmniej dwa przykłady różnic.

Dla nauczyciela

Autor: Anna Juwan

Przedmiot: Biologia

Temat: Zmęczenie mięśni i dług tlenowy

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

Podstawa programowa:

Zakres podstawowy

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

V. Budowa i fizjologia człowieka.

8. Poruszanie się. Uczeń:

6) wyjaśnia na podstawie schematu molekularny mechanizm skurczu mięśnia;

7) przedstawia sposoby pozyskiwania ATP niezbędnego do skurczu mięśnia;

Zakres rozszerzony

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

XI. Funkcjonowanie zwierząt.

2. Porównanie poszczególnych czynności życiowych zwierząt, z uwzględnieniem struktur odpowiedzialnych za ich przeprowadzanie.

7) Poruszanie się. Uczeń:

g) wyjaśnia, na podstawie schematu, molekularny mechanizm skurczu mięśnia,

h) przedstawia sposoby pozyskiwania ATP niezbędnego do skurczu mięśnia,

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):

- Zdefiniujesz pojęcie zmęczenia mięśni.
- Określisz związki będące źródłem energii do pracy mięśni.
- Wyjaśnisz przyczyny zmęczenia mięśni, uwzględniając czas oraz intensywność wykonywanej pracy.
- Omówisz przyczyny występowania długu tlenowego w mięśniach.

Strategie nauczania:

- konstruktywizm;
- konektywizm;
- nauczanie wyprzedzające.

Metody i techniki nauczania:

- z użyciem komputera;
- ćwiczenia interaktywne;
- gra dydaktyczna;
- praca z filmem;
- śniegowa kula.

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.

Przed lekcją:

1. **Przygotowanie do zajęć.** Nauczyciel loguje się na platformie i udostępnia uczniom e-materiał „Zmęczenie mięśni i dług tlenowy”. Prosi uczestników zajęć o zapoznanie się z tekstem w sekcji „Przeczytaj” i wykonanie ćwiczenia nr 1 w sekcji „Sprawdź się”.
2. Uczniowie przypominają sobie informacje na temat przemian biochemicznych zachodzących w mięśniach w czasie skurczu, poznane na wcześniejszych zajęciach.

Przebieg lekcji

Faza wstępna:

1. Nauczyciel wyświetla temat i cele lekcji zawarte w sekcji „Wprowadzenie”.
2. **Wprowadzenie do tematu.** Nauczyciel rozpoczyna pogadankę, zadając pytanie:
 - Czym jest zmęczenie mięśni?

Faza realizacyjna:

1. **Praca z multimedium („Film”).** Uczniowie zapoznają się z filmem wyświetlonym przez nauczyciela. Następnie prowadzący zajęcia prosi uczniów, by pracując metodą kuli śniegowej, wykonali polecenia od 1 do 3.
Nauczyciel objaśnia wspomnianą wyżej metodę i wynikające z niej kolejne etapy pracy:
 - 1) najpierw uczniowie będą opracowywać odpowiedzi indywidualnie;
 - 2) potem połączą się w pary i porównają swoje propozycje, a na osobnej kartce zapiszą wspólne odpowiedzi;
 - 3) kolejnym krokiem będzie połączenie się par w czwórki, które – jak poprzednio – skonfrontują swoje odpowiedzi;
 - 4) uczniowie utworzą 8-osobowe zespoły i znów porównają swoje propozycje;
 - 5) przedstawiciele poszczególnych zespołów 8-osobowych prezentują na forum klasy uzgodnione w grupie odpowiedzi.
2. **Praca z treścią e-materiału.** Uczniowie na podstawie przeczytanego tekstu oraz informacji zawartych w medium w sekcji „Film” układają indywidualnie pytania do treści e-materiału (np. „Jakie związki są źródłem energii do pracy mięśni?”, „Jakie są przyczyny występowania długu tlenowego w mięśniach?”). Nauczyciel wraz z uczniami określa zasady rywalizacji i punktowania dobrych odpowiedzi (np. gra na czas lub na liczbę poprawnych odpowiedzi). Przeprowadzenie gry w klasie.
Nauczyciel lub wybrany uczeń dba o prawidłowy przebieg quizu zgodnie z wcześniejszymi ustaleniami. Nauczyciel ogłasza zwycięzców.
3. **Utrwalenie wiedzy i umiejętności.** Uczniowie w parach wykonują ćwiczenie nr 7 (w którym mają za zadanie – na podstawie przedstawionego fragmentu tekstu oraz własnej wiedzy – ocenić prawidłowość sformułowania: „Spadek wydolności fizycznej u sportowców zawsze wymaga zwiększenia intensywności planu treningowego w celu poprawy osiągnięć sportowca”) z sekcji „Sprawdź się”.
Następnie porównują swoje odpowiedzi z najbliższymi siedzącymi sąsiadami.
Nauczyciel w razie trudności naprowadza podopiecznych na właściwe rozwiązania lub wyjaśnia wątpliwości.
4. Następne ćwiczenie – nr 8 („Na podstawie informacji zawartych w tekście oraz własnej wiedzy określ, czym różni się zespół opóźnionej bolesności mięśniowej od zmęczenia mięśniowego”), wyświetlone przez nauczyciela na tablicy, uczniowie rozwiązują w grupach 4-osobowych. Po jego wykonaniu i uzgodnieniu przez każdą grupę wspólnego wyboru następuje omówienie rezultatów na forum klasy.

Faza podsumowująca:

1. Nauczyciel prosi uczniów o rozwinięcie zdań: „Dziś nauczyłem/nauczyłam się...”, „Zrozumiałem/zrozumiałam, że...”, „Zaskoczyło mnie...”, „Dowiedziałem/dowiedziałam się...”.
2. Nauczyciel wyświetla na tablicy temat lekcji i cele zawarte w sekcji „Wprowadzenie”. W tym kontekście dokonuje podsumowania najważniejszych informacji przedstawionych na lekcji oraz wyjaśnia wątpliwości uczniów.

Praca domowa:

1. Wykonaj ćwiczenia od 2 do 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:

- Nauczyciel może wykorzystać medium zamieszczone w sekcji „Film” na lekcji „Przemiany biochemiczne zachodzące w mięśniach w czasie skurczu”.