

Przemiany biochemiczne zachodzące w mięśniach w czasie skurczu

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



Przemiany biochemiczne zachodzące w mięśniach w czasie skurczu

Skurcz mięśnia polega na przesuwaniu się względem siebie filamentów cienkich (aktynowych) i grubych (miozynowych).

Źródło: Pixabay, domena publiczna.

Mięśnie poprzecznie prążkowane, zwane też szkieletowymi, kurczą się szybko i mocno, poruszając ciężkim szkieletem. Odpowiadają również za mimikę twarzy i sprawne przelknięcie pokarmu. Co dzieje się w mięśniach podczas skurczu? Jaka jest jego fizjologia – jak przebiegają procesy biochemiczne uwolniające niezbędną do prawidłowej pracy mięśni energię?

Twoje cele

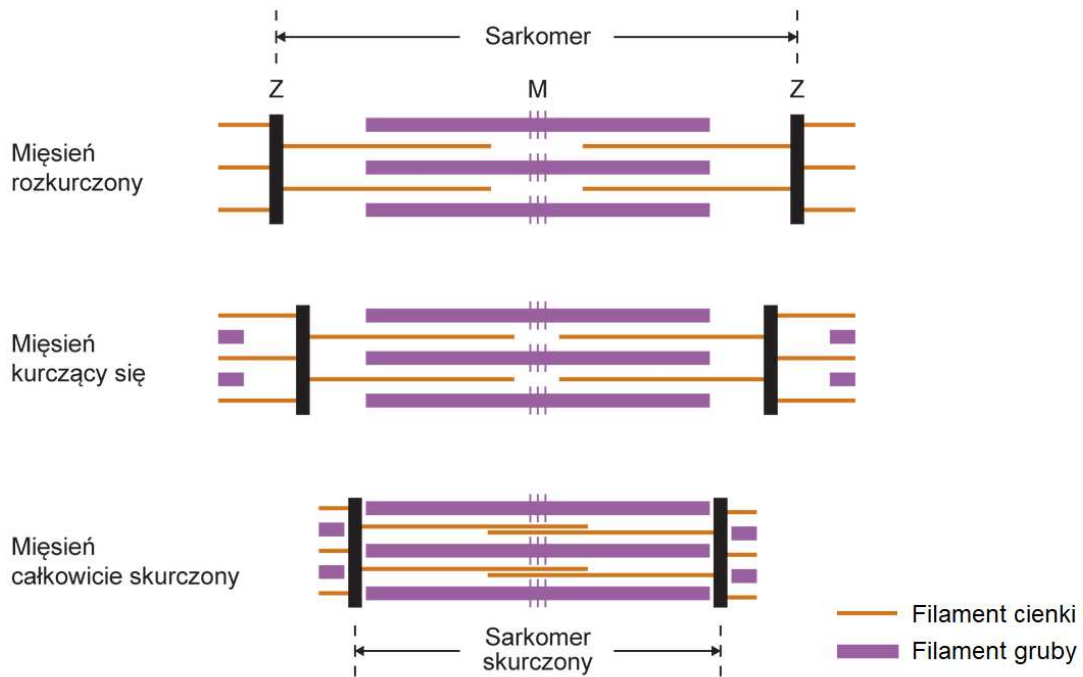
- Omówisz przemiany zachodzące w mięśniach w zależności od źródła ATP i typu włókien mięśniowych.
- Scharakteryzujesz typy włókien mięśniowych.
- Przedstawisz fazy skurczu mięśnia szkieletowego.

Przeczytaj

Mechanizm skurczu [mięśnia](#), zwany mechanizmem ślizgowym, opisywany jest teorią ślizgową. Przypomnij sobie mechanizm skurczu mięśnia ([link do tematu](#)).

W jaki sposób kurczy się mięsień?

Skurcz mięśnia polega na przesuwaniu się względem siebie filamentów cienkich – aktynowych – i grubych – miozynowych. Pod wpływem impulsów nerwowych docierających do miocytów dochodzi do [depolaryzacji](#) ich błon komórkowych. Z kolei impuls w postaci depolaryzacji dostaje się do [kanalików T](#), co powoduje uwolnienie jonów wapnia zmagazynowanych w przylegających do nich cysternach siateczki sarkoplazmatycznej. Jony wapnia, po powiązaniu z troponiną, odsłaniają centrum aktywne aktyny, co umożliwia połączenie głów [miozyny](#) z cząsteczkami aktyny. Jednocześnie następuje aktywacja enzymu hydrolizującego ATP. Wyzwolona energia chemiczna zamieniana jest w energię mechaniczną, powodując zmianę położenia głów miozynowych w stosunku do filamentu cienkiego. To z kolei prowadzi do przeciągnięcia filamentu aktynowego przez przemieszczającą się głowę i przesunięcia się filamentów względem siebie.



Sarkomer, który jest podstawową jednostką kurczliwą włókna mięśniowego, składa się z zachodzących na siebie filamentów aktynowych i miozynowych. W trakcie skurczu filamenty te przesuwają się względem siebie, powodując skrócenie sarkomeru, a w konsekwencji całego włókna mięśniowego.

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

Ważne!

W czasie skurczu nie zmienia się długość filamentów. Zmianie ulega natomiast długość prążków.

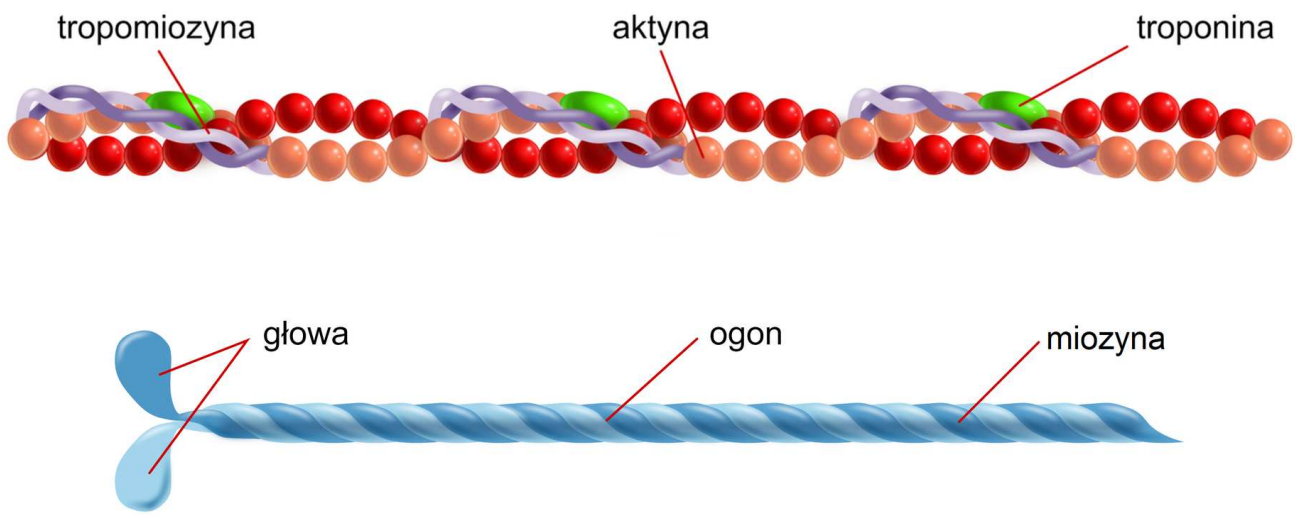
Fazy skurczu mięśnia

Wyróżnia się sześć faz skurczu mięśnia.

Faza I

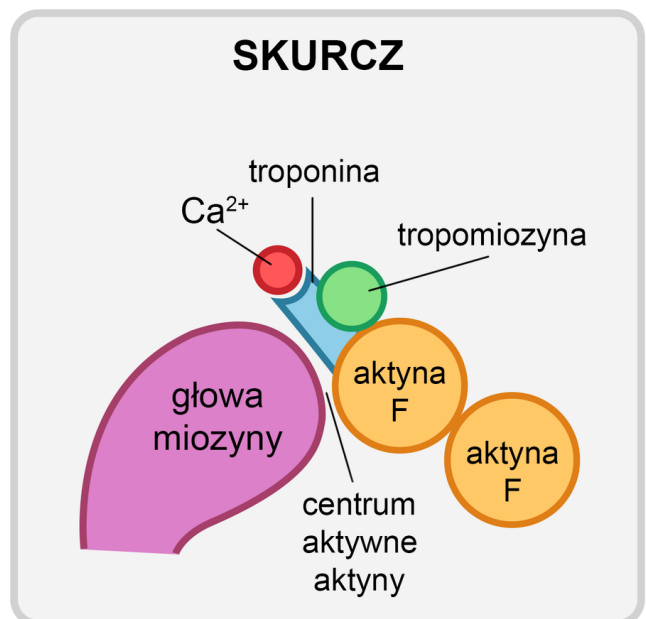
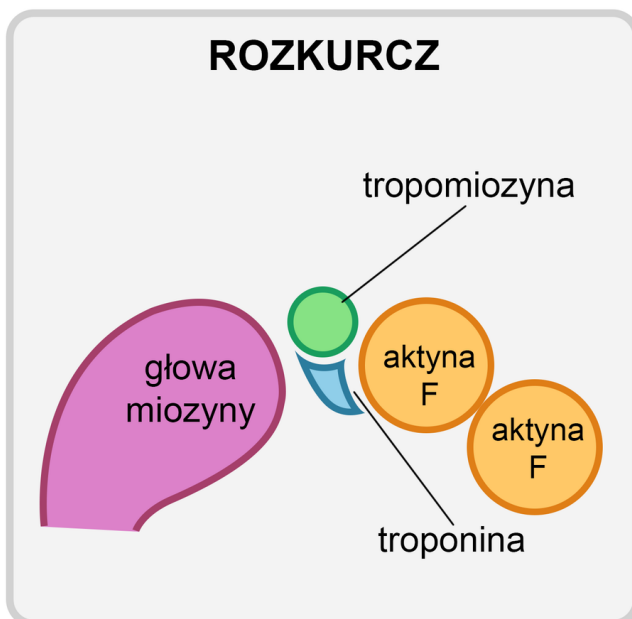
Impuls z ośrodkowego układu nerwowego dociera do błony komórki mięśniowej za pośrednictwem neuronu ruchowego, którego akson tworzy połączenie z komórką mięśniową w postaci synapsy nerwowo-mięśniowej, tzw. płytki motorycznej (ruchowej).

Faza II
Faza III
Faza IV
Faza V
Faza VI



Budowa filamentów cienkich (u góry): cząsteczki aktyny tworzą łańcuch, który oplatają włókna tropomiozyny ze związaną troponiną. Niżej fragment filamentu grubego – dwa oplecione łańcuchy miozyny zakończone tzw. głowami.

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



Fazy skurczu i rozkurczu. W trakcie rozkurczu kompleks troponina-tropomiozyna zasłania miejsce aktywne aktyny, przez co tzw. głowa miozyny nie może związać się z aktyną. W momencie skurczu uwolnione jony wapnia wywołują zmianę ustawienia kompleksu troponina-tropomiozyna na aktynie i odsłonięcie jej miejsca aktywnego, co umożliwia wytworzenie wiązania pomiędzy aktyną i miozyną.

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

Ciekawostka

Stężenie pośmiertne to zeszywnienie mięśni w wyniku zatrzymania metabolizmu i ustania reakcji regeneracji ATP w miocytach. Dochodzi do trwałego połączenia główek miozyny z mikrofilamentami aktynowymi. Stężenie pośmiertne ustępuje po pewnym czasie w wyniku rozkładu białek mięśniowych.

Źródło ATP w miocytach

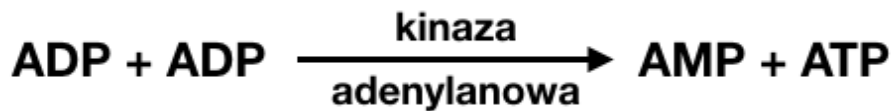
Miocyty wymagają dużych dostaw energii, by móc efektywnie się kurczyć – jednak zawartość ATP w komórkach mięśniowych wystarcza zaledwie na kilka sekund pracy. Dlatego komórki wykorzystują kilka dróg syntezy ATP: pierwszym źródłem tego związku jest fosfokreatyna. Reakcja produkcji ATP z udziałem enzymu kinazy kreatynowej przebiega następująco:



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.

Miocyty mogą również zsyntetyzować niewielkie ilości ATP w reakcji miokinazowej, wykorzystując do tego celu dostępne w komórce cząsteczki ADP.



Schemat reakcji syntezy cząsteczki ATP z dwóch cząsteczek ADP.

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

Ważnym źródłem ATP w kolejnych minutach pracy mięśni jest glikoliza. Podczas niej dochodzi do rozpadu cząsteczki glukozy do dwóch cząsteczek pirogronianu i uwolnienia energii magazynowanej w ATP.



Dalsze przemiany pirogronianu również prowadzą do wytworzenia kolejnych cząsteczek ATP w wyniku reakcji chemicznych: pomostowej, cyklu Krebsa i łańcucha oddechowego.

Po wyczerpaniu dostępnej glukozy miocyty zaczynają korzystać z zapasów glikogenu. Przy dłuższym wysiłku również ten związek ulega wyczerpaniu, co powoduje uruchomienie substratów zapasowych w postaci kwasów tłuszczowych. Ich przemiany w procesach beta-oksydacji prowadzą do wytworzenia szeregu substratów do cyklu Krebsa i łańcucha oddechowego, zapewniając ciągłość syntezy ATP w miocytach.

Warto również wspomnieć o szlaku fermentacji mlekowej, podczas której miocyty również mogą pozyskać ATP. Proces ten nie jest zbyt wydajny energetycznie, umożliwia jednak produkcję ATP w warunkach beztlenowych.



Typy miocytów

W zależności od drogi regeneracji ATP można wskazać następujące typy włókien (miocytów):

- **oksydacyjne, wolnokurczące (typu I)** – zawierają wiele mitochondriów i duże stężenie mioglobiny (stąd zwane są też czerwonymi); energię do skurczu czerpią z procesów oddychania tlenowego; charakteryzują się powolnym narastaniem siły skurczu i dużą wytrzymałością na zmęczenie; ten typ włókien dominuje w mięśniach posturalnych – największy procentowy udział włókien oksydacyjnych u człowieka wykazuje mięsień płaszczkowaty, który jest aktywny w trakcie utrzymywania pozycji pionowej;
- **glikolityczne, szybko kurczące (typu II)** – zawierają mniejsze stężenie mioglobiny (stąd zwane są też białymi); kurczą się szybciej, ale są mniej wytrzymałe; stanowią duży procent mięśni ramion, piersiowych oraz powiek, które odpowiadają za mruganie. Biorąc pod uwagę główne źródła energii, z jakich korzystają, wyróżnia się wśród nich włókna:
 - **glikolityczno-tlenowe (typu IIA)** – wykorzystują energię wytworzoną w procesie glikolizy w cytoplazmie oraz w procesie fosforylacji oksydacyjnej w mitochondriach,
 - **glikolityczne (typu IIB)** – korzystają głównie z energii wytworzonej podczas glikolizy i mają mniejszą liczbę mitochondriów.



Charakterystyka poszczególnych typów miocytów.

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

Słownik

acetylocholina

ester choliny i kwasu octowego, chemiczny przekaźnik impulsów w układzie nerwowym (neuroprzekaźnik, neurotransmitter)

depolaryzacja

obniżenie ujemnego potencjału elektrycznego błony komórkowej, spowodowane napływem jonów sodowych do komórki, co prowadzi do jej pobudzenia

filamenty

nitkowate, białkowe struktury wchodzące w skład szkieletu komórki; w zależności od średnicy filamentów wyróżnia się: filamenty supercienkie o średnicy ok. 3–4 nm, filamenty cienkie, tzw. mikrofilamenty, o średnicy ok. 5–7 nm, filamenty

pośrednie, o średnicy ok. 10 nm, stanowiące najliczniejszą klasę filamentów, oraz filamenty grube, o średnicy ok. 15 nm

fosfokreatyna

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

kanaliki T

wpuklenia błony komórkowej miocyty (sarkolemy) sięgające w głąb włókien mięśniowych

mięśnie

kurczliwe narządy zwierząt i człowieka, strukturalne i funkcjonalne podjednostki układu mięśniowego zbudowane z tkanki mięśniowej, tworzące m.in. ściany przewodów (mięśnie gładkie) i serce (mięsień sercowy)

miozyna

białko o strukturze włókienkowej (fibrylarnej) będące głównym składnikiem białek mięśniowych (40–60%)

miocyty

komórki mięśniowe, włókna mięśniowe, pojedyncze elementy strukturalne tkanki mięśniowej

reakcja miokinazowa

reakcja odtwarzania źródła energii w postaci ATP, poprzez przeniesienie reszty fosforanowej z jednej cząsteczki ADP na drugą; zachodzi w pracujących mięśniach; jest katalizowana przez kinazę adenylanową

tropomiozyna

białko tworzące włókna związane z filamentami aktynowymi; pod wpływem jonów wapnia troponina związana z tropomiozyną zmienia swoją strukturę, co powoduje zmianę położenia tropomiozyny, umożliwiając związanie miozyny do aktyny

troponina

białko biorące udział w regulacji skurczu mięśni poprzecznie prążkowanych; po związaniu jonów wapnia zmienia swoją strukturę przestrzenną, odsłaniając fragmenty aktyny, przez które łączy się z miozyną

Film samouczek

Polecenie 1

„Skurcz mięśnia szkieletowego jest procesem aktywnym i wymaga nakładu energii, której bezpośrednim źródłem jest ATP. Zapas ATP w wypoczętym mięśniu wystarcza na ok. 1–2 s, dlatego ten związek musi być stale odnawiany. Zmęczenie mięśni, poza subiektywnym odczuciem, przejawia się spadkiem szybkości i siły ich skurczu.

Mechanizm zmęczenia mięśni nie został w pełni wyjaśniony, ale decydującą rolę wydają się odgrywać dwa czynniki: kumulacja protonów (spadek pH) w sarkoplazmie włókien mięśniowych oraz spadek zawartości ATP na skutek znacznej przewagi jego zużycia nad produkcją.”

Na podstawie: *Fizjologia człowieka z elementami fizjologii stosowanej i klinicznej*, pod red. W.Z. Traczyka i A. Trzebskiego, Warszawa 2001.

Źródło: CKE, domena publiczna.

Trwa wczytywanie danych ..

Przemiany biochemiczne zachodzące w mięśniach w czasie skurczu

Film dostępny pod adresem </preview/resource/R1TdyOgrXph1H>

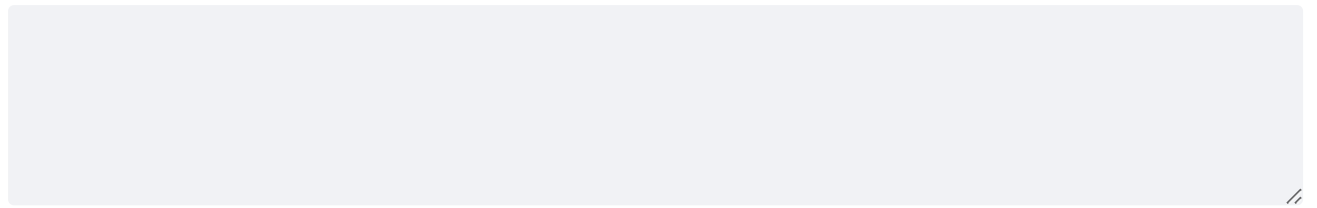
Przemiany biochemiczne zachodzące w mięśniach w czasie skurczu.

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

Film pod tytułem "Przemiany biochemiczne zachodzące w mięśniach w czasie skurczu".




Polecenie 2

Przedstaw bezpośrednie źródła energii wykorzystywane do skurczu mięśni.



Polecenie 3

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Wskaż prawdziwe i fałszywe stwierdzenia.

	Prawda	Fałsz
Źródłem ATP w miocytach może być fosfokreatyna lub dwie cząsteczki ADP.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rozkład fosfokreatyny katalizuje enzym – kinaza kreatynowa.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Uwolnienie energii z dwóch cząsteczek ADP zachodzi bez udziału enzymu.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ćwiczenie 2



Ćwiczenie 3



Zaznacz wszystkie prawidłowe sformułowania dotyczące włókien mięśniowych typu I.

- Zawierają wiele mitochondriów.
- Nie zawierają mitochondriów.
- Mają duże stężenie mioglobiny.
- Inaczej są nazywane włóknami białymi.
- Inaczej są nazywane włóknami czerwonymi.
- Energię do skurczu czerpią z procesów oddychania tlenowego.
- Cechuje je szybki i długotrwały skurcz.
- Charakteryzują się powolnym narastaniem siły skurczu.
- Są wytrzymałe i odporne na zmęczenie.

Ćwiczenie 4



Uporządkuj w odpowiedniej kolejności przemiany podczas skurczu mięśnia szkieletowego.

- Błona włókna mięśniowego ulega depolaryzacji, a z siateczki sarkoplazmatycznej uwalniają się jony wapnia.
- Główka miozyny łączy się z aktyną i obraca, co powoduje przesunięcie filamentu aktynowego względem filamentu miozynowego.
- Adenozyno-5'-trifosforan rozkłada się i następuje uwolnienie energii.
- Kompleks białkowy troponina-tropomiozyna wiąże jony wapnia, odsłaniając centra aktywne na aktynie.
- Neuron ruchowy pod wpływem impulsu uwalnia acetylocholinę.

Ćwiczenie 5



Przyporządkuj podane stwierdzenia do odpowiedniego typu miocytów.

Mają mniejszą liczbę mitochondriów., Wykorzystują energię wytworzoną w procesach glikolizy oraz fosforylacji oksydacyjnej., Mają większą liczbę mitochondriów., Korzystają głównie z energii wytworzonej podczas glikolizy., Są pobudzane przy maksymalnym skurczu., Są mało odporne na zmęczenie., Zawierają więcej mioglobiny., Cechuje je pośrednia odporność na zmęczenie., Inaczej glikolityczno-tlenowe., Inaczej glikolityczne.

Typ IIA	
Typ IIB	

Ćwiczenie 6



Uzupełnij tekst właściwymi określeniami.

oksydacyjne, magnezu, niskoenergetycznych, ATP, wysokoenergetycznych, ADP, enzymatyczna, glikolityczne, fosfokreatyna, aktynowych, samoistna, miozynowych, głów, ogonów, wapnia

Procesy biochemiczne zachodzące podczas pracy mięśni prowadzą do uwolnienia energii z substratów. Bezpośrednim źródłem energii dla mięśnia jest, jednak jego zapas bardzo szybko wyczerpuje się i musi być stale uzupełniany. W pierwszej kolejności wykorzystywana jest do tego zgromadzona w mięśniu W zależności od tego, w jaki sposób odzyskiwane jest zużyte podczas skurczu ATP, komórki mięśniowe dzieli się na wolnokurczące, czyli, oraz szybkokurczące, czyli Skurcz mięśnia polega na przesuwaniu się względem siebie cienkich filamentów i grubych Jony stymulują połączenie miozyny z cząsteczkami aktyny. Jednocześnie następuje hydroliza ATP. Wyzwalana energia chemiczna zamieniana jest w mechaniczne przeciągnięcie filamentów.

Ćwiczenie 7



„(...) Zmianą pośmiertną pomocną przy ustalaniu czasu zgonu jest stężenie pośmiertne (*rigor mortis*). Zjawisko jest powodowane spadkiem stężenia ATP w mięśniach oraz nagromadzeniem kwasu mlekowego i obniżeniem pH, co powoduje skurcz mięśni. Stężenie pojawia się około 2–6 godzin po śmierci i początkowo obejmuje mięśnie twarzy, a w kolejnych godzinach kolejne mięśnie ciała. Zazwyczaj stężenie pośmiertne mija po około 24–48 godzinach, po tym okresie mięśnie ulegają ponownemu rozluźnieniu. Rozwój i czas trwania stężenia w dużej mierze zależy także od warunków otoczenia, niska temperatura może opóźnić wystąpienie objawów *rigor mortis* oraz wydłużać czas jego trwania”.

M. Gryzińska, M. Kowalczyk, P. Listos, *Badanie pośmiertne w aspekcie weterynarii sądowej* [w:] „Życie weterynaryjne”, nr 91 (2), 2016, s. 107.

Wyjaśnij, w jaki sposób niska temperatura może opóźnić i wydłużać wystąpienie objawów stężenia pośmiertnego.

Ćwiczenie 8



„Jony wapnia pełnią podstawową rolę w pobudzaniu i regulacji skurczu komórek mięśnia sercowego. Stężenie wolnego wapnia w cytoplazmie kardiomiocytów i innych komórek jest 10^3 – 10^4 razy mniejsze, niż stężenie wolnego wapnia w przestrzeni wewnątrzkomórkowej (retikulum endoplazmatycznym – RE). Gradient stężeń przez błonę komórkową i błonę RE jest aktywnie utrzymywany przez pompy wapniowe zależne od ATP zlokalizowane w tych błonach. W trakcie inicjacji skurczu dochodzi do napływu Ca^{2+} do cytoplazmy poprzez kanały w błonie komórkowej i w błonie RE. Po aktywacji komórka mięśniowa przechodzi w stan spoczynku i w okresie rozkurczu, w wyniku aktywnego transportu jonów wapnia przez pompy wapniowe, zostaje przywrócone niskie stężenie Ca^{2+} w cytoplazmie.”

A. Dembińska-Kieć, B. Kieć-Wilk, M. Kwaśniak, P. Petkow-Dimitrow, *Rola zaburzonej gospodarki jonami wapnia w etiopatogenezie rozwoju przerostu mięśnia sercowego*, „Kardiologia Polska”, nr 67 (12), 2009, s. 1396.

Dla nauczyciela

Autor: Anna Juwan

Przedmiot: Biologia

Temat: Przemiany biochemiczne zachodzące w mięśniach w czasie skurczu

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):

- Omówisz przemiany zachodzące w mięśniach w zależności od źródła ATP i typu włókien mięśniowych.
- Scharakteryzujesz typy włókien mięśniowych.
- Przedstawisz fazy skurczu mięśnia szkieletowego.

Strategie nauczania:

- konstruktywizm;
- konektywizm;
- nauczanie wyprzedzające.

Metody i techniki nauczania:

- z użyciem komputera;
- rozmowa kierowana;
- analiza materiału źródłowego (porównawcza);
- ćwiczenia interaktywne.

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;
- kartki;
- tekturowe pudełko z otworem („urna”).

Przed lekcją:

1. Uczniowie samodzielnie poszukują informacji związanych z tematem lekcji i przygotowują je na zajęcia.

Przebieg lekcji

Faza wstępna:

1. Prowadzący lekcję wyświetla treści z sekcji „Wprowadzenie”. Informuje uczniów o planowanym przebiegu lekcji i przedstawia kryteria sukcesu.
2. **Rozmowa wprowadzająca.** Nauczyciel inicjuje rozmowę, korzystając z pytań postawionych we wprowadzeniu: „Co dzieje się w mięśniach w czasie skurczu? W jaki sposób dochodzi do niego?”.

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. Praca z multimedium („Film samouczek”).** Uczniowie w zespołach dwuosobowych zapoznają się z treścią polecenia nr 1 i wspólnie rozwiązują zadanie. Pary wskazane przez nauczyciela prezentują swoje odpowiedzi i uzasadniają je. Następnie nauczyciel wyświetla film pt. *Przemiany biochemiczne zachodzące w mięśniach w czasie skurczu*, a uczniowie sprawdzają, czy ich rozumowanie prowadzące do rozwiązania zadania było prawidłowe.
- 3. Utrwalanie wiedzy i umiejętności.** Uczniowie wykonują ćwiczenia od 1 do 4 (sprawdzające podstawową wiedzę dotyczącą tematu lekcji) w sekcji „Sprawdź się”. Nauczyciel sprawdza poprawność wykonanych zadań, omawiając je wraz z uczniami.
- 4.** Nauczyciel wyświetla ćwiczenie nr 7 i dzieli klasę na czteroosobowe grupy. Uczniowie zapoznają się z przytoczonym w zadaniu tekstem poświęconym zagadnieniu stężenia pośmiertnego, a następnie wspólnie przygotowują wyjaśnienie, w jaki sposób niska temperatura może wpływać na wystąpienie objawów stężenia. Po upływie czasu wyznaczonego przez nauczyciela grupy konfrontują swoje odpowiedzi, po czym nauczyciel wyświetla poprawne rozwiązanie zadania i w razie potrzeby odpowiada na pytania uczniów.

Faza podsumowująca:

- 1. Podsumowanie lekcji.** Nauczyciel zadaje uczniom pytania: „Na czym polega mechanizm ślizgowy?”, „Jakie są bezpośrednie źródła energii wykorzystywane do skurczu mięśni?”, „Dlaczego dopiero po 20-minutowej aktywności ludzki organizm zaczyna spalać tłuszcz?”, „Ile wyróżnia się faz skurczu mięśnia i jakie procesy przebiegają w każdej z nich?”, „Jakie są rodzaje miocytów i czym się charakteryzują?”.
- 2.** Nauczyciel prosi uczniów o rozwinięcie zdań: „Dziś nauczyłem/nauczyłam się...”, „Zrozumiałem/zrozumiałam, że...”, „Zaskoczyło mnie...”, „Dowiedziałem/dowiedziałam się...”.

Praca domowa:

1. Dla wszystkich: wykonaj ćwiczenia nr 5 i 6.
2. Dla chętnych: Wykonaj ćwiczenie nr 8.

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 filmu samouczka:

Film samouczek pt. *Przemiany biochemiczne zachodzące w mięśniach w czasie skurczu* może zostać wykorzystany także na innych lekcjach poświęconych tematowi mięśni szkieletowych.