


# KURS
# „BIOLOGIA POD KLUCZ"

## UKŁAD MIĘŚNIOWY

*Prezentacja jest chroniona prawnie przed kopiowaniem bez pisemnej zgody autora i stanowi „utwór" i w myśl Ustawy z dnia 4 lutego 1994 r. o prawie autorskim i prawach pokrewnych (Dz. U. z 1994 r., Nr 24, poz. 83 z późn. zm.).*

# PODSTAWA PROGRAMOWA 2025




1. Opisuje współdziałanie mięśni, ścięgien, stawów i kości w ruchu człowieka.
2. Przedstawia budowę mięśnia szkieletowego (filamenty aktynowe i miozynowe, miofibrylla, włókno mięśniowe, brzusiec mięśnia).
3. Wyjaśnia, na podstawie schematu, molekularny mechanizm skurczu mięśnia.
4. Przedstawia sposoby pozyskiwania ATP niezbędnego do skurczu mięśnia.
5. Przedstawia antagonizm i współdziałanie mięśni w wykonywaniu ruchów.
6. Wyjaśnia wpływ odżywiania się (w tym suplementacji) i aktywności fizycznej na rozwój oraz stan mięśni człowieka.
7. Przedstawia wpływ substancji stosowanych w dopingu na organizm człowieka.

# CZYNNY UKŁAD RUCHU




Mięśnie szkieletowe stanowią **część czynną układu ruchu**, ponieważ są zdolne do kurczenia się i rozkurczania.

Dzięki ich przymocowaniu do kości za pomocą ścięgien możliwe jest „ciągnięcie” kości za kurczącym się mięśniem i wykonanie określonego ruchu.

# FUNKCJE MIĘŚNI




Mięśnie umożliwiają:

- motorykę organizmu, kończyn i narządów wewnętrznych,
- przepływ płynów ciała,
- utrzymanie prawidłowej postawy ciała,
- termogenezę drżeniową (wytwarzanie ciepła w organizmie).

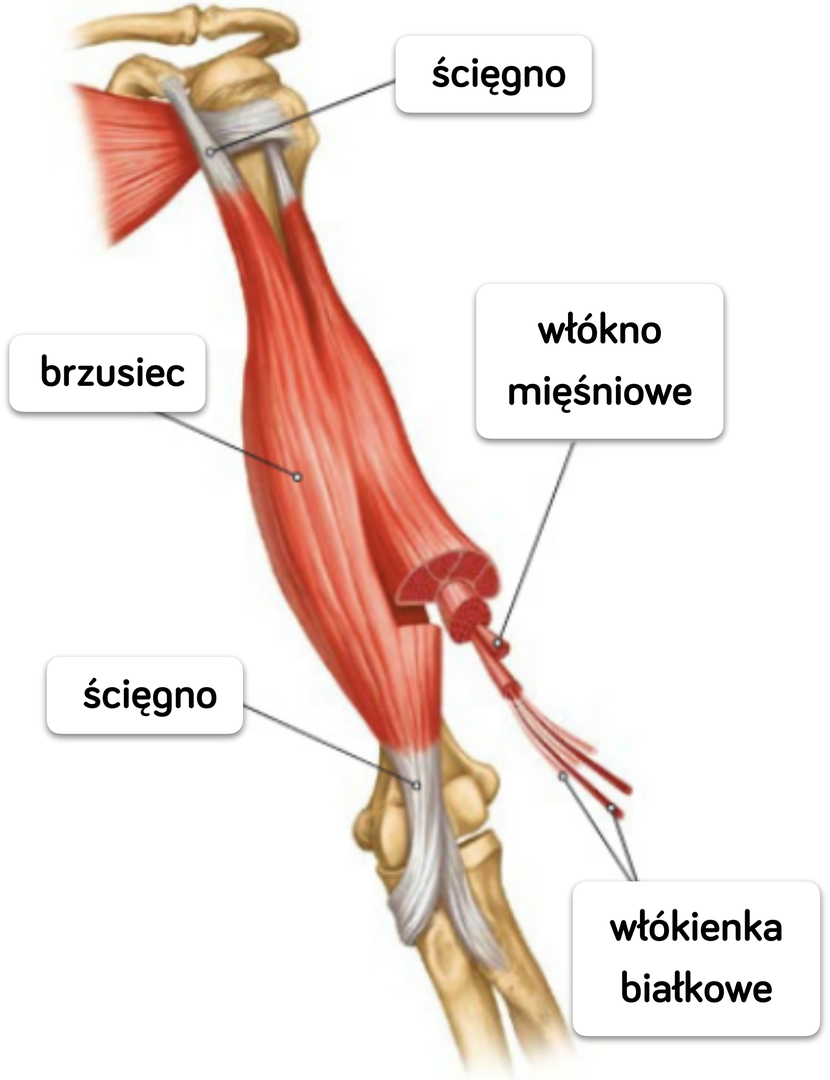



# BUDOWA MIĘŚNIA SZKIELETOWEGO

# BUDOWA MIĘŚNIA SZKIELETOWEGO

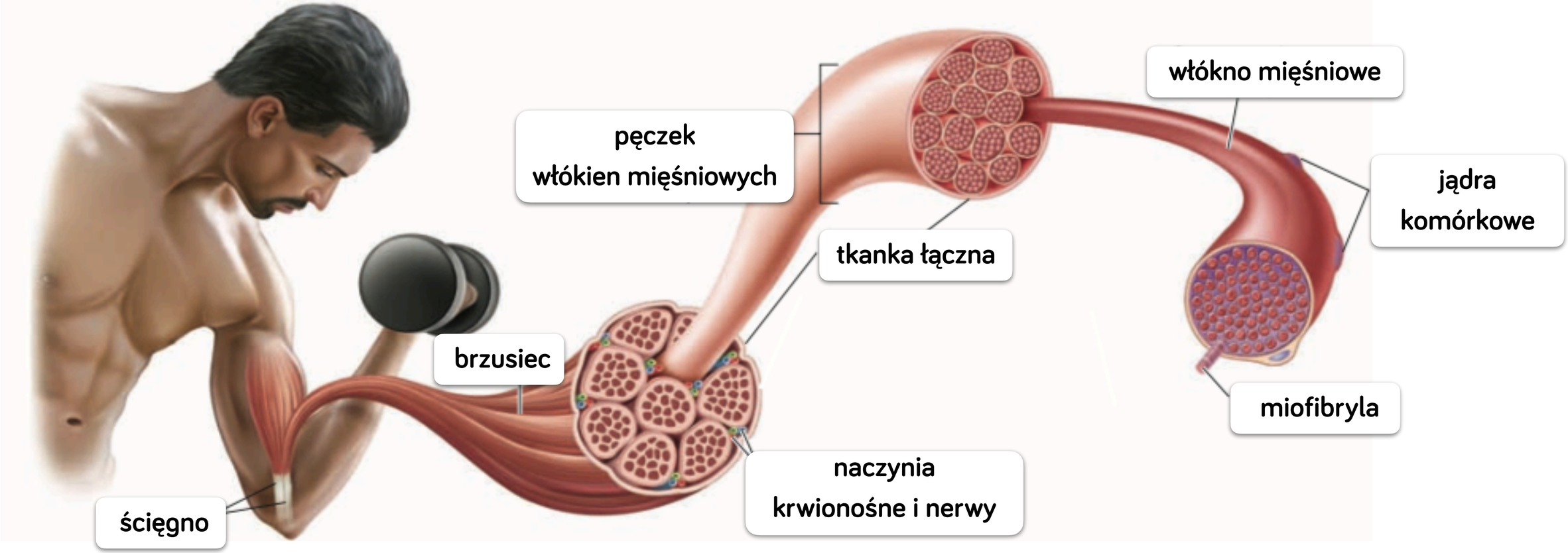
Mięsień szkieletowy jest zbudowany z kurczliwego **brzuśca**, który jest przytwierdzony do kości za pomocą niekurczliwych pasm tkanki łącznej, czyli **ścięgien**.

Czasami brzusiec jest podzielony na części, tzw. **głowy**.



# HIERARCHICZNA BUDOWA MIĘŚNIA

**Brzusiec** składa się z **pęczków** włókien mięśniowych oddzielonych tkanką łączną. Wnętrze włókna mięśniowego wypełniają **miofibryle,** zbudowane z **miofilamentów cienkich i grubych**.



# HIERARCHICZNA BUDOWA MIĘŚNIA




brzusiec

↓

pęczki włókien mięśniowych

↓

włókno mięśniowe

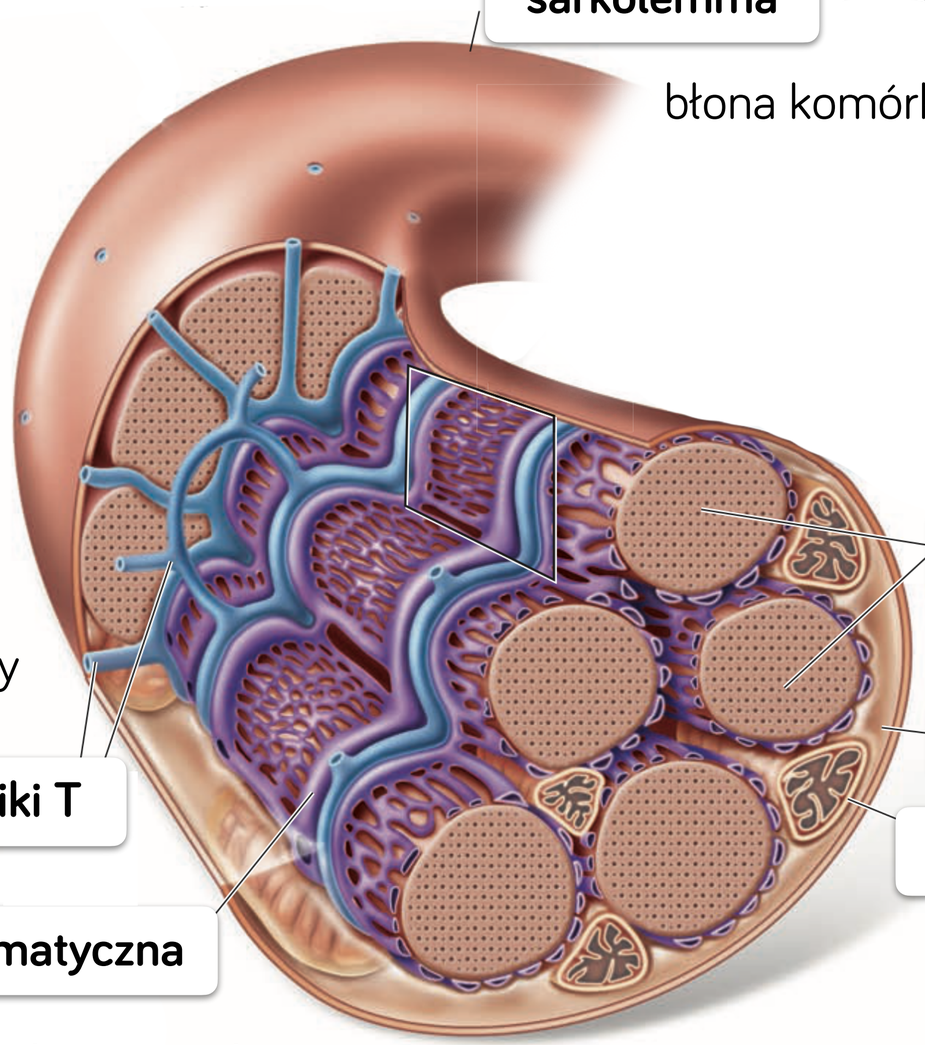
↓

miofibryla

↓

miofilamenty cienkie i grube

# BUDOWA WŁÓKNA MIĘŚNIOWEGO



**sarkolemma** → błona komórkowa komórek mięśniowych

**miofibryle (filamenty cienkie i grube)**

**cytozol**

**mitochondrium**

rurkowate wpuklenia sarkolemmy ← **kanaliki T**

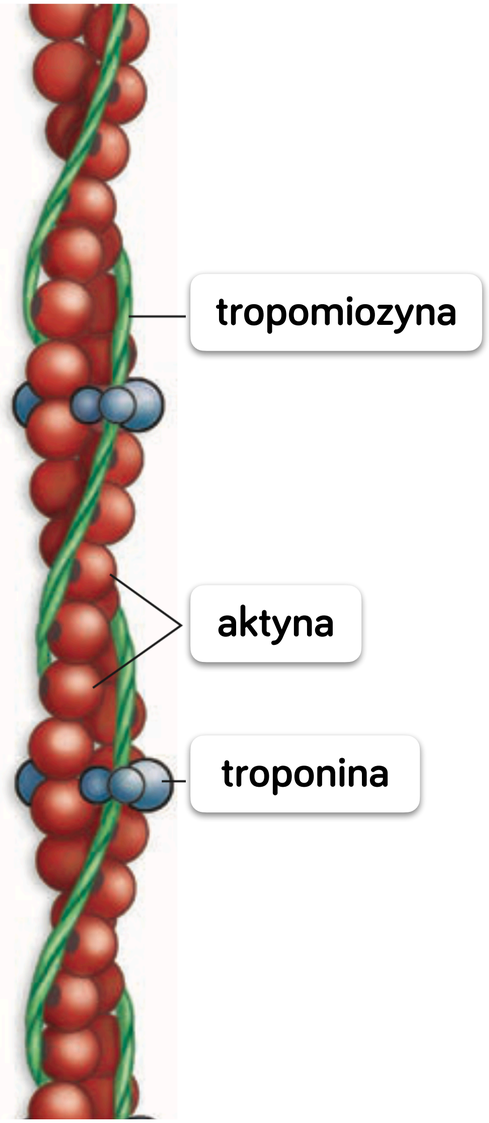
**siateczka sarkoplazmatyczna** → siateczka gładka, która magazynuje jony wapnia

# MIOFILAMENTY CIENKIE (AKTYNOWE)

W skład miofilamentów cienkich wchodzą białka:

- aktyna,
- troponina,
- tropomiozyna.

**Aktyna** posiada zdolność do polimeryzacji i tworzy pałeczkowate łańcuszki. Filament cienki składa się z dwóch owiniętych wokół siebie łańcuchów aktyny. W rowkach między łańcuchami aktyny umieszczone są cieńsze nitki **tropomiozyny**. Do każdej cząsteczki tropomiozyny dołączona jest cząsteczka trzeciego białka - **troponiny**. To białko o zdolności wiązania jonów **wapnia** odgrywa kluczową rolę w mechanizmie skurczu mięśnia.



# MIOFILAMENTY GRUBE (MIOZYNOWE)

Miozyna jest białkiem wielkocząsteczkowym zbudowanym z **sześciu** łańcuchów polipeptydowych: dwóch łańcuchów ciężkich i dwóch par łańcuchów lekkich.

Część wydłużona nazywa się **ogonem**, a część globularna tworzy **główki** znajdujące się na samym końcu cząsteczki.



# POPRZECZNE PRĄŻKOWANIE



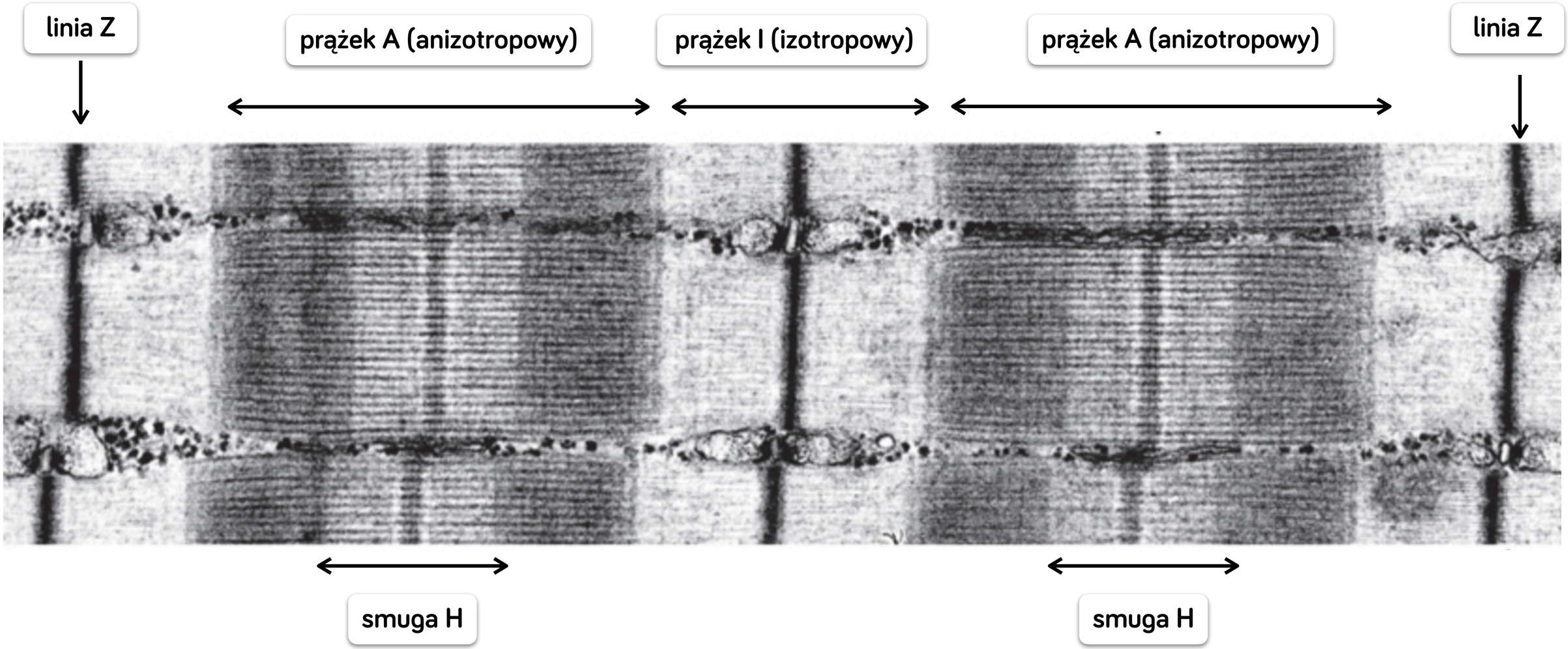

Miofibryle oglądane pod mikroskopem polaryzacyjnym wykazują **poprzeczne prążkowanie**, spowodowane różnym sposobem załamywania światła przez aktynę i miozynę.

Odcinki miofibryli, w których występuje **miozyna i aktyna**, to prążki **ciemne** (**anizotropowe** - **A**), natomiast odcinki miofibryli, w których występuje **aktyna**, a nie występuje miozyna, to prążki **jasne** (**izotropowe** - **I**).

W obrębie prążka A wyróżnia się **smugę H**, czyli obszar zajmowany **wyłącznie przez miofilamenty miozynowe.**

**Linia Z** to linia, do której przyłączone są filamenty cienkie, wyznacza granice sarkomeru.

# POPRZECZNE PRĄŻKOWANIE

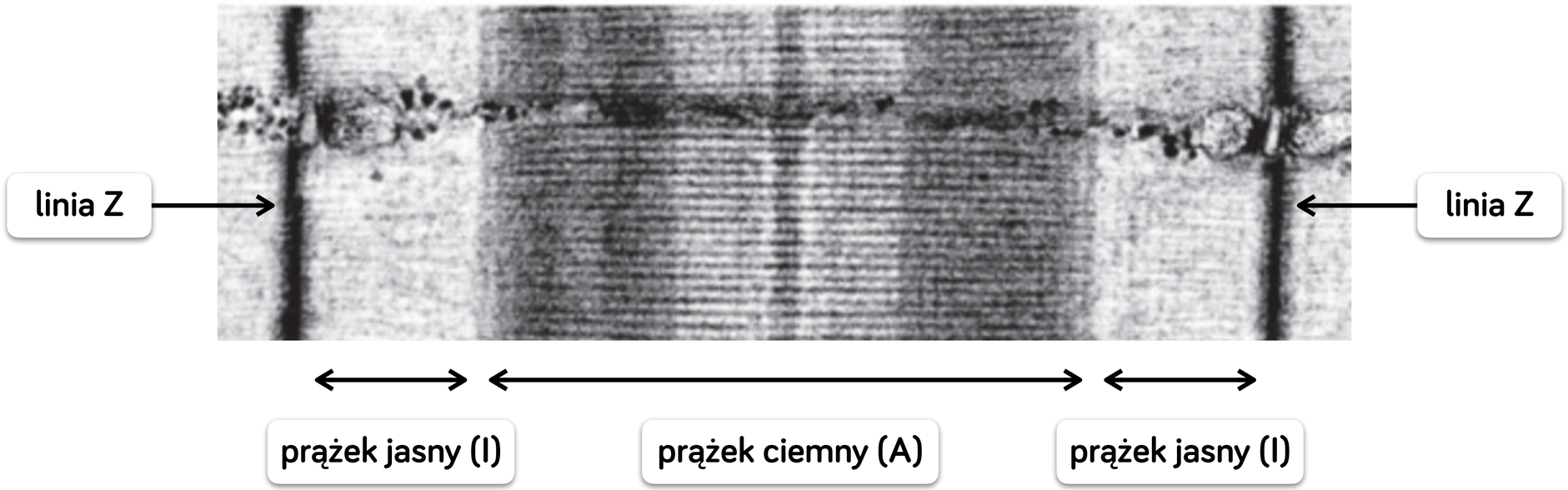


# SARKOMER

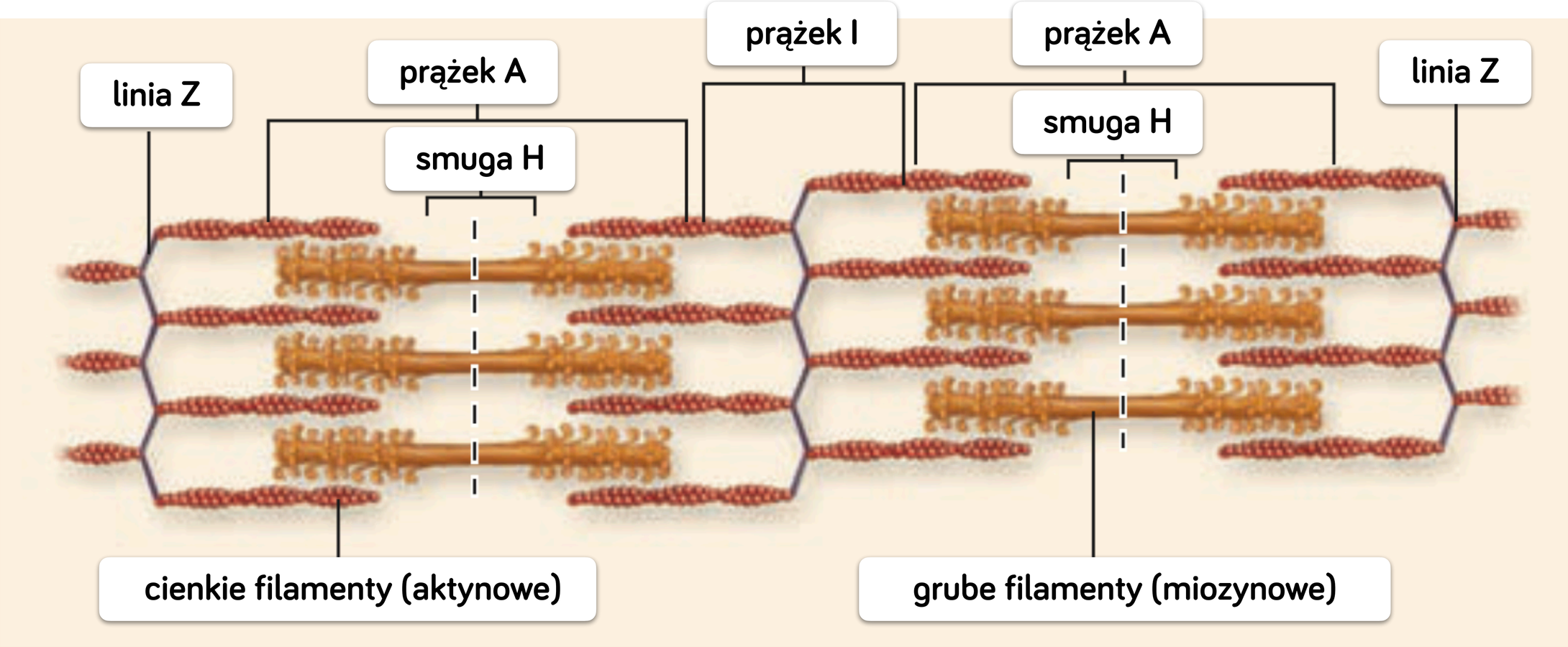
**Sarkomer** to podstawowa jednostka kurczliwa komórki tkanki mięśniowej poprzecznie prążkowanej.

Sarkomer stanowi odcinek miofibryli ograniczony z obu stron **liniami Z**, i składają się na niego:

**pół prążka jasnego (½ I)** + **prążek ciemny (A)** + **pół prążka jasnego (½ I)**

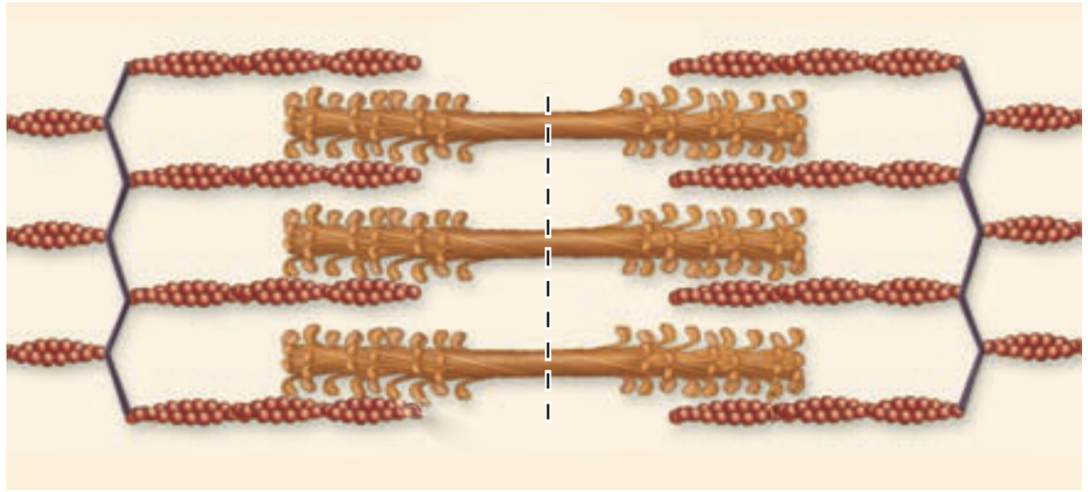


# SARKOMER

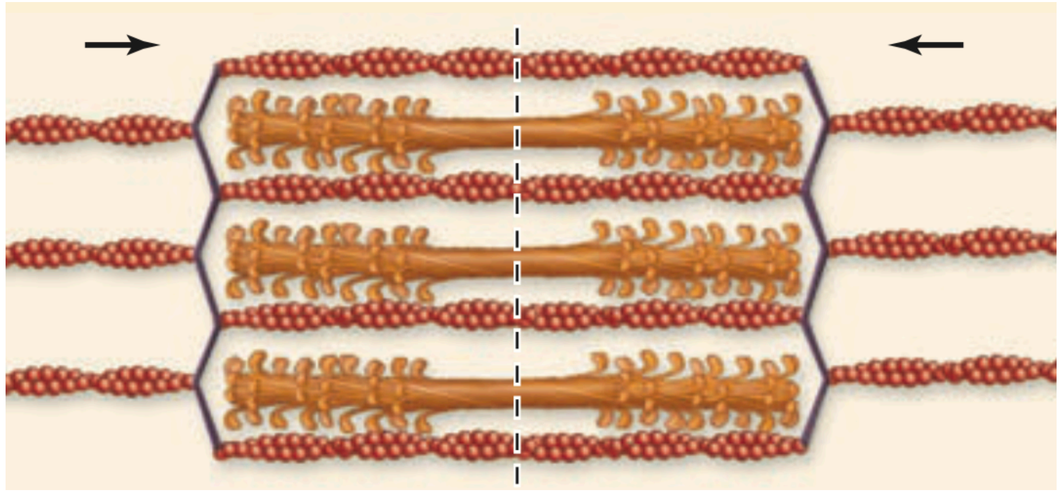

linia Z
prążek A
prążek I
smuga H
prążek A
smuga H
linia Z
cienkie filamenty (aktynowe)
grube filamenty (miozynowe)

# SARKOMER W SKURCZU I ROZKURCZU

Podczas skurczu mięśnia miofilamenty aktynowe wślizgują się pomiędzy miofilamenty miozynowe, co powoduje **skrócenie się sarkomeru**. Szerokość odcinka **A** pozostaje **niezmieniona**, natomiast **skracają się** (a w czasie maksymalnego skurczu nawet zanikają) odcinki **I** oraz **H**.



ROZKURCZ



SKURCZ

# ZAPAMIĘTAJ!




Kurczący mięsień **skraca się**, ale długość filamentów cienkich, jak i grubych **nie zmienia się**!

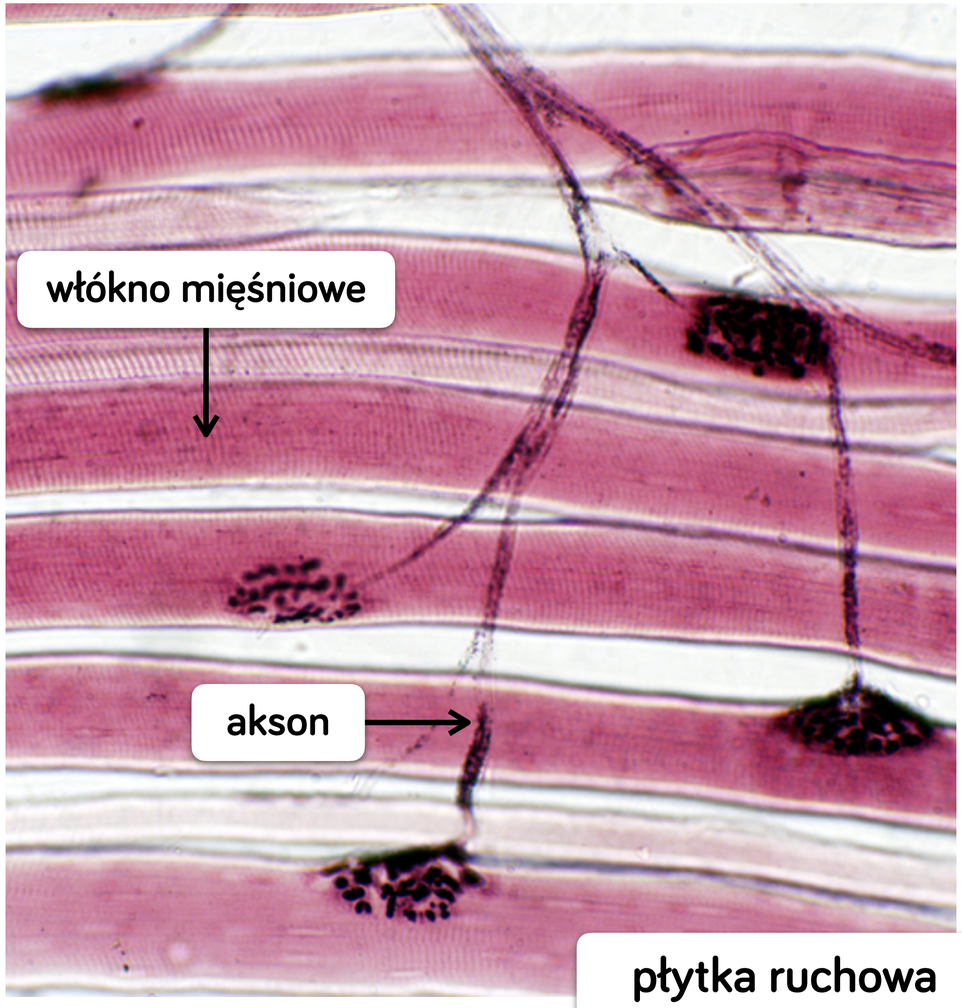



# MECHANIZM SKURCZU MIĘŚNIA

# MECHANIZM SKURCZU MIĘŚNIA SZKIELETOWEGO

Mięśnie szkieletowe kurczą się pod wpływem impulsów nerwowych przesyłanych za pomocą aksonów komórek nerwowych. Rozgałęzienia aksonów docierają do pojedynczych włókien mięśniowych i tworzą z nimi **synapsy nerwowo-mięśniowe** (płytki ruchowe).

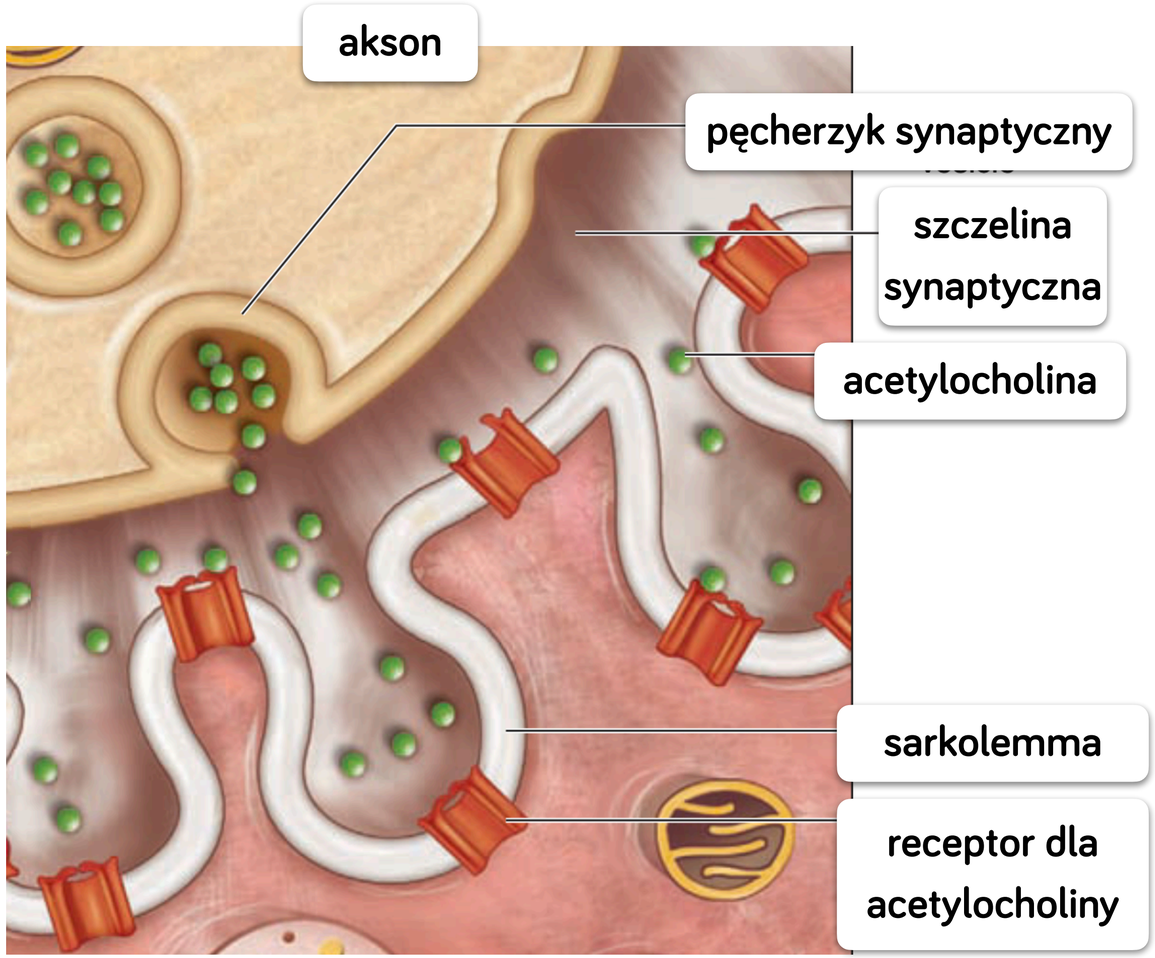
Przekaźnikiem impulsu nerwowego w płytkach ruchowych jest **acetylocholina**.



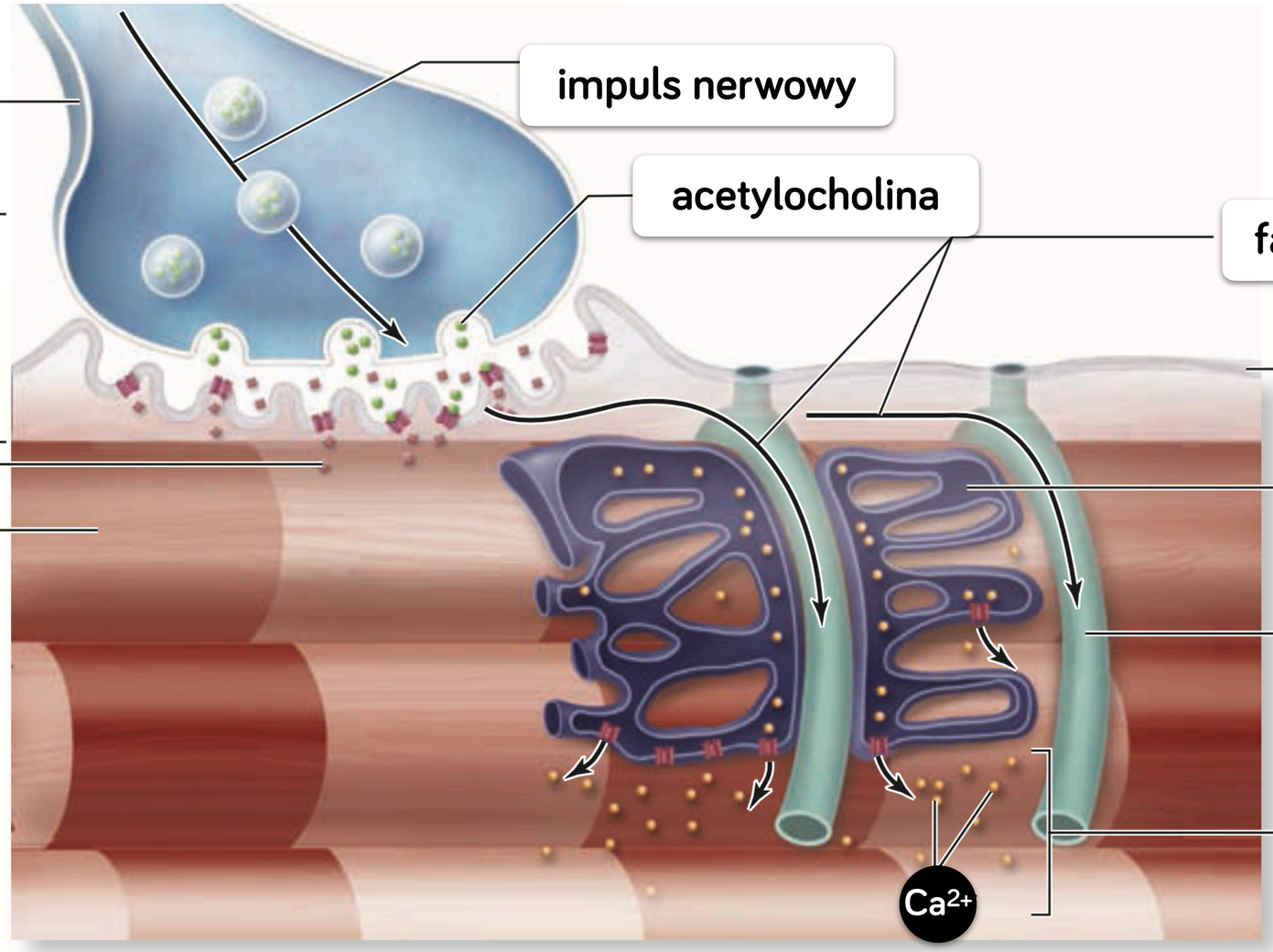
# MECHANIZM SKURCZU MIĘŚNIA SZKIELETOWEGO

Stan pobudzenia jest przekazywany z błony aksonu na na sarkolemmę w wyniku uwolnienia z zakończeń aksonu cząsteczek **acetylocholiny** do szczeliny synaptycznej.

Cząsteczki te łączą się z **receptorami acetylocholinowymi** w sarkolemmie, co wywołuje przekazanie impulsu przez kanaliki T na błony siateczki sarkoplazmatycznej i krótkotrwały wzrost ich przepuszczalności skutkujący **uwolnieniem jonów wapnia** z siateczki do sarkoplazmy.

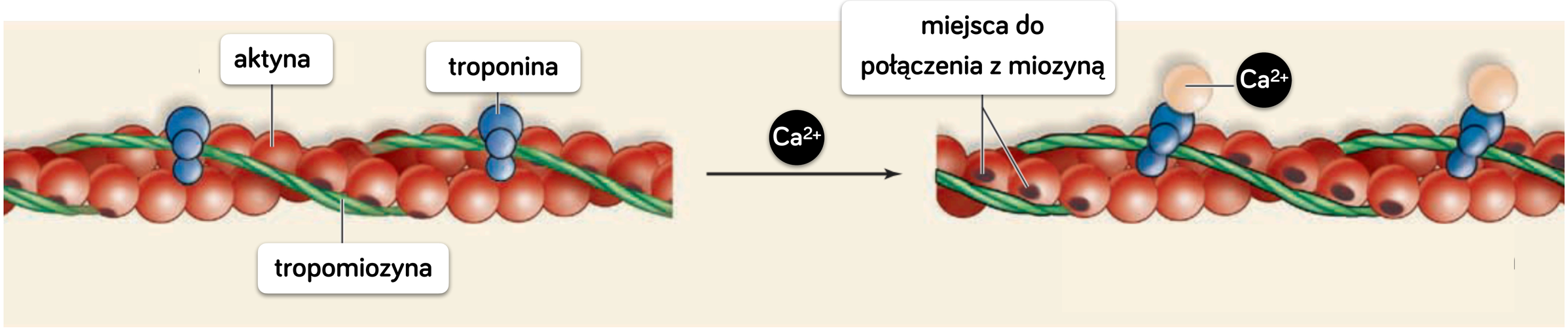


# MECHANIZM SKURCZU MIĘŚNIA SZKIELETOWEGO

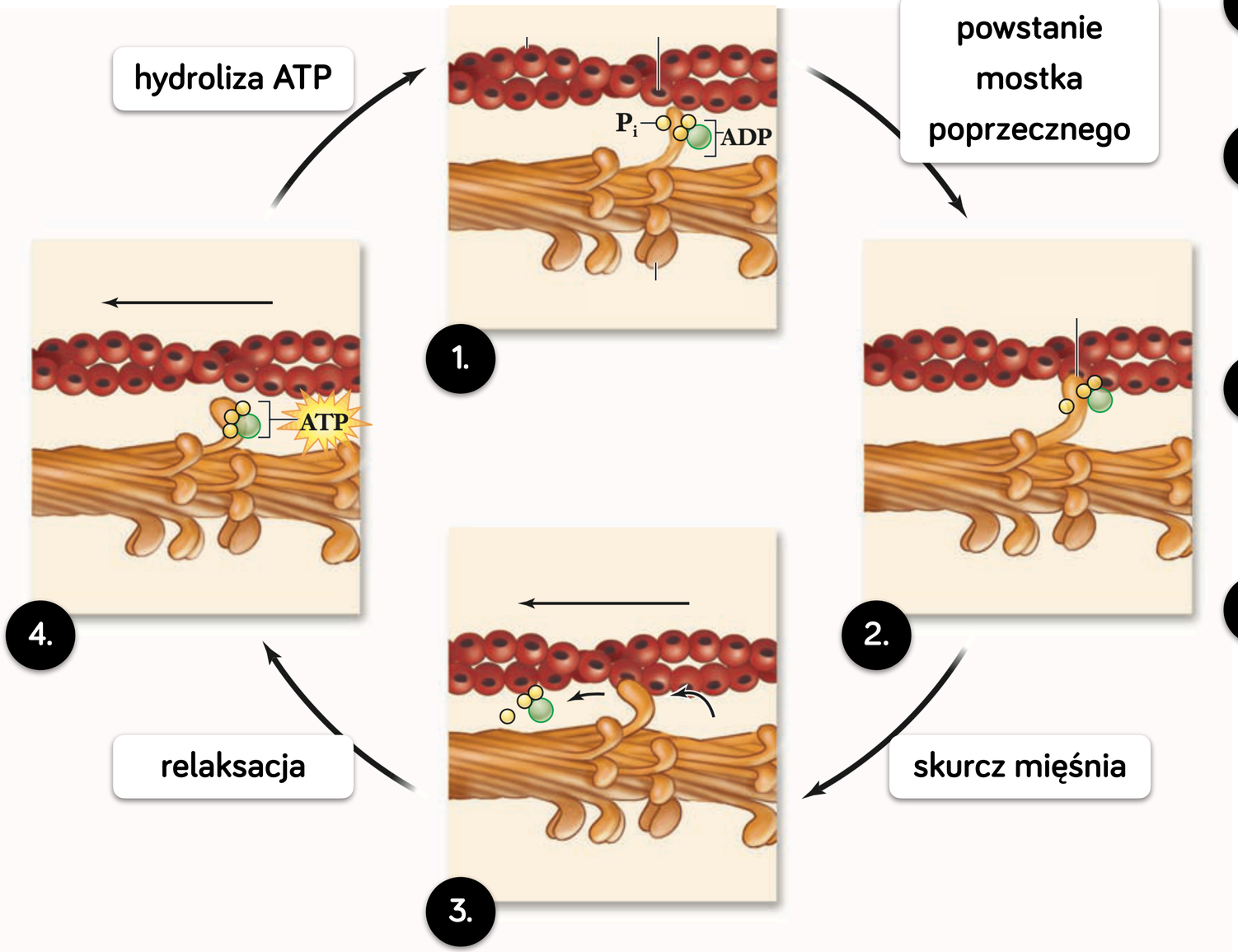


# MECHANIZM SKURCZU MIĘŚNIA SZKIELETOWEGO

**Jony wapnia, wiążąc się z troponiną**, powodują odsunięcie tropomiozyny od aktyny, uwalniając miejsca na aktynie do połączenia z główkami miozyny.



# MOLEKULARNY MECHANIZM SKURCZU MIĘŚNIA




1. Przyłączona do główki miozyny cząsteczka **ATP** ulega hydrolizie do **ADP i Pi**.

2. Następnie główki miozyny przyłączają się do aktyny. Miejsce połączenia nazywa się **mostkiem poprzecznym**.

3. Dochodzi do odłączenia ADP i Pi od główki miozyny, co wywołuje ruch wiosłowy miozyny względem aktyny. Sarkomer się skraca.

4. Po przesunięciu się włókna aktyny, kolejna cząsteczka ATP przyłącza się do główki miozyny, powodując jej odłączenie od aktyny (mostek poprzeczny jest przerwany) i następuje **relaksacja**.

# PRZYSTOSOWANIA WŁÓKNA MIĘŚNIOWEGO DO SKURCZU




- Ogromna ilość **siateczki śródplazmatycznej gładkiej, nazywanej sarkoplazmatyczną,** magazynuje ona **jony wapnia** ($Ca^{2+}$), które są potrzebne do skurczu mięśnia.

- **Kanaliki T** umożliwiają przekazanie pobudzenia na błony siateczki sarkoplazmatycznej, co skutkuje uwolnieniem jonów wapnia z siateczki do sarkoplazmy.

- Ogromna liczba **jąder komórkowych** zlokalizowanych pod sarkolemą - zarządzają metabolizmem włókna mięśniowego.

# PRZYSTOSOWANIA WŁÓKNA MIĘŚNIOWEGO DO SKURCZU

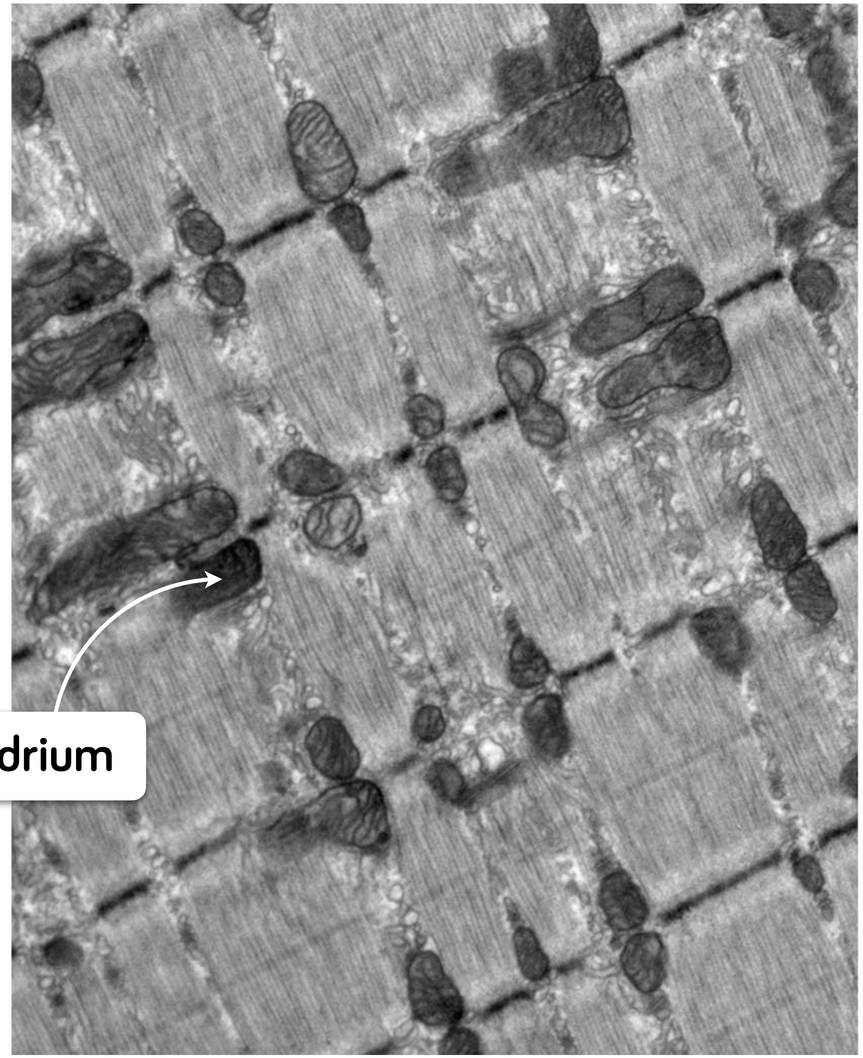


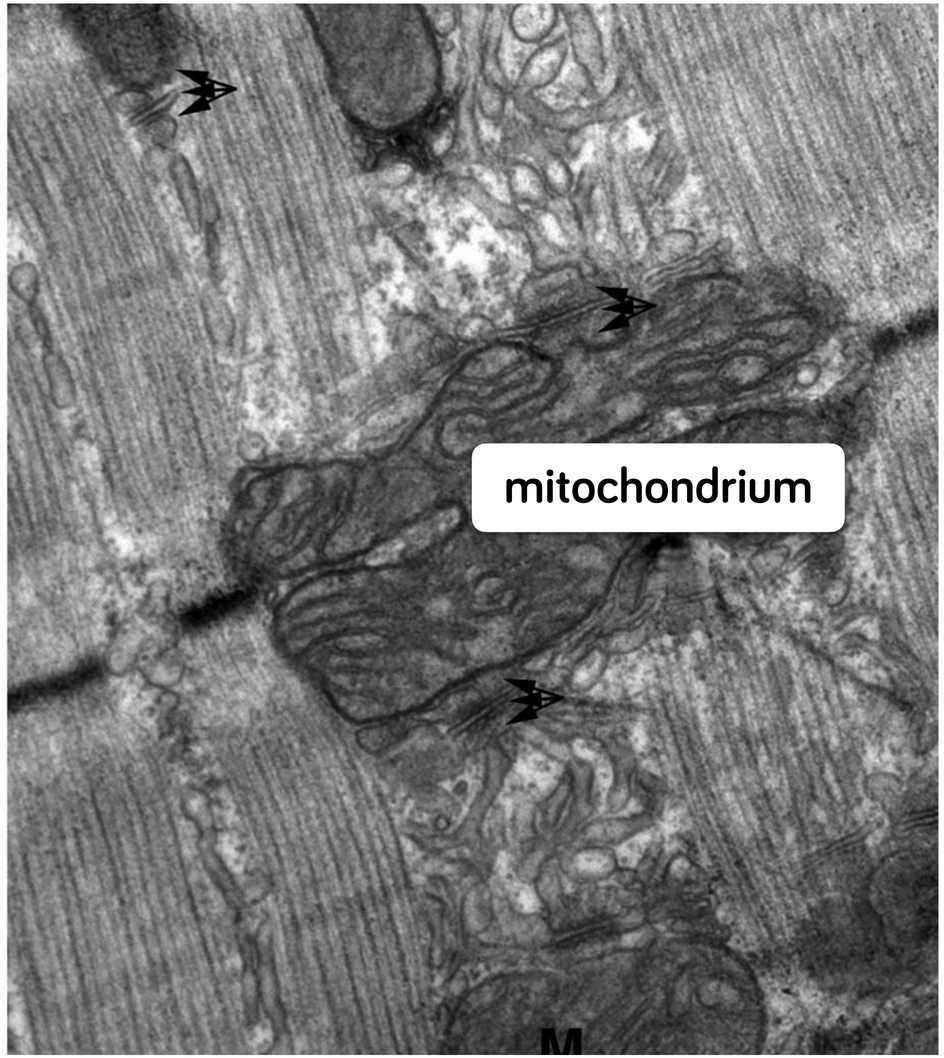

- W **jąderkach** ma miejsce synteza rRNA, będącego składnikiem podjednostek rybosomów. Podjednostki rybosomów tworzą rybosomy, na których zachodzi synteza białek mięśni.

- Ogromna ilość mitochondriów z **silnie rozbudowanymi grzebieniami** mitochondrialnymi, produkują one **duże ilości ATP** niezbędnego do pracy mięśnia.

- Regularne oraz naprzemienne ułożenie miofilamentów aktynowych i miozynowych pozwala skracać sarkomery.

# PRZYSTOSOWANIA WŁÓKNA MIĘŚNIOWEGO DO SKURCZU



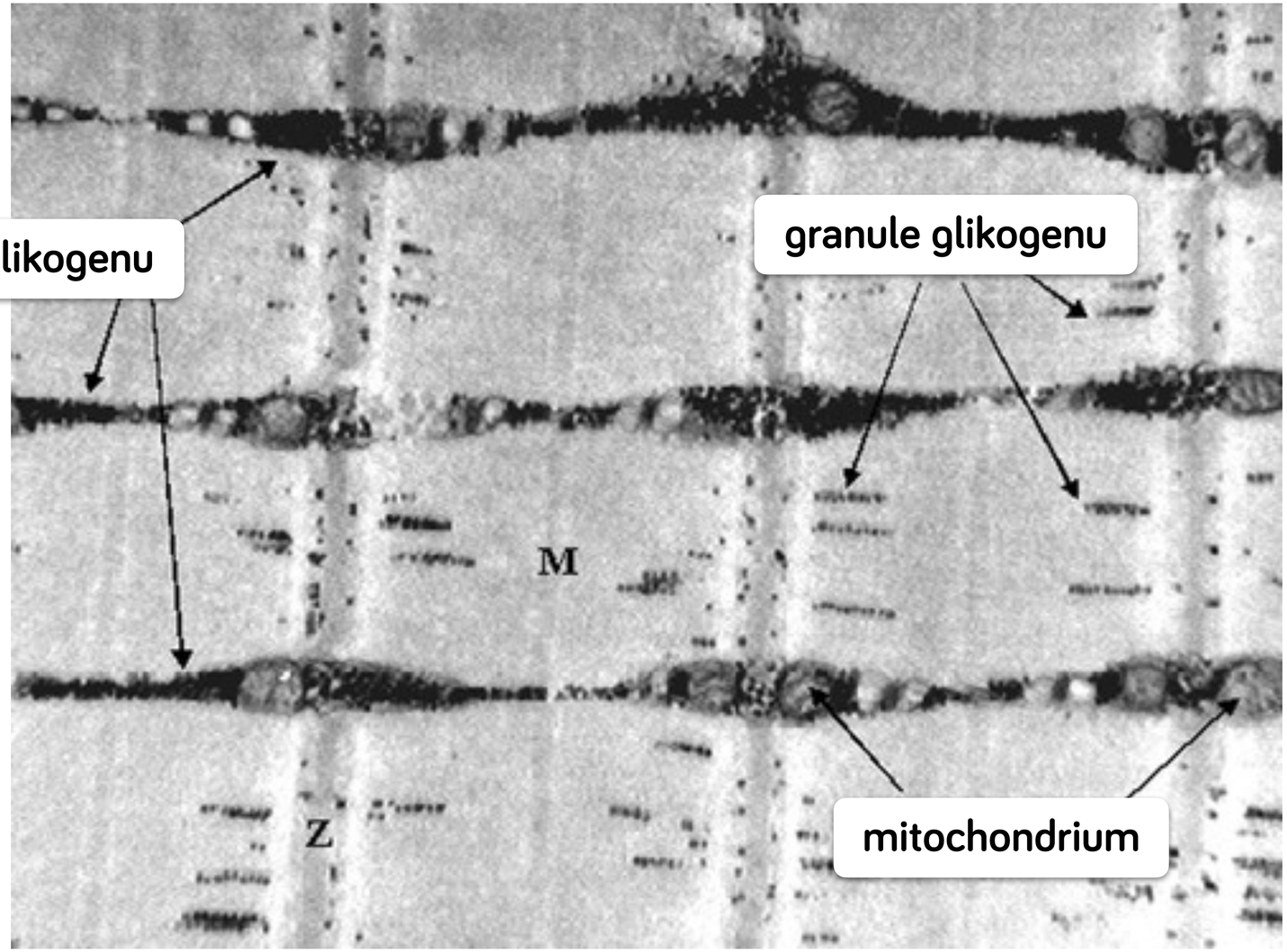



# PRZYSTOSOWANIA WŁÓKNA MIĘŚNIOWEGO DO SKURCZU




- Zawierają **fosfokreatynę,** dzięki której możliwa jest resynteza ATP.
- Zawierają **mioglobinę** w sarkoplazmie, która magazynuje tlen, będący substratem oddychania tlenowego zachodzącego w mięśniach.
- W sarkoplazmie magazynują **glikogen**, który dostarcza glukozy - cukru będącym substratem oddychania komórkowego tlenowego.
- Posiadają liczną **sieć włosowatych naczyń krwionośnych** dzięki której możliwe jest dostarczenie mięśniom tlenu, glukozy i wolnych kwasów tłuszczowych niezbędnych do syntezy ATP.

# PRZYSTOSOWANIA WŁÓKNA MIĘŚNIOWEGO DO SKURCZU



# CZĘSTO W ZADANIACH!




Szereg substancji chemicznych może działać na płytkę ruchową. Np. **kurara** wiąże się z receptorami dla acetylocholiny, blokując je i jednocześnie uniemożliwiając przyłączenie do nich acetylocholiny. Skutkuje to **brakiem depolaryzacji** błony postsynaptycznej, czyli sarkolemmy i **brakiem pobudzenia mięśnia** do skurczu.

# CZĘSTO W ZADANIACH!

Kurara używana jest na całym świecie, głównie przez Indian, do zatruwania strzał do łuków, stosowanych podczas polowania zwierząt.

Kurara jest także od wielu lat wykorzystywana w medycynie, a dokładniej w anestezjologii, ze względu na jej działanie zwiotczające mięśnie.






# POZYSKANIE ATP PRZEZ MIĘŚNIE

# ATP

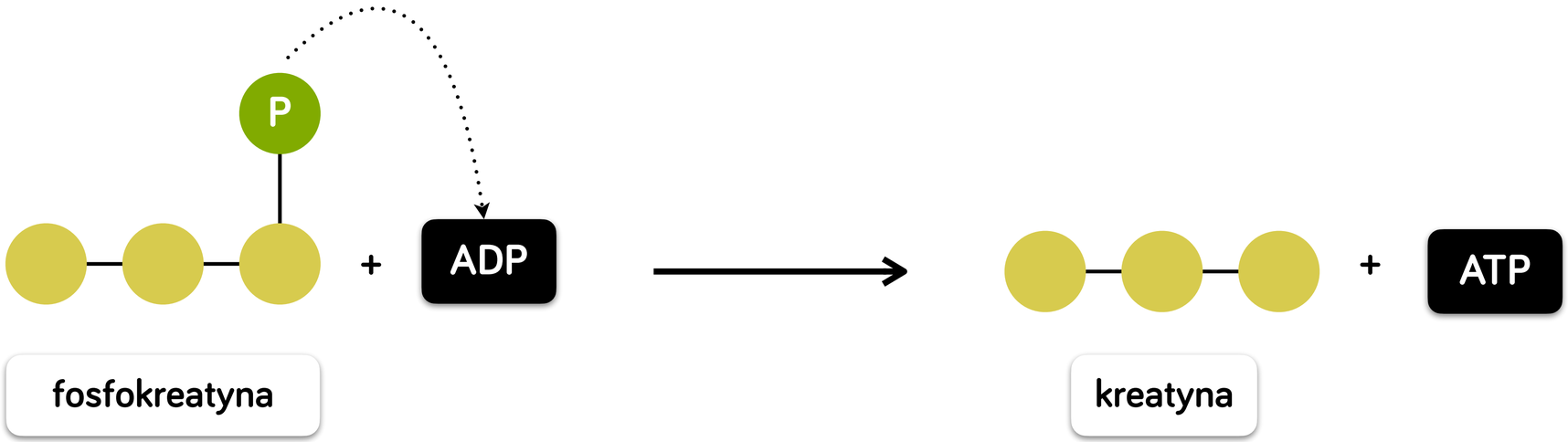



Podstawowym związkiem dostarczającym energię dla pracy mięśni jest **ATP**.

Około 30% wyzwolonej z rozkładu ATP energii wykorzystywane jest do skurczu mięśnia. Reszta rozprasza się w postaci **ciepła**, dlatego w czasie wysiłku fizycznego, gdy termogeneza przez mięśnie jest nasilona, to jest nam „gorąco” i rumienimy się z powodu rozszerzonych naczyń krwionośnych skóry.

# FOSFOKREATYNA

Włókna mięśniowe są bogate w ATP, jednak ze względu na ogrom wykonywanej pracy, ilość dostępnego tego związku zostaje zużyta po jednej sekundzie. Dlatego też włókna zawierają drugi substrat energetyczny, którym jest **fosfokreatyna**.



# GLUKOZA




Po wyczerpaniu zapasów fosfokreatyny, które starczają mięśniom na około 10 sekund intensywnej pracy mięśni, podstawowym źródłem energii staje się dostarczana przez krew **glukoza**. Jest ona utleniania w procesie **oddychania tlenowego** do dwutlenku węgla i wody, czemu towarzyszy produkcja **ATP**.

$$C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 \longrightarrow 6\ CO_2 + 6\ H_2O + \text{ATP}$$

# REZERWY ENERGETYCZNE

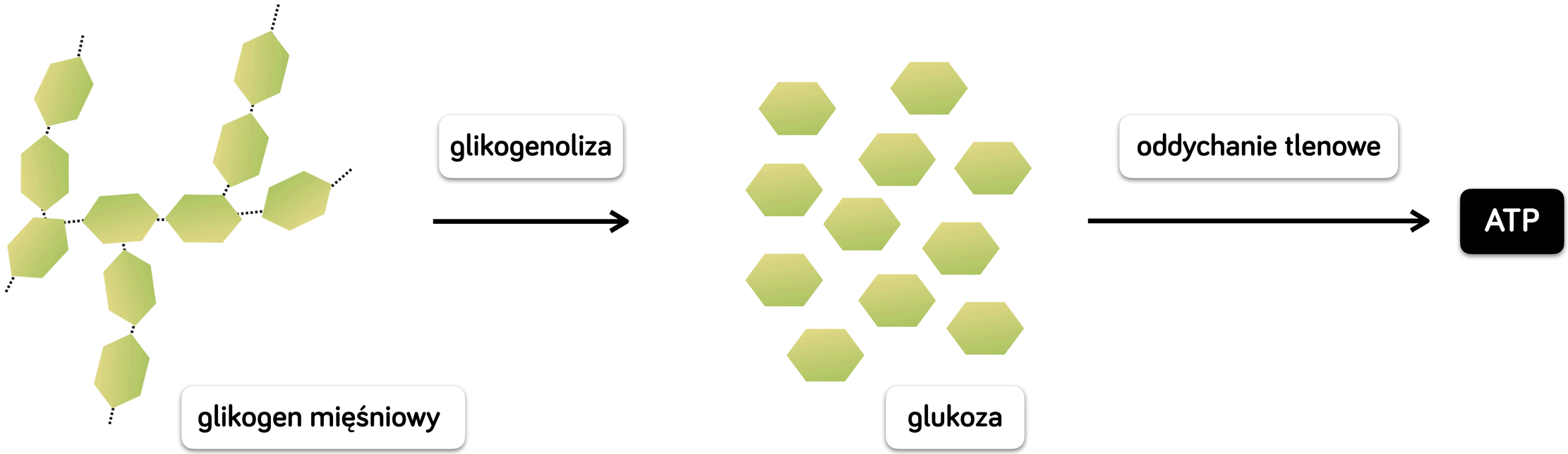



Po okołu kilkunastu minutach pracy mięśni szkieletowych dochodzi do wykorzystania rezerw energetycznych w postaci:

- **glikogenu** - obecnego w mięśniach szkieletowych; jego zapasy starczają na około 25- 40 minut pracy mięśni,
- **tłuszczów** - obecnych w tkance tłuszczowej, np. pod skórą; tłuszcze są zużywane dopiero po około 40 minutach pracy mięśni.

# GLIKOGEN

Mięśnie człowieka w prawidłowych warunkach zawierają znaczne ilości **glikogenu**, który podczas ich pracy rozkładany jest do **glukozy** na drodze **glikogenolizy**. Uwolniona glukoza jest utleniania na drodze **oddychania tlenowego**, czemu towarzyszy produkcja **ATP**.



# DŁUG TLENOWY



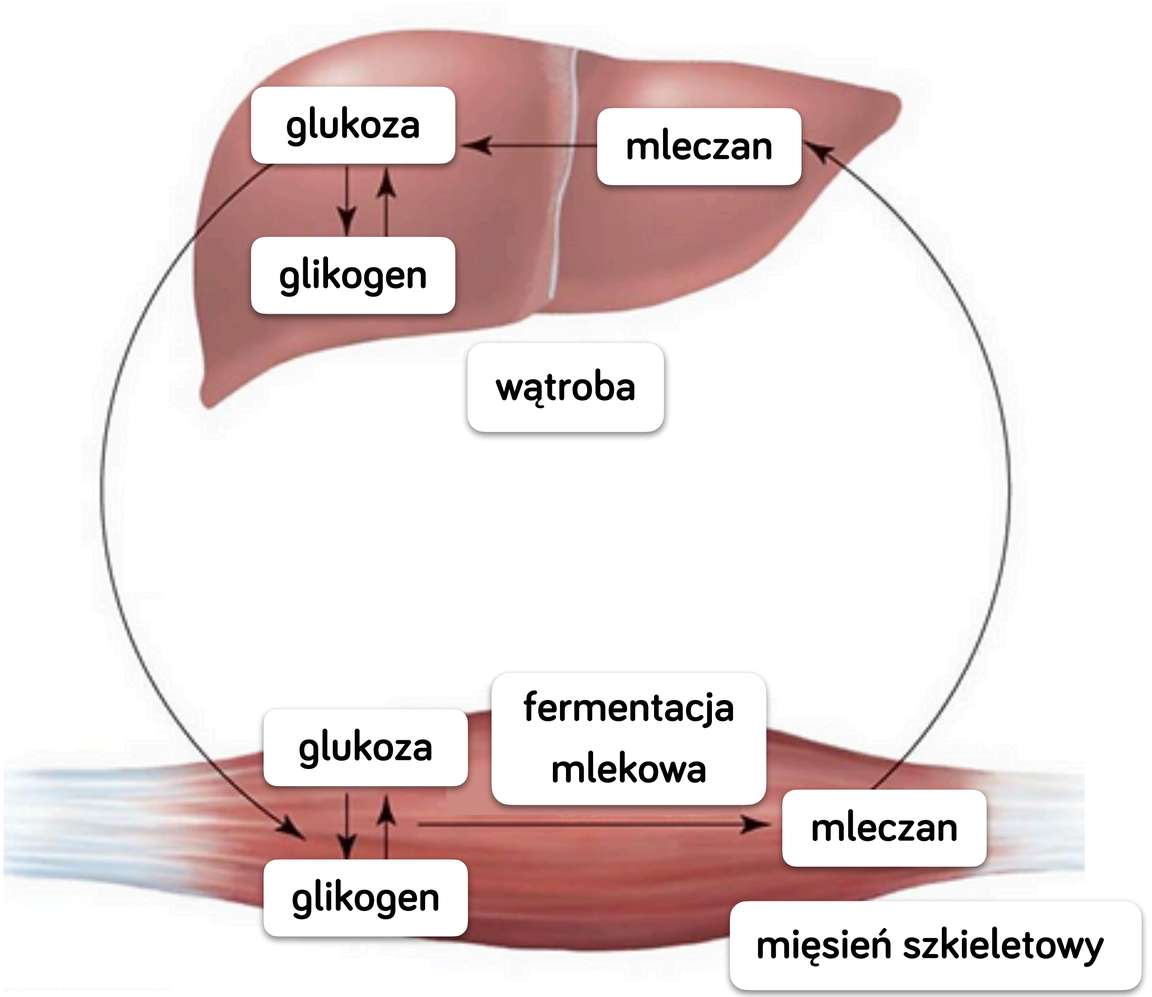

W warunkach intensywnego wysiłku fizycznego podaż tlenu do pracujących mięśni szkieletowych może być niewystarczająca. Rozwija się wtedy tzw. **deficyt tlenowy**, podczas którego mięśnie uzyskują ATP na drodze beztlenowej.

Po zajściu glikolizy (która może przebiegać w warunkach beztlenowych), **pirogronian** w niej powstający ulega redukcji do **kwasu mlekowego** - **mleczanu**. Cały ten proces nosi nazwę **fermentacji mlekowej**. Zysk energetyczny jest niewielki, gdyż są to zaledwie 2 cząsteczki ATP.

# CYKL CORICH

Nagromadzenie kwasu mlekowego w mięśniu szkieletowym powoduje **spadek pH** sarkoplazmy.

Kwas mlekowy z mięśni szkieletowych jest transportowany przez krew do **wątroby**. Tam jest przekształcany do **pirogronianu** i potem do **glukozy**.






# ANTAGONIZM I SYNERGIZM MIĘŚNI

# MIĘŚNIE ANTAGONISTYCZNE

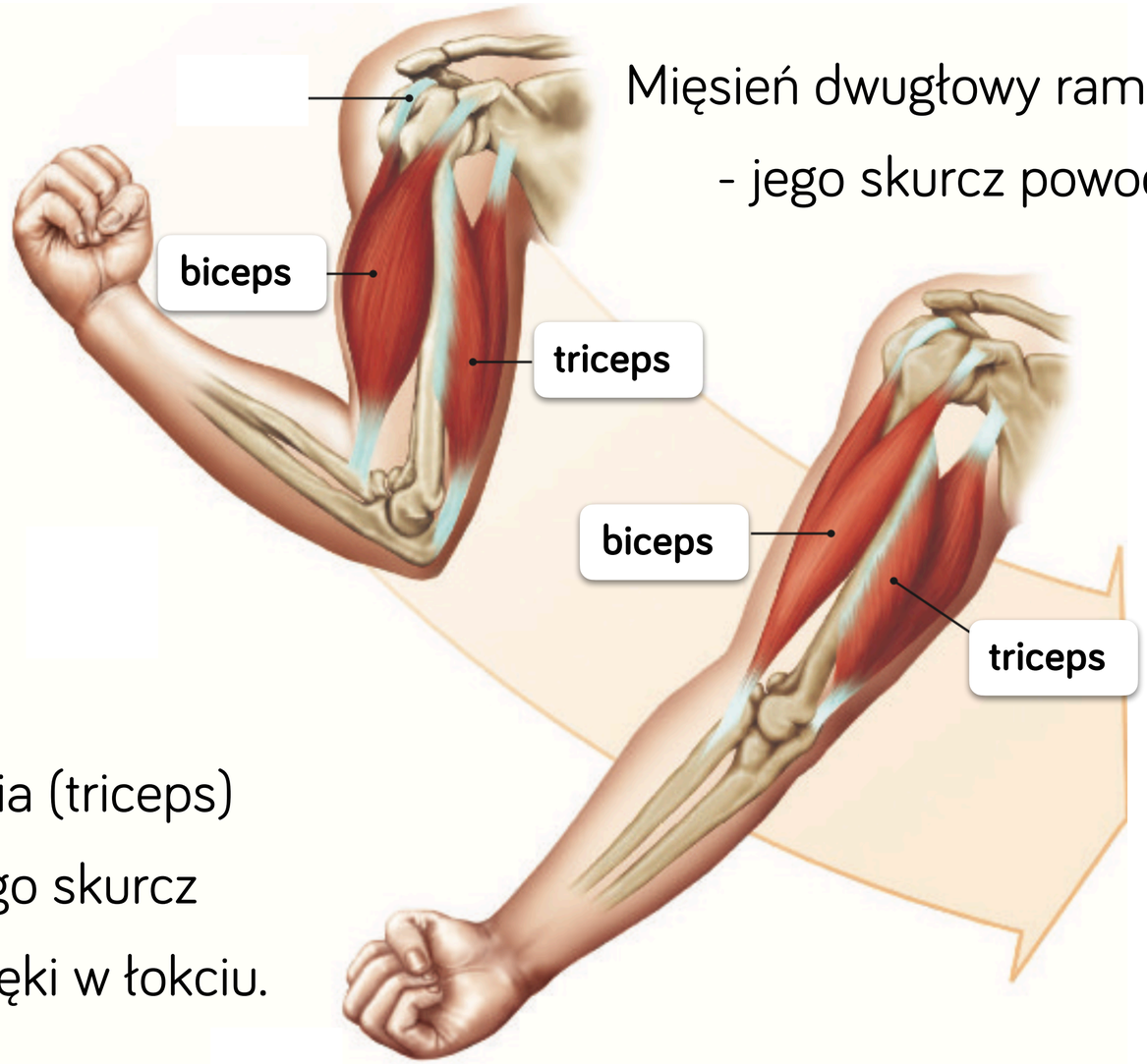



Mięśnie **antagonistyczne** to te, które wykonują **przeciwstawne do siebie czynności**. Jeden z nich odpowiada za wykonanie **skurczu**, natomiast drugi znajduje się wówczas w stanie **rozkurczu**.

Przykładem mogą być:

- **biceps** i **triceps**, gdzie biceps odpowiada za **zginanie**, a triceps za **prostowanie** stawu łokciowego.
- **mięsień dwugłowy uda**, który odpowiada za **zginanie** i mięsień **czworogłowy uda**, który odpowiada za **prostowanie** stawu kolanowego.

# MIĘŚNIE ANTAGONISTYCZNE




Mięsień dwugłowy ramienia (biceps) jest **zginaczem** - jego skurcz powoduje zgięcie ręki w łokciu.

Mięsień trójgłowy ramienia (triceps) jest **prostownikiem** - jego skurcz powoduje wyprostowanie ręki w łokciu.

# MIĘŚNIE SYNERGISTYCZNE




Mięśnie **synergistyczne** współdziałają ze sobą, generując pożądany ruch.

Jednymi z większych grup mięśni synergistycznych są **mięśnie międzyżebrowe** i **przepona**, które umożliwiają wentylację klatki piersiowej