

RYC. 9.6.8. Elektronogram przekroju przez mioblast mięśnia poprzecznie prążkowanego z mięśni szkieletowych zarodków królika, wykonany w mikroskopie elektronowym transmisyjnym. Obraz ilustruje wczesne stadium formowania się sarkomerów. Widoczne są tzw. ciała Z (CZ) wiążące filamenty aktynowe do ułożonych między nimi filamentów miozynowych (strzałki).

Filamenty aktynowe, którym towarzyszą białka regulatorowe, tropomiozyna i troponiny, kotwiczą się do dysku Z za pośrednictwem białka α -aktyniny. Ich wolne, ostre końce znajdujące się w prążku A sarkomeru są zablokowane białkiem tropomoduliną, która zapobiega wydłużaniu się filamentów. Natomiast ich „tępe” końce zakotwiczone w dysku Z są zablokowane białkiem CapZ, stabilizującym filamenty i zapobiegającym ich depolimeryzacji oraz nebuliną. W pierwszym okresie formowania się sarkomerów komórki mięśniowe syntetyzują dwie isoformy aktyny, α -aktynę naczyniową (naczyń krwionośnych) i α -aktynę szkieletową. W późniejszych stadiach rozwoju zarodka myszy (12–13 somitów) w komórkach mięśni szkieletowych przeważa już α -aktyna szkieletowa, podczas gdy w miocytach sercowych α -aktyna sercowa, będąca głównym składnikiem filamentów aktynowych w komórkach mięśnia sercowego.

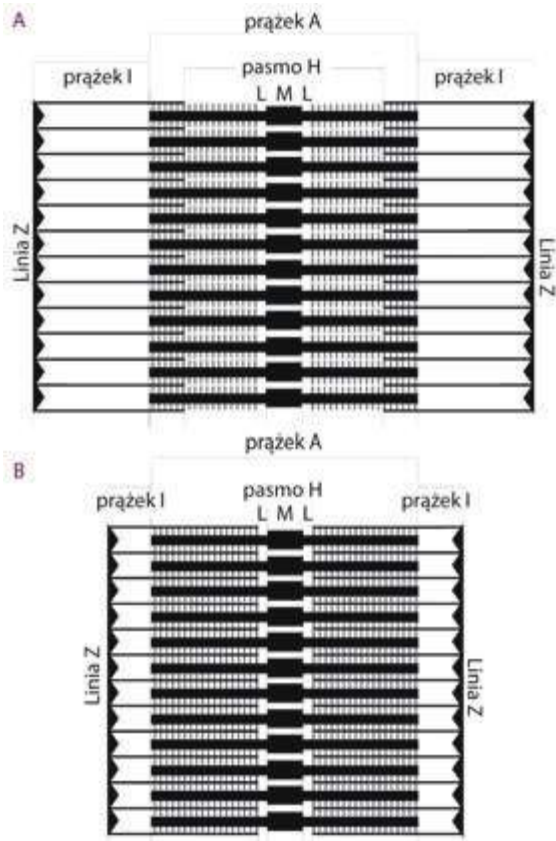
9.6.2. Białka regulujące skurcz sarkomeru

Skurcz mięśnia jest wynikiem skurczu jego elementarnych jednostek – sarkomerów. W czasie maksymalnego skurczu sarkomeru filamenty aktynowe są wciągane między filamenty miozynowe, w głąb prążka A. W następ-

stwie tego maleje szerokość prążka H oraz I. Natomiast w czasie maksymalnego rozkurczu filamenty aktynowe wysuwają się spomiędzy filamentów miozynowych, dzięki czemu wzrasta maksymalnie szerokość prążka H oraz prążka I. Szerokości prążków A, M i strefy L pozostają natomiast bez zmian. Proces wślizgiwania i wyślizgiwania się filamentów aktynowych spomiędzy filamentów miozynowych powstaje w wyniku interakcji między cząsteczkami miozyny, a dokładniej ich głowami, oraz monomerami G-aktyny, budującymi filamenty aktynowe. Skurcz wielu sarkomerów wywołuje skurcz całego mięśnia (ryc. 9.6.9).

W czasie powstawania kompleksu aktynowo-miozynowego zachodzi hydroliza ATP i wyzwolenie energii potrzebnej do wykonania pracy (skurczu). Zjawisko skurczu mięśnia jest regulowane poziomem jonów wapnia (Ca^{2+}), który jest magazynowany w błoniastych cysternach siateczki sarkoplazmatycznej. W cyklu skurczowo-rozkurczowym Ca^{2+} są cyklicznie uwalniane i ponownie internalizowane w cysternach siateczki.

Mięśnie wszystkich kręgowców i większości bezkręgowców, z wyjątkiem mięczaków, posiadają system regulujący skurcz przy pomocy białek związanych z filamentami aktynowymi. System ten składa się z dwóch grup białek, które odgrywają kluczową rolę w procesie powstawania i rozpadu kompleksu



RYC. 9.6.9. Schemat ilustrujący wzajemne stosunki przestrzenne między filamentami aktynowymi i miozynowymi w sarkomerach będących w różnych fazach skurczu. (A) Sarkomer w fazie fizjologicznego rozkurczu; filanty aktynowe są zakotwiczone do linii Z. W środku sarkomeru jest wyraźnie zaznaczone pasmo H i prążek M z leżącymi obok strefami L. Na filamentach miozynowych narysowano umownie główki miozyny oraz został pogrubiony fragment środkowy filamentu, który tworzy prążek M. (B) Sarkomer w fazie fizjologicznego skurczu; filanty aktynowe zostały wciągnięte przez główki miozyny w kierunku środka sarkomeru. W efekcie zmniejszyła się szerokość prążka I oraz pasma H. Szerokość prążka A i prążka M pozostała bez zmian.

aktynowo-miozynowego; są to tzw. **białka regulujące**, **troponina** i **tropomiozyna**. W mięśniach mięczaków, które nie posiadają troponiny, powstawanie kompleksu aktynowo-miozynowego jest regulowane jonami Ca bezpośrednio współdziałającymi z miozyną. Jest to system regulacji skurczu mięśni na poziomie miozyny.

Regulatorowe białko tropomiozyna jest dimerem i składa się z dwóch łańcuchów polipeptydowych: α o masie 34 kD i β – 36 kD. Łańcuchy są splecione helikoidalnie ze sobą. Całość cząsteczki ma więc postać filamentu o długości około 40 nm i grubości 2 nm. Tropomiozyna jest zlokalizowana w rowkach helisy filamentów aktynowych i każda jej cząsteczka wiąże się z siedmioma monomera-

mi G-aktyny. W stanie spoczynku cząsteczki tropomiozyny przysłaniają miejsca wiązania główek miozynowych do filamentów aktynowych. Tropomiozyna jest białkiem charakterystycznym dla określonego gatunku zwierzęcia, typu włókna mięśniowego, a nawet stopnia zróżnicowania mięśnia. Występujące typy tropomiozyny różnią się stosunkiem ilościowym między łańcuchami obu białek tego dimeru.

Drugą grupą białek regulujących jest **troponina**, która składa się z trzech białek: troponiny C (TnC), I (TnI) i T (TnT). Jedną cząsteczką troponiny C wiąże się z jedną cząsteczką tropomiozyny w dwóch miejscach, przez troponinę T i troponinę I. Każde z tych trzech białek spełnia odrębną funkcję w procesie regulacji skurczu sarkomeru. Troponina C,