



**Бұлшық ет, құрамы, құрылымы, қызметі.
Бұлшық еттің қысқару механизмі**

Дәріс 10

Ересек адамдын дене салмағының $\approx 40\%$ бұлшық ет болады.

Бұлшық етте жүзеге асатын биохимиялық процестер адамдың барлық ағзасына әсер етеді.

Бұлшық еттің маңызы

*Ағзаның жылжымалылығын (подвижность) қамтамасыз ету

*механикалық күшке қарсыласуды қамтамасыз ету, соның ішінде статикалық жүкке (нагрузке).

Бұлшық еттің функциясы

химиялық энергияның механикалық энергияға өзгерту нәтижесінде механикалық қозғалыс, қысымы тұрақты жағдайда.

Бұлшық ет ұлпасының 3 түрі бар:

- *жүрек бұлшық еті,
- *қанқа бұлшық ет, (скелетная)
- *бірінғай салалы бұлшық ет (гладкая мышечная ткань).

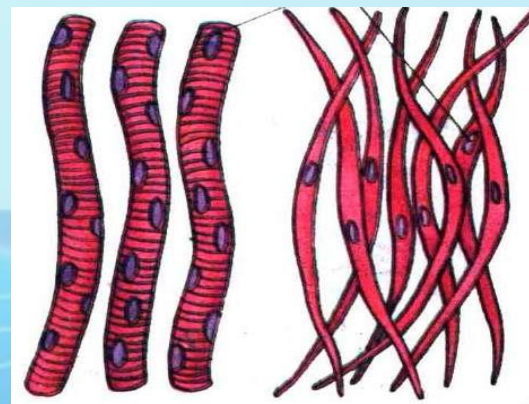
Қанқа және жүрек бұлшық еті – көлденен жолақ бұлшық ет (поперечно-полосатые мышцы)

Бұлшық ет түрлерінің айырмашылығы байланысты:

- *морфология ерекшелігіне,
- *биохимиялық ерекшелігіне,
- *функционалды ерекшелігіне,
- *даму жолдарына.

Бұлшық еттің клеткалары миофибриллардан құралады.

Миофибриллардың функционалды бөлігі саркомер, Әр миофибрилла саркомердің бірнеше жүзінен тұрады



Көлденен жолақ бұлшық ет



Қанқа бұлшық ет талшығының құрылымы

I - А-диск;

II - I-диск;

III - H-зона;

1 - Z-линия;

2 - Т-жүйе;

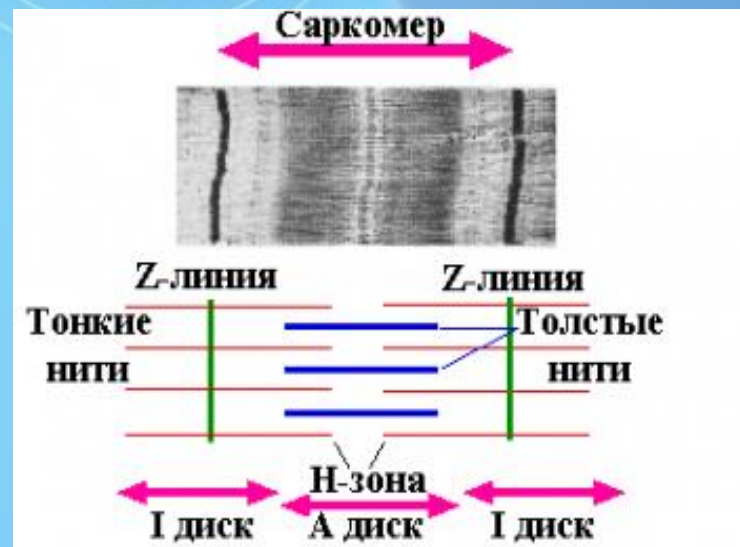
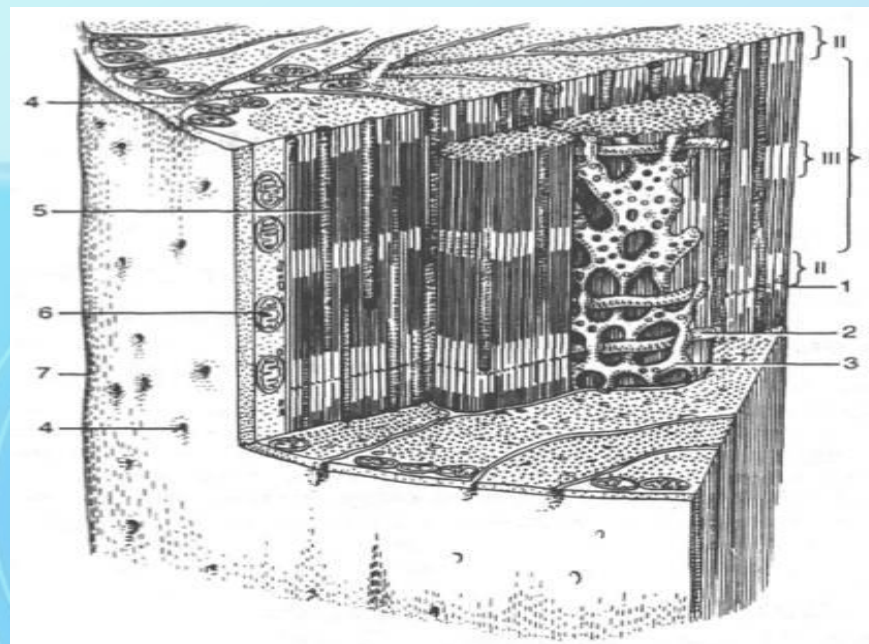
3 – саркоплазмалық торы (сеть);

4 - Т-жүйенің аузы (устье);

5 - гликоген;

6 - митохондрия;

7 - сарколемма.



Адам ағзасында бұлшық еттің энергиямен қамтамасыз етуіне байланысты бұлшық еттің 2 түрі

***қызыл бұлшық ет** (аэробты, “баяу” оксидативті),
құрамында көп миоглобин және митохондриялар, миофибриллалар аз.
-қанмен жақсы қамтамасызданады,
-тотыға фосфорлану ферменттер жоғары активті,
-аэробты жағдайда жұмысқа арналған.

***ақ бұлшық ет** (анаэробты, “шапшан”, гликолитикалық),
құрамында миоглобин мен митохондриялар аз, миофибриллалар көп.
-қанмен жақсы қамтамасызданбайды,
-гликоген көп,
-гликолиз ферменттердің активтігі жоғары,
*креатинфосфокиназаның, миокиназаның активтігі жоғары.

*арқаның бұлшық етінде қызыл талшықтары көбірек болады.

Бұлшық еттің құрамына кіреді:

- *ақуыздар,
- *азот бар ақуыздардан басқа заттар,
- *азот жоқ заттар

1. Ақуыздар - бұлшық ет массасының ~25 % -ті.

Бұлшық еттің ақуыздарын 3 топқа бөледі.

- мысжіпшелер (миофибриллярные) (қысқаратын) ақуыздар – 35% ақуыздардың жалпы мөлшерінен;
- саркоплазманың ақуыздары – 45% ақуыздардың жалпы мөлшерінен;
- строманың ақуыздары – 20% ақуыздардың жалпы мөлшерінен;

Ақуыздардың айырмашылығы – су мен әртүрлі иондық күші бар тұзды ортада ерігіштігіне байланысты.

2. Азот бар ақуыздардан басқа экстрактивті заттар

Қанқа бұлшық еттің құрамына кіреді:

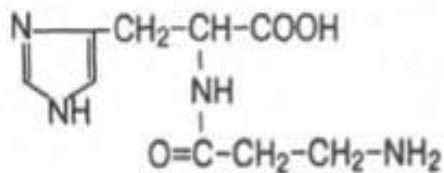
*аденин нуклеотидтер (АТФ, АДФ, АМФ), басқа нуклеотидтер,

*креатинфосфат және креатин,
бұлшық еттің қысқаруымен байланысты химиялық процестерге қатысады,

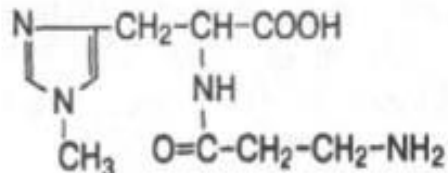
*карнозин және ансерин, құрамында гистидин (имидазол) бар
дипептидтер, бұлшық ет клеткаларының иондық насостардың қызметінің
тиімділігін жоғарлатады

*бос аминқышқылдар, ең жоғары глутамин қышқылы мен глутамин,

*т.б. заттар.



Карнозин (β-аланил-L-гистидин)



Ансерин (N-метилкарнозин)

Бұлшық еттің ақуыздары

Саркоплазма ақуыздары – иондық күші төмен тұзды ортада ериді

*гликолиз ферменттері,

*миоглобин,

*митохондрияда орналасқан ферменттер –
тотыға фосфорлану және ұлпалы тыныс алу,
азоттық және липидтік алмасуын катализдейтін ферменттер,

*паральбуминдер – Ca^{2+} байланыстыратын қабілеті бар ақуыздар.

Миофибриллярды ақуыздар –

бұлшық еттің жиырулы функциясымен тығыз байланысты

*иондық күші жоғары тұзды ортада еритін ақуыздар

-миозин,

-актин,

-актомиозин

*ретегіш ақуыздар,

актомиозинмен бірынғай комплексті түзетін ақуыздар

-тропомиозин

-тропонин

- α -, β -актинин



Миофибриллярлы (қысқаратын) ақуыздар

Миозин – жуан талшықтардың негізі,

М.м. – 500 кДа

Миозин молекуласы

*2 ауыр тізбектен құрылады (құйрығы),

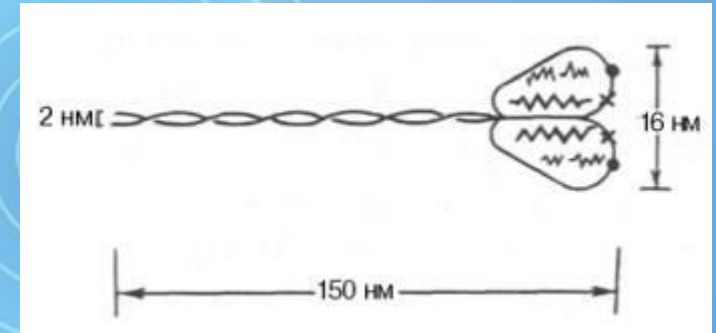
*әр тізбегі глобулярлы “басымен” аяқталады,

*”басының” қасында (возле) әртүрлі 2 женіл тізбектер орналасады

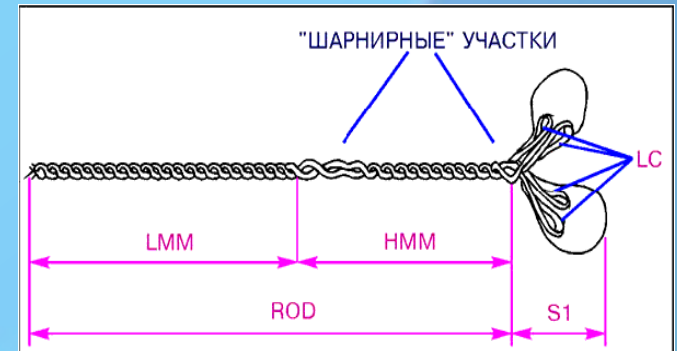
Трипсиннің әсерінен миозин молекуласы 2 үлкен фрагментіне бөлінеді:

*женіл меромиозин (құйрығы),

*ауыр меромиозин.

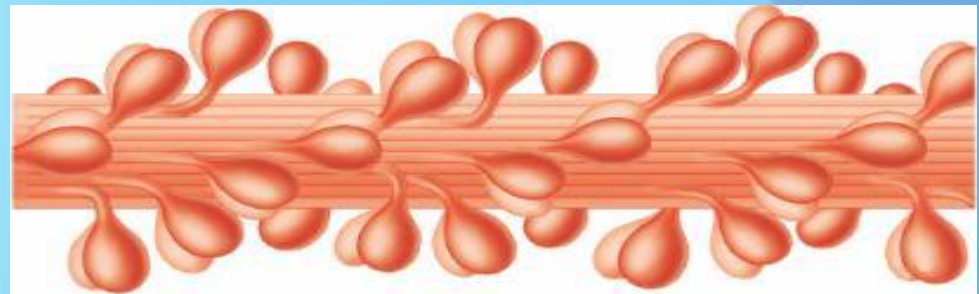
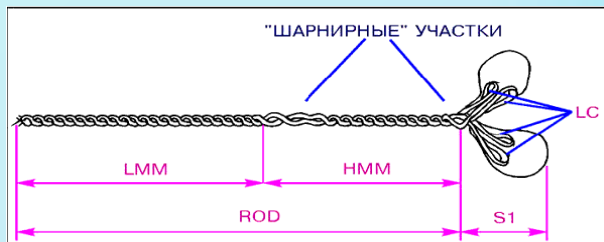


Миозин молекуласының құрылымы



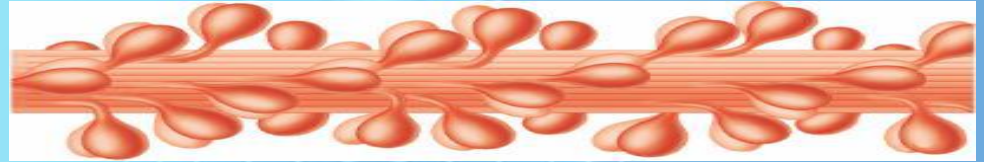
Миозин қасиеттері

- Физиологиялық жағдайда (рН, температура, тұз концентрациясы оптималды) миозин молекуласы өзара спонтанды әрекеттеседі өзінің өзегі учаскіларымен ("конец в конец", "бок в бок").
- Миозин молекуласы ферменттік активтігіне ие **АТФ-азалық активтігі**: $\text{АТФ} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{АДФ} + \text{Ф}$
Активті орталығы миозин басында орналасады.



Миозин функциясы:

***құрылымдық** –миозиннің 400 молекуласы өзара байланысады «құйрық» в «құйрық» жуан талшықты құрады



***каталитикалық** – миозин головкасы АТФ-алық активтігіне ие.

Миозиннің ферменттік активтігі төмен.

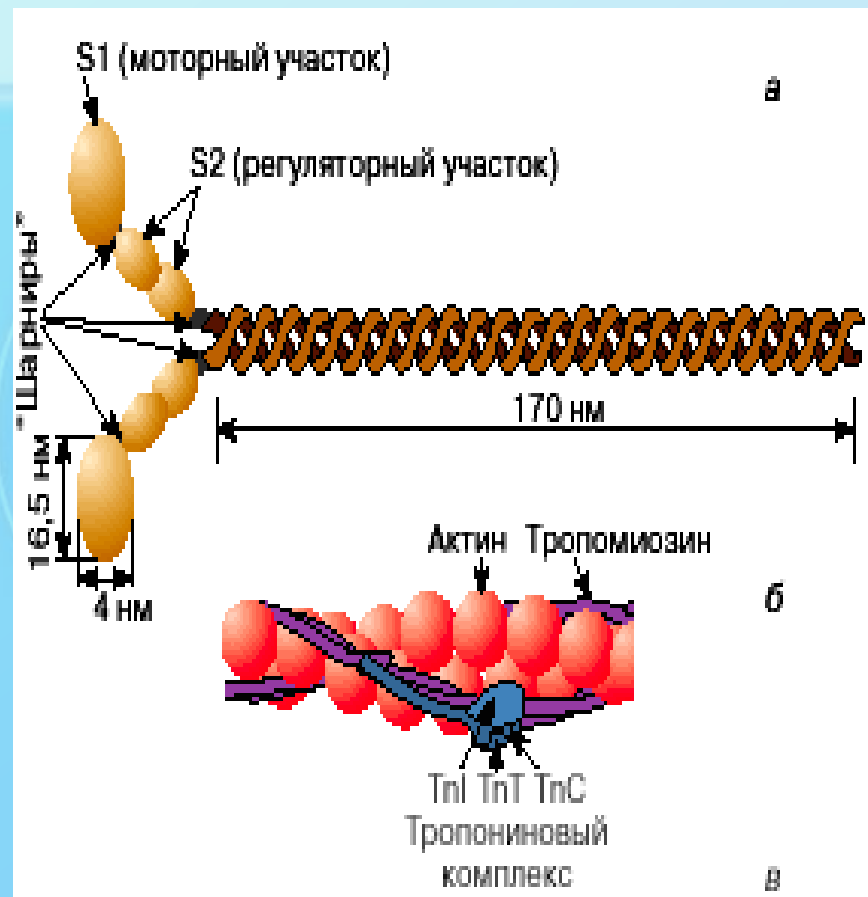
Миозин актин мен байланысқанан кейін оның АТФ-залық активтігі жоғарлайды, 200 ессе жұық.

Актин миозиннің аллотериялық активаторы ретінде қызмет атқарады

а) миозин молекуласының құрылымы.

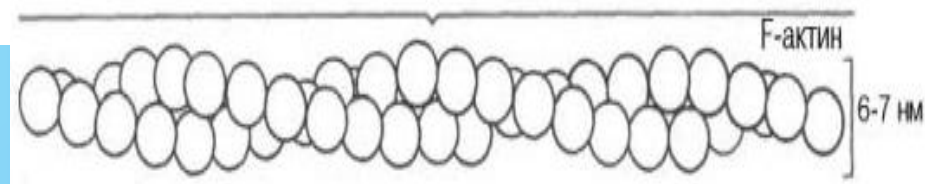
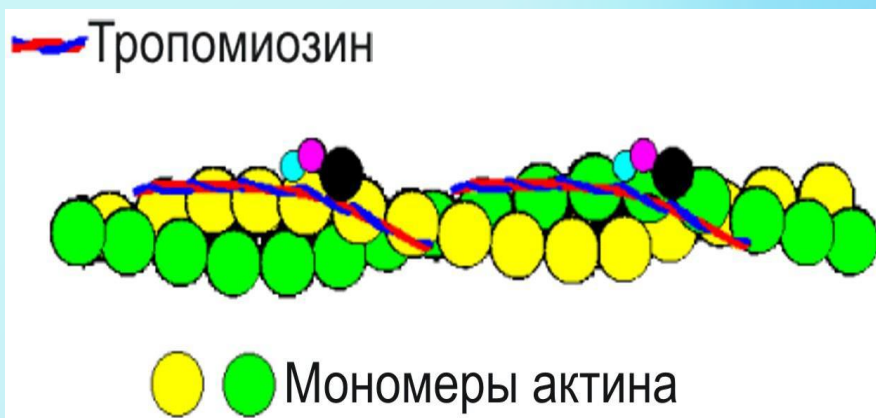
б) жінішке талшықтың құрылымы.

Босаңған бұлшық етте тропомиозин миозин “басының” актинмен әрекеттесуіне қарсы болады.



Актин – жінішке талшықтардың ақуызы, м.м. 42000 Да.
Молекуласының формасы – шар тәрізді – аты G-актин («globular»)

G-актин молекулалары өзара байланысады да F-актин (фибриллярлы) қос қабат спираль түрінде.



F-актиндің құрылымының сызбасы

Актомиозин - миозин F-актинмен байланысқанда түзіледі.

Актомиозин АТФ-залық активтігіне ие.

Фермент актомиозин

* Mg^{2+} иондарымен активтенеді,

*этилендиаминтетраацетатпен (ЭДТА)

*АТФ-тың жоғары концентрациясымен тежеледі.



Тропомиозин – молекуласы 2 α -спиральдан құралады, ұзындығы 40 нм өзегі түрінде, м.м. 65000 Да, миофибрилалар ақуыздардың 4–7% құрады.

Тропонин – глобулярды ақуыз, адам миофибрилалардың ақуыздардың 2% , м.м. 80000 Да

Тропонин молекуласы 3 суббөліктен тұрады (Тн-І, Тн-С, Тн-Т).

Тн-І – тежегіш АТФ-азалық активтігін тежеу қабілетті,

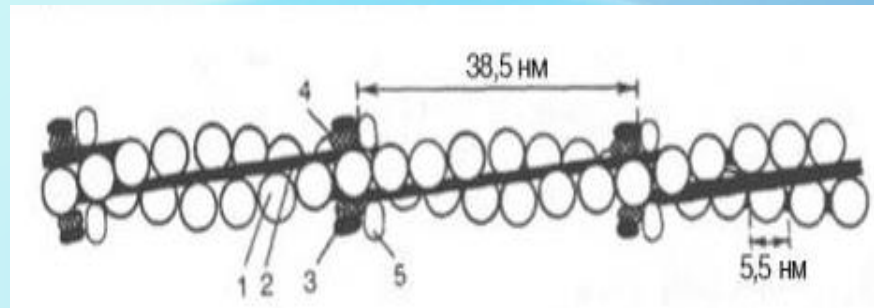
Тн-С – кальций байланыстыратын, кальций иондарға жоғары ұқсатығына ие,

Тн-Т – тропомиозинді байланыстыратын, тропозинді байланыстыруын қамтамасыз етеді.

Тропонин тропомиозинмен байланысып **тропомиозин** деп аталатын комплексті түзеді.

Тропомиозин актин филаменттарға байланысады да қанқа бұлшық еттің актомиозиннің Ca^{2+} иондарға сезгіштігі пайда болады.

Стромалды ақуыздар – коллаген және эластин (негізгі ақуыздар).



Жінішке филаменттің құрылымы:

1 - актин; 2 - тропомиозин; 3 - тропонин С; 4 - тропонин І; 5 - тропонин Т



Жұан филаменттің құрылымы

Адам мен жануарлардың бұлшық еттің апаратын негізгі функциясы қозғалысты қамтамасыздардыру – қысқарту мен босаңсыну. (сокращение и расслабление).

Бұлшық ет қысқарғанда:

*химиялық энергияның механикалық энергияға айналуымен байланысқан жұмыс жүзеге асырылады,

*көлденен жолақ бұлшық еттің (поперечно-полосатые мышцы) қысқару жүйесі өзара жабылып қалған бір-біріне қатысты жылжытін ақуыз жіптерден құралған

Бұлшық еттің қысқаруы АТФ-тың гидролизінің нәтижесінде шыққан энергияның есебінен жүзеге асады.

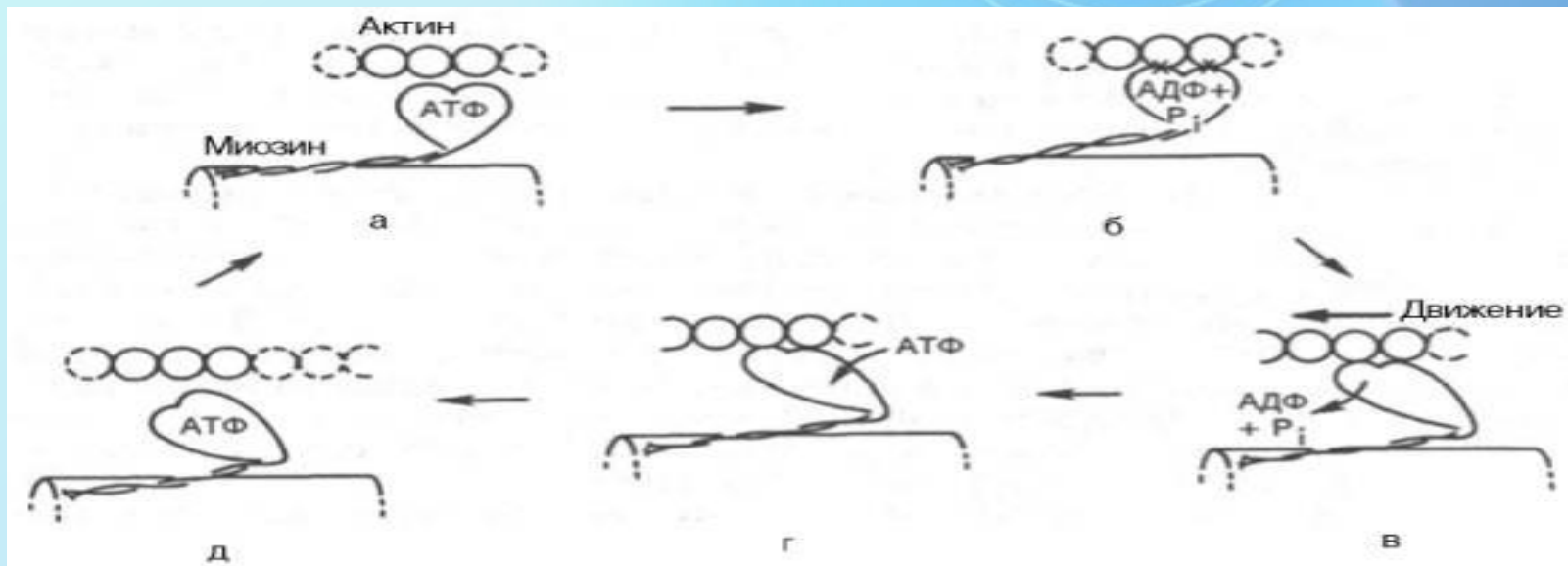
Бұлшық еттің қысқару механизмі

Бұлшық еттің қысқаруының биохимиялық циклы

а. Субстраттың сорбциясы. Миозиннің активті орталығының адсорбциялық учаскісіне АТФ байланысады

Миозиннің “басы” АТФ-тың АДФ пен H_3PO_4 (P_i) дейін гидролизін жүзеге асырады, гидролиз өнімдері бөлініп шықпайды.

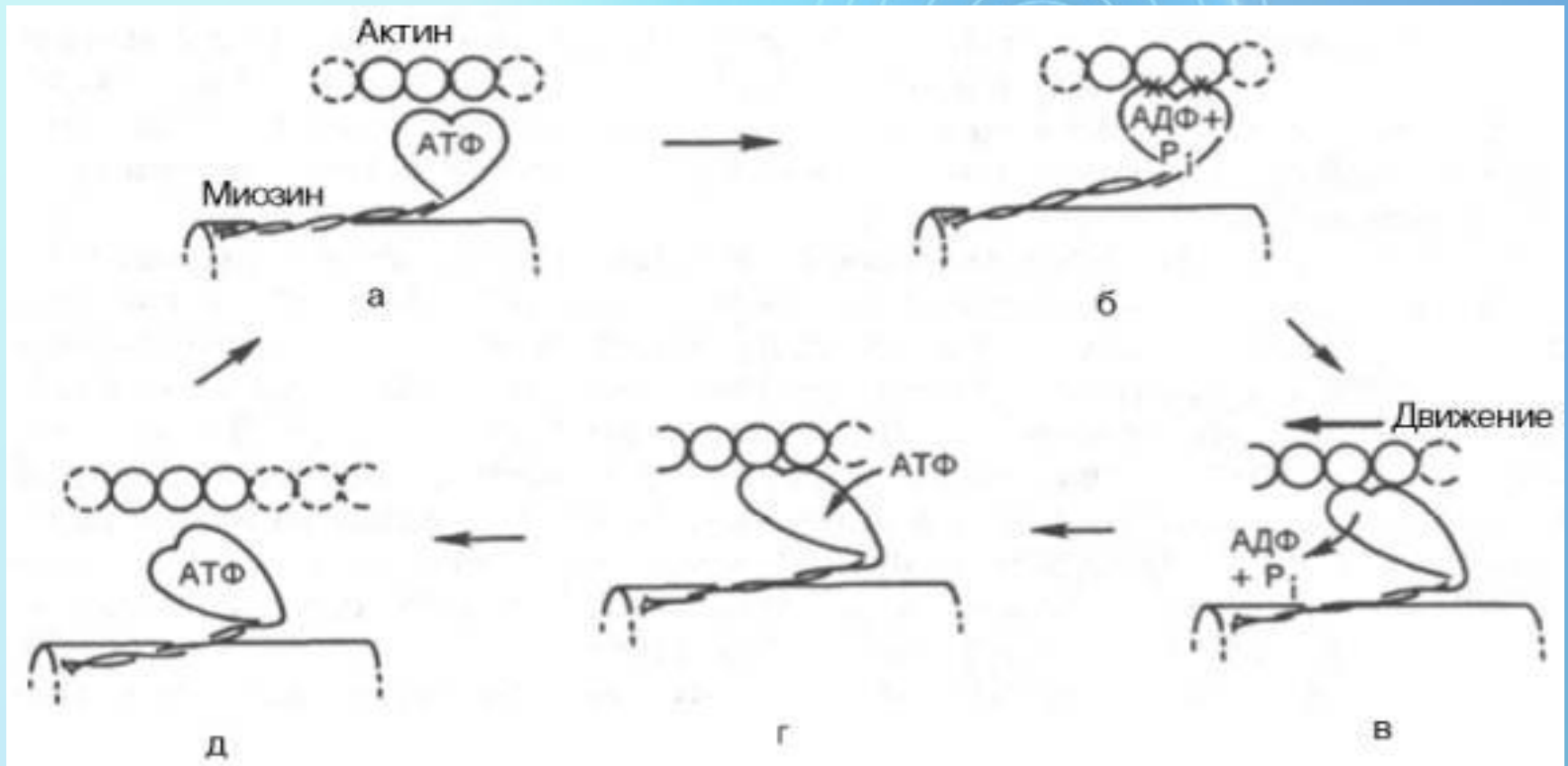
б. АДФ және H_3PO_4 құрамында бар миозин «басы» бос айналу мүмкін және F-актинмен байланысады да фибрилланың осімен $\sim 90^\circ$ бұрышты түзеді.



в. Бұл әрекеттесудің нәтижесінде АДФ пен H_3PO_4 актин-миозин комплекстен босанады.

Актин-миозин бұрыштың мағынасы 45° болғанда байланысатын энергиясы ең төмен, сондықтан миозин мен фибрилла осьтің арасындағы бұрышы өзгереді ($90^\circ - 45^\circ$) де актин саркомердің ортасына қарай жылжыды (10-15нм).

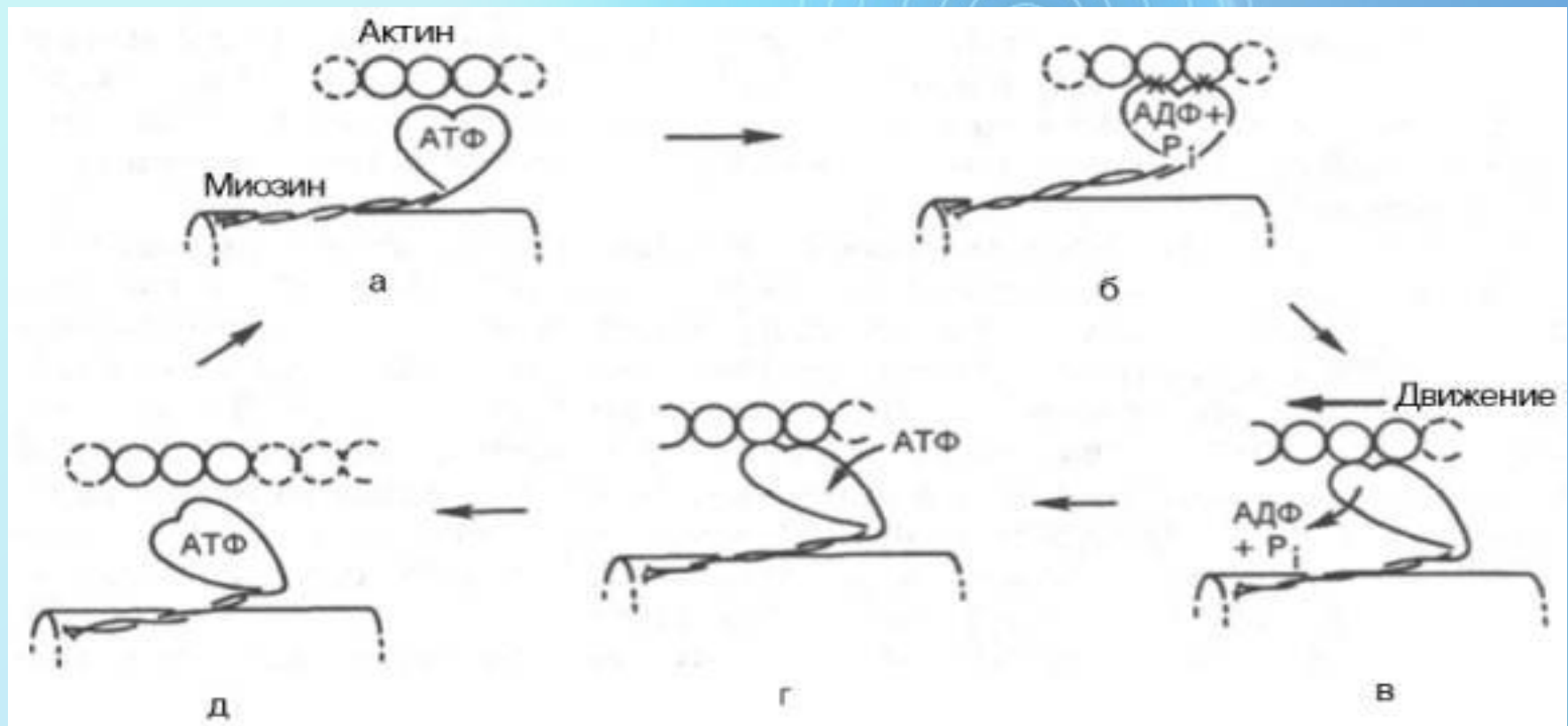
г. АТФ-тың жаңа молекуласы миозин- F -актин комплекспен байланысады.



д. Миозин-АТФ комплекстің актинге ұқсастығы төмен, сондықтан миозиннің (АТФ) “басы” F-актиннен бөлінеді (жекеленеді).

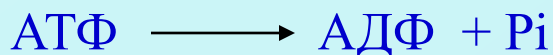
Бұл сатысы бұлшық еттің босануы, АТФ-тың актин-миозин комплекспен байланысуына тәуелді.

Одан кейін цикл қайтадан басталады.



Бұлшық ет қысқару үшін энергияның көзі

АТФ-тың гидролизі нәтижесінде шыққын химиялық энергия



АТФ-тың ресинтезі бұлшық ет клеткаларында жүзеге асады

Тыныштық күйінде: бос май қышқылдар + кетон денелер.

Орташа жұмыс: бос май қышқылдар + кетон денелер + қан глюкозасы.

Максималды жұмыс: бос май қышқылдар + кетон денелер + қан глюкозасы + бұлшық еттің гликогені.

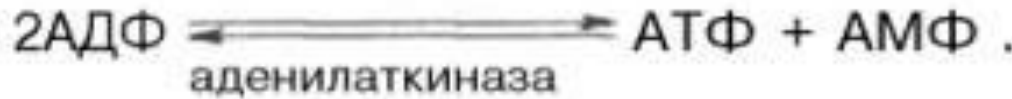
АТФ-тың түзілуі:

*Субстраттық фосфорлау ерекше реакциялары

*гликолиз, гликогенолиз

*тотыға фосфорлану

Миокиназды реакция бұлшық етте ғана жүзеге асады



Реакция миокиназа катализдейді (аденилаткиназа)

Миокиназды реакцияның негізгі маңызы - АМФ-тың түзілуі. АМФ – гликолиз, гликогенолиздің реттегіш ферменттердің күшті аллостериялық активаторы

Гликолиз, гликогенолиз

Артықшылығы:

- *оттекті қажет етпейді «анаэробты процестер,
- *субстраттың мөлшері жоғары, бұлшық еттің гликогенің және бауыр гликогеннен түзілген қан глюкозасын пайдаланады

Кемшілігі:

- *тиімділігі төмен: глюкоза бір қалдығына 2 АТФ
- *толық тотықпаған өнімдің (лактаттың) жиналуы.

Бұлшық еттің жұмысы басталғаннан 10-15 мин кейін гликолиз басталады.

Тотыға фосфорлану

Артықшылығы

*Энергия жағынан ең тиімді процесс – глюкозаның бір молекуласы тотыққанда АТФ-тың 38 молекуласы түзіледі.

*субстраттың резервы ең жоғары:

глюкоза, гликоген, глицерин, кетон денелері пайдаланады.

*түзілген өнімдер (CO_2 и H_2O) зиянсыз.

Кемшілігі:

Оттектің жоғары мөлшерін қажет етеді.

Бұлшық ет жұмысының нәтижесінде метаболизмнің өзгерісі

*АТФ концентрациясының төменденуі

-креатинфосфаткиназды реакцияның тепе-тендігін оң жаққа ығыстырады,
-креатинфосфат пайдалынады.

*Одан кейін гликолиз басталады,
тотыға фосфорлану жүйе басталу үшін 1 мин керек.

Бұл бұлшық еттің қызметінің басталу фазасы.