

SATBAYEV UNIVERSITY

Алимбаев Чингиз Абдраимович

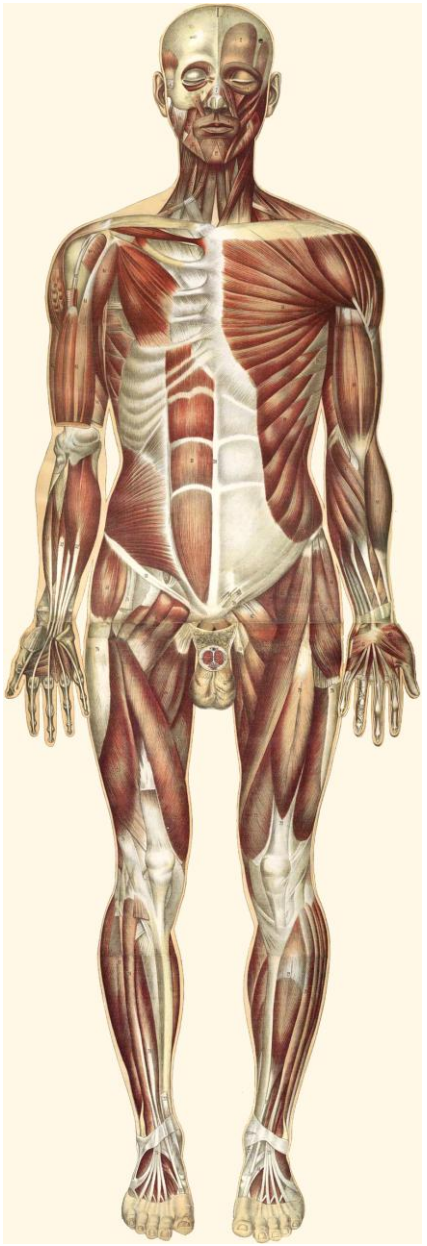
Биомеханика

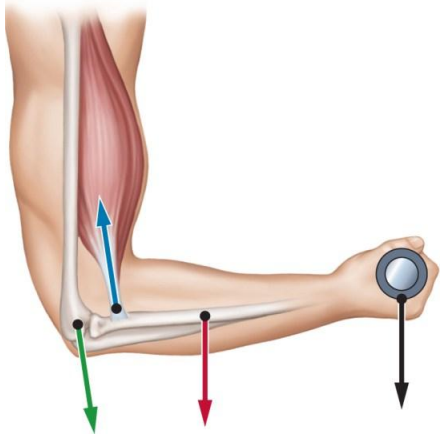
Дәріс №2. Тірек-қимыл аппаратының жұмсақ тіндерінің (бұлшықет) механикасы.

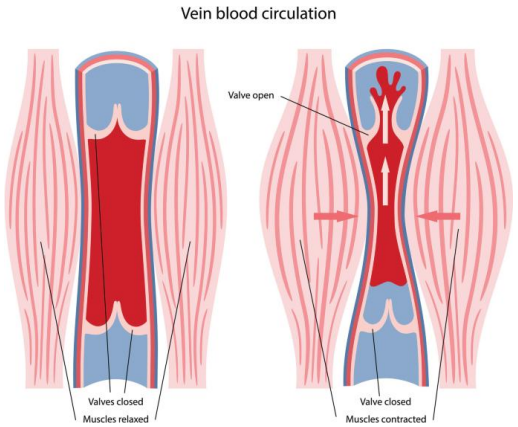
Бұлшық ет биомеханикасы

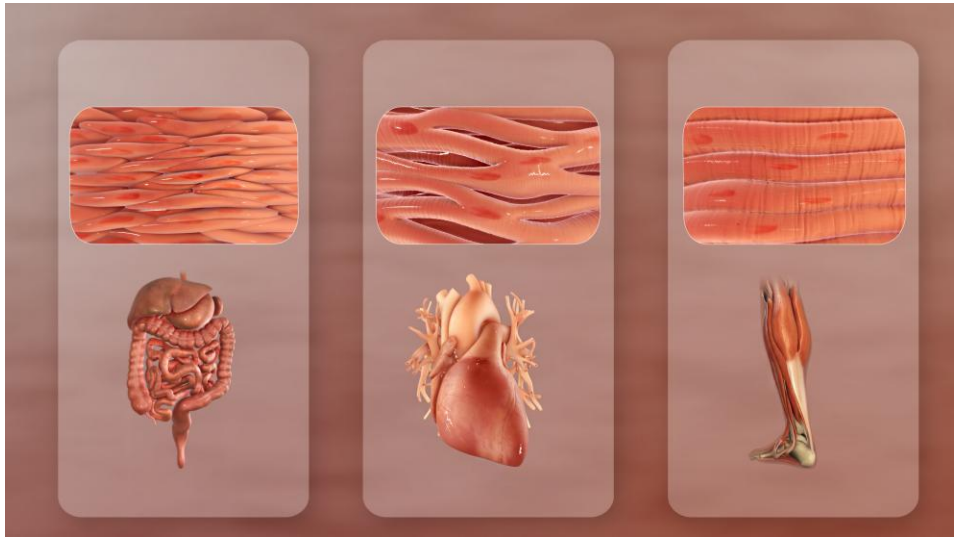
Бұлшықет жүйесі – қаңқа бұлшықеті, тегіс бұлшықет және жүрек бұлшықетінен тұрады. Бұл жүйе адамның қозғалуына көмектеседі, денені тік ұстап тұрады және қанның бүкіл денеге таралуын қамтамасыз етеді. Көпшілік бұлшықеттерді жүйке жүйесі басқарады, бірақ жүрек бұлшықеті сияқты кейбіреулері өздігінен де жұмыс істей береді. Адамда бұлшықет жүйесі қаңқа жүйесімен бірігіп, тірек-қимыл жүйесін құрайды. Бұл жүйе дененің қозғалуына жауап береді.

Ересек ер адамның денесінде 600-ден астам бұлшықет бар. Әр бұлшықет серпімді ұлпадан тұрады. Оның құрамында мыңдаған немесе ондаған мың ұсақ бұлшықет талшықтары болады. Әр талшық көптеген жіңішке жіпшелерден (фибрилдерден) құралады. Бұлшықет талшықтарының жиырылуын жүйке жасушаларынан келетін импульстер басқарады.





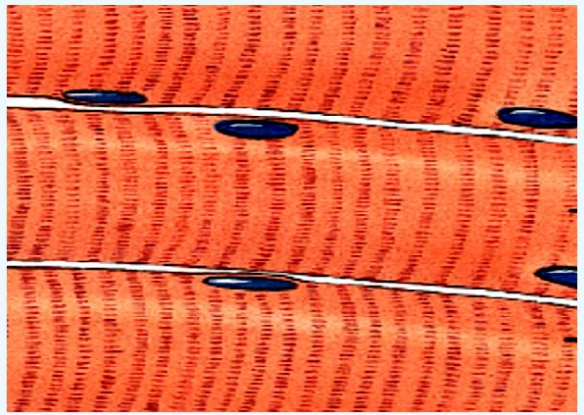




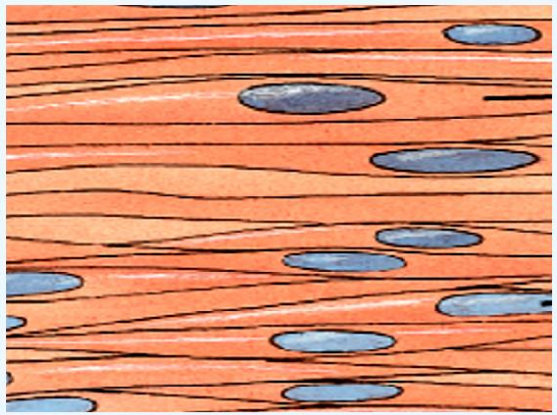
Бұлшықет ұлпасы

Жиырылғыштық қасиетіне байланысты организмнің қозғалуын, оның тіршілігіне қолайлы орта іздеуін, ағзалардың қимылдауын, кеңістікте денені белгілі бір қалыпта ұстауын қамтамасыз етеді

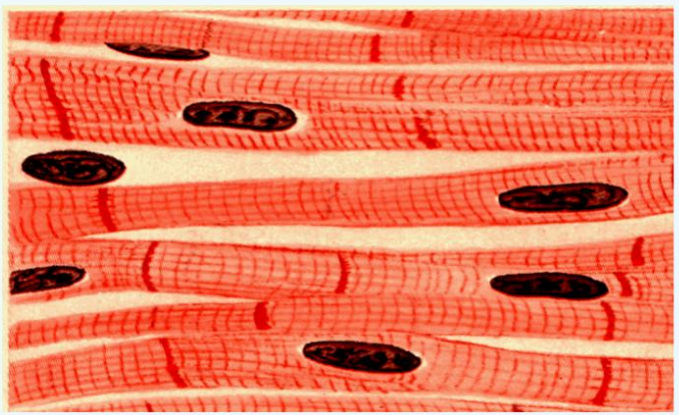
Көлденең жолақты бұлшықет

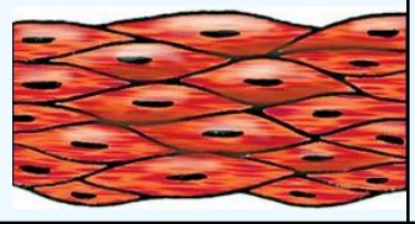


Бірыңғай салалы бұлшықет



Жүректің көлденең жолақты бұлшықеті

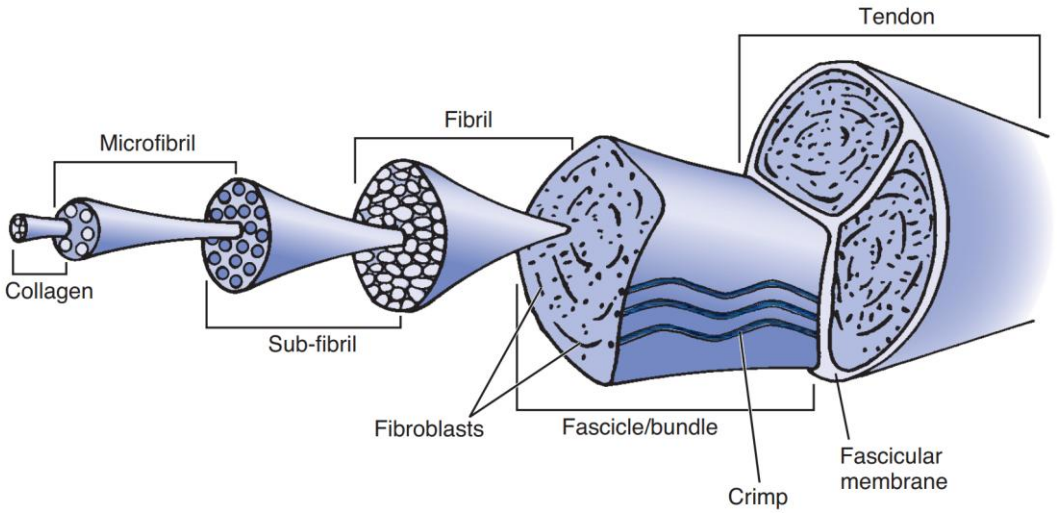


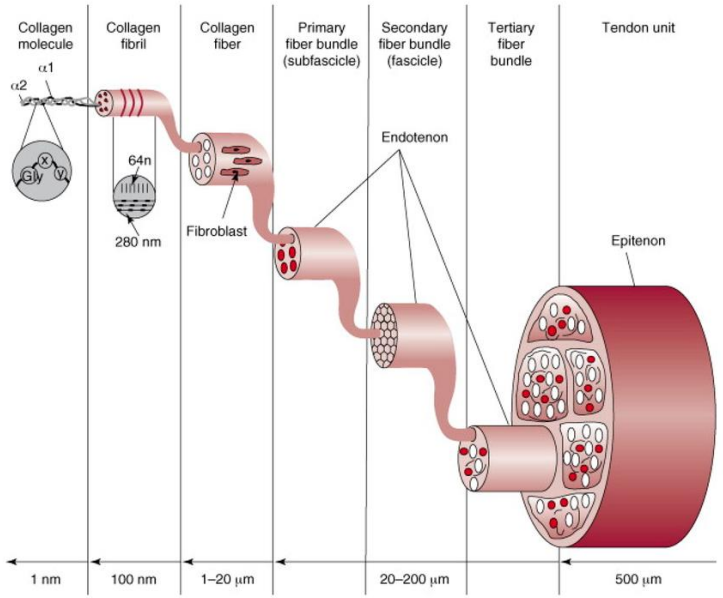
Қозғалу жылдамдығы	Бұлшықет түрі	Құрылымдық компоненттері	
		Ядроның орналасуы	**Цитоплазманың пішіні**
Жылдам ↑	**Көлденең жолақты бұлшықет**	Көп ядролы, ядро жасушаның шетінде орналасқан	Ұзын жолақты, ұштары доғал 
↑	**Жүректің көлденең-жолақты бұлшықеті**	Көп ядролы, жасушаның ортасында орналасқан 	Ұзын, цилиндр тәрізді, талшықтары тарамдалып әр жерінен бір-бірімен бірігіп торланып жатады
Баяу	**Бірыңғай-салалы бұлшықет**	Бір ядролы, жасушаның ортасында орналасқан 	Ұзын жолақты, ұршықтың сабы пішіндес, екі ұшы жіңішке үшкір, ортаңғы бөлігі жуандау

Сіңір және байлам

Сіңір – кішкентай ақуыз жіпшелерінен құралып, біріге келе үлкен сіңір түзеді

Пассивті созылғыш ұлпалар – сіңір мен байлам – негізінен су мен коллагеннен тұрады. Бірақ оларда шеміршекке ерекше механикалық қасиет беретін протеогликандар (PGs) өте аз болады. Бұл ұлпалардың қызметіне сәйкес, коллаген жіпшелері жүктеме бағытына параллель ұзын талшықтар түрінде орналасады.



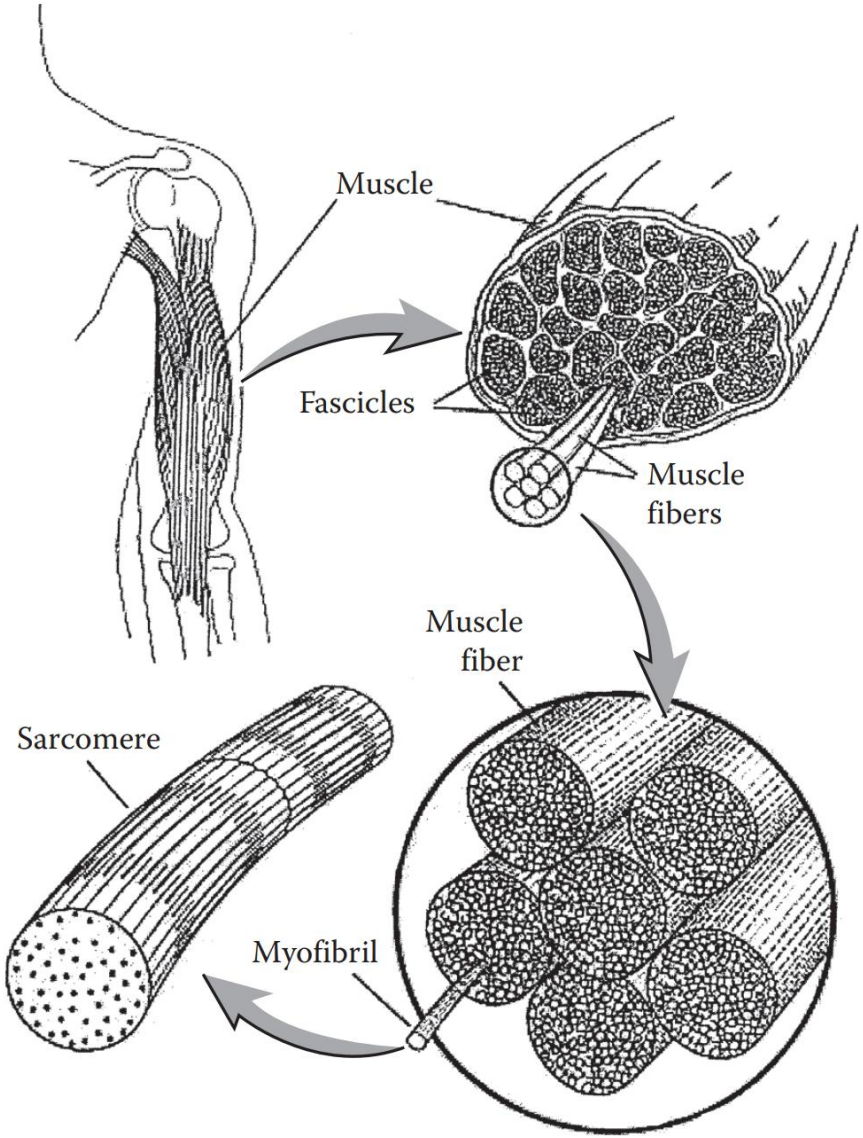


Коллаген жіпшелері кейде іші қуыс түтік тәрізді болуы мүмкін. Олар иерархиялық түрде құрылады: диаметрі 20–40 нм жіпшелер бірігіп, 0,2–12 мкм талшықтарды түзеді. Бұл талшықтар поляризацияланған жарықта қосарланған сәуле сындыру қасиетін көрсетеді, себебі олардың ішінде толқынды (crimp) құрылым бар, оның ұзындығы 20–100 мкм аралығында.

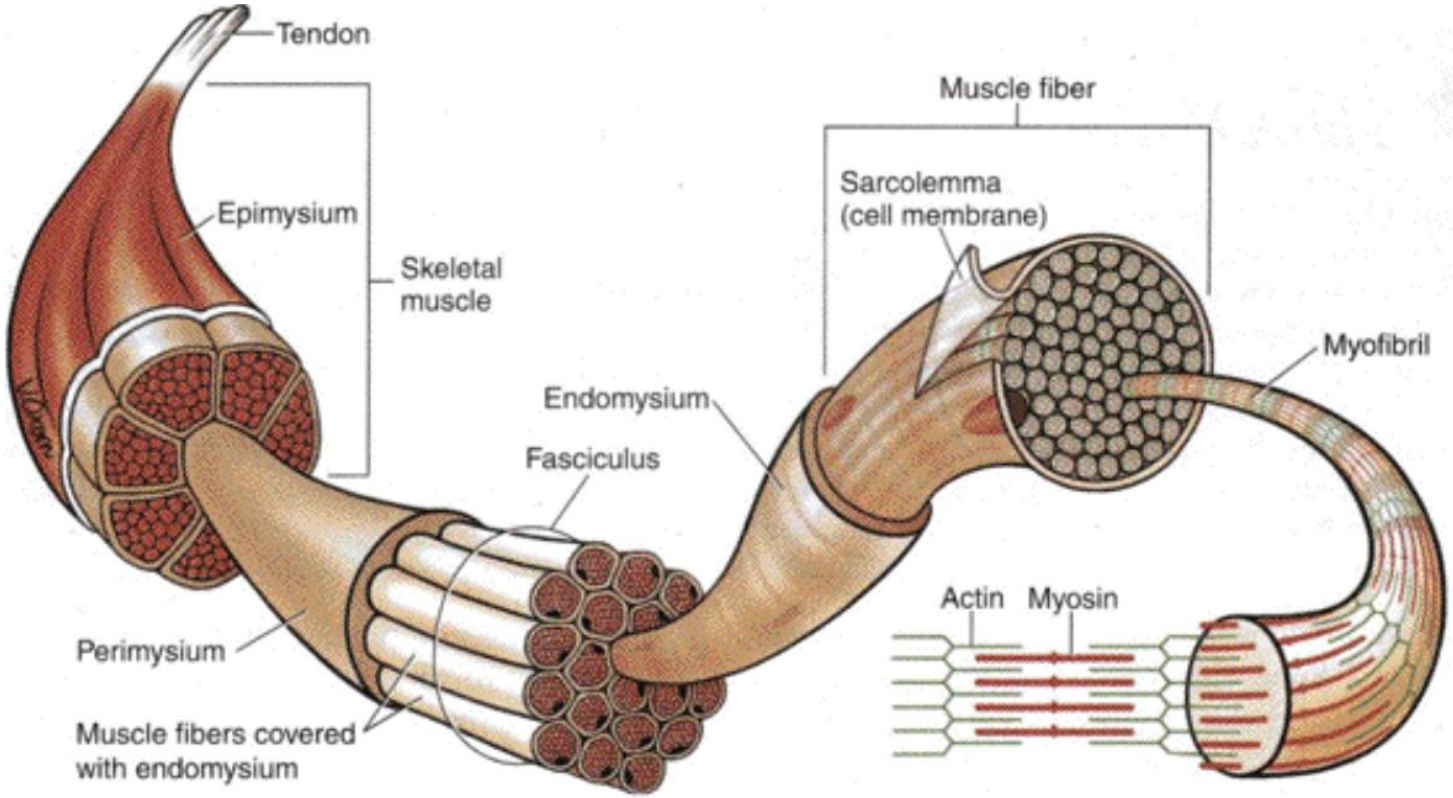
Бұл талшықтар шоғырланып **фасцикула** құрайды. Фасцикула ішінде фибробласттар немесе теноситтер болады және ол фасцикулярлық қабықпен қапталған. Бірнеше фасцикула бірігіп, ретикулалық қабықпен қапталған толық сіңірді немесе байламды түзеді.

Сіңірге жүктеме түскенде, талшықтардағы толқынды құрылымның бұрышы кішірейіп, кейін қайта орнына келеді. Бұл құбылыс сіңірдің серпімділігінің бір көзі болып саналады. Сонымен қатар, әрбір коллаген жіпшесінің өзінде де аздап серпімділік бар. Осы екі қасиет бірігіп, пассивті созылғыш ұлпалардың жалпы механикалық қасиеттерін анықтайды.

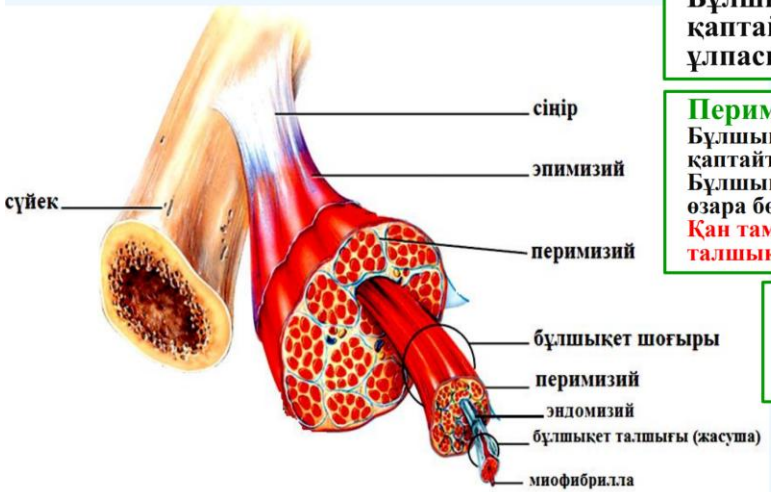
Бұлшық ет морфологиясы



Қаңқа бұлшықеті молекулалық деңгейден бастап ірілеу құрылымдарға дейін ұйымдастырылған. Ең бастапқыда **актин** және **миозин** молекулалары бар, олар **миофибриллаларға** орналастырылады. Миофибриллалар **саркомерлерге** және **миофиламенттерге** жиналады. Миофиламенттер бірігіп **миофиберлерді** құрайды, ал миофиберлер **талшықшалар (фасикулалар)** ретінде ұйымдасып, ақырында бүкіл бұлшықетті құрайды.



Көлденең жолақты бұлшықет

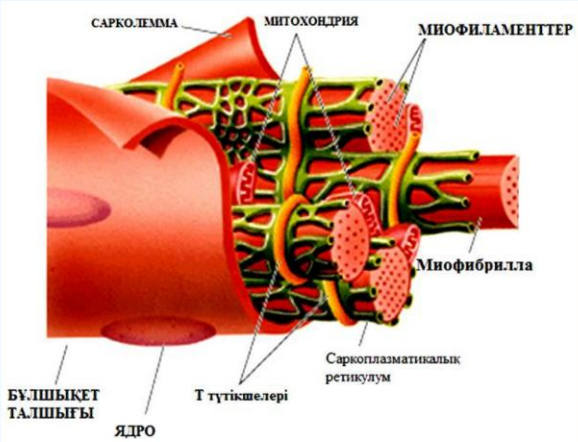


Эпимизий
Бұлшықеттің сыртын қаптайтын дәнекер ұлпасы.

Перимизий
Бұлшықеттің ішінен қаптайтын дәнекер ұлпасы. Бұлшықет шоғырларын өзара бөліп тұрады. Қан тамырлары мен жүйке талшықтары орналасқан.

Эндомизий
Бұлшықет шоғырының ішінен қаптайды.

Бұлшықет талшығы



Саркоплазмалық ретикулум (SR)
Әрбір миофибрилланы қоршап тұратын қалташа
Кальций иондарын (Ca^{+}) сақтайды
Ca^{+} шығуы жиырылу үдерісін жүзеге асырады

Сарколемма
Бұлшықет жасушасының плазмалық мембранасы

Көлденең (Т түтікшесі)
Плазмалық мембранадан түзілген қуыс
Бұлшықеттің әрекет потенциалы Т түтікшесі арқылы өтеді

Саркоплазма
Бұлшықет жаушасының цитоплазмасы
Оттегі молекуларымен байланысатын қызыл түсті миоглобин нәруызы болады.
Миоглобин оттегін бөледі, бөлінген оттегі АТФ түзуі үшін қажет

Микроскопиялық құрылымы

- Адам дүниеге келмей тұрып бұлшықет талшықтарының саны толығымен қалыптасады
  - Өмірдің соңына дейін олардың саны сақталады
- Бұлшықеттің өсуі қарқынды жүреді
  - Бұлшықет талшықтарының ауқымы үлкейеді
- Тестостерон және өсу гормондары басқарды
- Зақымдалған бұлшықет талшықтарын серіктес жасушаларының регенерациялану қабілетін сақтайды

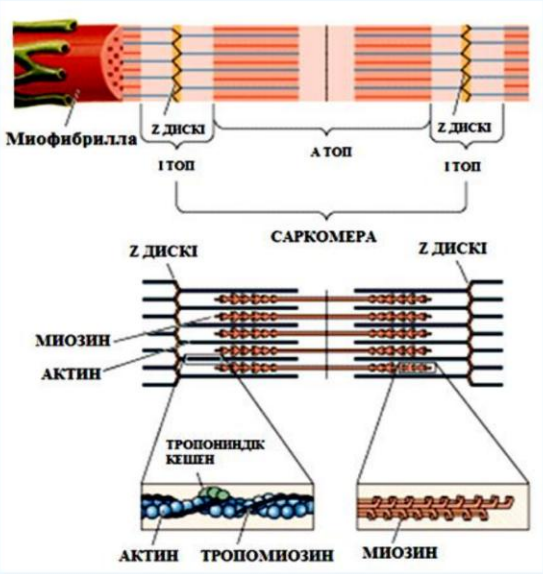
МИОФИБРИЛЛА

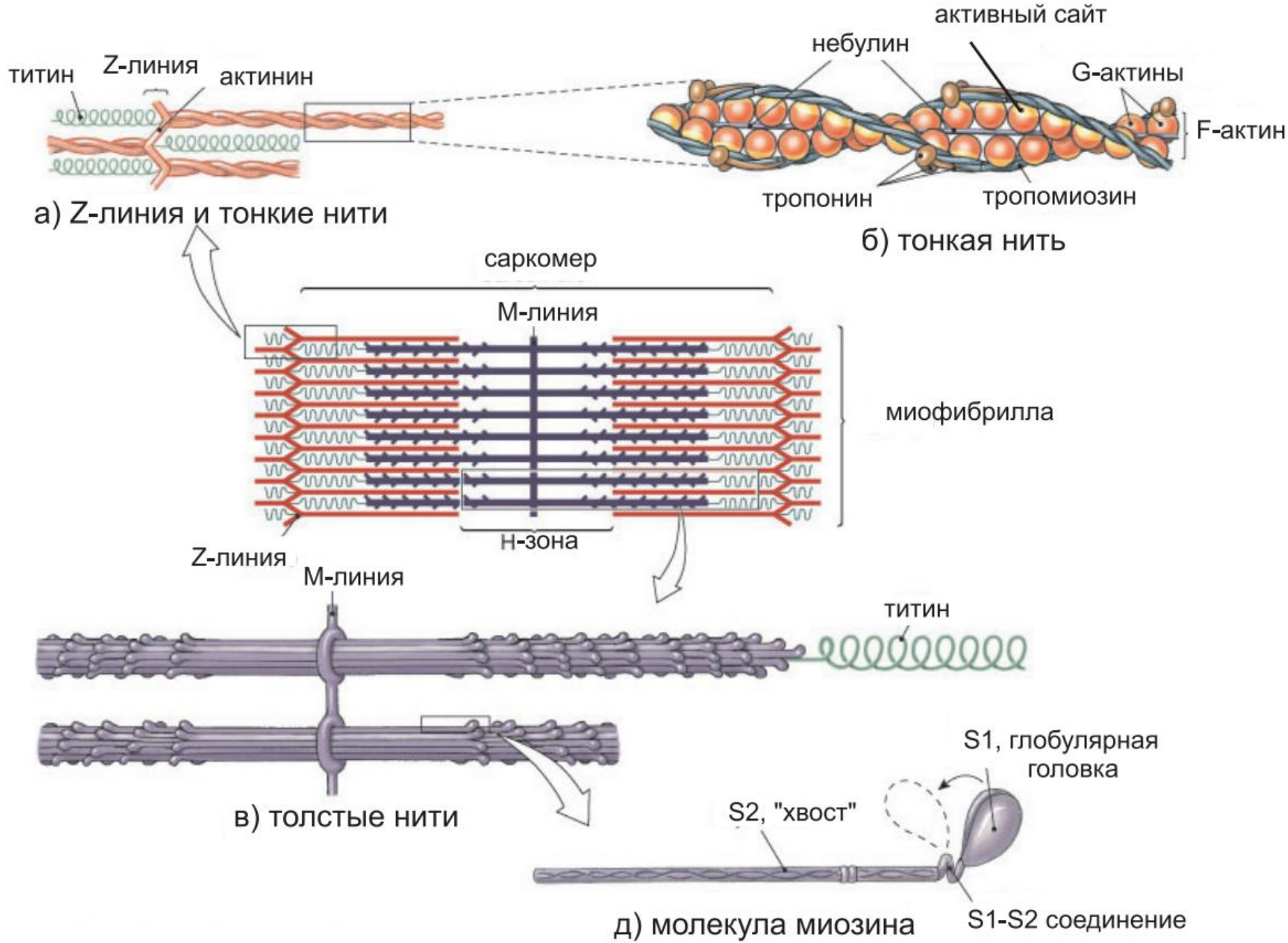
Саркомера
Миофибрилланың негізгі құрылымдық бірлігі

Z дискі
Бір саркомер мен келесі саркомерді өзара бөліп тұрады
Миофибриллаға перпендикуляр орналасқан

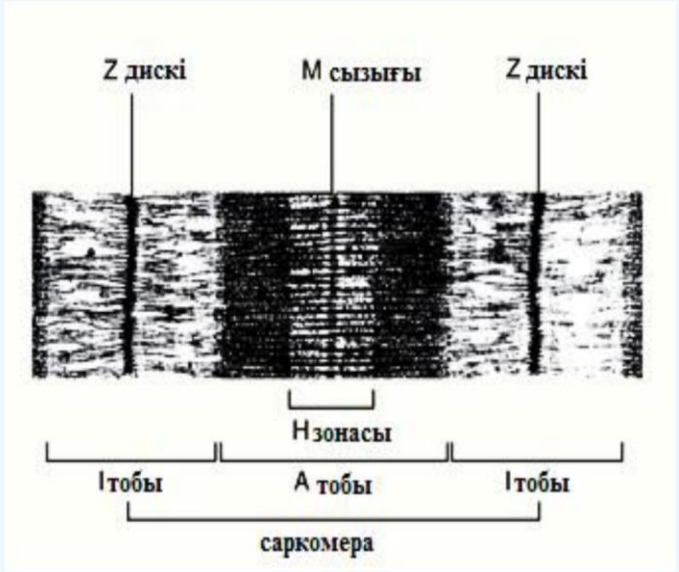
А тобы
Саркомердің аралық бөлігі
Миозин мен актинді қиылыстырады

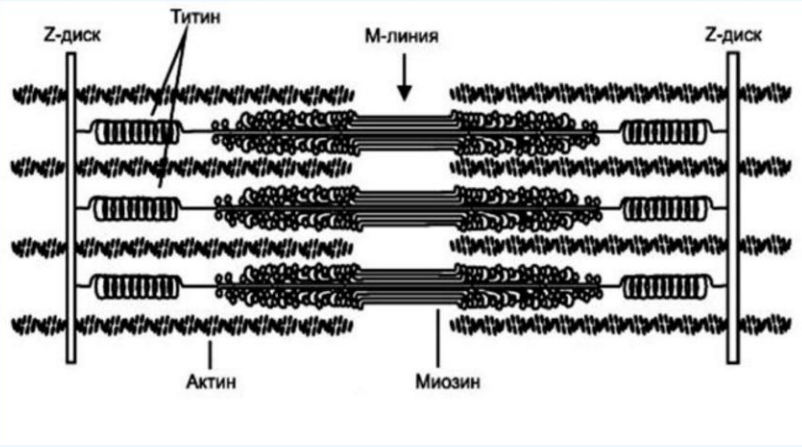
I тобы
Тек актинде ғана болатын жеңіл құрылым
Z дискі I тобының орталығынан өтеді




титин
Z-линия
актинин
а) Z-линия и тонкие нити
активный сайт
небулин
G-актины
F-актин
тропонин
тропомиозин
б) тонкая нить
саркомер
M-линия
миофибрилла
H-зона
Z-линия
M-линия
титин
в) толстые нити
S1, глобулярная головка
S2, "хвост"
S1-S2 соединение
д) молекула миозина

- **Н зонасы**
  Саркомердің миозин бөлігін құрайды.
  Н зонасының ортасынан
  М сызығы өтеді
- **М сызығы**
  Миозинді Н зонасымен бірге ұстауға көмектеседі





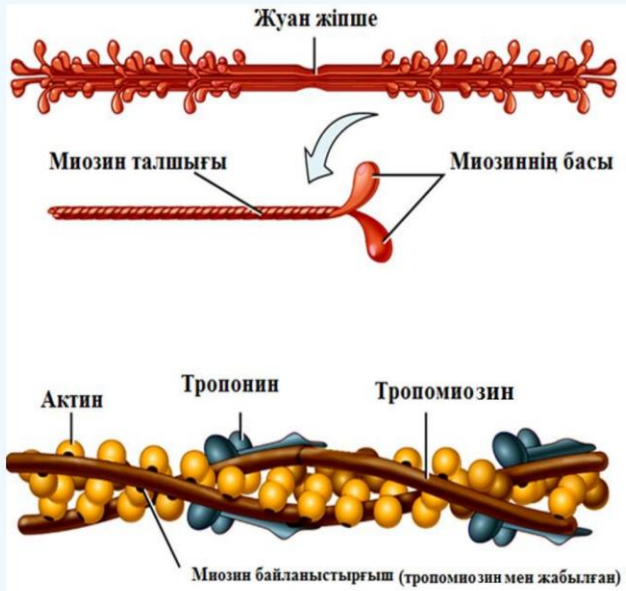
Титин – миозинді Z дискімен байланыстыратын ірі иілгіш нәруыз. Бұлшықетке серпімділік қасиет береді.

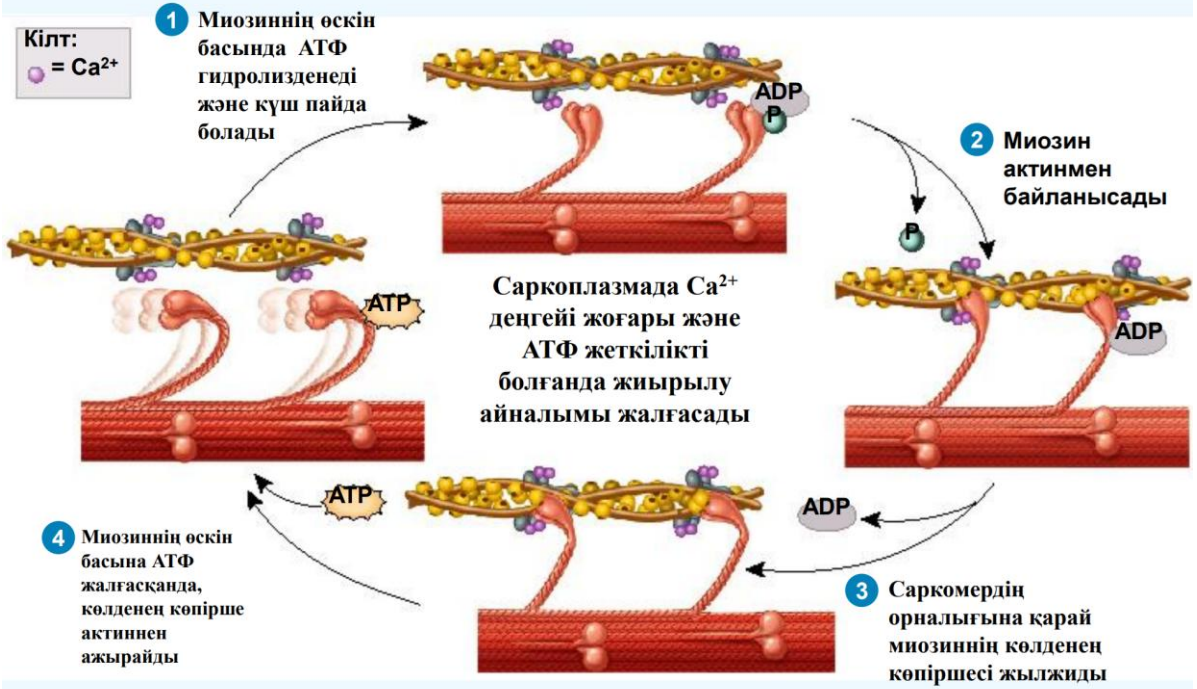
МИОЗИН - бұлшықет талшығының құрамында болатын нәруыз. Миозин басы АТФазалық белсенділікке ие.

АКТИН — бұлшықет жасушасысындағы жиырылу қызметін атқаруға қатысатын нәруызды жіпше.

ТРОПОНИН- шартәрізді реттегіш нәруыз. Бұлшықеттің жиырылуына қатысады.

ТРОПОМИОЗИН – актинмен байланысатын талшықты нәруыз. Бұлшықет жиырылғанда актин мен миозинді байланыстырады, ал босаңсығында актинді миозиннен ажыратады.



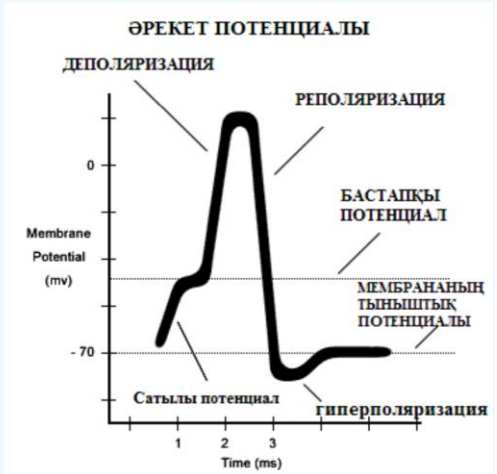


Қаңқа бұлшықетінің жиырылуы

А. Электрохимиялық өзгеріс

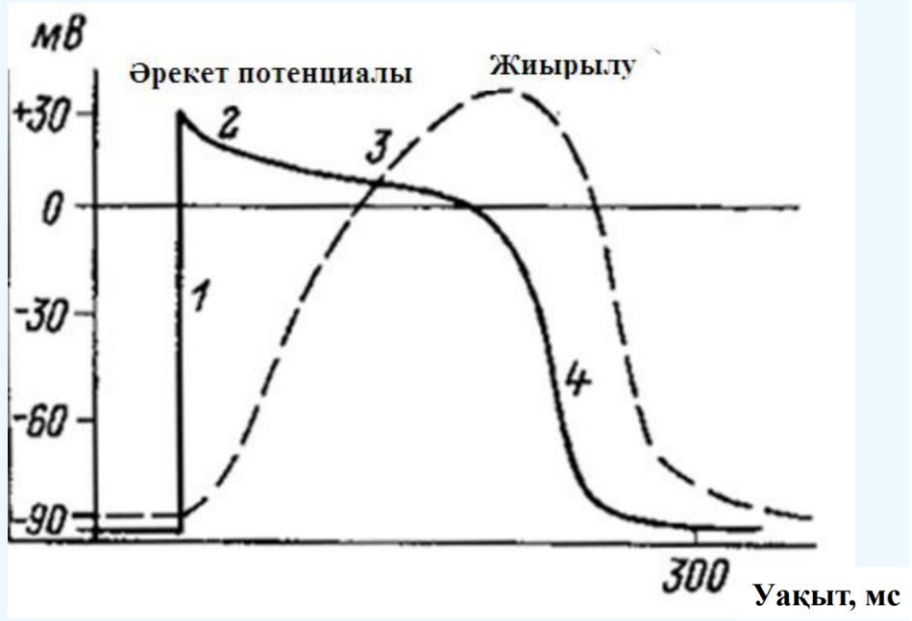
1. Әрекет потенциалы туындайды

/**Әрекет потенциалы** – жүйке немесе бұлшықеттің жасушалары белсенді болған кездегі мембраналық потенциалдың оң бағытқа жедел ауытқуы. Потенциал тыныштық потенциалының теріс шамасынан оң шегіне дейін (30мВ) жылдам жоғарылайды/



Деполяризация-мембрана өз қалыпты зарядын (поляризациясын) жоғалтуы

Реполяризация-мембрана потенциалы қалпына келуі



1 –деполяризация кезеңі;
2 –бастапқы жылдам реполяризация кезеңі;
3 – баяу реполяризация кезеңі;
4 – соңғы жылдам реполяризация кезеңі;

2. Т – түтікшесі арқылы әрекет потенциалы таралады

3. Т –түтікшесі мен саркоплазмалық тордың байланыс аймағы электрлі реттеледі, ферменттер белсендіріледі, Ca^{2+} иондарының жасушаішілік концентрациясы артады.

4. Ca^{2+} иондарының тропонинмен әрекеттесіп, актин жіпшелерінен белсенді орталықты босатады

5. Актинмен миозин өскіндерінің басы байланысады, өскін басы айналады және серпімді күш тудырады

6. Актин мен миозин жіпшелері біршама өзара сырғанауынан саркомердің көлемі кемиді. Бұлшықет талшықтары қысқарады.

Жиырылу айналымы 4 сатыдан құралады

- **1) АТФ гидролизі**
  - Миозин басында АТФ гидролизденеді және зарядталады
- **2) Көлденең көпіршенің қалыптасуы**
  - Актиннің миозин байланыстырғыш сайтына миозиннің басы жалғасады
- **3) Қоректену жолы**
  - Жұмыс уақытында сырғанақ жіпке айналады
- **4) Миозиннен актиннің алшақтауы**
  - АТФ миозиннің келесі басымен байланысқа түскенде актин миозиннен ажыратылады
  - Айналым кальций иондарының жеткілікті болғанына дейін қайталанады
  - Айналым қайталануы кезінде саркомер жиырылады

➢Актин мен миозиннің өзара әрекеттесуі саркоплазмалық торда сақталатын **КАЛЬЦИЙ** иондарының қатысуымен жүреді.

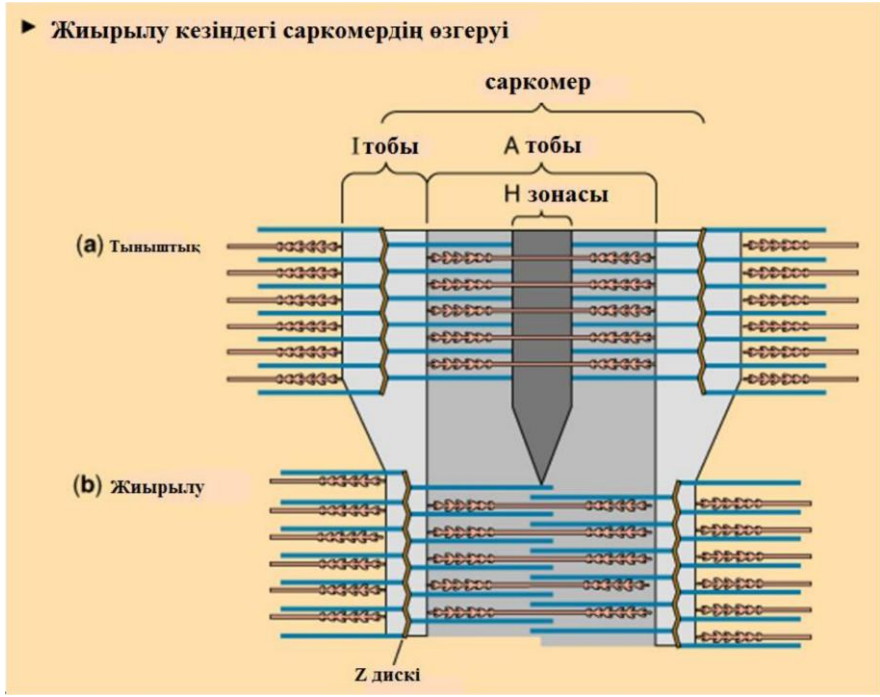
➢Кальций иондарының актин мен миозиннің өзара әрекеттесуіне әсері актин жіпшелерінің құрамына енетін **ТРОПОМИОЗИН** мен **ТРОПОНИНДІК КЕШЕН** арқылы жүреді. Алдымен әрекет потенциалы ықпалымен саркоплазмалық тордан кальций иондары шығып, олар тропонин нәруызымен қосылады да, тропониндік кешен пайда болады.

➢Кальций иондарымен қосылу нәтижесінде тропониннің пішіні өзгеріп, тропомиозинді актиннің екі тізбегі арасына итереді де, оның тығындық әсерін тиады. Осының нәтижесінде актиннің арнаулы аймақтары ашылып, оның миозин өсінділерінің басымен байланысуына, көлденең көпіршелердің пайда болуына жағдай туғызылады да, жиырылу күші пайда болады. **КӨЛДЕНЕҢ КӨПІРШЕЛЕРДІҢ** ескек тәрізді қимылдары миофибриллалар бойында тіркес орналасқан саркомерлерді қысқартып, бұлшықеттің жиырылуын тудырады.

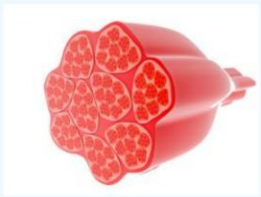
➢Миозиннің көлденең өскіндерінің **БАСЫНДА АТФ-АЗА ФЕРМЕНТІНІҢ** катализдік белсенді орталығы орналасады. Өскін басы актин жіпшелеріне бекіген кезде магний иондарының қатысуымен АТФ-аза активтеніп, АТФ-ті ыдыратады. Бұл үрдістерде бөлінген энергия бұлшықет талшықтарын жиырылту үшін пайдаланылады.

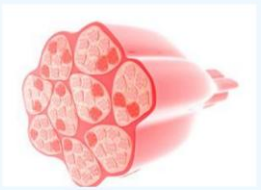
Жиырылу үрдісі аяқталысымен АТФ энергиясы арқылы кальций иондары іске қосылып, кальций саркоплазмалық торға кері ауысады да, бұлшықет талшығының цитоплазмасында оның концентрациясы азаяды. Осының нәтижесінде миозиннің АТФ-азалық белсенділігі басылады да, миозиннің келденең өскіндері актиннен ажырайды, бұлшықет босаңсып, ұзарады.

► Жиырылу кезіндегі саркомердің өзгеруі









Белгілер	Баяу бұлшықет талшығы	Тез бұлшықет талшығы
Құрылысы	Митохондриясы көп	Митохондрия аз
	Саркоплазмалық қабаты нашар дамыған	Саркоплазмалық қабаты жақсы дамыған
	Қызыл түсті, себебі құрамында миоглабин көп	Ақ түсті, себебі миоглобин мен цитохром мүлдем болмайды
	Гликогеннің қоры аз	Гликогеннің қоры көп
	Зат алмасуды күшейту үшін қылтамырларға бай болады	

Белгілер	Баяу бұлшықет талшығы	Тез бұлшықет талшығы
Қозғыштығы	**Мембранада электрлі қозғышсыз болады. Ацетилхолиннің әсерінен аз ғана импульс өтеді.**	**Мембранада электрлі қозғыш болады.**
Жауап қайтару түрі	**Баяу жиырылу, тез жиырылуға қарағанда 100есе аяу жиырылады**	**Тез жиырылу**
Физиологиялық қарқындылығы	**Аэробты тыныс алу – энергия көзі АТФ O_2 жеткіліксіз болғанда анаэробты тыныс алуға көшеді де, сүт қышқылы түзіледі.**	**Анаэробты тыныс алу (гликолиз) – энергия көзі АТФ Тыныс алуда гликолизді пайдаланады.**
Қызметі	**Жұмыс жасап жатқан бұлшықеттер мен тыныштықтағы бұлшықеттердің тепе-теңдігін сақтайды. Бұлшықеттердің ұзақ жиырылуын қамтамасыз етеді.**	**Қан айналым жүйесіне оттегінің жеткіліксіздігі туындағанның өзінде жұмыс жасайды Бұлшықеттердің жылдам жиырылуын қамтамасыз етеді.**

Белгілер	Баяу бұлшықет талшығы	Тез бұлшықет талшығы
Орналасуы	Терең қабатта	Беткі қабатта
Жүйкеленуі	Жіңішке жүйке талшықтары (диаметрі 5 мкм) Бұлшықет талшығына бірнеше жүйке жинақталған. Импульстың берілу жылдамдығы 2-8 $м*с^{-1}$	Жуан жүйке талшықтары (диаметрі 10-20мкм) Бұлшықет талшығында 1 немесе 2 жүйкелер,импульстың берілу жылдамдығы - 8-40 $м*с^{-1}$

Баяу бұлшықет талшығының қызметі






Тез бұлшықет талшығының қызметі




Талшық түрлері	I тип (баяу)	II тип (жылдам)
Жиырылу жылдамдығы	Баяу	Жылдам
Гипертрофия мүмкіндігі /мүшенің шамадан тыс ұлғаюы/	Аз	Көп
Шаршау жылдамдығы	Төмен	Жоғары
Қолданылуы	Аэробты белсенділікте (жүгіру)	Қысқа мерзімді анаэробты
Күші	Төмен	Өте жоғары
Митохондрия саны	Көп	Аз
Қан айналымы	Өте бай	Өте аз
Энергия көзі	Май	Гликоген

Бұлшықеттің максималды кернеуі: Бұлшықет өз күшін шығару кезінде әртүрлі талшықтар мен түрлерге байланысты сәл әртүрлі кернеу тудырады, бірақ орта есеппен шамамен 250 кПа болады. Бұл кернеуді есептеу үшін күшті өлшеп, бұлшықет қысқаратын бөлігінің ауданын бағалауға болады. Егер бұлшықеттің көлденең қимасы белгілі болса, максималды күш осы аудан мен арнайы кернеуді көбейту арқылы анықталады. Бұл әдіс жеке талшықтар немесе моторлық бірліктер үшін де қолданылады.

Бұлшықеттің максималды қысқару жылдамдығы: Бұлшықет қаншалықты тез қысқаратыны саркомерлердің саны мен түріне байланысты. Бір саркомердің қысқару жылдамдығы тәжірибе арқылы белгілі, сондықтан бүкіл бұлшықеттің максималды қысқару жылдамдығын саркомерлер санына көбейтіп есептеуге болады. Саркомерлердің қысқару жылдамдығы түріне және талшыққа қарай әр түрлі болады.

Бұлшықет күшінің ұзындыққа тәуелділігі: Егер бұлшықет ұзындығы өзгермесе, күш актин мен миозин талшықтарының өзара әрекеттесуіне байланысты шығады. Миозин талшығы көбінесе 1,6 мкм ұзындықта, ал актин талшығы әртүрлі болады. Максималды күшке жету үшін әр жарты миозин талшығы толық актин талшығымен қабаттасуы керек, бірақ қарсы актин талшықтары қабаттаспауы тиіс. Осылайша, максималды күш саркомер ұзындығы жіңішке талшық ұзындығының екі есе болғанда шығады. Егер саркомер тым қысқа немесе тым ұзын болса, күш пайда болмайды. Әдетте бұлшықет максималды тиімді күш шығара алатын саркомер ұзындығы оптималды ұзындықтың ±15% шамасында болады. Күш толық емес қоздырылғанда, максималды күш ұзындыққа қарай сәл ығысады

TABLE 9.2 Skeletal Muscle-Specific Tension

Species	Muscle Type	Preparation	Specific Tension (kPa)
		Synthesis	300
Rat	SO	Single fiber	134
Human	Slow	Single fiber	133
Rat	FOG	Single fiber	108
Rat	FG	Single fiber	108
Human	Fast	Single fiber	166
Cat	1	Motor unit	59
Cat	S	Motor unit	172
Cat	2A	Motor unit	284
Cat	FR	Motor unit	211
Cat	2B + 2AB	Motor unit	343
Cat	FF/FI	Motor unit	249
Human	Elbow	Whole muscle	230–420
Human	Ankle	Whole muscle	45–250
Rat	TA	Whole muscle	272
Rat	Soleus	Whole muscle	319
Guinea pig	Hindlimb	Whole muscle	225
Guinea pig	Soleus	Whole muscle	154

TABLE 9.3 Muscle Dynamic Properties

Species	Muscle Type	Preparation	V_{max}^{a}
Rat	SO	Single fiber	1.49 L/s
Human	Slow	Single fiber	0.86 L/s
Rat	FOG	Single fiber	4.91 L/s
Rat	FG	Single fiber	8.05 L/s
Human	Fast	Single fiber	4.85 L/s
Mouse	Soleus	Whole muscle	31.7 μm/s
Rat	Soleus	Whole muscle	18.2 μm/s
Rat	Soleus	Whole muscle	5.4 cm/s
Cat	Soleus	Whole muscle	13 μm/s
Mouse	EDL	Whole muscle	60.5 μm/s
Rat	EDL	Whole muscle	42.7 μm/s
Cat	EDL	Whole muscle	31 μm/s
Rat	TA	Whole muscle	14.4 cm/s

TABLE 9.7 Actin Filament Lengths

Species	Actin Filament Length (μm)	Optimal Length (μm)
Cat	1.12	2.24
Rat	1.09	2.18
Rabbit	1.09	2.18
Frog	0.98	1.96
Monkey	1.16	2.32
Human	1.27	2.54
Hummingbird	1.75	3.50
Chicken	0.95	1.90
Wild rabbit	1.12	2.24
Carp	0.98	1.92

Адам қолы мен білегіндегі бұлшықеттердің архитектуралық қасиеттері

TABLE 9.4 Architectural Properties of the Human Arm and Forearm[a]

Muscle	Muscle Mass (g)	Muscle Length (mm)	Fiber Length (mm)	Pennation Angle (deg.)	Cross-Sectional Area (cm^2)	FL/ML Ratio
BR ($n = 8$)	16.6 ± 2.8	175 ± 8.3	121 ± 8.3	2.4 ± .6	1.33 ± .22	.69 ± .062
PT ($n = 8$)	15.9 ± 1.7	130 ± 4.7	36.4 ± 1.3	9.6 ± .8	4.13 ± .52	.28 ± .012
PQ ($n = 8$)	5.21 ± 1.0	39.3 ± 2.3	23.3 ± 2.0	9.9 ± .3	2.07 ± .33	.58 ± .021
EDC I ($n = 8$)	3.05 ± .45	114 ± 3.4	56.9 ± 3.6	3.1 ± .5	.52 ± .08	.49 ± .024
EDC M ($n = 5$)	6.13 ± 1.2	112 ± 4.7	58.8 ± 3.5	3.2 ± 1.0	1.02 ± .20	.50 ± .014
EDC R ($n = 7$)	4.70 ± .75	125 ± 10.7	51.2 ± 1.8	3.2 ± .54	.86 ± .13	.42 ± .023
EDC S ($n = 6$)	2.23 ± .32	121 ± 8.0	52.9 ± 5.2	2.4 ± .7	.40 ± .06	.43 ± .029
EDQ ($n = 7$)	3.81 ± .70	152 ± 9.2	55.3 ± 3.7	2.6 ± .6	.64 ± .10	.36 ± .012
FPLEIP ($n = 6$)	2.86 ± .61	105 ± 6.6	48.4 ± 2.3	6.3 ± .8	.56 ± .11	.46 ± .023
EPL ($n = 7$)	4.54 ± .68	138 ± 7.2	43.6 ± 2.6	5.6 ± 1.3	.98 ± .13	.31 ± .020
PL ($n = 6$)	3.78 ± .82	134 ± 11.5	52.3 ± 3.1	3.5 ± 1.2	.69 ± .17	.40 ± .032
FDS I(P) ($n = 6$)	6.0 ± 1.1	92.5 ± 8.4	31.6 ± 3.0	5.1 ± 0.2	1.81 ± .83	.34 ± .022
FDS I(D) ($n = 9$)	6.6 ± 0.8	119 ± 6.1	37.9 ± 3.0	6.7 ± 0.3	1.63 ± .22	.32 ± .013
FDS I(C) ($n = 6$)	12.4 ± 2.1	207 ± 10.7	67.6 ± 2.8	5.7 ± 0.2	1.71 ± .28	.33 ± .025
FDS M ($n = 9$)	16.3 ± 2.2	183 ± 11.5	60.8 ± 3.9	6.9 ± 0.7	2.53 ± .34	.34 ± .014
FDS R ($n = 9$)	10.2 ± 1.1	155 ± 7.7	60.1 ± 2.7	4.3 ± 0.6	1.61 ± .18	.39 ± .023
FDS S ($n = 9$)	1.8 ± 0.3	103 ± 6.3	42.4 ± 2.2	4.9 ± 0.7	0.40 ± .05	.42 ± .014
FDP I ($n = 9$)	11.7 ± 1.2	149 ± 3.8	61.4 ± 2.4	7.2 ± 0.7	1.77 ± .16	.41 ± .018
FDP M ($n = 9$)	16.3 ± 1.7	200 ± 8.2	68.4 ± 2.7	5.7 ± 0.3	2.23 ± .22	.34 ± .011
FDP R ($n = 9$)	11.9 ± 1.4	194 ± 7.0	64.6 ± 2.6	6.8 ± 0.5	1.72 ± .18	.33 ± .009
FDP S ($n = 9$)	13.7 ± 1.5	150 ± 4.7	60.7 ± 3.9	7.8 ± 0.9	2.20 ± .30	.40 ± .015
FPL ($n = 9$)	10.0 ± 1.1	168 ± 10.0	45.1 ± 2.1	6.9 ± 0.2	2.08 ± .22	.24 ± .010

Pennation Angle – талшықтың сіңірге бұрыш жасай орналасуы (пеннэйшн бұрышы).
Бұрыш үлкен болса, күш көбірек, бірақ жылдамдық төмен болады.
Мысалы, PT ≈ 9.6°, PQ ≈ 9.9°, ал BR тек ≈ 2.4°.

Cross-Sectional Area (cm^2) – бұлшықеттің физиологиялық көлденең қимасының ауданы.
Күшпен тікелей байланысты.
Мысалы, PT – ≈ 4.13 $см^2$ (өте күшті), ал EDC S – небәрі ≈ 0.40 $см^2$.

FL/ML Ratio (Fiber Length/Muscle Length) – талшық ұзындығының бұлшықет ұзындығына қатынасы.
Жылдамдық пен қозғалыс диапазонын сипаттайды.
Қатынас жоғары болса – бұлшықет ұзын талшықты, жылдам жиырылатын; қатынас төмен болса – күшке бағытталған.
Мысалы, BR – ≈ 0.69 (жылдамдыққа жақсы бейімделген), PT – ≈ 0.28 (көбірек күшке арналған).

BR – Brachioradialis
– Білек бүккіш бұлшықеті.
– Шынтақты бүгеді, білектің орта қалыптағы қозғалысына көмектеседі (supination ↔ pronation).

PT – Pronator Teres
– Білек пронаторы (ішке бұрушы).
– Білекті ішке бұрады (pronation) және шынтақты аздап бүгеді.

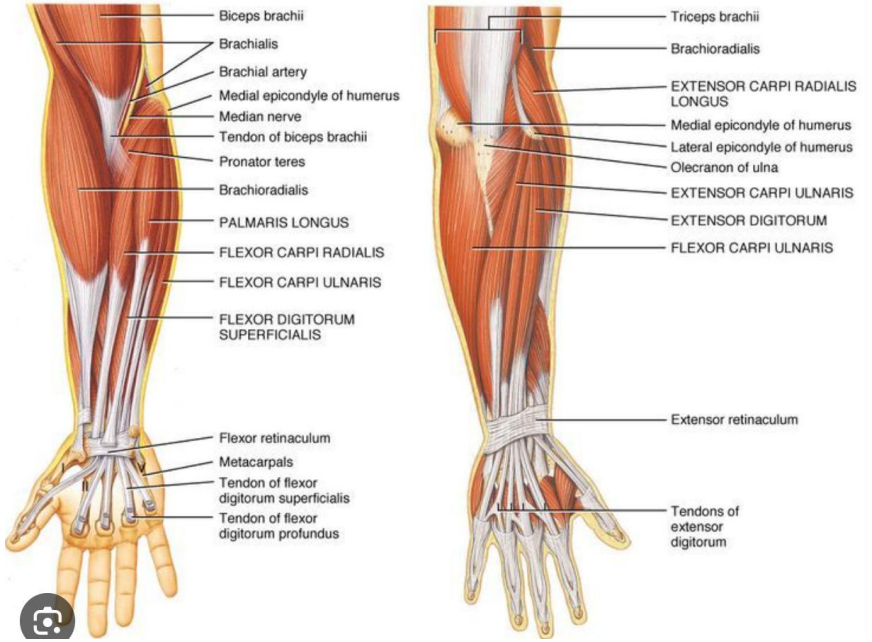
PQ – Pronator Quadratus
– Білек пронаторы (төртбұрышты).
– Білекті ішке бұрудың негізгі бұлшықеті, әсіресе қозғалыстың соңғы бөлігінде.

EDC – Extensor Digitorum Communis
– Саусақ жазғыш бұлшықет (ортақ).
– 2–5 саусақтарды жазады.
M, R, C, S – әртүрлі бастама/бөлімдері (Medial, Radial, Central, Small finger branch).

EDQ – Extensor Digiti Quinti (Minimi)
– 5-ші саусақты (шынашақ) жазатын бұлшықет.

FPLEIP – First Palmar Interosseous – Көрсеткіш саусақты жазуға қатысады.

EPL – Extensor Pollicis Longus
– Бас бармақты (pollex) жазатын ұзын бұлшықет.



PL – Palmaris Longus
– Алақан фасциясын (palmar aponeurosis) тартатын бұлшықет. Кей адамдарда болмайды (~10–15%).

FDS – Flexor Digitorum Superficialis
– Саусақтардың үстіңгі бүккіші.
– 2–5 саусақтарды проксималды буыннан бүгеді.
I(P), I(D), I(C), M, R, S – оның әртүрлі бастамалары (Index – I, Middle – M, Ring – R, Small – S).

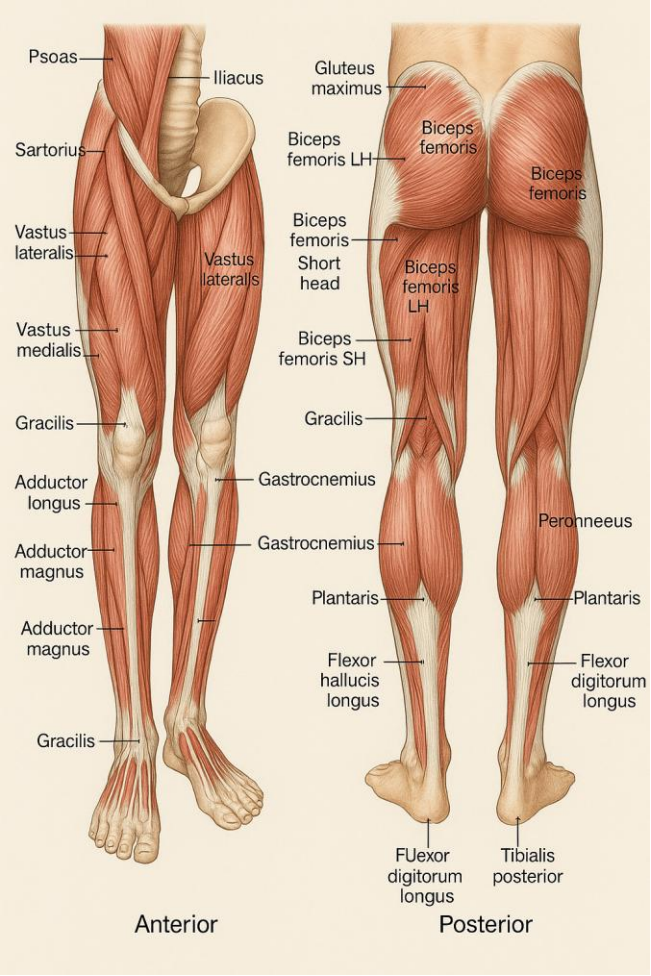
FDP – Flexor Digitorum Profundus
– Саусақтардың терең бүккіші.
– Саусақтардың соңғы (distal) буындарын бүгеді.
I, M, R, S – әр саусаққа арналған бөлімдері.

FPL – Flexor Pollicis Longus
– Бас бармақтың ұзын бүккіші.

Адам аяғының бұлшықеттерінің архитектуралық қасиеттері

TABLE 9.5 Architectural Properties of Human Lower Limb[a]

Muscle	Muscle Mass (g)	Muscle Length (cm)	Fiber Length (cm)	Pennation Angle (deg.)	Cross-Sectional Area (cm^2)	FL/ML Ratio
Psoas	97.69 ± 33.58	24.25 ± 4.75	11.69 ± 1.66	10.66 ± 3.20	7.73 ± 2.31	0.50 ± 0.14
Iliacus	113.74 ± 37.01	20.61 ± 4.02	10.66 ± 1.86	14.29 ± 5.32	9.88 ± 3.40	0.56 ± 0.26
Gluteus maximus	547.24 ± 162.17	26.95 ± 6.42	15.69 ± 2.57	21.94 ± 26.24	28.17 ± 11.05	0.62 ± 0.22
Glut. medius	273.45 ± 76.86	19.99 ± 2.86	7.33 ± 1.57	20.47 ± 17.34	33.78 ± 14.39	0.37 ± 0.08
Sartorius	78.45 ± 31.13	44.81 ± 4.19	40.30 ± 4.63	1.33 ± 1.76	1.86 ± 0.74	0.90 ± 0.04
Rectus femoris	110.55 ± 43.33	36.28 ± 4.73	7.59 ± 1.28	13.93 ± 3.49	13.51 ± 4.97	0.21 ± 0.03
Vastus lateralis	375.85 ± 137.18	27.34 ± 4.62	9.94 ± 1.76	18.38 ± 6.78	35.09 ± 16.14	0.38 ± 0.11
Vastus intermedius	171.86 ± 72.89	41.20 ± 8.17	9.93 ± 2.03	4.54 ± 4.45	16.74 ± 6.91	0.24 ± 0.04
Vastus medialis	239.44 ± 94.83	43.90 ± 9.85	9.68 ± 2.30	29.61 ± 6.89	20.58 ± 7.17	0.22 ± 0.04
Gracilis	52.53 ± 16.72	28.69 ± 3.29	22.78 ± 4.38	8.16 ± 2.51	2.23 ± 0.81	0.79 ± 0.08
Adductor longus	74.67 ± 28.42	21.84 ± 4.46	10.82 ± 2.02	7.08 ± 3.43	6.50 ± 2.17	0.50 ± 0.07
Adductor brevis	54.56 ± 24.83	15.39 ± 2.46	10.31 ± 1.42	6.10 ± 3.14	4.95 ± 2.11	0.68 ± 0.06
Adductor magnus	324.72 ± 127.82	37.90 ± 7.36	14.44 ± 2.74	15.54 ± 7.27	20.48 ± 7.82	0.39 ± 0.07
Biceps femoris LH	113.37 ± 48.53	34.73 ± 3.65	9.76 ± 2.62	11.58 ± 5.50	11.33 ± 4.75	0.28 ± 0.08
Biceps femoris SH	59.79 ± 22.62	22.39 ± 2.50	11.03 ± 2.06	12.33 ± 3.61	5.06 ± 1.69	0.49 ± 0.07
Semitendinosus	99.74 ± 37.81	29.67 ± 3.86	19.30 ± 4.12	12.86 ± 4.94	4.82 ± 2.01	0.65 ± 0.11
Semimembranosus	134.31 ± 57.56	29.34 ± 3.42	6.90 ± 1.83	15.09 ± 3.43	18.40 ± 7.53	0.24 ± 0.06
Tibialis anterior	80.13 ± 26.63	25.98 ± 3.25	6.83 ± 0.79	9.56 ± 3.11	10.89 ± 3.01	0.27 ± 0.05
Extensor hallucis longus	20.93 ± 9.86	24.25 ± 3.27	7.48 ± 1.13	9.44 ± 2.15	2.67 ± 1.52	0.31 ± 0.06
Extensor digitorum longus	40.98 ± 12.62	29.00 ± 2.33	6.93 ± 1.14	10.83 ± 2.75	5.55 ± 1.68	0.24 ± 0.04
Peroneus longus	57.74 ± 22.64	27.08 ± 3.02	5.08 ± 0.63	14.08 ± 5.14	10.39 ± 3.75	0.19 ± 0.03
Peroneus brevis	24.15 ± 10.59	23.75 ± 3.11	4.54 ± 0.65	11.46 ± 2.96	4.91 ± 2.01	0.19 ± 0.03
GastrocnemiusMH	113.46 ± 31.97	26.94 ± 4.65	5.10 ± 0.98	9.88 ± 4.39	21.12 ± 5.66	0.19 ± 0.03
Gastrocnemius	62.24 ± 24.56	22.35 ± 3.70	5.88 ± 0.95	12.04 ± 3.11	9.72 ± 3.26	0.27 ± 0.03
Soleus	275.77 ± 98.50	40.54 ± 8.32	4.40 ± 0.99	28.25 ± 10.05	51.79 ± 14.91	0.11 ± 0.02
Flexor hallucis longus	38.89 ± 17.09	26.88 ± 3.55	5.27 ± 1.29	16.89 ± 4.62	6.85 ± 2.72	0.20 ± 0.05
Flexor digitorum longus	20.27 ± 10.75	27.33 ± 5.62	4.46 ± 1.06	13.64 ± 4.73	4.37 ± 2.02	0.16 ± 0.09
Tibialis posterior	58.44 ± 19.20	31.03 ± 4.68	3.78 ± 0.49	13.71 ± 4.11	14.42 ± 4.94	0.12 ± 0.02



1. Жамбас пен сан бұлшықеттері

Gluteus maximus, medius – жүріп-тұру, тік тұру және жамбасты қозғалтудың негізгі бұлшықеттері. Gluteus maximus – ең ауыр әрі күшті бұлшықет.

Iliacus, Psoas – жамбасты бүккіш бұлшықеттер, жүгіру мен жүру кезінде белсенді.

Sartorius – ең ұзын бұлшықет, қозғалыс диапазоны үлкен.

2. Квадрицепс (санның алдыңғы бөлігі)

Rectus femoris, Vastus lateralis, intermedius, medialis – тізені жазатын негізгі бұлшықеттер.

Көлденең қимасы үлкен, сондықтан күшті.

3. Артқы топ (Hamstrings)

Biceps femoris (LH, SH), Semitendinosus, Semimembranosus – тізені бүгеді, жамбас буынын жазуға қатысады.

4. Адукция жасайтын бұлшықеттер

Adductor longus, brevis, magnus, gracilis – санды ішке тартады.

5. Балтыр бұлшықеттері

Gastrocnemius, Soleus – негізгі "итеру" бұлшықеттері (жүру, жүгіру, секіру кезінде).

Soleus – төзімділікке, gastrocnemius – жарылғыш күшке бейім.

Tibialis anterior – табанды көтереді, жүру кезінде тепе-теңдікке маңызды.

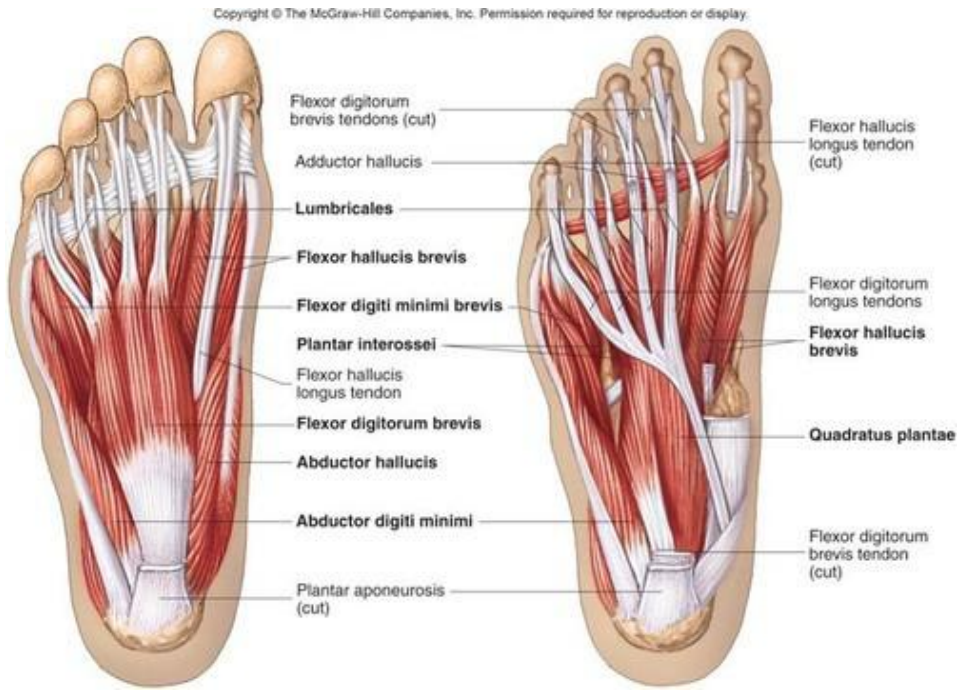
Tibialis posterior, Flexor hallucis longus, Flexor digitorum longus – табан доғасын ұстап тұрады, жүруде тұрақтылық береді.

Адам табанының бұлшықеттерінің архитектуралық қасиеттері

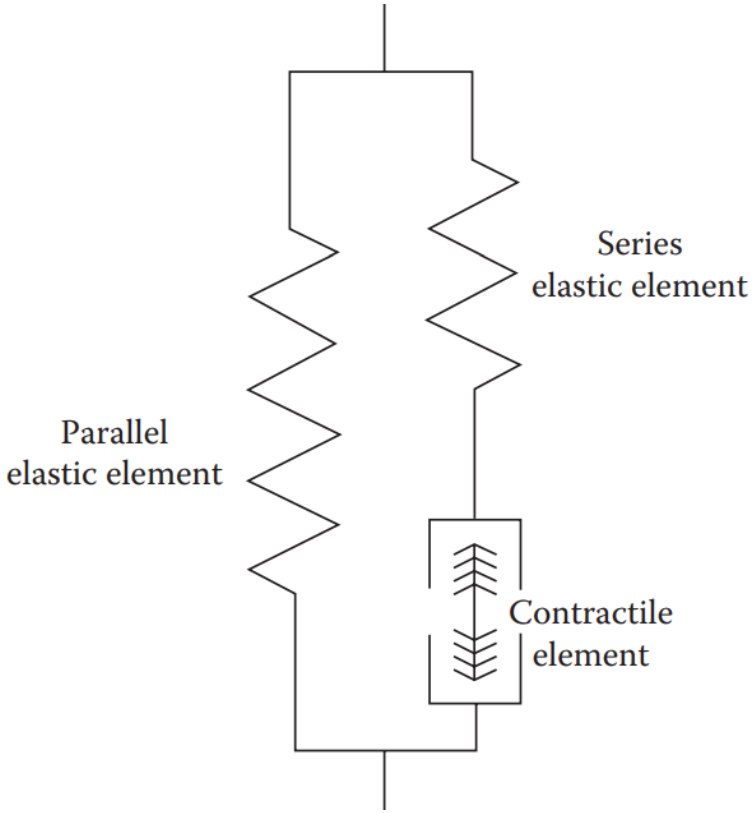
TABLE 9.6 Architectural Properties of Human Foot[a]

Muscle	Muscle Volume (cm^3)	Muscle Length (mm)	Fiber Length (mm)	Cross-Sectional Area (cm^2)
ABDH	15.2 ± 5.3	115.8 ± 4.9	23.0 ± 5.5	6.68 ± 2.07
ABDM	8.8 ± 4.7	112.8 ± 19.0	23.9 ± 7.4	3.79 ± 1.83
ADHT	1.1 ± 0.6	24.8 ± 4.2	18.7 ± 5.2	0.62 ± 0.26
ADHO	9.1 ± 3.1	67.4 ± 4.6	18.6 ± 5.3	4.94 ± 1.36
EDB2	2.1 ± 1.2	69.8 ± 16.8	28.0 ± 6.5	0.79 ± 0.43
EDB3	1.3 ± 0.7	82.2 ± 20.7	26.4 ± 5.1	0.51 ± 0.30
EDB4	1.0 ± 0.7	70.4 ± 21.1	23.1 ± 3.8	0.44 ± 0.29
EHB	3.6 ± 1.5	65.7 ± 8.5	27.9 ± 5.7	1.34 ± 0.66
FDB2	4.5 ± 2.3	92.9 ± 15.0	25.4 ± 4.5	1.78 ± 0.79
FDB3	3.2 ± 1.5	98.8 ± 18.1	22.8 ± 4.0	1.49 ± 0.71
FDB4	2.6 ± 1.0	103.0 ± 9.2	20.8 ± 4.5	1.26 ± 0.47
FDB5	0.7 ± 0.3	83.2 ± 3.0	18.2 ± 2.2	0.35 ± 0.16
FDMB	3.4 ± 1.7	51.0 ± 5.3	17.7 ± 3.8	2.00 ± 1.02
FHBM	3.1 ± 1.3	76.0 ± 19.8	17.5 ± 4.8	1.80 ± 0.75
FHBL	3.4 ± 1.4	65.3 ± 7.1	16.5 ± 3.4	2.12 ± 0.84
DI1	2.7 ± 1.4	51.0 ± 4.9	16.1 ± 4.4	1.70 ± 0.64
DI2	2.5 ± 1.4	49.9 ± 5.1	15.3 ± 4.0	1.68 ± 0.80
DI3	2.5 ± 1.2	44.3 ± 5.6	15.6 ± 5.4	1.64 ± 0.58
DI4	4.2 ± 2.0	61.4 ± 4.5	16.0 ± 4.8	2.72 ± 1.33
LB2	0.6 ± 0.4	53.9 ± 11.8	22.4 ± 6.5	0.28 ± 0.17
LB3	0.5 ± 0.4	45.2 ± 8.7	22.3 ± 6.7	0.28 ± 0.09
LB4	0.6 ± 0.4	37.3 ± 19.9	21.1 ± 9.3	0.30 ± 0.32
LB5	0.4 ± 0.4	41.0 ± 12.1	16.2 ± 7.0	0.18 ± 0.13
PI1	1.5 ± 0.5	46.2 ± 4.0	13.6 ± 3.7	1.23 ± 0.65
PI2	1.9 ± 0.7	56.6 ± 6.6	13.9 ± 3.5	1.41 ± 0.48
PI3	1.8 ± 0.6	48.8 ± 9.9	14.2 ± 5.9	1.38 ± 0.55
QPM	5.6 ± 3.4	81.3 ± 20.1	27.5 ± 7.0	1.96 ± 0.94
QPL	2.4 ± 1.2	55.3 ± 3.9	23.4 ± 7.1	1.00 ± 0.41

ABDH – Abductor hallucis -– Бас бармақты (hallux) сыртқа әкететін бұлшықет. Жүруде тепе-теңдікті ұстайды.
ABDM – Abductor digiti minimi - – Шынашақты (5-ші саусақ) сыртқа әкетеді.
ADHT / ADHO – Adductor hallucis – Бас бармақты 2-ші саусаққа қарай тартады, табан доғасын ұстап тұрады.
EDB2, EDB3, EDB4 – Extensor digitorum brevis (2–4 саусақтарға) – Саусақтарды жазады.
EHB – Extensor hallucis brevis – Бас бармақты жазады.
FDB2–5 – Flexor digitorum brevis (2–5 саусақтарға) – Саусақтарды бүккіш.
FHBL / FHBM – Flexor hallucis brevis – Бас бармақты бүгеді, доғаны қолдайды.
DI1–4 – Dorsal interossei (аралық бұлшықеттер) – Саусақтарды сыртқа әкетеді.
LB2–5 (lumbricals) – Саусақтарды бүгеді (проксималды фалангада) және жазады (ортаңғы, дисталды фалангада).
PI1–3 – Plantar interossei – Саусақтарды ішке әкеледі.
QPM (Quadratus plantae) – Flexor digitorum longus бұлшықетінің бағытын түзетіп, саусақтарды бүгуге көмектеседі.
QPL (Quadratus plantae lateralis, қосымша бөлігі) – осы топқа қосымша элемент.



Hill моделі – бұлшықеттің механикалық элементтері



Бұлшықет үш негізгі элементтен тұрады:

Contractile element (CE) – қысқартқыш элемент (актин + миозин).

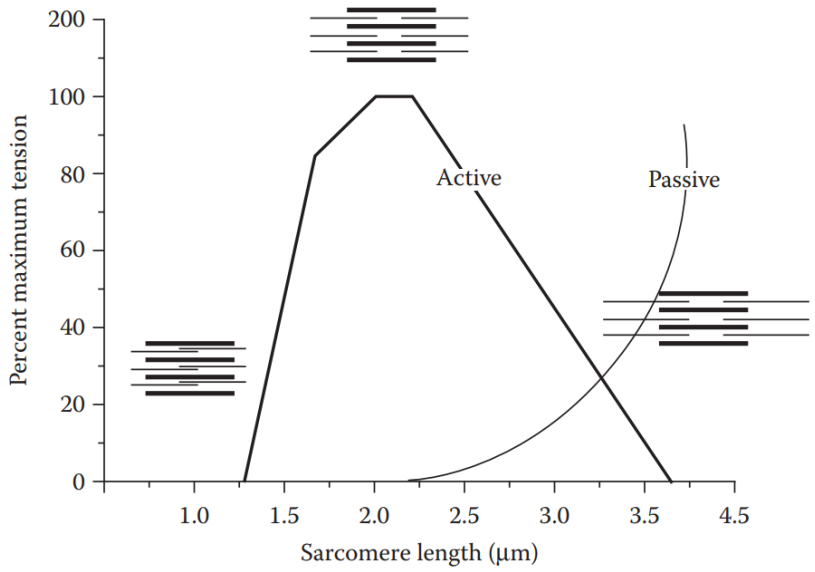
Series elastic element (SEE) – сериялық серпімділік (сіңір, титин).

Parallel elastic element (PEE) – параллель серпімділік (дәнекер тіндер).

Hill моделі → бұлшықетті серпімділік пен қысқартқыш күштің комбинациясы ретінде сипаттайды. Бұл конститутивті модельдерге мысал, өйткені ол бұлшықетті механикалық қасиеттері бар материал ретінде қарастырады.

Мысал: резинкаға жіп байлап, оны серіппемен қатар қойсақ → жіп тартылғанда серіппелер де бірге жұмыс істейді. Бұлшықет күшін тек талшық қана емес, серпімді элементтер де анықтайды.

Ұзындық–күш байланысы және кросс-бридж теориясы



Саркомер ұзындығы мен күш арасындағы байланыс

Саркомердің оптималды ұзындығында **(≈2.0–2.2 мкм)** ең жоғары күш пайда болады.

Қысқа ұзындықта → актин жіпшелері бір-біріне кедергі жасайды.

Ұзын ұзындықта → кросс-бридждердің саны азаяды.

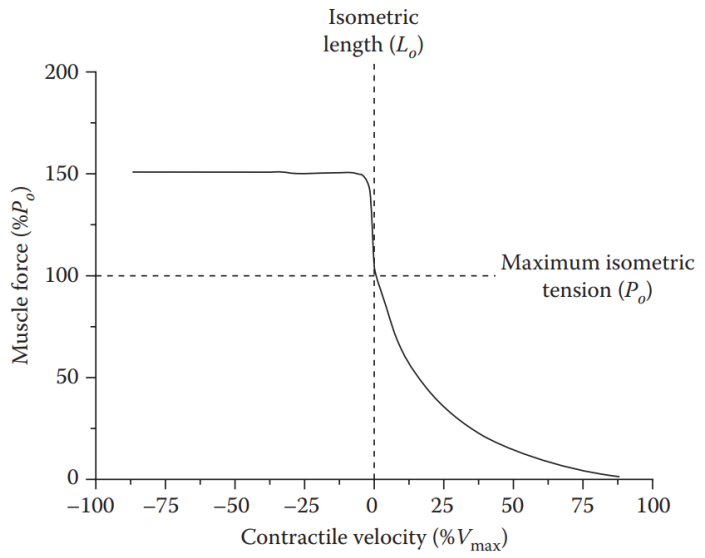
Пассивті күш → дәнекер тіндердің серпімділігі есебінен.

Бұл құбылыс **кросс-бридж** модельдерімен түсіндіріледі,

себебі күш айқас көпірлердің түзілу дәрежесіне байланысты.

Мысалы: егер саған қолыңды тым бүгіп не созып қойса, күшпен қыса алмайсың. Ал орташа қалыпта күшің ең мықты болады.

Күш–жылдамдық байланысы және феноменологиялық модельдер



Бұлшықет күшінің жиырылу жылдамдығына тәуелділігі

Изометриялық жағдайда (жылдамдық = 0) → ең жоғары күш.

Жиырылу жылдамдығы артқан сайын → күш төмендейді.

Экцентриялық жиырылуда (бұлшықет созылып жатқанда) → күш изометриялықтан да артық.

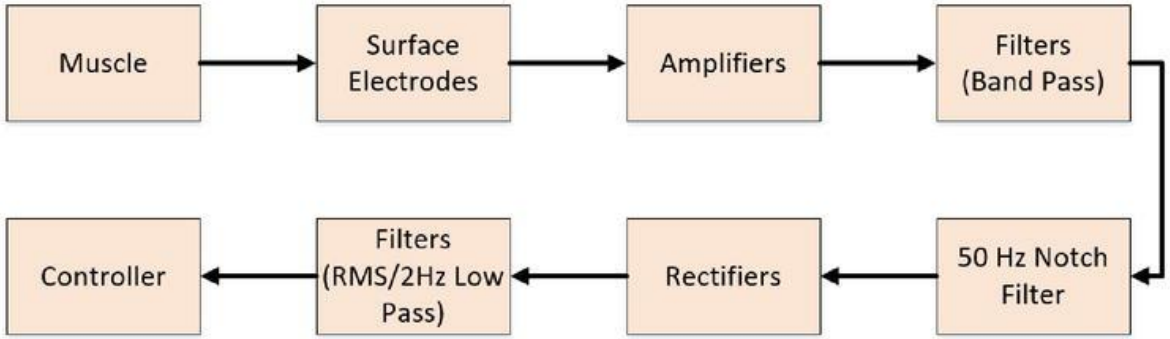
Бұл құбылыс тәжірибелік түрде алынған, сондықтан **феноменологиялық** модельге жатады.

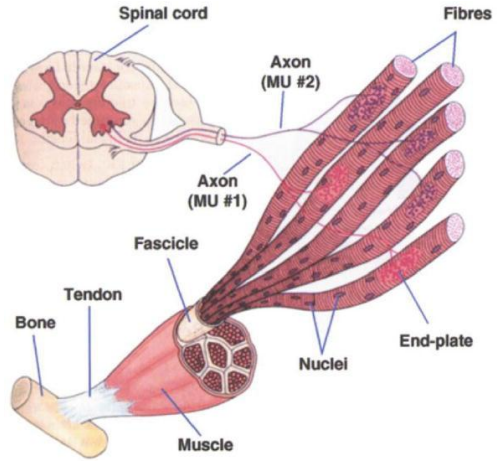
Мысалы: гантельді баяу түсіргенде (эксцентриялық фаза) күш көбірек, ал оны тез көтергің келсе күш азаяды.

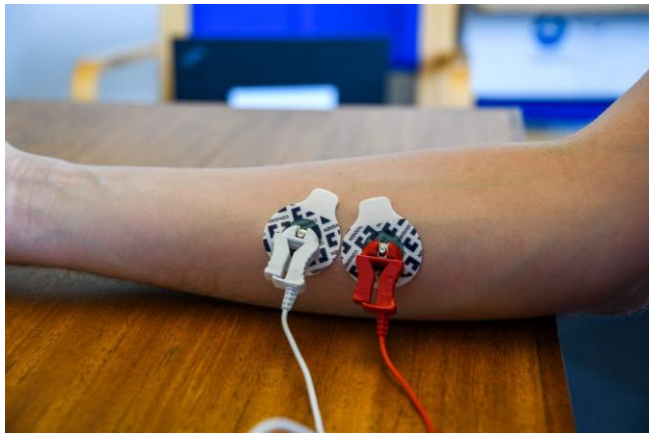
Электромиография (ЭМГ)

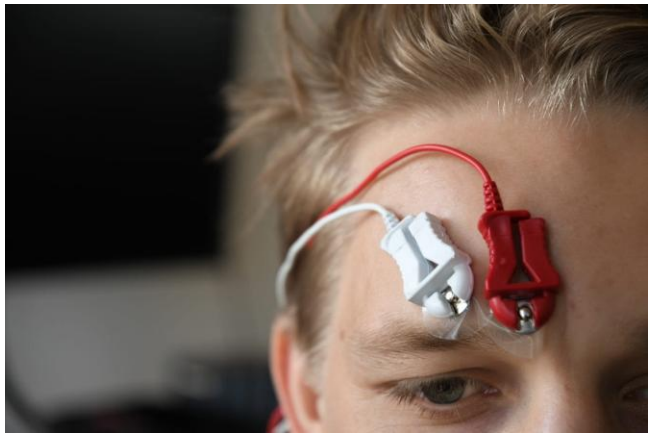


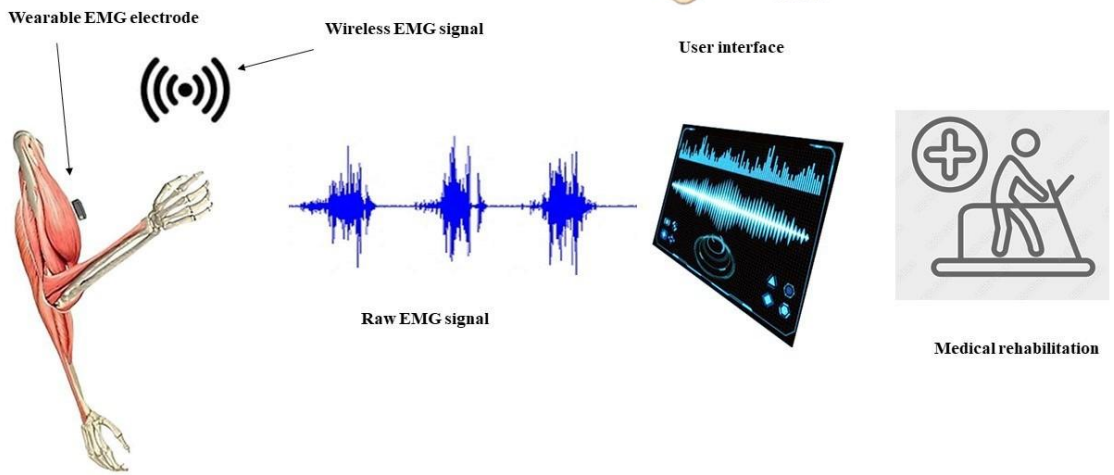
Электромиография (ЭМГ) – қаңқа бұлшықеттері жұмыс істегенде пайда болатын электрлік белсенділікті тіркеп, талдау үшін қолданылатын әдіс. Бұл сигналдар арқылы бұлшықеттегі медициналық ақауларды анықтауға, бұлшықеттің белсенділік деңгейін бағалауға, қозғалыс кезінде қай моторлық бірліктердің (талшық топтарының) іске қосылатынын көруге және жалпы қимылдың биомеханикасын талдауға болады. Зерттеу үшін арнайы шағын таратқыштар бұлшықеттің дәл ортасына, теріге тікелей орналастырылған электродтарға қосылады.



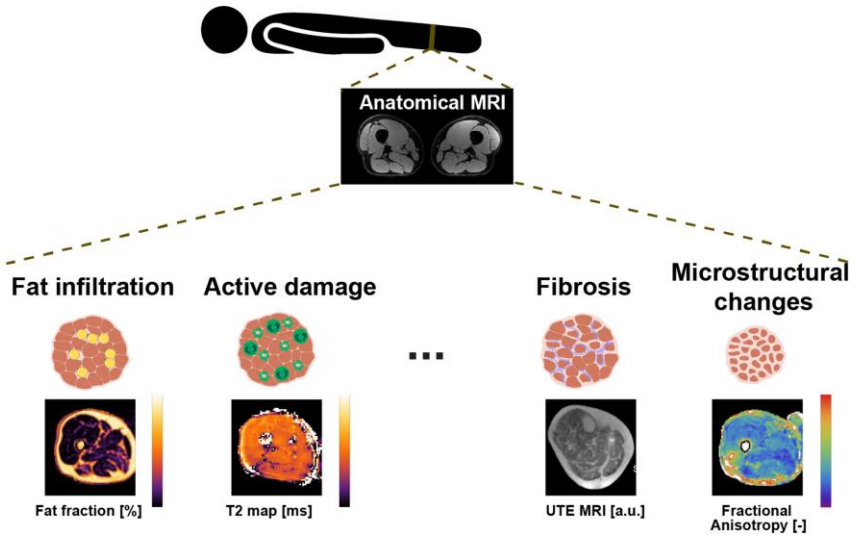


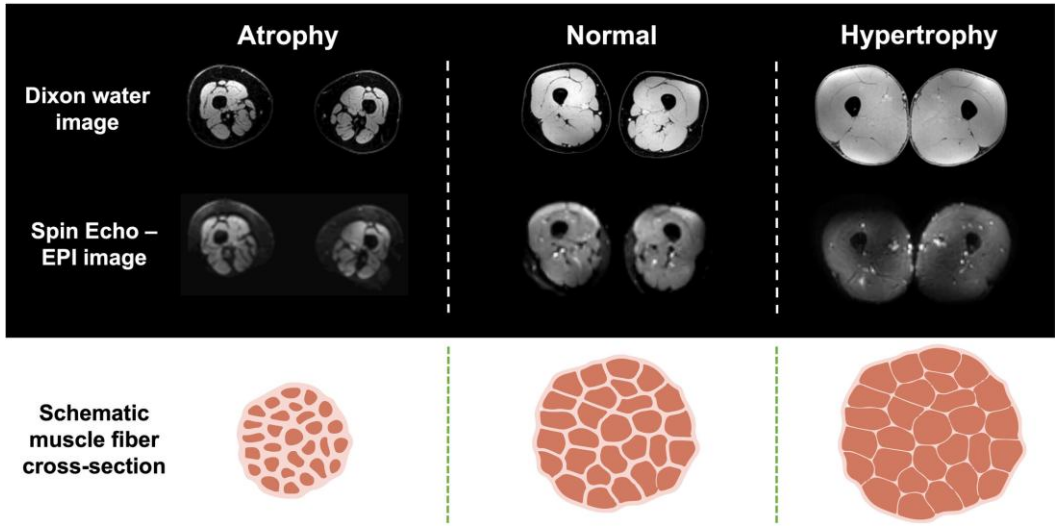


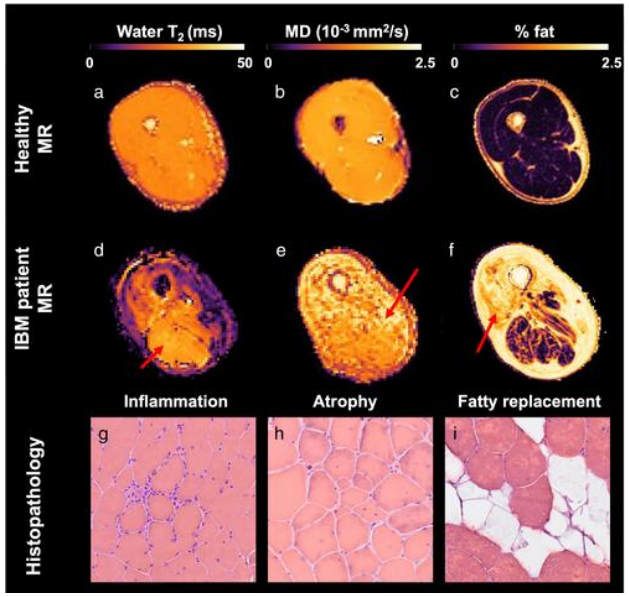


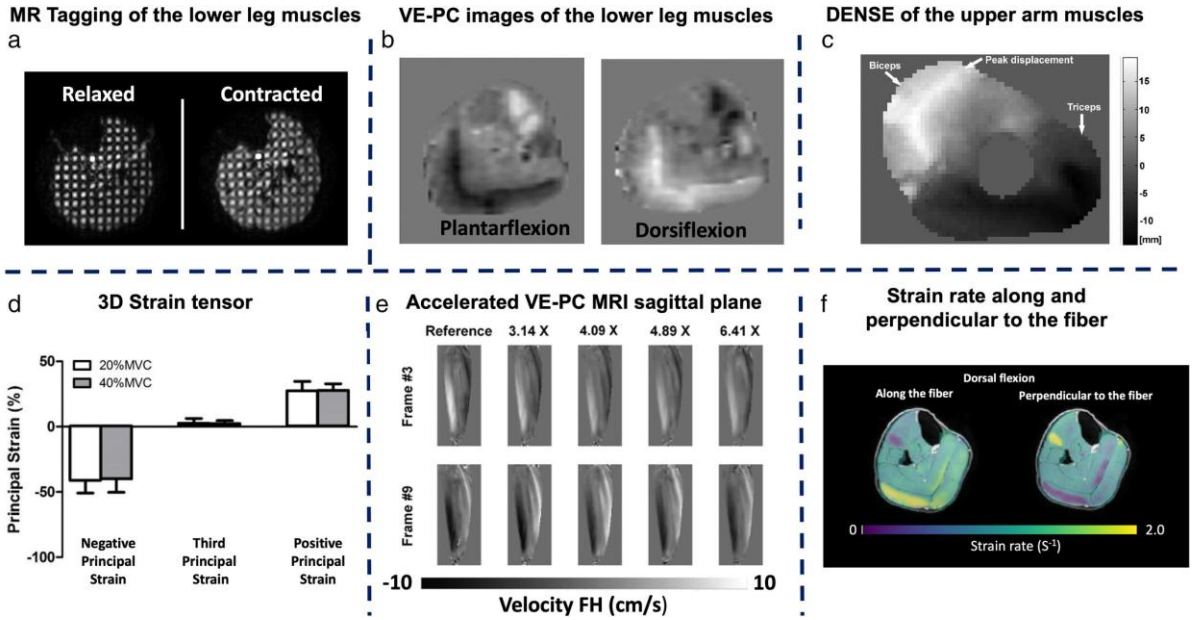


Магнитті-резонансты томография (МРТ) – бұлшықет құрылымын, жарақат пен дистрофияларды анықтау

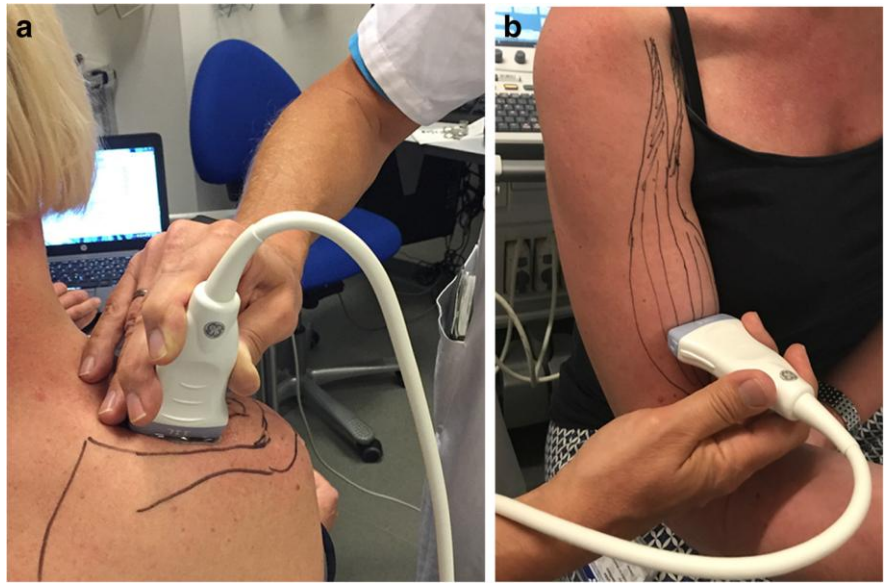


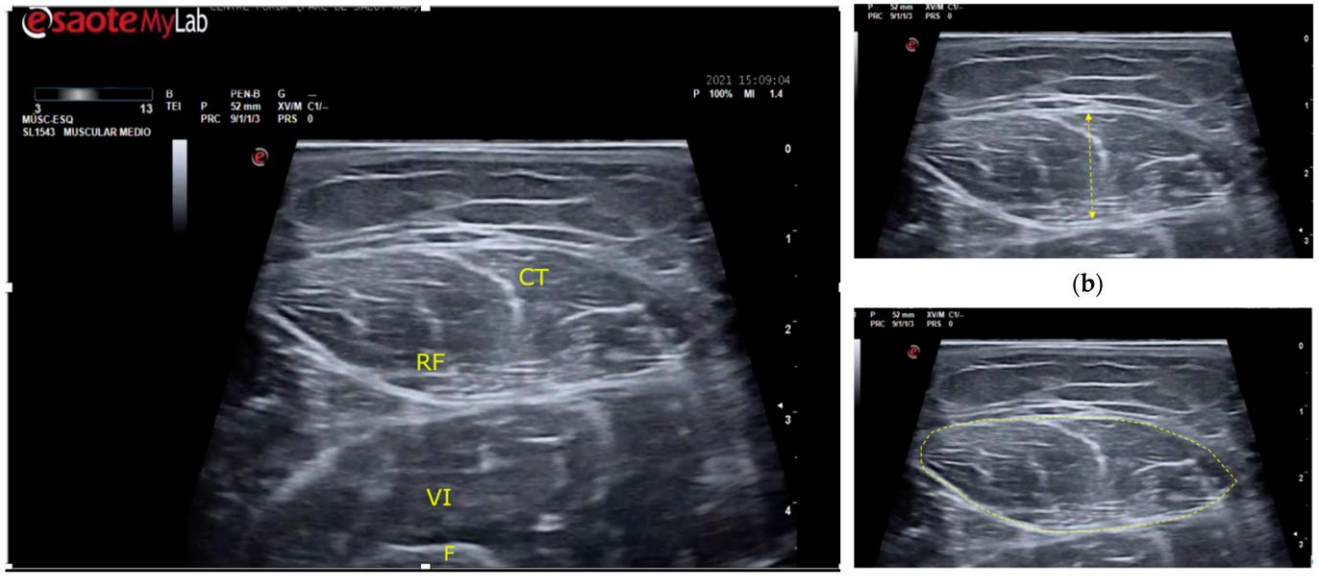






Ультрадыбыстық диагностика (УДЗ) – бұлшықет жыртылуын, қабынуын көру үшін





(a)

(b)

(c)

