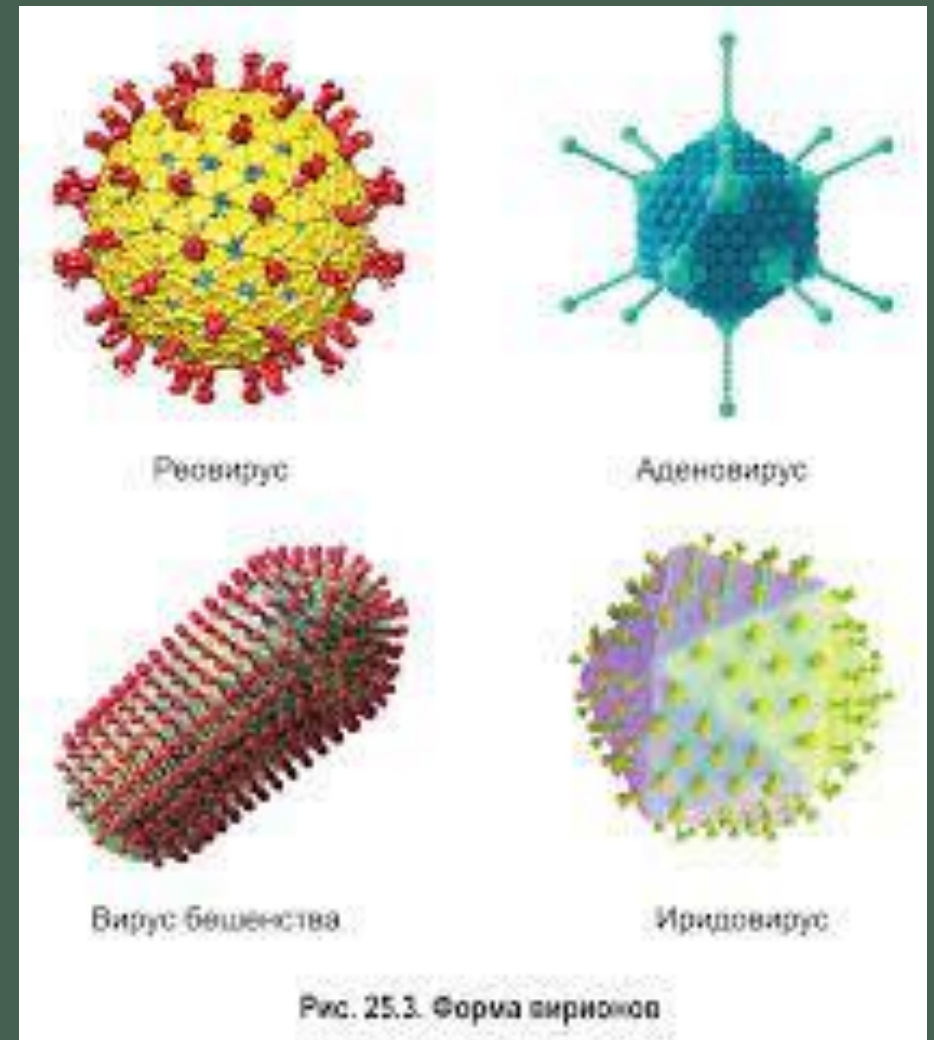


ВИРУСТАРДЫҢ
ГЕНЕТИКАСЫ.
ВИРУСТАРДЫҢ
РЕПРОДУКЦИЯСЫ.

11 дәріс

КІРІСПЕ

- **Вирус** (лат. *vīrus* — «у») — тірі организмдердің ішіндегі клеткасыз тіршілік иесі. Олар рибонуклеин қышқылынан немесе дезоксирибонуклеин қышқылынан құралған нуклеопротеидтерден, сондай-ақ ферментті нәруызбен қапталған қабықшадан —капсидтерден тұрады. Бұл қабықша вирустың құрамындағы нуклеин қышқылдарын сыртқы ортаның қолайсыз жағдайларынан қорғайды. Кейбір вирустардың құрамында нуклеин қышқылдарынан басқа көмірсулар, май текті заттар, биотин (Н витамині) және мыс молекулалары кездеседі.



• Дүниежүзілік микробиология тарихында орыс ғалымы Д. И. Ивановскийдің алатын орны ерекше. Ол ХІХ ғасырдың соңында темекі теңбілі ауруын зерттеп, ол аурудың қоздырғыштары бактериялардан да ұсақ тіршілік иесі екенін тапқан. Д. И. Ивановский ауруға шалдыққан жапырақты жуып, ол жуындыны бактерияларды сүзетін сүзгіден өткізгенде одан өтіп кеткен. Осы сұйықтықты темекіге жұқтырғанда, оның жапырағы қайтадан сарғайып, ауруға ұшыраған. Зақымданған темекі жапырағын үлкейткіш құралдармен тексергенде кристалдар байқалған. Кейіннен 1935 жылы америкалық ғалым У. Стенли бұл кристалдардың темекі теңбілі вирустарының шоғырланған жиынтығы екенін тапты.

Вирустар 2 түрлі формада тіршілік етеді:

Вирион – клеткадан тыс формасы, құрамында барлық құрылымдық элементтері – капсид, нуклеин қышқылы, құрылымдық белоктар, ферменттер болады.

Вирустар – клетка ішілік формасы, тек нуклеин қышқылының бір түрінен ғана тұруы мүмкін, себебі вирион клеткаға енгенде құрылымдық элементтер ыдырайды.

Вирустардың микроорганизмдерден айырмашылығы:

- Вирус бөлшектерінің ең кішісі 20-30нм, ірілері 300-400нм;
- Клетка құрылымы болмайды;
- Тіршілік ету формасы облигатты клетка ішілік паразитизм немесе генетикалық паразиттер.

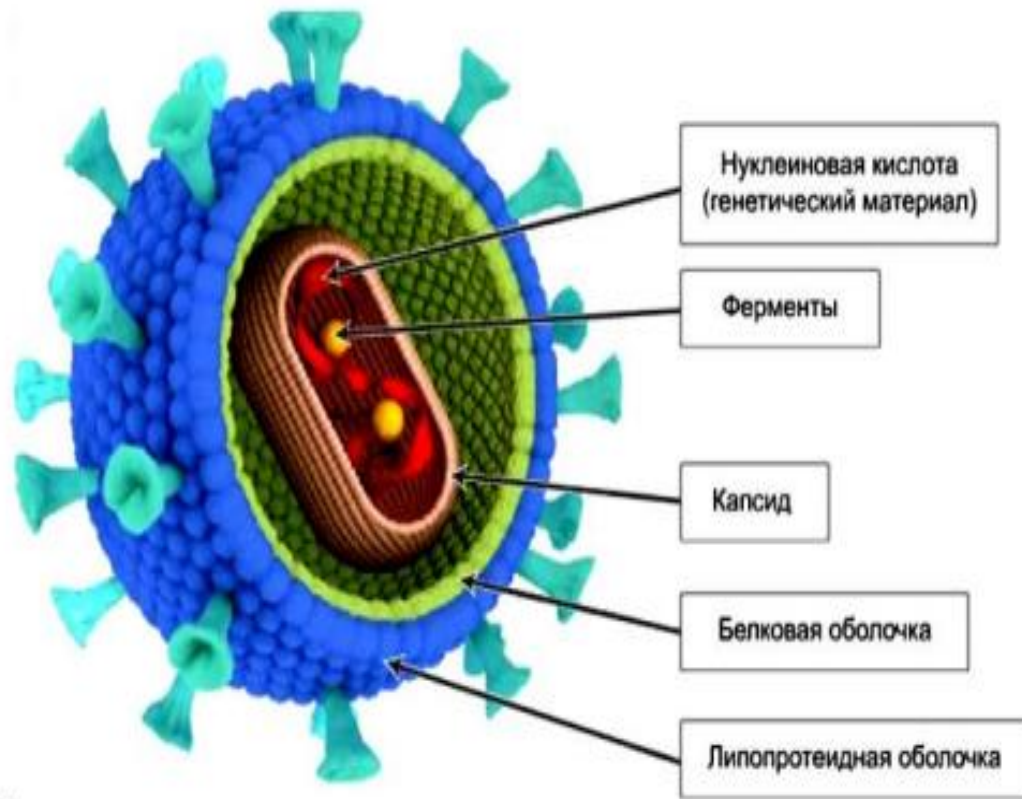
Тіршілікте қайталанбайтын вирустардың бірегей қасиеттері:

- Құрамында нуклеин қышқылының бір ғана түрлерінің болуы ДНҚ мен РНҚ;
- Вирустарда автономды зат алмасу процесінің болмауы;
- Дизъюнктивті репродукциялануы – вирустар шашыранды жолмен көбейеді.

Вирустарды құрылымына қарай 2-ге бөледі:

Жай – нуклеокапсидтің сыртында қосымша қабат болмайтын вирустар жатады. Жай вирустар химиялық табиғаты нуклеопротеиндер болып табылады. Мысалы, темекі теңбілі вирусы, сүйел вирусы және аденовирустар.

Күрделі – нуклеокапсидті жауып жатқан қосымша суперкапсид деп аталатын қабат болады. Бұл қабат липопротеинді немесе белокты, яғни мұндай вирустарда қосымша химиялық компоненттер – липидтер, көмірсулар болады.



*Вне организма хозяина – вирион

Вирустардың құрылысы

✓ **Вирустық бөлшек** – нуклеин қышқылының бір клеткадан екінші клеткаға тасымалдануға қабілетті құрылым.

✓ **Вирион** – жеке бүтін вирустық бөлшек.

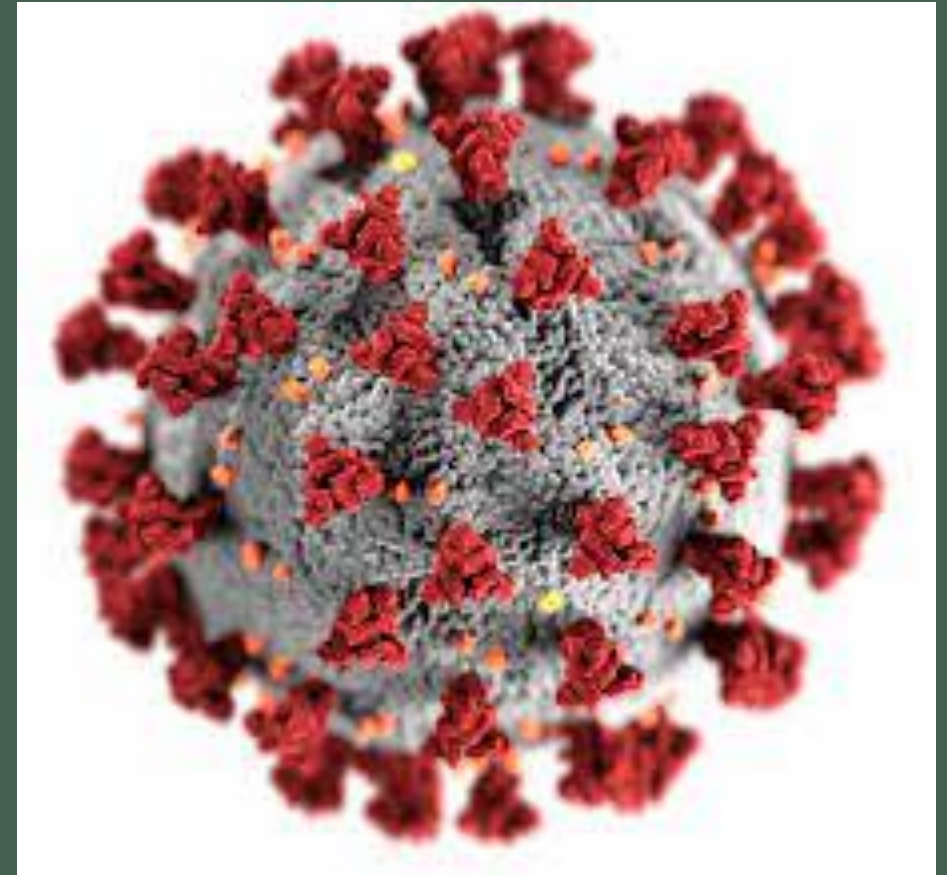
Жалпы барлық вирустар біркелкі принцип бойынша құралған – олар белоктық қабат капсидтен қоршалған, нуклеин қышқылынан тұрады.

Нуклеин қышқылы вириондардың ортасында орналасады, вирусты информацияға жауап беретін **вирус геномы** болып табылады.

Капсид – нуклеин қышқылымен комплекс түзетін белоктық қапшық.

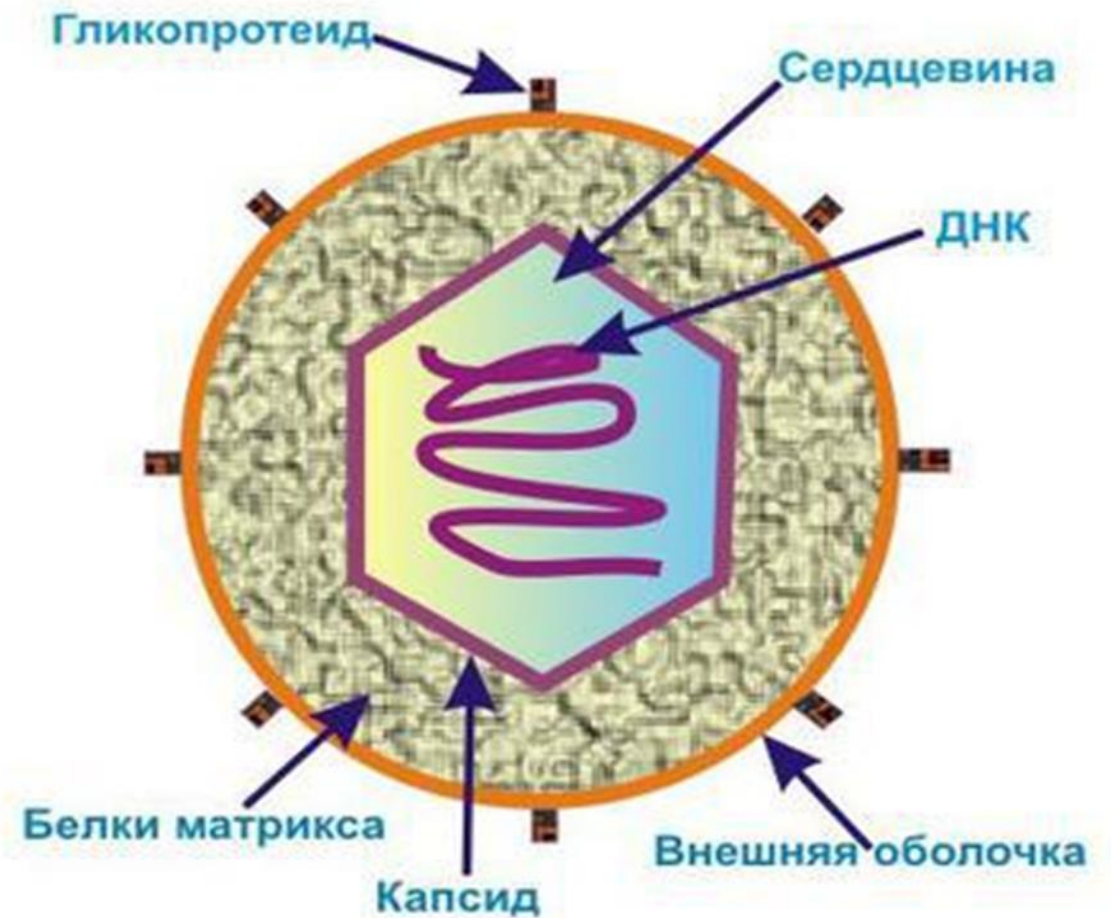
Нуклеокапсид – нуклеин қышқылы мен белоктан тұратын комплекс.

- Вирустық геномның басты ерекшелігі - вирустардағы тұқым қуалайтын ақпарат ДНҚ-да да, РНҚ-да да жазылуы мүмкін. Құрамында ДНҚ бар вирустардың геномы екі тізбекті (бір тізбекті ДНҚ бар парвовирустарды қоспағанда), сегменттелмеген және инфекциялық қасиет көрсетеді. Рохvirus және Нерадnavirus тұқымдастарына жататын вирустарда геном әртүрлі ұзындықтағы екі ДНҚ тізбегі арқылы ұсынылған. Құрамында РНҚ бар вирустардың көпшілігінің геномы бір тізбекті (қос тізбекті геномы бар реовирустар мен ретровирустарды қоспағанда) және сегменттелген (ретровирус, ортомиксовирус, аренавирус және реовирус тектерінің өкілдері) немесе сегменттелмеген.



ДНҚ-лы вирус

- *Вирустардағы ДНҚ* – ның генетикалық рөлін Америка оқымыстылары А.Херли мен М. Уейз Т2 фагының көбеюі зерттеу барысында изотоппен таңбалау әдісін қолдану арқылы дәл анықтап берді. Фагтың блогы радиоактивті күкіртпен (^{35}S), ал ДНҚ радиоактивті фосформен (^{32}P) таңбаланды.

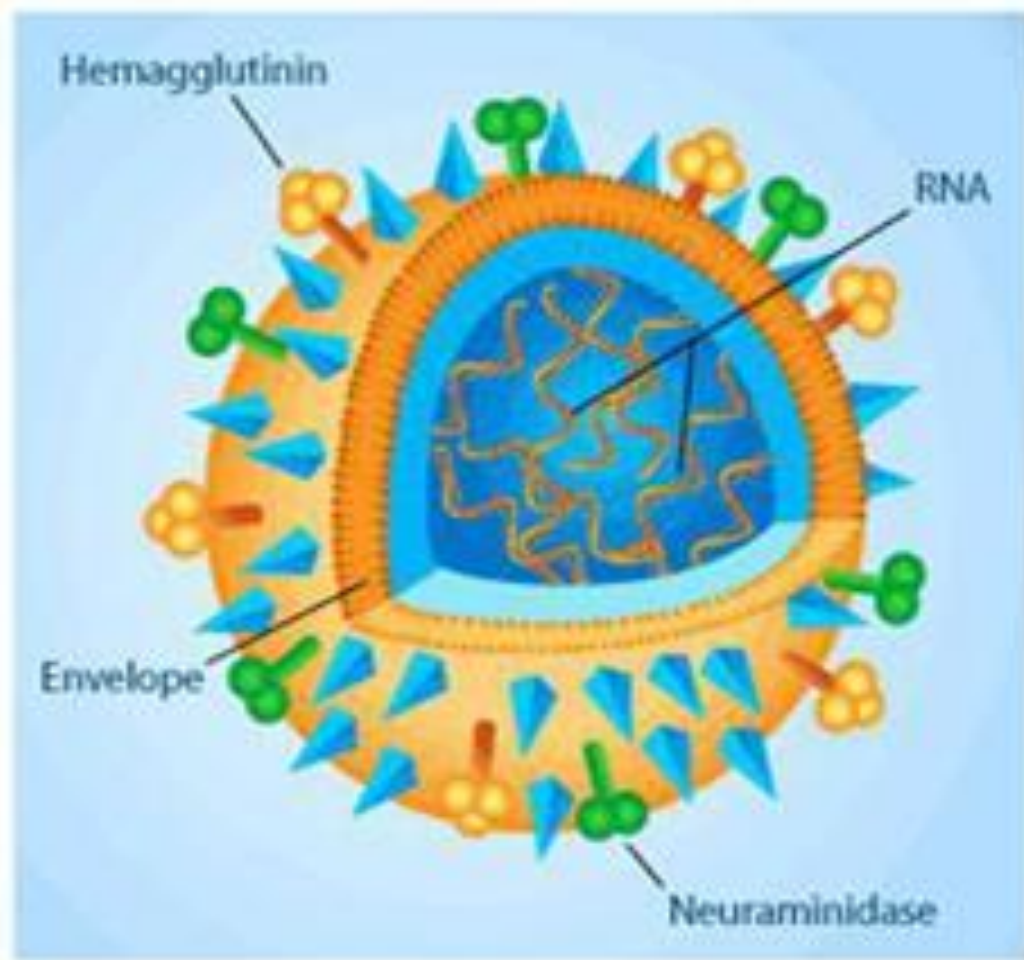


Герпесвирус типіне жататын ДНҚ-лы вирустың құрылысы



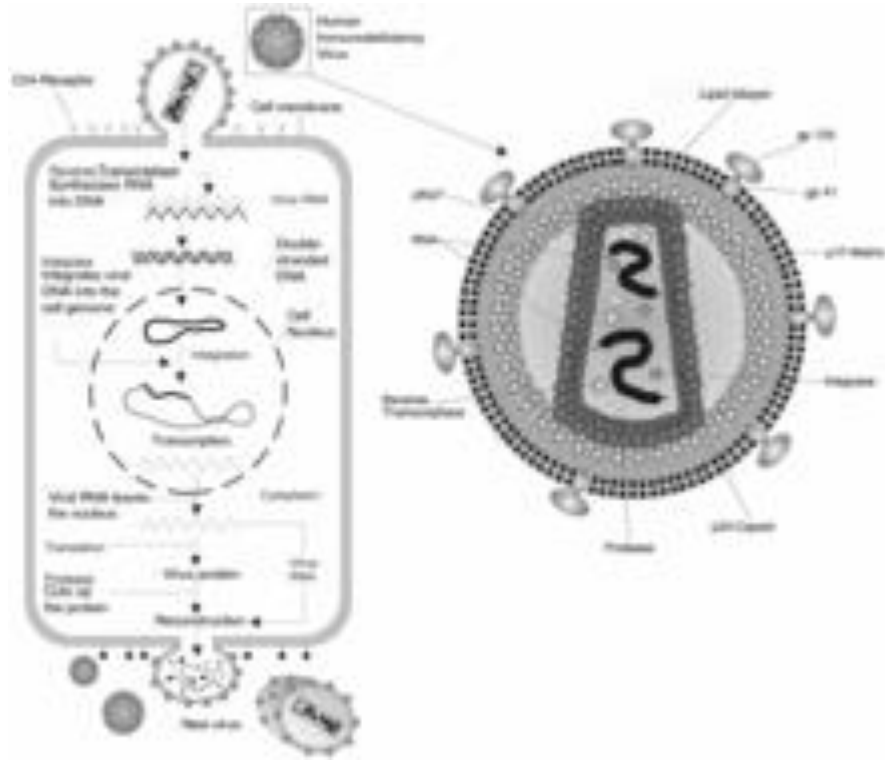
РНҚ-лы вирус

- *РНҚ-лы вирусты* зерттегенде, РНҚ-ның өзі де генетикалық ақпаратты сақтауға қабілетті екені дәлелденді.



Тұмау вирусының құрылысы

Вирустық РНҚ атқаратын қызметіне қарай екі топқа бөлінеді. Бірінші топқа генетикалық ақпаратты сезімтал жасушаның рибосомаларына тікелей аудара алатын, яғни мРНҚ мен рРНҚ қызметін атқаратын РНҚ жатады. Олар плюс тізбекті РНҚ деп аталады және +РНҚ (оң геном) деп аталады. Олардың рибосомаларды арнайы тану үшін тән аяқталулары («қалпақшалар») бар. Вирустардың басқа тобында РНҚ генетикалық ақпаратты рибосомаларға тікелей аудара алмайды және мРНҚ қызметін атқарады. Мұндай РНҚ мРНҚ түзілу үшін үлгі ретінде қызмет етеді, яғни. репликация кезінде -РНҚ синтезі үшін бастапқыда матрица(+РНҚ) синтезделеді. РНҚ-ның бұл түрі теріс тізбек ретінде анықталады және -РНҚ (теріс геном) деп аталады. Бұл топтағы вирустарда РНҚ репликациясының транскрипциядан алынған молекулалардың ұзындығы бойынша ерекшеленеді: репликация кезінде РНҚ ұзындығы негізгі жіпке сәйкес келеді, ал транскрипция кезінде қысқартылған мРНҚ молекулалары түзіледі. +РНҚ молекулалары инфекциялық қасиет көрсетеді, ал -РНҚ молекулалары инфекциялық қасиет көрсетпейді және көбею үшін +РНҚ-ға транскрипциялануы керек.



- Ретровирустар ерекше болып табылады, олардың құрамында біртізбекті +РНҚ бар, ол вирустық РНҚ-тәуелді ДНҚ-полимераза (кері транскриптаза) үшін матрица қызметін атқарады. Бұл ферменттің көмегімен ақпарат РНҚ-дан ДНҚ-ға қайта жазылады, нәтижесінде жасуша геномына біріктірілген ДНҚ провирусы түзіледі.

Ретровирустар геномы

Ретровирустардың геномы бірдей екі РНҚ молекулаларынан тұрады. Вирустық геномдардың репликациясы бір -бірімен ерекшеленетін құрамдардан тұрады:

- Екі жіпшелі ДНҚ
- Бір жіпшелі ДНҚ
- Оң бір жіпшелі РНҚ
- Теріс бір жіпшелі РНҚ
- Екі жіпшелі РНҚ ұқсас оң жіпшелі РНҚ

- Екіжіпшелі ДНҚ-вирустардың репликациясы әдеттегідей жартылай консервативті механизммен жүреді: ДНҚ-ның жіптері сөгілгеннен кейін оларға комплиментарлы жолмен жаңа жіпшелер қосылады. Бір аналық пен бір жаңадан түзілген жіпшеден тұрады.
- Біржіпшелі ДНҚ-вирустарының жалғыз өкілі - парвовирустар болып табылады. ДНҚ-полимеразаларды репликациялық түрі деп аталатын екіжіпшелі вирустық геномның құрылуына пайдаланады. РНҚ-да болатын вирустардың геномикалық репликация әдістері
- Оң-біржіпшелі РНҚ-вирустарға - пикорнавирус, флавивирус, тогавирустар жатады, геномдық оң жіпшелі РНҚ-лы аРНҚ-ның қызметін атқарады.
- Теріс-біржіпшелі РНҚ-вирустарының құрамында (ортомиксовирустарда, парамиксовирустарда, рабдовирустарда) РНҚ-тәуелді РНҚ-полимераза болады.
- Екіжіпшелі РНҚ-вирусы (ротавирус, реовирус) репликациялану механизміне теріс болады, жасуша цитоплазмасында жүреді. Ретровирустар (ұқсас оң-жіпшелі РНҚ) терісжіпшелі ДНҚ синтездейді. Содан соң қосарланған ДНҚ жіпшелі жасуша хромосомасымен интеграцияланып, провирус құрайды. Вирустардың қалыптасуы вириондар өздігінен жиналу жолымен қалыптасады: вириондардың құрам бөліктері вирусты жинақтайтын жасуша цитоплазмасына немесе ядро саласының орнына тасымалданады.

ВИРУС ГЕНОМНЫҢ АҚПАРАТТЫҚ СЫЙЫМДЫЛЫҒЫ

- Полицистрондық прокариоттық мРНҚ-дан айырмашылығы, эукариоттық мРНҚ моноцистронды, яғни «бір ген – бір мРНҚ молекуласы – бір белок» принципі арқылы жүзеге асырылады. Бірақ кейбір жасушалық мРНҚ-да, көбінесе вирустық мРНҚ-да бұл принцип бұзылады және мРНҚ екі ақуыздың синтезін бағыттай алады. Көптеген вирустарда синтезделген ақуыздардың молекулалық салмағы теориялық есептелгеннен асып түседі.
- Бұл құбылыс генетикалық материалды барынша үнемдей отырып, егжей-тегжейлі генетикалық ақпаратты алуға мүмкіндік беретін вирустарда механизмдердің болуымен түсіндіріледі; генетикалық паразиттер ретінде вирустардың эволюциясы кезінде ұқсас механизмдер жасалды.

- Генетикалық ақпаратты ұлғайту жолдары: 1) бірдей мРНҚ-ны екі рет оқу, бірақ басқа иницирлеуші кодоннан; 2) трансляция рамкасының жылжуы; 3) сплайсинг; 4) ДНҚ-ның қабаттасатын аймақтарының транскрипциясы және т.б.
- 1) мРНҚ әдетте бірнеше иницирлеуші кодондарды қамтиды. Қазіргі уақытта қабылданған «сканерлеу моделі» гипотезасына сәйкес, шағын рибосомалық суббірлік 5' ұшына жақын мРНҚ-мен байланысады және инициация кодонымен кездескенше төмен қарай сырғиды. Дегенмен, көп жағдайда инициация бірінші иницирлеуші кодоннан емес, кейінгі АУГ кодондарынан болады. «Дұрыс» жұмыс істейтін АУГ кодонын рибосома қоршаған тізбегіне байланысты таңылады («қатардағы нуклеотидтер»). Бірінші инициация кодоны кейінгі АУГ кодондарына қарағанда қолайлы емес ортада болған жағдайда, көптеген шағын рибосомалық суббірліктер осы кодонды өтеді және трансляция инициациясын кейінгі АУГ кодондарынан бастайды, алайда кейбір суббірліктер бірінші АУГ кодонынан инициацияны бастайды. Бұл жағдайда бір мРНҚ әртүрлі ұзындықтағы екі ақуыздың синтезін бағыттай алады. Мұндай мРНҚ көптеген вирустарда болады: SV40, герпес, аденовирустар, бунявирустар, реовирустар және т.б.

- 2) Трансляция рамканы жылжытпау немесе ауыстырумен жүзеге асуы мүмкін. Генетикалық код триплет, яғни үш нуклеотидті құрайтын үш нуклеотид немесе кодон бір амин қышқылын кодтайды. Триплеттер сақталған және генетикалық код өзгермеген жағдайда, екі түрлі инициаторлық кодоннан трансляция кезінде бірінші полипептидтің қысқартылған көшірмесі болып табылатын полипептидтер синтезделеді

Бір немесе екі нуклеотидтің ығысуы болған жағдайда жаңа триплеттер (кодондар) түзіліп, жаңа генетикалық код пайда болады. Бұл жағдайда бір мРНК молекуласы екі бірегей ақуызға, яғни аминқышқылдарының тізбегі бірдей емес белоктарға аударылуы мүмкін.

- 3) Сплайсинг бірқатар вирустарда (тұмау вирустары, парамиксовирустар, бунявирустар, аденовирустар, паповавирустар, парвовирустар және т.б.) кеңінен қолданылады. Парамиксовирустардың бірдей гені (Сендай вирусы) екі бірегей ақуызды кодтайды: құрылымдық ақуыз Р және құрылымдық емес ақуыз С.

- Герпесвирустар сияқты көптеген жүйелердегі вирустық нуклеин қышқылдары мен белоктардың синтезінің реттелуін зерттеуде белок синтезінің ингибиторлары, пурамицин немесе циклогексид, сонымен қатар РНҚ синтезінің ингибиторлары, мысалы, актиномицин Е) сәтті қолданылды. Белоктар мен нуклеин қышқылдарын талдауға арналған жоғары ажыратымдылықтағы электрофоретикалық жүйелерді жасау РНҚ сегменттерінің электрофоретикалық қозғалғыштығының полиморфизмдерін және маркерлер ретінде белоктарды пайдалана отырып, сегменттелген РНҚ геномы бар вирустарға генетикалық зерттеулер жүргізуге мүмкіндік берді.

Вирустардың репродукциясы

Вирус пен жасушаның өзара әрекеттесу түрлері

продуктивті

Пермиссивті жасушаларда кездеседі және жұқпалы ұрпақты өндірумен сипатталады. Жасушадан әртүрлі жолмен шығатын жаңа вириондар: оның лизисі кезінде – «жарылғыш» механизм, (қабықсыз вирустар); жасуша мембраналарымен бүршіктену арқылы (қабықты вирустар); экзоцитоз нәтижесінде п.б.

абортивті

инфекциялық процестің үзілуімен сипатталады және екі жағдайға байланысты пайда болуы мүмкін:

- инфекцияға бейімділігіне қарамастан, жасушалар рұқсат етілмеуі мүмкін, өйткені көбінесе белгісіз себептермен кейбір вирустық гендер ғана көрініс табады.

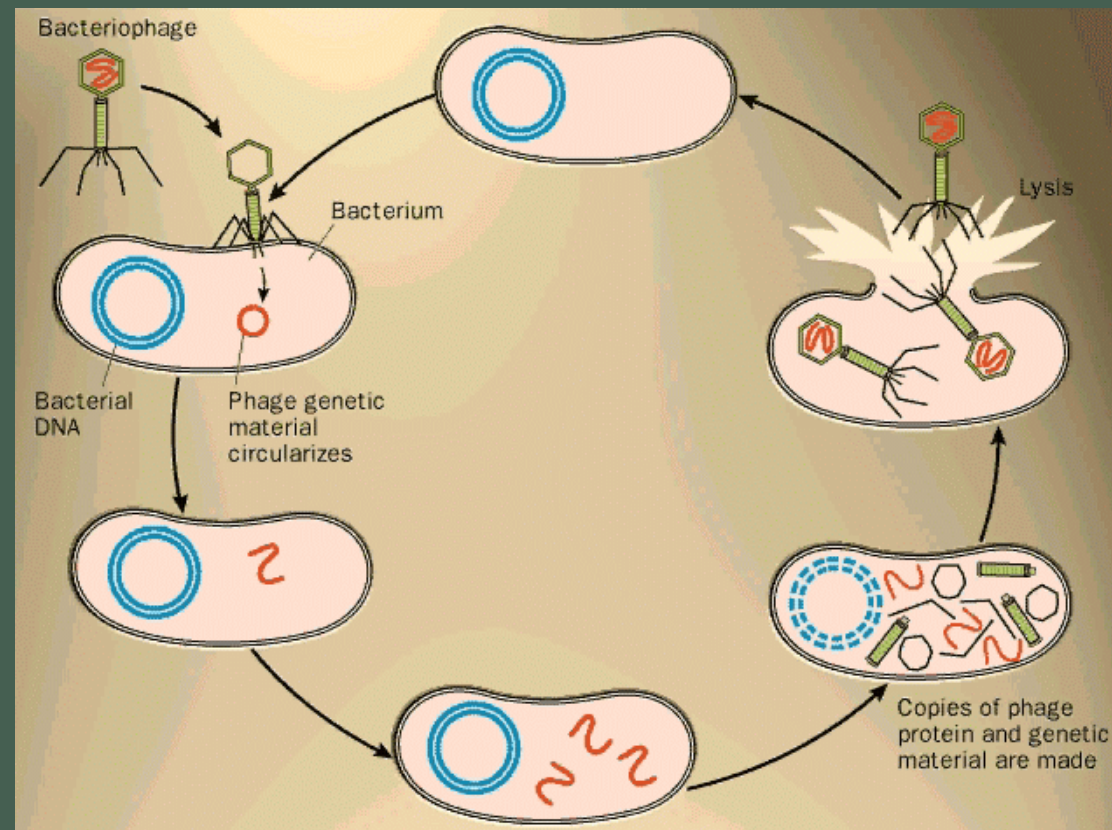
– вирустық гендердің толық жиынтығы жетіспейтін ақаулы вирустармен рұқсат етілген және рұқсат етілмеген жасушалардың инфекциясының нәтижесі болуы мүмкін.;

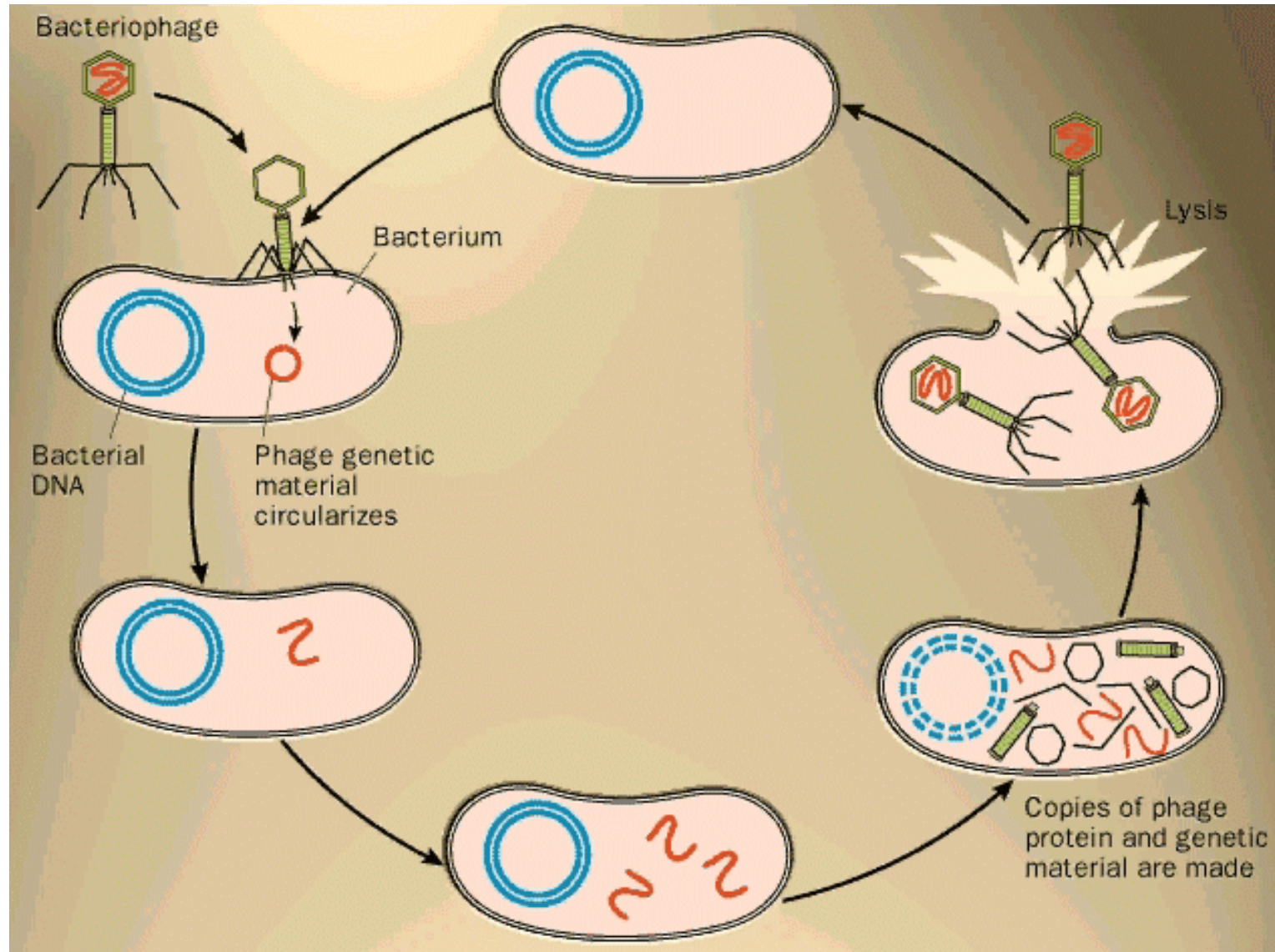
интегративті

немесе интеграциядан тұратын вирогенез, яғни. вирустық ДНҚ-ның провирус түріндегі жасуша хромосомасына бірігуі және олардың бірге болуы (біріккен репликация).

Вирустар репродукциясы

- Вирус иесінің жасушасына ену арқылы ғана өз түрін көбейте алады, ол жасушаның өзіне қажетті заттардың транскрипциясы мен трансляциялану процестерін басады және оның ферменттік жүйелерін нуклеин қышқылын және вирустық қабық ақуыздарының биосинтезін репликациялауға «мәжбүрлейді». Вирустық бөлшектер жиналғаннан кейін жасуша өледі немесе өмір сүруін жалғастырып вирустық бөлшектердің жаңа ұрпақтарын шығарады.

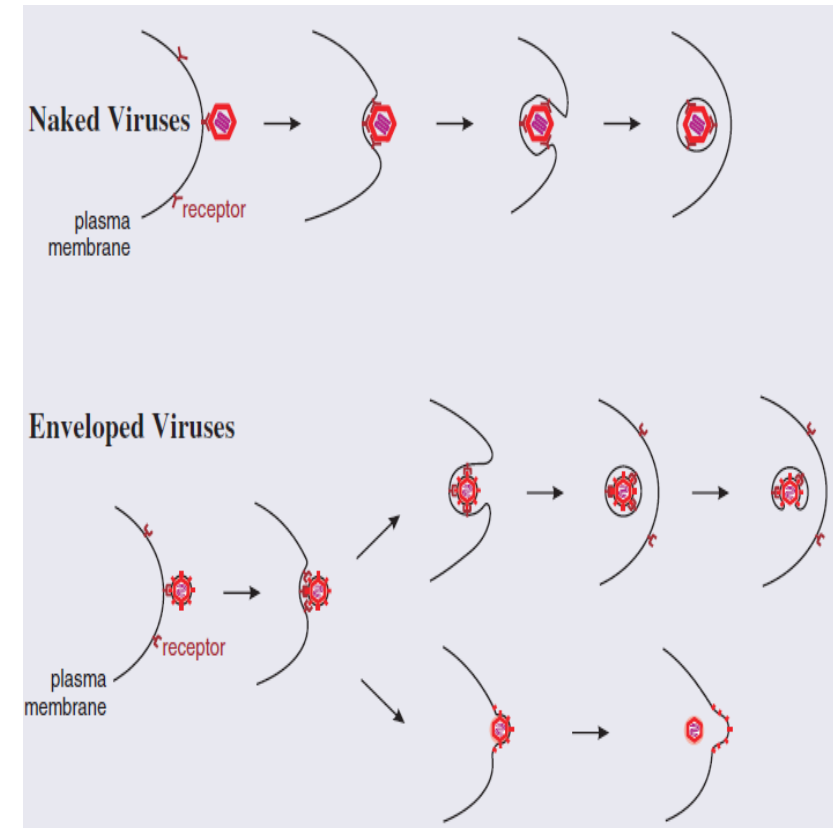




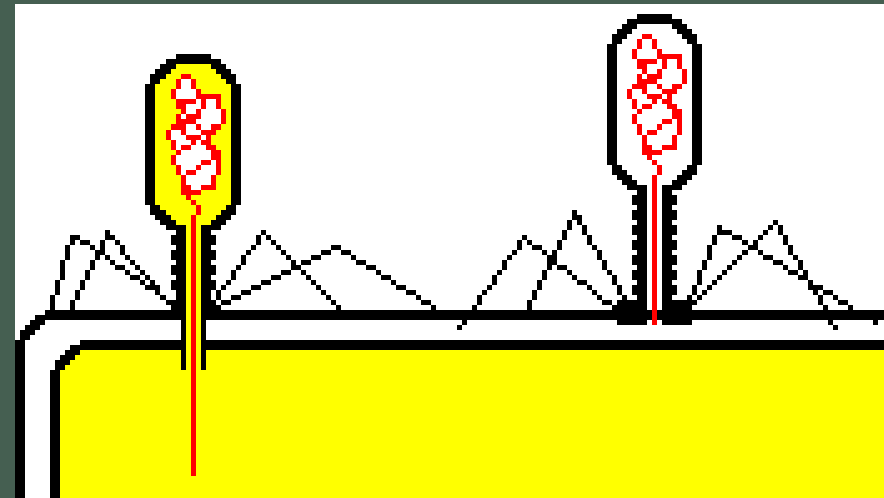
Вирустың көбею циклі бірнеше кезеңнен тұрады:

1. Вирустың жасуша қабықшасының бетіне орналасуы. Жасуша мембранасының рецепторлары мен вирустың капсиді комплементарлы болған жағдайда.

2. Вирустың жасушаға енуі. Көптеген вирустар жасушаға эндоцитоз арқылы енеді. Вирустың қабықшасы сыртқы цитоплазмалық мембранамен қосылып, вирус жасушаның цитоплазмасына енеді. Лизосома ферменттері вирус капсидін бұзады, ал оның нуклеин қышқылы бөлінеді.



- Фагтардың енуі фаг лизоцимінің жасуша қабықшасының жартылай бұзылуына байланысты болады. Вирустың лизоцимі жасушаға фаг өсіндісінің жиырылу реакциясынан кейін енеді. Содан кейін жасушаның генетикалық аппаратының қызметі басылады, жасушаның белоктары мен нуклеин қышқылдарының синтезі тоқтайды, жасушаның ақуыз синтездеуші аппараты вирус геномының бақылауымен тасымалданады.



3. Вирустың нуклеин қышқылының репликациясы.

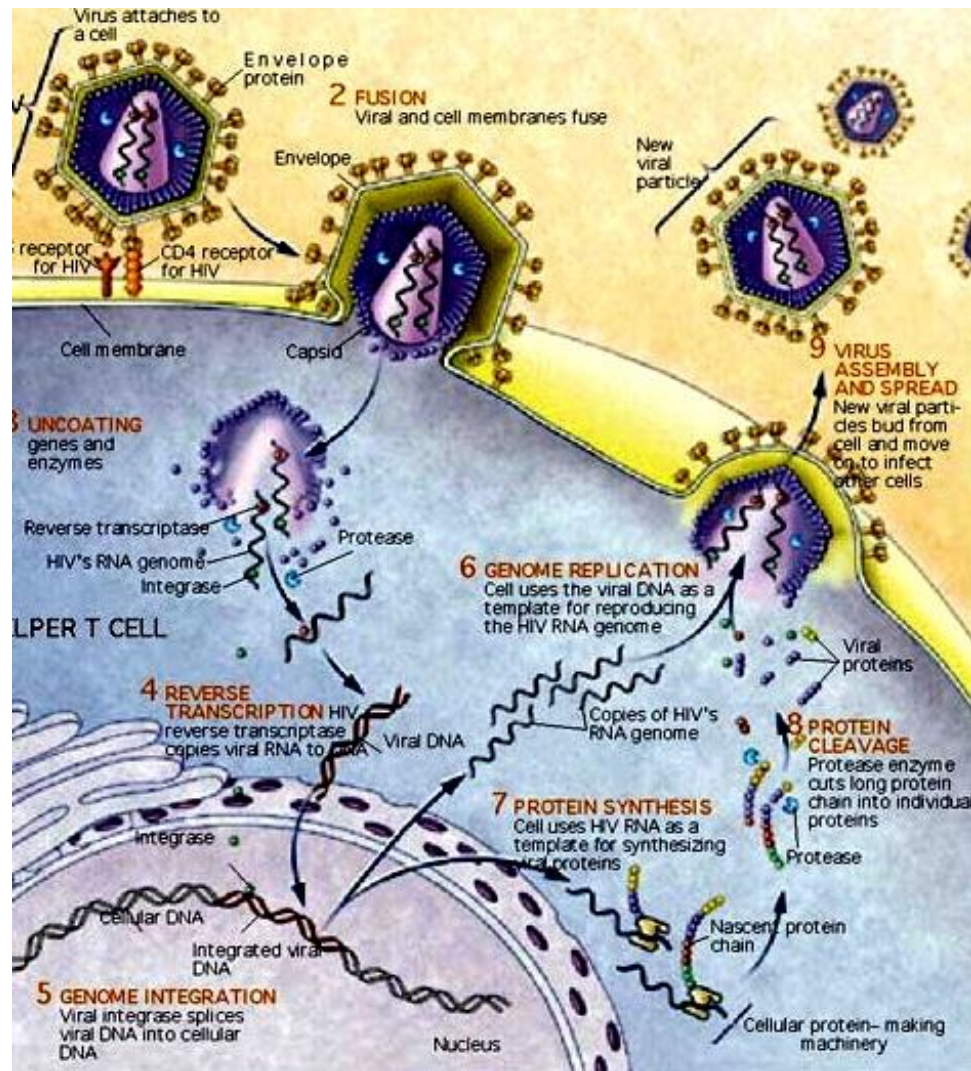
Вирустардың генетикалық аппараты әртүрлі болғандықтан, репликация механизмдері де әртүрлі. Екі тізбекті ДНҚ геномдық вирустарында репликация барлық тірі организмдердегідей жүреді.

•4. Капсид белоктарының синтезі.

Вирустың капсидінің белоктарының биосинтезі репликациядан кеш басталады және қожайын жасушасының ақуыз синтездеу аппараты қолданылады.

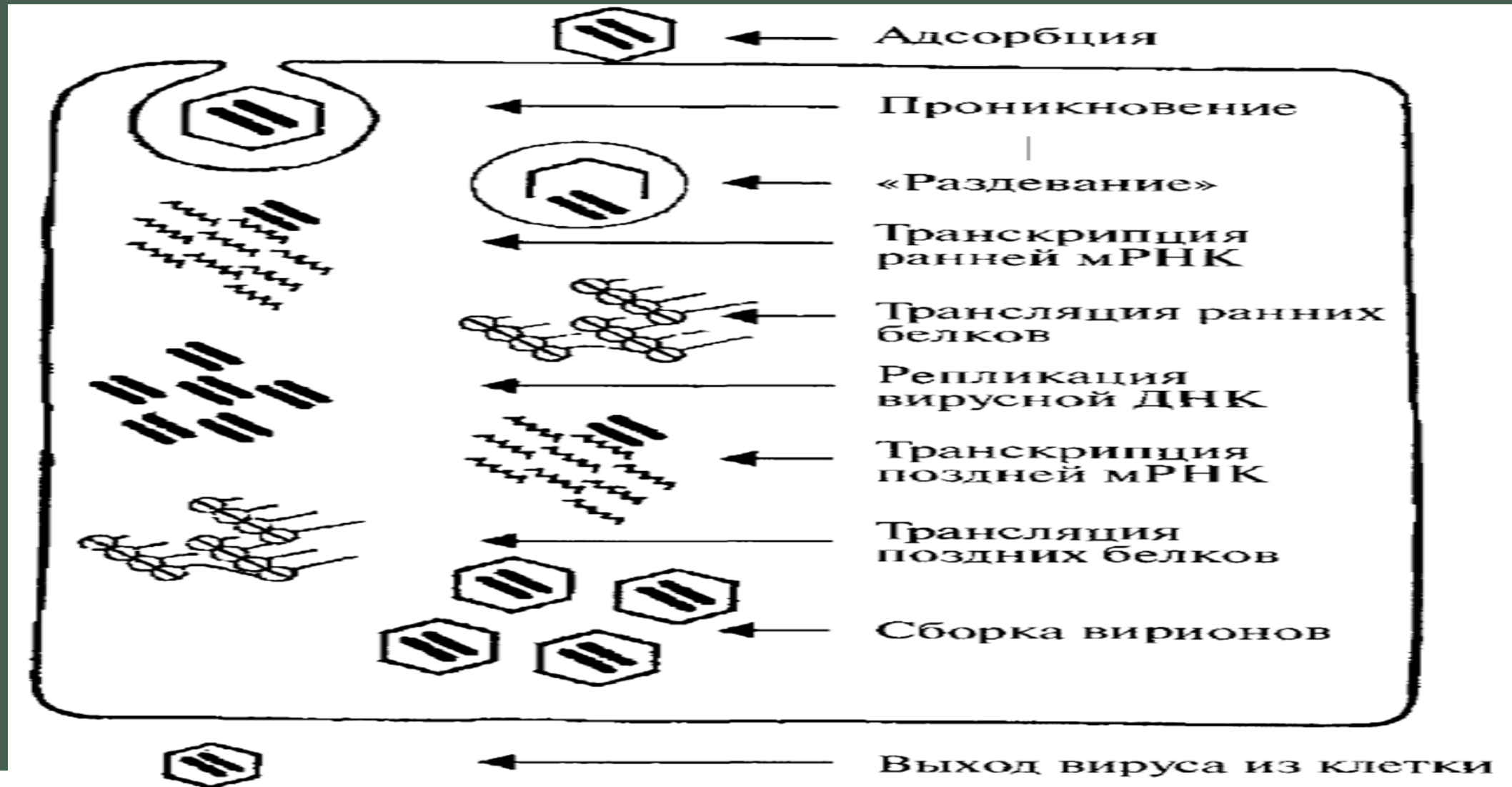
5. Вириондардың жиналуы. Вирустық бөлшектердің жиналуы жасушадағы вирус компоненттерінің саны белгілі бір шекке жеткеннен кейін басталады.

Өздігінен құрастыру жүреді, капсидтің белоктық бөлімдері нуклеин қышқылының айналасында белгілі бір түрде орналасады.



- 6. Жасушадан вирустардың шығуы. Көбінесе вирустық лизоциммен жасушаның жойылуы нәтижесінде пайда болады. Күрделі ұйымдасқан вирустар жасушадан бүршіктену арқылы шығып, суперкапсидке ие болады.

Вирустардың көбейту схемасы (мысал ретінде аденовирусты пайдалану)



- Адамға белгілі вирустардың едәуір бөлігі жануарлар мен адамдарда вирустық ауруларды тудыратын өздерінің ерекше морфофункционалдық және патогендік қасиеттеріне ие. Оларға ДНҚ және РНҚ вирустары жатады.

ДНК-содержащие вирусы		РНК-содержащие вирусы	
Герпесвирусы 	Простой герпес, ветряная оспа, опоясывающий лишай, цитомегалия	Ортомиксовирусы 	грипп
Аденовирусы 	Вирусный конъюнктивит, фарингит	Парамиксовирусы 	Корь, эпидемический паротит, парагрипп, подострый склерозирующий панэнцефалит
Вирус папилломы человека 	Бородавки, остроконечные кондиломы, плоская кондилома	Коронавирусы 	ОРИ

Рис. 2. Патогенные вирусы, вызывающие острые вирусные заболевания у человека.

Вирустардағы мутациялар.

- Мутация – гендердің өзіндегі өзгерістерге байланысты өзгергіштік.
- Ол үзік, секірмелі болуы мүмкін және вирустардың тұқым қуалайтын қасиеттерінің тұрақты өзгеруіне әкеледі.
- Барлық вирустық мутациялар екі топқа бөлінеді:
 - * спонтанды;
 - * индукцияланған).
- Ұзындығы бойынша олар нүктелік және аберрациялық (геномның маңызды бөлігіне әсер ететін өзгерістер) болып бөлінеді. Нүктелік мутациялар бір нуклеотидті алмастырудан туындайды (құрамында РНҚ бар вирустар үшін). Бұл мутациялар кейде кері қайтуы, геномның бастапқы құрылымын қалпына келуі мүмкін
- Мутациялардың әртүрлі салдары болуы мүмкін. Кейбір жағдайларда олар қалыпты жағдайда фенотиптік көріністердің өзгеруіне әкеледі. Мысалы, агар жабынының астындағы бляшкалардың мөлшері артады немесе азаяды; белгілі бір жануар түрі үшін вируленттілікті арттырады немесе төмендетеді; вирус химиотерапевтік агенттің әсеріне сезімтал болады және т.б.

- Вирустардың мутациясы цистрондардағы химиялық өзгерістер немесе олардың вирустық нуклеин қышқылы молекуласының құрылымында орналасу реттілігінің бұзылуы нәтижесінде болуы мүмкін.
- Жағдайларға байланысты вирустардың қалыпты көбею жағдайында байқалатын табиғи өзгергіштігі мен көптеген арнайы өсірулер немесе вирустардың белгілі бір физикалық немесе химиялық факторлардың (мутагендер) әсері нәтижесінде алынған жасанды өзгергіштік деп ажыратады. Қалыпты табиғи жағдайларда өзгергіштік барлық вирустарда бірдей көрінбейді. Бұл қасиет тұмау вирусы мен ящур вирусында көбірек байқалады. Тұмау вирусында айтарлықтай өзгергіштік байқалады. Бұған осы вирустардың әртүрлі типтеріндегі варианттардың көптігі, сонымен қатар әрбір дерлік эпизоотияның соңында оның антигендік қасиеттерінің елеулі өзгерістері болуында.

Мутация вируса птичьего гриппа

Новый смертельно опасный вирус птичьего гриппа, возникший в Китае, сейчас проходит эволюционный процесс приобретения генетической стабильности, что делает его трудной мишенью для ученых, пытающихся оценить его потенциальную опасность

ПРОЦЕСС ГЕНЕТИЧЕСКОЙ РЕКОМБИНАЦИИ

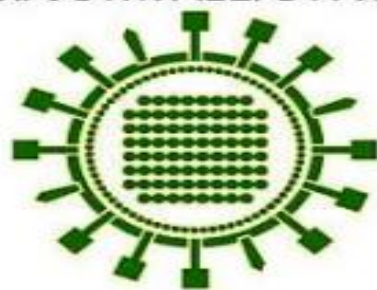
Каким образом две разновидности вируса могут соединиться и создать новый вирус

ВИРУС ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ГРИППА



Восемь генетических сегментов РНК содержат информацию, необходимую для создания новых вирусных частиц

ВИРУС ПТИЧЬЕГО ГРИППА

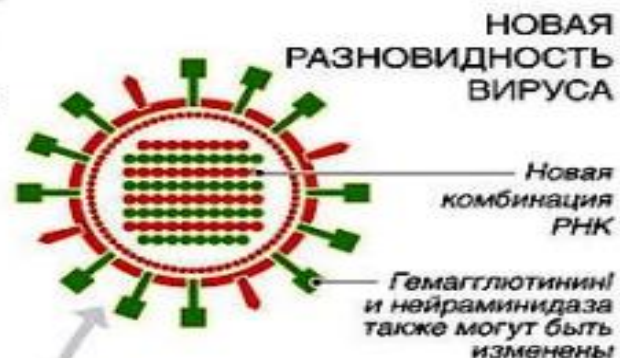


КЛЕТКА-ХОЗЯИН

1 Оба вируса гриппа попадают в клетку-хозяина

2 Вирусные частицы создаются клеткой-хозяином

3 Сформировавшиеся вирионы гриппа отделяются от клетки-хозяина. Пандемия возможна, если вирус получит новые поверхностные белки H или N, поскольку организм человека не смог бы сопротивляться новым подтипам вируса



ЯДРО КЛЕТКИ

Рис. 4. Мутация вирусов человеческого гриппа и птичьего гриппа через хозяина способна вызвать новый тип заболевания при допущении.

• Вирустардың генетикасын зерттеу әдістері

- Ерте кезеңде жануарлардың вирустарын генетикалық зерттеу аралас инфекциядағы жеке ұрпақты зерттеудің қолайлы әдістерінің болмауына байланысты қиындады. Бұл мәселенің шешімін Дулбекко тапты, ол цитоцидтік вирустар үшін бляшка әдісін жасады. Бляшка әдісін қолдану ұрпақтардың санын дәл анықтауға, вирустың таза клондық штаммдарын алуға және вирустарды басқа ластаушы вирустардан және вирустың бір түрінің ақаулы интерференциялық бөлшектерінен тазартуға мүмкіндік берді. Бұл әдісті қолдану арқылы шартты өлімге әкелетін мутацияларды талдауға қолайлы жүйе алынды. Осылайша, үлкен дәрежеде жануарлар вирустарының генетикасы бляшка әдісін тәжірибеге енгізуден басталды. Қазіргі уақытта бляшка әдісінің қолданылуы вирустардың жаңа тобының генетикасы бойынша зерттеулерді бастаудың қажетті шарты ретінде қарастырылады, сол сияқты цитолитикалық емес трансформацияланатын вирустар үшін трансформация ошақтары әдісін жасау осы вирустардың генетикалық зерттеулерінің дамуына шешуші рөл атқарды.

- Вирустардың транскрипциясы мен трансляциясын *in vitro* зерттеу әдістері физикалық карталарды құруда, әсіресе генетикалық рекомбинация жоқ жүйелерде тиімді екенін дәлелдеді. Жақында вирустың спецификалық қасиеттерін жеке вирустық гендермен және гендік өнімдермен корреляциялау мақсатында вирустың патогенезін және иесінің вирустық инфекцияға иммундық жауабын зерттеу үшін генетикалық әдістер қолданылды. Басқаша айтқанда, жануарлардың вирустарын зерттейтін қазіргі генетик биохимиктерден әдістерді оңайлады және оларды генетикалық талдауда қолданады. Сонымен қатар, генетиктер мен басқа мамандар дәстүрлі түрде еленбеген сұрақтарға жауап беру үшін генетикалық талдауды пайдаланады. Пәндердің бұл бірігуі генетиктерге үлкен көмек болды және бұл ғылымның соңғы бірнеше жылдағы қарқынды дамуын анықтады.

- <https://www.youtube.com/watch?v=qXH1kluHtS0>
- https://www.youtube.com/watch?v=ZHKT_XU13sl
- <https://www.youtube.com/watch?v=BxDREw6zwic>
- <https://www.youtube.com/watch?v=wN-6TgoCr3Q>