ӘЛ-ФАРАБИ АТЫНДАҒЫ ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ
БИОЛОГИЯ ЖӘНЕ БИОТЕХНОЛОГИЯ ФАКУЛЬТЕТІ
БИОФИЗИКА, БИОМЕДИЦИНА ЖӘНЕ НЕЙРОҒЫЛЫМ КАФЕДРАСЫ

Дәріс №3
МАЙЛАРДЫҢ АЛМАСУЫ

Дәріскер: б.ғ.к., профессор Аблайханова Н.Т.

Алматы, 2026

ЖОСПАР

I Кіріспе

Майлардың рөлі және майлар метоболизмі туралы жалпы түсінік

1. Майлардың түрлері

2. Майлардың сіңірілуі және тасымалдануы

3. Майлардың катаболизмі

4. Майлардың анаболизмі

II. Фосфолипидтердің және холестериннің алмасуы

5. Эйкозаноидтардың және сфинголипидтердің алмасуы

6. Майлар алмасуының бұзылуы

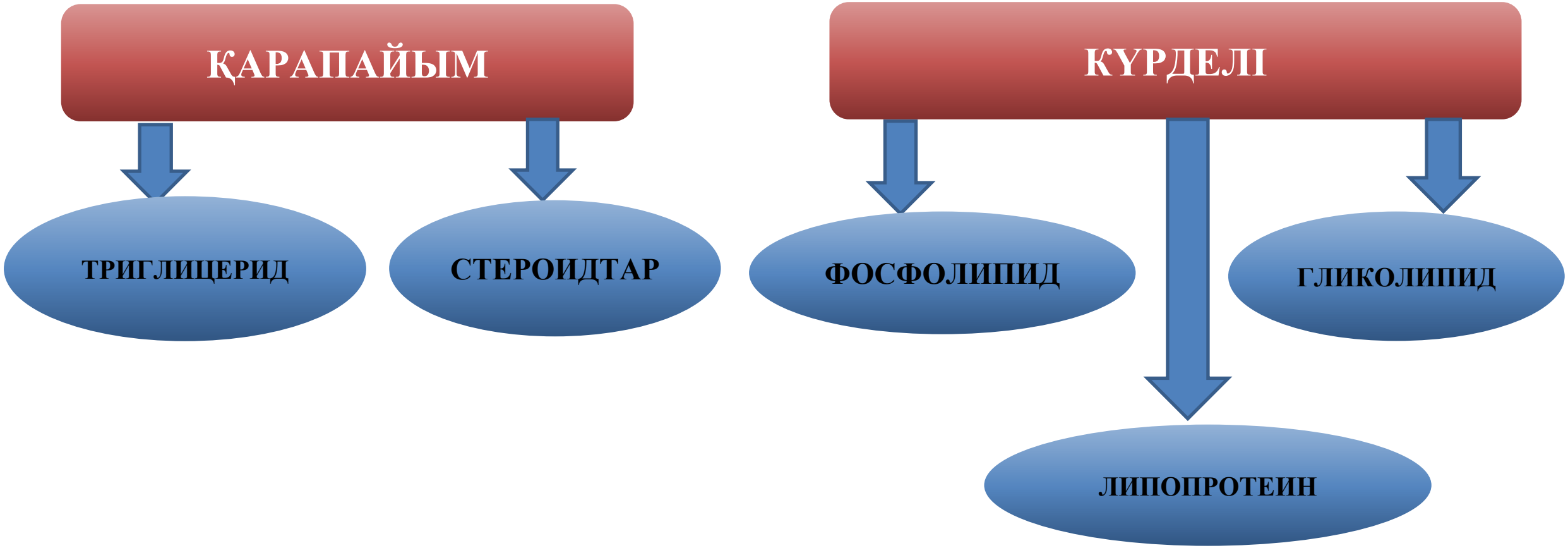
III Қорытынды

Пайдаланылған әдебиеттер

МАЙ АЛМАСУ

- **«Майлар» (липидтер)** –дегеніміз полярлы емес еріткіштерде еритін, бірақ полярлы еріткіштерде ерімейтін органикалық молекулалар (мысалы, су).
- **Майлардың алмасуы (липидтер метаболизмі)** – бұл ағзадағы майлардан энергия алу және оларды сақтау процестері. Майлар энергияға бай молекулалар және олар көмірсулар мен ақуыздарға қарағанда екі есе көп калория береді.
- **Майлардың алмасуы (липидтік алмасу)** – организмдегі липидтердің (майлардың) сіңірілуі, тасымалдануы, ыдырауы және қайта түзілуі процестерінің жиынтығы. Бұл процестің мақсаты – организмге энергия беру, жасуша мембраналарын құру және биологиялық белсенді заттарды (гормондар, витаминдер) синтездеу.

МАЙЛАР


ҚАРАПАЙЫМ
ТРИГЛИЦЕРИД
СТЕРОИДТАР
КҮРДЕЛІ
ФОСФОЛИПИД
ГЛИКОЛИПИД
ЛИПОПРОТЕИН

МАЙЛАРДЫҢ РӨЛІ ЖӘНЕ МАЙЛАР МЕТОБОЛИЗМІ ТУРАЛЫ ЖАЛПЫ ТҮСІНІК

- **Денедегі липидтердің негізгі бөлігі** — энергияны сақтау формасы ретінде қызмет ететін триацилглицеролдар. Майлар негізінен тері астындағы май тінінде орналасады, сонымен қатар жылу оқшаулау және механикалық қорғаныс функцияларын орындайды.
- **Холестерин және оның туындыларымен ұсынылған стероидтер** жасушада әртүрлі қызметтерді атқарады. Холестерол мембраналардың маңызды құрамдас бөлігі және гидрофобты қабаттың қасиеттерін реттеуші болып табылады. Майларды қорыту үшін холестерин туындылары (өт қышқылдары) қажет. Холестериннен синтезделген стероидты гормондар энергия, су-тұз алмасуын, жыныстық функцияларды реттеуге қатысады.
- **Фосфолипидтер-**бұл амфифилділік қасиетін беретін фосфор қышқылының қалдықтарынан өз атауын алған липидтердің үлкен класы. Осы қасиеттің арқасында фосфолипидтер белоктар батырылған мембраналардың екі қабатты құрылымын құрайды.

ЭНЕРГИЯНЫ САҚТАУ → **ЖЫЛУ ОҚШАУЛАУ** → **МЕХАНИКАЛЫҚ ҚОРҒАНЫС**

МАЙЛАРДЫҢ РӨЛІ ЖӘНЕ МАЙЛАР МЕТОБОЛИЗМІ ТУРАЛЫ ЖАЛПЫ ТҮСІНІК

- Адам тіндерінде липидтердің әртүрлі кластарының саны айтарлықтай өзгереді. Май тінінде майлар құрғақ салмақтың 75% құрайды. Липидтердің жүйке тінінде құрғақ салмақтың 50% дейін болады, олардың негізгілері фосфолипидтер мен сфингомиелиндер (30 %), холестерин (10 %), ганглиозидтер мен цереброзидтер (7 %). Бауырда липидтердің жалпы саны әдетте 10-13% - дан аспайды.

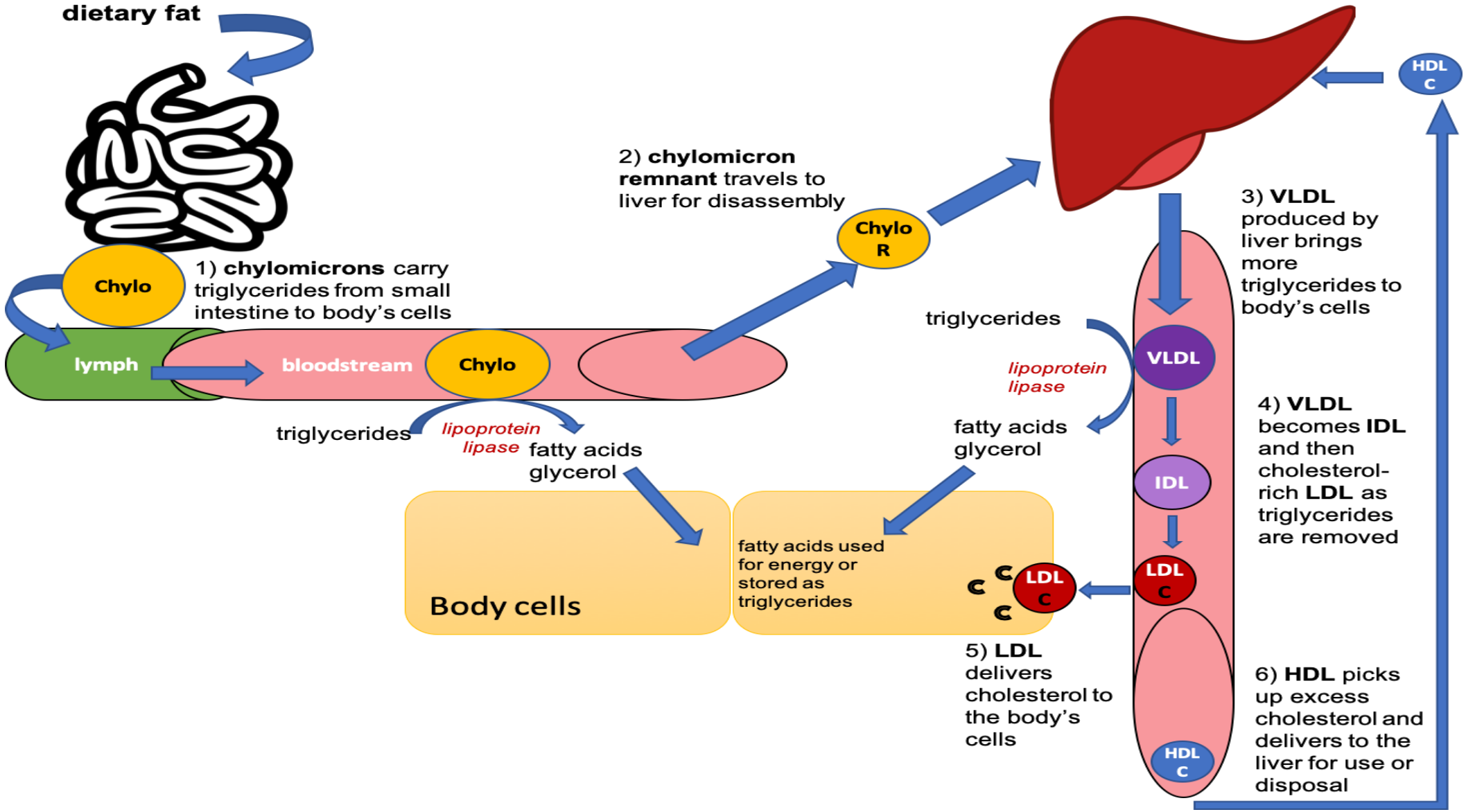
- Майлардың алмасуы-бұл ағзаға тағаммен түсетін (экзогенді) немесе ағзада өндірілетін майлардың (эндогенді) ыдырауы немесе ағзадағы бірнеше липидті құрылымдарға айналуға дейінгі бірнеше кезеңдерден тұратын күрделі үрдіс.

МАЙЛАРДЫҢ СІҢІРІЛУІ ЖӘНЕ ТАСМАЛДАНУЫ

- Асқорыту және сіңірілуі: Азықпен бірге түскен майлар ас қорыту жолында өттің (эмульгация)және ұйқы безі ферменттерінің әсерімен май қышқылдары мен глицеринге ыдырайды (липолиз). Олар ішек қабырғалары арқылы қанға және лимфаға сіңіріледі (сіңірілу).
- Тасымалдануы: Май қышқылдары мен глицерин қанға түскен соң, олар липопротеидтер түрінде тасымалданады. Липопротеидтер – майлардың суда еруін жеңілдететін және оларды ағзаға жеткізетін белоктық молекулалар.
- Синтез және жинақталу: Қажет болған жағдайда майлар қайтадан триглицеридтерге синтезделіп, май тіндерінде (май қоймаларында) сақталады. Бұл май қорлары энергия көзін береді.
- Майлардың ыдырауы (липолиз): Энергия қажеттілігі туындаған кезде майлар липолиз процесі арқылы ыдырап, энергия өндіріледі. Бұл кезде май қышқылдары ацетил-КоА түрінде митохондрияға жеткізіліп, энергия өндіретін циклдерге (мысалы, Кребс циклі) қатысады.
- Зат алмасудың реттелуі: Майлардың алмасуы эндокриндік жүйемен реттеледі. Инсулин майлардың жинақталуын, ал адреналин мен глюкагон олардың ыдырауын ынталандырады

МАЙЛАРДЫҢ СІҢІРІЛУІ ЖӘНЕ ТАСМАЛДАНУЫ

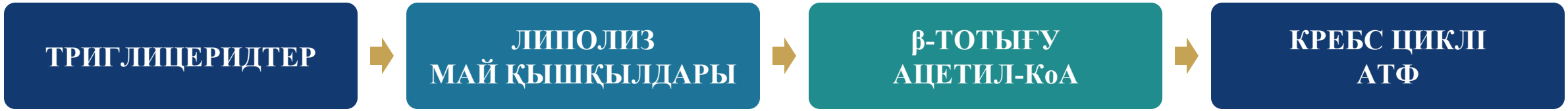
- Он екі елі ішекте тамақ өт пен ұйқы безінің әсеріне ұшырайды. Бірінші кезеңде майлар эмульсияланады.
- Майлар суда ерімейтін қосылыстар болғандықтан, олар суда еріген ферменттердің әсеріне тек су/май фазаларының арасында ұшырауы мүмкін. Сондықтан майларды гидролиздейтін ұйқы безі липазасының әсері майлардың эмульсиясынан бұрын болады. Эмульсия (майды сумен араластыру) өт тұздарының әсерінен аш ішекте жүреді. Өт қышқылдары негізінен конъюгацияланған: таурохол, гликохол және басқа қышқылдар.
- Асқазанға, содан кейін ішекке тамақ түскен кезде аш ішектің шырышты қабығының жасушалары қанға пептидті гормон холецистокинин (панкреозимин) бөле бастайды. Бұл гормон өт қабына әсер етеді, оның жиырылуына әсер етеді және ұйқы безінің экзокринді жасушаларына да әсер етеді, ас қорыту ферменттерінің, соның ішінде ұйқы безінде липазның синтезделуіне алып келеді. Аш ішектің шырышты қабығындағы басқа жасушалар асқазаннан қышқылдың түсуіне жауап ретінде секретин гормонын шығарады. Секретин-ұйқы безінің шырынына бикарбонат (NSO3 -) секрециясын қамтамасыз ететін пептидтік сипаттағы гормон.
- Ащы ішекте сіңген липидтердің негізгі бөлігі триацилглицерин қайта синтезіне қатысады. Ол үшін энтероциттердің эндоплазмалық торында арнайы ферменттер жұмыс істейді


dietary fat
Chylo
1) chylomicrons carry triglycerides from small intestine to body's cells
lymph
bloodstream
Chylo
2) chylomicron remnant travels to liver for disassembly
Chylo R
triglycerides
lipoprotein lipase
fatty acids
glycerol
Body cells
fatty acids used for energy or stored as triglycerides
HDL C
3) VLDL produced by liver brings more triglycerides to body's cells
VLDL
4) VLDL becomes IDL and then cholesterol-rich LDL as triglycerides are removed
IDL
LDL C
5) LDL delivers cholesterol to the body's cells
6) HDL picks up excess cholesterol and delivers to the liver for use or disposal

МАЙЛАРДЫҢ КАТАБОЛИЗМІ

- Майлардың катаболизмі —күрделі заттардың ыдырау процесі, нәтижесінде энергия бөлінеді. Бұл процесс организмнің жасушаларында өтеді және ол үш негізгі кезеңнен тұрады: липолиз, β-тотығу және ацетил-КоА-ның энергияға айналуы.

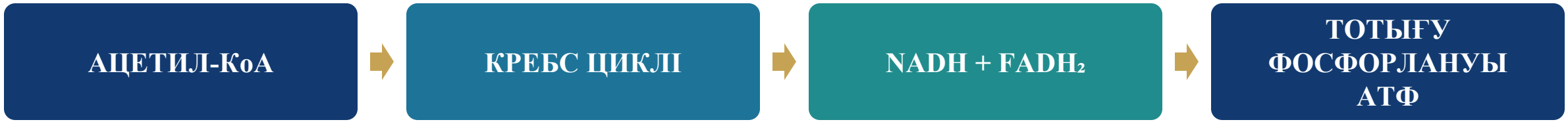
- Липолиз – май тіндерінде жинақталған триглицеридтердің (нейтральды майлардың) май қышқылдары мен глицеринге ыдырауы. Бұл процесс гормондар (адреналин, норадреналин, глюкагон) әсерімен липаза ферментінің қатысуымен жүреді. Глицерин бауырда және басқа тіндерде энергияға айналады, ал май қышқылдары ары қарай тотығу үшін митохондрияларға жеткізіледі.



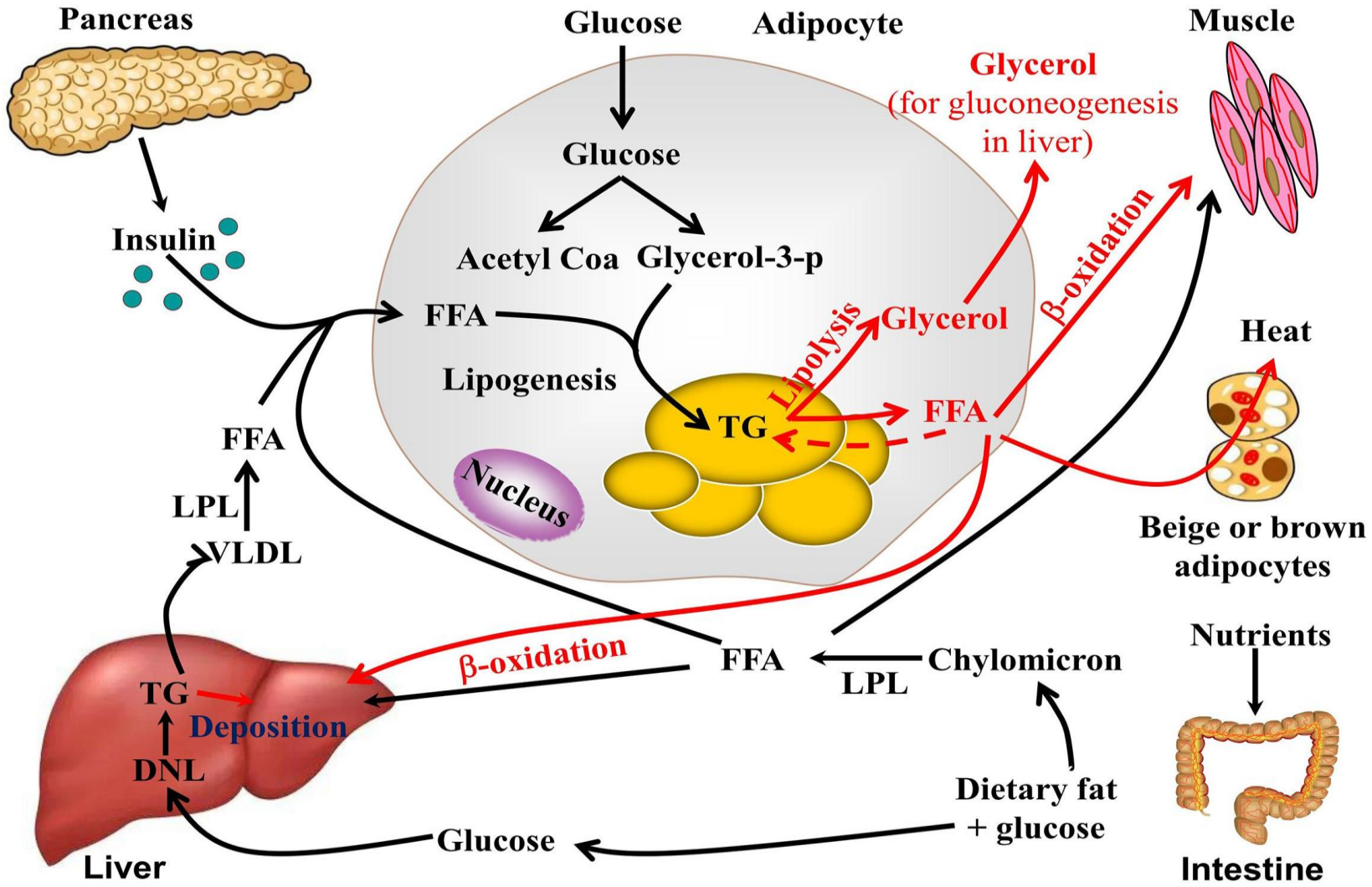
МАЙЛАРДЫҢ КАТАБОЛИЗМІ

- Ацетил-КоА-ның энергияға айналуы (Кребс циклі және тотығу фосфорлануы)

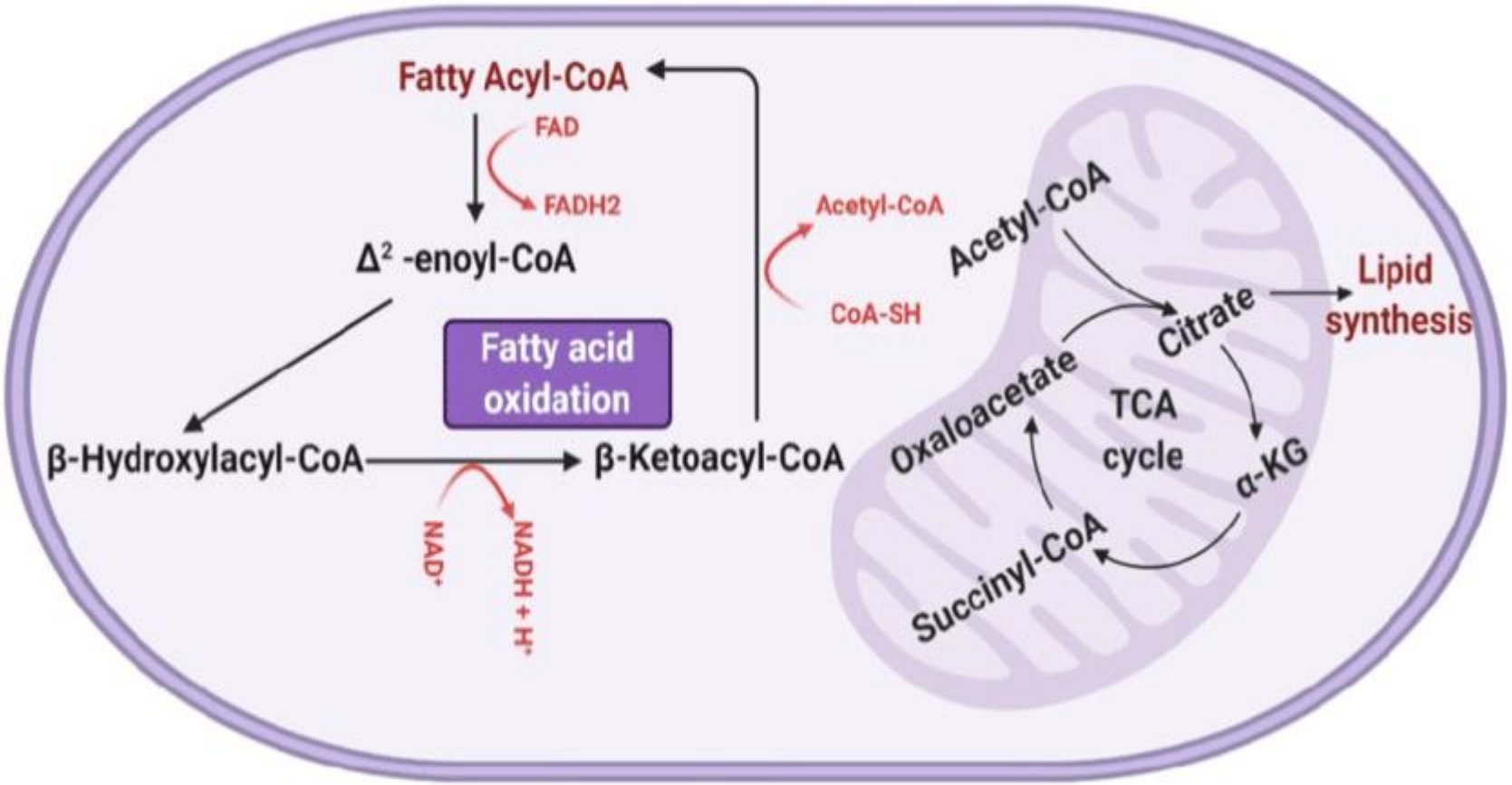
- Бөлінген ацетил-КоА митохондрияда Кребс цикліне (цитрат циклі) түсіп, көмірқышқыл газы мен суға дейін ыдырайды. Бұл процесс барысында NADH және $FADH_2$ молекулалары түзіледі, олар электрон тасымалдау тізбегіне (тотығу фосфорлануы) қатысып, АТФ синтезделеді. Осылайша майлардан энергия өндіріледі.



МАЙЛАРДЫҢ КАТАБОЛИЗМІ



МИТОХОНДРИЯЛЫҚ МАТРИЦАДА ӨТЕТІН МАЙ ҚЫШҚЫЛЫНЫҢ (БЕТА) ТОТЫҒУ ПРОЦЕСІНІҢ КӨРІНІСІ



МАЙЛАРДЫҢ КАТАБОЛИЗМІ

- Майлардың катаболизмінің өнімдері:
- Энергия: Май қышқылдарының тотығуынан көп мөлшерде АТФ (аденозинтрифосфат) түзіледі. Бір триглицерид молекуласынан алынатын энергия көмірсулар мен ақуыздарға қарағанда әлдеқайда жоғары.
- Кетон денелері: Егер организмде глюкоза жетіспесе (мысалы, ашығу кезінде), ацетил-КоА-ның көп мөлшері кетон денелеріне (ацетоацетат, β-гидроксибутират) айналады. Бұл қосылыстар бауырда түзіліп, организмнің басқа мүшелеріне энергия көзі ретінде тасымалданады..

АТФ
ЭНЕРГИЯ КӨЗІ

КЕТОН ДЕНЕЛЕРІ
ҚОСЫМША ЭНЕРГИЯ КӨЗІ

МАЙЛАРДЫҢ КАТАБОЛИЗМІ

- Майлардың катаболизмін реттеу. Майлардың ыдырауын гормондар бақылайды:

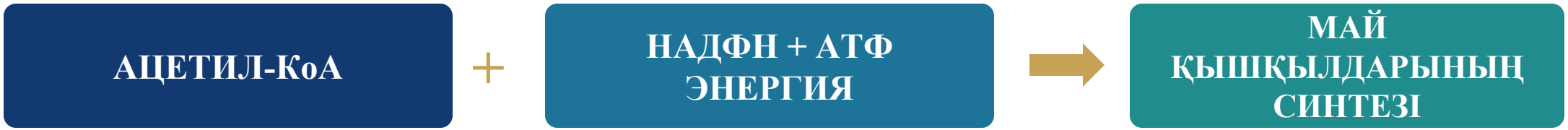
- Глюкагон және адреналин липолизді күшейтеді, яғни энергия қажеттілігі туындағанда май қышқылдарының тотығуына ықпал етеді.
- Инсулин липолизді тежейді, керісінше майларды жинақтауға жағдай жасайды.
- Майлардың катаболизмінің бұзылуы метаболикалық ауруларға, мысалы, диабетке немесе кетозға (кетон денелерінің шамадан тыс түзілуі) әкелуі мүмкін.

ГЛЮКАГОН + АДРЕНАЛИН
ЛИПОЛИЗДІ КҮШЕЙТЕДІ

ИНСУЛИН
ЛИПОЛИЗДІ ТЕЖЕЙДІ

МАЙЛАРДЫҢ АНАБОЛИЗМІ

- Майлардың анаболизмі (ассимиляция, пластикалық алмасу) — организмде жаңа май молекулаларының түзілуі. Бұл процесс энергия мен құрылымдық материалдарды жинақтау үшін қажет. Майлардың анаболизмі негізінен бауырда, май тіндерінде және сүт бездерінде жүреді.
- Майлардың анаболизміне қажетті негізгі молекулалар:
- Ацетил-КоА – май қышқылдарының негізгі құрылымдық бірлігі;
- НАДФН (никотинамид аденин динуклеотид фосфат) – май қышқылдарының синтезі кезінде қажетті энергия көзі.



МАЙЛАРДЫҢ АНАБОЛИЗМІ

Майлардың анаболизмі сатылары

- Ацетил-КоА-ның малонил-КоА-ға айналуы: Бұл майлардың биосинтезінің бастапқы кезеңі. Ацетил-КоА-дан малонил-КоА түзіледі. Бұл процесс ацетил-КоА карбоксилаза ферменті арқылы жүзеге асады және АТФ энергиясын қажет етеді. Малонил-КоА май қышқылдарының синтезі үшін маңызды аралық зат болып табылады.
- Май қышқылдарының синтезі: Малонил-КоА бірнеше циклден өтіп, ұзын тізбекті май қышқылдарына айналады. Бұл процеске арнайы мультиферментті кешен — май қышқылдарының синтетаза ферменті қатысады. Әр айналымда ацетил-КоА және малонил-КоА қосылып, май қышқылының тізбегін 2 көміртек атомына ұзартады. Бұл процесс NADPH-тың энергиясын пайдаланады.

МАЙЛАРДЫҢ АНАБОЛИЗМІ

Майлардың триглицеридтерге айналуы:

- Май қышқылдары синтезделгеннен кейін, олар глицерин молекуласымен қосылып, триглицеридтер түзеді. Бұл процесс эндоплазмалық торда жүреді. Триглицеридтер — нейтральды майлар, олар жасуша ішінде май тіндерінде жиналады және қажет болған кезде энергия көзі ретінде қолданылады.

Майлардың анаболизмін эндокриндік жүйе бақылайды:

- Инсулин — бұл процесті күшейтетін негізгі гормон. Ол глюкозаның май қышқылдарына айналуын ынталандырады, сонымен қатар липогенезді (майлардың түзілуін) арттырады.
- Глюкагон және адреналин — майлардың анаболизмін тежейді, өйткені олар энергияны жинақтау емес, жұмсауға бағытталған гормондар.



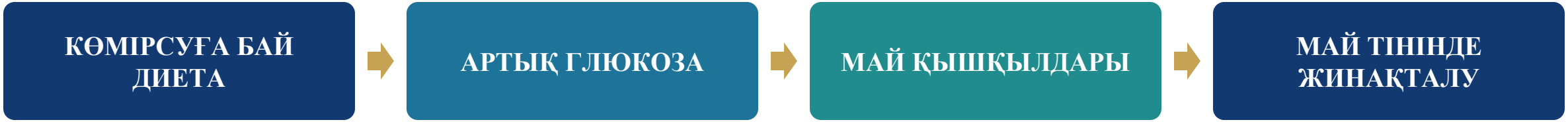
МАЙЛАРДЫҢ АНАБОЛИЗМІ

Майлардың анаболизміне әсер ететін факторлар:

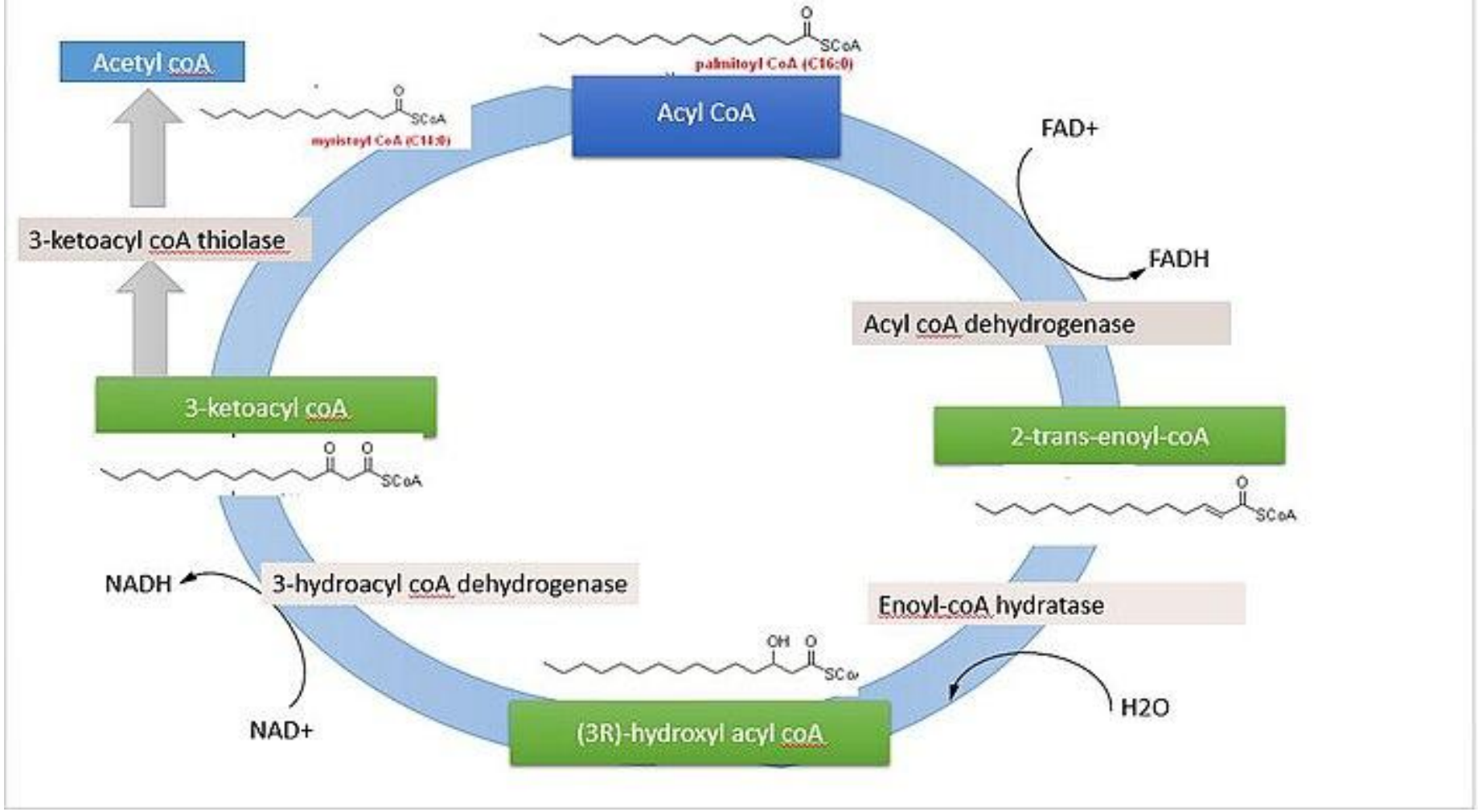
Диета: Көмірсуларға бай диета кезінде глюкоза артық мөлшерде түсіп, ол май қышқылдарына айналып, май тіндерінде жиналады.

Энергия қажеттілігі: Энергияның артығы май ретінде жиналып, энергия қажеттілігі төмендеген кезде бұл процесс белсенді жүреді.

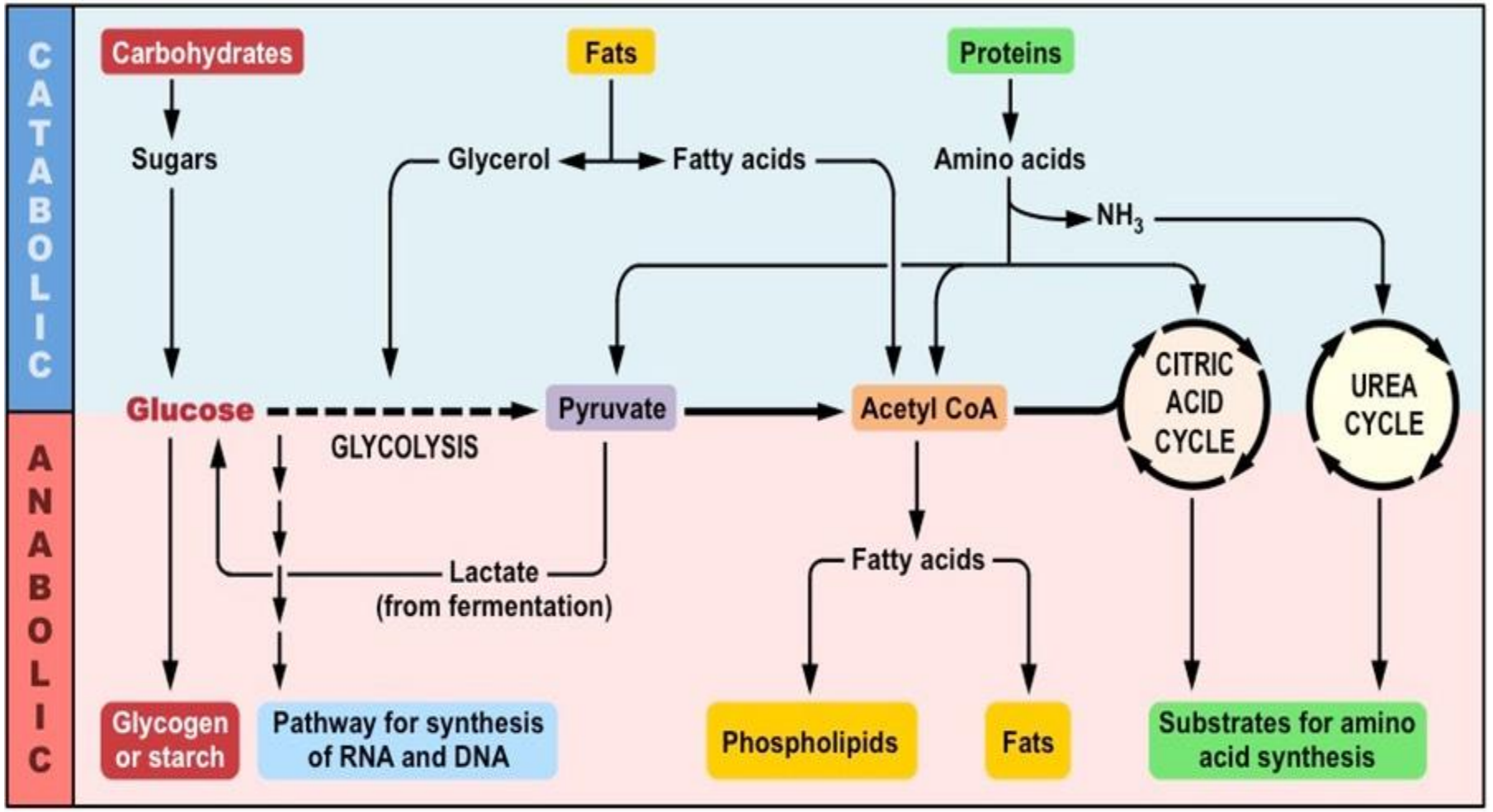
Майлардың анаболизмі организмге энергия қоры ретінде майларды жинақтап, оларды ұзақ мерзімді энергия көзі ретінде сақтауға мүмкіндік береді.



МАЙЛАРДЫҢ АНАБОЛИЗМІ



КАТАБОЛИЗМ ЖӘНЕ АНАБОЛИЗМ



ФОСФОЛИПИДТЕР МЕН ХОЛЕСТЕРИННІҢ АЛМАСУЫ

Холестериннің синтезі, қызметі, тасымалдануы және шығарылуы

1 · СИНТЕЗ ЖӘНЕ ТҮЗІЛУІ

Ацетил-КоА
бастапқы молекула

—

HMG-КоА
аралық қосылыс

—

Мевалонат → сквален
бірнеше реакция кезеңі

▶

Холестерин
негізінен бауырда синтезделеді

HMG-КоА-редуктаза — синтездің негізгі реттеу нүктесі

2 · ҚЫЗМЕТІ МЕН ТАСЫМАЛЫ

01 Жасушадағы рөлі

- Жасуша мембранасының құрамдас бөлігі
- Мембрана сұйықтығын реттейді
- Стероидты гормондар, өт қышқылдары және D дәрумені синтезіне қажет прекурсор
- Липидтер алмасуына қатысады

02 Қанмен тасымалдануы

LDL · «жаман»
Холестеринді бауырдан тіндерге жеткізеді.

HDL · «жақсы»
Артық холестеринді тіндерден бауырға қайта тасымалдайды.

03 Ыдырауы және шығарылуы

Холестерин ағзада толық ыдырамайды. Артық мөлшері бауырда өт қышқылдарына айналады да ішекке шығарылады.



ҚЫСҚАША

Синтез: бауыр → тасымал: LDL / HDL → артық мөлшері: өт арқылы шығарылу

ФОСФОЛИПИДТЕРДІҢ АЛМАСУЫ

Құрылымы · синтезі · тасымалдануы · ыдырауы

01 · ҚҰРЫЛЫМЫ МЕН ҚЫЗМЕТІ

Мембрананың негізгі бөлігі

Глицерин + 2 май қышқылы + фосфат тобы
→ фосфолипид молекуласы

- Жасуша мембранасын құрайды
- Сигнал беру мен липидтер және ақуыздардың тасымалдануына қатысады



02 · СИНТЕЗ ЖӘНЕ ТАСЫМАЛДАНУ

Синтезі

Негізінен бауыр мен жасушаның эндоплазмалық торларында жүреді.

Глицерол-3-фосфат
+ май қышқылдары → **Диаглицерол**
+ фосфат тобы → фосфолипид

Тасымалдануы

Қан айналымында липопротеидтер құрамымен тасымалданып, жасуша мембраналарын жаңартады.

Липопротеидтер → жасуша мембранасы

03 · ФОСФОЛИПАЗАЛАРМЕН ЫДЫРАУЫ

Фосфолипазалар фосфолипидті бөлшектеп, қайта пайдалануға мүмкіндік береді

Фосфолипид
мембрана құрамында → **Фосфолипазалар**
A_1 · A_2 · C · D → **Бөліну өнімдері**
май қышқылдары · глицерин
фосфат және фосфатид қышқылы → **Жасушалық сигналдар**
эйкозаноидтар

Фосфолипид алмасуы

ФОСФОЛИПИДТЕР МЕН ХОЛЕСТЕРИННІҢ АЛМАСУЫ

Холестерин мен фосфолипидтердің өзара әрекеттесуі

Фосфолипидтер мен холестерин жасуша мембранасының құрамдас бөліктері ретінде тығыз байланыста жұмыс істейді:

Холестерин мембрананың тұрақтылығын және оның өткізгіштігін реттейді, ал фосфолипидтер оның сұйықтығын қамтамасыз етеді.

Липопротеидтерде холестерин мен фосфолипидтер бірге липидтерді тасымалдауға қатысады.

Реттелуі

Инсулин фосфолипидтердің синтезін ынталандырады.

Глюкагон фосфолипидтердің ыдырауын күшейтеді.

HMG-KoA редуктаза холестерин синтезін реттейтін негізгі фермент болып табылады және оны статиндер сияқты дәрілер арқылы тежейді.

Қорытынды

Фосфолипидтер мен холестериннің алмасуы жасуша мембраналарының құрылымын қамтамасыз етуде және липидтердің тасымалдануында маңызды рөл атқарады. Бұл екі заттың алмасу процестері жақсы үйлестірілген және олардың бұзылуы атеросклероз, гиперхолестеринемия және басқа метаболикалық ауруларға әкелуі мүмкін.

ЭЙКОЗАНОИДТАР МЕН СФИНГОЛИПИДТЕРДІҢ АЛМАСУЫ

Эйкозаноидтар мен сфинголипидтердің алмасуы – бұл ағзада әртүрлі физиологиялық процестерге қатысатын күрделі липидтер тобының синтезі, метаболизмі және функциялары. Эйкозаноидтар мен сфинголипидтер биологиялық сигналдарды жеткізуге және жасушалар арасындағы коммуникацияға жауап береді.

Эйкозаноидтардың алмасуы

Эйкозаноидтар — бұл полиқанықпаған май қышқылы арахидон қышқылынан (немесе басқа омега-6 және омега-3 май қышқылдарынан) түзілетін биологиялық белсенді липидтер тобы. Олардың негізгі қызметі — жергілікті тіндердегі қабыну процестерін және басқа да жасушалық реакцияларды реттеу. Эйкозаноидтар тез түзіліп, сол жерде әсер етіп, содан соң ыдырап кетеді.

Эйкозаноидтардың түрлері:
Простагландиндер: қан қысымын, қабынуды және ауырсынуды реттейді.
Тромбоксан: қан ұюына қатысады және қан тамырларының тарылуын ынталандырады.
Лейкотриендер: қабыну және аллергиялық реакцияларда маңызды рөл атқарады, бронхтың тарылуына әсер етеді.

ПРОСТАГЛАНДИНДЕР • ҚЫСЫМ, ҚАБЫНУ, АУЫРСЫНУ

ТРОМБОКСАН • ҚАН ҰЮЫ

ЛЕЙКОТРИЕНДЕР • ҚАБЫНУ, АЛЛЕРГИЯ

МАЙЛАРДЫҢ АЛМАСУ ПАТОЛОГИЯЛАРЫ

Май алмасуының бұзылуы әртүрлі патологиялық жағдайларға әкелуі мүмкін. Бұл жағдайлар ағзада майдың шамадан тыс жиналуына немесе жетіспеуіне байланысты пайда болады.

1. Семіздік

Себептері: Артық калория, физикалық белсенділіктің төмендігі, гормондық бұзылыстар, генетикалық факторлар.

Механизмі: Инсулиннің шамадан тыс белсенділігі немесе оның сезімталдығының төмендеуі майлардың артық жиналуына әкеледі. Бұл кезде липогенез күшейіп, липолиз төмендейді.

Зиянды әсерлері: Семіздік қант диабеті, жүрек-қан тамырлары аурулары, гипертония және бауырдың майлы дистрофиясы сияқты аурулардың даму қаупін арттырады.

2. Атеросклероз

Себептері: Төмен тығыздықты липопротеидтердің (LDL) жоғары деңгейі, липид алмасуының бұзылуы.

Механизмі: LDL мөлшері артқанда артериялардың қабырғаларында май түйіршіктері (бляшкалар) жиналып, қан тамырларын тарылтады. Бұл жүрекке немесе миға қанның жеткілікті мөлшерде жетпеуіне әкеледі.

Зиянды әсерлері: Жүрек инфарктісі, инсульт және қан қысымының жоғарылауы.

МАЙЛАРДЫҢ АЛМАСУ ПАТОЛОГИЯЛАРЫ

3. Қант диабеті 2 типі

Себептері: Инсулинге төзімділік, семіздік.

Механизмі: Май ұлпалары инсулиннің әсеріне сезімталдығын жоғалтқанда, глюкоза жасушаға кіре алмайды, бұл қандағы қант деңгейінің көтерілуіне әкеледі. Майлардың алмасуы бұзылып, триглицеридтер мен бос май қышқылдарының деңгейі артады.

4. Гиперлипидемия

Себептері: Генетикалық факторлар, дұрыс тамақтанбау, семіздік, қант диабеті.

Механизмі: Қандағы липидтердің (әсіресе триглицеридтер мен холестериннің) деңгейінің жоғарылауы. Бұл жағдай атеросклероздың дамуына ықпал етеді.

Зиянды әсерлері: Жүрек ауруларының және қан қысымының жоғарылауы.жә

5. Бауырдың майлы дистрофиясы (стеатоз)

Себептері: Семіздік, алкогольді шамадан тыс пайдалану, қант диабеті.

Механизмі: Бауыр жасушаларында май қышқылдары мен триглицеридтердің шамадан тыс жиналуы. Бауырдың қалыпты жұмыс істеуіне кедергі келтіреді.

Зиянды әсерлері: Бауырдың қабынуы, фиброз және бауыр циррозының дамуы.

6. Липодистрофия

Себептері: Генетикалық аурулар немесе кейбір дәрілер (мысалы, инсулинге төзімділікке қарсы дәрілер).

Механизмі: Май ұлпаларының азаюы немесе болмауы, майлардың қалыпты сақталуы бұзылады.

Зиянды әсерлері: Гипертриглицеридемия, қант диабеті, бауыр стеатозы және метаболикалық синдромның дамуы.

ҚОРЫТЫНДЫ

Қорыта келгенде майлардың алмасуының реттелуі ағзадағы энергетикалық баланс пен жасуша қызметін қамтамасыз ететін күрделі механизм.

Бұл процесті гормондар, ферменттер және жасушалық сигнализация жолдары бақылайды. Липид алмасуының бұзылуы, мысалы, семіздік, атеросклероз және қант диабеті сияқты патологияларға әкелуі мүмкін, сондықтан дұрыс тамақтану және белсенді өмір салты маңызды рөл атқарады.

БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Майлардың түрлері және рөлі қандай?
2. Майлардың катобализмі қандай?
3. Липид алмасуының бұзылуы қандай күрделі процестерге алып келеді?
4. Бұл процесте гормондардың рөлі қандай?

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР

- Nelson D. L., Cox M. M., Hoskins A. A. Lehninger Principles of Biochemistry. – 8th Edition. New York: Macmillan Learning, 2021.
- Ferrier D. R. Lippincott Illustrated Reviews: Biochemistry. – 8th Edition. Philadelphia: Wolters Kluwer, 2022.
- Rodwell V. W., Bender D. A., Botham K. M., Kennelly P. J., Weil P. A. Harper's Illustrated Biochemistry. – 32nd Edition. New York: McGraw Hill, 2023.
- OpenStax. Biology 2e. Energy and Metabolism.https://openstax.org/books/biology-2e/pages/6-1-energy-and-metabolism
- OpenStax. Biology 2e. Connections of Carbohydrate, Protein, and Lipid Metabolic Pathways.https://openstax.org/books/biology-2e/pages/7-6-connections-of-carbohydrate-protein-and-lipid-metabolic-pathways
- NCBI Bookshelf. Physiology, Water Balance.https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK541059/
- Berg J. M., Tymoczko J. L., Gatto G. J., Stryer L. Biochemistry. – 9th Edition. New York: W. H. Freeman, 2019.