

Karbohidratların biokimyəvi xüsusiyyətləri və mübadiləsi

Karbohidratlar qidanın əsas tərkib hissəsi olub, insan orqanizmi üçün mühüm enerji mənbəyidir. İnsanın qida rasionunda zülallara nisbətən 4-4.5 dəfə çox karbohidrat olur. Yüngül fiziki işlə məşğul olan insan gün ərzində qidanın tərkibində 400-450 q karbohidrat qəbul edir ki, bu miqdarın da 75-80%-ni polisaxaridlər, 20-25%-ni oliqo- və monosaxaridlər təşkil edir. Orqanizmdə, 1 q karbohidratın son məhsullarına qədər oksidləşməsi zamanı 4,1 kkal (17,2 kc) enerji ayrılır. Nişasta və qlikogen canlı orqanizmlərin enerji funksiyası daşıyan karbohidratlarıdır.

Karbohidratların insan orqanizmi üçün əhəmiyyəti təkcə enerji təminatı ilə məhdudlaşmır, onlar həm də zülal, nuklein turşuları, lipidlərin sintezi üçün karbon atomu mənbəyidir. Birləşdirici toxumalarda hüceyrəarası əsas maddələrdə, sinir hüceyrələrinin membranlarında heteropolisaxaridlər, qlikolipidlər struktur funksiyaları yerinə yetirirlər. Kimyəvi quruluşlarına görə az fərqlənən qan qrupu antigenləri ilə insanlara məxsus qan qrupları (I, II, III, IV) müəyyənləşdirilir. Reseptor, katalitik funksiya daşıyan zülalların tərkibinə karbohidrat daxildir.

Karbohidratlar çoxatomlu spirtlərin oksidləşmiş törəmələri sayılır (polihidroksialdehidlər və polihidroksiketonlar). Karbohidratlar 3 sinfə bölünür:

- ❖ monosaxaridlər;
- ❖ oliqosaxaridlər;
- ❖ polisaxaridlər.

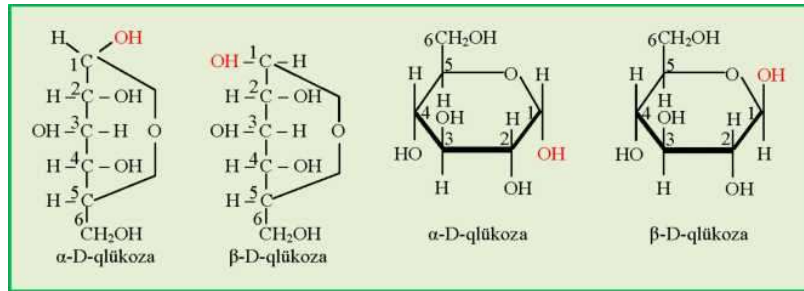
Monosaxaridlər və onların törəmələri

Monosaxaridlərin insan orqanizmində geniş yayılan nümayəndələrinə – qlükoza, fruktoza, qalaktoza, mannoza və onların törəmələri (aminşəkərlər, dezoksişəkərlər) aiddir. Monosaxaridlərin tərkibində 2-dən 9-adək karbon atomu olur.

Tərkibində bir spirt qrupu karbonil ($-C=O$) qrupu ilə əvəzlənən çoxatomlu spirtlərin törəmələrinə monosaxaridlər deyilir. Əgər əvəzetmə zəncirinin əvvəlində baş veribsə, ona aldehid qrupu, əgər ortadadırsa, yəni 2-ci karbon atomundadırsa – keton qrupu deyilir. Bundan əlavə, monosaxaridlər tərkibindəki karbon atomunun sayına görə təsnif edilirlər. Monosaxarid molekulu 3, 4, 5, 6 karbon atomundan ibarətdirsə, müvafiq olaraq onlar triozalar, tetrozalar, pentozalar, heksozalar adlandırılır. Karbonil qrupuna görə monosaxaridləri aldotriozaya, aldotetroza, aldopentozaya, aldoheksoza və s. qruplara bölmək olar. Molekul strukturunda

funksional keton qrupu olan monosaxarid qrupları ketotrioza, ketotetroza, ketopentoza, ketoheksoza, ketoheptozalar və s. adlandırılır.

Dihidroksiasetondan (3C) başqa, insan orqanizmində bütün monosaxaridlər D-konfigurasiyalıdır, stereoizomerlərin sayı da asimmetrik karbon atomundan asılıdır. Karbon atomunun sayı 5 və daha artıq olan monosaxaridlərin karbonil qrupları molekul daxili spirt qrupları ilə birləşərək tsiklik formalar əmələ gətirirlər. Bu zaman pentoza və ya heksoza molekulunda əlavə asimmetrik karbon atomu yaranır, bu da α - və β - anomerlər adlanır. Məsələn, α -D-qlükoza və β -D-qlükoza anomer cütləridir .



Qlükozanın müxtəlif formaları

Kimyəvi xassələrinə əsasən monosaxaridlər 3 qrupa bölünür:

- ❖ neytral monosaxaridlər;
- ❖ turş monosaxaridlər;
- ❖ aminşəkərlər.

Yalnız karbonil və hidroksil qruplarından ibarət olan karbohidratlar neytral monosaxaridlər (dihidroksiaseton, d-eritroza, d-riboza, d-qlükoza və s.) adlanır. Neytral monosaxaridlərin (aldozaların) oksidləşmə dərəcəsi asılı olaraq, aldar, aldron, alduron turşuları əmələ gəlir. Alduron turşularından qlükuron turşusu daha çox əhəmiyyətə malik olub, heteropolisaxaridlərdən hialuron turşusu və xondroitinsulfatların tərkibinə daxil olan struktur komponentlərdən biridir.

Neytral monosaxaridlərin reduksiyasından müvafiq spirtlər əmələ gəlir; qlükozadan sorbitolu (şəkər əvəzedici), qalaktazodan dulsiti, mannozadan manniti, fruktozadan sorbit və manniti misal göstərmək olar. Sorbitol şəkərli diabet zamanı şəkər əvəzedici maddə, beyin ödemi və müxtəlif intoksikasiyalar zamanı isə mannitol dərman preparatı kimi tibbdə tətbiq olunur.

Neytral monosaxaridlərin amin qrupuna malik birləşmələri aminşəkərlər adlanır. Qlükozamin, qalaktozamin və s. aminşəkərlərə aid edilir.

Orqanizmdə rast gəlinən monosaxaridlərin fosfat efirlərinin maddələr mübadiləsində mühüm rolu vardır.

Qlükoza (üzüm şəkəri, dekstroza) – sərbəst halda insanın qanında rast gəlinir (normada 3,3-5,5 mmol/l); disaxaridlərin (saxaroza, laktoza, maltoza), homopolisaxaridlərin (nişasta, sellüloza, qlikogen) əsas struktur komponentidir, qlükoza baş beyin üçün əsas enerji mənbəyidir. Beyinin qlükoza ilə təchizatının pozulması ölümlə nəticələnən dönməz beyin zədələnməsinə səbəb ola bilər.

Fruktoza (meyvə şəkəri, levuloza) – həm sərbəst, həm birləşmiş şəkildə rast gəlinir. O 2,5 dəfə qlükozadan şirindir.

Qalaktoza – yalnız birləşmiş şəkildə süddə olan laktozanın, həmçinin heteropolisaxaridlərin tərkibində vardır.

Mürəkkəb karbohidratlar

Oliqosaxaridlər – tərkibində 2-dən 10-a qədər monosaxarid olan və qlikozid rabitə vasitəsilə bir-birilə birləşmiş mürəkkəb karbohidratdırlar. Maltoza, laktoza və saxaroza təbiətdə geniş yayılan disaxaridlərdəndir.

Maltoza (səməni şəkəri) – sərbəst halda cücərmiş buğdadada rast gəlir və nişastanın hidrolizindən əmələ gəlir. Struktur baxımından, α -1,4-qlikozid rabitəsi vasitəsilə birləşmiş 2 qlükoza qalıqlarının kondensasiya məhsuludur. Maltoza nişastanın da hidrolizindən alınır.

Laktoza (süd şəkəri) – β -1,4-qlikozid rabitəsi vasitəsilə birləşmiş β -qalaktoza və α -qlükoza qalıqlarının kondensasiya məhsuludur. Südün tərkibində də olur.

Saxaroza (qamış və ya çuğundur şəkəri) – yalnız bitkilərdə rast gəlinir. Maltoza və laktozadan fərqli olaraq saxarozanın tərkibində sərbəst anomer karbon atomları yoxdur, çünki onlar qlikozid rabitələrinin əmələ gəlməsində iştirak edirlər və buna görə də reduksiyaedici şəkər sayılmırlar.

Bunlardan maltoza və laktoza aktiv funksional qrupa – aldehid qrupuna malikdir; saxarozada funksional qruplar α -1,2-qlikozid rabitəsi ilə blokadaya alınmışdır. Ona görə də saxaroza reduksiyaedicilik qabiliyyətinə malik deyil.

Polisaxaridlər. Karbohidratların təbiətdə ən çox yayılmış növləri polisaxaridlərdir. Onların tərkibinə 10-dan çox monosaxarid qalıqları daxildir. Beləliklə, polisaxaridlər monosaxaridlərin polikondensasiya məhsullarıdır. Polisaxaridlərin molekul tərkibinə daxil olan monosaxaridlər 1→4 və 1→6 qlikozid rabitələri vasitəsilə bir-biri ilə birləşirlər.

Tərkibi eyni növ monosaxaridlərdən təşkil olunmuş polisaxaridlər homopolisaxaridlər (qlikanlar), müxtəlif monosaxaridlərdən ibarət olarsa heteropolisaxaridlər adlanır.

Homopolisaxaridlər monosaxarid qalığının növünə əsasən təsnif edilir: qlikanlar (nişasta, sellüloza, qlikogen), fruktozanlar (inulin), mannanlar (mannoza), qalaktanlar (qalaktoza), arabanlar, ksilanlar və s.

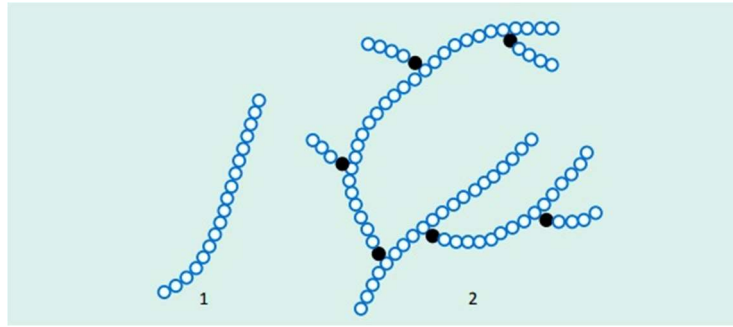
Heteropolisaxaridlərin nümayəndələrinə hialuorun və xondroitinsulfat turşuları, heparin, dermatansulfatlar və s. aiddir.

Heparin insan orqanizmində birləşdirici toxumanın toxun hüceyrələrində sintez olunur. Orqanizmin təbii antikoagulyantıdır, əsas bioloji əhəmiyyəti qanın laxtalanmasını ləngitməkdən ibarətdir.

Polisaxaridlərin bəzi nümayəndələri (nişasta, qlikogen) orqanizmin enerji ehtiyatını təmin edir, digərləri isə (sellüloza, xitin) struktur və dayaq funksiyasını yerinə yetirirlər.

Nişasta – bitkilərdə ən mühüm ehtiyat halında toplanan polisaxaridlərdən biridir. Təbii nişasta iki fraksiyanın qarışığıdır;

- ❖ Amiloza – α -1.4-qlikozid rabitəsi vasitəsilə birləşmiş D-qlükoza qalıqlardan ibarət şaxələnməmiş polisaxariddir. Amiloza suda yaxşı həll olur və yodla göy rəng verir.
- ❖ Amilopektin – amilozadan fərqli olaraq şaxəlidir; α -1.4-qlikozid rabitələrindən başqa, şaxəni yaradan α -1.6-qlikozid rabitəsi də var.

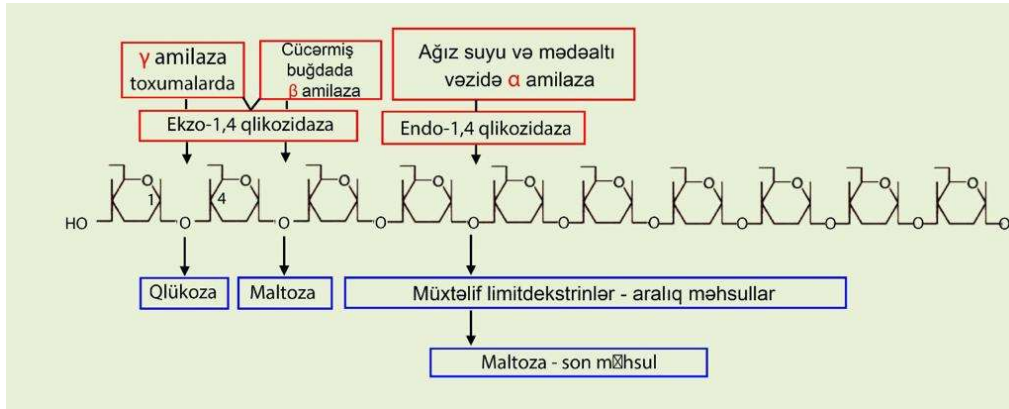


Amiloza (1) və amilopektinin (2) molekulyar strukturu

Qlikogen – heyvan hüceyrələrində əsas ehtiyat polisaxarididir, buna görə də ona “heyvani nişasta” da deyilir. Qlikogen amilopektinə oxşardır, lakin çox şaxəlidir; şaxələr arası 8-12 qlükoza qalıqları olur. Sağlam uşaqların və yetkin yaşlı şəxslərin qanında müvafiq olaraq 0.75 – 1.17 q/l və 1.17 – 2.06 q/l qlikogen olur. Qanın formalı elementlərində qlikogen 73-78%, plazmada isə 13-27% təşkil edir. Eritrositlərdə qlikogen olmur.

Karbohidratların həzmi

Mədə-bağirsaq traktında qlikozidaza fermentlərinin təsirindən poli- və disaxaridlər monosaxaridlərə qədər parçalanırlar. İnsan orqanizminə daxil olan əsas qidanın tərkibində karbohidratlar çətin mənimsənilən (nişasta və qlikogen) və asan mənimsənilən komponent (saxaroza, laktoza, qlükoza, fruktoza) şəklində daxil olur.



Amilaza fermentinin təsir xüsusiyyətləri

Ağız boşluğunda α -amilaza (endo-1,4-qlikozidaza) qida polisaxaridlərinə qısa müddət təsir edərək daxili qlikozid rabitələrini hidroliz edir və dekstrinlər əmələ gəlir. Qidanın tərkibində olan disaxaridlər – saxaroza, laktoza – ağız boşluğunda dəyişikliyə uğramır.

Qida karbohidratlarına mədəaltı vəzi və onikibarmaq bağırsağ şirələrinin tərkibində olan hidrolitik fermentlər daha aktiv təsir göstərir. Mədəaltı vəzi şirəsində α -amilaza, amilo-1,6-qlikozidaza və oliqo-1,6-qlikozidaza, bağırsağın selikli qişasında isə oliqosaxaridazalar və disaxaridazalar sintez edilir.

Disaxaridlər nazik bağırsağ boşluğunun selikli qişasında olan vəzi hüceyrələrində α - və β -spesifik oliqosaxaridazalar – maltaza, izomaltaza, saxaraza, laktazanın (β -qalaktozidaza) təsiri nəticəsində monosaxaridlərə qədər parçalanırlar. Laktaza “induktiv” fermentdir, yəni bu ferment qidanın tərkibində həzm sistemində laktoza daxil olduqda sintez edilir. Laktaza fermenti olmadıqda orqanizm süd şəkərini mənimsəyə bilmir və bu zaman yoğun bağırsaqlarda mikroflora inkişaf edir. Belə hallarda süd qəbulundan sonra ishal baş verir. Laktaza fermentinin irsi çatışmazlığı olan patologiya laktozaya qarşı dözülməzlik adlanır.

Toxumalarda qlükozanın çevrilmələri

Qarı venasının (portal) qanında müxtəlif monosaxaridlərin keyfiyyəti qəbul edilən qıdanın növündən asılıdır. Monosaxaridlər qaraciyər hüceyrələri tərəfindən sürətlə udulur, burada qlükozaya çevrilir.

Aşağıdakı hüceyrələr və toxumalar qlükozadan xüsusilə intensiv istifadə edirlər:

- ❖ Sinir toxuması, çünki onun üçün qlükoza əsas enerji mənbəyidir;
- ❖ əzələlər, çünki təqəllüs üçün enerji mənbəyidir;
- ❖ bağırsaq divarı, çünki onun enerjisi müxtəlif maddələrin sorulma proseslərinə lazımdır.

Toxumalarda qlükozanın oksidləşməsindən əmələ gələn enerjinin 65%-i ATF-in, 30% -i lipidlərin sintezinə, 5% isə – qlikogenogeneza sərf edilir. Hüceyrələrdə qlükoza fosforilləşmə yolu ilə aktivləşərək qlükoza-6-fosfata çevrilir. Qaraciyərdə bu prosesə qalaktoza və fruktoza da qoşulur. Bu reaksiyanı kataliz edən fermentlərin (kinazalar) bir neçə izoformaları var.

Fərqli xüsusiyyətləri	Qlükokinaza	Heksokinaza
Lokalizasiyası	Əsasən hepatositlər, mədəaltı vəzinin β -hüceyrələri	Bütün toxumalar
Spesifikliyi	mütləq	nisbi
Substrata qarşı həssaslığı	Aşağı, $K_M=10\text{mmol/l}$	Yüksək, $K_M=0.1\text{mmol/l}$

Qlükokinaza və heksokinazaların fərqli xüsusiyyətləri

Deməli, qlükokinaza fermentinin aktivliyi qaraciyərdə qida qəbulu zamanı yüksəlir və qanda qlükozanın artmasının qarşısını alır; heksokinazanın aktivliyi isə aclıq zamanı yüksəlir.

Qlikogenin metabolizmi

Qlikogen insan və heyvan orqanizminin bütün hüceyrələrində sintez edile

bilir (yalnız eritrositlər müstəsnaıq təşkil edir). Lakin qlikogenin sintez edilmə sürəti qaraciyər hüceyrələrində və skelet əzələlərində xüsusilə yüksəkdir. Qaraciyər qlikogeni qlükoza qıdada olmadıqda və ya aclıq zamanı digər toxumalar üçün qlükozanın mənbəyi rolunu oynayır. Qaraciyərdə qlikogen ehtiyatı 12-24 saat ərzində sərf edilir.

Qlikogenin sintezi (qlikogenogenez). Qan vasitəsilə hüceyrələrə gətirilən sərbəst qlükoza əvvəlcə heksokinaza və ya qlükokinaza fermentinin iştirakı ilə fosforlaşma reaksiyasına uğrayıb, qlükoza-6-fosfata, sonra isə fosfoqlükomutaza fermentinin katalizatorluğu şəraitində qlükoza-1-fosfata çevrilir. Bundan sonra qlükoza-1-fosfat uridintrifosfatla (UTF) reaksiyaya girib, uridindifosfat-1-qlükozanın (UDF-1-qlükoza) əmələ gəlməsinə səbəb olur.

Bu reaksiya qlükoza-1-fosfaturidiltransferaza fermentinin təsiri ilə baş verir. Qlikogen sintezinin növbəti mərhələsində UDF-qlükoza qlükoza qalığını qlikogen molekulunun reduksiya reaksiyası verməyən uc hissələrinə ötürülür və 1,4-qlikozid rabitəsi vasitəsilə qlikogen qalıqına birləşdirilir. Bu reaksiya nəticəsində, qlikogensintazanın iştirakı ilə, qlikogen molekulu 1 qlükoza qalıqı qədər uzanır və əlavə məhsul olan uridindifosfat (UDF) azad olur. Əlavə α -1,6-qlikozid rabitələri amilo-(1,4 \rightarrow 1,6)-transqlikozidaza fermentinin təsiri ilə baş verir. Adı çəkilən fermentə «saxələndirici ferment» də deyilir.

Qlikogenin parçalanması (qlikogenoliz) əsasən fosforolitik yolla həyata keçirilir; fosforilaza (qlikogenfosforilaza) fermentin iştirakı ilə qlikogen molekulunun uc hissələrində yerləşən qlükoza qalıqları fosfat turşusunun iştirakı ilə molekuldan ayrılaraq qlükoza-1-fosfata çevrilir

Qlükoza-1-fosfat ilk növbədə fosfoqlükomutaza fermentinin təsirindən qlükoza-6-fosfata çevrilir. Sonra isə qlükoza-6-fosfatın hidrolizi nəticəsində molekuldan fosfat turşusu ayrılır və sərbəst qlükoza əmələ gəlir. Qlükoza-6-fosfataza qaraciyər, böyrək, bağırsaq hüceyrələrinin membranı ilə rabitəli olan fermentdir, ona görə burada proses sərbəst qlükozaya qədər gedir. Əzələ liflərində və orqanizmin digər toxumalarının hüceyrələrində qlükoza-6-fosfataza fermenti yoxdur və qlükoza-6-fosfat membrandan keçə bilmir, qlikogenin parçalanmasından əmələ gələn qlükoza-6-fosfat əzələnin yığılmasını təmin etmək üçün qlikolizə qoşulur: çox hissəsi anaerob şəraitdə katabolizmə uğrayıb, süd turşusuna çevrilir, nisbətən az hissəsi isə oksigenli mübadilənin son məhsullarının (CO₂ və su) əmələ gəlməsinə qədər oksidləşir.

Qlikogen mübadiləsinin tənziimi. Qlikogenin sintezi və parçalanmasının tənziimedicil fermentlərinin (qlikogensintaza və fosforilaza) aktivliyi orqanizmin vəziyyətindən asılı olaraq hormonlarla idarə edilir.

Belə ki, qida qəbulu zamanı insulin qlikogensintaza fermentini stimulə edir və qlikogenin sintezi sürətlənir. İntensiv iş zamanı adrenalin, aclıq zamanı isə qlükaqon, əksinə qlikogenfosforilazanı aktivləşdirir və qlikogenin parçalanması baş verir.

Qlükozanın oksidləşmə yolları

Hüceyrə daxilində qlükoza katabolizm proseslərinə sərf olunur. Qlükozanın parçalanması iki yolla gedir: 2/3 hissəsi qlikolitik yolla (dixotomik oksidləşmə), 1/3 hissəsi isə – pentozafosfat yolu ilə (apotomik oksidləşmə)

Qlükozanın qlikolitik yolla oksidləşməsi (qlikoliz)

Qlikoliz müxtəlif fermentlər vasitəsilə kataliz edilən 11 biokimyəvi reaksiyadan ibarət çoxmərhələli proses olub sitoplazmada, katabolizmin ümumi yollarının reaksiyaları isə mitoxondridə gedir.

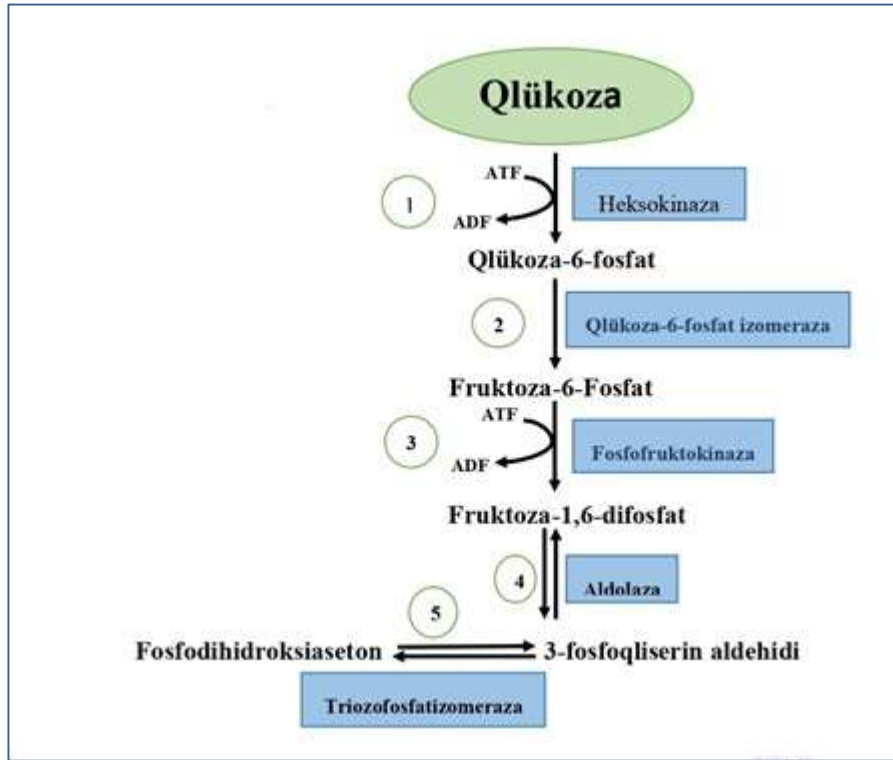
Qlikolizin iki mərhələsi ayırd edilir:

- ❖ hazırlıq;
- ❖ qlikolitik oksid-reduksiya.

Qlikoliz prosesinin hazırlıq mərhələsində 1 molekul qlükoza 2 molekul fosfotriozaya parçalanır; bu səbəbdən qlikolizə dixotomik (vasitəli) oksidləşmə adı verilmişdir. Belə ki, qlikolizin II mərhələsində yalnız 3-fosfoqliserin aldehidi istifadə olunduğundan fosfodihidroksiaseton 3-fosfoqliserin aldehidinə çevrilir və qlikolitik oksid-reduksiya mərhələsinə qoşulur.

Qlikolizin hazırlıq mərhələsi 5 fermentativ reaksiyadan ibarətdir. Hazırlıq mərhələsinin reaksiyalarına 2 mol ATF sərf edilir; mərhələnin birinci və üçüncü reaksiyaları geri dönməyəndir:

- ❖ Qlükoza molekulu heksokinaza (digər toxumalarda) və ya spesifik qlükokinaza (qaraciyərdə) və ATF-in təsiri ilə qlükoza-6-fosfata qədər fosforilləşir. Hüceyrələr bu reaksiyaya ATF enerjisi sərf etməklə, sonradan nisbətən artıq miqdarda enerji əldə etmək imkanı yaradır;

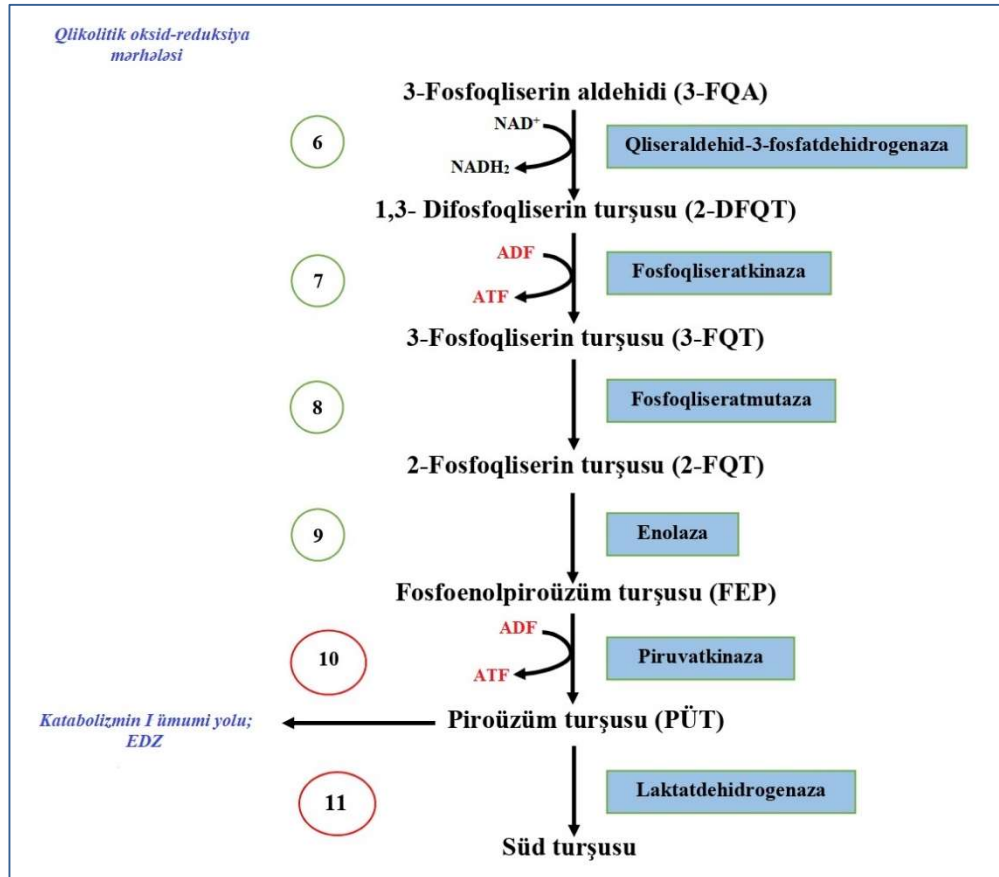


- ❖ Qlükoza-6-fosfat heksozafosfatizomeraza (qlükoza-6-fosfatizomeraza) fermentinin təsiri ilə izomerləşmə reaksiyasına məruz qalaraq fruktoza-6-fosfat efirininin əmələ gəlməsinə səbəb olur;
- ❖ Fruktoza-6-fosfat fosforilləşərək fruktoza-1,6-difosfata çevrilir. Bu reaksiyaya 1 mol ATF sərf edilir. Reaksiyanı kataliz edən ferment fosfofruktokinaza adlanır, ferment Mg^{2+} ionlarının təsiri ilə aktivləşir. Fosfofruktokinaza allosterik və ya tənzimləyici fermentdir. Bu fermenti öz substratından (fruktoza-6-fosfat) və reaksiya məhsulundan (fruktoza-1,6 difosfat) başqa, tsiklik AMF, AMF və fosfat turşusu aktivləşdirə bilər. Reaksiyanın ikinci substratı olan ATF isə fosfofruktokinazanın inhibitorudur. Qlikoliz prosesinin tənzimində fosfofruktokinazanın rolu heksokinazaya nisbətən böyükdür.
- ❖ Fruktoza-1,6-difosfat fruktoza-difosfataldolaza fermentinin iştirakı ilə 2 molekul fosfotriozaya – fosfodihidroksiaseton (FDHA) və 3-fosfoqliserin aldehidinə (3-FQA) parçalanır. Əmələ gələn triozafosfatlar qarşılıqlı sürətdə bir-birinə çevrilə bilər. Onların izomerləşmə reaksiyasını kataliz edən ferment triozafosfatizomeraza adlanır. Qlikoliz prosesinin növbəti reaksiyalarında triozalardan yalnız biri – 3-fosfoqliserin aldehidi iştirak edə bilər.

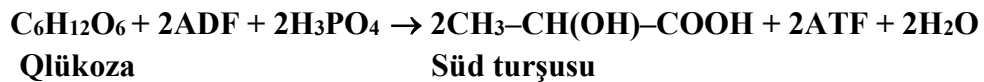
Beləliklə, qlikoliz prosesinin hazırlıq mərhələsi 2 molekul fosfotriozaların əmələ gəlməsi ilə başa çatır və ikinci mərhələ – qlikolitik oksidləşmə-reduksiya mərhələsi başlanır.

Qlikolitik oksid-reduksiya mərhələsinin reaksiyaları aşağıdakılardır:

- ❖ İlk reaksiya 3-fosfoqliserin aldehidinin oksidləşməsindən ibarətdir. Qliseraldehid-3-fosfatdehidrogenaza fermentinin təsiri ilə 3-fosfoqliserin aldehidi 1,3-difosfoqliserin turşusuna (1,3-DFQT) oksidləşir. Bu ferment NAD^+ -dan asılı fermentdir, reaksiya nəticəsində 1 mol NADH_2 əmələ gəlir, yəni oksidləşməklə fosforlaşma ilə 2,5 mol ATF sintez olunur.
- ❖ Fosfoqliseratkinaza fermentinin təsiri ilə 1,3-difosfoqliserin turşusunun makroergik rabitəli fosforil qrupunun ADF molekuluna ötürülməsi nəticəsində ATF sintez edilir (Mg^{2+} ionlarının iştirakı ilə). Beləliklə, qlikoliz prosesində ilk makroergik rabitə yaranır. Bir qlükoza molekulu 2 mol fosfotriozaya parçalandığından, reaksiyaların hər birinin 2 mol substrata aid olduğunu nəzərə almaq lazımdır, yəni 2 mol ATF sintez olunur. Fosforilləşmə prosesinin burada təsvir edilən mexanizmi “*substrat vasitəsilə fosforlaşma*” adlanır.

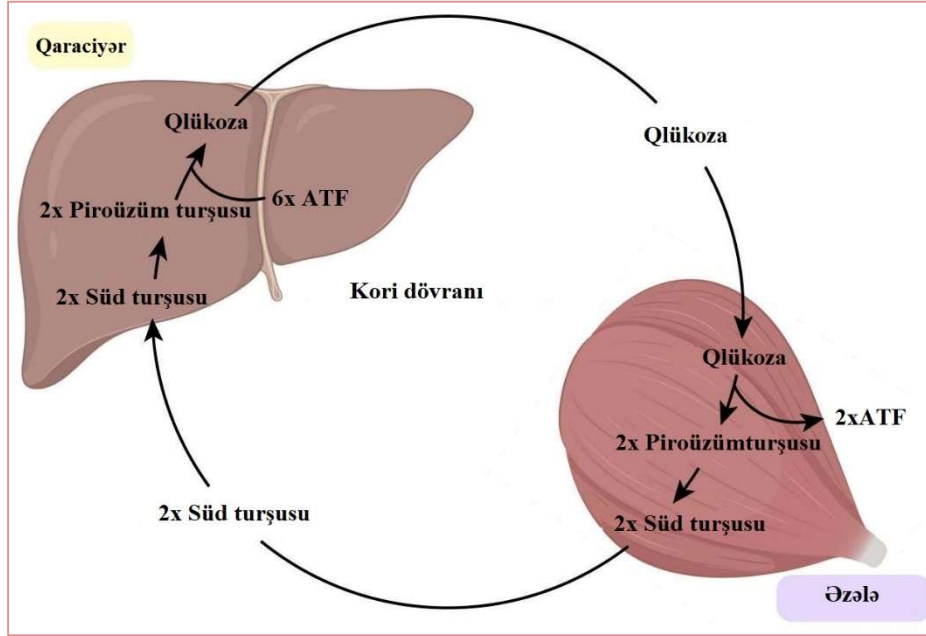


- ❖ Fosfoqliseromutaza fermentinin təsiri nəticəsində 3-fosfoqliserin turşusu izomerləşmə reaksiyasına daxil olur və 3-cü karbon atomu ilə rabitələnən fosfat turşusu qalığı 2-ci karbon atomuna keçir; 2-fosfoqliserin turşusu əmələ gəlir. Dönən xarakterli bu reaksiya Mg^{2+} ionları olan mühitdə baş verir.
- ❖ Enolaza (piruvathidrataza) fermenti 2-fosfoqliserin turşusunu dehidratlaşdıraraq fosfoenolpiroüzüm turşusuna (FEP) çevirir. Bu reaksiya zamanı substratın molekul daxili dəyişilməsi ilə fosfat və qliserin turşusu arasındakı efir rabitəsi enerji ilə zəngin olan (makroergik) rabitəyə çevrilir.
- ❖ Fosfoenolpiroüzüm turşusu molekulundakı fosforil qrupunun ADF molekuluna ötürülməsi ilə qlikolizin ikinci **substrat vasitəsilə fosforlaşma** reaksiyası baş verir. Yəni, fosfoenolpiroüzüm turşusunun molekulundakı yüksək enerjili fosforil qrupu ATF-in əmələ gəlməsinə sərf edilir. Bu reaksiya geriyyə dönməyən olub, piruvatkinaza fermenti vasitəsilə kataliz edilir. Ferment Mg^{2+} , fruktoza-1,6-difosfat, H_3PO_4 -un təsirindən fəallaşa bilir. Beləliklə, piroüzüm turşusunun əmələ gəlməsi ilə aerob qlikoliz başa çatır.
- ❖ Piroüzüm turşusunun süd turşusuna (laktat) reduksiyası insan, heyvan və ali bitkilərin toxumalarında anaerob qlikolizin son reaksiyası olub laktatdehidrogenaza fermentinin təsiri ilə baş verir. Bu reaksiya zamanı piroüzüm turşusu $NADH_2$ -nin iştirakı ilə reduksiyaya uğrayıb, süd turşusuna çevrilir. Süd turşusu anaerob şəraitdə gedən qlikoliz prosesinin son məhsuludur. Bütün mərhələləri nəzərə almaqla, qlikolizin yekun tənliyini aşağıdakı kimi ifadə edə bilərik:



Yalnız ürək əzələsində süd turşusunun bir qismi (skelet əzələlərində isə cüzi hissəsi) yenidən piroüzüm turşusuna çevrilib, oksidləşmə prosesini davam etdirə bilir, digər toxumalar isə ondan istifadə edə bilmir. Hüceyrələrdə süd turşusunun miqdarı artdıqda asidoz inkişaf edir ki, bu da hüceyrədaxili mühitdə maddələr mübadiləsinin pozulmasına səbəb ola bilər. Buna görə, qlikoliz prosesi zamanı əmələ gələn süd turşusu hüceyrələrdən xaric edilir və qan vasitəsilə qaraciyərə gətirilir, burada isə qlükozanın və qlikogenin resintezinə sərf edilir.

Kori dövrü (Qlükoza-laktat dövrü)



Beləliklə, qlikoliz prosesi qlükozanın parçalanmasının spesifik yolu olub, aerob və anaerob şəraitdə gedir. Aerob və anaerob qlikoliz proseslərinin mühüm xüsusiyyətləri cədvəldə göstərilir.

Qeyd: Əzələlərdə qlikogenin parçalanmasından əmələ gələn qlükoza-6-fosfat aerob və anaerob qlikoliz prosesinə qoşulur, bu zaman müvafiq olaraq 8 mol və 3 mol ATF sintez olunur. Buna səbəb, qlikogenin parçalanması zamanı ATF iştirakı olmadan qlükoza-6-fosfatın əmələ gəlməsidir; məlumdur ki, qlikolizin ilk reaksiyası ATF iştirakı (qlükozanın fosforlaşması) ilə müşayiət olunur.

Qlükozanın aerob oksidləşməsi

Qlükozanın aerob şəraitdə oksidləşməsi şərti olaraq 5 mərhələyə bölmək olunur:

1. Qlükozanın piroüzüm turşusuna qədər oksidləşməsi;

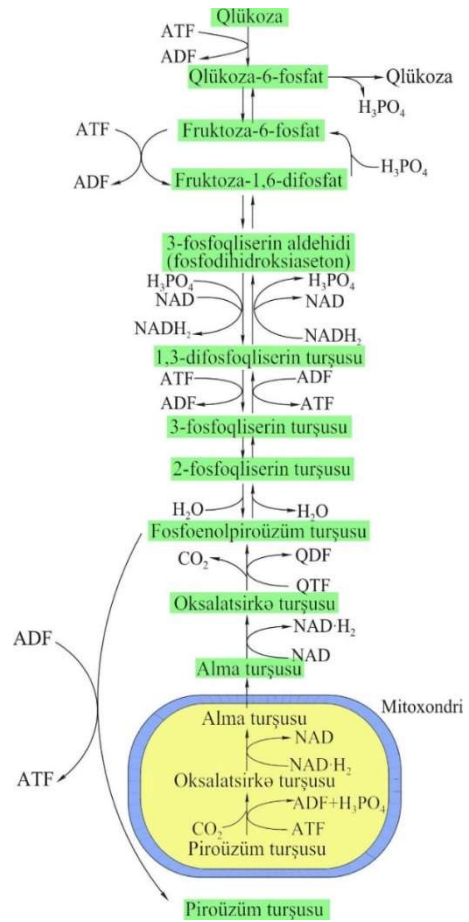
2. Piroüzüm turşusunun Asetil-KoA və CO₂-nin əmələ qəlməsi ilə oksidləşməklə dekarboksiləşməsi (katabolizmin I ümumi yolu);
3. Asetil-KoA-nın trikarbon turşuları dövrəsinə daxilində oksidləşməsi (katabolizmin II ümumi yolu);
4. Bioloji oksidləşmə (EDZ);
5. Oksidləşməklə fosforilləşməsi (ATF-ın sintezi)

Qlükoneogenez

Qeyri-karbohidrat mənşəli üzvi maddələrdən qlükozanın sintezi prosesidir. İnsan orqanizminin bəzi toxumaları (xüsusən beyin) enerji mənbəyi kimi yalnız qlükozadan istifadə edir. Orqanizmdə qlükogen ehtiyatı qlükoza ehtiyacını ödəmək üçün lazımdır. Uzunmüddətli aclıq zamanı qanda şəkərin səviyyəsinin sabit vəziyyətdə saxlanması üçün başqa üzvi maddələrdən qlükoza sintez edilməlidir; gərgin fiziki iş zamanı isə toxumalarda daha böyük sürətlə qlükoza sərf edildiyinə görə qlükoneogenezin xüsusi rolu vardır.

Qlükoneogenez prosesi əsasən qaraciyərdə və böyrəklərin qabıq maddəsinin hüceyrələrində baş verir. Miokarda, skelet əzələlərində və beyin toxumasında qlükoneogenez prosesi cüzi sürətlə baş verdiyi halda, bu proses qaraciyərdə daha intensiv gedir. Böyrəklərdə isə qlükozanın sintez yolu qaraciyərlə müqayisədə 9-10 dəfə azdır. Qlükozanın sintezi üçün orqanizmdə ən çox istifadə olunan metabolitlərə süd və piroüzüm turşularını, Krebs dövrəsinin aralıq məhsullarını, qliserol və aminturşuları misal göstərmək olar.

Qlükoneogenez prosesində əsas ilkin substrat piroüzüm turşusudur. Qlikoliz prosesinin 3 geri dönməyən reaksiyaları (qlükoza→qlükoza-6-fosfat; fruktoza-6-fosfat→fruktoza-1,6-difosfat; fosfoenolpiroüzüm turşusu→piroüzümturşusu)

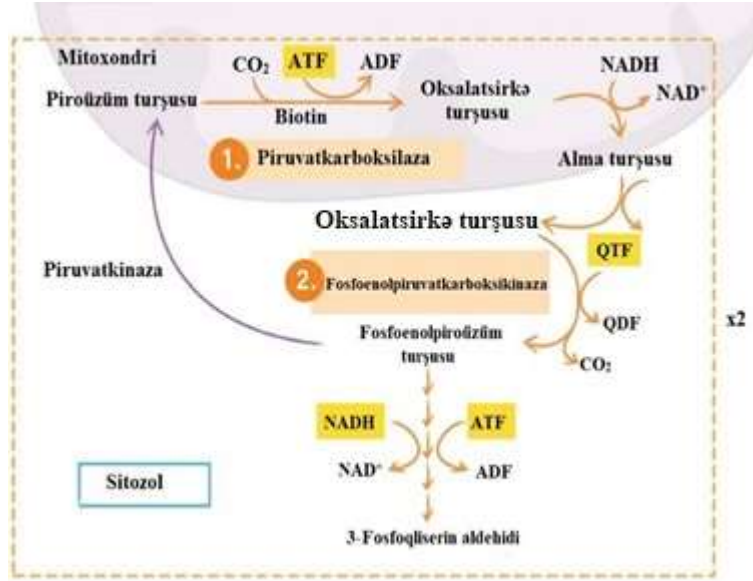


qlükoneogenez prosesində 4 fərqli fermentin iştirakı ilə həyata keçən reaksiyalarla əvəzlənir.

Piroüzüm turşusunun fosfoenolpiroüzüm turşusuna çevrilməsi. Bu reaksiya 2 mərhələdən ibarətdir.

Birinci mərhələdə piroüzüm turşusu mitoxondrial piruvatkarboksilaza fermentinin təsiri ilə oksalatsirkə turşusuna çevrilir; reaksiyaya 1 mol ATF sərf edilir. Piruvatkarboksilaza fermentinin kofermenti biotindir (H vitamini).

İkinci mərhələdə fosfoenolpiruvatkarboksikinaza fermentinin iştirakı ilə oksalatsirkə turşusu həm karboksil qruplarından birini itirir, həm də fosforlaşma prosesinə uğrayaraq, fosfoenolpiroüzüm turşusuna çevrilir.



Fosfoenolpiruvatkarboksikinaza reaksiyası sitoplazmada baş verir və bu reaksiyanın məhsulu olan oksalatsirkə turşusu mitoxondridən sitoplazmaya gətirilməlidir. Bunun üçün mitoxondri daxilində olan oksalatsirkə turşusu alma (malat) turşusuna çevrilir. Alma turşusu aspartat-malat məkik mexanizmi üzrə sitoplazmaya keçib, yenidən oksidləşərək oksalatsirkə turşusuna çevrilir.

Fruktoza-1,6-difosfatın fruktoza-6-fosfata çevrilməsi. Göstərilən reaksiya fruktoza-1,6-difosfataza fermentinin təsiri ilə baş verir.

Qlükoza-6-fosfatın qlükozaya çevrilməsi. Qlükoza-6-fosfat qlükoza-6-fosfataza fermentinin təsiri ilə sərbəst qlükozaya və fosfat turşusuna parçalanır. Qlükoza-6-fosfataza fermenti yalnız qaraciyərdə, böyrəklərdə və bağırsaqların selikli qişasının epitel hüceyrələrində olur.

Qlükoneogenez prosesinə 2 mol piroüzüm turşusu cəlb edildiyini nəzərə alsaq, bu prosesin yekun tənliyi aşağıdakı kimidir:



Krebs d\u00f6vr\u00e2n\u00f2n\u00f2n aral\u00f2q substratlar\u00f2 ql\u00fckoneogenez prosesin\u00e2 oksalatsirk\u00e2 tur\u00e2susuna \u00e2vrildikd\u00e2n sonra qo\u00e2ulurlar. Ql\u00fckoneogenezd\u00e2 qlikogen (qlikoplastik) amintur\u00e2ular da i\u00e2tirak edirl\u00e2r.

Qlikoliz v\u00e2 ql\u00fckoneogenez prosesl\u00e2r aras\u00f2nda qar\u00e2\u00f2l\u00f2ql\u00f2 \u00e2laq\u00e2 v\u00e2 t\u00e2nzimi. \u00c2nsulin/ql\u00fckaqon nisb\u00e2ti a\u00e2a\u00u00f2 olduqda (acl\u00f2q zaman\u00f2) ql\u00fckaqonun t\u00e2siri il\u00e2 qlikoliz prosesi ql\u00fckoneogenez il\u00e2 \u00e2v\u00e2zl\u00e2nir. Qida q\u00e2bulu zaman\u00f2, \u00e2ksin\u00e2 insulin qlikoliz fermentl\u00e2rinin sintezini induksiya, ql\u00fckoneogenezin fermentl\u00e2rini repressiya edir.