

HÜCRESEL SOLUNUM

Hücreler, canlılıklarını devam ettirmek ve çoğalmak için enerjiye ihtiyaç duyarlar.

Ototrof canlıda fotosentez veya kemonsentez sonucu üretilen heterotrof canlılarda ise beslenme yoluyla dışarıdan alınan organik besinler hücresel solunum olayında kullanılarak enerji elde edilir.

Hücrelerde; glikoz, yağ asidi, gliserol, amino asit gibi organik moleküllerin yapısındaki kimyasal bağ enerjisi ile ATP sentezlenmesine **hücresel solunum** denir

Hücresel solunum; oksijenli ve oksijensiz solunum olmak üzere iki şekilde gerçekleşir. Oksijen, enzimler ve ETS yardımıyla enerji verici organik moleküllerin H_2O ve CO_2 'ye kadar parçalanması sırasında açığa çıkan enerji ile ATP sentezlenmesine **oksijenli solunum** denir.

Glikozun hücre sitoplazmasında ETS yardımı ile oksijensiz olarak yıkılıp enerji elde edilmesine **oksijensiz solunum** denir.

Fermantasyon (mayalanma) ise besinlerin enzimler yardımıyla oksijen ve ETS kullanmadan kısmi olarak yıkılıp ATP elde edilmesi olayıdır.

UNUTMA !

Bir molekül glikozun hücrede farklı süreçlerle yıkılmasından elde edilen ATP sayısı oksijenli solunum - oksijensiz solunum - fermentasyon sırasıyla azalır.

OKSİJENLİ (AEROBİK) SOLUNUM

Oksijenli solunumda besinlerin yapı taşları, enzimler ve oksijen sayesinde CO_2 ve H_2O gibi inorganik maddelere parçalanır. Bu sırada enerji elde edilir. Üretilen enerjinin bir kısmı ATP'ye aktarılırken bir kısmı da ısı enerjisi olarak açığa çıkar.

Organik besinlerin hücre içinde oksijen kullanılarak inorganik moleküllere kadar parçalanması ile enerji açığa çıkarılması sürecine **oksijenli solunum** denir.

Oksijenli solunum, bazı prokaryot ve ökaryot canlılarda gerçekleşir.

Oksijenli solunum, prokaryot canlılarda sitoplazmada başlayıp solunuma yardımcı ETS elemanlarını taşıyan hücre zarı kıvrımlarında tamamlanır.

Ökaryot canlılarda ise oksijenli solunum yine sitoplazmada başlayıp mitokondride devam eder.

Mitokondrinin Yapısı



Arkeler, bakteriler ve memeli alyuvarlarının dışında oksijenli solunum yapan tüm hücrelerde bulunur. Mitokondri taşımayan memeli alyuvarları enerji ihtiyaçlarını glikoliz (laktik asit fermentasyonu) yoluyla karşılar. Ancak bu yolla elde edilen enerji, oksijenli solunumla elde edilenden çok daha azdır.

Büyüklikleri $1-10 \mu m$ (mikrometre) arasında değişen oval ya da çubuk çoğunlukla sosis şeklinde organellerdir.

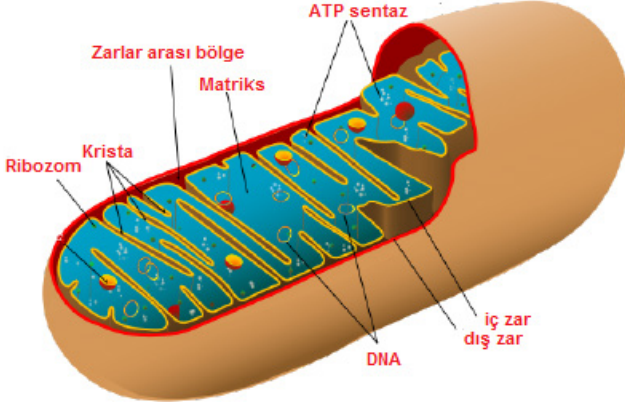
Mitokondriler hücrenin enerji santralleridir.

Mitokondrilerde dışta ve içte olmak üzere lipoproteinden yapıli çift katlı zar sistemi bulunur. Bu zarlardan dışta bulunan içtekinin göre daha kalın olup düz ve esnektir. Ayrıca içteki zara göre daha geçirgen bir yapıdadır.

İçteki zar ise yüzeyi genişletmek için **krista** adı verilen birçok kıvrımdan meydana gelmiştir. Kristalarla elde edilen iç zar yüzeyi dış zarın 5 - 6 katı kadar olabilir. Kristalar sayesinde iç zar üzerine daha çok E.T.S elemanı yerleşebilir ve organelin enerji üretim kapasitesi artar.

Mitokondride solunum sırasında oksijenin kullanıldığı ve çok miktarda ATP'nin üretildiği tepkimeler gerçekleşir.

Kıvrımların arası **matriks** adı verilen sıvı madde ile doludur. Bu madde organik bileşiklerdeki kimyasal bağların kırılmasını sağlayan enzimleri bulundurmaktadır.



Matriks içinde aynı zamanda halkasal yapıdaki mitokondriyal DNA, RNA ve ribozom yer alır.

Enerji ihtiyacı fazla olan sinir, kas ve karaciğer gibi hücrelerde mitokondri sayısı diğer hücrelere göre daha çoktur.

Mitokondrilerin kendilerine özgü sınırlı bilgi taşıyan DNA'sı vardır. Bu yüzden kendilerini eşleyebilirler. Çoğalmaları, hücrenin DNA'sının kontrolünde gerçekleşir. Ayrıca mitokondri zarında yer alan protein moleküllerinin sentez bilgisi çekirdek DNA'sında saklıdır.

Yoğun aktivite gösteren mitokondrilerin hücredeki yaşam süresi ortalama olarak 15 - 20 gün kadardır. Hücredeki sayıları ise hücrenin tipi ve enerji ihtiyacına bağlı olarak bir ila birkaç bin arasında değişebilir.

Mitokondri DNA'sının kimyasal ve fiziksel etkilerle bozulması, oksijenli solunumda ATP sentezinin azalmasına neden olmaktadır. Buna bağlı olarak hücrede yaşlanma ve ölüm görülmektedir.

Mitokondrilerde üretilen enerji, fotosentez hariç hücredeki diğer yaşamsal faaliyetler için kullanılabilir.

Mitokondri, zigota yumurta aracılığıyla geldiğinden anne soyunun takibinde mitokondri DNA'sı kullanılabilir.

UNUTMA !

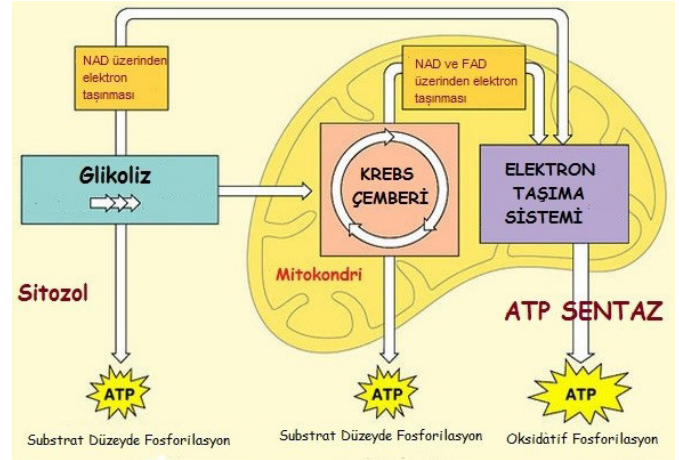
Mitokondri tarafından üretilen ATP molekülleri hücrede fotosentez hariç diğer süreçlerde tüketilir.

Oksijenli solunum tepkimelerinde, oksijen molekülleri doğrudan organik besin maddesi ile tepkimeye girmez. Yani aerobik solunum asla bir yanma tepkimesi değildir. Oksijen moleküllerinin buradaki rolü, organik besinlerden enzimler denetiminde ATP sentezine yardımcı olmaktır.

Oksijen, solunumda son e^- alıcısı olarak görev yapmakta olup, organik besinden koparılan yüksek enerjili elektronların son elektron alıcısı oksijene düşmesiyle aradaki enerji farkı ATP sentezinde kullanılmaktadır.

Aerobik solunum, dört metabolik aşamanın bir arada işlev görmesi sonucu gerçekleşir.

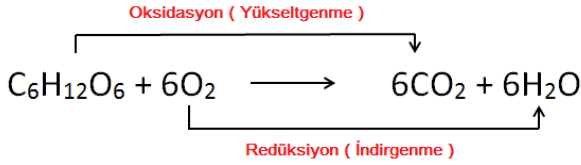
- ✓ Glikoliz (Sitoplazmada)
- ✓ Pirüvik asit oksidasyonu (Krebse Hazırlık) (Matrikste)
- ✓ Krebs Döngüsü (Sitrik Asit Döngüsü) (Matrikste)
- ✓ Son Oksidasyon Evresi (ETS) (Kristada)



Oksijenli solunumun ilk üç aşaması olan glikoliz , krebse hazırlık ve Krebs döngüsü, glikoz ve diğer organik yakıtları yıkan katabolik yollardır. Sitoplazmada cereyan eden glikoliz, glikozu iki molekül piruvata kadar yıkar. Mitokondri matriksinde gerçekleşen Krebs döngüsü reaksiyonlarında ise pirüvat türevi CO_2 'e kadar yıkılır.

Oksijenli solunumda, enerjinin büyük bir kısmının açığa çıkmasına sebep olan asıl olay, solunumda kullanılan oksijenin başta nötr olduğu halde, glikozun yapısındaki elektronları tutarak -2 değerlikli hale gelmesidir.

Bu tepkime sonucunda oksijen indirgenirken (redüksiyon), glikoz yükseltgenmiştir.



Yani, solunum denkleminde görüldüğü üzere glikozun yapısındaki hidrojenler, solunum sonucunda oksijene düşmekte ve su molekülünü oluşturarak sistemden ayrılmaktadır. Ancak glikozdan oksijene düşen elektronların enerji seviyeleri azalmakta ve açığa çıkan enerji ATP sentezini sağlamaktadır.

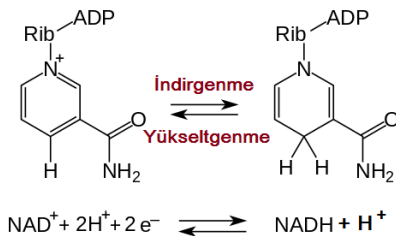
Solunum, glikozu okside ederek depodan enerji alır ve bunu ATP sentezi için hazır hale getirir.



Bir yakıttaki enerjinin toptan açığa çıkarılması, bu enerjinin iş yapmak için etkin şekilde kullanılmasını güçleştirir. Örneğin deposu dolu bir otomobilin benzin deposunun infilak etmesi otomobili uzak mesafeler taşımak için kullanılamaz.

Hücre solunumu da glikozu, bütün hidrojenlerin yakıttan oksijene aktarıldığı tek bir basamakta oksitlemez. Bunun yerine glikoz ve diğer organik yakıtlar, her biri bir enzim tarafından katalizlenen farklı basamaklarda aşamalı olarak yıkılır. Bu şekilde hücrenin zarar görmesi önlenir.

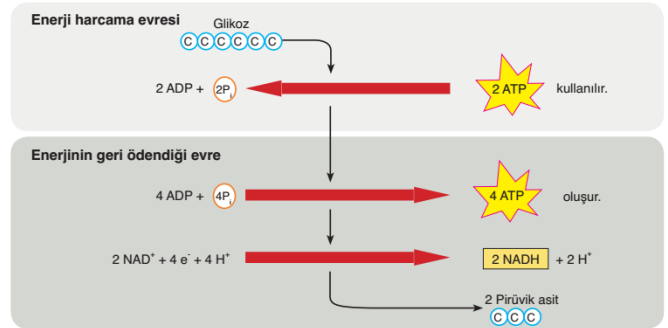
Solunumun anahtar basamaklarında hidrojen atomları glikozdan koparılır. Ancak koparılan bu hidrojenler direkt olarak oksijene aktarılmazlar. Bu hidrojenler genellikle ilk olarak NAD^+ (nikotinamidadenin dinükleotid) adı verilen bir koenzime verilirler. Bu koenzim $2e^-$ ve 1H^+ tutabilirken Krebs döngüsünde kullanılan FAD koenzimi ise $2e^-$ ve 2H^+ tutabilme kapasitesindedir.



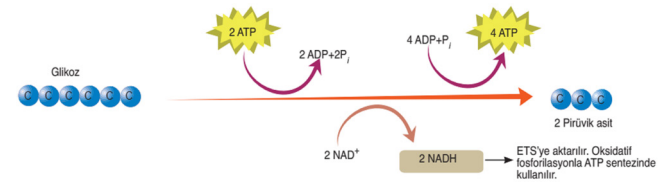
Glikoliz

Kelime anlamı olarak şeker yıklması olan bu aşamada glikoz, üç karbonlu iki molekül şekere yıklır. Bu küçük şekerler, daha sonra okside edilir ve kalan atomlar iki molekül pirüvat oluşturmak üzere yeniden düzenlenirler.

Glikoliz, her biri özgül bir enzim tarafından katalizlenen başlangıçta ATP harcanmasını gerektiren daha sonra ise ATP kazancının olduğu basamakları içerir.



Glikolizde, hem substrat düzeyinde fosforilasyonla ATP sentezlenirken, hem de substrattan koparılan hidrojenler NAD^+ koenzimine aktararak $2\text{NADH} + \text{H}^+$ sentezlenmiş olur. Bu moleküller de solunumun ileriki basamaklarında ATP sentezine kaynaklık edecektir.



Memelilerdeki alyuvar hücresi gibi bazı doku ve hücreler için tek metabolik enerji kaynağı glikoliz tepkimeleridir.

Glikoliz, hücresel solunumda ATP'nin üretildiği başlangıç tepkimeleridir. Patatesin yumrularında nişasta depolanması, su teresi gibi su kenarında yaşayan bitkilerin yaşamsal faaliyetlerinin sürdürülmesi gibi pek çok olayda kullanılan enerjinin büyük kısmı glikolizden sağlanır.

UNUTMA !

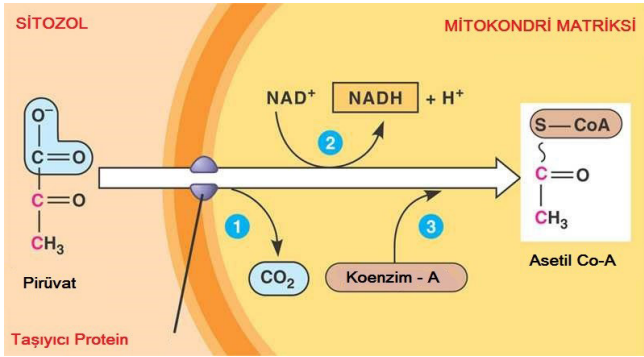
Glikoliz hücresel solunum ve fermentasyon tiplerinde ortak olarak gerçekleşen başlangıç aşamasıdır. Tüm canlılarda gözlenir.

Glikozda depolanmış kimyasal enerjinin dörtte birinden azı glikoliz ile açığa çıkarılır. Enerjinin büyük bir kısmı iki adet pirüvat molekülünde depolanmış halde kalır.

Eğer ortamda moleküler oksijen var ise piruvat mitokondriye girer.

Pirüvik Asitten Asetil Co - A oluşumu

Mitokondriye giren piruvattan 1 molekül CO_2 ve 2 hidrojen atomu ayrılır. Bu aşama oksijenli solunumda karbondioksitin açığa çıktığı ilk basamaktır.



Piruvattan ayrılan hidrojenler NAD^+ koenzimine aktarılaraq $\text{NADH} + \text{H}^+$ oluşur. Bunun sonucunda piruvat, 2 karbonlu bileşik olan Asetil Co - A'ya dönüşür.

Asetil Co - A, Krebs döngüsünü başlatan esas maddedir.

Ortamda yeterince oksijen bulunmazsa pirüvik asit; asetil - Co-A'ya dönüşemeyeceği için mitokondriye geçemez. Etil alkol ya da laktik asit fermentasyonu tepkimelerine katılır. Bu anlamda asetil - CoA oluşumu, hücre içerisinde yeterli miktarda oksijen bulunduğunu gösteren en önemli ölçüttür.

Krebs Döngüsü

Krebs döngüsü, 2C'lu asetil - CoA molekülünün mitokondri matrisinde hazır bulunan 4C'lu organik molekülün enzim kontrolünde bir araya gelerek 6C'lu sitrik asidi oluşturması ile başlar.

Daha sonra peş peşe gerçekleşen reaksiyonlarla sitrik asitten 4 karbonlu organik madde yeniden sentezlenir ve krebs döngüsü tamamlanmış olur.

Oksijenli solunumla bir glikoz molekülünün parçalanması sırasında gerçekleşen iki krebs döngüsü ile substrat düzeyinde fosforilasyonla 2 ATP sentezlenir.

Organik yapılı, farklı karbon sayısına sahip moleküllerden ayrılan proton (H^+) ve elektronlar (e^-) ise 6 NAD^+ ve 2 FAD^+ tarafından tutulur. Bu sırada 4 CO_2 oluşur. Krebs döngüsünde üretilen 6 NADH ve 2 FADH_2 molekülleri ise elektron taşıma sistemine aktarılır.

