

Hücre ve hücre zarı

Bir canlı organizmanın temel ve en basit birimi hücrelerdir. Tek bir hücre tüm canlılık işlevlerini yürütebilir. Tek hücreli canlılarda olduğu gibi, bir tek hücre tamamen bağımsız yaşayabilir ve davranışı karmaşık olabilir. Tek hücreden gelişen çok hücreli bir canlıda da kan hücreleri ve seks hücreleri gibi bazı hücreler canlının genel yapısına girmeden sıvı ortamlar içinde bağımsız hareket edebilirler. Diğer hücreler ise gruplar halinde ortaklaşa etkinlikle karmaşık doku sistemlerini oluştururlar.

Doku yapılarına giren hücreler, tıpkı bağımsız hücreler gibi açık sistemlerdir. Hücreler arası sıvı (interstitial fluid, intersellüler sıvı) adı verilen bir sıvı ortam içinde bulunan doku hücreleri bu ortamdan hücre zarı (plazma membranı) ile ayrılırlar. Bir hücrenin işlevleri organel adı verilen alt birimler (hücre çekirdeği, mitokondriya, Golgi cisimciği, ribozomlar vb) tarafından bir iş bölümü halinde yürütülür. Organeller de hücre içi sıvıdan (intraseellüler sıvı) yine zarlarla ayrılırlar.

Hücre zarının temel işlevi hücre bütünlüğünün korunmasıdır. Hücre zarları, iç ortam özelliklerinin sabit kalmasını ve dış ortamdan etkilenmemesini sağlar. Hücrenin çevresi ile seçimli madde alış-verişi yapması, gereksinim duyulan maddelerin kolaylıkla içeriye alınması, metabolizma sonucu oluşan artık ürünlerin dışarıya atılması hücre zarları aracılığıyla gerçekleştirilir. Biyoelektrik olaylar da hücre zarlarının bir işlevidir.

Hücre ya da organizma düzeyinde canlılık işlevlerinin yerine getirilebilmesi, değişik madde ve enerji türlerinin belirli bir bölgeden diğerine taşınmasını gerektirir. Madde ve enerji taşınmaları, hücre içi ve dışı sıvılarla hücre zarlarında tanecik hareketlerini içerir.

Hücre zarının görevleri

1. Hücreye girecek veya çıkacak maddelerin giriş çıkışlarını kontrol eder.
2. Hücre içi ve dışı ortamların farklı bileşimde olmasına yardımcı olur.
3. Hücrede metabolik işlevlerin düzenlenmesinde görev alır.
4. Hücredeki uyarılma/cevap işlerini düzenler.
5. Bir arada bulunan hücrelerin birbiriyle olan ilişkisini sağlar.
6. Endositoz ve ekzositoz da dâhil olmak üzere salgılama ve emilme faaliyetlerinde rol oynar.
7. Hücre içi pH'nın düzenlenmesinde görev alır.
8. Biyoelektrik potansiyellerin oluşmasını ve bu potansiyellerin iletilmesini sağlar.
9. İmmunokimyasal olaylarda rol oynar.

Hücre zarının moleküler organizasyonu

Hücre zarları, temel yapı maddeleri lipit ve protein olan süpermoleküler özellikte dinamik organize yapılardır. Genellikle hücre zarlarında lipit içeriğinin fazla olmasına karşılık proteince zengin hücre zarları da vardır (retinadaki fotoreseptörlerden basillus zarlarında olduğu gibi).

Lipit ve fosfolipit molekülleri bir iskelet üzerine yerleşmiş polar, bu nedenle hidrofilik bir baş bölgesi ve polar olmayan ve bu nedenle hidrofobik olan iki karbon kuyruktan oluşur. Memelilerin hücre zarlarındaki lipitlerin kuyrukları çok miktarda doymamış çift bağ içerdiğinden, normal fizyolojik koşullarda ergimiş olarak bulunur ve zara akışkanlık özelliği verir.

Lipit ve fosfolipitler sulu bir ortam içinde bulduklarında hidrofobik kesimleri su molekülleri tarafında dışlanır. Bu nedenle lipit molekülleri misel adı verilen kümeler biçiminde ya da çift tabaka biçimin de kümelenirler. Proteinlerin ise bu yapı içinde mozaik gibi serpildikleri düşünülmektedir.

Proteinlerin zarla bütünleşme dereceleri oldukça farklıdır. Zarın bir tarafından diğer tarafına uzanan ve içsel (integral) proteinler olarak adlandırılanlar nötr sulu çözeltilerde çözünmezler, ancak hidrofobik etkileşimleri bozan organik çözücüler ve deterjanlar etkisi ile zardan ayrılabilirler. Yüzeysel ve periferel olarak adlandırılan ikinci grup proteinler ise sulu çözeltilerde çözünebilir, pH ve iyonik durum değiştiğinde zardan kolayca ayrılabilir.

Hücre zarlarındaki çift lipit tabakası, suda çözünmüş iyon ve moleküllerin geçişine engel oluşturarak hücre bütünlüğünün korunmasında önemli bir rol oynar. Bu engelleme zarda proteinlerin bulunduğu bölgelerde değişikliğe uğramaktadır. Zarlardaki enerji dönüşümlerinde, hücrenin çevresi ile madde alış verişinin seçimli olmasında proteinler önemli rol oynar.

Hücre zarı akıcılığı membranın bileşimiyle ilgilidir ve membran özelliği oluşturmada kolesterol önemli bir rol oynar. Ökaryotik mikroorganizmalarda hücre zarı çok miktarda kolesterol içerir. Kolesterol fosfolipit moleküllerine zayıf olarak bağlı bulunur. Böylece iki katlı lipit yapıyı daha az akıcı hale getirirken güçlü olmasını da sağlar. Hücre zarındaki çok fazla kolesterol ise membran esnekliğinin azalmasına neden olur. Bu olay damar sertleşmesinin altında yatan ana mekanizmadır kalp-damar hastalıklarının nedenlerinden biridir. Bu durumdaki damar endoteli normalden daha sert olur. Çünkü hücre membranında fazladan kolesterol plakları birikmiş durumdadır.

Hücre zarlarının kalınlıkları 6-10 nm arasında değişmektedir.

Suyun özellikleri ve canlılar için önemi

Su yaşayan hücrede tüm yaşam olaylarının meydana geldiği bir ortam oluşturur ve susuz yaşam düşünülemez. Tipik bir hücrenin ağırlığının %80'i sudur. Sudaki hidrojen-oksijen bağları polarize olmuştur ve oda derecesindeki sıcaklıkta suyun sıvı oluşu, bu polar yapısından ileri gelir. Bir su molekülünün hafifçe negatif yüklü oksijen atomu, diğer su molekülünün hafifçe pozitif olan hidrojen atomuna elektriksel güçle çekilir ve su molekülleri birbirine elektriksel olarak bağlanır.

Su sıvı haldeyken bir kısım su molekülleri bu şekilde bağlanarak molekül kümelerini oluştururlar. Su 0 °C altı sıcaklıklarda katı halde iken hemen tüm su molekülleri birbirine bağlanmışlardır, moleküllerin hareket serbestisi iyice kısıtlanmıştır. Bu durumda su, katı yani buz halindedir. Sıcaklık yükseltirse, molekülün bir kısım bağları kopar ve hareket serbestisi artar, su sıvı hale geçer. Sıcaklık daha da arttırılırsa, tek tek moleküllerin bağları kopar ve su molekülleri kitleden ayrılmaya ve gaz haline geçmeye başlar ki, buna suyun buharlaşması denir.

Bir molekülün bir sıvı içinde erimiş haline eriyik diyoruz. Su birçok katı molekülü eritir, zira su molekülleri eriyen katı madde molekülleri ile zayıf elektriksel bağlar kurarlar. Örneğin NaCl kristalleri suda eriyince Na iyonu ve Cl iyonu meydana gelir. Net pozitif yüklü Na iyonlarının ve net negatif yüklü Cl iyonlarının etrafını saran su molekülleri bu iyonları

birbirinden ayırır. Böylece Na ve Cl iyonları arasındaki elektriksel bağ zayıflar ve eriyik şekillenir.

Demek ki bir katı maddenin suda eriyebilmesi için katı madde molekülünün su molekülleri ile elektriksel bağ kurabilmesi gerekir. Önemli biyolojik moleküllerden yağlar, su moleküllerinin polar grupları ile ilişki kuramadıklarından, suda erimezler, zira yağlar elektriksel yönden nötr bileşiklerdir ve polar grup taşımazlar.

Elektriksel dipol momente sahip su molekülleri sulu çözeltilerdeki iyonlara, amino asit veya protein gibi moleküllerin yüklü gruplarına bağlanabilmektedir. Bu olaya hidrasyon, bu yoldan bir iyon veya moleküle bağlanabilen su molekülü sayısına hidrasyon sayısı denir. Hidrasyon tabakasına giren su molekülleri, iyonlarla veya moleküllerle birlikte hareket eder ve onların hareket yetkinliklerini azaltır.

Hücre zarlarından taneciklerin geçişleri

Hücre zarlarından taneciklerin geçiş kolaylıklarının bir ölçüsü olan geçirgenlik (permeabilite), zarın ve taneciğin cinsi ile zarın iç ve dış koşullarındaki değişimlere bağlıdır. Deneysel ölçümlere bağlı olarak çeşitli taneciklerin zardan geçiş kolaylığı için aşağıdaki genellemeler yapılabilir.

- Su molekülleri hücre zarlarını çok kolay geçmektedir.
- Oksijen, azot, karbondioksit gibi gazlarla alkol, eter ve kloroform gibi yağda çözünenlerin molekülleri zarları kolaylıkla geçebilmektedir.
- Glikoz, amino asitler, gliserol ve yağ asitleri zardan zorlukla geçebilmektedir.
- İnorganik tuz, asit ve baz gibi kuvvetli elektrolitlerin iyonları ve büyük moleküllü disakkaritler (sakaroz, laktoz, maltoz) zarı daha zor geçebilmektedir.
- Bazı zarlar çok büyük molekülleri geçirebilmelerine rağmen hiçbiri protein, polisakkarit ve fosfolipitleri geçirememektedir.

Taneciklerin zardan geçiş tarzları oldukça çeşitlidir. Aynı tür tanecik, moleküler mekanizmaları farklı birkaç değişik yoldan zarı geçebilmektedir. Bilinen taşınım (transport) mekanizmaları enerjetik açıdan pasif taşınım ve aktif taşınım olarak iki başlıkta toplanabilmektedir.

Difüzyon

Bütün moleküller sürekli hareket halindedir. Isı arttıkça moleküllerin hareketi artar. Çözelti içindeki moleküllerin hareket hızı (aldığı mesafe) ısı derecesine ve molekülün kütlesine bağlıdır. Örneğin, vücut ısısında su moleküllerinin hareketine saatte bir birim dersek, glikoz moleküllerinin su içindeki hareketi 1/3 birim olur. Çünkü glikoz molekülü su molekülünden daha ağırdır (yani daha büyük kütleye sahiptir).

Hücrenin içindeki ve dışındaki sıvılarda milyonlarca molekül hareket halindedir. Bu hareketleri ile belirli bir yüzey alanı belirli bir zaman içinde geçerler. Bir sıvıda moleküllerin sayısı iki katına çıkarılırsa, bir sınırdan geçen moleküllerin sayısı da iki katına çıkar.

Bu ilişkiyi şu denklemle açıklayabiliriz:

$$f = K_D \times C$$

f = Birim yüzey alanı geçen molekül sayısı

K_D = Difüzyon katsayısı (Bu sabit değeri, molekül ağırlığı, molekülün kimyasal yapısı ve çözeltini sıcaklık derecesi belirler.)

C = Birim hacim içindeki molekül sayısı

Difüzyonda molekülleri belirli bir yönde iten bir güç olmadığından, bir kompartımandan diğerine geçen net molekül sayısını, sıvı içindeki molekül sayısı belirler. Başka bir deyişle, moleküllerin kompartımandan diğerine net difüzyonu daima yüksek derişimden düşük derişime doğru olur.

Bu açıklamalara göre bir canlıdaki net difüzyonu aşağıdaki denklemle gösterebiliriz:

$$f = K_D \times (C_1 - C_2)$$

$$K_D = K_P$$

K_P 'yi şu faktörler belirler (Hücre zarlarından difüzyonda aşağıdaki faktörler etkili olur) :

- Difüzyonla geçecek maddenin zarın iki tarafındaki konsantrasyon farkı
- Zardaki porlu bölgelerin porsuz bölgelere oranı
- Zar kalınlığı ve zarın yüzey alanı
- Difüzyonun gerçekleştiği ortam
- Molekülün büyüklüğü, yükü ve şekli
- İyonlar söz konusu olduğunda zarın iki tarafı arasındaki potansiyel fark
- Maddenin yağdaki çözünürlük derecesinin sudaki çözünürlük derecesine oranı (partizyon katsayısı)
- Molekülün kimyasal yapısı
- Molekülün ağırlığı
- Çözeltinin ısı derecesi
- Maddenin geçtiği protein kanallarının sayısı

Ozmoz

Farklı iki çözeltiyi ayıran yarı geçirgen bir zardan su veya başka çözücü moleküllerin geçmesi difüzyonun özel bir halidir ve ozmoz olarak adlandırılır. Hayvansal ve bitkisel kökenli deri, parşömen ve selofan gibi maddeler yarı geçirgendir. Örneğin selofan bir zar su moleküllerini geçirirken glikoz moleküllerini geçirmez.

Suda çözünen fakat zardan geçemeyen her iyon veya molekül suyun kimyasal potansiyelini belirli miktarda değiştirir. Sonuç olarak, suyun ozmozunda; a) zardan geçemeyen iyon ve moleküllerin konsantrasyonu etkilidir ve doğru orantılıdır. b) zardan geçemeyen iyonların değerlilikleri ve maddelerin molekül ağırlıkları suyun ozmozunda önemli değildir.

Yarı geçirgen bir zar U-biçimli bir boruyu ikiye ayırmış olsun. Bölmelerden birine saf su, diğerine ise zarı hiç geçemeyen glikoz veya zarı çok zor geçen NaCl tanecikleri içeren bir çözelti konulmuş olsun. Su molekülleri yüksek konsantrasyonda buldukları saf su bölgesinden su konsantrasyonunun daha düşük olduğu çözeltiye geçmeye başlar. Çözelti tarafında yükselen sıvının oluşturduğu hidrostatik basınç daha fazla su geçişini engeller ve denge kurulur. Yarı geçirgen bir zardan derişik çözelti tarafına su geçişini engellemek çözeltiye uygulanması gereken basınca çözeltinin ozmotik basıncı denir.

Ozmotik basınçları aynı olan çözeltilere izoozmotik çözeltiler denir. Örneğin 0.31 ozmol/l'lik (veya 0.155 mol/l) NaCl çözeltisi alyuvarlar için izoozmotiktir. İçine konulan alyuvarların hiçbir değişikliğe uğramadığı böyle bir çözeltiye aynı zamanda izotonik solüsyon da denir. Ozmotik basıncı yüksek ve hipertonic olarak adlandırılan bir çözelti içinde alyuvarlar su

kaybederek büzülürler. Ozmotik basıncı düşük ve hipotonik olarak adlandırılan bir çözeltiye konulan alyuvarlar ise su girişi nedeniyle şişkinleşir. Alyuvarın hacmi kritik bir değeri aşarsa zar hemoglobine geçirgen hale gelir ve hemen hemen tüm hemoglobin hücre dışına çıkar. Bu olaya hemoliz denir.

Her izoozmotik çözelti aynı zamanda izotonik olmayabilir. Örneğin 0.231 ozmol/l'lik üre çözeltisi hücre içi sıvı ile izoozmotik olduğu halde izotonik değildir ve böyle bir çözelti içinde alyuvarlar hemoliz olurlar. Hücre zarının üre moleküllerine geçirgenliği yüksek olduğundan, üre molekülleri konsantrasyon gradyenti etkisinde hızla hücre içine girerken artan ozmotik basıncı dengelemek üzere hücre içine su da girer.

Molar konsantrasyonu C olan seyreltik bir çözeltinin ozmotik basıncı:

$$\Pi = i \cdot c \cdot R \cdot T$$

T= Mutlak sıcaklık (273 °C)

R=8.3145J.K⁻¹.mol⁻¹ (genel gaz sabiti)

i= Çözünen bir molekülün çözeltiye verdiği tanecik sayısı)

c= Molar konsantrasyon

Π =Ozmotik basınç

Ozmolar konsantrasyon (ozmolarite)=i.c

Soru: Konsantrasyonu 0.01 mol/l olan sakaroz çözeltisinin 27 °C'deki ozmotik basıncını ve ozmolaritesini bulunuz (R=8.31J/molK, T=27+273).

$$\Pi = i \cdot c \cdot R \cdot T$$

$$\Pi = 1 \times 0.01 \times 300 \times 8.31$$

$$\Pi = 24.93 \text{ Kpa}$$

$$\Pi = 24930 \text{ Paskal}$$

Ozmolarite=i.c

$$\text{Ozmolarite} = 0.01 \times 1 = 0.01 \text{ ozmol/l}$$

Soru: Aynı molar konsantrasyonda ve aynı sıcaklıkta CaCl₂ çözeltisinin ozmotik basıncını ve ozmolaritesini bulunuz.

$$\Pi = 3 \times 0.01 \times 300 \times 8.31$$

$$\Pi = 74790 \text{ Paskal}$$

$$\text{Ozmolarite} = 0.01 \times 3 = 0.03 \text{ ozmol/l}$$

Soru: %0.9'lük NaCl çözeltisinin molar konsantrasyonu nedir?

Molar Konsantrasyon= litredeki gram cinsinden miktar/ Molekül ağırlık

$$\text{Molar Konsantrasyon} = 9/58.5$$

$$\text{Molar Konsantrasyon(M)} = 0.153 \text{ mol/l (izotonik solüsyon)}$$

Pasif taşınım

Metabolik enerji harcanması gerekmeden konsantrasyon, elektriksel potansiyel vb pasif gradyentler etkisinde taneciklerin zarından kendiliğinden geçişlerine pasif taşınım denir. Pasif taşınımın basit difüzyon ve kolaylaştırılmış difüzyon olarak adlandırılan iki biçimi vardır.

Basit difüzyon: Bir başka molekülün aracılığı olmaksızın, taneciklerin zarından kendi kinetik hareketleri ile geçişine basit difüzyon denir. Zarın çift lipit tabakasından ve protein kanallarından geçişler basit difüzyon kapsamında düşünülür.

Doğrudan geçiş

Çift katlı lipit tabakada çözünebilen oksijen, azot, karbondioksit gibi gazlarla alkol, eter gibi maddeler zarın lipit tabakasından doğrudan geçer. Su molekülleri de hücre zarlarını çok kolay geçebilmektedir. Örneğin alyuvar zarından bir saniyede difüzyonla her iki yöne geçen suyun toplam hacmi alyuvar hacminin yüz katı kadardır. Su molekülleri kısmen protein kanallarından geçseler de büyük çoğunluğunun çift katlı lipit tabakadan geçtikleri kabul edilmektedir. Suyun çift katlı lipit tabakada çözünmediği halde kolaylıkla geçebilmesi hücre zarında yalnızca küçük moleküllerin geçebileceği hidrofilik geçitlerin varlığını düşündürmektedir.

Protein kanallarından geçiş

Yüklü tanecikler zarı ancak içsel proteinlerin meydana getirdikleri kanallardan geçebilmektedir. Sulu geçit gibi düşünülen protein kanallarının önemli bir özelliği seçici geçirgenliğe sahip olmalarıdır. Bir tür kanal ancak bir veya birkaç tür iyon ya da molekülün geçmesine izin verir. Kanal seçiciliği, kanalın çapı, şekli ve yüzey yükü gibi faktörlerle belirlenir.

Protein kanallarının çok az bir kısmı her koşul altında açık bulunabilir ve pasif veya kapısız kanal olarak adlandırılır. Aktif veya kapılı kanal olarak adlandırılan diğer çoğu protein kanalları ise özel kapıları tarafından açılıp kapanır.

Protein kanallarını kontrol eden kapılar açılıp kapanma mekanizmalarına göre 6 gruba ayrılabilirler:

1. **Potansiyele bağımlı voltaj kapıları:** Sinir ve kas zarlarında bilgi iletiminde rol alan sodyum ve potasyum kanal kapıları potansiyele bağımlı olarak çalışır.
2. **Kimyasal ajanlara bağlı ligand kapılar:** Sinaptik iletimlerde rol alan kanallar transmitter adı verilen moleküllerin proteinlerle birleşmesi sonucu açılırlar.
3. **Mekanik kapılar:** Bazı duysal sinir uçlarında ise gerilme ve basınç gibi mekanik uyaran etkisinde zarında deformasyon sonucu açılabilen kanallar vardır.
4. **İkincil haberciye bağımlı kapılar:** Bu tip kapılar bir hücre dışı sinyal sonucu hücre içinde oluşan ikinci haberci molekülün iyon kanallarındaki moleküle doğrudan veya dolaylı olarak bağlanması sonucu açılan kanallardır.
5. **Işığa bağımlı kapılar:** Işık etkisiyle açılan kanallardır.
6. **pH değişikliklerine bağlı olarak açılan kapılar:** pH değişiklikleriyle açılan kanallardır.

Kolaylaştırılmış difüzyon

Zarı doğrudan geçemeyen bazı taneciklerin zardaki özel taşıyıcı bir proteine bağlanarak zarı geçmesine kolaylaştırılmış difüzyon veya taşıyıcı aracılığı ile geçiş denir. Tanecik taşıyıcı moleküle çok zayıf bir bağla bağlanır. Zarın diğer tarafından da taşıyıcı molekülden kolaylıkla ayrılabilir. Basit difüzyonda olduğu gibi kolaylaştırılmış difüzyonda da tanecikler ilke olarak iki yönde taşınabilir.

Mide, barsak ve böbrek tubuluslarının epitel hücreleri hariç çoğu doku hücrelerinde glikoz ve amino asitler hücre içine kolaylaştırılmış difüzyonla taşınır.

Kolaylaştırılmış difüzyonda rol oynayan başlıca faktörler:

1. Taşınacak maddenin zarın iki tarafındaki konsantrasyon farkı
2. Taşıyıcı moleküllerin sayısı ve çeşidi
3. Taşıyıcı-taşınan kompleksinin oluşma ve ayrılma hızı

İlk bakışta kolaylaştırılmış difüzyon ile basit difüzyon arasında fark yok gibi gelse de aralarında başlıca iki önemli fark vardır. Bunlar; a) Basit difüzyonda taşıyıcı molekül yoktur, kolaylaştırılmış difüzyonda vardır. b) kolaylaştırılmış difüzyonla taşınım, basit difüzyondakinden hızlıdır.

Aktif taşınım

Aktif taşınımın bazı önemli özellikleri

1. Aktif transport ağırlıklı konsantrasyon farkının tersine gerçekleşir.
2. Aktif taşınım sistemi genellikle yüksek derecede seçicilik gösterir.
3. ATP veya diğer kimyasal enerji kaynakları gereklidir.
4. Bazı membran pompaları bir çeşit molekül veya iyonu zarın diğer tarafına taşırken, bir başka çeşit iyon veya molekülü karşı tarafa taşır (Na^+/K^+ antiport). Bu iyon ya da moleküllerden biri yoksa taşınım durur.
5. Aktif taşınım spesifik maddelerle durdurulabilir. Ouabain Na^+/K^+ , verapamil Ca^+

Birincil aktif taşınım: Hücre zarlarında bazı molekül ve iyonların biyolojik metabolizma enerjisi harcanarak, pasif gradyentlerin belirlediği yönün tersi yönde bir başka söyleyişle yokuş yukarı tırmanmasına aktif taşınım denir. Aktif taşınımında taşıyıcı proteinler rol alır. Birincil aktif taşınım olarak adlandırılan taşınım gerektiren enerji ATP'den sağlanır ve taşıyıcı protein aynı zamanda ATPase aktivitesine sahiptir. Hücre zarlarından aktif olarak taşınan maddeler arasında Na, K, Ca, H, Cl ve I iyonları sayılabilir.

İkincil aktif taşınım: Barsak ve böbrek tubuluslarının epitel hücre zarlarında glikoz ve amino asitlerin aktif taşınımında rol taşıyıcı proteinler ATP'yi hidrolize etme yetisine sahip değildir. Ancak bu proteinler, biri sodyuma diğeri glikoza (amino asite) bağlanabilen iki reseptör bölgeye sahiptir. Sodyum kendi konsantrasyon gradyenti etkisinde içeri doğru taşınırken bu sırada glikoz daha yüksek konsantrasyon bölgesine taşınabilir. Glikozun yokuş yukarı taşınması için gerekli enerji sodyum gradyentinden sağlanır. Böyle bir aktif taşınım sodyumla ortaklaşa taşınım (cotransport) denir.

Taşıyıcı protein dış tarafında sodyuma bağlanma yerine sahipken iç tarafında kalsiyum, potasyum gibi bir başka iyonla bağlanma yerine sahip olabilir. Bu durumda sodyum kendi gradyenti etkisinde içeri doğru taşınırken karşıt iyon yokuş yukarı taşınabilir. Bazı hücrelerde rastlanan sodyumla diğeri iyonların bu şekilde aktif olarak değiştirilmesi yöntemine sodyumla karşıt taşınım (countertransport) denir.

Sodyumla ortaklaşa ve karşıt taşınımlara ikincil aktif taşınım denir. Kuşkusuz bu tür taşınımların sürdürülmesi için dışarıda sodyum iyonu konsantrasyonunun yüksek tutulması, bunun içinde sodyumun dışarı aktif pompalanması gerekir. Dolayısıyla bu işlem için enerji gereklidir. Bu nedenle ikincil aktif taşınımın ana enerji kaynağının da ATP olduğu söylenebilir.

Pasif geçişlerin nicel tartışması

Bir maddenin zardan geçişi, konsantrasyon gradyenti gibi pasif kuvvetlerce yönetiliyor ve bu maddenin zardan net geçişi sıfır ise bu maddenin dengede olduğu söylenir.

Hücre içi ve dışı ortamlar arasındaki potansiyel farkları ile bazı iyonlar için konsantrasyon farklarının ortaya çıkmasında aktif ve pasif geçişlerin birlikte katkıları vardır. Hücre zarından aktif ve pasif geçişlere rağmen, bir hücre kompozisyonunun zamanla değişmediği bir durum ortaya çıkabilmektedir. Bu duruma kararlı durum veya dinamik denge durumu denir.

Dinlenme halindeki bir hücrenin iç tarafı dışa göre negatif bir potansiyeldedir. Dinlenme zar potansiyeli olarak adlandırılan bu potansiyel, farklı hücrelerde -20 ile -100 mV arasında değişir. Hücre zarlarının uygun koşullarda uyarılması sonucu hücre içi potansiyel dinlenme değerinden 30 ile 50 mV arasında pozitif bir değere kadar yükselebilir, sonra dinlenme durumuna geri döner. Potansiyeldeki bu değişiklik bir cins hücre için aynı değişim deseni izler ve aksiyon potansiyeli olarak adlandırılır.

Hücre ile ilgili genel elektriksel olaylar

Hücrenin iç ve dış ortamında pozitif ve negatif elektrik yükü taşıyan organik moleküller (örneğin $R-COO^-$, $R-NH_3^+$) ve inorganik iyonlar (Na^+ , K^+ ve Cl^-) bulunur. Benzer yükler birbirini iter, farklı yükler birbirini çeker. Farklı elektrik yüklerinin bir araya gelmesi elektriksel güç ile olmaktadır. Eğer pozitif ve negatif yüklerin bir araya gelmesi önlenirse, aralarındaki elektriksel güç ölçülebilir. Birbirinden ayrılmış farklı elektrik yükleri bir iş yapma potansiyeline sahiptir ve voltaj bu iş yapma potansiyelinin ölçüsüdür. Voltaj daima bir sistemin iki noktası arasındaki elektriksel güç farkı olarak ölçülür ve iki nokta arasındaki potansiyel farkını belirler. Ölçü birimi voltur. Voltaj ile potansiyel fark aynı şeyi ifade eder.

Elektrik yükleri birbirinden ayrı tutulursa, ayrı iki nokta arasında potansiyel fark var demektir ve farklı yüklerin birbirlerini çekmeleri elektriksel bir güç doğurur. Bu güç yükün hareketine neden olur ki, buna elektrik akımı diyoruz. Hareket eden elektriksel yükün (elektrik akımının) miktarı, akımın meydana geldiği madde ya da ortamın tabiatına göre değişir. Bu madde ya da ortam elektrik akımını ya önler ya da akımı sağlar.

Vücuttaki hücrelerin iç ve dış ortamlarında bir sürü elektrik yükü taşıyan iyonlar vardır. Bunlar elektrik yükünün taşınmasını sağlarlar. Ancak hücre zarı lipitlerden yapılmıştır ve lipitler çok az elektrik yükü taşıyan parçacıklar bulundurlar. Dolayısıyla elektrik akımına elverişli değildirler. Bu özellikleri ile hücre zarı hücrenin içindeki ve dışındaki elektrik yükleri arasına yerleşmiş ve izole edici bir engel oluşturmuştur. Bu engel yani hücre zarı, hücrenin içindeki ve dışındaki farklı yükleri birbirinden ayırdığına göre iç ve dış arasında bir potansiyel fark (voltaj farkı) mevcut olacaktır. Zar potansiyeli dediğimiz bu potansiyel fark (için dışa göre veya dışın içe göre pozitif ya da negatif elektrik yüküne sahip olması) bir ucu hücre

içine, öteki ucu hücre dışına konan elektrotlara bağlı voltmetre (potansiyometre, galvanometre) ile ölçülür.

Gibbs-Donnan dengesi

Bilindiği gibi normal şartlar altında bir madde zardan geçebiliyorsa, iki bölge arasındaki konsantrasyon farkını difüzyon ile kapatmaya çalışır. Fakat bir biyolojik sistemde zarın iki tarafındaki potansiyel farkı, konsantrasyon farkına rağmen bir maddenin difüzyonla zardan geçişini engelleyebilir.

Hücre içi ve hücre dışı ortamlarda bir maddenin farklı yoğunluklarda bulunmasında;

- a. Zarın iki tarafındaki potansiyel farkı
- b. Aktif taşıma faaliyetleri
- c. Zarın anyon ve katyonlara karşı geçirgenliğindeki farklılık önemli rol oynar.

Bir biyolojik sistemde, zardan geçebilen iyonların zarın iki tarafındaki ortamda nasıl farklı yoğunlukta bulunduğu ve zar potansiyelinin nasıl oluştuğunu açıklamak için ileri sürülmüş olan Gibbs-Donnan modelini açıklamak gerekir.

Organizmada bir membranın iki tarafı arasında elektriksel potansiyel farkı meydana gelebilir ve çeşitli mekanizmalarla bu potansiyel korunabilir. İyonlar membranın bir tarafından diğer tarafına aktarılabilir ve elektrik yüklerinin ayrılması ile zarın iki tarafı arasında elektriksel potansiyel farkı yaratabilirler. Bu iş için iyonların devamlı aktif transpotu gereklidir. Ayrıca zarın iki tarafında membranı geçebilen ve geçemeyen iyonlar varsa gene bir potansiyel farkı meydana gelebilir ve muhafaza edilebilir. Eğer zarı geçebilen partiküller sadece pasif olarak hareket edebiliyorsa, meydana gelecek iyon konsantrasyonu dağılımına **Gibbs-Donnan dengesi** denir. Böyle bir dengede zarı geçemeyen iyonların bulunduğu tarafta iyonların elektrik yüküne göre bir potansiyel farkı meydana gelir. Zarı geçemeyen iyonlar negatif yüklü iseler aynı tarafta negatif olmak üzere bir potansiyel doğar. Aksi de doğrudur. Potansiyelin yüksekliği, membranı geçebilen ve geçemeyen iyonların konsantrasyon miktarına göre tayin edilir.

Potansiyel farkın oluşturulması

Dinlenme halindeki bir sinir hücresinin dışında içe göre sodyum, içinde dışa göre potasyum iyonları çoktur. Derişim farkı nedeniyle sodyum içeri girmeye, potasyum dışarı çıkmaya çalışacaktır. Ancak sinir membranının bazı özellikleri ve elektriksel yük durumları nedeniyle sodyum ve potasyumun içeri ve dışarı hareketleri sınırlandırılmıştır. Bu özellikler şunlardır:

1. Sinir/kas membranı sodyuma karşı az geçirgendir.
2. Membrandaki sodyum pompası içeriye sızan sodyumu dışarı pompalar
3. İçte bol miktarda bulunan protein anyonları, büyük moleküller olduklarından zardan geçemez ve dışarı çıkamazlar. Elektriksel yük nedeniyle bol miktarda potasyumu içeride tutarlar.
4. Membrandaki iyon geçiş yolları (porlar) potasyumun geçmesine elverişlidir. İçeride potasyum derişimi yüksek olduğundan ozmotik basınç yaratır ve bir miktar potasyum dışarı sızar. Ancak potasyumu içeride tutan başka güçler (negatif iyonlar) vardır. Bu güçler ile potasyum ozmotik basıncı eşdeğer düzeye gelince dışarı sızan potasyum kadar potasyum içeri girerek, potasyum giriş çıkışı dengelenir. Bu durumdaki potansiyele potasyumun denge potansiyeli denir. Buna göre, potasyum denge

potansiyelini hücrenin içindeki ve dışındaki potasyumların oranı tayin ediyor demektir. Hücre zarından iyon difüzyonu potasyum iyonuna endekslenmiş olduğundan, sinirdeki denge potansiyeli geniş ölçüde potasyumun potansiyelidir.

Dinlenme halindeki sinirde -70 ile -90 mV arasında bulunan potansiyel farkına denge potansiyeli denir. Denge potansiyeline göre iyonların içeride ve dışarıda yer alışlarını açıklayalım. Dinlenme halindeki bir sinirde potasyumun içeride 155 mmol, dışarıda 4 mmol bulunduğunu kabul edelim. İç tarafta bu 155 mmol potasyumun tutulabilmesi için içte -90 mV elektrik yükünün bulunması gerekir. Bu yük dinlenme potansiyeli olarak mevcuttur.

Sodyum iyonu dışarıda 145 mmol, içeride 12 mmol kadardır. Dışarıda 145 mmol sodyumun tutulabilmesi için içeride 60 mV'luk bir elektrik yükü bulunması gereklidir. Hâlbuki içeride mevcut yük -90mV'dur. Demek ki, 150 mV'a (90+60=150) tekabül edecek kadar başka bir güç 145 mmol sodyumu dışarıda tutuyor. Bu güç sinir membranında mevcut bir sodyum pompalama sistemi tarafından sağlanmaktadır.

Klor dışarıda 120 mmol, içeride 4 mmol kadardır. Dışarıda bu kadar kloru tutabilmek için içeride -70 mV'luk bir potansiyel bulunması gerekir. Dinlenme potansiyeli (-90 mV) 120 mmol kloru dışarıda tutmaya yeterlidir.

Dinlenme halindeki sinir zarının içinde ve dışında iyon konsantrasyonlarının böyle farklı oluşu, yani sodyumun dışarıda, potasyumun içeride fazla olması zardaki sodyum pompalama sistemi sayesinde olur.

Aksiyon potansiyeli

Her hücre için dinlenme zar potansiyelinin karakteristik bir değeri vardır. Sinir ve kas hücreleri uygun bir uyarı ile uyarıldıklarında zar potansiyelinde geçici bir değişim olur. Zar boyunca yayılabilen bu potansiyel değişiklikleri aracılığı ile organlar arasında hızlı bir bilgi iletimi sağlanmaktadır.

Sinir iş yaptığı sırada yani impuls ilettiği zaman sinir zarının sodyum geçirgenliği 500 defa artar ve sodyum hızla içeri girer. Bu anda aksiyon potansiyeli yazdırılırsa potansiyelin arttığı görülür. Aksiyon potansiyeli belirli bir düzeye kadar (+40 mV) yükselir, sonra tekrar dinlenme potansiyeli düzeyine iner. Potansiyelin düşmesi zarın sodyum geçirgenlik mekanizmasının inaktive edilmesiyle ve potasyum geçirgenliğinin artması ile oluşur. Yani sodyumun içeri girişi durdurulur ve potasyum dışarı çıkışı artar. Böylece sinir uyarıldığında bir miktar sodyum kazanmakta, aynı miktarda potasyum kaybetmektedir. İçeri giren sodyum kadar potasyumun dışarı çıkması ile sinir tekrar dinlenme halindeki potansiyel farkını (denge potansiyelini) kazanmış olur. Potansiyel normale dönmüştür ancak iyonların yerleri normal değildir. Çünkü dinlenimdeki aksine sodyum içeride potasyum dışarıdadır. Buraya kadarki olaylar enerji harcanmasını gerektirmez. Sinirin dinlenme halindeki iyon dağılımını kazanması yani sodyumun dışarı çıkması ve potasyumun içeri girmesi Na-K pompalama sistemi sayesinde olur. Bu pompa sisteminin çalışması metabolik enerjiye ihtiyaç gösterir.

Uyaran yayılmasıyla ilgili temel kavramlar

Eşik uyarı: Bir sinir veya kası uyaraabilen en küçük akım şiddetine reobaz (eşik değeri) denir. Yalıtılmış tek hücrede uyarının şiddeti eşik uyarı adı verilen bu değere ulaşmadıkça aksiyon potansiyeli oluşmaz. Diğer yandan elektriksel uyarı uygulanması durumlarında akımın

uygulanma süresi küçüldükçe eşik akım şiddeti yükselir. Ancak bundan da küçük akım şiddetleri, uygulama süreleri ne kadar uzun olursa olsun aksiyon potansiyeli oluşturamazlar.

Reobazın, iki misli şiddette akım uygulanınca bunun hücreyi uyarabilmesi için gerekli süreye kronaksi denir. Bu kavram uyarılabilirliğin bir ölçüsü sayılmaktadır ve kronaksisi düşük olan liflerin uyarılabilirliği yüksektir.

Hep ya da hiç yasası: Bir sinir/kas uyarıldığı zaman impuls meydana gelir yani hücrede potansiyel değişikliği olur. Sinir veya kas hücresi eşik değerden daha az bir akım şiddetindeki bir akımla uyarılmaya çalışılırsa uyarıma cevap vermediği görülür. Eşik değerdeki bir akım şiddeti ile uyarılınca cevap verir. Meydana gelen bu potansiyel değişikliğine aksiyon potansiyeli denir. Böyle tek bir hücre eşik değerden daha şiddetli bir akımla uyarılırsa bile oluşan aksiyon potansiyelinin yüksekliği artmaz.

Sonuç olarak, uyarılabilir bir hücre (sinir veya kas) eşik değerden az şiddette akıma cevap vermiyor; eşik değerde uyarıma tüm kuvvetiyle cevap veriyor ve akımın şiddeti arttırılırsa da elde edilen cevap artmıyorsa bu olaya hep ya da hiç yasası denir. Tek bir sinir teli, tek bir kas hücresi ve kalp kası bütünüyle bu yasaya uyar.

Aksiyon potansiyeli ile ilgili tanımlar

Zar potansiyelinin dinlenme değerinden daha pozitif potansiyellere doğru her türlü değişimine depolarizasyon, tekrar dinlenme potansiyeline dönüşüne repolarizasyon, dinlenme potansiyellerinden daha negatif potansiyele gidiş ise hiperpolarizasyon olarak adlandırılır.

Merdiven olayı: Birçok sinir telinin bir araya gelmesiyle meydana gelmiş bir sinir kordonu veya birçok kas telinden meydana gelmiş bir kas kitlesi hep ya da hiç yasasına uymaz. Çünkü her sinir veya kas telinin uyarılma eşiği aynı değildir. Belirli bir şiddetteki akım önce kolay uyarılabilen sinir veya kas tellerini uyarır, eşik değeri daha yüksek telleri uyarmaz. Elektrik akımının şiddeti arttırıldıkça uyarıla bilen liflerin sayısı artar ve cevap daha kuvvetli olur. Nihayet uyarma şiddeti bütün lifleri uyaraabilecek düzeye ulaşınca bütün sinir ve kas telleri uyarılarak en yüksek cevap elde edilir. Bundan sonra uyarımın şiddeti arttırılırsa da reaksiyon şiddeti aynı kalır. Bu olaya merdiven olayı denir.

Refrakter dönem: Uyarılabilir bir lifin belirli bir bölgesinde aksiyon potansiyeli oluşurken, ikinci bir uyarın şiddeti ne olursa olsun bu bölgede aynı anda bir başka aksiyon potansiyeli oluşturamaz. Aksiyon potansiyeli süresinden biraz uzun olan, lifin hiç uyarılmadığı bu döneme refrakter dönem denir. Refrakter dönem bir aksonun ardışık aksiyon potansiyeli oluşturma frekansına sınır getirir. Memeli hayvanlarda sinir liflerinin çoğu aksiyon potansiyellerini 1000 Hz'den daha yüksek frekansta iletmez.

Monofazik (tek fazlı) ve difazik (iki fazlı) aksiyon potansiyelleri

Kaydedici elektrotları uygulama biçimine göre monofazik ve difazik aksiyon potansiyeller kaydedilir.

Monofazik aksiyon potansiyeli eğrisi elde etmek için elektrotlardan biri kas ya da sinir telinin sağlam kesimi üzerine, diğeri ise içine ya da zedelenmiş veya kesilmiş bölgesine konur. Bu durumda galvanometrede -90 mV'luk zar potansiyeli belirtecek biçimde bir sapma izlenir.

Hücre zedelenmemiş ucundan uyarıldığında oluşan impuls sağlam kesimdeki A elektrotunun altından geçerken burayı negatifleştirir ve iki elektrot (A, B) arasındaki potansiyel fark kaybolduğundan galvanometre göstergesi sıfıra yönelir. Bundan sonra impuls ilerlemeye devam eder, A elektrotunu geçer ve bu elektrot altında oluşan repolarizasyon sonucu, iki elektrot arasında başlangıçtaki gibi bir elektriksel potansiyel farklılık oluşur. Başka bir deyişle A elektrotu pozitif, B elektrotu negatif yükleri görür ve galvanometre göstergesinin yine saptığı görülür. İmpuls zedeli kesimde B elektrotunun altında yani negatif yükler bulunan bölgede durur ve aksiyon potansiyeli monofazik olarak kaydedilmiş olur.

Difazik veya bifazik aksiyon potansiyeli elde etmek için A ve B elektrotları kas ya da sinir teli zarının üzerine konulur. Bu durumda her iki elektrot da pozitif yükleri gördüğünden galvanometrede hiçbir sapma oluşmaz, yani gösterge sıfırda durur. Kas teli bir ucundan uyarıldığında oluşan aksiyon potansiyeli A elektrotunun altına gelir. A ve B elektrotları arasında elektriksel fark oluşur. Bu sırada galvanometre göstergesi elektrik akımının B elektrotunda A elektrotuna doğru olduğunu gösterecek biçimde sapar ve bu nedenle eğrinin yukarı doğru çıkan kesimi kaydedilir. Depolarizasyon dalgası B elektrotuna doğru ilerlerken, A elektrotunun altında repolarizasyon oluşur ve her iki elektrot da yine pozitif yükleri gördüklerinden hem galvanometre göstergesi hem de kaydedilen eğri başlangıç noktasına döner. İmpuls B elektrotuna ulaştığında burası negatif kılındığından bir potansiyel fark oluşur ve galvanometrede birincinin tersi yönde bir sapma ve aksiyon potansiyeli eğrisinde de öncekinin tersi biçiminde aşağı doğru çizilir. Depolarizasyon dalgası bu B elektrotunu da aştığında yine A ve B elektrotları pozitif yükleri gördüğünden galvanometre ve eğri başlangıçtaki durumuna döner. Yani galvanometre göstergesi sıfırı gösterir, eğri yukarı çıkar ve izoelektrik çizgi düzeyine gelir.

Yöresel depolarizasyonun toplanması (sumasyon)

Eşik altı bir uyarının neden olduğu bir depolarizasyon henüz tam sönümlenmeden bir hücreye ikinci bir eşik altı uyarın daha uygulandığında, ikinci uyarının oluşturacağı yöresel depolarizasyon birinciden arta kalana eklenebilir ve toplamları eşik potansiyele ulaşarak bir aksiyon potansiyelini tetikleyebilir. Toplama (sumasyon) olarak adlandırılan bu olaya, sinir sisteminde iki farklı şekilde karşılaşılabilir. Bir sinir hücresi çok kısa zaman aralığı içinde ardışık iki eşik altı uyarın etkisinde kalınca yöresel depolarizasyonlar birbirine eklenebilir ve kritik depolarizasyon potansiyeli aşılarak aksiyon potansiyeli oluşturacak düzeye gelinir ki bu olaya süksesif sumasyon denir. Buna daha çok periferik sinir sisteminde rastlanılır. Diğer yandan bir nöron aynı anda farklı bölgelerinde eşik altı uyarınlar etkisinde kalabilir. Bir yöresel yanıt, bu yanıtı oluşturan uyarının tatbik noktasında en yüksektir ama bu nokta ile sınırlı değildir. Komşu bölgelerde de uzaklaştıkça zayıflayan depolarizasyonlar ortaya çıkar. Bu nedenle iki veya daha çok odaktan kaynaklanan eşik altı uyarılara verilen yanıtlar, bir diğer noktada toplanarak eşik depolarizasyon oluşturabilirler. Bu türden sumasyon MSS'nin integrasyon işlemleri için oldukça önemlidir ve simültan sumasyon olarak adlandırılır.

Uyum

Uyarılabilir bir hücre için kritik depolarizasyon potansiyeli veya eşik potansiyel, uyarının şiddeti, süresi ve artma temposu ile birlikte zarın geçmişine de bağlıdır. Kare biçimli bir uyarın için eşik en düşüktür. Şiddeti zamanla doğrusal olarak artan uyarınlar için eşik, potansiyel uyarının artma hızı ile ters orantılıdır. Uyarının artma hızı bir minimum değer altına düşerse, uyarının son değeri ne olursa olsun aksiyon potansiyeli oluşmaz. Uyarılabilir

bir hücre veya dokunun, şiddeti ağır ağır artan bir uyarana karşısında eşliğini yükseltmesine uyum (accomodation) denir.

Ard potansiteller

Hücre içine girilerek kaydedilen aksiyon potansiyellerinde depolarizasyon süreci, yani uç potansiyele yükseliş biçimi tüm hücrelerde birbirine benzer. Ancak süreleri hücreden hücreye değişebilir. Uç potansiyelden sonra aksiyon potansiyelinin repolarizasyon süreci başlar, fakat hücre dinlenme durumuna kısa sürede dönemez. Repolarizasyonu izleyen uzunca süreler zar potansiyeli dinlenme değerinin birkaç milivolt altında veya üstünde kalabilir ki bu potansiyellere ard potansiyeler denir.

Zar potansiyeli, repolarizasyonu izleyerek bir süre dinlenime göre daha pozitif, bir süre ise daha negatif değerde kalmaktadır. Dinlenime göre pozitif değerde görülen ard potansiyele depolarize edici ard potansiyel denir. Dinlenime göre daha negatif potansiyelerde görülen ard potansiyele ise hiperpolarize edici ard potansiyel denir.

Bir hücrenin uyarılabilirliği depolarize edici ard potansiyele sahipken artar, hiperpolarize edici ard potansiyele sahipken azalır.

Çok hücreli bir sistemin elektriksel aktivitesi

Bir siniri oluşturan lifler, gerek çap gerek miyelin tabakası kalınlığı bakımından büyük ölçüde farklılık gösterirler. Tüm liflerde iletim mekanizmaları birbirine benzese de yapısal farklılık nedeni ile iletim hızı ve eşik potansiyel gibi iletimle ilgili işlevsel parametreler bakımından da farklılık gösterirler.

Bir siniri oluşturan liflerin tümü veya bir kısmı aynı anda uyarılabilir ve liflerin ortaklaşa elektriksel aktivitesi gözlemlenebilir. Demeti oluşturan liflerin bireysel aksiyon potansiyellerinin katkıları ile ortaya çıkan bu tür elektriksel aktiviteye bileşik aksiyon potansiyeli denir. Bileşik aksiyon potansiyeli eğrilerinin tek hücrede gözlenen aksiyon potansiyellerinden çok farklı yanları vardır. Hep ya da hiç yasası bileşik aksiyon potansiyeli söz konusu olduğunda geçerliliğini yitirir. Demeti oluşturan liflerin topluca uyarılmak istenmesi halinde, yaranın akım şiddeti zayıfsa hiçbir lif uyarılmaz. Uyarana şiddeti artırılınca uyarılan lif sayısı ve dolayısıyla aksiyon potansiyeli genliği artar ve biçimi değişir. Yeterince şiddetli bir uyarana uygulandığında, demeti oluşturan liflerin tümü uyarılabilir.

Bileşik aksiyon potansiyeli gözlemlenirken, iki elektrot da zorunlu olarak hücreler arası ortam içinde bulunur. Sinirlerde gözlem yapılırken aktif veya araştırmacı elektrot olarak adlandırılan bir elektrot genellikle sinire dokundurulur. Referans elektrotu veya nötr elektrot olarak adlandırılan ikinci bir elektrot ise aynı demetin başka yerine veya deri gibi aktif olmayan bir yapıya dokundurulur. Bileşik aksiyon potansiyeline kaynaklık eden uyarılmış hücreler, kaçınılmaz olarak iletken sulu bir ortamla ve diğer hücrelerle çevrili durumdadır. Potansiyel kaynağının iletken bir ortam içinde gömülü olduğu böyle bir sisteme hacim iletkeni adı verilir. Ortam içinde bulunan iki nokta arasındaki potansiyel farkı, potansiyel özellikleri yanında hacim iletkeni özelliklerine de bağlıdır. Çevresel sınırlar üzerinde deneyler yapılırken, dış ortamın etkilerini azaltmak için sinir demeti, hava içinde veya yalıtkan bir yağ içinde elektrotların üzerine yatırılır. Demeti iletken şekilde saran iletken tabaka iletim işlevleri için yeterli olmaktadır.

Sinir liflerinin özellikleri

Yapıları veya işlevlerine göre, sinir lifleri farklı şekillerde sınıflandırılabilir. En önemli morfolojik parametre olan miyelin kılıfının varlığına veya yokluğuna göre sinir lifleri miyelinli ve miyelinsiz olarak ikiye ayrılabilir. Bir diğer önemli parametre ise çaptır.

Miyelinli liflerde iletim hızı çap büyüdükçe artmaktadır. Eşik değeri ise düşmektedir. Aksiyon potansiyelinin süresi ve tepeye yükselme zamanı ise akson çapı arttıkça azalmaktadır. Miyelinsiz aksonlarda, hem miyelin yokluğu hem de çaplarının küçük olması nedeniyle iletim hızı düşüktür. Miyelinsiz sinirlerde iletim hızı akson çapının karekökü ile doğru orantılıdır.

Sinaptik iletim:

Elektriksel ve kimyasal sinapslar: Sinir sistemindeki iletişim için bir hücreden diğerine bilgi aktarımı gerekir. Sinir hücreleri arasında veya sinir hücreleri ile kas hücreleri arasında iletişimin kurulduğu, yapısal ve işlevsel olarak özelleşmiş bölgelere sinaps adı verilir. Mesajı gönderen ve presinaptik hücre olarak adlandırılan hücre ile mesajı alan postsinaptik hücre, bu kavşak bölgelerinde birbirlerine oldukça yaklaşırlar. Temel olarak iki farklı türden sinaptik iletimle karşılaşmaktadır. Hücreden hücreye iletimin tamamen elektriksel yoldan gerçekleştiği sinapslara elektriksel, kimyasal maddeler aracılığıyla gerçekleştiği sinapslara ise kimyasal sinapslar denir.

Elektriksel sinapslarda iki zar birbirine 2 nm kadar yaklaşır ve aralarında kurulan köprüler aracılığıyla iki hücrenin sitoplazmaları doğrudan temas halindedir. Protein yapısında ve oldukça geniş olan bu köprülerden, molekül ağırlığı 1500 Dalton'a kadar ulaşan molekül ve iyonlar ve dolayısıyla elektrik akımı bir hücreden diğerine kolaylıkla geçebilmektedir. Morfolojik yapıları nedeniyle elektriksel sinapslara köprülü kavşak denir. Elektriksel sinapslara omurgasızlarda ve memeli olmayan omurgalılarda yaygın olarak rastlanmaktadır.

Yapı ve işlevleri karmaşık olan kimyasal sinapslarda iki hücrenin sitoplazmaları arasında doğrudan bir bağlantı yoktur. Kimyasal sinapslarda presinaptik ve post sinaptik zarlar arasında ki uzaklık 20-30 nm yoktur. Hatta sinir kas kavşaklarında 50-100 nm'ye çıkabilir. Presinaptik nöronun son ucunda, iletimde rol alan ve nörotransmitter adı verilen kimyasal maddeler içeren küçük kesecikler bulunur. Aksiyon potansiyeli sinir son ucuna ulaşınca, nörotransmitter molekülleri bu keseciklerden sinaps aralığına salınır. Sinaps aralığını dolduran hücreler arası sıvı içinde difüzyonla ilerleyen bu moleküllerin bir kısmı, post sinaptik zarda protein yapısındaki reseptör adı verilen özelleşmiş bölgeler bağlanırlar. Transmitter-reseptör kompleksindeki yapı değişikliği nedeniyle post sinaptik zarda bazı iyon kanalları açılır veya bazıları kapanır. Açılan kanallardan iyon geçişleri sonucu post sinaptik zarda potansiyel değişimleri olur. Genel olarak post sinaptik potansiyel adı verilen bu potansiyel değişiklik kritik bir değere ulaşırsa post sinaptik zarda yayılan bir aksiyon potansiyeli gelişir.