

BIOFÍSICA DOS SISTEMAS BIOLÓGICOS

UNIDADE 1 POTENCIAIS CELULARES

1.1. BASES FÍSICAS APLICADAS AOS SISTEMAS BIOLÓGICOS

Ao imaginarmos o Universo sempre associamos este pensamento à vastidão e variedade, porém o chamado universo conhecido tem como componentes primordiais apenas **MATÉRIA**, **ESPAÇO** e **TEMPO**. Estes componentes são o próprio universo conhecido e assim nomeados de grandezas fundamentais.

Ainda podemos incluir dentre as grandezas fundamentais **ENERGIA**, porém devemos ressaltar que, como grandeza fundamental, ela estará atrelada a determinada MASSA (matéria), porém também pode ser observada como grandeza derivada, como faremos na nossa análise, quando a grandeza ENERGIA ao TRABALHO (também uma grandeza derivada).

Meu caro estudante, você agora pode se perguntar: por que para entender os fenômenos biológicos eu tenho que estudar o universo conhecido? Por que para me constituir sabedor das atividades da vida eu tenho que estudar física, primeiro em “Física para Ciências Biológicas” e agora em “Biofísica básica”? Estamos nos repetindo!

Para responder estas justas indagações, vamos dividi-las em duas partes: O que a física e o universo conhecido têm a ver com os seres vivos? E, qual a diferença entre as disciplinas acima nomeadas?

Então, vejamos um ser vivo qualquer, um organismo biológico, de uma lagartixa a o homem, de que são feitos? Qual a sua composição? Pois bem, meu querido estudante, a resposta nos obriga a rever o próprio universo conhecido.

Os seres vivos são constituídos de **MATÉRIA**, e portanto, ocupam **ESPAÇO** próprio, seus processos vitais ocorrem diante da conversão e utilização de **ENERGIA** e necessariamente ao longo do **TEMPO**.

A pouco, antes da leitura deste texto, poderíamos dizer:

“ Os seres vivos estão contidos no universo conhecido...”

Agora, apesar da afirmativa anterior ainda ser verdadeira, também podemos dizer:

“ O universo conhecido está contido nos seres vivos”

Sim, podemos encontrar em cada organismo neste planeta toda a essência do universo, e é por isto, só por isto, que as Leis universais, muito divulgadas como leis físicas, são inteiramente aplicáveis aos sistemas biológicos (seres vivos). Pois então vejamos claramente que nenhum fenômeno biológico poderá ocorrer fora de qualquer princípio físico.

Veja, meu caro estudante, que ao estudarmos, por exemplo, o processo de respiração, temos necessariamente que entender o comportamento físico de um gás, pois seja na atmosfera ou no interior dos nossos pulmões o oxigênio, tão necessário às nossas vidas, se comportará sob a ação das Leis universais.

A Biofísica, portanto, estuda **MATÉRIA**, **ENERGIA**, **ESPAÇO** e **TEMPO** nos seres vivos, enquanto a “Física para Ciências Biológicas” apresentou os princípios físicos necessários a esta compreensão.

Para justificar toda a diversidade que nossos sentidos podem apreender ou nossa mente pode vislumbrar, utilizaremos duas abordagens distintas: uma é através de relações matemáticas entre as Grandezas fundamentais, o que resultará no surgimento das Grandezas derivadas, que

ainda são o Universo conhecido, já que são dele originadas; a outra é pela análise dos níveis de organização da matéria e das Leis e Forças Universais que regem esta organização. Para compor nossa análise matemática em torno das relações do universo conhecido (Grandezas fundamentais) e os seres vivos vamos usar como notação para matéria M, para espaço L e para tempo T.

1.2. AS FORÇAS UNIVERSAIS E A ORGANIZAÇÃO DA MATÉRIA

Esta sensação de multiplicidade e variedade das coisas, mencionada nos parágrafos anteriores, pode se justificar pela região peculiar do Universo na qual vivemos, o ambiente atmosférico do planeta terra, mas principalmente pela grande variedade que a Matéria pode assumir a partir de partículas básicas. Para analisarmos a matéria iremos iniciar nossa observação ao nível das partículas subatômicas Prótons, Nêutrons e Elétrons, mesmo sabendo da existência de níveis abaixo deste, pois este enfoque já nos permite compreender o aumento da diversidade dos materiais com os níveis de organização da matéria.

Ao considerarmos a organização das sub-partículas que formam Prótons, Nêutrons e Elétrons estamos nos referindo à força universal denominada FORÇA NUCLEAR FORTE que permite a existência apenas destas três partículas elementares e que por sua vez se organizam ao nível atômico.

O núcleo atômico organiza-se, com seus prótons e nêutrons, sob a FORÇA NUCLEAR FRACA que define como estas partículas podem compor o núcleo, sendo cada organização (definida pelo número de prótons) denominada de elemento químico. Assim, o átomo cuja organização nuclear contenha seis prótons será do elemento químico carbono, e, aquele com noventa e dois prótons em seu núcleo, será do elemento químico urânio.

Comumente, os átomos apresentam-se neutros, não obstante a existência de átomos eletricamente carregados, os íons (cátions positivos e ânions negativos), assim, excetuando-se os íons, o número de prótons no núcleo é reproduzido pelo número de elétrons orbitais. A disposição dos elétrons na coroa eletrônica é definida pela FORÇA ELETROMAGNÉTICA que os organiza em níveis de energia, camadas que têm um número máximo de elétrons característico para cada uma (2, 8, 18...), sendo o máximo de oito elétrons enquanto for a última camada, excetuando-se a camada K cujo número máximo de elétrons é dois, e ainda que nesta condição o átomo alcança sua energia mínima ou máxima estabilidade, é a teoria do octeto baseada na distribuição eletrônica dos gases nobres.

Como, para a sua estabilidade, o átomo deve ter oito elétrons na última camada, dois caso esta seja a camada K, ao "contratar" suas ligações químicas ele procura esta condição ao compartilhar ou doar elétrons. Assim, a FORÇA ELETROMAGNÉTICA define a formação do conjunto núcleo/eletrosfera, o átomo, e também a formação das moléculas e materiais uma vez que define suas ligações químicas características.

Completando as quatro Forças Universais, a atração entre os corpos, atração de massas, apesar de estar presente para qualquer massa, mesmo a de um elétron, é mais evidenciada em grandes corpos como planetas, seus satélites e estrelas, que são capazes, devido suas grandes massas, de deformar o espaço de maneira significativa regidos pela FORÇA GRAVITACIONAL. Abordaremos a aceleração da gravidade, consequência mais pronunciada desta Força no planeta terra, quando discutirmos pressão atmosférica.

Ao observarmos a Matéria, podemos considerar seus níveis de organização, desde o padrão sub-atômico até sua estrutura macroscópica e a relação de sua massa com a de outros corpos, e escolhendo-se um nível, para observação, os demais não deixam de existir; assim,

podemos pensar nas Forças Universais atreladas aos níveis de organização da Matéria, cada uma referindo-se prioritariamente a um determinado nível, mas todas atuam no corpo observado. Isto posto, observe que o planeta terra preponderantemente terá a Força gravitacional a determinar seu comportamento espacial, no entanto sua enorme massa, em última análise, é formada por moléculas cujos átomos são unidos pela Força eletromagnética, que têm núcleos unitários devido a ação das Forças nucleares. Agora, estamos prontos para relacionarmos o Universo conhecido demonstrando o caráter incluyente das grandezas fundamentais na formação das grandezas derivadas.

1.3. ANÁLISE DIMENSIONAL

Devemos lembrar que as grandezas derivadas são relações estabelecidas entre uma, duas ou três das Grandezas fundamentais, e cada uma destas relações recebe um nome que a identifique, porém é obvio que a relação é mais importante do que o nome. Pois vejamos, a relação demonstrada como a variação do Espaço ao longo do Tempo, por exemplo, foi nomeada como velocidade, mas, não obstante à notoriedade do termo velocidade, o importante é a relação ESPAÇO EM FUNÇÃO DO TEMPO, que permanece como uma verdade universal (física) mesmo que seja chamada de “João”, “Maria” ou “Speed”.

1.4. O ESPAÇO OCUPADO

O Espaço no Universo conhecido é ocupado pela Matéria sempre em três dimensões. Por exemplo, se tomarmos uma folha de papel vamos observar uma dimensão, que poderemos nomear de comprimento, uma outra, a largura, mas ainda uma terceira necessariamente é observada, a espessura, por mais fina que seja a folha de papel. Mesmo sabendo que sempre o Espaço é ocupado de forma tridimensional, podemos observá-lo considerando apenas uma dimensão, é o espaço linear, duas dimensões, trata-se da Área, ou ainda o Espaço ocupado de forma real em três dimensões, o Volume.

1.4.1 ESPAÇO LINEAR

Os sistemas de unidades mais utilizados são o sistema internacional, muito conhecido como MKS, pois suas unidades são metro para o espaço, quilograma para a massa e segundo para o tempo, e o CGS, nomeado devido a suas unidades, centímetro para espaço, grama para massa e segundo para tempo.

Quando nossa análise requer a observação de apenas uma dimensão do Espaço, como a distância entre dois pontos, ou o espaço percorrido por um móvel, temos uma dimensão do Espaço (L). Desta forma, considerando um sistema de unidades coerente qualquer, a unidade do Espaço linear será a unidade de Espaço deste sistema:

L ---- SI - Metro (m)
cgs - Centímetro (cm)

1.4.2 ÁREA

A Grandeza nomeada de Área trata da análise simultânea de duas dimensões do Espaço, como a superfície de uma quadra de esportes, por exemplo, portanto o Espaço é multiplicado por

5. Biofísica dos Sistemas Biológicos

ele mesmo, o Espaço ao quadrado (L^2). Desta forma, considerando um sistema de unidades coerente qualquer, a unidade de Área será a unidade de Espaço deste sistema elevada ao quadrado:

$$\begin{aligned} L^2 & \text{----- SI – Metro quadrado (m}^2\text{)} \\ & \text{cgs – Centímetro quadrado (cm}^2\text{)} \end{aligned}$$

1.4.3 VOLUME

Quando observamos o Espaço ocupado de forma real, três dimensões do espaço Linear, deixamos de observar uma superfície para percebermos o Espaço ocupado por um corpo no Universo, e a esta expressão do Espaço ocupado ou a ser ocupado (vazio) denomina-se Volume (L^3). A unidade de Volume em um sistema de unidades coerente será a unidade deste sistema que representa o Espaço elevada ao cubo.

$$\begin{aligned} L^3 & \text{----- SI – Metro cúbico (m}^3\text{)} \\ & \text{cgs – Centímetro cúbico (cm}^3\text{)} \end{aligned}$$

A Área e o Volume verificam o Espaço ocupado, ou a ser ocupado; quando analisamos simultaneamente duas dimensões do Espaço podemos caracterizar superfícies de tecidos e órgãos como os Pulmões ou a pele, ou áreas virtuais a serem ultrapassadas, como a secção de área de uma artéria. A observação simultânea das três dimensões do Espaço nos permite demonstrar compartimentos e os espaços delimitados por eles, como a quantidade de sangue que comporta o ventrículo esquerdo de um homem adulto, e qual será seu volume quando de sua contração.

1.4.5 DENSIDADE

A Matéria pode ocupar o Espaço com maior ou menor agregação, dependendo da natureza do material caso esteja em estado sólido ou líquido, ou de acordo com as condições de Temperatura e Pressão, Grandezas que estudaremos adiante, caso esteja em estado gasoso. Esta agregação pode ser demonstrada quando relacionamos Matéria e Espaço, mais precisamente a quantidade de Matéria que ocupa determinada unidade de Volume, sendo denominada de Densidade (ML^3), mais comumente descrita como massa sobre o volume. Se considerarmos um decímetro cúbico ele poderá ser ocupado por 1 Kg de água ou 13,6Kg de mercúrio, assim podemos inferir que o mercúrio é mais denso do que a água.

$$\begin{aligned} ML^{-3} & \text{— SI- Quilograma por metro cúbico (Kg/m}^3\text{)} \\ & \text{cgs – Grama por metro cúbico g/cm}^3\text{)} \end{aligned}$$

Para abordarmos Densidade em sistemas gasosos, devemos mencionar a Grandeza Pressão, porém até que comecemos a discuti-la, podemos fazer algumas considerações. A densidade de um gás dependerá de onde ele está contido, assim uma massa M de um gás G está contida em um volume V_1 , apresentando densidade d_1 ; já se a mesma massa M do gás G estiver contida em um volume V_2 apresentará densidade D_2 , e ainda podemos dizer que a densidade D_1 será menor do que a densidade D_2 caso o volume V_1 seja maior do que o volume V_2 . A

LT^{-1} — SI – Metro por segundo (m/s)

cgs – Centímetro por segundo (cm/s)

Já a aceleração é a variação da Velocidade ao longo do tempo, ou seja, a variação do Espaço ao longo do Tempo também variando ao longo do Tempo. Diferente do uso cotidiano, a Aceleração não é apenas observada com o aumento da Velocidade (aceleração positiva), mas também com a redução da velocidade (aceleração negativa).

Desta forma pode ser expressa, em um sistema de unidades coerente, como a unidade de Espaço dividida pela unidade de Tempo ao quadrado deste sistema (LT^{-2}).

LT^{-2} — SI – Metro por segundo quadrado (m/s^2)

cgs – Centímetro por segundo quadrado (cm/s^2)

1.6. AS CAUSAS DA VARIAÇÃO DO ESPAÇO OCUPADO

1.6.1 FORÇA

Comumente associa-se Força a movimento ou a ação de puxar ou empurrar algo, o que em suma é verdade, porém também devemos considerar aquelas Forças que não implicam em movimento e outras que não exigem contato. Por exemplo, em um prédio dezenas de Forças atuam sem serem percebidas e a Força Gravitacional entre a terra e a lua não requer contato. De forma específica para o estudo dos movimentos podemos dizer que Força é a ação capaz de modificar a velocidade de um corpo, ou seja, conferir Aceleração à determinada Massa ($F = m.a$).

Assim, pode ser expressa em um sistema de unidades coerente, como a unidade de Matéria (Massa) multiplica pela unidade de Aceleração deste sistema (MLT^{-2}).

MLT^{-2} — SI - Newton (Kgm/s^2)

cgs – Dina (gcm/s^2)

1.6.2 TRABALHO OU ENERGIA

O Trabalho é a Grandeza que mede a Energia de um corpo, que por sua vez é a capacidade deste corpo em realizar Trabalho. No entanto devemos notar, que no conceito físico, o Trabalho não é de um corpo, é o Trabalho de uma Força e pressupõe deslocamento ou potencial para tal. A definição de Trabalho está atrelado à possibilidade da medida da Energia.

Uma Força de 1N atuando na mesma direção e sentido do deslocamento de módulo 1m, considerando 0° como o ângulo de incidência desta Força ($\cos 0^\circ=1$), então o trabalho realizado por esta Força é de 1N.m (Joule)

Trabalho = Força x Deslocamento x Cos do ângulo da Força aplicada

Assim, podemos considerar o Trabalho (W) de uma Força (F), paralela e de mesmo sentido do deslocamento (d) como:

$$W = Fd$$

Desta forma, pode ser expressa em um sistema de unidades coerente, como a unidade de Força multiplica pela unidade de espaço deste mesmo sistema (ML^2T^{-2}).

$$ML^2T^{-2} \text{--- SI - Joule (Kgm}^2\text{s}^{-2}\text{)}$$

$$\text{cgs- Erg (gm}^2\text{s}^{-2}\text{)}$$

A Energia pode aparecer atrelada ao movimento (Energia cinética), ou, mesmo em repouso, um corpo pode possuir Energia apenas em função da Posição que ocupa (Energia potencial), e ainda que a Energia mecânica permaneça constante na ausência de Forças dissipativas, apenas se transformando em suas formas cinética e Potencial. A Energia mecânica de um sistema se conserva quando ele se movimenta sob ação de Forças conservativas e eventualmente de outras Forças que realizem trabalho nulo.

Ainda podemos determinar a partir do teorema da Energia cinética que a Energia cinética é a massa multiplicada pelo quadrado da velocidade dividido por dois.

$$E = \frac{M \times V^2}{2}$$

Considerando este teorema, a Energia pode ser expressa em um sistema de unidades coerente, como a unidade de massa multiplica pela unidade de velocidade ao quadrado deste sistema, ou seja a mesma relativa ao Trabalho (ML^2T^{-2}).

$$ML^2T^{-2} \text{--- SI - Joule (Kgm}^2\text{s}^{-2}\text{)}$$

$$\text{Cgs ----- Erg (gm}^2\text{s}^{-2}\text{)}$$

1.6.3 PRESSÃO

A pressão é definida como a Força aplicada sobre determinada área, portanto matematicamente responde pela expressão Força sobre área. Logo sua unidade em um sistema coerente é dada como a unidade de Força dividida pela unidade de área daquele sistema. (MLT^{-2}/L^2)

$$MLT^{-2}/L^2 \text{--- SI - Pascal (Kgms}^{-2}\text{/m}^2\text{)}$$

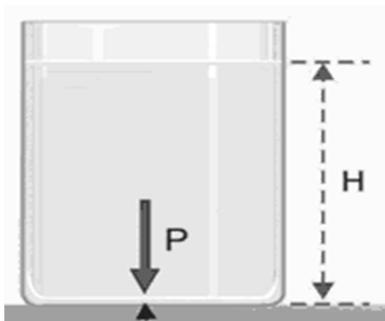
$$\text{cgs- (gm}^2\text{s}^{-2}\text{)}$$

Ainda podemos observar unidades de pressão incoerentes como o milímetro de mercúrio (mmHg) ou como a unidade Atmosfera (atm), assim como também podemos ter atrelados à Pressão eventos bem específico, como a pressão atmosférica, hidrostática ou osmótica.

A Pressão que a massa de ar que envolve a terra exerce sobre ela pode ser evidenciada como de responsabilidade da atração que a terra exerce sobre a atmosfera, assim devemos considerar a altura da coluna de ar acima do ponto considerado, a densidade deste ar e a aceleração imprimida a ele pela gravidade terrestre, e obteremos a Pressão atmosférica. ($P_{\text{atm}} = h.d.g$).

Ainda podemos evidenciar a pressão hidrostática que é exercida por um líquido sobre qualquer ponto dele mesmo, de forma muito semelhante à pressão atmosférica. Assim podemos considerar como pressão hidrostática a altura da coluna de líquida acima do ponto considerado, a densidade deste líquido e a aceleração imprimida a ele pela gravidade terrestre ($P_{\text{hid}} = h.d.g$).

Figura 2 – Pressão hidrostática



Fonte: http://www1.curso-objetivo.br/vestibular/roteiro_estudos/imagens (2008)

Ressaltando que a Pressão real no fundo do copo é a Pressão hidrostática somada a pressão Atmosférica.

1.7. POTENCIAL ELÉTRICO TRANSMEMBRÂNICO

As células constituem-se nas unidades morfofuncionais dos organismos vivos, daí a grande importância dada à análise dos aspectos celulares no estudo de biologia, sejam seus aspectos estruturais químicos e, claro, também seus aspectos físicos.

Dentre os aspectos físicos ligados às funções celulares destacam-se os potenciais de membrana. Estes revelam-se como a diferença de potencial elétrico entre as faces da membrana plasmática, meio intracelular e meio extracelular.

Para a real compreensão de como as células são capazes de manter ou mudar seu potencial de Membrana, e a devida importância deste potencial nas suas funções, se faz necessário o entendimento de dois aspectos preliminares aos próprios potenciais: os conceitos iniciais de eletricidade, os quais nos permitirão entender a real interferência das cargas no movimento dos íons; bem como o próprio movimento destes íons e da água.

Assim, meu caro estudante vou iniciar o capítulo de potenciais celulares falando a respeito dos princípios de eletricidade e em seguida sobre difusão, osmose e transporte ativo, só então seremos capazes de discutir os potenciais celulares (potencial de repouso e potencial de ação).

1.8. PRINCÍPIOS DE ELETRICIDADE

A Eletricidade (Eletrostática, eletrodinâmica, eletromagnetismo) estuda na Física os fenômenos que envolvem carga elétrica, uma propriedade inerente à determinadas partículas elementares, que propicia interação de natureza elétrica entre elas. Embora a Física moderna não seja capaz de dizer o que é carga elétrica, é capaz de descrever inúmeras de suas características e propriedades, dentre as quais, para este momento de nosso estudo, podemos destacar o princípio da conservação da carga elétrica:

“Em um sistema eletricamente isolado a carga elétrica é constante, e o valor da carga elétrica de um corpo é nula ou igual a um múltiplo da carga elementar ”

CARGA ELEMENTAR (e) = $1,6 \times 10^{-19}$ Coulomb (Ampère/segundo)

Existem dois tipos de carga elétrica, positiva e negativa, e o princípio básico da interação das cargas elétricas diz que cargas opostas se atraem, cargas iguais se repelem.

Em um átomo, comumente, o número de elétrons (partícula com carga negativa de $-1,6 \times 10^{-19}$ C) é igual ao número de prótons (partícula com carga positiva de $+1,6 \times 10^{-19}$ C), logo o átomo é eletricamente neutro. Caso no átomo exista um número diferente entre elétrons e prótons, este terá carga e será denominado de íon.

Assim, ao considerarmos a carga elementar (e):

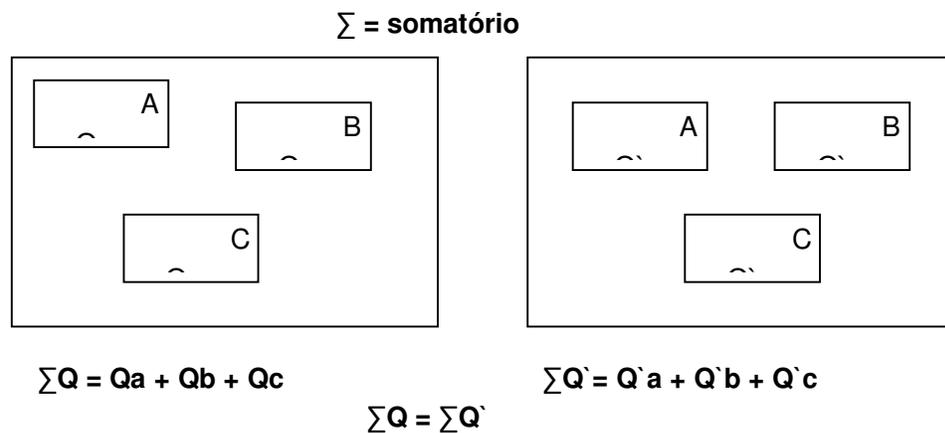
$$e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C},$$

temos que

$$1\text{Coulomb} = 6,25 \times 10^{18} e$$

Considerando um sistema eletricamente isolado, a soma algébrica das quantidades de carga é constante...

Figura 3: Sistema eletricamente isolado



1.8.1 CONDUTORES E ISOLANTES

São ditos materiais condutores aqueles onde partículas portadoras de carga elétrica têm grande liberdade de movimento, onde podemos destacar o GRAFITE e os METAIS como condutores eletrônicos (permitem mobilidades a elétrons) e GASES IONIZADOS e SOLUÇÕES ELETROLÍTICAS como condutores iônicos (permitem mobilidades a átomos e moléculas carregados).

Já aqueles ditos isolantes (dielétricos), são matérias onde os portadores de carga elétrica têm dificuldade de movimento. Alguns materiais, como o silício por exemplo, têm características intermediárias, assim são denominados semicondutores.

ELETRIZAÇÃO

Um corpo é dito eletrizado quando seu número de elétrons é diferente do seu número de prótons.

Número de elétrons > Número de prótons --negativamente carregado

Número de elétrons < Número de prótons --positivamente carregado

$$Q = +/- n . e$$

Q – Carga do corpo

n – Número de elétrons perdidos (+) ou recebidos (-)

e – Carga elementar ($1,6 \times 10^{-19}$ C)

A eletrização pode ocorrer por atrito, quando dois corpos neutros de matérias diferentes são atritados ocorre uma troca de elétrons entre eles, ambos são eletrificados com valores absolutos iguais, porém de cargas opostas, uma vez que um corpo ganha o mesmo número de elétrons que o outro perdeu.

Na eletrização por contato, um condutor eletrificado em contato com um condutor neutro eletrifica-o com o mesmo sinal que possui.

Na eletrificação por indução, um condutor neutro (mesmo número de cargas positivas e negativas) isolado, uma vez em contato com um indutor (corpo carregado), polariza suas cargas tornando-se um condutor induzido. O induzido ao ser estabelecido com ele uma ligação com o solo (fio terra), caso o indutor seja positivo, atrairá elétrons tornando-se negativo. Caso a carga do indutor seja negativa, o induzido perderá elétrons tornando-se positivo.

1.8.2 LEI DE COULOMB

“O módulo da Força de interação eletrostática (F) entre duas partículas carregadas é diretamente proporcional ao produto dos valores absolutos de suas cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas”

$$F = K_0 \times \frac{|q_1| \times |q_2|}{2 \times d}$$

$K_0(\text{v\u00e1cuo}) = 9 \times 10^9 \text{ N.m}^2 / \text{C}^2$

q_1 = carga puntiforme 1

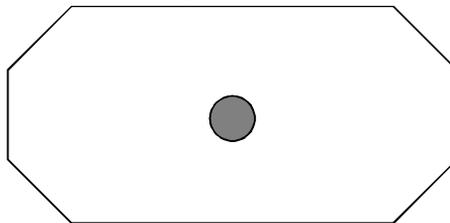
q_2 = carga puntiforme 2

d = distância entre as cargas

1.8.3 CAMPO EL\u00c9TRICO

Pode se definido como campo el\u00e9trico, o espa\u00e7o em torno de uma carga ou superf\u00edcie carregada (Q) onde qualquer corpo carregado fica sujeito a uma For\u00e7a de origem el\u00e9trica.

Figura 4: Campo el\u00e9trico da carga Q



Analogamente ao campo gravitacional, onde um corpo de massa M esta sujeito a uma For\u00e7a de atra\u00e7\u00e3o gravitacional (P), a For\u00e7a Peso. Sendo g o vetor do campo gravitacional (vetor da acelera\u00e7\u00e3o gravitacional).

$$P = M \times g$$

Assim, colocando-se uma carga de prova q em um ponto P de um campo elétrico, pode se definir o vetor do campo elétrico (E) em P , dado em Newton por Coulomb no SI.

$$F = qE \text{ ou } E = \frac{F}{q}$$

$$E = \frac{K \times |Q|}{2d}$$

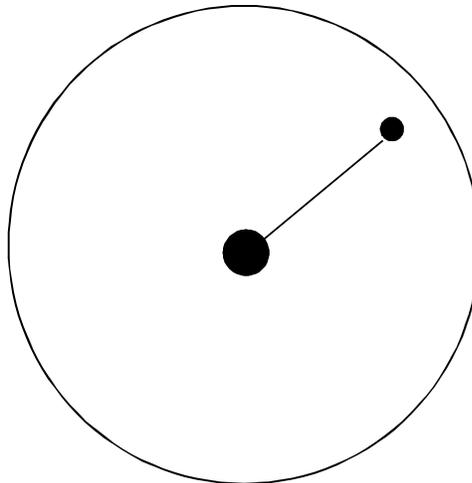
O vetor E de diversas cargas é representado pela soma vetorial destas cargas $E = E_1 + E_2 + \dots + E_i$. Considerando F e E com sentidos iguais quando $q > 0$ e com sentidos opostos quando $q < 0$.

1.8.4 POTENCIAL ELÉTRICO

Pode ser definido potencial elétrico (V) como a Energia potencial adquirida por unidade de carga quando um corpo eletrizado é imerso em um campo elétrico, dado em Joule por Coulomb no SI, o VOLT.

Considerando uma partícula fixa de carga Q em um ponto P , no interior de um campo elétrico gerado por Q , distante d da partícula, temos:

Figura 5: Potencial elétrico adquirido em um campo elétrico



$$V_P = \frac{K \times Q}{D}$$

$$V_P = V_1 + V_2 + \dots + V_i \text{ (múltiplas cargas)}$$

1.8.5 CORRENTE ELÉTRICA

Sabe-se que, no interior de um condutor metálico em equilíbrio eletrostático, o campo elétrico resultante é nulo e o potencial elétrico é constante, assim em seu interior elétrons livres apresentam-se em movimento desordenado. Considerando um fio metálico inicialmente em equilíbrio eletrostático, ao se estabelecer uma diferença de potencial (DDP) entre suas extremidades, surge no seu interior um campo elétrico (E). Desta forma, cada elétron livre fica

5. Biofísica dos Sistemas Biológicos

sujeito a uma Força elétrica de intensidade $F = q \cdot E$, que causa um movimento ordenado destes elétrons no sentido contrário ao do vetor E , constituindo o que se denomina de CORRENTE ELÉTRICA

Figura 6: Corrente elétrica em condutor metálico em relação à diferença de potencial



Por convenção, o sentido da corrente elétrica é dado contrário ao movimento real dos elétrons, portanto no mesmo sentido de E :

“Corrente elétrica é o movimento ordenado de elétrons livres no interior de um condutor metálico”

Intensidade de corrente elétrica (i)

$$i = \frac{q}{\Delta t} \text{ logo sendo } q = n \times e, \quad i = \frac{n \times e}{\Delta t}$$

Onde Δt é o temp que uma carga q leva para percorrer um seguimento de um condutor. Assim, a unidade de intensidade de corrente elétrica é o Coulomb (C) por segundo(s), denominada Ampère (A).

A corrente elétrica é dita CONTÍNUA quando o vetor campo elétrico (E) é constante ao longo do tempo, e é dita ALTERNADA quando o vetor campo elétrico apresenta uma variação senoidal ao longo do tempo.

1.9. TRANSPORTE DE SUBSTÂNCIAS

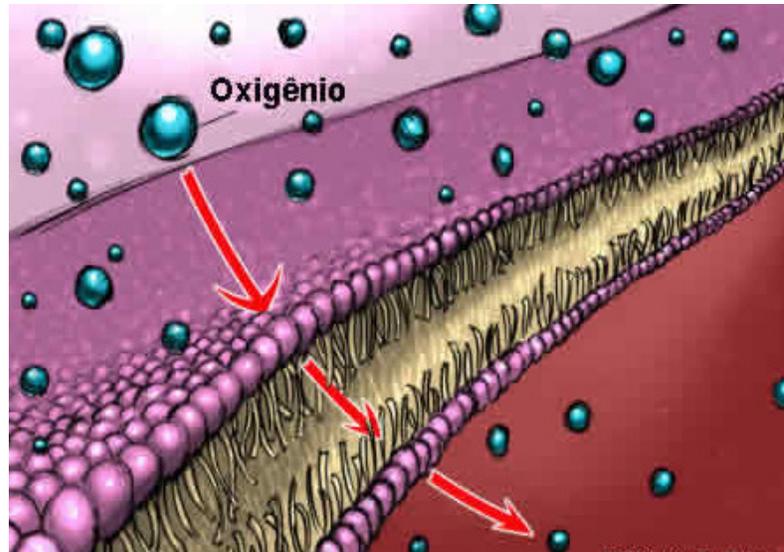
O transporte através da membrana celular, seja diretamente, através de canais ou poros na membrana plasmática ou por meio das proteínas carreadoras, como a sódio/potássio ATPase, concorrem para manter uma distribuição assimétrica entre os meios intra e extracelular.

A difusão (também chamada de transporte passivo) ocorre de uma região de maior concentração para outra de menor concentração; em outras palavras, de onde tem mais para onde tem menos na procura do equilíbrio de concentração. A figura 7 mostra o oxigênio se difundindo de uma região de maior concentração, o alvéolo pulmonar, para outra de menor concentração, o capilar alveolar.

Já o transporte ativo é realizado com gasto de energia, principalmente do ATP, produzindo o movimento contrário ao transporte passivo, ou seja conduz a substâncias para o meio mais concentrado na tentativa de manter o desequilíbrio de concentração, como podemos ver na figura 8 onde a bomba de próton mantém o desequilíbrio, criando um gradiente de concentração para o íon H^+ .

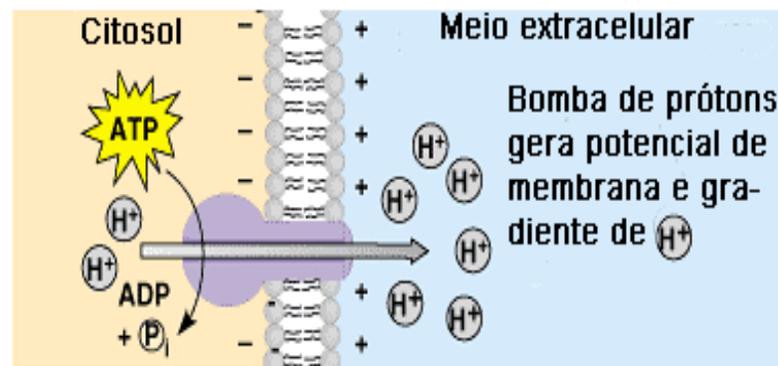
Ainda podemos definir difusão como movimento aleatório de substâncias, molécula a molécula, seja pelos espaços intermoleculares da membrana, seja em combinação com uma proteína carreadora. A energia produtora da difusão é a energia do movimento cinético normal da matéria.

Figura 7: Difusão do oxigênio através da membrana respiratória



Fonte: <http://www.saude.hsv.uol.com.br> (2009)

Figura 8: bomba de prótons mantendo distribuição assimétrica de íons



Bomba de Prótons

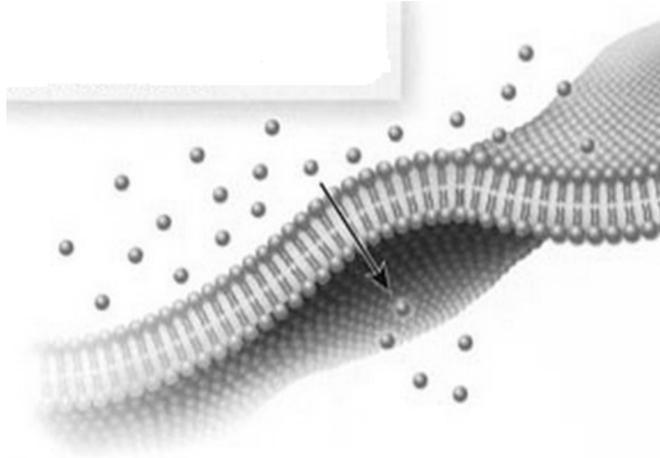
Fonte: <http://www.virtual.epm.br/material/tis/curr-bio/trab2004/1ano/membrana/bomba.gif> (2009).

A passagem de substâncias através da membrana celular e das paredes dos capilares depende fortemente da difusão, onde o deslocamento destas moléculas e íons dependem de sua energia térmica que promovem agitação térmica nas moléculas e íons, ou seja, energia cinética.

A energia térmica em um sistema é revelada na agitação térmica de suas moléculas, quanto maior a temperatura mais rapidamente os íons e moléculas do sistema irão se difundir.

Podemos analisar a semelhança entre as figuras 7 e 9, onde a difusão ocorre na primeira através das parede alveolar e da parede do capilar pulmonar (as duas juntas constituem a membrana respiratória), enquanto na última a difusão ocorre através da membrana plasmática. Devemos ressaltar neste instante, a importância da distância para o processo de difusão, uma vez que quanto maior o percurso menor a difusão da partícula. Assim, moléculas e íons só podem se difundir até determinado limite; veja que o oxigênio só se difunde através de cerca de 100micrometros entre células, fator que limita a distância entre capilares sanguíneos.

Figura 9: Difusão através da membrana plasmática



Fonte:<http://correia.miguel25.googlepages.com/membranacelular&usg> (2009)

Quando consideramos o transporte ativo, ainda podemos dizer que este se revela no movimento principalmente de íons, porém também pode ocorrer com átomos ou moléculas não carregadas, através da membrana, em combinação com proteínas carreadoras.

Como o transporte ativo ocorre contra um gradiente de energia, como na situação citada anteriormente e ilustrada na figura 8, de um estado de baixa concentração para um de alta concentração, é um processo que exige fonte adicional de energia, uma vez que a energia cinética atua movimentando as moléculas em sentido contrário ao movimento ativo.

Não resta dúvida de que o principal compartimento para a análise do deslocamento de substâncias é a célula, seja no deslocamento para o meio intracelular (influxo) ou para o meio extracelular (efluxo). Assim, é importante ressaltar que é através da membrana plasmática, ocorrendo influxo ou efluxo, a célula dispõe do movimento passivo, assim como também do movimento ativo, eventos concomitantes que mantêm as concentrações intra e extracelulares (Figura 10).

Quando olhamos a figura 6, fica fácil perceber a diferente composição entre os meios, devemos pensar que tais proporções são fruto dos movimentos constantes e concomitantes passivo e ativo de diversos destes componentes, assim como das diferentes permeabilidades oferecidas às diferentes substâncias, chegando, como no caso das proteínas, a impedir completamente o movimento de substâncias.

Assim, no meio intracelular a concentração de proteínas é infinitamente superior a sua presença no meio extracelular, uma vez que elas são muito grandes e não podem deixar a célula através da membrana celular. Assim, contidas na célula as proteínas conferem modificação no movimento de água, é a pressão osmótica ou colidossmótica. A propósito, meu caro estudante, é o que nos falta estudar para iniciarmos nosso ingresso nos potenciais celulares. Porém, antes, vamos a uma rápida revisão do que já vimos acerca de transporte de substâncias.

Figura 10: Concentrações iônicas comparativas dos meios intra e extracelulares

	EXTRACELLULAR	INTRACELLULAR
Na ⁺	142 mEq/L	10 mEq/L
K ⁺	4 mEq/L	140 mEq/L
Ca ⁺⁺	2.4 mEq/L	0.0001 mEq/L
Mg ⁺⁺	1.2 mEq/L	58 mEq/L
Cl ⁻	103 mEq/L	4 mEq/L
HCO ₃ ⁻	28 mEq/L	10 mEq/L
Phosphates	4 mEq/L	75 mEq/L
SO ₄ ⁻	1 mEq/L	2 mEq/L
Glucose	90 mg/dl	0 to 20 mg/dl
Amino acids	30 mg/dl	200 mg/dl ?
Cholesterol	0.5 g/dl	2 to 95 g/dl
Phospholipids		
Neutral fat		
PO ₂	35 mm Hg	20 mm Hg ?
PCO ₂	46 mm Hg	50 mm Hg ?
pH	7.4	7.0
Proteins	2 g/dl (5 mEq/L)	16 g/dl (40 mEq/L)

Fonte: Guyton e Hall, 1997

1.9.1 DIFUSÃO (TRANSPORTE PASSIVO)

- Movimento espontâneo dos componentes de uma solução da maior para a menor concentração;
- Não há gasto de energia;
- Ocorre para buscar um equilíbrio, desfaz um gradiente de concentração;
- É diretamente proporcional à temperatura e ao gradiente de concentração;
- É inversamente proporcional à distância e ao tamanho da partícula difundida.

1.9.2 TRANSPORTE ATIVO

- Movimento provocado por proteínas carreadas como a bomba de Na/K e a bomba de prótons da região de menor concentração para a de maior concentração;
- Ocorre com gasto de energia, geralmente do ATP;
- Ocorre procurando manter ou produzir um gradiente de concentração, proporciona uma distribuição assimétrica de íons;
- É típico dos ambientes biológicos, a sede destas proteínas carreadoras é a membrana plasmática, comumente ocorrendo através dela.

Assim nos resta analisar o movimento de água e relacioná-lo aos movimentos passivo e ativo já brevemente descrito. Vejamos, portanto, nosso próximo tópico como uma complementação deste.

1.10. TRANSPORTE DE ÁGUA ATRAVÉS DA MEMBRANA - OSMOSE

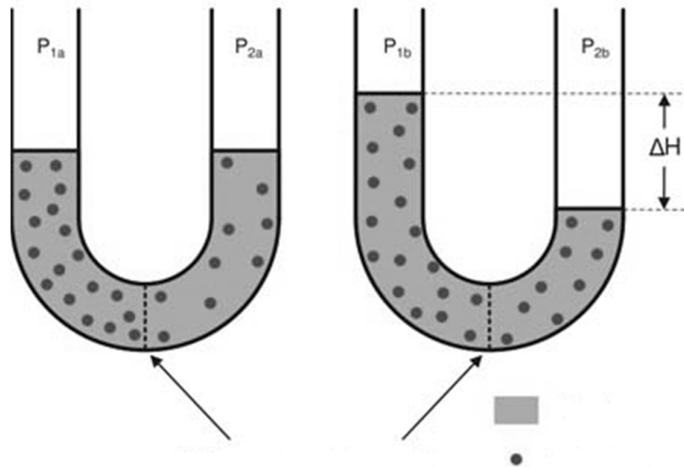
Para discutirmos, mesmo que brevemente, o movimento da água, teremos que ser capazes de compreender a interferência das pressões osmótica e hidrostática em soluções aquosas.

5. Biofísica dos Sistemas Biológicos

Uma solução é composta pelo solvente; no nosso estudo, será a água. Assim quando nos referirmos à água, estaremos falando do solvente e vice-versa, e também pelos seus solutos, as substâncias dissolvidas no ambiente da solução.

Como nós já vimos, as substâncias dissolvidas irão se difundir da região de maior para menor concentração, procurando equilibrar suas concentrações. Mas e a água, como se difundirá? Veja a figura 11, ela mostra a água se difundindo através de uma membrana permeável, indicada pelas setas para uma região de maior concentração, este movimento é a osmose e sua força motriz é a pressão osmótica.

Figura 11: Movimento de água por osmose procurando a região mais concentrada



Fonte: <http://correia.miguel25.googlepages.com/membranacelular&usg> (2009)

A pressão osmótica surge sempre entre dois meios de concentrações diferentes conduzindo a água a diluir o meio mais concentrado, e como trata-se de um movimento passivo também procura levar o sistema ao equilíbrio.

No sistema descrito na figura 11, observamos a passagem da água para o meio mais concentrado, e enquanto vai diluindo a solução a água também irá aumentar a coluna líquida, ou seja, a quantidade de água deste lado da solução, no lado que a recebe. Assim, com o aumento da coluna líquida, vai ser gerado um desnível de colunas entre os meios, demonstrado na figura pelo delta H, onde a região antes mais concentrada também terá mais água, enquanto a região antes menos concentrada também terá menos água. Desta forma, podemos observar que o movimento da água por osmose também procura o equilíbrio de concentração.

Porém, o aumento da coluna líquida gera um outro tipo de pressão, relativa à quantidade de água no sistema, trata-se da pressão hidrostática. Como existe agora mais água do lado mais concentrado, a pressão hidrostática ali também aumenta, enquanto diminui do lado oposto. Neste instante, a água passa de volta ao meio menos concentrado reequilibrando as colunas líquidas, enquanto leva consigo os solutos que se difundem equilibrando as concentrações. O sistema está em equilíbrio.

No entanto, caso os solutos não possam atravessar a membrana, como ocorre com as proteínas que são muito grandes para atravessar a membrana plasmática, a água permanecerá no meio mais concentrado e o sistema se equilibrará com pressão osmótica deslocada para um lado, devido a diferença de concentração, e a pressão hidrostática deslocada para o outro lado, devido a diferentes quantidades de água reveladas no desnível entre as colunas. Assim, a pesar

de não ter concentrações equilibradas, tampouco quantidade iguais de água nos dois lados da membrana, o sistema está em equilíbrio, uma vez que as pressões são iguais e opostas. É o equilíbrio de Gibbs.

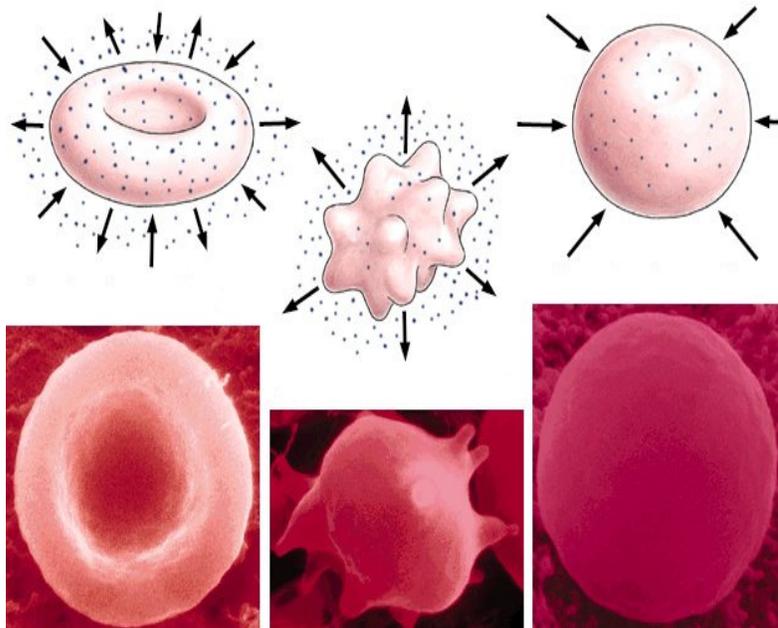
No ambiente celular, nos meios intra e extra celulares, podemos ver esta relação entre pressões, concentrações e quantidades de água quando submetemos um mesmo tipo de célula a meios com concentrações distintas, é o que mostram as figuras 12 e 13

Figura 12: Hemácia no plasma com concentração fisiológica normal mantendo sua tonicidade pelo equilíbrio das pressões osmótica e hidrostática



Fonte: <http://www.kwk.com.br/news3/153.jpg> (2009)

Figura 13: Movimento da água através da membrana de hemácia colocada em meios de concentrações diferentes.



$Phid = Posm$ $Phid > Posm$ (meio Hipertônico) $Phid < Posm$ (meio Hipotônico)

Fonte: <http://sanabria.j.googlepages.com/osmosis2.gif/osmosis2-full.gif> (2009)

5. Biofísica dos Sistemas Biológicos

Segundo Ayres (2008), em condições fisiológicas, as hemácias encontram-se em equilíbrio osmótico com o plasma sanguíneo, e seu volume é constante. No caso de colocarmos as hemácias em soluções de concentrações distintas daquela do plasma, ocorrerá alteração do volume celular.

Pois, vejamos: se colocarmos uma suspensão de hemácias em uma solução com menor concentração do que o plasma, observaremos, assim, que elas incham, indicando que a nova solução banhante é hipotônica. As hemácias nesta solução atingem um novo equilíbrio osmótico com volume maior que o original, porém não chegam a se romper. Transferindo outra suspensão de hemácias para uma solução ainda menos concentrada, observaremos a hemólise, ruptura das hemácias com perda do seu conteúdo, uma vez que a solução é tão pouco concentrada que a pressão osmótica gerada no sentido de diluir o meio intracelular é suficientemente forte para romper a membrana plasmática.

Na solução com concentração significativamente maior do que o plasma sanguíneo, a pressão osmótica para o influxo é menor do que a resultante de pressão no sentido do efluxo. Portanto, a água flui inicialmente para fora da hemácia, diminuindo o volume celular, e a crenação, ou seja, a formação de hemácias crenadas como visto na figura 8. Porém, com o passar do tempo, à medida que as moléculas de soluto penetram na hemácia, pelo processo já discutido de difusão, arrastam consigo a água; conseqüentemente, a hemácia começa a inchar até se hemolisar. Isto revela a relação entre pressão osmótica e hidrostática no ambiente celular.

Até agora observamos o movimento de substâncias sem carga elétrica. A carga em si já discutimos durante a introdução. Porém, para neste instante, discutiremos como a carga elétrica, dos meios e das substâncias, interferem no movimento destas partículas.

Quando um íon apresenta uma diferença de concentração através da membrana, a força difusional associada pode ser neutralizada por uma força elétrica, ou seja, o movimento do íon depende tanto do gradiente de concentração quanto da atração ou repulsão que podem ocorrer da relação entre a carga predominante do meio e a carga do íon.

Assim, aplicando uma diferença de potencial (DP) através da membrana, o fluxo iônico resultante pode ser anulado ou aumentado. A esta DP, que anula o fluxo iônico, demos o nome de potencial de equilíbrio eletroquímico do íon, e quando a DP é capaz apenas de modificar, aumentando ou diminuindo o fluxo difusional, temos um gradiente eletroquímico, onde deve ser levado em consideração tanto a diferença de concentração, quanto a carga elétrica.

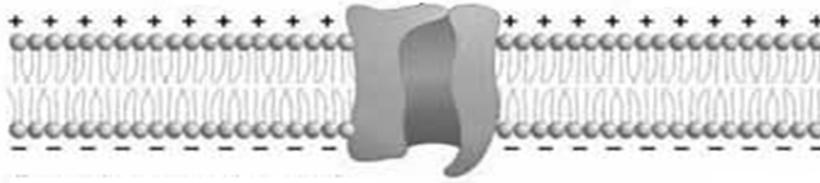
Desta forma, podemos dizer que um íon movimenta-se de acordo com o seu gradiente eletroquímico, onde consideramos, além do gradiente de concentração, o gradiente elétrico entre os meios e a própria carga do íon.

1.11. POTENCIAIS CELULARES

1.11.1 POTENCIAL DE REPOUSO

Segundo Ayres (2008), as células vivas caracterizam-se por manter um potencial negativo no citoplasma, gerando uma diferença de potencial elétrico (DP) através da membrana plasmática. Esta DP, que pode variar de poucos mV até cerca de 100 mV, é necessária para uma série de processos que ocorrem na membrana celular. Todas as células humanas apresentam carga interna negativa e carga externa positiva, como podemos observar na figura 14

Figura 14: Potencial de repouso através da membrana plasmática mostrando a carga interna negativa em contraste com a carga externa positiva



Fonte: Universidade Federal Fluminense (2009)

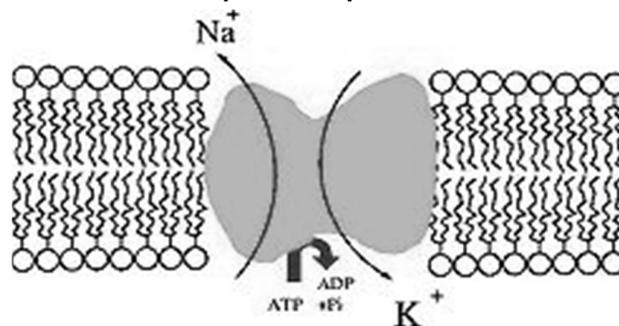
Os principais fatores para a ocorrência deste potencial, denominado potencial de repouso, são a distribuição assimétrica de sódio e potássio e a presença de substâncias negativas, como proteínas aniônicas, íons cloreto e íons fosfato, no interior da célula conferindo um curto excesso de cargas negativas ao meio intracelular.

Durante o potencial de repouso, a célula deve ser capaz de manter certa diferença de potencial entre os meios intra e extracelulares, portanto, não deve ganhar ou perder carga negativa e também não deve ganhar ou perder carga positiva. Isto posto, vamos perceber que a membrana plasmática fecha todos os canais iônicos na tentativa de manter as concentrações, porém não é capaz de impedir totalmente o movimento destes íons. Os íons sódio movimentam-se para o interior da célula através da membrana por canais vazantes, enquanto o potássio sai também por canais vazantes.

O fluxo dos dois íons não é coincidente, o sódio leva mais cargas positivas para o meio intracelular do que aquelas retiradas pelo potássio no seu movimento passivo de efluxo, assim se considerarmos só o movimento passivo a célula estará ganhando carga positiva durante este processo. Este fato não se verifica durante o potencial de repouso. O que estaria modificando ele?

O processo primário que dá origem à DP transmembrana é a diferença de composição iônica entre os meios intra e extracelulares, mantida, essencialmente, à custa da Na^+/K^+ -ATPase, a famosa bomba de sódio e potássio. Caso ela para de bombear sódio e potássio, a composição química do citoplasma tende a se igualar àquela do meio extracelular, e a DP transmembrana tende a zero. Por qual razão isto ocorre?

Figura 15: Bomba de sódio e potássio liberando energia do ATP para bombear 3sódios para dentro e 2 potássios para fora.



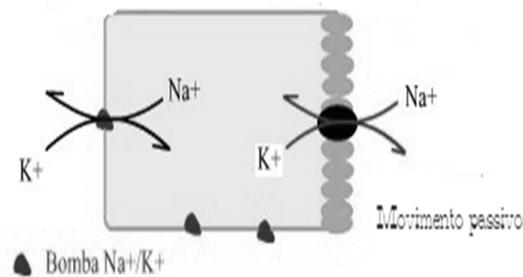
Fonte: fisiologia.kit.net...,2009

A bomba Na^+/K^+ , esquematizada na figura 15, bombeia 3 íons Na^+ que saem da célula em troca de 2 íons K^+ que entram na célula; assim, tende a gerar um déficit de cargas positivas na célula e portanto contribui para manter um potencial negativo no citoplasma. Perceba, meu

5. Biofísica dos Sistemas Biológicos

caro estudante, que durante o movimento passivo há ganho de carga positiva, já no movimento ativo, com a ação da bomba, temos esta carga deixando a célula. Como a proporção da bomba, $3\text{Na}^+ : 2\text{K}^+$, é muito semelhante ao movimento passivo em sentido contrário, temos mantida na célula as concentrações intra e extra celulares destes íons, bem como a diferença de potencial por eles imposta.

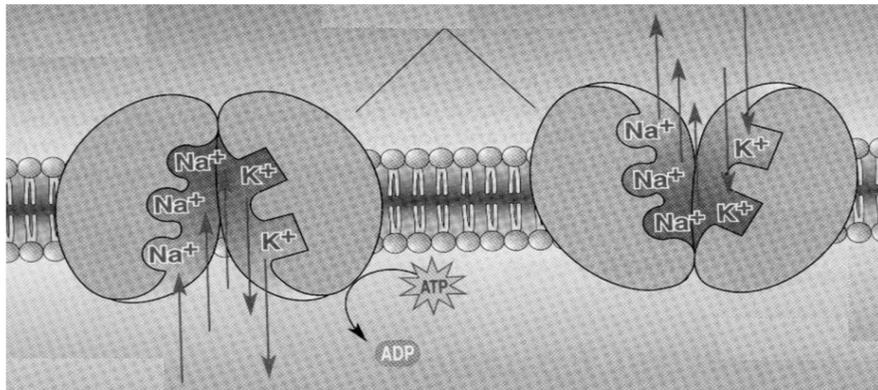
Figura 16: Transporte de sódio e potássio, movimentos passivos contrários e equivalentes ao movimento ativo. Manutenção do potencial de repouso



Fonte: fisiologia.kit.net..., 2009

Assim, podemos dizer que o potencial de repouso ocorre devido a ação da bomba de sódio e potássio (Na^+/K^+ ATPase), que libera e utiliza a energia do ATP para transportar contra seus gradientes eletroquímicos os íons sódio e potássio, desta forma mantendo suas concentrações desequilibradas, mais sódio extracelular e mais potássio intracelular, assim colaborando com a carga interna negativa e externa positiva, através da membrana plasmática.

Figura 17: Manutenção do potencial de repouso pela ação da bomba de sódio e potássio, utilizando-se de energia extraída do ATP para retirar 3Na^+ e introduzir 2K^+



Fonte: www.cienciaviva.com.br (2009)

Devemos ainda ressaltar, que todas as células humanas apresentam potencial de repouso, sendo esta característica importante para que a célula desempenhe sua função, seja ela qual for. Porém, alguns tipos celulares são capazes de sair do repouso quando induzidos (células excitáveis – nervosas e musculares) ou autonomamente (células autoexcitáveis – marcapassos cardíacos) iniciando uma variação do potencial de repouso que se propaga ao longo das membranas excitáveis, de uma célula a outra, nas junções sinápticas (sinapses) e neuromusculares (placa motora), trata-se do potencial de ação.

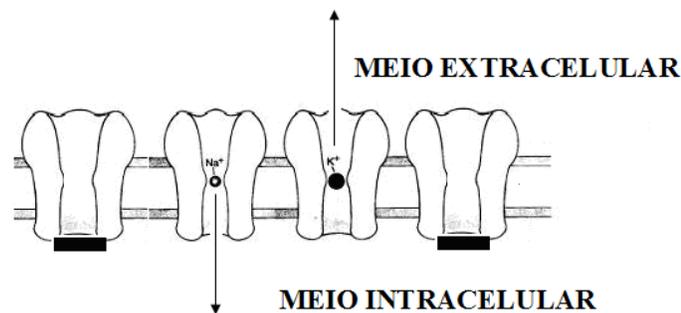
1.11.2 POTENCIAL DE AÇÃO

O potencial de ação é um sinal elétrico em propagação para conduzir uma ordem ou uma notícia. Ele é propagado ao longo da membrana das células nervosas, neurônios, passando de uma célula a outra através das sinapses nervosas, das estruturas nervosas para as estruturas musculares através das placas motoras, e ainda propaga-se nos músculo promovendo sua contração.

Quando um neurônio recebe um estímulo adequado o potencial de repouso de sua membrana, em determinada região, é alterado atingindo um potencial limite mínimo, denominado de limiar excitatório ou limiar de excitação, nesta situação a membrana abrirá seus canais iônicos.

Os canais abertos pela variação da voltagem do repouso até o limiar excitatório são chamados de canais voltagem-dependentes, justamente por eles serem ativados pela variação da voltagem. Estes canais podem ser de vários íons, por exemplo, canais voltagem-dependentes de sódio ou canais voltagem-dependentes de potássio, como observável na figura 18.

Figura 18: Canais voltagem-dependentes sendo abertos pelo limiar excitatório. O movimento dos íons no entanto depende do gradiente eletroquímico. Influxo de sódio, efluxo de potássio.



Fonte: www.cienciaviva.com.br (2009)

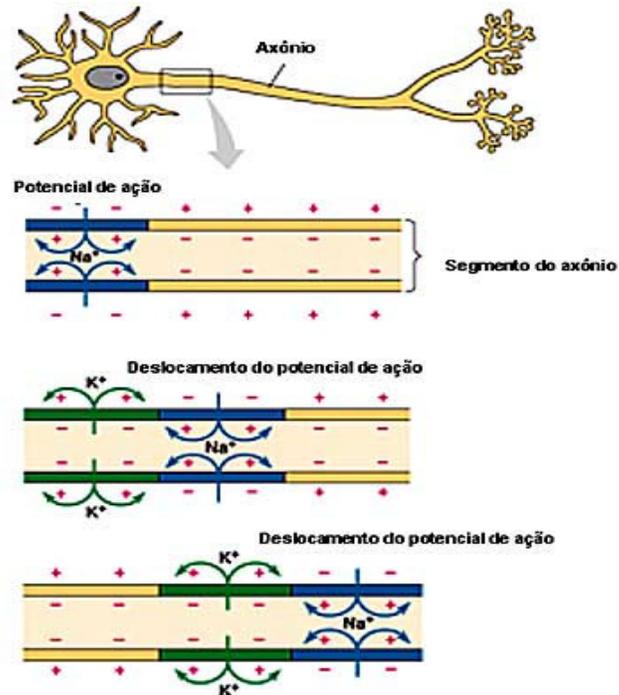
Assim, o potencial de ação inicia-se quando o estímulo adequado promove o limiar excitatório, abrindo os canais voltagem-dependentes. Tal evento promove a entrada de sódio bem além do que a bomba pode retirá-lo. Desta forma, a célula vai ganhando carga positiva até que o meio intracelular tenha a mesma carga do extracelular, é a **DESPOLARIZAÇÃO**.

Após a despolarização, o sódio continua a entrar isto leva o meio intracelular a ficar com carga positiva, enquanto o meio extracelular, que perdeu sódio fica com carga negativa, trata-se da **INVERSÃO** da polaridade.

Logo que ocorre a inversão, os canais voltagem-dependentes de sódio são fechados, abrindo-se os canais voltagem-dependentes de potássio. Este íon passa a sair levando carga positiva para o meio extracelular, restabelecendo a polaridade. Trata-se da **REPOLARIZAÇÃO**.

A figura 19 mostra a ocorrência da despolarização, inversão e repolarização, ao longo da membrana excitável de um neurônio. Logo que um canal voltagem-dependente é aberto, além de permitir o movimento de seu íon, é gerada uma pequena corrente que propaga-se para as regiões adjacentes (vizinhas), promovendo nestas regiões a abertura de mais canais voltagem-dependentes, e, assim, o potencial de ação vai se propagando ao longo da membrana. Assim, podemos dizer que os canais voltagem-dependentes são os responsáveis pela condução nervosa.

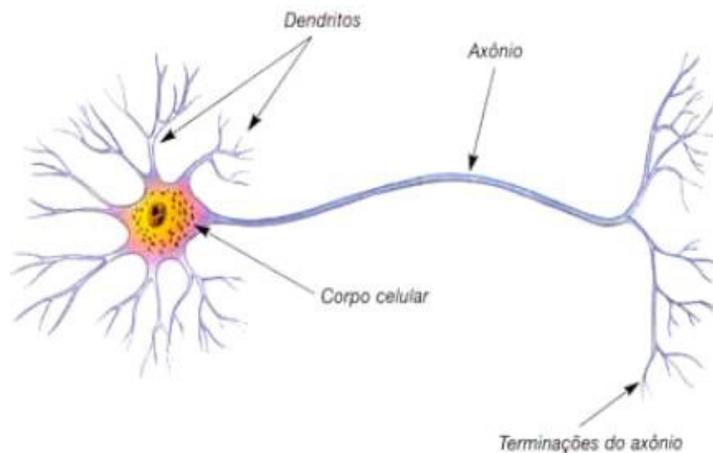
Figura 19: Propagação do potencial de ação ao longo da membrana nervosa



Fonte: http://www.passeiweb.com/na_ponta_lingua/sala_de_aula/biologia/imagens/impulso_nervoso.jpg (2009)

Quando o potencial de ação percorre toda a membrana do neurônio (figura 20) deve ser transferido para outro neurônio, continuando a propagação do impulso nervoso, ou ser transferido para uma estrutura muscular, onde irá provocar a contração deste músculo. Ainda devemos lembrar que tal inervação pode estimular, além de músculos, também glândulas. Aqui falamos dos músculos esqueléticos e da transmissão neuromuscular.

Figura 20: Neurônio motor e suas partes – dendritos, corpo celular (soma), axônio e suas terminações.



Fonte: http://www.passeiweb.com/na_ponta_lingua/sala_de_aula/biologia/imagens/impulso_nervoso.jpg (2009)

Agora iremos descrever a transmissão do impulso nervoso neurônio a neurônio, trata-se das junções neuro-neuronais, ou como são mais conhecidas, sinapses. Cada sinapse (figura 21)

conta com um neurônio pré-sináptico, o espaço entre eles, a fenda sináptica, e o neurônio pós sináptico.

Figura 21: Junção sináptica, neurônio pré-sináptico, fenda sináptica e neurônio pós-sináptico

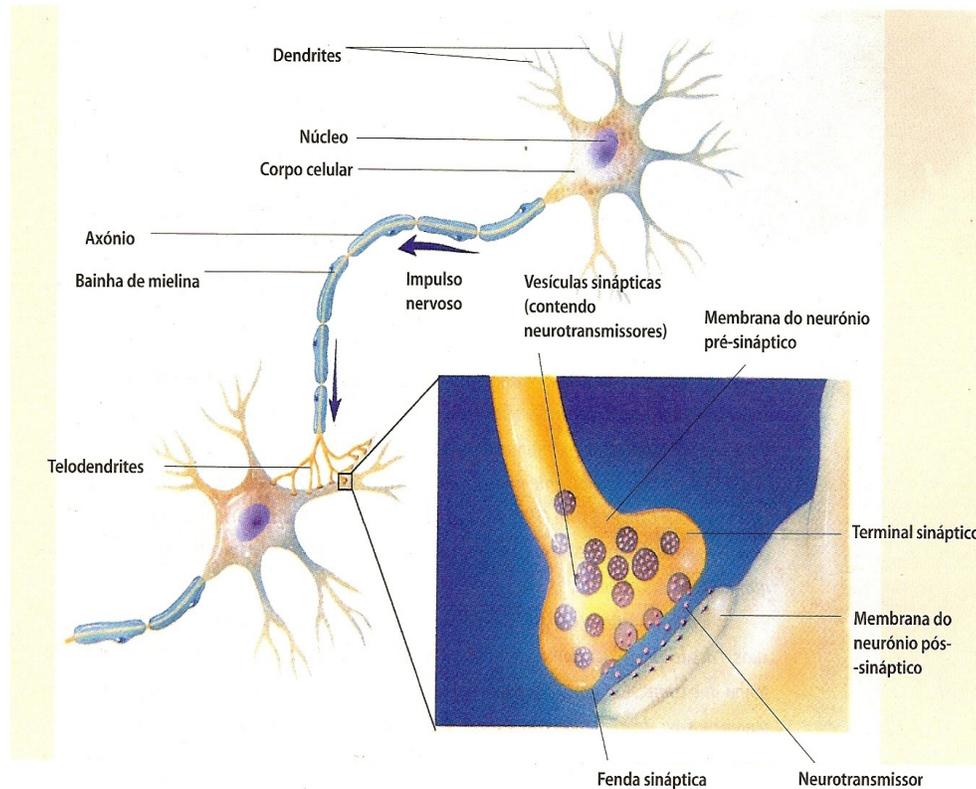


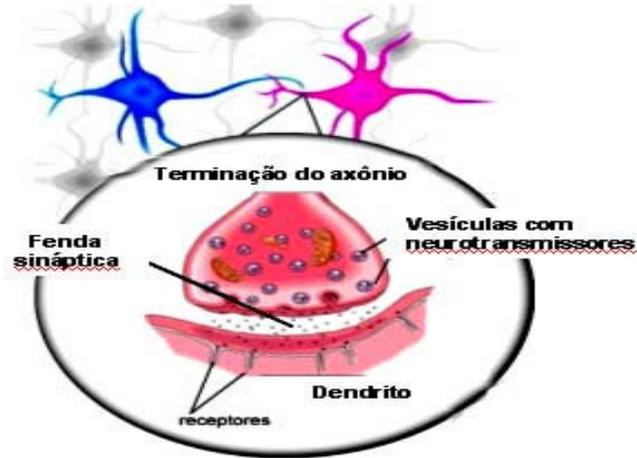
Diagrama de um nervo, mostrando a sinapse, as membranas pré e pós-sinápticas e a acção dos neurotransmissores na comunicação da informação.

Fonte: <http://clarindasousa.no.sapo.pt/images/sinapse.jpg> (2009)

Quando o potencial de ação percorre o neurônio pré-sináptico ocorre a liberação de substâncias químicas, os neurotransmissores presentes nas terminações axônicas dentro de vesículas denominadas de vesículas sinápticas. O neurotransmissor liberado, por exemplo a acetilcolina, inunda a fenda sináptica e liga-se, já no neurônio pós-sináptico, a proteínas receptoras que irão abrir canais iônicos iniciando um novo potencial neste neurônio, estes receptores são proteínas integrais de membrana. Desta forma, o impulso que percorreu a membrana excitável do neurônio pré-sináptico, agora é transferida para o neurônio pós-sináptico, desta forma dando continuidade à transmissão nervosa (figura 22)

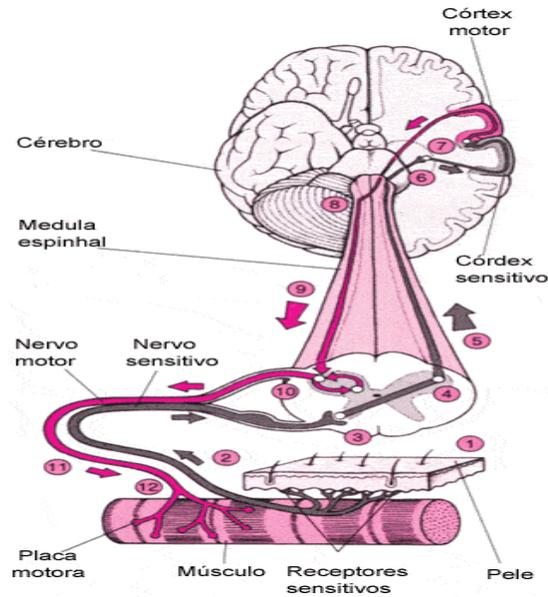
Na transmissão neuromuscular o processo é bastante semelhante, a grande diferença é que na placa motora a membrana muscular só apresenta **DESPOLARIZAÇÃO** e **REPOLARIZAÇÃO**, **não** há a fase de **INVERSÃO**. A conexão neuromuscular apresenta-se ilustrada nas figuras 23 e 24.

Figura 22: Liberação dos neurotransmissores

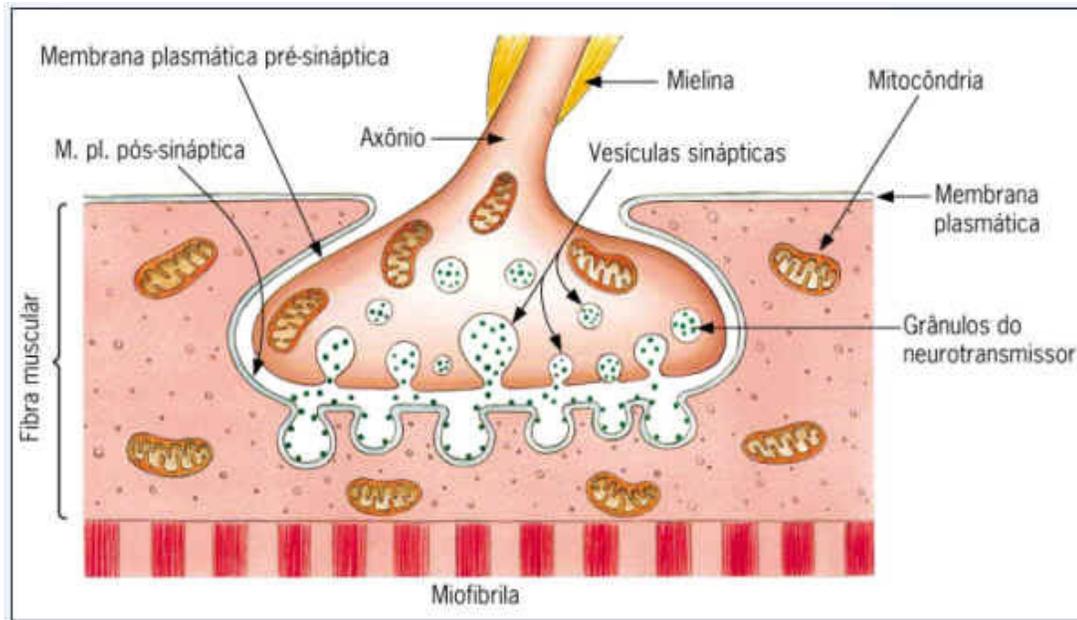


Fonte: http://www.passeiweb.com/na_ponta_lingua/sala_de_aula/biologia/imagens/impulso_nervoso.jpg (2009)

Figura 23: Relação geral entre a atividade nervosa e neuromuscular



Fonte: msd-brazil.com..., 2009

Figura 24: Ampliação esquemática da placa motora

Fonte: Silverthorn (2003)

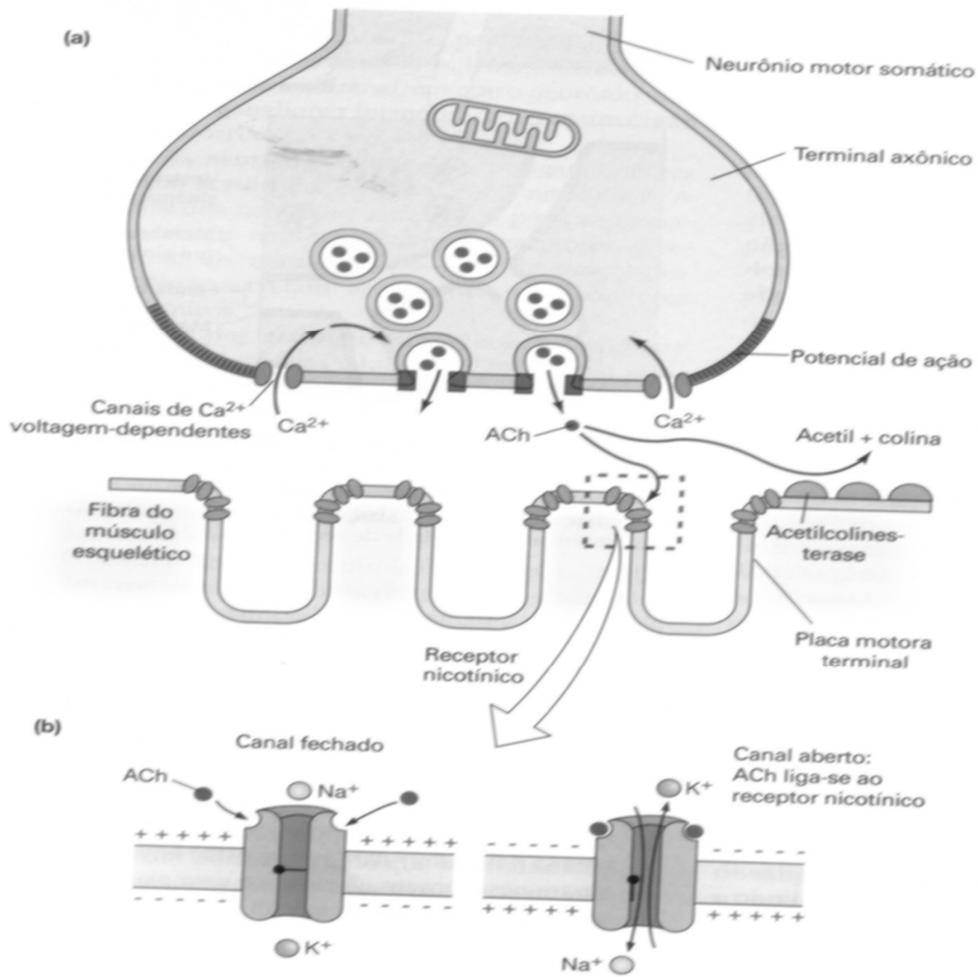
Quando o potencial chega à estrutura muscular, ele se propaga pelos retículos sarcoplasmáticos das células musculares, o que acaba liberando cálcio para o interior da ultra-estrutura do músculo. Lá se encontram os filamentos deslizantes actina e miosina. Em presença de cálcio é liberado energia por reações de quebra de ATP, sendo esta energia utilizada para promover o deslizamento das moléculas de actina e miosina, o que leva à contração do músculo. A figura 26 ilustra o processo de contração muscular mediado por cálcio.

Quando o cálcio chega às miofibrilas, liberado para a estrutura dos filamentos deslizantes pela ação do potencial muscular, promove uma mudança conformacional ao ligar-se à cabeça da molécula de miosina, o que promove a queda da ATP liberando energia para que os filamentos deslizem, assim contraindo a miofibrila.

A contração da miofibrila leva ao encurtamento da fibra muscular, uma vez que as fibras são compostas de milhares de miofibrilas. Quando ocorre a encurtamento da fibra, isto gera a contração do fascículo, que nada mais é do que um feixe de fibras. Com o encurtamento do fascículo é o próprio músculo quem se contrai.

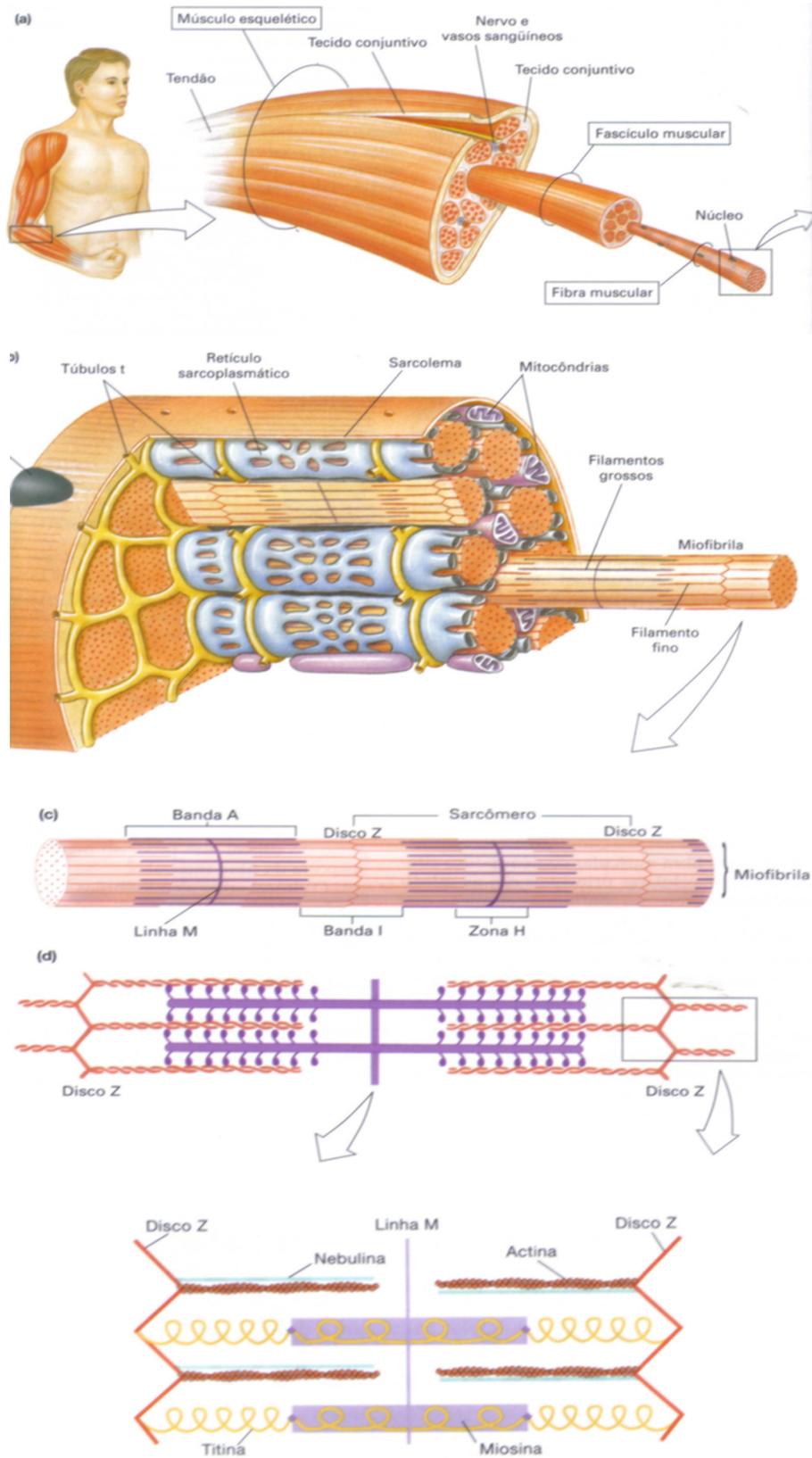
Portanto, a energia do ATP, liberada pela ação do cálcio nas miofibrilas, é a energia responsável pela contração do próprio músculo.

Figura 25: Ampliação esquemática da membrana muscular da placa motora, demonstrando o movimento dos íons no momento da ligação do neurotransmissor acetilcolina.

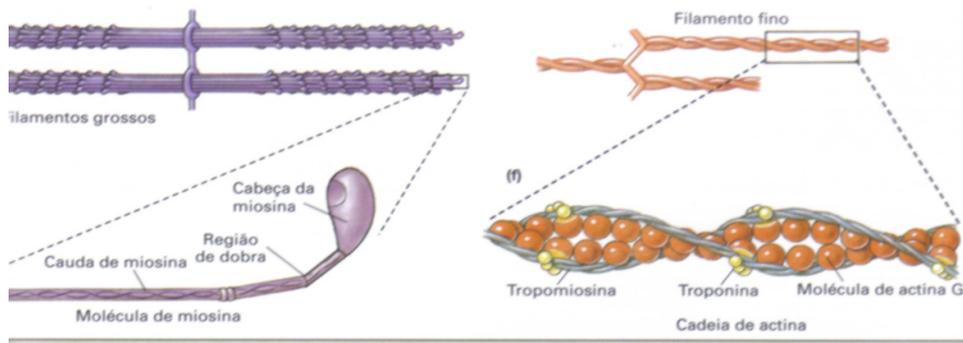


Fonte: Silverthorn (2003)

Figura 26: Estrutura do músculo desde a observação macroscópica até a ultraestrutura deslizante de actina/miosina/tropomiosina



5. Biofísica dos Sistemas Biológicos



Fonte: Silverthorn (2003)

UNIDADE 2

BIOFÍSICA DOS SISTEMAS FISIOLÓGICOS

2.1. BIOFÍSICA DA CIRCULAÇÃO

2.1.1. POTENCIAL DE AÇÃO CARDÍACO

O sistema circulatório humano apresenta três componentes na realização da sua função de levar as mais diversas substâncias a todas as partes do corpo, são eles: o coração, os vasos sanguíneos e o sangue.

O coração é um órgão cavitário (composto de cavidades) oco, dividido em quatro câmaras, duas superiores, os átrios, e duas inferiores, os ventrículos. Na função cardíaca, o sangue flui dos átrios para os ventrículos, cada átrio induz sangue ao seu respectivo ventrículo; átrio direito para o ventrículo direito e átrio esquerdo para o ventrículo esquerdo.

Na contração ventricular, o sangue deixa o coração através das artérias. O ventrículo direito se comunica com as artérias pulmonares, as quais conduzem o sangue venoso bombeado por este ventrículo para serem oxigenados nos pulmões, de onde voltam ao coração pelas veias pulmonares que desembocam, trazendo sangue arterial, no átrio esquerdo.

O ventrículo esquerdo se comunica com a artéria aorta, por onde o sangue arterial é levado para todo o corpo, oxigenando os tecidos. Após os tecidos terem recebido os nutrientes e o oxigênio, o sangue, agora venoso, retorna ao coração através das veias cava inferior e superior, estas desembocam no átrio direito.

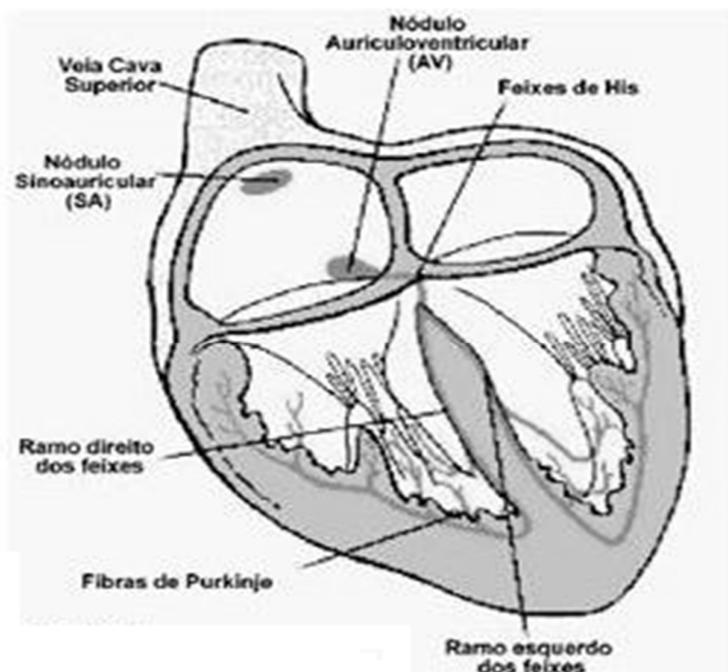
Para bombear o sangue, o coração se vale da contração de sua musculatura, o miocárdio. Porém, esta contração é comandada por um sistema elétrico autônomo composto de marcapassos, que são células autoexcitáveis, e pelo sistema de condução atrial e ventricular, as células de condução. A figura 27 ilustra o sistema elétrico cardíaco, o qual confere autonomia ao órgão.

O potencial de ação cardíaco, valendo-me das ilustrações da figura 27, é iniciado no marcapasso nó sinoatrial de onde chega ao miocárdio atrial, ali se propagando, através das fibras internodais, enquanto o músculo dos átrios se contraem, impelindo assim sangue aos ventrículos. O potencial de ação atrial é encerrado ao nível do septo átrio-ventricular, porém o marcapasso nó atrioventricular estabelece um potencial lento que transferido para os ventrículos.

Nos ventrículos, o impulso chega no feixe de His, pouco abaixo do septo atrioventricular, de onde parte para o ápice do coração através dos ramos direito e esquerdo do feixe de His. A partir do ápice do coração, começam a emergir fibras que vão se ligar ao miocárdio ventricular. O impulso ao chegar no músculo dos ventrículos promove sua contração.

Desta forma, o coração irá se contrair ritmicamente dos átrios para os ventrículos, o que nos leva a concluir que o eixo ou vetor elétrico cardíaco é da base, onde estão os átrios, até o ápice do coração, onde estão os ventrículos. Portanto, podemos afirmar que o eixo elétrico cardíaco é base-apical, o determina a contração cardíaca, átrio-ventrículo.

Figura 27: Sistema de geração e distribuição do potencial de ação cardíaco



Fonte: <http://catarina55550.files.wordpress.com/2008/12/coracao1.jpg> (2009)

2.1.2 ENERGÉTICA DE SÍSTOLE E FLUXO

Quando o potencial de ação cardíaco percorre o coração, o músculo cardíaco se contrai e o sangue é lançado no leito das artérias, este processo é genericamente denominado de sístole. O que pretendemos agora, meu querido estudante, é analisar a física envolvida neste processo simples. Para isto iremos utilizar determinadas grandezas analisadas ainda na introdução, quando realizamos nossa análise dimensional.

Podemos dizer que, a pressão que as paredes dos ventrículos realizam na hora da contração, promove uma mudança no volume do próprio ventrículo, fazendo surgir trabalho. É o trabalho cardíaco.

$$\text{Pressão} \times \text{Volume} = \text{Trabalho}$$

$$\frac{MLT^{-2}}{L^2} \times L^3 = ML^2T^{-2}$$

Este trabalho manifesta-se como energia. Sabemos que trabalho e energia apresentam a mesma dimensional. Quando o sangue, ao ganhar o leito vascular, se desloca ao longo dos vasos sanguíneos estamos vendo a manifestação da ENERGIA CINÉTICA. Portanto, a energia cinética é a própria velocidade de circulação.

Quando o sangue ganha o leito vascular, ele acaba forçando sobre as paredes dos vasos, força esta exercida sobre área, e portanto, Pressão. A estrutura do tecido das principais artérias é relativamente elástica, o que faz com tais vasos sejam expandidos devido à pressão impressa pelo sangue, acumulando ENERGIA POTENCIAL elástica. Portanto podemos afirmar que a energia potencial circulatório é a medida da pressão lateral nas pares dos vasos, em uma artéria, pressão arterial.

Ao circular nos vasos sanguíneos duas outras energias estão presentes, a ENERGIA DISSIPADA, de responsabilidade da resistência ao fluxo, o atrito. Também não podemos desconsiderar a atração da gravidade, que dependendo da orientação do fluxo sanguíneo pode colaborar, no caso do fluxo descendente, ou dificultar a circulação, no caso do fluxo ascendente.

De forma geral, podemos dizer que das energias geradas na sístole:

- ENERGIA CINÉTICA (E_C) = Velocidade de circulação
- ENERGIA POTENCIAL (EP) = Pressão lateral vascular

Porém, às energias presentes no fluxo ainda se somam mais dois componentes, assim as energias no fluxo são:

- ENERGIA CINÉTICA (EC) = Velocidade de circulação
- ENERGIA POTENCIAL (EP) = Pressão lateral vascular
- ENERGIA DISSIPADA (ED) = Atrito
- ENERGIA GRAVITACIONAL (EG) = Aceleração da gravidade

Portanto, podemos revelar a energia total do fluxo sanguíneo (E_{total}) na equação abaixo:

$$E_{total} = EC + EP + ED + EG$$

Ao longo do fluxo sanguíneo, estas energias vão se modificando à medida que o sangue se dirige para os tecidos ou para o pulmão, bem como quando voltam ao coração vindo dos tecidos ao dos pulmões (figura 28).

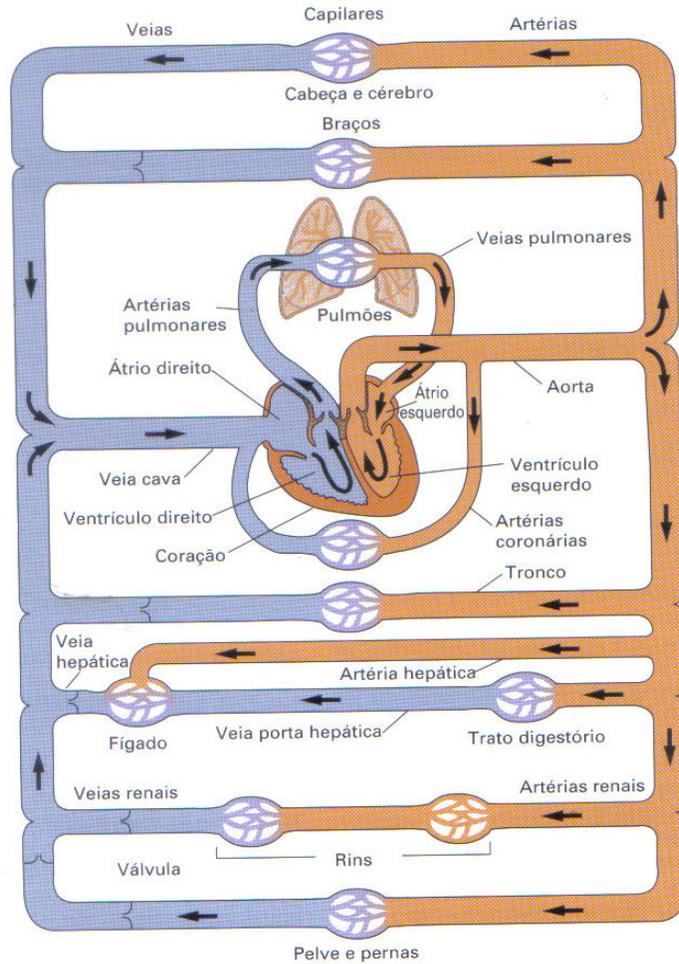
Quando o sangue se distancia do coração em direção aos tecidos, os vasos passam a ser cada vez menos calibrosos (mais finos), porém em número cada vez maior, a energia dissipada (atrito) aumenta muito reduzindo a velocidade de circulação e a pressão lateral. Assim, quando comparamos a velocidade de circulação de uma artéria veremos que é bem maior do que a velocidade de circulação em um capilar. Isto se justifica uma vez que as trocas entre o sangue e os tecidos acontece ao nível de capilar, portanto a velocidade deve realmente ser baixa para permitir tais trocas.

No entanto, devemos ressaltar que o fluxo sanguíneo permanece aproximadamente o mesmo, quando comparamos o setor arterial e o setor capilar. Isto se deve ao fato de que, embora o calibre de um capilar seja infinitamente menor do que o calibre arterial, devemos ressaltar que o número de artérias também é significativamente menor do que o número de capilares. Assim, a área capilar total supera quase mil vezes a área de uma artéria como a aorta.

Ao passar do setor arterial para o setor venoso, ao contrário, ocorre uma redução da área, porém neste instante há aumento da velocidade de circulação, as custa da pressão que continua diminuindo. Este aumento da velocidade mais uma vez garante que o fluxo permaneça sem variação ao longo de todo trajeto.

O sistema circulatório humano é fechado de volume constante, por isto exige um fluxo em regime estacionário, ou seja, que ao longo de todo o trajeto circulatório não tenha variação significativa. Na verdade se você se colocar em atividade física, claro que ocorrerá um aumento do fluxo, mas este se evidenciará igualmente em todo o trajeto.

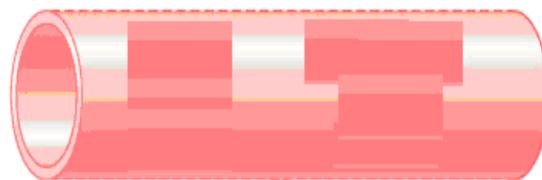
Figura 28: Distribuição do sangue ao longo de todo o organismo humano



Fonte: Silverthorn (2003)

Como talvez você tenha percebido, meu querido estudante, a pressão sempre diminui. Do setor arterial para o setor venoso, diminui devido ao forte atrito na passagem pelos pequenos calibres capilares, para o setor venoso diminui para repor a velocidade que ali deve aumentar. Este fato é conhecido como gradiente pressórico, como o fluxo desloca-se sempre da maior para a menor pressão, ela, a pressão, deverá sempre diminuir para garantir um fluxo sempre a frente, até voltar ao coração (Figura 29).

Figura 29: Gradiente de pressão garantindo sempre o fluxo a frente

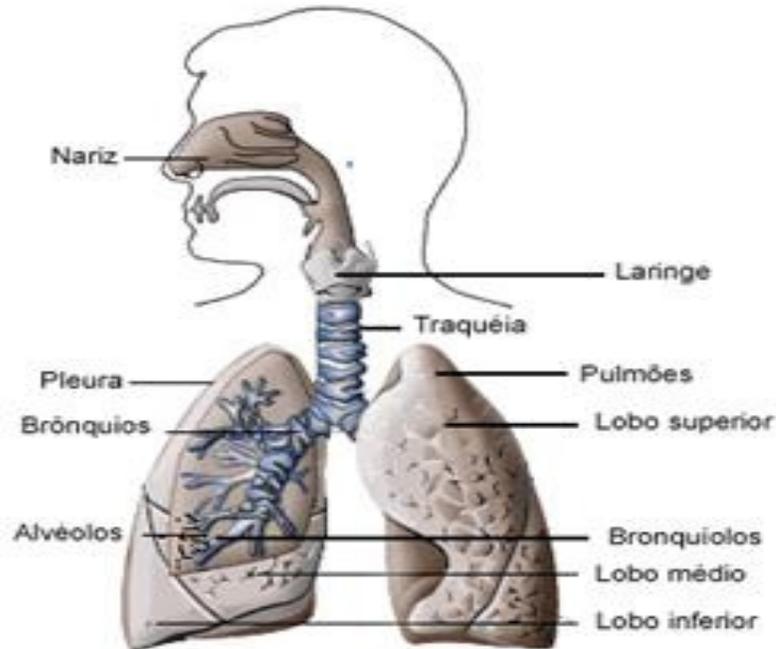


$$P_1 > P_2 > P_3 > P_n$$

2.1.3 MECÂNICA RESPIRATÓRIA E TROCAS GASOSAS

O aparelho respiratório é composto pelas vias aéreas superiores (nariz, faringe, laringe), traqueia, brônquios, bronquíolos e pulmões (figura 30) e tem como principais funções fornecer oxigênio à corrente sanguínea, retirar dela o dióxido de carbono e ainda produzir os sons da fala.

Figura 30: Visão geral do aparelho respiratório

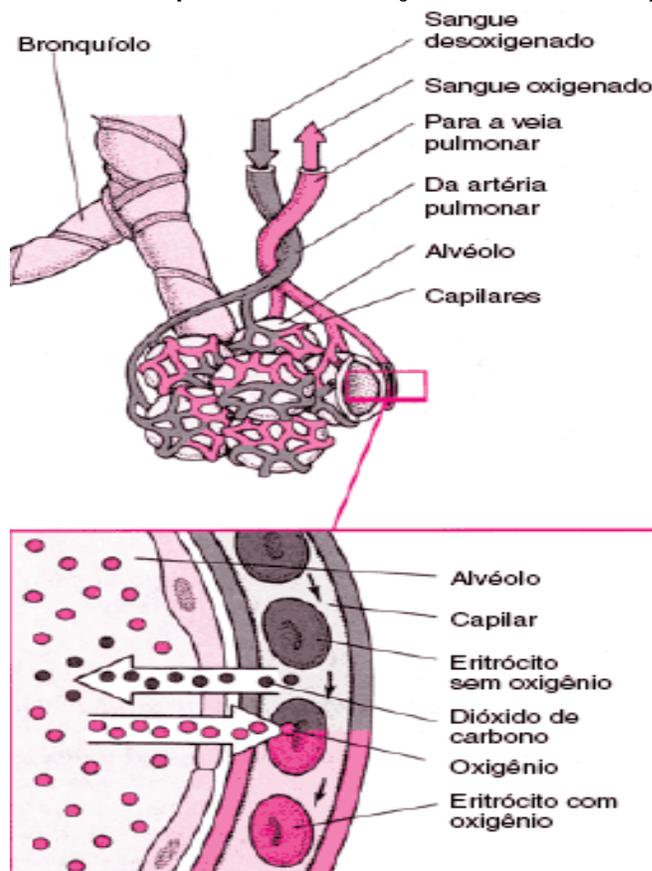


Fonte: <http://biologiasistemarespiratorio.wordpress.com/bronquios-e-bronquiolos/> (2009)

Para desempenhar suas funções, o sistema respiratório deve ser capaz de introduzir certo volume de ar, retirado da atmosfera circundante, nos pulmões, onde em regiões denominadas alvéolos pulmonares o oxigênio (O_2) para a corrente sanguínea, enquanto o dióxido de carbono (CO_2) atravessa a membrana respiratória em direção aos alvéolos pulmonares.

A membrana respiratória é composta pela parede do alvéolo pulmonar, composta por uma única camada de células, e pela parede vascular do capilar alveolar, também contendo uma única camada de células. Assim, são apenas 0,4 micrometros para que o oxigênio se difunda até o sangue (figura 31).

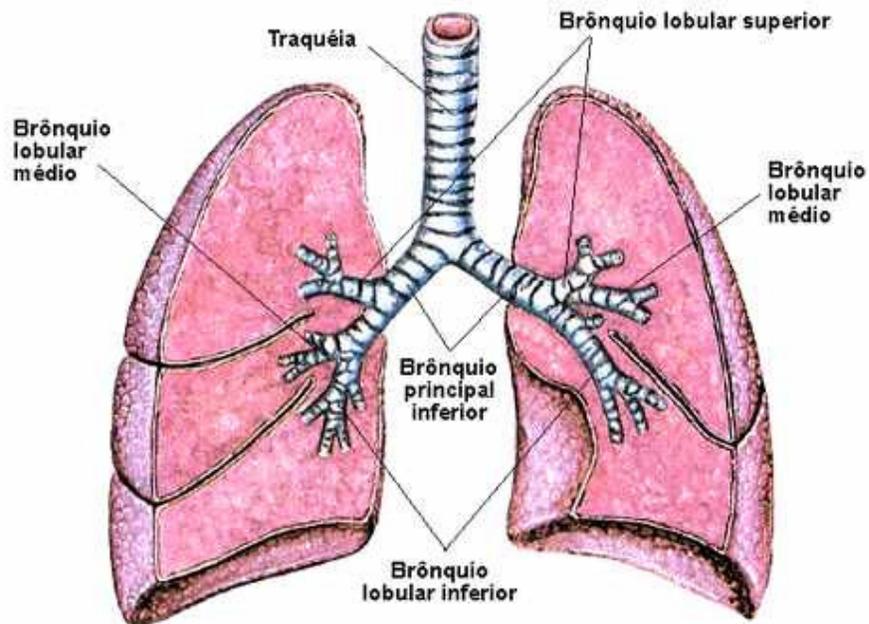
Figura 31: Membrana respiratória e sua relação com os alvéolos pulmonares



Fonte: <http://biologiasistemarespiratorio.wordpress.com/bronquios-e-bronquiolos/> (2009)

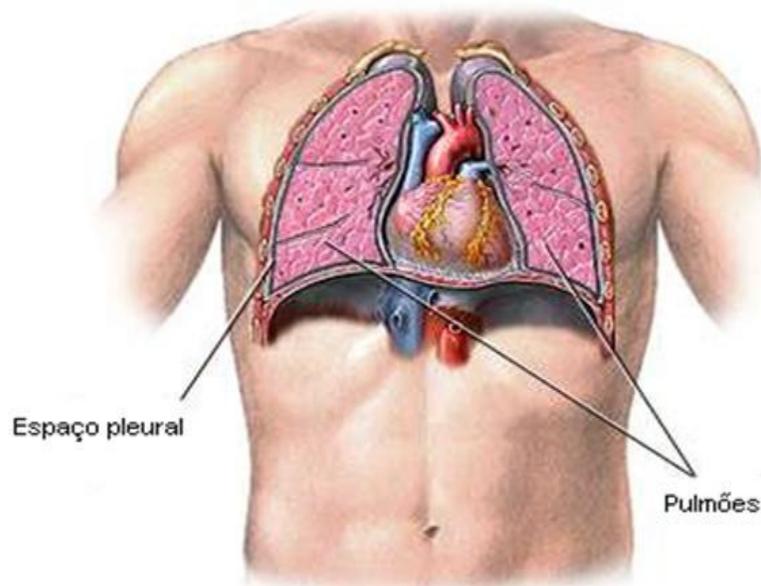
O processo pelo qual o ar atmosférico penetra nos pulmões é conhecido como mecânica respiratória, e está inteiramente relacionado com a caixa torácica e os músculos a ela atrelados. Pois que vejamos, os pulmões estão contidos na caixa torácica, envolvidos em um folheto duplo chamado pleura. Envolvendo o pulmão está a pleura visceral, por sobre esta, e aderida à parede da caixa torácica está a pleura parietal. Entre as duas pleuras está o espaço pleural, lubrificado por um fluido denominado de líquido pleural. É desta relação anatomo-histológica que ocorre a mecânica respiratória. As figuras 32 e 33 mostram a relação do pulmão com as vias aéreas e com as pleuras e caixa torácica.

Figura 32: Vias aéreas, brônquios e pulmões



Fonte: <http://biologiasistemarespiratorio.wordpress.com/bronquios-e-bronquiolos/> (2009)

Figura 33: Os pulmões e o espaço pleural



Fonte: <http://biologiasistemarespiratorio.wordpress.com/bronquios-e-bronquiolos/> (2009)

2.2. BIOFÍSICA DA RESPIRAÇÃO E DA FUNÇÃO RENAL

Quando inspiramos, movemos os músculos, torácicos e abdominais, de tal forma que expandimos a caixa torácica, aumentando a sua área. Esta ampliação da área produz uma redução da pressão pleural (pressão no interior do espaço pleural), como podemos ver na

5. Biofísica dos Sistemas Biológicos

equação abaixo, pois sendo a área inversamente proporcional à pressão, seu aumento implicará na queda da pressão.

Pela definição da grandeza pressão:

$$Pressão = \frac{Força}{Área}$$

Com a redução da pressão pleural, que é menor do que a pressão atmosférica e por isto é dita negativa, os pulmões tendem a se expandir, desta forma reduzindo a pressão no interior do alvéolo, a pressão alveolar também fica negativa.

Sabendo que não há interrupção no trajeto do ar atmosférico até o íntimo alveolar, veremos que o ar entra nos pulmões, desloca-se da maior pressão, que neste instante é no ambiente, para a menor pressão, que neste instante é no alvéolo pulmonar.

À medida que o ar entra, os pulmões se expandem acolhendo o ar. A expansão pulmonar é possível devido a sua histologia, tecido rico em fibras elásticas. Tal condição confere aos pulmões boa complacência. À medida que o ar entra, ao se expandir, os pulmões acumulam energia potencial elástica em sua estrutura.

Uma vez o ar no interior dos alvéolos, o O₂ se difunde de onde é mais concentrado, os alvéolos, para onde sua concentração é menor, o sangue venoso nos capilares em torno dos alvéolos. Neste momento, o CO₂, também por difusão, passa em sentido contrário, do sangue nos capilares alveolares para os alvéolos pulmonares. Desta forma, o sangue venoso que passa nos capilares alveolares perde CO₂ e recebe O₂, assim transformando-se em sangue arterial.

Agora, com as trocas gasosas completas, é preciso expulsar o ar dos pulmões durante um processo denominado expiração. A musculatura torácica e abdominal agora comanda a redução da caixa torácica, promovendo aumento da pressão pleural que apesar de não ficar positiva, continua sempre negativa, é capaz, quando somada à energia potencial elástica acumulada na inspiração, de produzir uma pressão alveolar positiva.

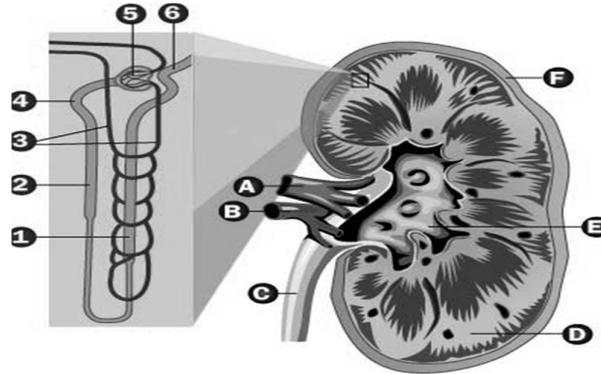
A pressão alveolar positiva leva o ar já trocado a sair dos pulmões, pois neste instante a pressão alveolar supera, por isto é dita positiva, a pressão atmosférica. Assim o ar, também na inspiração movimenta-se da maior para a menor pressão. Este processo inspiração/expiração é conhecido como ciclo respiratório.

2.2.1 PRESSÕES PARA A FILTRAÇÃO RENAL

Os rins são órgãos responsáveis pela manutenção do volume de líquido corporal, bem como da presença e concentração dos mais variados íons, substâncias e também participando da regulação da pressão arterial média, e ainda tendo a tarefa de retirar resíduos e impurezas do sangue.

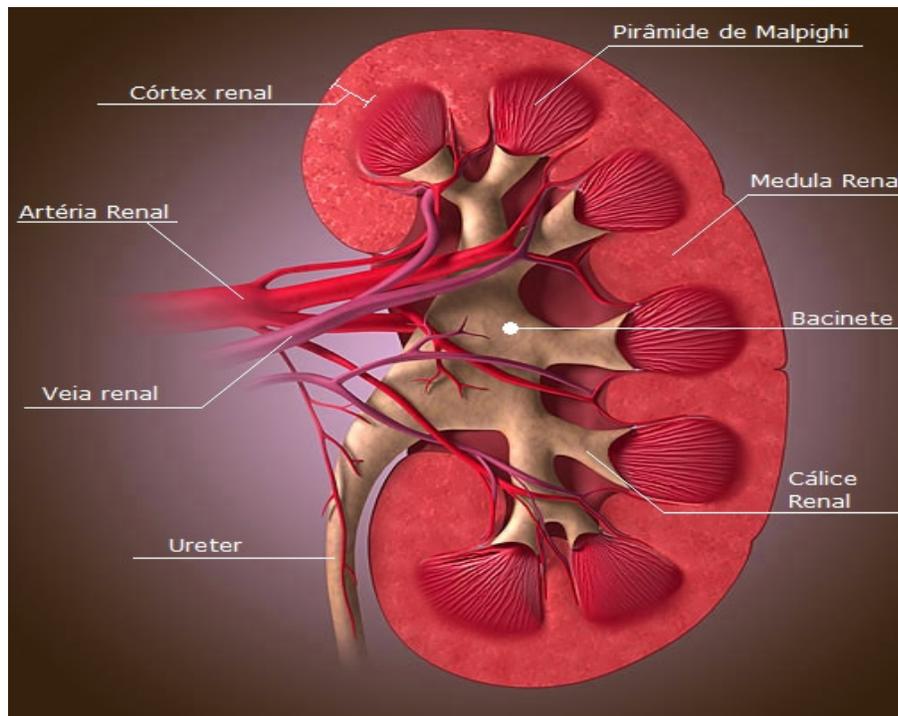
Para realizar suas diversas funções, os rins atuam sob a ação de três processos: filtração glomerular (ocorre nos glomérulos), reabsorção tubular e secreção tubular (ocorrem nos túbulos renais). A estrutura renal está demonstrada nas figuras 34 e 35.

Figura 34: Esquemática da estrutura renal



Fonte: www.drpereira.com.br (2009)

Figura 35: Estrutura renal e a circulação renal

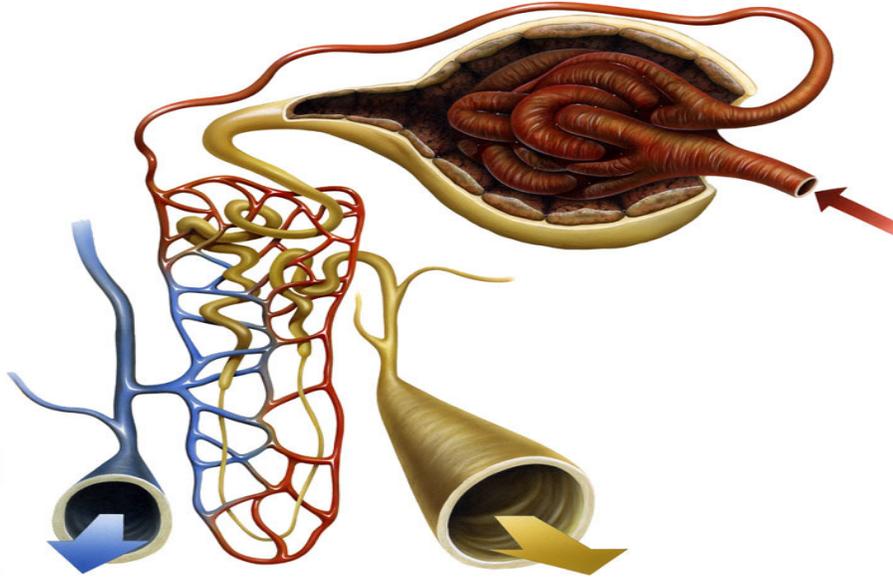


Fonte: <http://saude.hsw.uol.com.br/sangue-artificial1.htm> (2009)

Neste nosso texto, abordaremos apenas a filtração glomerular e as pressões participantes neste processo renal, uma vez que dos três eventos da função renal aquele com uma física mais pronunciada é justamente este.

A circulação renal permite a entrada de sangue vindo da artéria aorta que ramifica-se na artéria renal e esta entra no rim, onde começa a se ramificar até formar a estrutura do glomérulo (figura 36), local onde ocorre a filtração. A ramificação da artéria renal ao penetrar no rim leva à formação das arteríolas renais aferente, que por sua vez penetram na cápsula renal ramificando-se nos capilares glomerulares. É nos capilares glomerulares onde ocorrerá a filtração. Estes capilares confluem para formar a arteríola renal eferente, que deixam o glomérulo para retornar a circulação geral, capilares renais, vênulas e veias dos rins, veia renal, saindo da estrutura e desembocando na veia cava inferior.

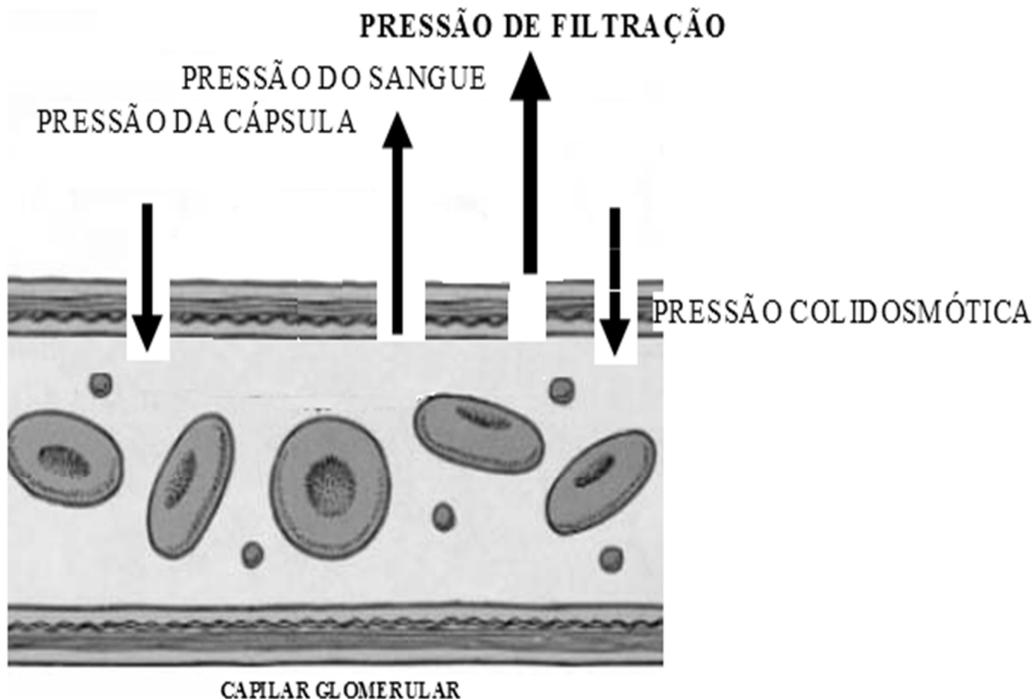
Figura 36: Estrutura do néfron, na parte superior esquerda o glomérulo.



Fonte: <http://saude.hsw.uol.com.br/sangue-artificial1.htm> (2009)

A passagem de sangue pela artéria renal aferente o conduz, entrando na cápsula renal, até os capilares renais (figura 36), onde um sistema de pressão, descrito na figura 37 força o líquido para o interior da cápsula. Como as fenestras dos capilares glomerulares (orifícios na parede capilar que permitem a filtração) não permitem a passagem de células, grandes proteínas ou substâncias de alto peso molecular, apenas os íons e pequenas substâncias, como os resíduos passam para a cápsula renal. Este é o processo de filtração.

Figura 37: Pressão de filtração = pressão do sangue – [pressão da cápsula + pressão colidomótica]



A pressão do sangue nos capilares glomerulares força o líquido para fora dele, enquanto a pressão da cápsula em sentido contrário; ainda devemos destacar a pressão coloidosmótica, que devido à maior concentração do sangue por osmose a água tenderia a passar para o capilar. Porém, a pressão do sangue supera as outras duas juntas, assim o líquido sai dos capilares glomerulares para a cápsula renal, revelando, nos dois rins, uma filtração de 180 litros por dia. Será que nosso organismo pode perder, meu caro estudante, todo este líquido diariamente?

Claro que não, assim após o glomérulo, onde ocorre a filtração, segue-se os túbulos contornados, onde ocorreram a reabsorção e a secreção. Praticamente todo este líquido filtrado é reabsorvido de volta para o sangue, restando apenas 3 a 4 litros por dia.

O líquido produzido na filtração recebe o nome de filtrado, após a reabsorção e a secreção o filtrado se transformou e está pronto para ser eliminado para o meio externo. Este líquido formado do filtrado após a reabsorção e a secreção é denominado de urina.

UNIDADE 3 BIOFÍSICA DAS RADIAÇÕES

3.1. BIOFÍSICA DA CIRCULAÇÃO

3.1.1 RADIAÇÕES E SUAS FONTES

Meu caro estudante, chegamos na última unidade do nosso trajeto em busca do conhecimento na Biofísica. Nesta derradeira fase vamos discutir acerca das radiações e suas fontes, bem como seus efeitos biológicos e aplicações. Serei nesta unidade muito pontual, quero fornecer a vocês conceitos úteis a cerca das radiações, sem entrar em intermináveis cálculos. Quero conceituar, dizer o que é.

A Radiação, por característica, é qualquer entidade capaz de transferir energia de um sistema a outro, independentemente de meio material. Tais entidades podem ser corpusculares ou eletromagnéticas.

Quando a radiação transfere sua energia através de um corpo ou partícula, como por exemplo as partícula α , β +, β -, neutrinos,..., sendo emitidas dos núcleos radioativos (radioisótopos) ela é denominada de **radiação corpuscular**.

A **radiação eletromagnética** é a energia transferida na sua forma pura, através de uma partícula móvel, sem carga e cuja massa só existe em função de sua velocidade, o **Fóton**.

As radiações podem ainda ser classificadas de **ionizantes**, como os Raios gama, e os Raios X, ou **Não-ionizantes**, como as radiações Ultravioleta, Luz visível, Infravermelho, Microondas, ondas de TV ou de Radiodifusão.

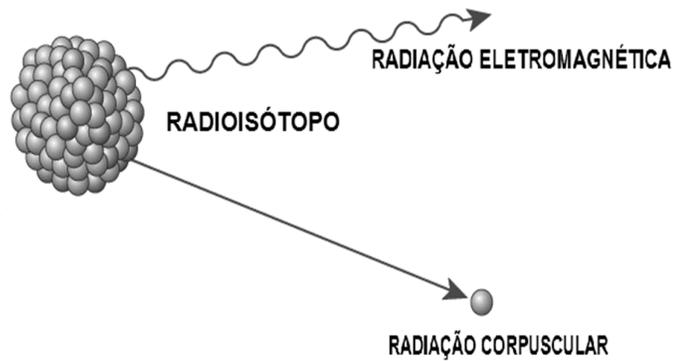
Fonte é qualquer corpo ou ponto material capaz de emitir ao menos um tipo de radiação. As fontes podem ser classificadas de terrestres ou extraterrestres.

As fontes **Extraterrestres**, cujo principal representante é o sol, emitem radiação que chega a alta atmosfera da terra, esta radiação recebe a denominação de raios cósmicos primários. Ao atingirem a atmosfera são absorvidos por ela em diversas camadas, por exemplo, a radiação ultravioleta é absorvida na camada de ozônio. A radiação que chega à região onde vivemos, a biosfera, recebe a denominação de Raios cósmicos secundários, sendo compostos principalmente de radiação infravermelha, luz visível e luz ultravioleta.

As fontes **Terrestres** podem ser classificadas de Naturais, principalmente os radioisótopos, utilizados na medicina nuclear e na radioterapia de tumores. Ainda temos as fontes artificiais como as Ampola de RX utilizadas em radiodiagnóstico, as lâmpadas de UV para Esterilização, Lâmpadas de luz visível, Lâmpadas IV, utilizadas na fototerapia (banho de luz), as fontes de Microondas, Radiodifusores.

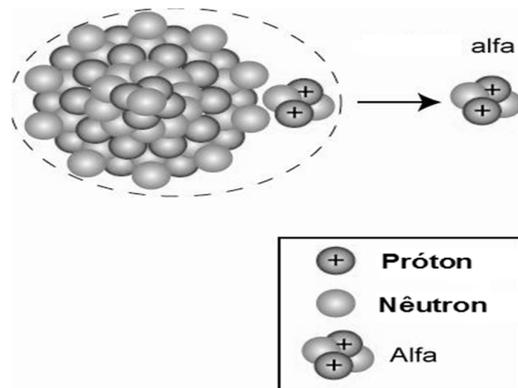
As principais fontes naturais são os radioisótopos, usados no tratamento de câncer, ou na produção de imagens para realização de diagnóstico. Sua utilização se deve ao fato de emitirem radiação espontaneamente, em um processo denominado radioatividade.

O fenômeno da Radioatividade consiste na emissão espontânea de partículas ou energia pelo núcleo de um átomo. As partículas mais comuns são a alfa e a beta, e a energia é sempre a radiação gama (Figura 38).

Figura 38: Radioatividade - emissão espontânea de radiação pelo núcleo de um radioisótopo

A interação Radiação-Matéria depende do tipo e energia da emissão e das propriedades do material que recebe a radiação, sendo assim, a matéria que absorve energia das emissões radioativas fica ionizada. Essa ionização é responsável pelos desvios que ocorrem no caminho natural das reações bioquímicas nos seres vivos, e podem resultar em danos biológicos diversos. As interações podem ser: α , β e γ matérias.

A **Interação α -matéria** ocorre quando as partículas alfa interagem intensivamente, arrancando elétrons por atração. Ela se satisfaria com apenas 2 elétrons, mas, devido à sua alta energia cinética, ela arranca elétrons dos orbitais de outros átomos, deixando várias moléculas ionizadas. No fim de seu caminho ela se acomoda com um átomo de hélio, após sua trajetória retilínea. A figura 39 mostra uma partícula alfa sendo emitida.

Figura 39: Emissão alfa

Na **Interação β -matéria** ocorre repulsão de elétrons, os β^- , ao passarem perto dos orbitais, repelem elétrons, deixando átomos e moléculas ionizados. A trajetória da β^- é cheia de desvios, devido aos choques com a matéria, e a partícula se acomoda como um elétron orbital. A figura 40 mostra as emissões beta.

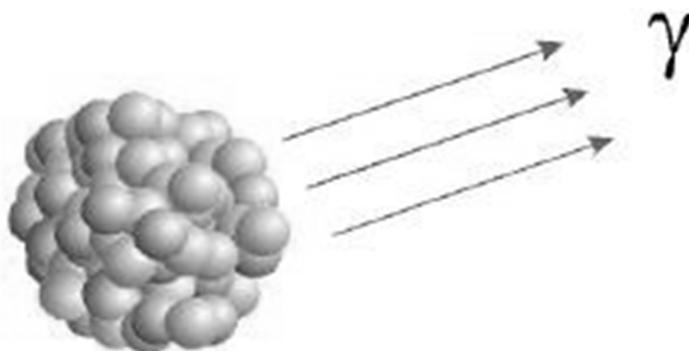
Figura 40: Emissões beta



Já na **Interação γ -matéria**, podem ocorrer dois eventos. O **efeito fotoelétrico** é o mecanismo da medida de radiações ionizantes e ocorre com emissões γ de energia de até 1 MeV. Esse efeito pode ocorrer com elétron de qualquer camada, nela a radiação eletromagnética transfere sua energia para o elétron, ejetando-o de sua órbita.

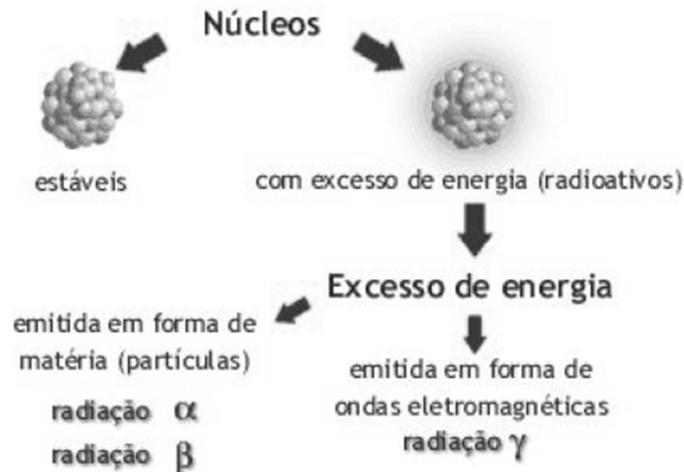
O **Efeito Compton**, ocorre quando a energia de radiação γ é superior àquela necessária para ejetar um elétron, e o excesso vai se distribuindo por outros elétrons, que se liberam das órbitas. A cada radiação, mais de um elétron é liberado. Esse efeito ocorre com emissão γ de energia superior a 1 MeV (Figura 41).

Figura 41: Emissão gama



A luz UV é excitante nos tecidos, podendo até ionizar a matéria, sendo exceção nos sistemas biológicos. Átomos e moléculas que absorvem UV tornam-se energizados e em estado de excitação, participando mais facilmente de reações bioquímicas, havendo, portanto, um aumento no ritmo geral das reações biológicas e um aparecimento de novas vias metabólicas que podem ser prejudiciais ao sistema (Figura 42).

As radiações ionizantes têm o poder de alterar as moléculas de um meio biológico, tanto no que se refere à estrutura das macromoléculas orgânicas, como à composição química delas. Do ponto de vista químico, após a ionização e quebra de uma ligação química, se seguirão recombinações e rearranjos da macromolécula alvo e das moléculas do meio. Dessa forma, a ionização poderá dar origem tanto a fragmentos de moléculas como provocar uma alteração da macromolécula original através da inserção de novos íons ou radicais livres nas ligações químicas quebrada.

Figura 42: Emissões radioativas – radiações nucleares alfa beta e gama

Existe, também, a possibilidade de alterações na estrutura de uma macromolécula que, tanto quanto a composição química, é também chave para diversas funções biológicas. Essa estrutura é normalmente mantida por ligações químicas mais fracas que as ligações covalentes, chamadas "pontes de hidrogênio". Através da quebra das pontes de hidrogênio, uma proteína ou enzima pode perder parte da sua estrutura secundária ou terciária, o que pode levar à perda de sua atividade biológica. Da mesma forma, o surgimento de ligações cruzadas inter e intramoleculares podem vir a acontecer como consequência da exposição a radiações ionizantes.

Apesar de todas as macromoléculas e estruturas de uma célula estarem sujeitas às alterações provocadas pelas radiações ionizantes, considera-se como potencialmente deletéria a interação das mesmas com as fitas de DNA, localizadas no núcleo. De fato, as radiações ionizantes são um dos agentes físicos capazes de causar instabilidade genética - o que pode, posteriormente, levar ao surgimento de mutações genéticas à medida que a célula se divide. Em longo prazo, a instabilidade genética, aliada tanto à ativação dos chamados "oncogenes", como à desativação dos chamados "genes supressores", pode levar à manifestação final de um câncer.

Células com alta taxa de proliferação são mais sensíveis à radiação ionizante, sendo a radiosensibilidade inversamente proporcional ao grau de diferenciação apresentado pelas células (isto é, quanto menos definida ou menos diferenciada a célula em sua função, maior a radiosensibilidade).

Dentre as células humanas mais radiosensíveis estão as células basais da epiderme, os eritroblastos, as células totipotentes hematopoiéticas (localizadas na medula óssea), as espermatogônias (células-matrizes, imaturas, dos espermatozoides), assim como as células das criptas nas vilosidades intestinais. Todas essas células dividem-se muito rapidamente, sendo indiferenciadas em relação às funções a serem mais tarde desempenhadas. Da mesma forma, células neoplásicas (células em um tumor, que perderam o controle do processo de divisão celular e se dividem rapidamente de maneira descontrolada) são também muito radiosensíveis.

Células nervosas ou células musculares, que não se dividem e são diferenciadas, se encontram entre as mais rádioretistentes do corpo humano. Uma exceção à regra seriam os linfócitos (diferenciados e sujeitos a baixas taxas de divisão, mas extremamente radiosensíveis), e os oócitos (células-matrizes dos óvulos na mulher, que, embora não-diferenciadas, não se dividem até que se encontrem sujeitas a um processo que resultará na formação de um óvulo maturo).

5. Biofísica dos Sistemas Biológicos

Desta forma, podemos observar como a radiação pode alterar o funcionamento do organismo humano, o que nos leva à necessidade de compreender os processos de uso destas radiações, bem como o cuidado no seu emprego. Porém, apesar de todos os riscos, o uso das radiações tem trazido à humanidade inestimáveis avanços, sobretudo na medicina. Isto torna verdadeira a afirmativa de que devemos respeitar a radiação e seu uso e não temê-la.

Referências bibliográficas

CARNEIRO-Leão M. **Práticas de Biofísica**. Editora Guanabara-Koogan

GARCIA E.A. **Biofísica**. Editora Sarvier.

GYTON e Hall. **Tratado de fisiologia médica**. Guanabara-Koogan.

HEINENE, I.F. **Biofísica básica**. Editora Atheneu.

LEITÃO,A. e Alcântara-Gomes, R. **Fotobiologia e Radiobiologia**. Ed UERJ.

OKUNO, E. **Física para Ciências biológicas e biomédicas**. Editora Ática.

SOARES, F. e Lopes A. **Radiodiagnóstico: fundamentos físicos**. Ed. insular.

STIMAC, G. **Introdução ao diagnóstico por imagem**. Ed. Guanabara.