

ENVOLTÓRIO NUCLEAR, CROMATINA E CROMOSSOMO

VERA LÚCIA CORRÊA FEITOSA

META

Apresentar os conceitos básicos relacionados aos elementos do núcleo da célula.

OBJETIVOS

Ao final desta aula, o aluno deverá:

- identificar os principais elementos do núcleo;
- conhecer a ultra-estrutura desses elementos;
- reconhecer a importância do Complexo de poro e as principais vias de transporte do Envoltório Nuclear;
- descrever os componentes e os níveis de organização da cromatina;
- compreender os principais mecanismos que regulam o funcionamento da célula;
- reconhecer os cromossomos metafásicos e os gigantes.

PRÉ-REQUISITOS

O aluno deverá revisar as aulas de ácidos nucleicos, transcrição e divisão celular,



O cromossomo é uma sequência de DNA, que contém vários genes, e outras sequências de nucleótidos com funções específicas nas células dos seres vivos. O ser humano possui 46 cromossomos, onde dois deles determinam o sexo (cromossomos X e Y), e são chamados de cromossomos sexuais. Os 44 cromossomos restantes são chamados de autossômicos. (Fonte: <http://premium.klickeducacao.com.br>)

INTRODUÇÃO

Querido aluno,

Hoje estamos iniciando mais um capítulo da Biologia Celular. Esta ciência que tanto tem evoluído. Abordaremos o núcleo da célula e os seus elementos. O núcleo, mais precisamente o DNA presente na cromatina, é o responsável por todo o funcionamento da célula. Por isso é muito importante estudá-lo. Ele geralmente é único e localiza-se no centro da célula, ocupando cerca de 10% do volume total da mesma. Também podem existir células com mais de um núcleo. Geralmente o formato do núcleo acompanha a forma da célula e o seu tamanho pode variar de acordo com o metabolismo e o conteúdo de DNA da célula, (figura 07-01).

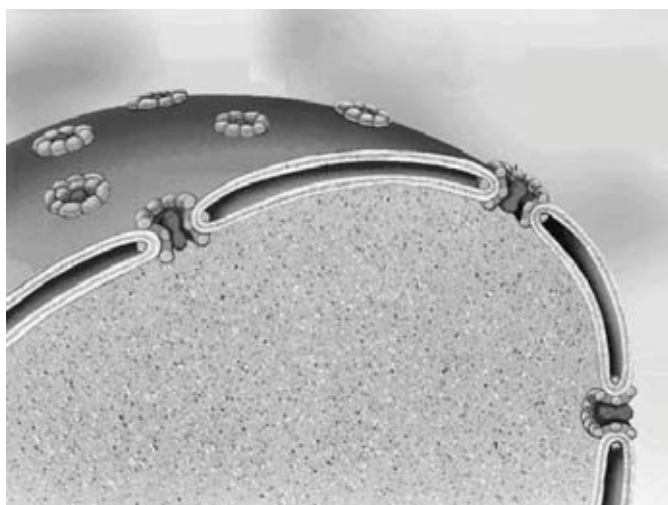


Figura 07-01 - Desenho esquemático do núcleo celular.
Fonte: (<http://professores.unisantabr>).

Nesta aula falaremos sobre as membranas que envolvem o núcleo, separando-o do citoplasma. Estas membranas formam o envoltório nuclear. Também estaremos abordando os conceitos de cromatina e cromossomo, (figura 07-02).

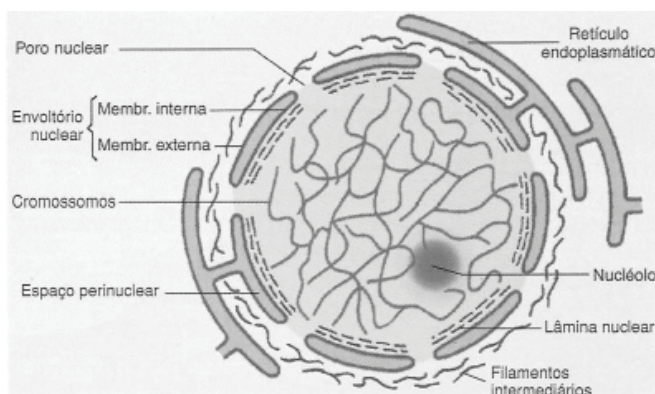


Figura 07-02 - Representação gráfica do núcleo da célula.
Fonte: (De Robertis et al. (2006). Bases da Biologia Celular e Molecular. 4. Edição, p. 193).

ENVOLTÓRIO NUCLEAR

O envoltório nuclear ou envelope nuclear é uma complexa estrutura membranosa que separa o núcleo do citoplasma, visível apenas ao microscópio eletrônico, pois a sua espessura está abaixo do poder de resolução do microscópio óptico. A presença dessa delimitação entre o núcleo e o citoplasma é a principal característica que distingue uma célula eucarionte de um procarionte.

O envelope nuclear é composto por duas membranas, a membrana nuclear externa e a membrana nuclear interna, que delimitam o espaço perinuclear e se fundem para formar os complexos de poro, (figura 07-03).

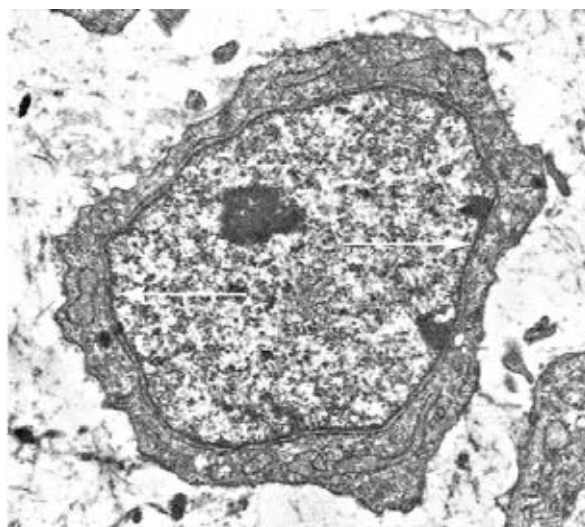


Figura 07-03 - Núcleo celular à microscopia eletrônica evidenciando a lâmina nuclear - setas brancas - como uma camada eletrodensa na superfície interna do envoltório nuclear. (Fonte: (Carvalho et al. (2007) A célula. 2ª. edição, p.122).

ULTRAESTRUTURA DO ENVOLTÓRIO NUCLEAR

Membranas: Externa e Interna:

As membranas do envoltório nuclear são lipoproteicas e apresentam cerca de 30% de lipídios e 70% de proteínas, incluindo as glicoproteínas, emerina, proteína transmembrana p58 ou LBP I e II, citocromo oxidase, detectada na membrana nuclear interna, glicose-6-fosfatase e citocromos P450 e b5 são observadas também nas membranas do retículo endoplasmático.

Cerca de 90% dos lipídios são fosfolipídios e os outros 10% são triglicerídeos, colesterol e ésteres de colesterol.

Além das proteínas e lipídios ocorrem também os carboidratos. E os mais frequentes são a manose e glicosamina encontrados na membrana nuclear externa, a glicose que ocorre nas duas membranas nucleares: interna e externa, a galactosamina, galactose e ácido siálico. Convém lembrar, que a glicose e a glicosamina são carboidratos que se associam às proteínas.

A membrana externa possui ribossomos aderidos à sua superfície e apresenta contiguidade com o retículo endoplasmático rugoso, sendo suas proteínas semelhantes às do retículo. Existe uma grande semelhança entre a membrana nuclear externa e a membrana do retículo endoplasmático. Além da presença dos polirribossomos, existe uma continuidade entre as membranas nuclear externa e as do retículo.

Já a membrana interna apresenta a lâmina nuclear aderida à sua superfície e possui uma composição própria de proteínas intrínsecas e periféricas envolvidas com sua interação à lâmina densa nuclear e à cromatina.

Caro aluno, é bom que você saiba que as membranas do envoltório nuclear possuem as mesmas características que qualquer membrana biológica, ou seja, elas apresentam o modelo de unidade de membrana, são assimétricas, os fosfolípidios são anfipáticos e a disposição dos seus componentes moleculares seguem o modelo do mosaico fluido.

Complexo de Poro

Como já foi dito, o envoltório nuclear possui alguns pontos de fusão entre a membrana nuclear externa e a membrana nuclear interna, que formam os poros. Esses poros são responsáveis pela regulação do transporte de proteínas, RNA e outras moléculas entre o núcleo e o citoplasma.

A quantidade de poros não é constante em todos os tipos de células. Células com alta atividade de síntese protéica, como as embrionárias, possuem maior número de complexos de poro, (figura 07-04).

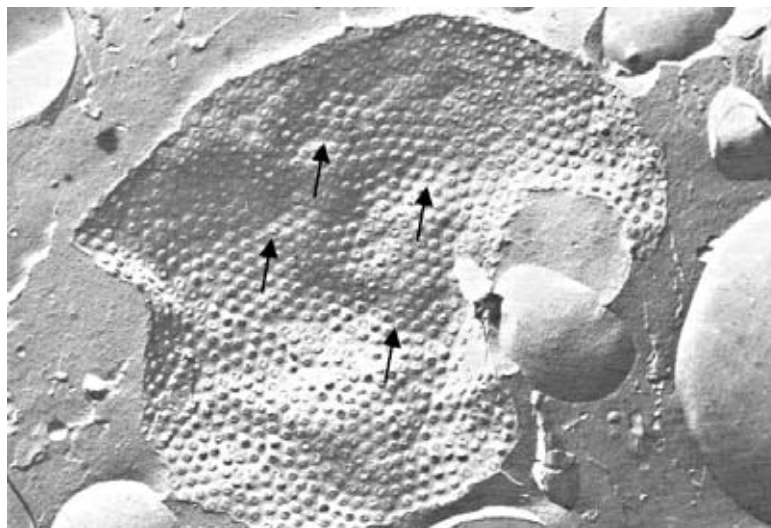


Figura 07-04 - Envoltório nuclear da *Entamoeba histolytica* pelo método de criofratura, mostrando o grande número de poros nucleares - setas. (Fonte: Junqueira et al. (2005). *Biologia Celular e Molecular*. 8ª edição).

À microscopia eletrônica o complexo do poro se apresenta como uma estrutura formada por oito pares de elementos verticais, conectados nas extremidades e na porção mediana formando dois anéis em um arranjo

octogonal. O anel nuclear está ligado à superfície nuclear e o anel citoplasmático está ligado à superfície citoplasmática, (figura 07-05).

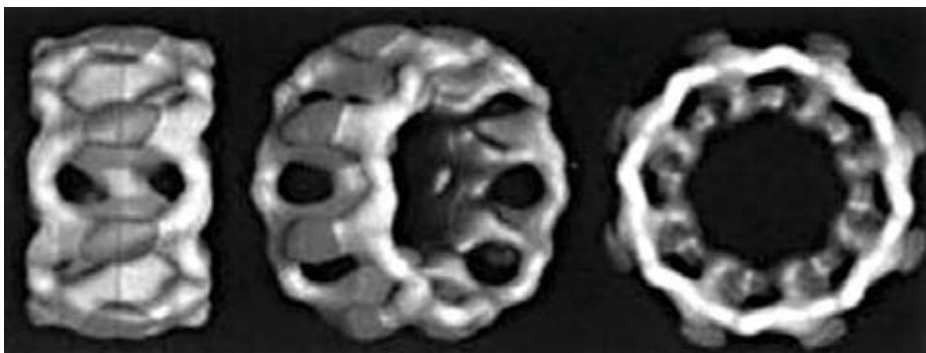


Figura 07-05 - Estrutura básica dos complexos do poro dispostos em simetria octogonal.
Fonte: (<http://www.isftic.mepsyd.es>).

Lâmina Nuclear:

A lâmina nuclear é uma estrutura eletrodensa, de caráter proteico associada à superfície interna do envoltório nuclear, responsável por manter a forma e dar suporte estrutural ao envoltório nuclear, além de ligar as fibras cromatínicas ao envoltório nuclear. Acredita-se também que elas tenham envolvimento com a regulação da expressão gênica e duplicação do DNA.

Ela é composta por uma rede proteica, com predomínio de laminas nucleares, classe de proteínas pertencentes aos filamentos intermediários do citoesqueleto. Existem dois tipos principais de lamina: as do tipo A/C que são solubilizadas na lâmina nuclear durante a desestruturação do envoltório nuclear ao final da prófase ou na pró-metáfase. As laminas do tipo B se dissociam da lâmina, mas permanecem associadas às vesículas da desestruturação do envoltório nuclear.

As laminas associam-se ao envoltório nuclear através de proteínas intrínsecas à membrana nuclear interna, tais como: LAP I e II (lamina-associated polypeptides), emerina e LBR (lamina B receptor). E se associam aos complexos de poro através das nucleoporinas.

O TRANSPORTE ATRAVÉS DO COMPLEXO DO PORO

As membranas do envoltório nuclear têm como principal característica a permeabilidade seletiva. Assim sendo, diferentes moléculas atravessam os complexos de poro. As características desse transporte podem ser evidenciadas na (figura 07-06).

Como você pode perceber, caro aluno, através do esquema, as membranas do envoltório nuclear realizam tanto o transporte passivo (que não requer gasto de energia) como o ativo (requer gasto de energia). No primeiro caso, o

transporte pode ser por Difusão, onde as moléculas passam através das membranas do envoltório nuclear, dependendo apenas do tamanho das moléculas (as moléculas de menor tamanho atravessam mais rapidamente às membranas) e da sua solubilidade aos lipídios (atravessam com maior rapidez àquelas moléculas mais solúveis aos lipídios). O segundo tipo de transporte passivo Difusão Facilitada, será auxiliado pela proteína Permease ou Carreadora que interage com as moléculas a serem transportadas.

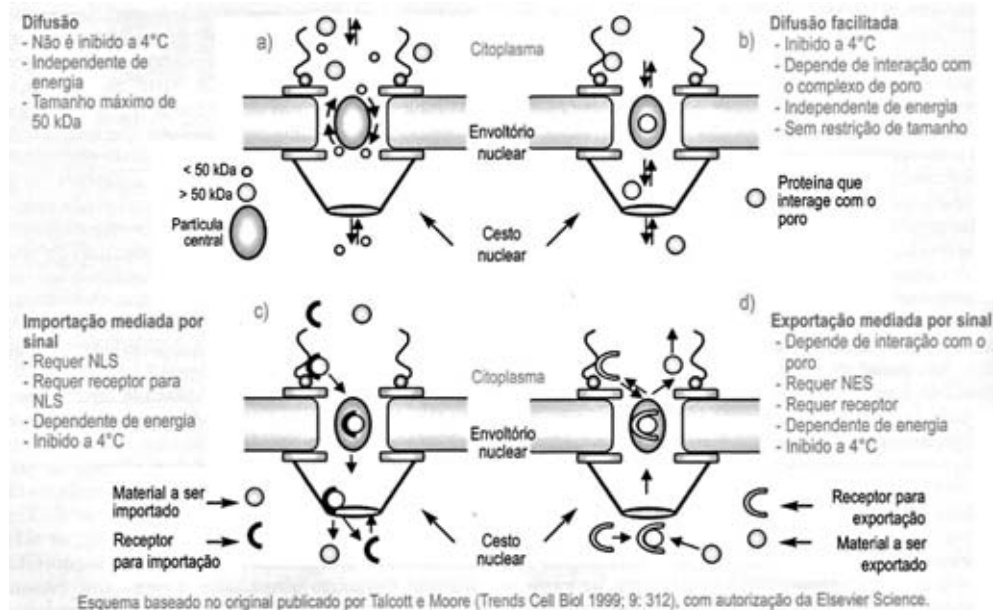


Figura 07-06 - Vias de transporte entre o núcleo e o citoplasma. (Fonte: (Carvalho et al. (2007) A célula. 2ª. edição, p.120).

Quanto ao transporte ativo, existe a Importação mediada por Sinal, existem sinais procedentes do núcleo (sinais de localização nuclear – NLS), que serão captados por proteínas citoplasmáticas (importinas), que mediarão a interação dessas moléculas com o complexo de poro, facilitando a sua translocação para o núcleo. O outro tipo de transporte ativo é a Exportação mediada por Sinal, ou seja, os sinais serão transmitidos do núcleo para o citoplasma (dependentes do sinal de exportação nuclear – NES), e captados pelas proteínas exportinas, que auxiliarão na transferência das moléculas do núcleo para o citoplasma.

Convém ressaltar; que as proteínas receptoras (importinas e exportinas), após o transporte; são enviadas para os seus respectivos compartimentos de origem e reutilizadas na mesma via de transporte.

O ENVOLTÓRIO NUCLEAR E A DIVISÃO CELULAR

Querido aluno, você tem ideia do que acontece com as membranas do envoltório nuclear durante o processo de divisão celular?

Antes de responder a esta pergunta vamos passar para você alguns conhecimentos básicos.

As laminas nucleares são fundamentais na estruturação do envoltório nuclear durante o processo de divisão celular. Essas laminas são aciladas, ou seja, recebem um radical isoprenil, como uma modificação pós-traducional. Tudo indica que esses radicais atuam no destino desses componentes para o interior do núcleo e na sua ancoragem nas membranas. No entanto, quando ocorre a associação das laminas com a membrana nuclear interna, o radical isoprenil da lamina A é removido, mas, o da lamina B é mantido e parece garantir, pelo menos em parte, a sua associação com as membranas, mesmo quando o envoltório nuclear é rompido e desintegrado durante a divisão celular. Além disso, ocorre a presença da proteína transmembranar p58 localizada na membrana nuclear interna, receptora da lamina B, que garante a associação desta proteína com a respectiva membrana.

De posse destes conhecimentos, vamos explicar a você como as membranas do envoltório nuclear “aparecem” e “desaparecem” durante a divisão celular.

Durante o processo de divisão celular ocorre o processo de fosforilação e defosforilação temporária das laminas do tipo A. A fosforilação ocorre graças às enzimas cinases específicas do ciclo celular. A fosforilação desestabiliza as associações intermoleculares das laminas entre si e com outros componentes da lâmina nuclear, ou seja, uma vez fosforilada, as interações das laminas A entre si e com as laminas B são enfraquecidas e a lâmina nuclear é desfeita, ocorrendo a desintegração das membranas do envoltório nuclear em pequenas vesículas que se localizam na superfície dos cromossomos. A estas vesículas se associam as laminas B e seus receptores. Entretanto, as laminas A são solubilizadas e dispersas no citoplasma.

Ao final da divisão celular, na anáfase ocorre um decréscimo da atividade das cinases, e ao mesmo tempo um aumento das enzimas fosfatases, que defosforilam as laminas A, ou seja, removem os seus fosfatos, o que permite a reassociação destas proteínas com a superfície dos cromossomos favorecendo o reagrupamento das vesículas contendo as lamina B e a reformulação das membranas do envoltório nuclear na superfície cromossômica que começa a se descondensar na fase de telófase, (figura 07-07).

Outra função atribuída à lâmina nuclear é o seu possível envolvimento na ancoragem da cromatina, na regulação da expressão gênica e duplicação do DNA. Vários componentes moleculares que fazem parte da lâmina nuclear,

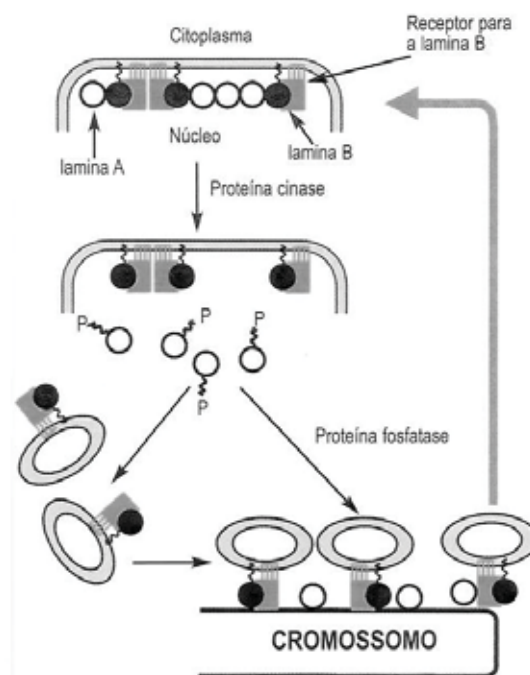


Figura 07-07 - Controle da estruturação do envoltório nuclear pelo nível de fosforilação das laminas nucleares. (Fonte: (Carvalho et al. (2007) A célula. 2ª. edição, p. 125).

da cromatina e da membrana nuclear interna são responsáveis, em parte, por estas funções. Mas, a associação das lamínas A/C com a proteína transmembrana localizada na membrana interna nuclear, chamada de emerina, é bastante importante para a estabilidade do núcleo celular.

Como você pode observar meu, caro aluno, as membranas do envoltório nuclear são muito importantes para as células, porque, além de tudo que já foi descrito, elas realizam ainda as seguintes funções:

Nas células eucarióticas elas compartimentalizam todo o material nuclear;

Regulam as trocas de todas as substâncias entre o núcleo e o citoplasma, através da permeabilidade seletiva de suas membranas para as moléculas de água, ânions, cátions, moléculas de baixo peso molecular (monossacarídeos e dissacarídeos), aminoácidos e bases nitrogenadas. No entanto, as macromoléculas regulam através do Complexo de Poro, como, por exemplo, RNA; Histonas; Heparina; Protaminas; Hemoglobinas; Enzimas como a Tripsina; Quimiotripsina; RNase; DNase e outras.

As membranas do envoltório nuclear servem de suporte mecânico temporariamente para algumas estruturas do citoplasma (centríolos, lâminas aneladas, ribossomos e mitocôndrias) e núcleo (heterocromatina do cromossomo X de seres humanos XX, cromatina sexual Y, complexo sinaptonêmico, fibras cromatínicas e nucléolo).

Finalmente, como já mencionado, estas membranas como apresentam uma relação de continuidade com as membranas do retículo endoplasmático, elas realizam também as funções de: alongação e dessaturação dos ácidos graxos, biossíntese dos fosfolipídios e colesterol, glicosilação de proteínas e lipídios e a detoxificação de drogas.

CROMATINA E CROMOSSOMOS

Querido aluno, agora vamos falar sobre a cromatina e cromossomos. Preste bem atenção: antes de começar o estudo destas estruturas, é bom que você relembre a aula de ácidos nucleicos, para um melhor entendimento do assunto.

Cromatina e cromossomo apresentam a mesma identidade biológica, porém, apresentam-se nas células em momentos diferentes e com morfologia e fisiologia próprias.

Cromatina (do grego *croma*, cor) designa a porção do núcleo, com exceção do nucléolo, que se cora e é visível ao microscópio de luz. Ela é um complexo de DNA, proteínas histônicas e não-histônicas, presentes no núcleo em intérfase. Moléculas de RNA também podem fazer parte temporariamente desse complexo.

Sua organização se altera de acordo com a fase do ciclo celular e com o seu grau de atividade. Ela pode se apresentar diferentemente compactada,

granulosa ou filamentosa e com distribuição textural variada.

A disposição dentro do núcleo e o grau de condensação da cromatina variam de acordo com o tipo celular considerado. Uma mesma célula pode apresentar cromatinas com vários graus de condensação, (figura 07-08).

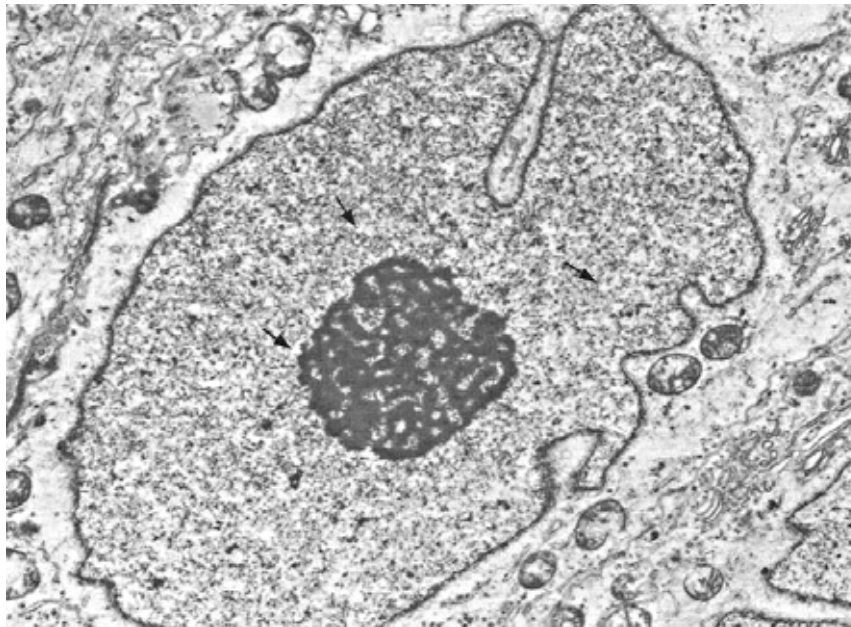


Figura 07-08 - Eletromicrografia de célula do testículo. A cromatina descompactada encontra-se uniformemente dispersa no núcleo (setas).
(Fonte: Junqueira et al. (2005). Biologia Celular e Molecular. 8ª edição, p. 149).

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA CROMATINA

DNA

O DNA é o banco de informações genéticas da célula. A molécula de DNA encontrada nos mamíferos é a de configuração B, proposta por Watson e Crick e apresenta as seguintes características: Ela é formada por duas cadeias helicoidais de polinucleotídeos complementares, estáveis. Cada volta completa da molécula de DNA apresenta 10 moléculas de nucleotídeos; As bases nitrogenadas são hidrofóbicas, obedecendo sempre à relação de adenina/timina e guanina/citosina e vice-versa; A pentose e o ácido fosfórico são hidrofílicos; As cadeias são antiparalelas, associadas entre si por ligações de hidrogênio, formando uma dupla hélice; O DNA é sintetizado na fase S

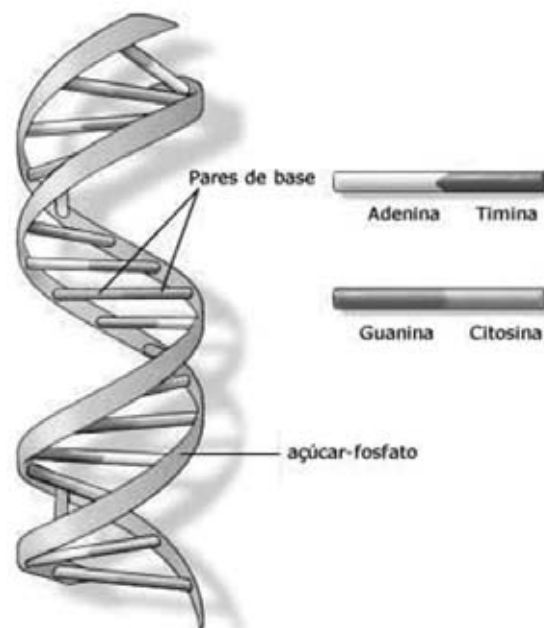


Figura 07-09 - Molécula de DNA evidenciando sua forma helicoidal.

Fonte: (Adaptado de U.S. National Librarty of medicine)

do ciclo celular. O conteúdo de DNA por núcleo varia de espécie para espécie e é razoavelmente constante para as diferentes células de uma mesma espécie. À medida que se progride na escala evolutiva há um incremento do conteúdo de DNA, (figura 07-09).

Histonas

As histonas são proteínas básicas nucleares bastante estáveis encontradas nos eucariontes. Participam como repressoras ou ativadoras da transcrição do DNA. Elas também são sintetizadas na fase S, sendo renovadas constantemente. A razão de massa DNA/histona é igual a 1:1. Essas proteínas têm baixo peso molecular e apresentam forte caráter básico, pois são ricas em aminoácidos básicos, como arginina e lisina. Elas se ligam ao DNA graças à interação de seus radicais amino com os radicais fosfatos do DNA.

Existem cinco classes principais de histonas: H1, H2A, H2B, H3 e H4. Elas são classificadas com base no teor de lisina e arginina. A histona H1 é muito rica em lisina, enquanto as histonas H2A e H2B são moderadamente ricas em lisina e as histonas H3 e H4 são ricas em arginina. As histonas são muito conservadas em termos evolutivos, ou seja, sua seqüência de aminoácidos varia pouco nas diferentes espécies. A histona H4 de bovinos e ervilhas, por exemplo, diferem por apenas dois resíduos. Dentre as histonas, a mais variável é a H1, logo é a menos conservada em termos evolutivos. Em eritrócitos nucleados de peixes, aves, répteis e anfíbios, parte da histona

H1 aparece substituída por H5, o que restringe a atividade gênica da cromatina dessas células.

Nos espermatozoides de alguns peixes outro tipo de proteína básica está associado à cromatina, substituindo as histonas: são as protaminas, (figura 07-10).

Proteínas não-histônicas

A cromatina é formada também pelas proteínas não histônicas, que participam da regulação da atividade gênica, e tem papel estrutural. A maioria dessas proteínas é ácida. Fazem parte desse grupo as enzimas que atuam nos processos de transcrição, replicação e reparo do DNA e dos processos de condensação e descondensação cromatínica. Elas podem estar associadas ao DNA ou dispersas no nucleoplasma. Constituem um grupo

muito heterogêneo. O número de proteínas não-histônicas varia conforme o tecido num mesmo indivíduo. As células metabolicamente mais ativas possuem alto teor dessas proteínas.

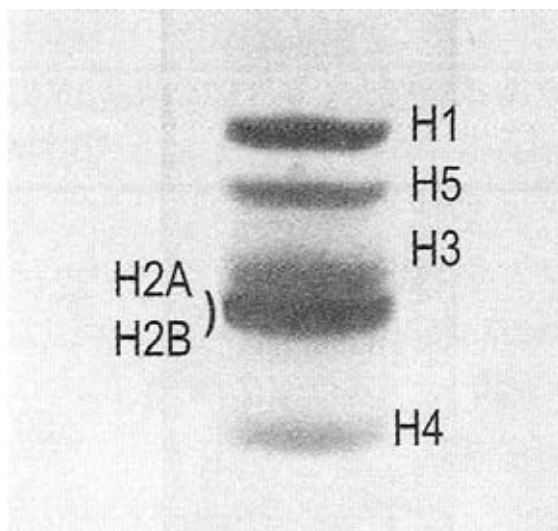


Figura 07-10 - Separação por eletroforese em gel de poliacrilamida de proteínas histônicas.
(Fonte: (Carvalho et al. (2007) A célula. 2ª. edição, p. 129).

De acordo com suas atividades é possível distinguir os seguintes grupos: proteínas que participam da estrutura dos cromossomos, como as topoisomerase II; proteínas relacionadas com o processo de replicação e reparo do DNA, como as DNA polimerases, helicases e topoisomerases; e proteínas que participam do processo de ativação e repressão gênica, como as pertencentes ao grupo HMG (high mobility group).

RNA

O RNA é integrado de modo transitório à estrutura da cromatina, representa apenas 3% de sua composição e corresponde às cadeias recém-transcritas no processo de alongação e que ainda estão associados à fita molde do DNA.

ESTRUTURA DA CROMATINA

Em 1974, nos Estados Unidos, Olins e Olins submeteram vários núcleos de diferentes tecidos a um choque osmótico. E observaram que este tratamento fez com que os núcleos se rompessem, liberando as fibras de cromatina que à microscopia eletrônica exibiam uma distribuição linear de pequenas unidades aproximadamente esféricas (nu-bodies) unidas entre si por um filamento, sendo chamado de colar de contas.

Neste mesmo ano, na Inglaterra, um grupo de bioquímicos liderados por Kornberg comprovou que a fibra de cromatina era constituída por unidades repetidas compostas por duas moléculas de cada uma das histonas H2A, H2B, H3 e H4 e de cerca de 200 pares de bases de DNA.

Essa unidade estrutural repetida da cromatina foi denominada de nucleossomo, por Oudet e colaboradores em 1975. O cromatossomo, como também pode ser chamado, é constituído por um nucleoide (core nucleossômico) composto por 146 bases de DNA que descreve 1 e $\frac{3}{4}$ de volta de uma hélice ao redor de um octâmero de histonas (2 moléculas de cada histona H2A, H2B, H3 e H4) ligado à unidade seguinte por um filamento espaçador, composto por uma seqüência variável de pares de bases de DNA.

A posição da histona H1 na unidade repetida da cromatina tem sido muito discutida. Admite-se que ela possa estar posicionada lateralmente ao nucleóide, ligando-se ao DNA espaçador, ou ligada ao DNA, não por fora, mas por dentro da estrutura nucleossômica, (figura 07-11).

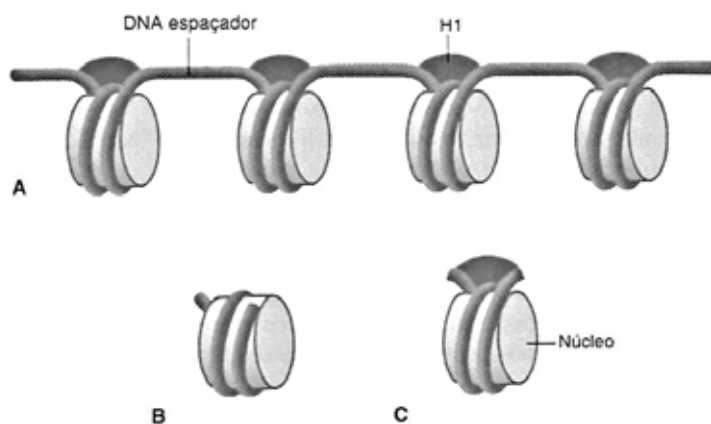


Figura 07-11 - A. Cromatina intacta. B. Nucleossoma. C. Cromatossoma .
Fonte: (De Robertis et al. (2006). Bases da Biologia Celular e Molecular. 4. Edição, p. 200).

NÍVEIS DE ORGANIZAÇÃO CROMATÍNICA

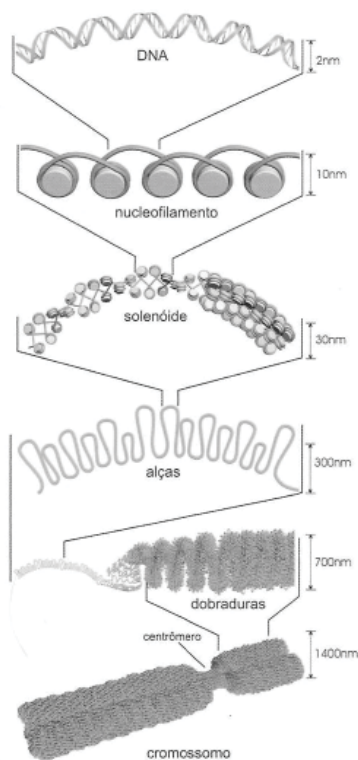


Figura 07-12 - Níveis crescentes de organização cromatínica.
(Fonte: (Carvalho et al. (2007) A célula. 2ª. edição, p. 133).

No núcleo interfásico ocorrem vários níveis de compactação da cromatina. Primeiramente pode-se observar o nucleofilamento, que é a fibra de cromatina de 10 nm de espessura, com a sequência linear das unidades repetitivas da cromatina.

O nucleofilamento sofre uma organização helicoidal com 5 a 6 nucleossomos por volta de hélice, constituindo uma fibra denominada solenoide em torno de 20 a 30 nm. Estes são estabilizados graças à interação de moléculas de H1 e por interação entre as faces superior e inferior. O Mg^{2+} também participa dessa estabilização. Convém ressaltar que a cada dez unidades repetitivas da cromatina, a histona H1 é substituída pela proteína não histônica Ubiquitina, que está ligada a histona H2A. Esta proteína UH2A confere uma maior flexibilidade à fibra de solenoide.

Na fase S do ciclo celular, ocorre a replicação do DNA de forma semiconservativa. Nessa fase ocorre também a agregação de novas histonas recém-sintetizadas. Acredita-se que a distribuição das histonas “novas” e “paternas” ocorra ao acaso nos filamentos que se replicam, (figura 07-12).

ESTADOS FUNCIONAIS DA CROMATINA

No núcleo interfásico a coloração da cromatina pode se apresentar de duas formas distintas: uma porção de coloração intensa, denominada heterocromatina, e outra menos corada e mais intensa, denominada eucromatina. Elas se diferenciam pelo estado de compactação.

A eucromatina é onde se encontram as sequências ativas de transcrição. Ela representa a maior parte da cromatina após a divisão, apresentando-se de forma descompactada e difusa. Já a heterocromatina representa a cromatina condensada, com replicação de DNA mais lenta e certa inatividade gênica. Ela permanece condensada durante toda a interfase e possui uma afinidade maior por corantes.

A heterocromatina pode ser classificada em constitutiva ou facultativa. Faz parte da heterocromatina constitutiva as regiões teloméricas, rica em DNA repetitivo ou satélite e predominantemente não codificadora. Um conjunto de porções heterocromáticas constitutivas pode associar-se entre si, constituindo corpos maiores denominados de cromocentro. De ocorrência comum em insetos e hepatócitos de camundongos. A heterocromatina facultativa não apresenta diferenças na composição do DNA em relação à eucromatina, seria apenas um estado fisiológico reprimido do DNA numa

região condensada da cromatina Ocorre em apenas um dos homólogos e pode reverter ao estado não condensado. Exemplo: a heterocromatina de um dos cromossomos X de mamíferos XX, (figura 07-13) .

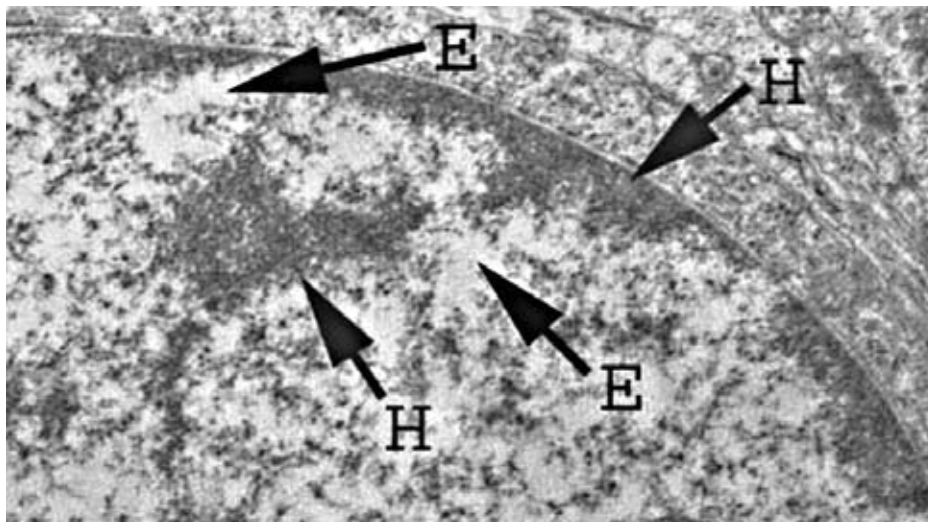


Figura 07-13 - Cromatina com regiões mais claras (Eucromatina – E) e regiões mais escuras (Heterocromatina – H).
Fonte: (<http://www2.uah.es>).

CROMOSSOMOS METAFÁSICOS

Durante a divisão celular, a cromatina sofre alterações em sua morfologia, composição e função, apresentando-se altamente compactada sob a forma de unidades individualizadas conhecidas por cromossomos. Assim, a cromatina e o cromossomo representam dois aspectos morfológicos e fisiológicos da mesma estrutura.

Os cromossomos autossômicos geralmente ocorrem aos pares nas células somáticas, tanto de animais como de vegetais. O número de cromossomos de uma espécie é constante. A determinação do número de cromossomos de uma espécie geralmente é efetuada na metáfase, período no qual ocorre a condensação máxima das unidades cromossômicas, facilitando a contagem e os estudos citogenéticos.

Os cromossomos de uma mesma espécie apresentam tamanho relativamente constante nas diferentes células, na mesma fase de divisão. O comprimento pode variar de 0,2 a 50 µm e o seu diâmetro de 0,2 a 2 µm. Na espécie humana, os cromossomos atingem entre 4 e 6 µm de comprimento.

Cariótipo é o conjunto de características morfológicas que permite a caracterização dos lotes cromossômicos de



Figura 07-14 - Cariótipo Humano
Fonte: (<http://biomodel.uah.es>).

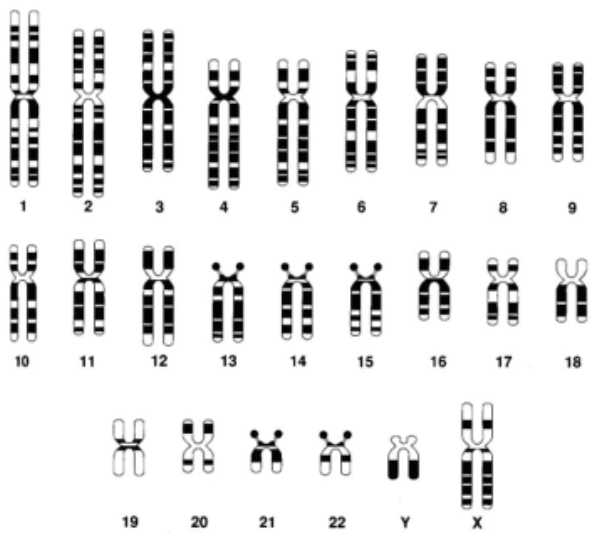


Figura 07-15 - Ideograma Humano
 Fonte: (<http://www.ucm.es>).



Figura 07-16 - Cromossomo e suas constrictões primárias e secundárias.
 Fonte: (<http://www.portalsaofrancisco.com.br>).

um indivíduo. Nele os cromossomos são fotografados e ordenados aos pares de homólogos numa série decrescente de tamanho. Esse arranjo do cariótipo, que revela o número, a forma e os tipos de cromossomo é denominado de cariograma, (figura 07-14). O ideograma é uma forma de representação gráfica, em que se utilizam os valores médios do tamanho relativo e da posição do centrômero obtido por medidas em vários cariótipos de diferentes indivíduos da mesma espécie, (figura 07-15).

Nos cromossomos metafásicos pode-se detectar os centrômeros, constrictões secundárias e telômeros, que são as principais diferenciações morfológicas naturais destes cromossomos.

O centrômero corresponde à constrictão primária do cromossomo. É a região em que se situa o cinetócoro, estrutura proteica e organizadora da polimerização das fibras cromossômicas do fuso mitótico (figura 07-16).

As duas cromátides irmãs representam os braços dos cromossomos e se unem através do cinetócoro. Sua posição é constante permitindo classificar os cromossomos como metacêntricos, se localizado na sua porção mediana, submetacêntrico, se deslocado para um dos

braços cromossômicos e acrocêntrico ou telocêntrico, se posicionado em uma das extremidades, (figura 07-16).

Outras constrictões presentes são chamadas de secundárias. E os telômeros estão presentes nas extremidades do cromossomo, eles impedem a adesão dos cromossomos entres si. As sequências teloméricas são replicadas por uma enzima específica: a telomerase. Essa enzima mantém constante o tamanho e a propriedade do telômero, (figura 07-16).

É possível identificar nos cromossomos os segmentos e bandas através de métodos especiais de tratamento e coloração. Existem diversas técnicas de bandeamento baseadas em princípios diferentes. As bandas Q aparecem fluorescentes com quinacrina, (figura 07-15). As bandas G aparecem como segmentos mais corados com Giemsa, após tratamento com tripsina ou tampão fosfato, (figura 07-16) e as bandas C aparecem após tratamento com soluções ácidas ou alcalinas, seguido de tratamento com solução salina 2SSC e coloração com Giemsa. Alterações nos padrões de distribuição dessas bandas estão associadas

a anomalias genéticas.

CROMOSSOMOS GIGANTES

Nas células de alguns organismos são encontrados cromossomos gigantes. São os cromossomos politênicos, presentes em células de larvas de dípteros, e os cromossomos plumosos, encontrados em ovócitos de anfíbios. Ambos apresentam tamanho muito acima do que se observa comumente.

Cromossomos politênicos

Ocorrem em células somáticas de vários tecidos de dípteros, de insetos colembolídeos, em protozoários ciliados e no ligamento suspensor do feijão. Esses cromossomos possuem quantidade de DNA bastante elevada, podendo ultrapassar 1.000 vezes o conteúdo normal do mesmo animal, (figura 07-17).

Eles se originam por pareamento ponto a ponto dos cromossomos homólogos de modo que, embora em uma espécie o número $2n$ de cromossomos possa ser igual a 8, ocorrem 4 unidades morfológicas individualizadas. Essas unidades iniciam então, uma série de ciclos de replicação, sem que as cromátides se separem.

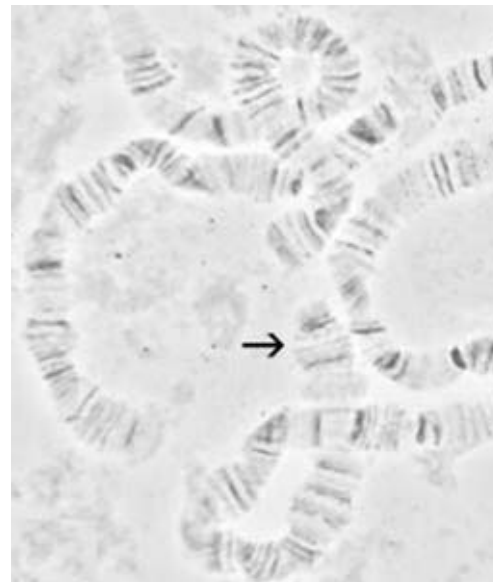


Figura 07-17 - Cromossomo politênico.
Fonte: (pt.wikipedia.org).

Cromossomos plumosos

Recebe esse nome porque à microscopia de luz, lembra o aspecto plumoso. Foram descobertos em oócitos de tubarão. Podem ocorrer também em oócitos de outros peixes, anfíbios e reptéis, em algumas células vegetais e no espermatócito de gafanhoto e de *Drosophila*, (figura 07-18).

Eles ocorrem na prófase meiótica, onde aparecem centenas de regiões granulosas distribuídas ao longo dos cromossomos, os chamados cromômeros. Quando estes se desespiralizam, projetam alças finas, distribuídas aos pares, simétricas e com características próprias e constantes. Nessas alças ocorre intensa síntese de RNAm que irão comandar a síntese proteica.

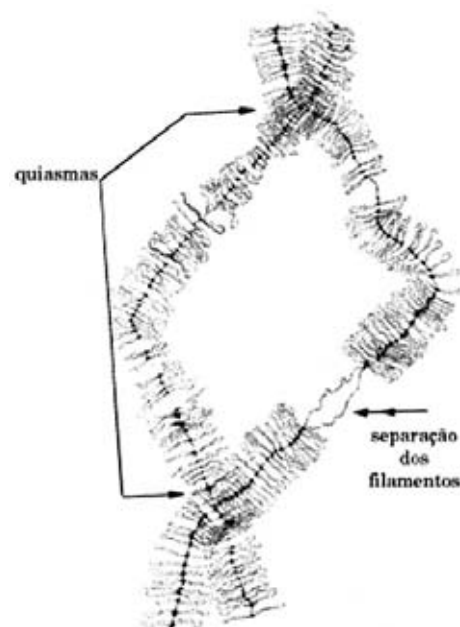


Figura 07-18 - Cromossomo plumoso.
Fonte: (pt.wikipedia.org).

CONCLUSÃO

Caro aluno, como você pode observar através dessa aula, as estruturas do núcleo e o seu papel fundamental são importantes para o entendimento dos mecanismos celulares. Nas células eucarióticas a parte não nucleolar do núcleo é formada, na sua maior parte, por uma estrutura fibrosa denominada de cromatina. Estudos citológicos e bioquímicos levaram ao conhecimento dos dois tipos de cromatina: a eucromatina e a heterocromatina. No entanto, a partir do momento em que se inicia a divisão celular o material genético de uma célula eucariótica está confinado a um ou mais cromossomos, formado de uma única e longa molécula de DNA contendo muitos genes, cuja expressão é geralmente controlada pela combinação de proteínas reguladoras de genes.



RESUMO

O núcleo é separado do citoplasma pelo envoltório celular nas células de organismos eucariontes. Essa é a principal diferença entre os organismos procariontes que não possuem núcleo organizado dos organismos eucariontes que possuem núcleo organizado.

Dentro do núcleo encontramos a cromatina, no período de interfase, e os cromossomos, no período de divisão celular. Trata-se, na verdade, da mesma estrutura, porém, em estados distintos de compactação. A cromatina é composta basicamente por DNA associada às proteínas histônicas que compactam o DNA em uma estrutura ordenada e repetida de partículas de DNA-proteínas chamadas de Nucleossomos, a unidade estrutural e básica da cromatina. Os Nucleossomos são compactados graças à ação da proteína histônica H1, formando a fibra de 30 nm (solenóide), que posteriormente poderá ser mais compactada e entrelaçada. Além da molécula do DNA e proteínas histônicas ocorrem também às proteínas não histônicas. A cromatina pode ser classificada em eucromatina e heterocromatina. Os cromossomos são mais bem estudados na metáfase, pois nesta fase, essas estruturas se encontram mais compactados. O número e tamanho dos cromossomos são característicos para cada espécie. A sua organização em grupos, de acordo com as normas de classificação internacionalmente acordadas, constitui o cariótipo. Cada cromossomo pode ser identificado graças às diversas técnicas de bandeamento. Cada banda revela grupos de genes, dispostos linearmente nos cromossomos e não distribuídos ao acaso. Qualquer que seja o método usado, o padrão de marcação será constante para cada cromossomo em cada espécie. Além disso, em alguns organismos ocorrem os cromossomos gigantes, denominados de politênicos e plumosos.

ATIVIDADES

1. Descreva a ultraestrutura e a composição química do Envelope Nuclear.
2. Explique o que é Complexo de Poro e em quais células podemos encontrar esta estrutura.
3. O que são laminas, e quais funções elas desempenham no núcleo?
4. Elabore um esquema demonstrando os tipos de transporte entre o núcleo e o citoplasma, utilizados pelas células para movimentar moléculas através das suas membranas nucleares.
5. Como você explica a formação do solenoide?
6. Qual a diferença entre eucromatina e heterocromatina? Onde cada uma delas pode ser encontrada?
7. Pesquisar uma imagem de um cariograma e monte o cariótipo humano.
8. Fazer uma montagem do núcleo de uma célula eucarionte enfatizando as membranas do envoltório nuclear, cromatina e os cromossomos.



COMENTÁRIO SOBRE AS ATIVIDADES

1. Sua resposta deve conter informações relacionadas à natureza química das proteínas, lipídeos e outros componentes moleculares e o modo pelo qual estas moléculas participam da ultraestrutura da membrana nuclear.
2. Esta questão está diretamente relacionada com a anterior. Para respondê-la, tenha em mente principalmente a ultraestrutura das membranas nucleares.
3. Responda esta questão baseando-se na composição química das membranas nucleares.
4. Lembre-se da primeira aula de biomembranas dada no início do curso, onde você estudou que algumas moléculas transitam livremente pelas membranas, enquanto outras atravessam as membranas arduamente necessitando de auxílios fornecidos pela própria célula.
5. Para responder a esta pergunta, tenha em mente os diferentes níveis de organização do filamento de cromatina.
6. Tome como referência os conceitos de cromatina com seus respectivos tipos.
7. Para realizar esta tarefa você deve levar em consideração o conceito de cariótipo e quais os critérios para a montagem de um cariograma.
8. Após ter estudado o conteúdo desta aula, que versou sobre o envelope nuclear, cromatina e cromossomo, você está apto para confeccionar artesanalmente um núcleo de uma célula eucarionte com todos os seus componentes, dando ênfase, porém, às membranas nucleares, cromatina e cromossomos.

Querido aluno, as atividades propostas nesta aula auxiliarão você a ter um melhor entendimento de tudo o que foi ensinado. Não deixe de fazer estas atividades que são muito importantes para o seu aprendizado. Bom estudo!!!



PRÓXIMA AULA

Na próxima aula será abordado o Ciclo Celular, que compreende a Intérfase e a Mitose. Vocês irão estudar a divisão celular com todas as suas fases.

REFERÊNCIAS

- ALBERTS, B.; et al. *Molecular biology of the cell*. 5 ed. New York: Garland Science, 2008.
- CARVALHO, H. F.; RECCO-PIMENTEL, S. M. **A célula**. 2 ed. Barueri/SP: Editora Manole Ltda., 2007.
- CARVALHO, H. F.; RECCO-PIMENTEL, S. M. **A célula**. 1 ed. Barueri/SP: Editora Manole Ltda., 2001.
- DARNELL, J.; BALTIMORE, D.; MATSUDAIRA, P.; ZIPURSKY, S. L.; BERK, A.; LODISH, H. **Biologia Celular e Molecular** (com CD-Room). 5ª ed. Revinter Ltda. Rio de Janeiro, 2008.
- DE ROBERTIS, E. D. P.; DE ROBERTIS, E. M. F. **Bases da Biologia Celular e Molecular**. 8 ed. Editora Guanabara Koogan; Rio de Janeiro, 2007.
- KARP, G. **Biologia Celular e Molecular**. 3 ed. Barueri, São Paulo: Manole, 2005.
- JUNQUEIRA, L. C.; CARNEIRO, J. **Biologia Celular e Molecular**. 4 ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan; 2005.