

Citoplasma: movimento, síntese e digestão celular

Prof.^a Thaíssa Queiróz Machado

Descrição

As características e funções do citoplasma celular e o conhecimento dos processos de movimento, síntese e digestão celular, assim como das organelas envolvidas.

Propósito

Compreender o funcionamento e as atividades desempenhadas pelo citoplasma de uma célula é a base do entendimento dos sistemas biológicos como um todo.

Objetivos

Módulo 1

Características e funções do citoplasma e citoesqueleto

Identificar características e funções do citoplasma e citoesqueleto.

Módulo 2

Síntese celular

Reconhecer as organelas que atuam na síntese celular.

Módulo 3

Digestão intracelular

Descrever as organelas responsáveis pela digestão intracelular.

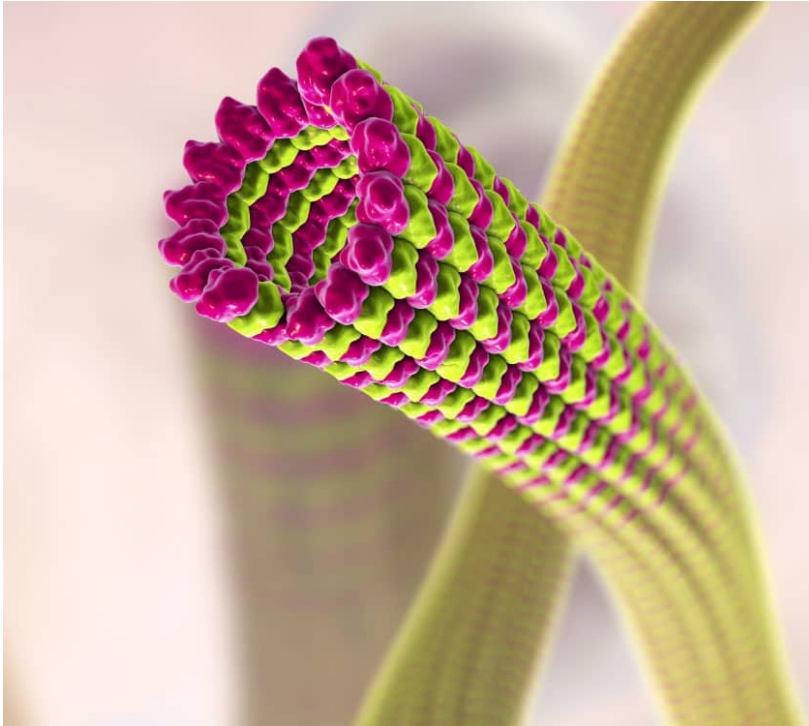


Introdução

As células são unidades básicas para a vida em nosso planeta, sendo constituídas de membrana plasmática, citoplasma e núcleo. Dentre essas regiões, o citoplasma celular possui um papel de extrema importância para a sobrevivência e desempenho de atividades. Para estudar a vida humana, de animais, de plantas, de helmintos, de microrganismos, ou seja, dos organismos vivos em geral, é necessário conhecer em detalhes cada estrutura da célula e suas funções.

Neste conteúdo, entenderemos o funcionamento do citoplasma e das organelas que ali se localizam, conhecendo suas funções isoladas e como interagem entre si. Também conheceremos os malefícios que podem surgir, caso alguma estrutura não desempenhe sua função corretamente.

Compreender a importância de uma célula e suas funções é primordial para conhecer a ciência dos organismos.

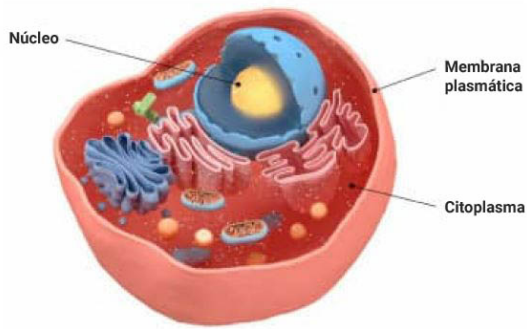


1 - Características e funções do citoplasma e citoesqueleto

Ao final deste módulo, você será capaz de identificar características e funções do citoplasma e citoesqueleto.

Caracterização do citoplasma e sua compartimentalização

Uma célula eucariótica apresenta divisões em seu interior de maneira que são criados compartimentos separados por funções. A divisão geral compreende a membrana plasmática, o citoplasma e o núcleo. A membrana plasmática, como o próprio nome já diz, envolve a célula e separa o meio extracelular do meio intracelular.



Estruturas de uma célula eucariótica.

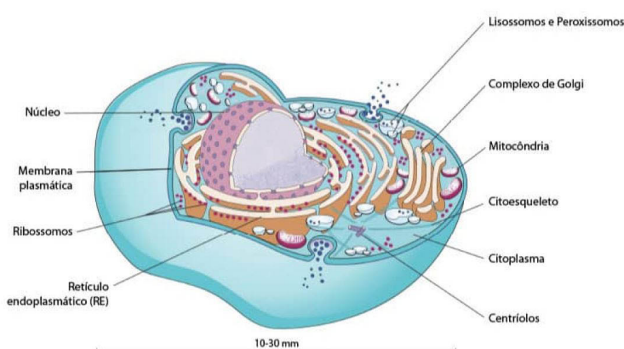
A divisão geral compreende a membrana plasmática, o citoplasma e o núcleo. A membrana plasmática, como o próprio nome já diz, envolve a célula e separa o meio extracelular do meio intracelular. O núcleo é a região onde está localizado o material genético da célula, e o citoplasma se localiza entre a membrana plasmática e o núcleo.

Quando se iniciou o estudo da ciência voltado para as células (citologia), achava-se que no seu interior havia um líquido viscoso e que o núcleo estava mergulhado nele. Por isso, esse líquido passou a se chamar citoplasma, já que *kytos* corresponde à **célula**, e *plasma* a **líquido**.

Com a evolução da ciência, estudos e pesquisas acerca das células desenvolveram muito conhecimento e muitas descobertas. Antes, acreditava-se que o citoplasma celular era apenas uma substância gelatinosa que abrigava o núcleo, porém sabemos que isso foi um completo engano. O citoplasma é bem mais complexo e importante do que se imaginava.

O citoplasma é delimitado pela membrana plasmática e nele encontra-se o citosol, que é o material disperso que pode ser fluido ou viscoso; e imersos no citosol estão as organelas citoplasmáticas e o núcleo celular. O citosol corresponde a um pouco mais que a metade do volume celular e compreende uma mistura de água, íons e moléculas.

No citosol, ocorrem a síntese e a degradação de diferentes proteínas e, além disso, ele também desempenha a maior parte do metabolismo intermediário. Nesse metabolismo, acontecem reações de síntese e degradação de moléculas com a intenção de disponibilizar componentes fundamentais para formação de macromoléculas.



O citosol apresenta diferentes níveis de organização, porém essa organização não é separada por membranas. Existem gradientes de concentração formados por pequenas moléculas que se encontram em locais determinados, como, por exemplo, moléculas de oxigênio e ATP (adenosina trifosfato), que são produzidas ao redor dos aglomerados de mitocôndrias. Logo, nessas regiões, as concentrações dessas moléculas serão diferentes de onde não há mitocôndrias.

O citoplasma não é só um local para abrigar as organelas, mas sim um meio em que ocorrem reações metabólicas fundamentais para o funcionamento, a consistência e a forma da célula.

Para entendermos um pouco mais sobre o citoplasma, é importante sabermos que existe diferença em sua composição entre uma **célula procariótica** e uma **célula eucariótica**.

Célula procariótica

O citoplasma das células procarióticas (presentes em bactérias e arqueias) possui uma organização mais simples, em que não existe o núcleo e o material genético está imerso no citosol. Não possuem sistemas de membranas e estruturas membranosas, porém existem milhares de ribossomos que têm como função produzir proteínas.



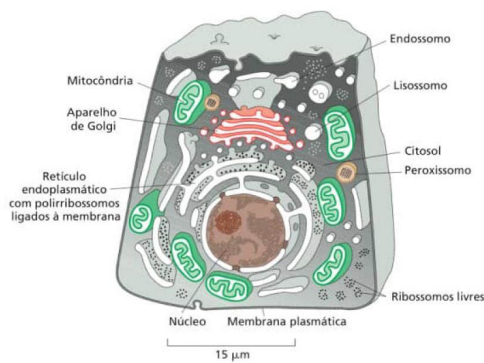
Célula eucariótica

O citoplasma das células eucarióticas (presentes em animais, vegetais e fungos) apresenta maior complexidade e mais componentes, como as organelas e o citoesqueleto. Também são encontradas partículas de substâncias insolúveis suspensas no citosol, chamadas de inclusões. Existem diferentes tipos de inclusões que variam de acordo com o tipo celular, um exemplo são as gotículas de gordura no citoplasma dos [adipócitos](#).

dipócitos

Células do tecido adiposo (de gordura).

Focaremos agora nas células eucariontes. Para entender a constituição do citoplasma, é preciso conhecer as organelas que ali estão presentes.



Compartimentos intracelulares de uma célula animal.

A seguir, apresentamos as organelas distribuídas no citoplasma celular e suas principais características:

Retículo endoplasmático



É formado por vesículas e túbulos interconectados que também se comunicam com a membrana do núcleo celular. Apresenta-se em duas conformações: retículo endoplasmático liso (REL) e retículo endoplasmático rugoso (RER) (ou granuloso). A diferença estrutural entre eles está na presença de ribossomos aderidos à superfície do RER, enquanto no REL os ribossomos estão ausentes.

Ribossomos



São responsáveis pela produção de proteínas. Podem estar livres no citoplasma, podem estar unidos uns aos outros por uma fita de RNA ou aderidos ao retículo endoplasmático, formando assim o RER.

Complexo de Golgi



É formado por um conjunto de cisternas, que são compartimentos membranares de forma achatada que se comunicam de forma direta. O Complexo de Golgi se localiza perto do núcleo e adjacente ao retículo endoplasmático.

Lisossomos



Possuem formato esférico com tamanho variável e se encontram dispersos no citoplasma. São originados a partir da formação de vesículas que se desprendem do Complexo de Golgi, formando os lisossomos primários.

Mitocôndrias



Possuem formato de bastonete e são compostas por duas membranas. Sua distribuição e quantidade no citoplasma varia de acordo com o tipo celular. Células que demandam mais energia, como células musculares e cardíacas, possuem um maior número de mitocôndrias em seu citoplasma.

Peroxissomos



São bem pequenos, geralmente menores que as mitocôndrias, e envoltos por membrana. Estão dispersos no citoplasma e são abundantes em hepatócitos e células dos rins, podendo representar até 2% do volume das células do fígado.

Centríolos

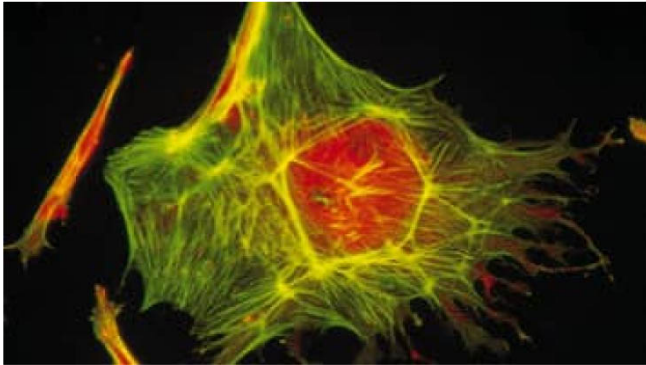


São estruturas cilíndricas, geralmente encontrados em par no citoplasma celular.

Vale lembrar que as organelas desempenham funções variadas e, por esse motivo, não é possível apontar apenas uma função para cada uma. Vamos conhecer suas funções e mais detalhes ao longo dos nossos estudos sobre a célula.

Citoesqueleto

As células desempenham diversas funções e, para que sejam executadas de maneira eficaz, precisam ter um formato adequado que permita que se organizem no espaço e interajam umas com as outras e com o ambiente de forma física e química. Logo, tanto a estrutura celular interna quanto a externa importam.



Rede de proteínas filamentosas no citoplasma celular.

Nem sempre a conformação celular é estática, porque vários tipos celulares têm a necessidade de alterar seu formato e migrar para locais distintos. Outro ponto importante está relacionado à necessidade de a célula viabilizar processos de crescimento, divisão e adaptação. Para isso, precisam ser capazes de modificar seus componentes internos. Todas essas alterações e adaptações são realizáveis graças às funções desempenhadas pelo sistema denominado **citoesqueleto**. O citoesqueleto é responsável:

Pela forma celular

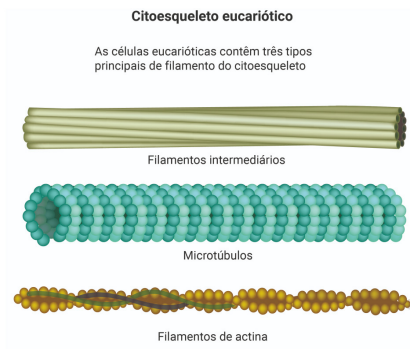
Pelo posicionamento das organelas

Pelo transporte intracelular

O citoplasma celular em eucariontes, por tanto, apresenta uma organização espacial constituída pelo citoesqueleto, que é uma rede de proteínas filamentosas composta por três famílias de proteínas:

- Filamentos de actina;
- Microtúbulos;
- Filamentos intermediários.

Existem ainda centenas de proteínas acessórias que interagem com os filamentos, com a função de ligar um filamento ao outro e também de ligar um filamento a outros componentes da célula.



Três tipos de filamentos do citoesqueleto de células eucarióticas.

Cada família de filamentos terá sua função e suas características próprias. Essas funções, muitas vezes, podem nos passar a ideia de que são filamentos estáticos com posição determinada e fixa dentro da célula. No entanto, na realidade, o citoesqueleto é capaz de se adaptar às funções necessárias em um dado momento, formando estruturas dinâmicas. Assim, de acordo com as condições enfrentadas pela célula, ocorrem rearranjos estruturais dos filamentos que entenderemos melhor a seguir.

Filamentos de actina

Também chamados de microfilamento, têm como função moldar o formato da superfície da célula, são responsáveis pela locomoção celular como um todo e atuam na divisão celular. Conferem forma à célula, pois revestem a membrana plasmática internamente. Além disso, são responsáveis pelas projeções da superfície celular, que são os lamelipódios e os filopódios. Tais projeções são estruturas dinâmicas responsáveis pela movimentação celular, que possibilita a exploração de algum local. Apresentam ainda outras funções, tais como permitir que a célula se mantenha aderida a um substrato e promover a contração muscular. Também atuam na superfície das células do ouvido interno e vibram em resposta ao som, e nas células intestinais auxiliam na absorção de nutrientes.

Microtúbulos

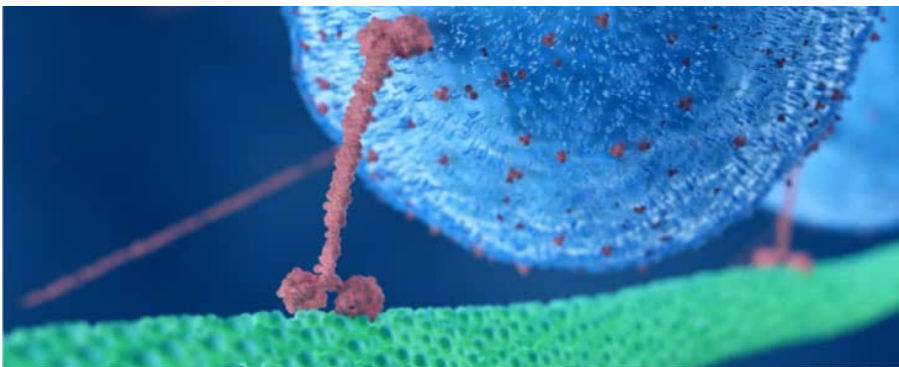
Atuam na divisão celular por meio da formação do fuso mitótico. Isso acontece, pois estes são frequentemente encontrados em arranjos citoplasmáticos que se prolongam até a periferia celular. Por conta dessa disposição, os microtúbulos são capazes de se reorganizar rapidamente para formar o fuso mitótico e segregar os cromossomos durante a divisão celular. Também são responsáveis por posicionar as organelas envoltas por membranas no interior do citoplasma e proporcionam transporte intracelular. Ainda, podem formar cílios na superfície celular, que podem atuar como chicotes de impulsão, dispositivos sensoriais, ou feixes que guiam o transporte de materiais através dos axônios neuronais.

Filamentos intermediários

Operam no núcleo e no citosol. No núcleo, se encontram revestindo o envelope nuclear em sua face interna, conferindo proteção ao DNA. Ou seja, formam uma espécie de “gaiola de proteção” para o material genético. No citosol, se encontram trançados e formam cabos fortes capazes de manter as camadas de células epiteliais unidas e também fortalecem a extensão dos axônios neuronais. Em resumo, conferem resistência mecânica às células, além de formarem apêndices resistentes como, por exemplo, em pelos e unhas.

Proteínas motoras

Os filamentos do citoesqueleto interagem com diversas proteínas acessórias, que são indispensáveis para a organização dos filamentos em locais específicos dentro da célula. Um exemplo de proteína acessória muito importante são as **proteínas motoras**, que são “máquinas” moleculares que convertem energia da quebra de ATP em força mecânica e, com essa força, conseguem deslocar organelas por toda a extensão dos filamentos, assim como movimentam os próprios filamentos.



Proteína motora deslocando no citoesqueleto.

Apesar de desempenharem funções específicas, os diferentes tipos de filamentos, muitas vezes, atuam de forma conjunta para possibilitar que a célula desempenhe a atividade desejada. Um exemplo ocorre durante a divisão celular, quando o citoesqueleto se reorganiza, de modo que os microtúbulos se reconfiguram no citoplasma para dar origem ao fuso mitótico bipolar, separando as duas cópias de cada cromossomo para formar os núcleos das células-filhas. Já os filamentos de actina possibilitam que a célula assuma um formato esférico e forme um anel em seu centro. Esse anel sofre constrição dividindo a célula em duas. Depois que a divisão celular é finalizada, o citoesqueleto das células-filhas se organiza novamente, fornecendo a elas seu formato original achatado, e devolve a capacidade de deslizamento e movimentação.

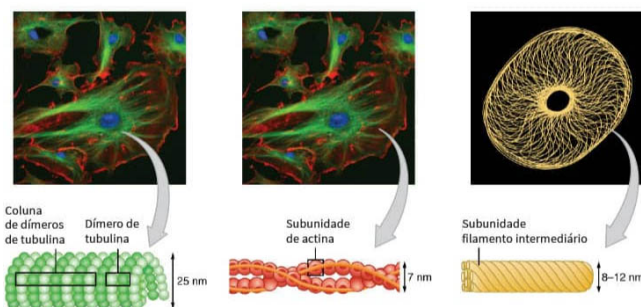
Além disso, diversas vezes o citoesqueleto precisa responder rapidamente à atividade celular e, por isso,

seus rearranjos devem ser ágeis, mesmo que a célula não esteja em divisão celular, ou seja, mesmo que esteja no período de intérfase.

Exemplo

Os neutrófilos são um tipo de leucócito (célula do sistema imunológico) que perseguem e englobam microrganismos patogênicos, como bactérias e fungos. Quando estes microrganismos alcançam o interior do organismo por meio de cortes e lesões na pele, os neutrófilos migram até eles para englobá-los, sendo necessário, para isso, emitir estruturas e protrusões, que são repletas de filamentos de actina que acabaram de ser formados. Caso o microrganismo se desloque para uma direção diferente, o neutrófilo precisa reorganizar suas estruturas rapidamente para conseguir realizar o englobamento. Por isso, as respostas do citoesqueleto são, normalmente, ágeis.

Os filamentos são organizados em moléculas individuais de proteínas, que medem alguns nanômetros e formam subunidades que se autoassociam a partir da combinação de seus contatos proteicos, formando arranjos helicoidais. As subunidades podem ser comparadas a tijolos em uma construção de um arranha-céu, ou seja, vão se agrupando e formando longos filamentos. Essas subunidades são capazes de se associar e também de se dissociar, e com isso remodelam a estrutura dos filamentos rapidamente conforme a necessidade. Existem diversas maneiras de essas subunidades se associarem, o que proporciona diferentes propriedades mecânicas aos filamentos.



Microscopia dos componentes do citoesqueleto.



Filamentos de actinas e contração muscular

Neste vídeo, a especialista explicará de que forma os filamentos de actina atuam no processo de contração muscular.

Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



Falta pouco para atingir seus objetivos.

Vamos praticar alguns conceitos?

Questão 1

O citoplasma apresenta funções importantes na célula, bem mais complexas do que se imaginava antigamente. Considerando as características do citoplasma, assinale a alternativa correta.

- A O citoplasma de células eucarióticas apresenta o material genético disperso em sua extensão.
- B A organização do citoplasma é realizada por meio de separações e divisões membranares apenas.
- C Além de organelas, o citoplasma também apresenta substâncias insolúveis suspensas no citosol.
- D O citoplasma funciona exclusivamente como um local para abrigar as organelas citoplasmáticas.
- E As células procarióticas apresentam maior complexidade no citoplasma e em seus componentes, quando comparadas às células eucarióticas.

Parabéns! A alternativa C está correta.

O citoplasma de células eucarióticas possui maior complexidade, tanto em organização como em relação às organelas, apresentando ainda seu material genético envolto pela membrana nuclear, formando o núcleo. Além de abrigar as organelas também tem função de promover reações metabólicas. A organização citoplasmática não conta apenas com a separação por membranas, existe também um gradiente de concentração dos componentes citoplasmáticos que auxilia na organização. No citoplasma também se encontram os componentes do citoesqueleto e substâncias insolúveis chamadas de inclusões citoplasmáticas.

Questão 2

Considere as afirmações a seguir e assinale a alternativa correta:

- I- O citoesqueleto funciona como o esqueleto da célula e por isso forma estruturas fortes e estáticas.
- II- O citoesqueleto proporciona estrutura para a célula, sendo assim, está localizado exclusivamente na membrana plasmática.
- III- Cada família do citoesqueleto possui sua função específica e para um funcionamento organizado, apenas um tipo de citoesqueleto funciona por vez.
- IV- O citoesqueleto é constituído por três famílias de proteínas de filamentos: filamentos de actina, microtúbulos e filamentos intermediários.

- A As afirmações I e IV estão corretas.
- B As afirmações I, II e IV estão corretas.
- C As afirmações II e III estão corretas.
- D Somente a afirmação I está correta.
- E Somente a afirmação IV está correta.

Parabéns! A alternativa E está correta.

O citoesqueleto é um componente dinâmico que está localizado na célula como um todo, ou seja, na membrana plasmática, no citoplasma e no núcleo. Ele é composto por três famílias de filamentos, que são os filamentos de actina, os microtúbulos e os filamentos intermediários. Essas famílias possuem funções específicas, porém, frequentemente, esses tipos de filamentos funcionam em conjunto para executar determinada atividade.



2 - Síntese celular

Ao final deste módulo, você será capaz de reconhecer as organelas que atuam na síntese celular.

Ribossomos e polissomos

Vimos que as organelas são partes constituintes do citoplasma da célula. Neste módulo, focaremos naquelas responsáveis pela síntese celular. Mas o que fazem as organelas envolvidas na síntese celular?

Resposta

Tais organelas são responsáveis por produzirem algum tipo de biomolécula, como proteínas, lipídios e carboidratos na célula. Dentre elas, estão os ribossomos e polissomos, que conheceremos agora, e também

o retículo endoplasmático (liso e rugoso) e o complexo de Golgi, que estudaremos logo a seguir.

Os ribossomos são organelas responsáveis pela produção de proteínas e que podem se encontrar livres no citoplasma celular, ou aderidos a outra organela que, no caso, é o retículo endoplasmático. A localização dos ribossomos varia de acordo com a funcionalidade da célula. Podemos dividir os ribossomos em:

Ribossomos livres



São aqueles dispersos no citoplasma celular e que podem estar sozinhos ou em grupos (polissomos ou polirribossomos). Os **polissomos** nada mais são do que ribossomos ligados uns aos outros por uma fita de ácido ribonucleico (RNA). Já os **ribossomos livres** são responsáveis pela fabricação das proteínas que estão em solução no citoplasma. Em células que mantêm em seu interior a maior parte das proteínas fabricadas, o número de ribossomos livres é maior que o número de ribossomos associados ao retículo endoplasmático.

Ribossomos associados ao retículo endoplasmático



São aqueles que se encontram aderidos à membrana externa do retículo endoplasmático, e assim é constituído o retículo endoplasmático rugoso (RER). Em células em que ocorre exportação das proteínas fabricadas, como no caso de células pancreáticas que produzem enzimas digestivas, por exemplo, os ribossomos associados estão em maior número do que aqueles livres no citoplasma.

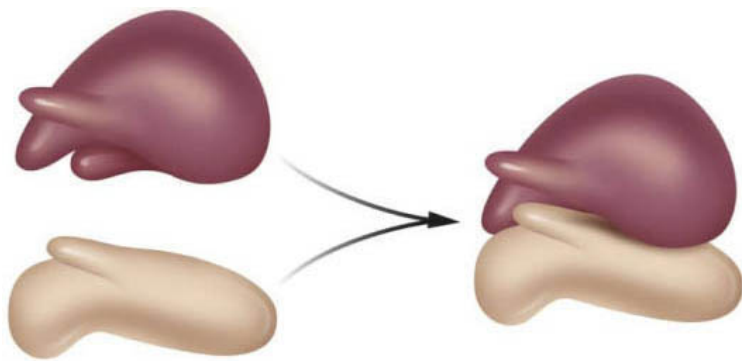
Os ribossomos associados ao retículo são responsáveis pela produção de proteínas que compõem a membrana e que são exportadas para o meio extracelular.

Saiba mais

Além do retículo endoplasmático, os ribossomos também são encontrados em associação com as mitocôndrias e com os cloroplastos (cloroplastos são organelas presentes nas plantas e outros organismos fotossintetizantes). Nesses dois últimos casos, os ribossomos se apresentam em tamanho menor, comparados aos ribossomos citoplasmáticos, e estão envolvidos na síntese de proteínas específicas para as funções dessas organelas.

Em relação à sua estrutura e constituição, o ribossomo apresenta forma arredondada e é constituído de ácido ribonucleico (RNA) e diferentes tipos de proteínas. Os ribossomos não apresentam membrana em seu redor e, por esse motivo, muitos cientistas levantam a questão de não serem considerados organelas

citoplasmáticas, porém existem controvérsias. Muitos autores denominam os ribossomos de organelas não membranosas livres no citoplasma celular.



Subunidades que compõem o ribossomo.

Um ribossomo possui tamanho de aproximadamente 210 nanômetros e apresenta duas subunidades com tamanhos diferentes. Só é considerado funcional o ribossomo que apresenta as duas subunidades acopladas. Ou seja, um ribossomo funcional é aquele que possui as subunidades encaixadas ao longo da fita de RNA. Assim, sintetiza-se a proteína e, após a síntese, as subunidades se soltam do RNA e se separam. A subunidade maior do ribossomo possui três regiões que são chamadas de:

Sítio A (Aminoacil)

Onde acontece a chegada do RNA.

Sítio P (Peptidil)

Onde são feitas as ligações peptídicas entre os aminoácidos para a síntese da proteína.

Sítio E (Exit)

Onde o RNA transportador é liberado do ribossomo.

A produção de proteínas é denominada **tradução**, ou seja, as informações contidas nas moléculas de RNA mensageiro são traduzidas e convertidas em proteínas. Para iniciar o processo de tradução, são necessários componentes importantes: os ribossomos, o RNAm (RNA mensageiro) e o RNAt (RNA transportador).

Ribossomos

Funcionam como a estrutura onde a tradução ocorrerá e onde os aminoácidos serão ligados um ao outro para formarem a nova proteína.

RNAm e RNAt

O RNAm contém as informações para a síntese da proteína. O RNAt funciona como uma ponte, transportando os aminoácidos para o ribossomo e combinando cada [códon](#) do RNAm com o aminoácido que este códon especifica.

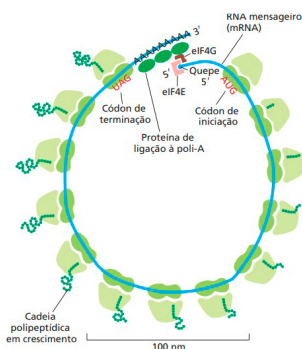
ódon

Sequência de três nucleotídeos na molécula de RNAm que representa a instrução para a incorporação de um aminoácido específico em uma cadeia polipeptídica crescente.

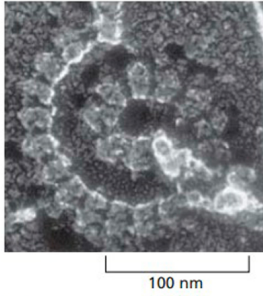
Para ficar ainda mais claro, vamos recapitular o papel dos ribossomos na síntese das proteínas, a seguir:

1. As subunidades maior e menor do ribossomo se unem ao redor da molécula de RNAm e, assim, o ribossomo estará completo para que a tradução se inicie.
2. Após a união, o ribossomo se desloca à frente do RNAm, de códon em códon, e, por meio desse deslocamento, vai promovendo a leitura dos códons e traduzindo em um polipeptídeo, que é a cadeia de proteína.
3. Dessa forma, o ribossomo lerá toda a extensão do RNAm e, depois que a tradução for finalizada, suas subunidades se separam e podem ler um próximo RNAm para produzir uma nova proteína.

A tradução ocorre quando o ribossomo se une ao RNAm e pode ocorrer com vários ribossomos se ligando a essa molécula de RNA ao mesmo tempo. Esses ribossomos, que inicialmente estavam livres no citoplasma, se ligam ao RNA e passam a sintetizar várias moléculas de proteínas ao mesmo tempo. A este conjunto de ribossomos, denominamos polissomos ou polirribossomos. Quando os polissomos cessam a síntese proteica, eles se desligam da molécula de RNA e retornam ao estado de ribossomos livres no citoplasma.



Polissomos traduzindo RNAm.



Fotomicrografia de polissomo em célula eucariótica.

Retículo endoplasmático liso e retículo endoplasmático rugoso

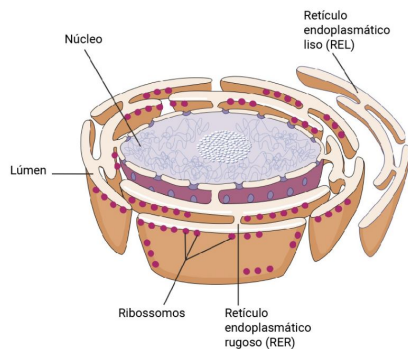
O retículo endoplasmático faz parte do sistema de endomembranas das células. Mas o que é um sistema de endomembranas?

Para entendermos, é preciso analisar a palavra, que corresponde às membranas que estão dentro da célula. Dessa forma, um sistema de endomembrana é formado por um grupo de membranas e organelas membranosas que trabalham em conjunto dentro da célula para desempenhar suas funções. Esse sistema inclui várias organelas e dentre elas está o retículo endoplasmático. Vale destacar que, apesar de a membrana plasmática não estar localizada no interior da célula, ela também compõe o sistema de endomembranas.

O retículo endoplasmático (RE) é uma organela exclusiva de células eucariontes formado a partir da invaginação da membrana plasmática, pela interconexão de túbulos membranosos e vesículas achatadas que se comunicam com o envoltório nuclear. Tais bolsas e túbulos são ociosos e seu interior é chamado de lume ou luz do RE.

De acordo com as suas características, o RE pode ser dividido em dois tipos:

- **Retículo endoplasmático liso (REL):** não possui ribossomos em sua superfície.
- **Retículo endoplasmático rugoso ou granular (RER):** apresenta ribossomos em sua superfície.



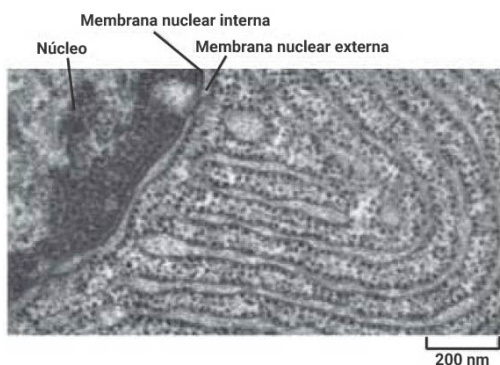
Retículo endoplasmático e o núcleo celular.

Vamos conhecê-los separadamente.

Retículo endoplasmático rugoso

As proteínas produzidas pelos ribossomos são entregues ao lume do retículo endoplasmático. Algumas proteínas ficam flutuando no interior do retículo, enquanto outras ficam ancoradas na sua membrana.

Ao chegarem ao interior do retículo, as proteínas passam por modificações e dobramentos e são incorporadas às membranas, tanto na membrana do próprio retículo, quanto nas membranas de outras organelas, além de também poderem ser secretadas para o exterior da célula.



Micrografia eletrônica do retículo endoplasmático rugoso.

O retículo endoplasmático rugoso produz, por exemplo, fosfolípidos para a membrana plasmática de outras células e, por esse motivo, algumas moléculas são destinadas ao exterior da célula. As proteínas que não permanecem no retículo endoplasmático são transportadas e enviadas ao Complexo de Golgi por meio de vesículas, que são pequenas, esféricas e constituídas de membrana.

Atenção!

Células que secretam muitas enzimas ou proteínas, como as células hepáticas, apresentam muito retículo endoplasmático rugoso.

Retículo endoplasmático liso

Também conhecido como agranular, apresenta continuidade com o retículo endoplasmático rugoso e normalmente não tem ribossomos na sua superfície. Assim como o retículo endoplasmático rugoso, é formado de túbulos e cisternas interconectados. Está presente em abundância nas células, especialmente nas células hepáticas, nas gônadas e no pâncreas.

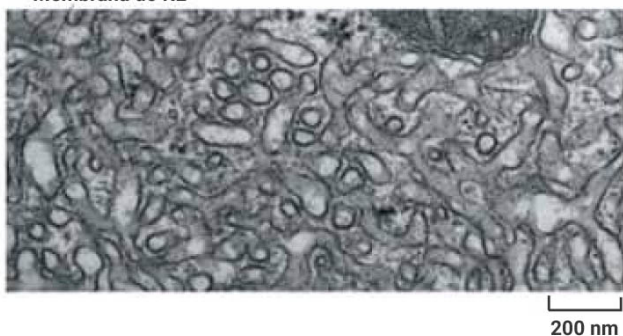
Basicamente, o REL possui como função a produção de lipídeos e hormônios esteroides. Além disso, armazena íons de cálcio e atua na desintoxicação de medicamentos e bebidas alcoólicas. Essa organela apresenta funções diferentes de acordo com o tipo de célula em que se encontra.

Curiosidade

Quando consumimos álcool, drogas e sedativos com frequência ou em excesso, ocorre a proliferação do retículo endoplasmático liso e de suas enzimas. Isso acontece para que ocorra a degradação e desintoxicação dessas substâncias. Por outro lado, em consequência, o organismo aumenta a tolerância à essas substâncias e, por isso, com o tempo, doses cada vez mais altas são necessárias para que apresentem algum efeito. No caso do consumo excessivo de medicamentos, o organismo pode se tornar tolerante ao medicamento, o que dificulta tratamentos futuros.

Nas células musculares, o retículo endoplasmático liso se apresenta em um tipo especial, sendo chamado de retículo sarcoplasmático. Este tipo de retículo atua no armazenamento de íons de cálcio que são fundamentais para a contração das fibras musculares.

Membrana do RE



Micrografia eletrônica do retículo endoplasmático liso.

Apesar de os dois tipos de retículos endoplasmáticos (liso e rugoso) apresentarem morfologias diferentes, ambos possuem grande relação, uma vez que se complementam, suas membranas se comunicam e atuam na produção e transporte de substâncias de forma geral.

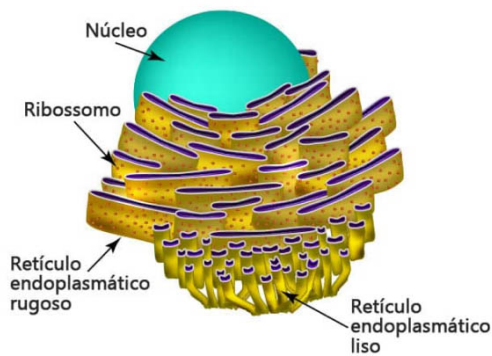


Ilustração com detalhe dos retículos endoplasmáticos rugoso e liso.

Complexo de Golgi

O complexo de Golgi, também chamado de aparelho de Golgi, é formado por um conjunto de compartimentos achatados chamados de cisternas, envolvidos por membranas, que se comunicam diretamente entre si, formando uma espécie de pilha. Esta organela se localiza próximo ao núcleo, ao centróssomo e ao retículo endoplasmático.

O complexo de Golgi atua como um sistema central de armazenamento das proteínas ribossomáticas. No entanto, não funciona somente para armazenar proteínas e substâncias produzidas no interior celular, mas também para modificá-las, empacotá-las e secretá-las.

A maioria das vesículas que saem do retículo endoplasmático é destinada ao complexo de Golgi, que é o local onde ocorrerão as modificações necessárias seguidas da liberação para os seus destinos finais.

O complexo de Golgi está presente nas células eucarióticas, sendo mais abundante em células que realizam secreção de substâncias como, por exemplo, células do pâncreas, da hipófise e da tireoide. Dessa forma, quanto maior a necessidade de secreção de compostos celulares e extracelulares, maior é o volume do complexo de Golgi na célula.

Processamento de proteínas e lipídeos

Processa e modifica proteínas e lipídeos como, por exemplo, por meio da glicosilação.

Empacotamento e endereçamento

As moléculas produzidas são empacotadas e secretadas para seu destino final pelo complexo de Golgi.

Produção de macromoléculas

Em células animais, o complexo de Golgi produz polissacarídeos como as glicosaminoglicanas, que funcionam como anticoagulantes.

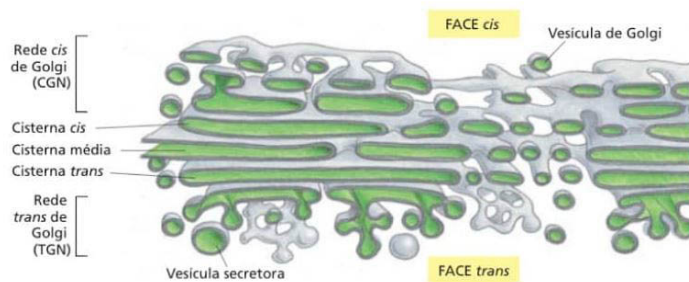
Formação do acrossomo

O acrossomo é uma vesícula originada durante modificações que os espermatozoides sofrem durante sua maturação. Tais modificações correspondem à acomodação do complexo de Golgi na cabeça do espermatozoide, que contém enzimas fundamentais para que consiga penetrar no ovócito da fêmea, promovendo a fecundação.

Cada cisterna do complexo de Golgi possui uma face chamada cis e outra chamada trans.

- A **face cis** possui uma superfície convexa e é o sítio responsável pelo recebimento das vesículas oriundas do retículo endoplasmático.
- A **face trans** é a face côncava que possui o papel de gerar vesículas que se destinam a outras partes da célula. Entre essas faces existem as cisternas medianas ou mediais.

A configuração completa do complexo de Golgi é mostrada na imagem a seguir:



Complexo de Golgi.

As pilhas de cisternas presentes no complexo de Golgi são compostas por cerca de 4 a 8 cisternas. Contudo, existem organismos unicelulares flagelados que podem possuir até 60 cisternas. O número de cisternas vai variar de acordo com o tipo de célula. Em células especializadas em secreção, o complexo de Golgi encontra-se muito desenvolvido como, por exemplo, nas células caliciformes do intestino.

RER e complexo de Golgi: o endereçamento de proteínas

Existe uma importante relação entre o retículo endoplasmático rugoso (RER) e o complexo de Golgi, que pode ser definida como uma integração morfofuncional entre essas duas organelas. Isso acontece porque as vesículas que saem do retículo endoplasmático precisam se destinar a algum local. Essas vesículas apresentam em seu interior proteínas e lipídeos que, antes de chegarem ao seu local final, precisam ser empacotados e organizados corretamente. Tais funções de organização, empacotamento e distribuição acontecem no complexo de Golgi.

Comentário

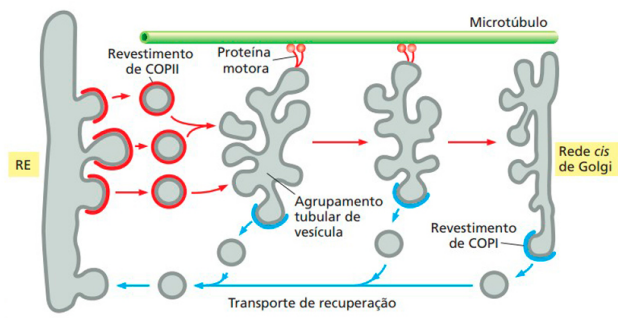
Antigamente, acreditava-se que o complexo de Golgi era uma organela estática onde acontecia somente a movimentação das vesículas que se originavam do retículo endoplasmático até serem secretadas. No entanto, hoje sabemos que essa organela é mais complexa e dinâmica do que se imaginava.

No interior das cisternas do complexo de Golgi, existem enzimas que são responsáveis pela modificação das proteínas que chegam até ele. A movimentação das proteínas acontece da direção cis para trans. Dessa forma, passam primeiramente pela rede cis do Golgi e, na sequência, continuam pelas cisternas cis, cisternas mediais e cisternas trans. Quando as proteínas saem da rede trans do Golgi, elas podem:

- Seguir para os lisossomos.
- Seguir para vesículas secretoras.
- Seguir para a superfície celular.

- Ser devolvidas para o compartimento anterior.

Quando as proteínas são produzidas de forma correta pelo retículo endoplasmático, elas entram no complexo de Golgi pela rede cis do Golgi e seguem adiante até a rede trans do Golgi em um fluxo anterógrado (para frente). Caso as proteínas que entrem pela rede cis do Golgi apresentem algum problema na sua produção, elas podem ser devolvidas ao retículo endoplasmático através do fluxo retrógrado (para trás).



Transporte vesicular entre o RE e o aparelho de Golgi.

As enzimas do complexo de Golgi modificam as proteínas conforme se movimentam de cisterna em cisterna. Cada cisterna apresenta suas enzimas específicas, e as proteínas seguem até que a glicosilação se complete.

Atenção!

As vesículas que se movimentam do retículo endoplasmático e pela extensão do complexo de Golgi são formadas por brotamento das membranas e são revestidas por proteínas. Após essas proteínas brotarem, elas se fusionam ao alvo e para isso, o revestimento proteico é descartado antes que a fusão aconteça.



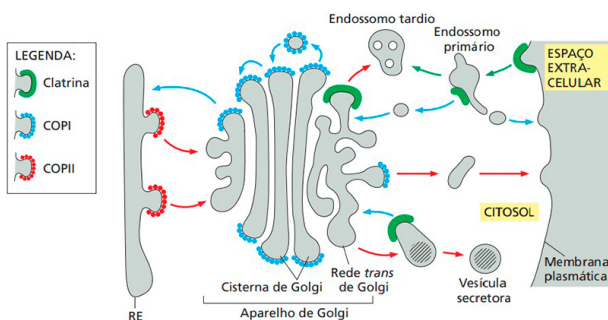
Transporte vesicular entre o RE e o complexo de Golgi

Neste vídeo, a especialista explicará de forma clara e didática como ocorre o transporte de vesículas entre o retículo endoplasmático e o complexo de Golgi.

Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



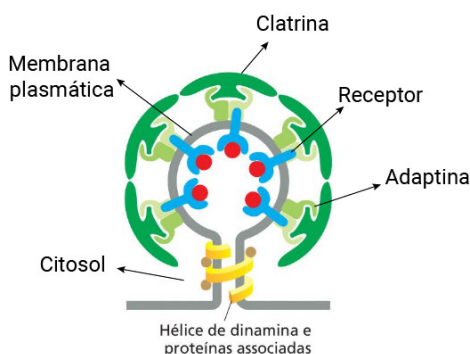
As proteínas que revestem as vesículas são divididas em três grupos principais: clatrina, COP I e COP II. O revestimento por clatrina acontece especialmente nas vesículas que agem no transporte entre complexo de Golgi e a membrana plasmática da célula. Os revestimentos proteicos por COP I e COP II estão ligados ao transporte entre o retículo endoplasmático e o complexo de Golgi. As vesículas que brotam a partir do retículo endoplasmático são revestidas pela proteína COP II e aquelas que brotam do complexo de Golgi são revestidas por COP I. Agora, vamos conhecer um pouco mais sobre essas proteínas de revestimento.



Tipos de proteínas de revestimento nas etapas de transporte de vesículas.

Clatrina

É uma proteína constituída por 6 cadeias polipeptídicas, sendo 3 grandes e 3 pequenas. Essas cadeias se unem e formam uma estrutura com três pernas que é capaz de dobrar a membrana em direção ao citoplasma, a fim de formar as vesículas. No entanto, a formação das vesículas com revestimento de clatrina recebe o auxílio de outra proteína chamada de adaptina.



Dinamina em espiral ao redor do pescoço do broto em formação.

A **adaptina** é uma proteína adaptadora que se liga entre a vesícula e a clatrina, portanto a clatrina não tem contato direto com a vesícula. Conforme acontece a formação das vesículas, outro tipo de proteína participa

do processo, que é a dinamina. A **dinamina** vai regular a frequência de liberação da vesícula se organizando no pescoço do broto. Quando a vesícula está totalmente liberada, perde o revestimento pela proteína clatrina.

COP I e COP II

A formação de vesículas por clatrina e por proteínas COP I e II é diferente. As proteínas COP utilizam a desfosforilação de uma molécula de GTP para promoverem a montagem na superfície onde se formará a vesícula. Dessa forma, a montagem com clatrina pode apresentar vantagem, visto que não precisa de energia para sua execução. Outros pontos de diferença consideráveis estão relacionados ao fato das vesículas com clatrina promoverem maior aproximação das moléculas-alvo durante o desenvolvimento da vesícula e, além disso, apresentarem uma formação mais rápida, evitando a entrada de materiais indesejados no interior vesicular.

Existem proteínas que ajudam na montagem dos revestimentos das vesículas, tanto com clatrina quanto com COP I e COP II. Essas proteínas são as GTPases recrutadoras de revestimento, como por exemplo, as proteínas ARF e Sar1. A proteína ARF é responsável pela montagem dos revestimentos de COP I e clatrina, já a Sar1 atua na montagem de COP II. As proteínas de montagem também realizam o desmonte dos revestimentos, uma vez que as vesículas com clatrina e COP perdem seus revestimentos logo após o desligamento e liberação.

Atenção!

As vesículas desprendidas podem liberar seus conteúdos em diferentes locais da célula, podendo ser nos lisossomos ou vacúolos, se fundindo na membrana plasmática e também secretando para o meio extracelular.

Falta pouco para atingir seus objetivos.

Vamos praticar alguns conceitos?

Questão 1

Leia as afirmativas a seguir. Considerando V para verdadeiro e F para falso, assinale a alternativa com a sequência correta.

- ☐ Os ribossomos são organelas responsáveis pela degradação de proteínas.
- ☐ Os polissomos são grupos de ribossomos que podem estar ligados a uma molécula de DNA.
- ☐ Os ribossomos são formados por duas subunidades que se encaixam em uma molécula de RNA.

- () Um ribossomo é considerado funcional quando suas subunidades estão dissociadas.
- () Os ribossomos podem se encontrar livres no citoplasma ou associados a organelas como, por exemplo, o retículo endoplasmático.

A F-F-V-F-V

B F-F-V-V-V

C F-V-V-F-V

D V-F-F-V-F

E F-V-V-V-V

Parabéns! A alternativa A está correta.

Os ribossomos são estruturas responsáveis pela síntese de proteínas e são formados por duas subunidades. Para que o ribossomo seja considerado funcional, as suas subunidades devem estar unidas e encaixadas em uma molécula de RNA. Os ribossomos podem estar livres no citoplasma ou associados ao retículo endoplasmático. Também são encontrados ribossomos associados a mitocôndrias e cloroplastos (em plantas, por exemplo). Quando os ribossomos se encontram agrupados, são denominados polissomos, porém se associam ao RNA e não ao DNA.

Questão 2

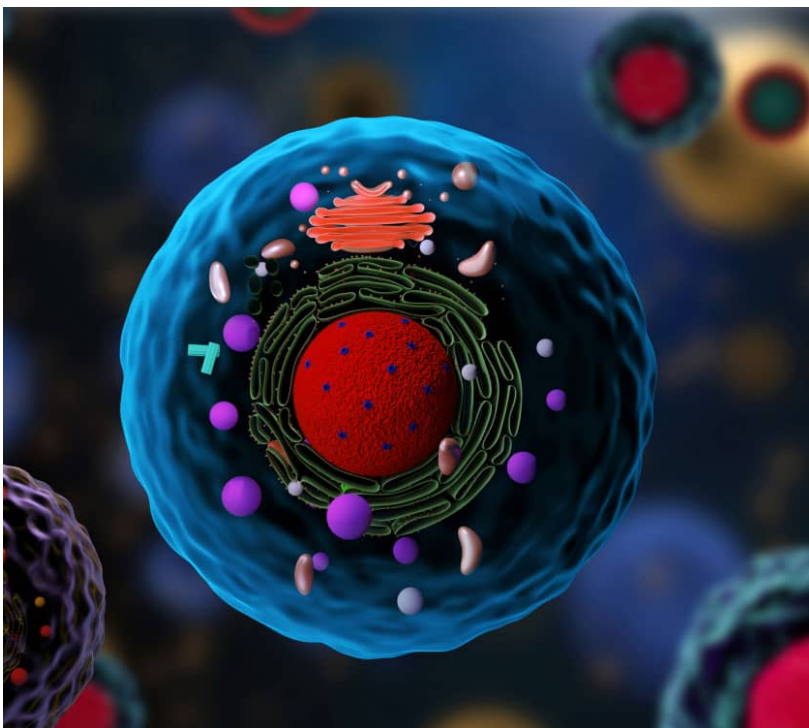
O retículo endoplasmático é uma organela exclusiva de células eucariontes e, sobre ele, assinale a alternativa correta:

A O retículo endoplástico rugoso é assim chamado devido à presença das pregas encontradas na superfície da organela.

- B O retículo endoplásmico liso atua na desintoxicação de medicação e de bebidas alcoólicas.
- C O retículo endoplásmico rugoso é especializado na síntese de lipídios e hormônios esteroides.
- D Apesar de os retículos endoplasmáticos liso e rugoso apresentarem nomes diferentes, possuem morfologias e funções iguais.
- E O retículo endoplasmático é formado por túbulos membranosos e vesículas achatadas que não possuem conexão entre si.

Parabéns! A alternativa B está correta.

O retículo endoplasmático é constituído por túbulos membranosos e vesículas achatadas interconectados. Ele é dividido em retículo endoplasmático liso e rugoso, que possuem morfologias e funções diferentes. O liso possui a função de desintoxicação de medicamentos e de bebidas alcoólicas e atua na síntese de lipídeos e hormônios esteroides. O retículo endoplasmático rugoso é assim chamado devido à presença de ribossomos em sua superfície.



3 - Digestão intracelular

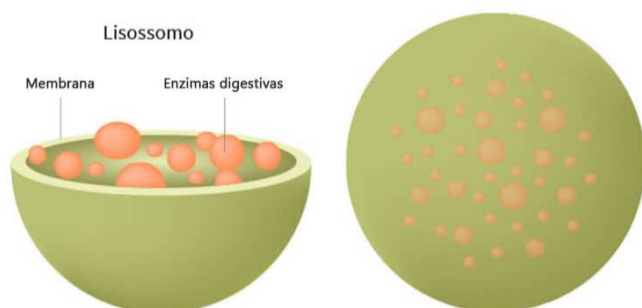
Ao final deste módulo, você será capaz de descrever as organelas responsáveis pela digestão intracelular.

Lisossomos

Já estudamos no módulo anterior que algumas das vesículas que saem do Complexo de Golgi são destinadas ao lisossomo.

Mas o que é o lisossomo e que funções desempenha?

O lisossomo é uma organela, que assim como o retículo endoplasmático e o complexo de Golgi, faz parte do sistema de endomembranas da célula. Ele apresenta em seu interior enzimas digestivas responsáveis pela reciclagem de estruturas da célula. Ou seja, o lisossomo degrada componentes celulares obsoletos com o intuito de reutilizar as suas moléculas.



Estrutura básica do lisossomo.

Além de degradar componentes intracelulares, os lisossomos também são capazes de digerir proteínas extracelulares que foram transportadas para o interior da célula. Um exemplo é o macrófago, célula do sistema imunológico, que possui como função fagocitar patógenos.

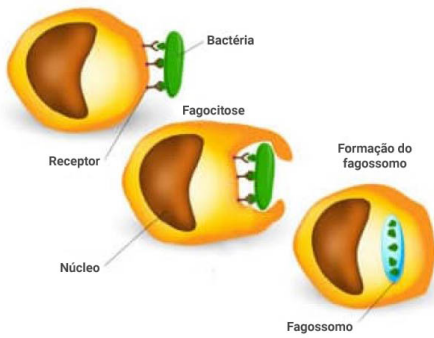


Ilustração da fagocitose de uma bactéria por um macrófago.

Durante a fagocitose, o macrófago engloba parte da sua própria membrana plasmática, devido à invaginação e ao dobramento da membrana para dentro. Esta membrana que envolve o patógeno forma uma estrutura chamada fagossomo, que vai se fundir a um lisossomo. Dentro do lisossomo, as enzimas digestivas destruirão o patógeno e reciclarão os componentes da membrana.

Resumindo

Os lisossomos possuem o papel de reciclagem de componentes celulares envelhecidos e atuam na defesa contra agentes externos, além de participarem de outros processos celulares, como [autofagia](#) e reparo de membrana.

utofagia

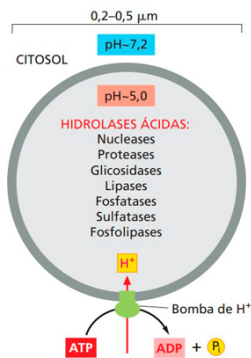
A autofagia é um processo catabólico celular que dá origem à degradação de componentes da própria célula utilizando os lisossomas.

As enzimas digestivas presentes nos lisossomos têm o objetivo primário de realizar clivagens em macromoléculas (proteínas, lipídeos, polissacarídeos e ácidos nucléicos). Essas enzimas são hidrolíticas e denominam-se:

- Proteases;
- Lipases;
- Glicosidases;
- Nucleases;
- Sulfatases;
- Fosfatases;
- Fosfolipases.

A produção das enzimas digestivas ocorre no retículo endoplasmático rugoso, em seguida são passadas para o complexo de Golgi, então são armazenadas em endossomos tardios e depois chegam aos lisossomos.

O lisossomo é delimitado por uma membrana que o envolve, e nessa membrana existem proteínas transportadoras que transportam os produtos finais da digestão, que ocorreu no interior do lisossomo, para o citosol da célula, local onde serão reutilizados. Os produtos finais da degradação das macromoléculas incluem aminoácidos, pequenos peptídeos, açúcares e nucleotídeos.



Hidrolases ácidas que são enzimas hidrolíticas no interior do lisossomo.

A membrana do lisossomo apresenta bombas de H^+ , que hidrolisam ATP e bombeiam os íons de H^+ para o interior do lisossomo, mantendo o lúmen lisossomal com o pH ácido. O pH ácido é muito importante porque as enzimas digestivas que atuam em seu interior apresentam sua ação ideal nesse pH.

Mas, se essas enzimas são responsáveis pela digestão de lipídeos, proteínas, polissacarídeos, como a membrana do lisossomo não é degradada pela ação das suas próprias enzimas?

Resposta

As membranas lisossomais são altamente glicosiladas, ou seja, possuem um número muito grande de grupos de carboidratos (açúcares) ligados a elas. Dessa forma, esses grupos de açúcares protegem os constituintes da membrana da degradação pelas enzimas digestivas do interior do lisossomo.

O funcionamento de uma célula como um todo é extremamente organizado, por isso, antes de qualquer componente ser direcionado ao lisossomo para ser digerido, este deve ser devidamente endereçado. Existem vias para destinar de maneira correta os componentes definidos para o lisossomo. Veja a seguir:

Endossomo

É uma vesícula formada com material advindo do meio extracelular que se funde aos lisossomos.

Autofagia



É a fusão de um autofagossomo (vesícula com conteúdos da própria célula que devem ser degradados) ao lisossomo.

Fagossomo

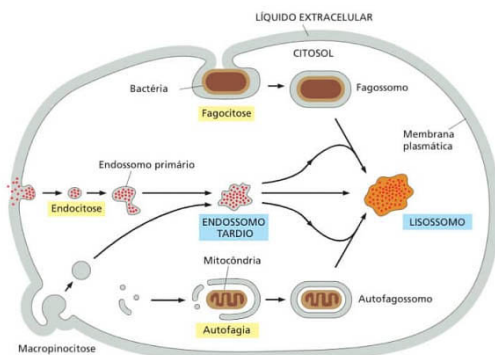


É a fusão da vesícula com corpos fagocitados (fagossomo) ao lisossomo.

Manose 6-fosfato

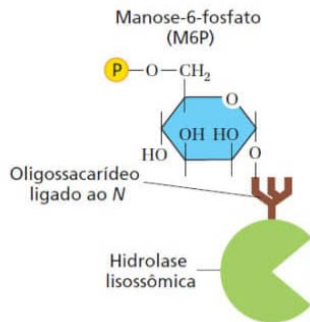


São proteínas que recebem a ligação de uma manose 6-fosfato, que será reconhecida, e então estas serão entregues ao lisossomo.



Vias de degradação dos lisossomos.

As vias do endossomo, autofagossomo e fagossomo ocorrem por meio do reconhecimento das membranas que formam as vesículas. Já a via da manose 6-fosfato ocorre de maneira diferente, porque neste caso o reconhecimento é feito pela manose e não pela constituição da membrana da vesícula. A pinocitose é um tipo de endocitose que engloba partículas líquidas. Dependendo do tamanho e destino, pode ser denominada macropinocitose ou micropinocitose.



Estrutura da manose 6-fosfato na enzima hidrolase lisossômica.

As proteínas que são direcionadas para os lisossomos recebem a ligação de manose 6-fosfato no complexo de Golgi. As manoses serão reconhecidas por receptores que estão na membrana do complexo. A partir daí, serão formadas vesículas com glicoproteínas (proteínas com ligação de manose 6-fosfato) ligadas a receptores. Essas vesículas brotarão da face trans do complexo de Golgi e vão se ligar aos lisossomos.

A via de autofagia é muito importante para a célula e é um processo altamente regulado. Ela pode acontecer em dois momentos potencialmente danosos:

- Pela falta de alimento;
- Pela presença de estruturas defeituosas.

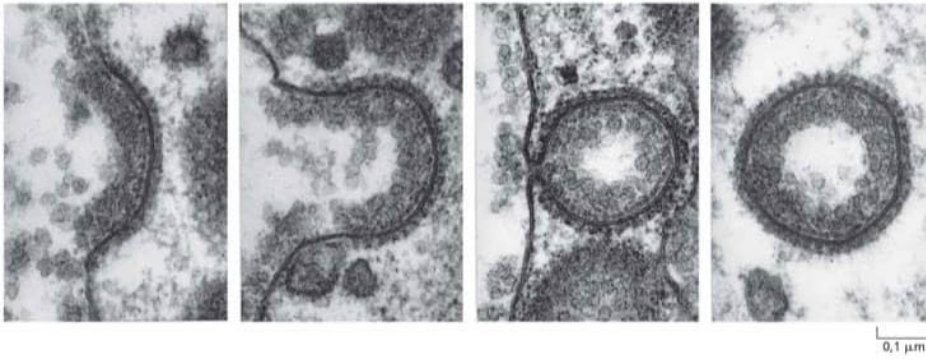
Uma estrutura-alvo no citoplasma será envolvida por uma vesícula para formar um autofagossomo, que depois se fundirá a um lisossomo, originando um autofagolisossomo. Essa união do autofagossomo com o lisossomo vai permitir que o conteúdo seja degradado e posteriormente reciclado. A regulação desse processo ocorre por meio de fatores excitatórios e inibitórios como, por exemplo, fatores de crescimento e hormônios.

Exemplo

A cinase mTOR1 é uma proteína celular que está associada a sensores de nutrientes e inibe uma outra proteína chamada ULK1. Quando ocorre a falta de nutrientes, a cinase mTOR1 reconhecerá essa falta e será inibida. Consequentemente, a atividade da proteína ULK1 será ativada, e assim se inicia o processo de autofagia.

Endossomos

Os endossomos são organelas que apresentam formatos variados e se localizam entre o complexo de Golgi e a membrana plasmática. Eles recebem moléculas que foram importadas a partir de vesículas endocíticas.



Formação de vesículas revestidas por proteína de revestimento clatrina a partir da membrana plasmática.

Os endossomos podem ser divididos em dois tipos principais que apresentam diferenças morfológicas, na composição de proteína, nos marcadores e pH:

Endossomos iniciais ou primários

Endossomos tardios ou secundários

O funcionamento dos endossomos pode ser resumido da seguinte forma:

As vesículas que se originaram a partir da endocitose se fusionam com os endossomos iniciais.



Em seguida, os endossomos iniciais amadurecem em endossomos tardios.

Conforme vai ocorrendo a maturação do endossomo, o seu lúmen vai se tornando mais ácido. Vale destacar que existem enzimas no seu lúmen. Quando o endossomo ainda é inicial, essas enzimas são entregues na forma zimógena (precursor enzimático inativo). À medida que o endossomo evolui para sua forma tardia, seu lúmen se torna ácido e, consequentemente, as enzimas, antes inativas, tornam-se ativas.

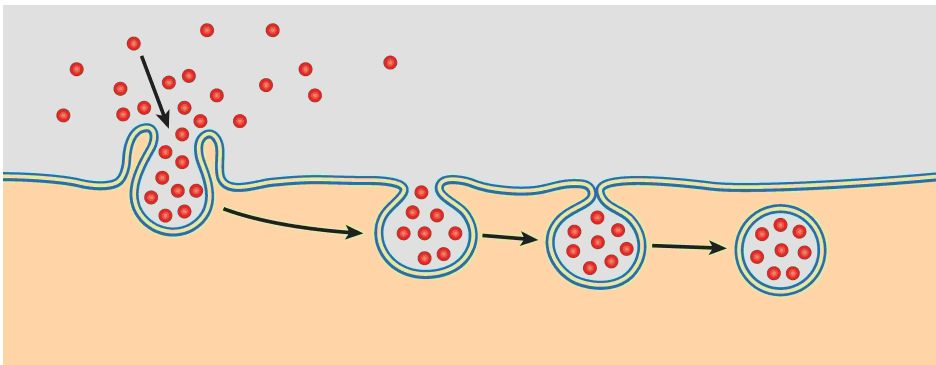
Agora vamos conhecer detalhadamente cada tipo de endossomo.

Endossomos iniciais

São os compartimentos que se localizam próximos à membrana plasmática e são os primeiros a receberem as vesículas endocíticas. Sua estrutura é constituída de uma rede dinâmica túbulo-vesicular, ou seja, são vesículas conectadas com túbulos com o pH em torno de 6,5.

A principal função do endossomo inicial é separar o complexo proteína-receptor do ligante. Mas o que isso significa?

Quando ocorre o processo de endocitose, a vesícula endocítica apresenta em seu interior os receptores que compõem a membrana plasmática ligados a um ligante específico. Esse ligante, no caso, é a partícula que foi endocitada. Ao ocorrer a fusão da vesícula endocítica com o endossomo inicial, esse endossomo possui o papel de dissociar o ligante do receptor. Depois que ocorre a separação do receptor e do ligante, esses materiais serão destinados a um caminho específico. A destinação do material resultante da endocitose pode ser: reciclagem ou encaminhamento para os lisossomos.



O processo de endocitose.

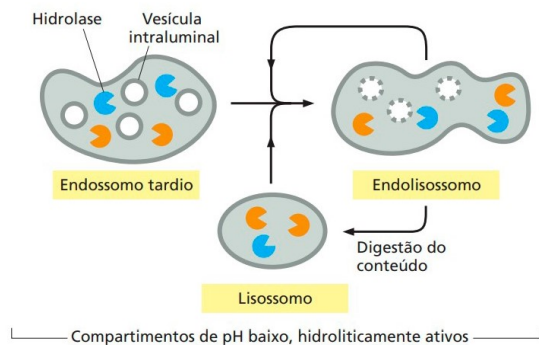
A reciclagem é o processo em que proteínas da membrana celular, que foram internalizadas após sofrer invaginação, retornam à membrana plasmática. Esse processo apresenta uma grande vantagem, uma vez que, reciclando velhas proteínas, não existe necessidade de produção de novas proteínas. Entendendo isso, é fácil perceber que os receptores internalizados no processo de endocitose passarão pela reciclagem para retornarem à membrana plasmática. Enquanto isso, os ligantes dos receptores seguem em direção ao lisossomo.

Endossomos tardios

Localizam-se próximos ao complexo de Golgi e ao núcleo. Os endossomos iniciais passam por vários processos de maturação que originam os endossomos tardios. Essa maturação ocorre ao passo que as vesículas unidas ao endossomo inicial são transportadas em direção ao núcleo pelos microtúbulos. Conforme a maturação vai acontecendo, o pH do endossomo, que a princípio está em torno de 6, vai diminuindo progressivamente.

Além da diminuição do pH, os endossomos também sofrem outras modificações como, por exemplo, recebimento de enzimas lisossomais oriundas do complexo de Golgi, produção de corpos multivesiculares e

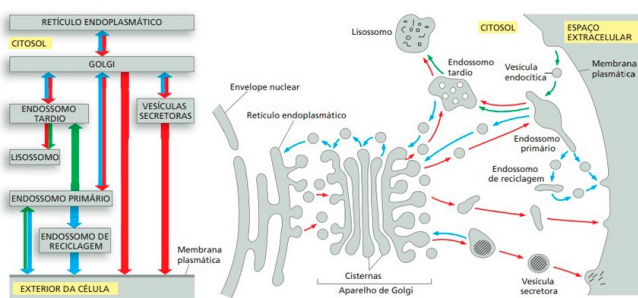
fusão com outros endossomos tardios ou com lisossomo preexistente, formando endolisossomos. Os endossomos tardios vão direcionar o soluto, ou seja, a partícula fagocitada ou pinocitada, para digestão nos lisossomos, formarão os endolisossomos, que amadurecem em lisossomos.



Maturação de lisossomos.

O processo completo é chamado de **via endocítica** e acontece da seguinte forma:

1. A membrana plasmática celular vai reconhecer, por meio dos seus receptores, as partículas (solutos) que serão endocitadas (fagocitadas ou pinocitadas).
2. Com o reconhecimento, a membrana plasmática vai se dobrar formando uma vesícula endocítica.
3. A vesícula vai se fundir com o endossomo inicial e os receptores serão separados dos solutos.
4. Após a separação, os receptores serão reciclados e retornarão à membrana plasmática.
5. Já os solutos serão direcionados pelo endossomo tardio, para serem digeridos e degradados no lisossomo.



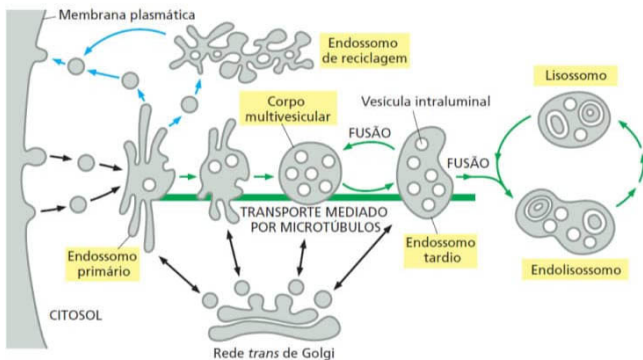
Transporte vesicular.

Relação entre lisossomos e endossomos

Como vimos, os endossomos e lisossomos participam da via endocítica, e agora vamos estudar especificamente a relação que existe entre os endossomos e os lisossomos. Após o processo de

endocitose, as vesículas são formadas e, em seguida, se fundem ao **endossomo inicial**, que está logo abaixo da membrana plasmática. Antes de se fundirem, as vesículas perdem suas proteínas de revestimento. Então, após a fusão, os receptores que forem internalizados retornam à membrana plasmática por meio das vesículas de transporte que brotam a partir do endossomo inicial. Enquanto isso, as proteínas que permaneceram no interior do endossomo inicial seguem para a via de degradação e é neste momento que começa a relação entre o endossomo e o lisossomo.

Os endossomos iniciais migram para o interior da célula por meio dos microtúbulos e durante este deslocamento várias vesículas começam a brotar a partir dele. Porém, outras várias vesículas passam a se fundir a esse endossomo inicial. Essas vesículas são oriundas da membrana plasmática e do complexo de Golgi. As várias vesículas fundidas ao endossomo inicial geram corpos multivesiculares que, com o passar do tempo, vão se fundir entre si e formar o **endossomo tardio**. Lembrando que esses processos de fusão de vesículas ocorrem enquanto o endossomo segue seu deslocamento até o interior da célula.



Maturação dos endossomos na via endocítica.

Esses endossomos tardios podem se fundir com outros já existentes nas células. Depois disso, já com seu interior ácido, realizarão a digestão das moléculas e, conforme a degradação for concluída, essas estruturas amadurecerão em **lisossomos**.

Resumindo

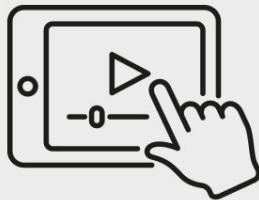
Entendemos que um endossomo inicial passa por modificações, originando um endossomo tardio que adiante formará um lisossomo. Lembrando que, durante esse processo, ocorrem modificações como a redução progressiva do pH, o recebimento de vesículas do complexo de Golgi, a ativação das suas enzimas e a fusão com endossomos preexistentes.



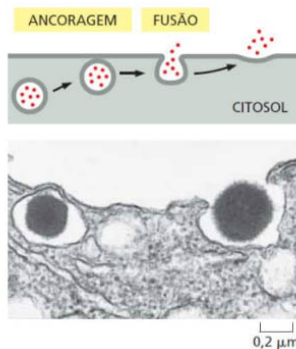
Via endocítica

Neste vídeo, a especialista explicará como ocorre o processo da via endocítica.

Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



O lisossomo não é necessariamente o estágio final da via endocítica. Sabe por quê?



Exocitose através de vesículas secretoras.

Porque os produtos da digestão que acontece nos lisossomos podem seguir alguns caminhos diferentes:

- Os produtos podem ser transferidos para o citoplasma, a fim de serem utilizados em vias de biossíntese.
- Os produtos podem se acumular nas células, como acontece com os pigmentos de envelhecimento, por exemplo.
- Os produtos podem ser eliminados do meio intracelular pela exocitose, quando são produtos indigeríveis.

Um exemplo de exocitose de produtos indigeríveis acontece com melanócitos da pele. Essas células produzem e armazenam pigmentos em seus lisossomos, formando melanossomos. Melanossomos são responsáveis pela liberação de pigmentos para o meio extracelular por exocitose. Uma vez no meio extracelular, os pigmentos são englobados por queratinócitos, e isso irá formar a pigmentação natural da pele. Mas o que acontece se houver um problema nessa liberação dos produtos indigeríveis, mantendo esses pigmentos armazenados?



Menina com albinismo.

Nesse caso, se ocorrer disfunção no processo de exocitose, os queratinócitos não terão pigmentos para englobar, logo causará um quadro de albinismo no indivíduo.

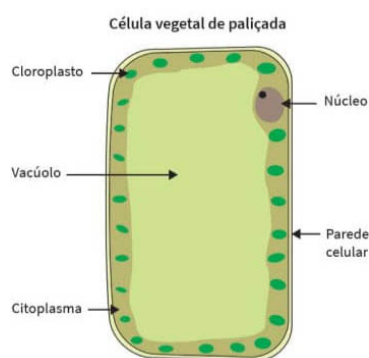
Outro exemplo da consequência de armazenamento de produtos indigeríveis pelos lisossomos acontece com trabalhadores de minas que não usam máscaras. Esses trabalhadores aspiram constantemente sílica particulada, que é um composto químico e causa uma doença conhecida como silicose.

No organismo, os macrófagos dos pulmões fagocitam a sílica na tentativa de eliminá-la, porém esse composto é indigerível e se acumula nos lisossomos acarretando a lise e morte dos macrófagos, o que desencadeia uma série de processos que culminam na fibrose pulmonar, com perda da capacidade respiratória, podendo levar o indivíduo à morte.

Verificamos, com isso, o quão fundamental é a atividade dos lisossomos para as células e como o seu mau funcionamento pode acarretar doenças.

Vacúolos

O vacúolo é uma organela presente na célula vegetal e ausente na célula animal. Possui diferentes funções e uma delas é a digestão intracelular. É delimitado por uma única membrana, chamada tonoplasto ou membrana vacuolar, e é preenchido por um líquido aquoso chamado suco celular ou suco vacuolar.

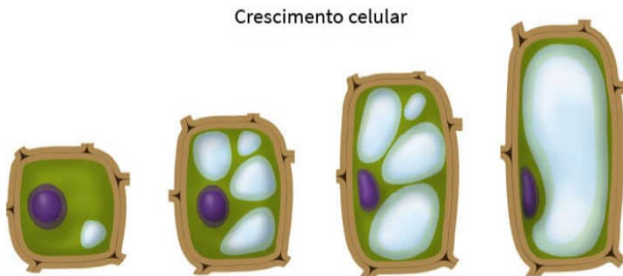


Célula vegetal com grande vacúolo característico.

O vacúolo pode ter origem diretamente no retículo endoplasmático, mas a maioria das proteínas que compõem o tonoplasto é originada no complexo de Golgi.

Assim que se formam as células-filhas, após a divisão celular, cada nova célula apresenta diversos pequenos vacúolos. Conforme a célula cresce e amadurece, os pequenos vacúolos crescem e se fundem, formando um grande vacúolo na célula madura.

Nas células vegetais adultas, o vacúolo pode ocupar de 30% a 90% do seu volume total, comprimindo o citoplasma contra a parede celular. O volume do vacúolo vai depender do tipo e da função da célula. O vacúolo também tem a função de digestão, assim como os lisossomos das células animais que acabamos de estudar.



Formação do vacúolo durante o crescimento celular.

É importante salientar que as células vegetais não possuem lisossomos!

A função digestiva dos vacúolos ocorre pela presença de enzimas digestivas no suco vacuolar. Por exemplo, em algumas sementes, as enzimas atuam na hidrólise de proteínas estocadas como reserva, a fim de disponibilizar energia para o embrião durante o seu desenvolvimento.

Falta pouco para atingir seus objetivos.

Vamos praticar alguns conceitos?

Questão 1

As células possuem diversos compartimentos membranosos que podem ser originados da membrana plasmática ou, mais internamente, através do retículo endoplasmático e complexo de Golgi. Dentre as estruturas membranosas, assinale a alternativa que melhor caracteriza os lisossomos.

- A Os lisossomos são organelas que não possuem revestimento de membrana.
- B O pH do interior dos lisossomos é extremamente alto.

- C As proteínas marcadas com manose 6-fosfato são aquelas que não devem ser entregues e digeridas nos lisossomos.
- D Os lisossomos possuem importante papel na reciclagem de estruturas envelhecidas no interior da célula.
- E As enzimas digestivas que se encontram no interior dos lisossomos apresentam seu funcionamento ideal em pH neutro.

Parabéns! A alternativa D está correta.

Os lisossomos são organelas membranosas que apresentam um papel fundamental na reciclagem de estruturas envelhecidas no interior celular. As enzimas digestivas que se encontram no lúmen lisossomal apresentam sua ação ideal em pH ácido, por isso o interior do lisossomo apresenta pH baixo. As proteínas que recebem marcação com manose 6-fosfato são entregues ao lisossomo para serem digeridas.

Questão 2

Considere as afirmações a seguir e assinale a alternativa correta:

- I- Os endossomos iniciais estão localizados próximos à membrana plasmática e se fusionam com vesículas endocíticas.
- II- As enzimas que constituem os endossomos tardios são inativadas conforme a maturação evolui.
- III- Os endossomos iniciais e tardios apresentam as mesmas características morfológicas e de composição.
- IV- Quanto mais imaturo o endossomo, mais ácido é o seu lúmen.
- V- O endossomo inicial possui função de separar o complexo proteína-receptor do ligante.

- A As afirmações I e II estão corretas.

- B As afirmações II e III estão corretas.
- C As afirmações IV e V estão corretas.
- D As afirmações II e IV estão corretas.
- E As afirmações I e V estão corretas.

Parabéns! A alternativa E está correta.

Os endossomos iniciais e tardios apresentam morfologia e composição diferentes. Os iniciais estão localizados próximos à membrana plasmática, fusionam-se com vesículas endocíticas e possuem a função de separar o complexo proteína-receptor do ligante que foi endocitado. Conforme os endossomos vão amadurecendo, seus lúmens se tornam mais ácidos e as enzimas vão se ativando.

Considerações finais

Como vimos, o citoplasma é mais complexo do que pode aparentar. Ele não funciona somente como um local para abrigar as organelas e o núcleo, mas sim como uma região organizada e dinâmica onde ocorrem importantes reações do metabolismo celular. O citoesqueleto, por sua vez, tem papel fundamental relacionado a tais características do citoplasma, assim como do núcleo. Ainda, as organelas são também indispensáveis para o bom funcionamento das células e do organismo como um todo.

Conhecemos as organelas envolvidas na síntese e na digestão celulares, sua estrutura e funções. Vimos que o não funcionamento, ou o funcionamento parcial de uma única organela, como é o caso dos lisossomos, pode acarretar vários problemas para a vida de um organismo. Por fim, aprendemos que as células vegetais também possuem uma organela responsável pela digestão celular, entre outras funções, que é o vacúolo.

O trabalho em conjunto dos componentes do citoplasma, citosol, membranas, organelas, citoesqueleto e todas as estruturas que compõem a célula, é o que proporciona um organismo funcional.



Podcast

Neste podcast, a especialista responderá perguntas relacionadas ao funcionamento do citoplasma, ao citoesqueleto e organelas envolvidas na síntese e digestão celular.

Para ouvir o *áudio*, acesse a versão online deste conteúdo.



Referências

ALBERTS, B. *et al.* **Biologia molecular da célula**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

AMABIS, J. M.; MARTHO, G. R. **Biologia moderna**. 1. ed. São Paulo: Moderna, 2016.

KARP, G. **Biologia celular e molecular: conceitos e experimentos**. 1. ed. Barueri: Manole, 2005.

MOREIRA, C. **Sistema endomembranar e digestão intracelular**. In: Rev. Ciência Elem., v. 3, n. 4, p. 213, 2015.

Explore +

Para conhecer mais sobre o assunto abordado neste conteúdo, pesquise os artigos:

- **Interacting Organelles**, de Sarah Cohen, Alex M. Valm e Jennifer Lippincott-Schwartz e veja como os autores abordam a interação entre as organelas.
- **Cell mechanics and the cytoskeleton**, de Daniel A. Fletcher e R. Dyrche Mullins, e veja como os autores abordam a interação da mecânica celular e o citoesqueleto.
- **Ultrastructure of the actin cytoskeleton**, de Tatyana M. Svitkina, e veja como ela resume o recente avanço em nossa compreensão sobre a ultraestrutura do citoesqueleto de actina.