

Prof.Dr.Pınar AKSOY SAĞIRLI

Nükleus ve Nükleolus (Çekirdek ve Çekirdekçik)

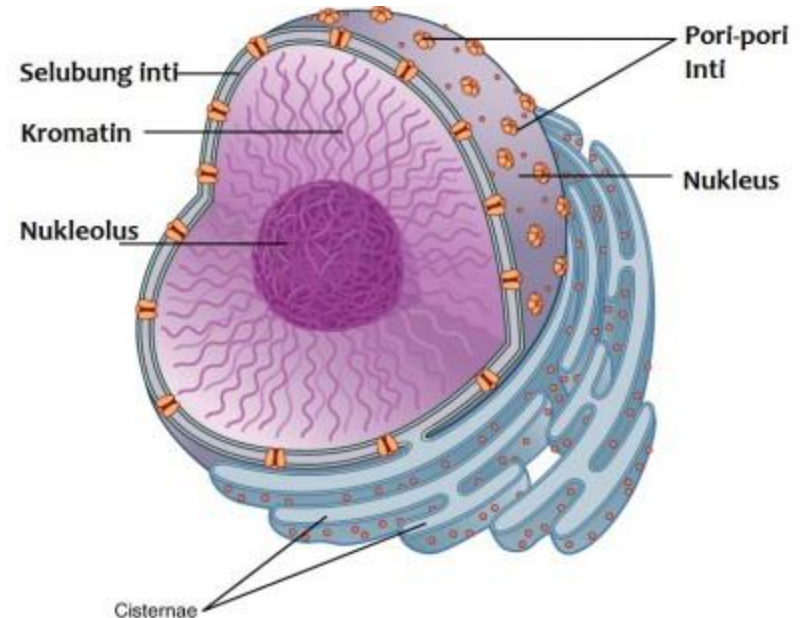
Nükleus

- Tüm ökaryotik hücrelerde bulunur
- Nükleusu olmayan hücreler;

Eritrosit

Trombosit

Mercek Lifleri

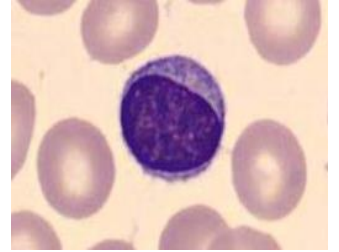


Nükleosun özellikleri

- Ökaryot ile prokaryotları ayıran temel özelliktir.
- Hem genetik bilginin deposu hem kontrol merkezidir.
- DNA replikasyonu ve transkripsiyonu nükleus içinde gerçekleşir.

Büyüklik

Hücre büyüklüğü ile orantılıdır (5-10 μ M)



Kural dışı hücrelerde vardır

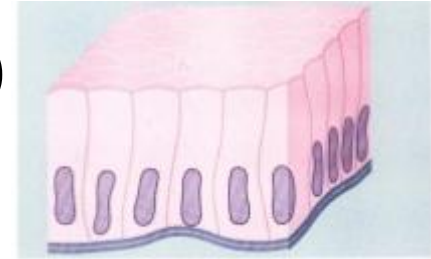
Lenfositler: Küçük hücre, büyük nükleus içerir

Oositler: Büyük hücrelerdir ancak küçük nükleus içerirler (30-40 μ M)

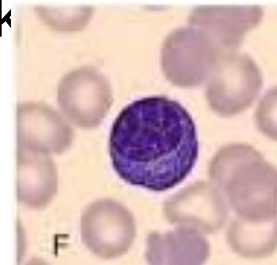
Yerleşimi

1. Genellikle hücre merkezinde (santral nükleus)

2. Bazen hücre bazalinde (bazal nükleus)
Örn: Prizmatik epitel hücreleri

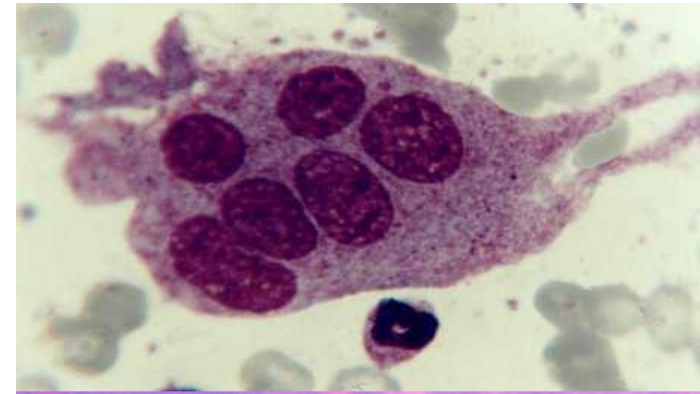


3. Hücrenin bir tarafına çekilmiş (eksantrik (merkezin dışında) nükleus)
Örn: Plazma hücresi



Sayı

- Çoğu hücre tek nükleuslu
- Binükleer (iki nükleuslu) hücreler
 - Karaciğerde hepatositlerin 1/3'ü
 - Leydig hücreleri (testis)
 - HCl salgılayan hücreler (mide)
- Polinüklear hücreler (çok nükleuslu)
 - Osteoklast (5-10 nükleus)
 - Desidual hücre (plasenta)



Ökaryotik Hücrelerde Nükleusun önemi

Hücre genomunun nükleus membranı ile sarılarak sitoplazmadan ayrılması gen anlatımının ökaryotlara özgü mekanizmalarla düzenlenmesini sağlar.

Ökaryotlarda;

Nükleus

- DNA replikasyonu
- Transkripsiyon
- RNA işlenmesi

Sitoplazma

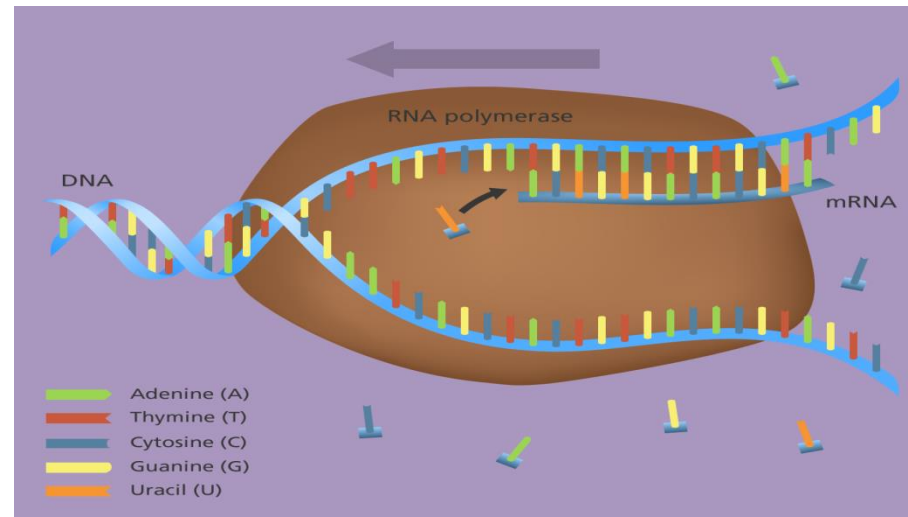
Translasyon

Prokaryot hücrelerde ise bütün işlemler sitoplazmada gerçekleşir

Ökaryotik Hücrelerde Nükleusun önemi

1. Gen ekspresyonu,
Transkripsiyon sonrası mekanizmalarla ve
Transkripsiyon sırasında proteinlerin (Transkripsiyon faktörlerinin)
nükleusa taşınması ile düzenlenir.

2. DNA nükleus içine kapatılarak sitoskelet sistemi tarafından etkilerden korunur.



Nükleusun bölümleri

1. Nükleus zarfı (Karyolemma)

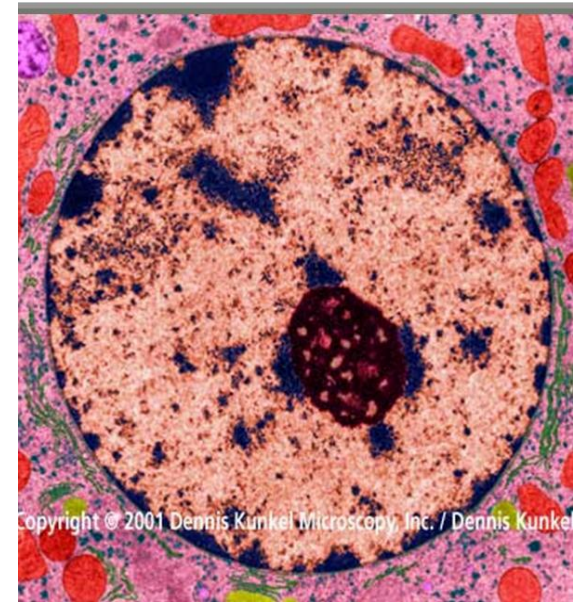
- İç membran
- Perinüklear aralık
- Dış membran

2. Kromatin

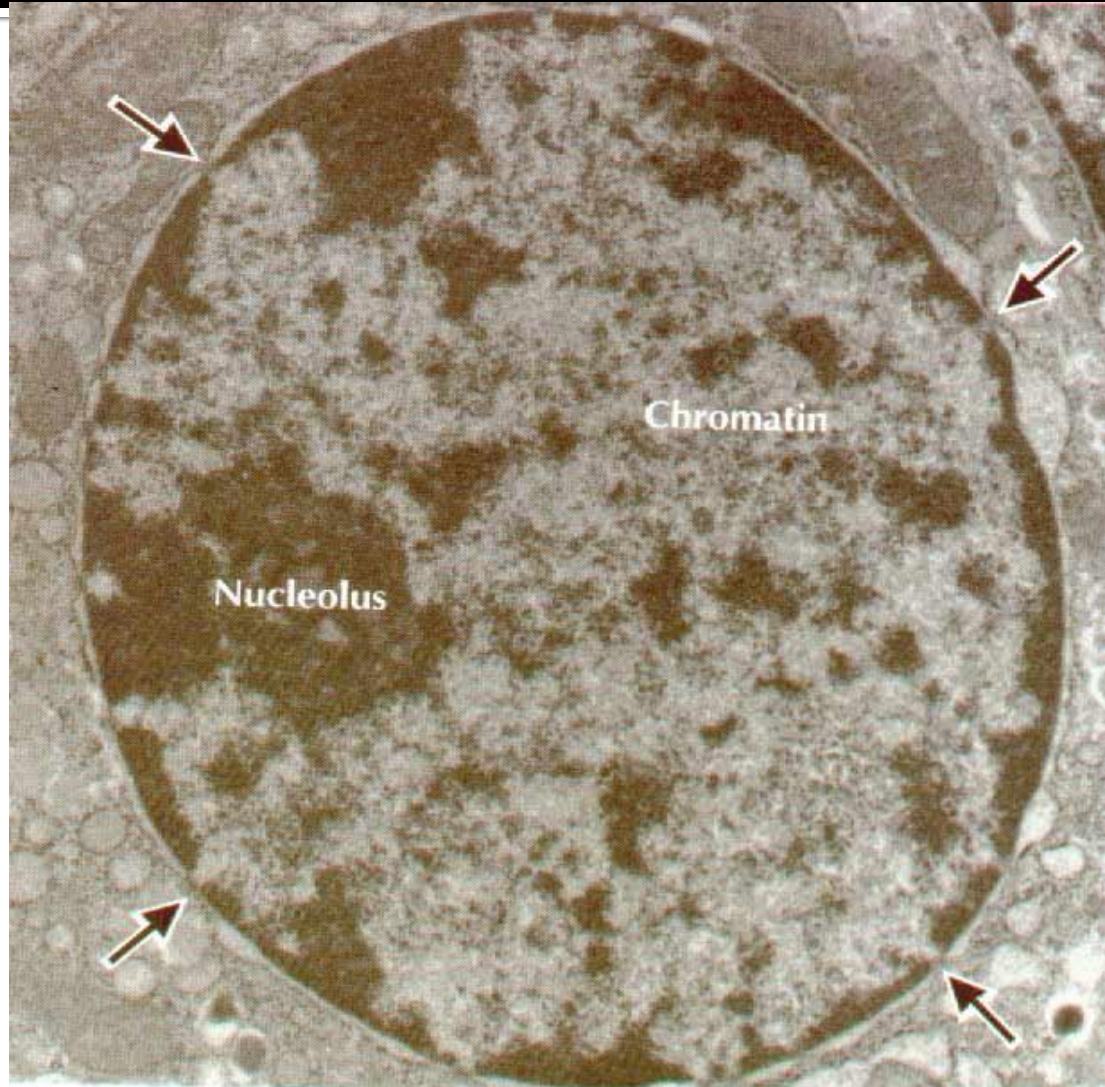
- DNA + Protein (Histon ve Histon olmayan Proteinler)

3. Nükleolus

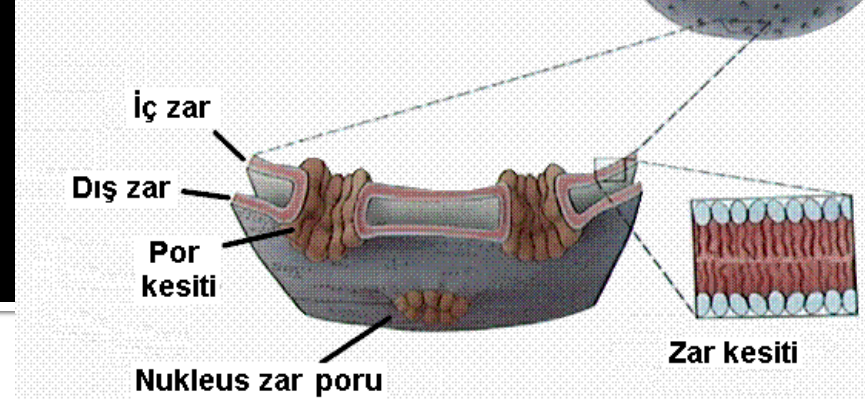
4. Nükleoplazma (nükleus matriksi)



Nükleosun elektron mikroskobu altında incelenmesi

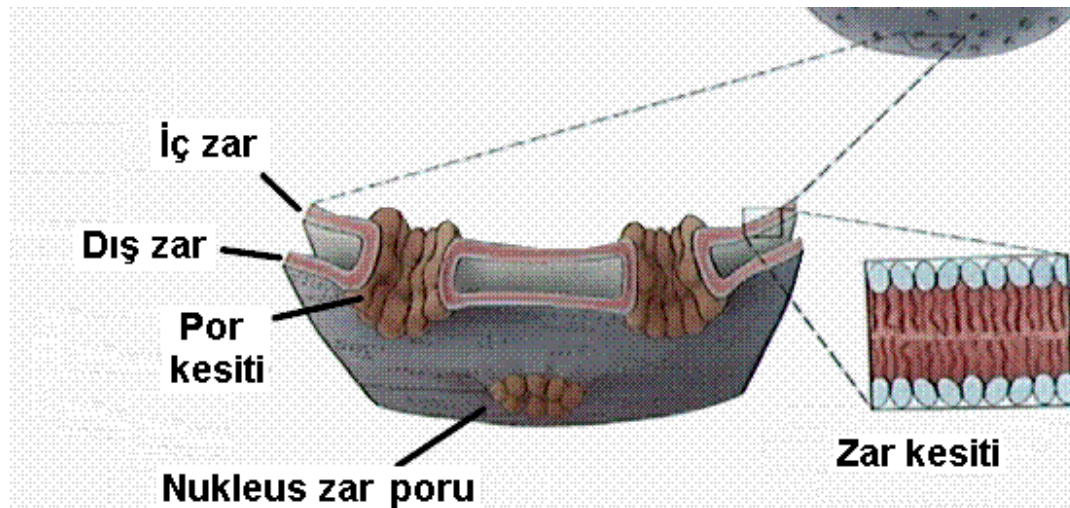


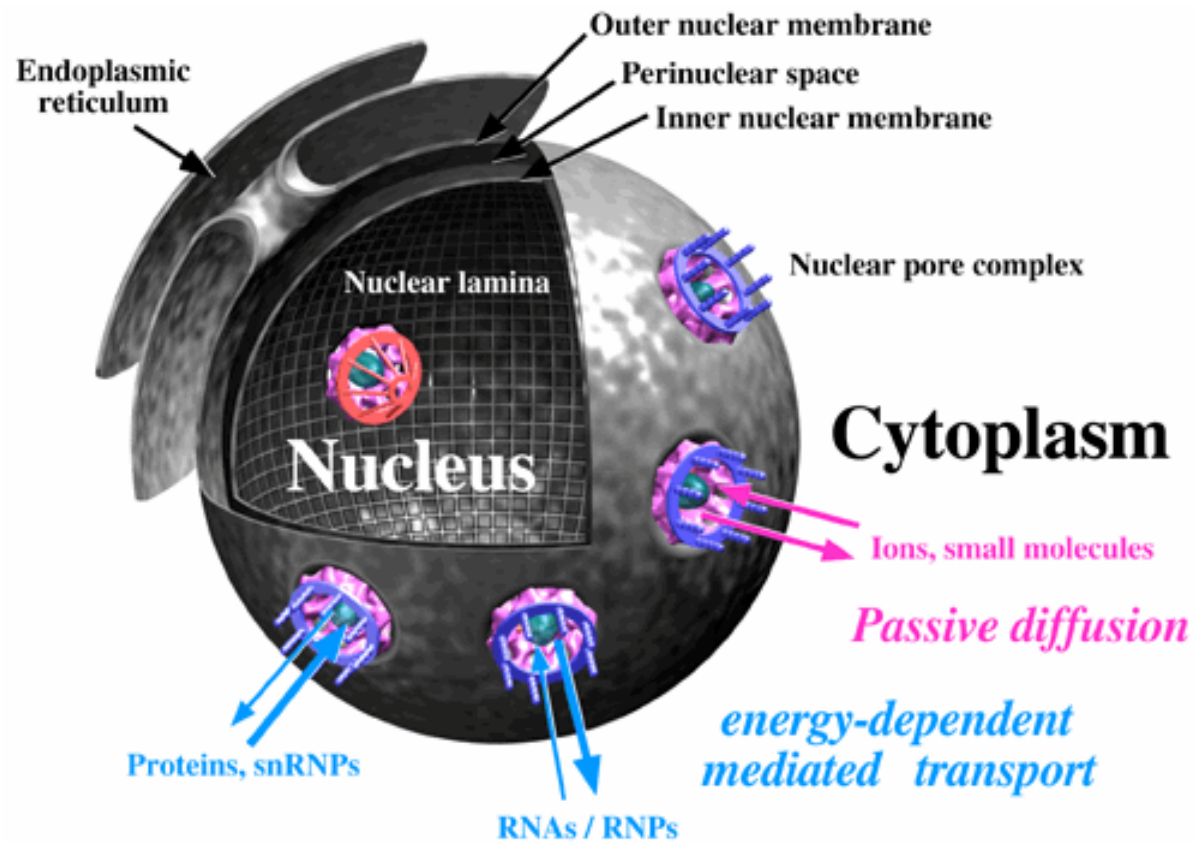
Nükleus zarfının özellikleri



- Nükleus ve sitoplazma arasında bariyer oluşturur.
- Nükleus membranları çift katlı fosfolipidlerden oluşur ve sadece küçük hidrofobik moleküllere karşı geçirgendir.
- Her bir zarın kalınlığı 7-10 nm kadar olup iki zar arasında perinukleer aralık adı verilen 20-40 nm genişliğinde bir açıklık vardır.

- Dış ve iç zar devamlı bir yapıda değildir. Bazı bölgelerde kaynaşarak nukleoplazma ile sitoplazma arasındada iletişim sağlayan **Nükleer porları** oluşturur.
- Dış zar GER ile devam eder.



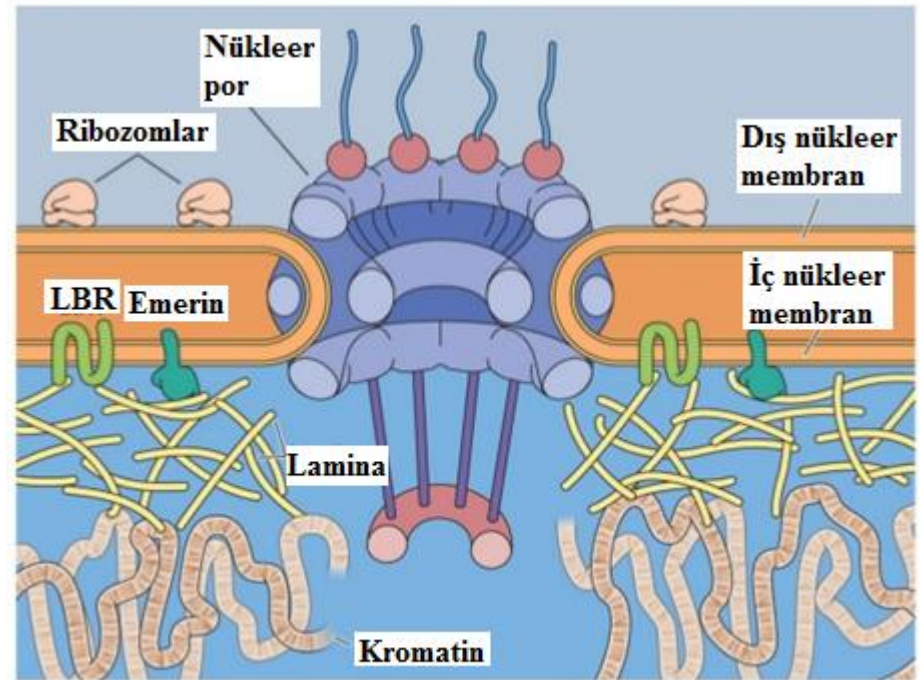


Nükleer Lamina

- Nükleer zarf her iki taraftan da **filamentlerle** kuşatılmıştır.
- Dış zarı kuşatan filamentler az organize olmuş iken

İç zarın içini fibröz bir ağ şeklinde kuşatan filamentler oldukça düzgün sıralanmıştır.

Bu yapıya “Nükleer lamina” denir.



Nükleer Lamina

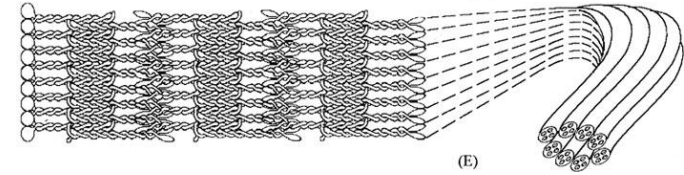
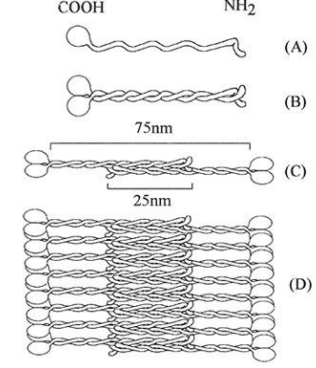
Yapısı

Lamina, Lamin proteinlerinden oluşur
(Lamin A, Lamin B₍₁₋₂₎, Lamin C)

Laminler araçapta filament ailesi üyesidir
(60-80 kDa)

Laminler birbiriyle bağlanarak önce ikili moleküller oluşturur
daha sonra bunların da bir araya gelmesiyle ipliksi yapılar oluşur.

İpliksi proteinlerin yan yana düzenlenmesiyle nükleer
laminanın kafesi andıran yapısı oluşur.



Nükleer Lamina

İşlevi

- Kromatin için tutunma bölgeleri oluşturur
- nükleus membranına destek sağlar

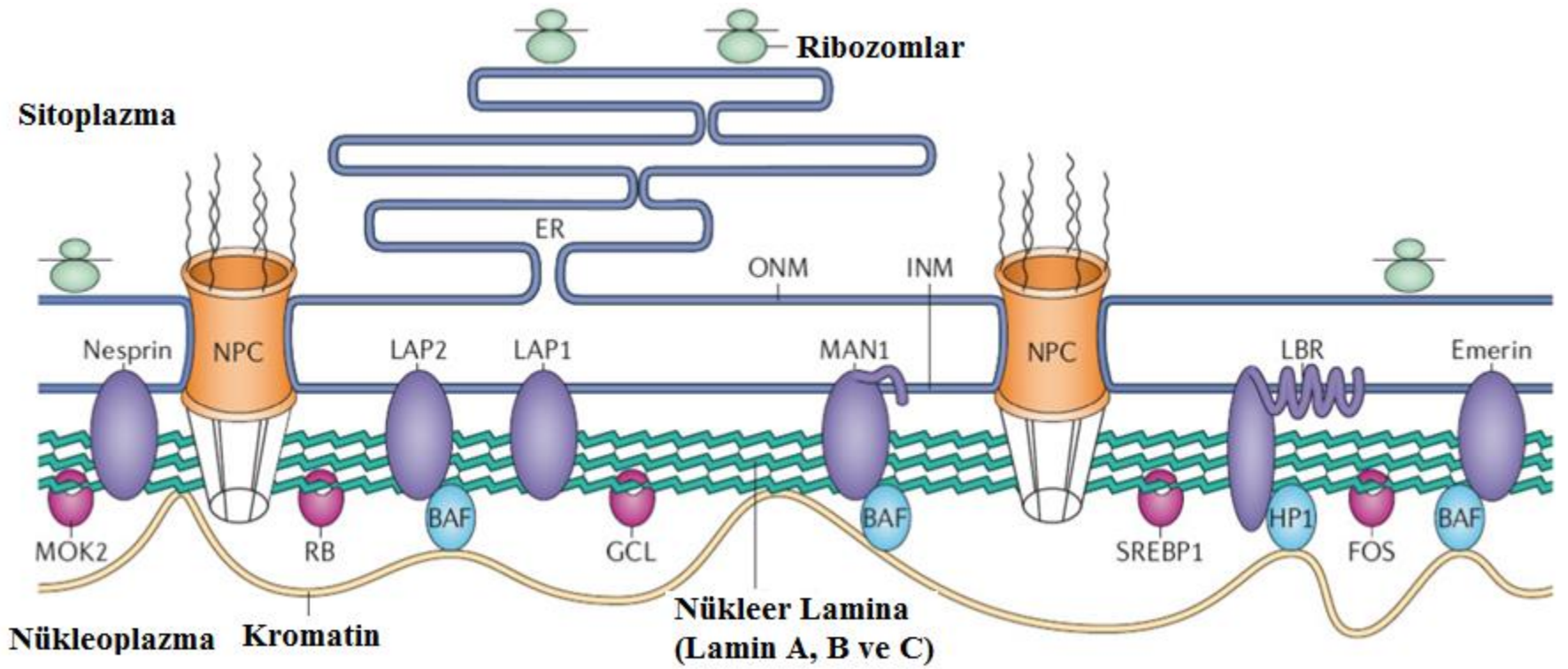
Lamin mutasyonları

Nükleus zarfı bozulur

Musküler distrofi nedeni (Lamin A mutasyonu)

Miyopatiler vb.

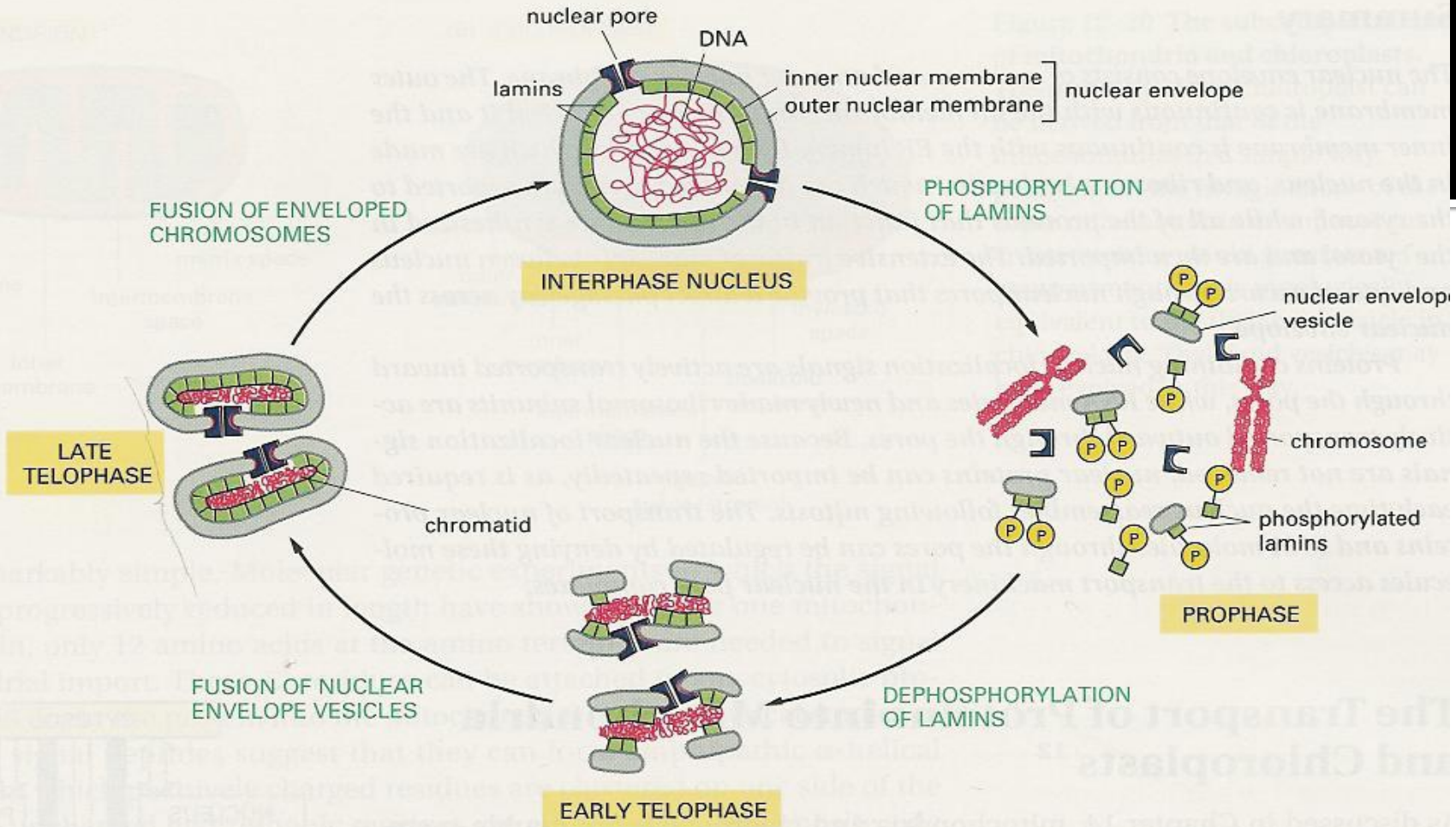
Progeria (Hızlı Yaşlanma)



Nükleer lamina

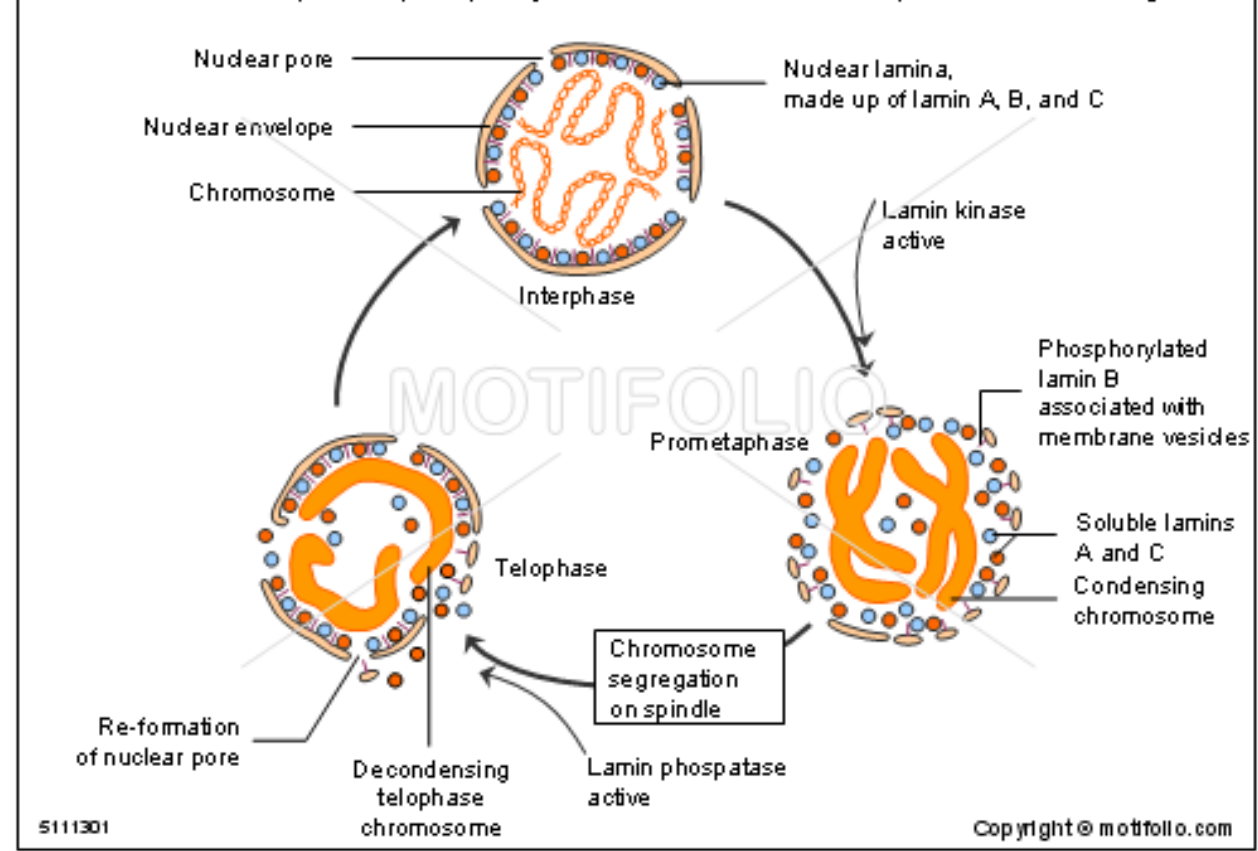
Mitoz ve laminlerin etkisi

- ◉ Mitoz sırasında nükleus zarfı dağılır.
- ◉ **Lamin B** küçük membran veziküllerine bağlı durumda kalır.
- ◉ **Lamin A** ve **C** ise sitoplazmada çözünmüş durumdadır



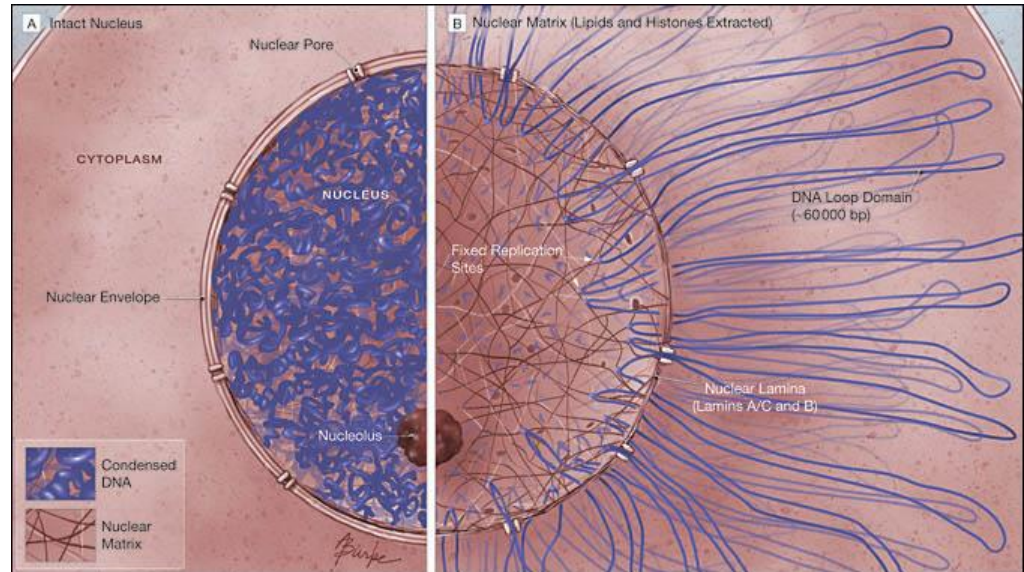
- Laminler fosforile olduğu zaman, ayrılırlar. Nükleer kılıf vezikullerine ayrılır.
- Defosforilasyon ise bu durumu tersine çevirir ve çekirdeğin tekrar düzenlenmesi sağlanır.

Correlation of lamin protein phosphorylation and nuclear envelope structure during mitosis



n klaus Matriksi

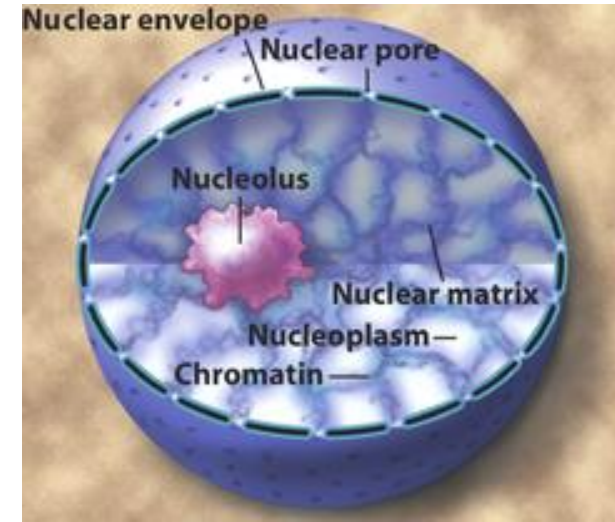
- N klaus izole edilip protein, lipid, RNA ve DNA içeriği özel yöntemlerle ortadan kaldırılsa, nükleusta fibröz bir protein a ı bozulmadan geriye kalır.
- Bu yapıya **n klaus matriksi (Nükleoplazma)** denir.
- Böyle işlemlerden geçirilen nükleuslar elektron mikroskobu ile incelendiğinde n klaus matriksinin esas olarak **fibrils**i elemanlardan oluştuğu görülür.



nükleus matriksinin görevleri

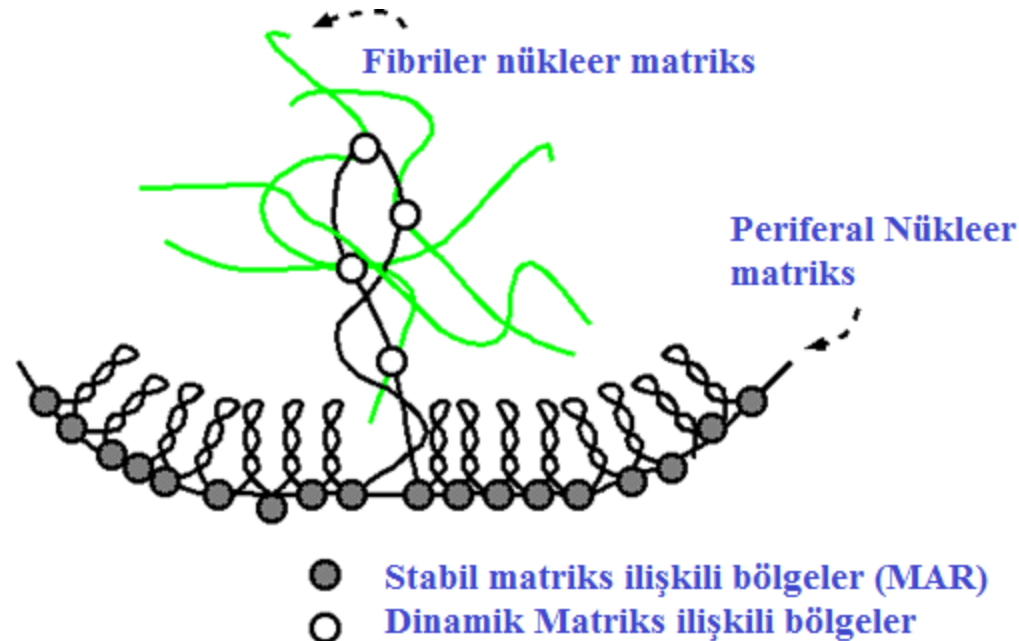
Görevi

- Yapısal bir kafes oluşturur.
- Kromozomların nükleus içerisindeki düzenini sağlar.
- DNA transkripsiyonu ve DNA replikasyonunun düzenlenmesini sağlar (matriks proteinleri ilgili enzimleri içerir).



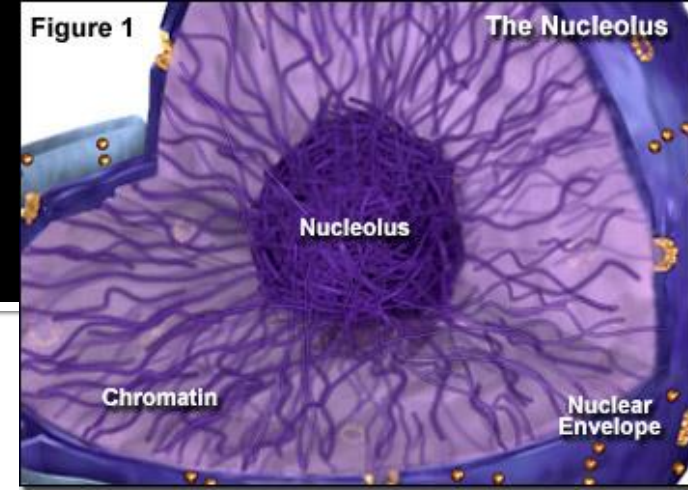
Nükleus matriksinin görevleri

- DNA'daki özel diziler, matriksi oluşturan proteinlere bağlanır.
- Bu dizilere **matriks ile ilişkili bölgeler (MAR)** adı verilir.
- Böylece kromozomların genlerin nükleus içinde düzenlenmesine ve gen anlatımı ve DNA replikasyonunun düzenlenmesine katkıda bulunur



NÜKLEOLUS

- Nükleus içerisinde yer alan, bir zarla çevrilmemiş, nükleusa oranla daha homojen bir yapıdır.
- Yuvarlak veya oval biçimli ve oldukça koyu renklidir
- Çapı 0.5 ile 5.0 μ M'dir
- Histolojik kesitlerde bazik boyalarla koyu olarak boyanır.



NÜKLEOLUS

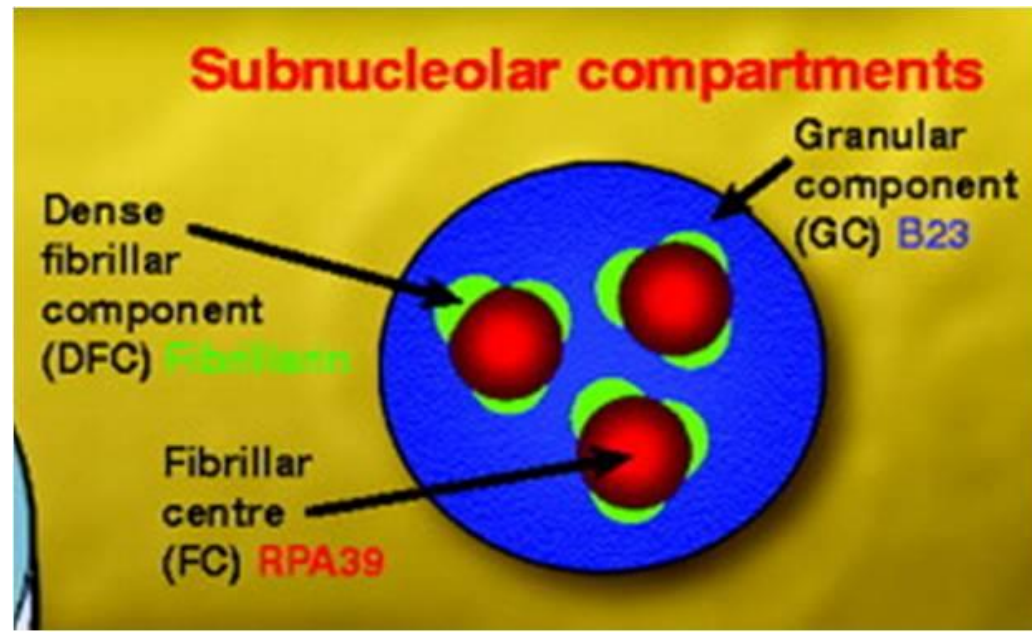
- Çoğu memeli nükleusu, 1-5 nükleolusa sahiptir.
- Nükleolus içinde **ribozom biyojenezinin** çeşitli aşamaları gerçekleşir.
- Herbir hücre döngüsünde yaklaşık 5 milyon ribozom sentezlenir.

NÜKLEOLUS

- rRNA genleri
- rRNA transkripsiyonu
- Öncül RNA'lar
- rRNA işlenmesi
- Olgun rRNA'lar
- Sno RNP'ler (rRNA işlenmesi)
- Ribozomal alt üniteler

NÜKLEOLUS

- Nükleolus içinde üç temel alan vardır
 1. **Fibriler merkez (FC)**
 2. **Yoğun fibriler komponent (DFC)**
 3. **Granüler komponent (GC)**



NUKLEOLUS

- **Fibriler merkez**

- Sirküler yapıdadır ve 'Nucleer Orginizer Region', yani NOR'u temsil eder. rRNA gen tekrarlarının olduğu kromatin
- Aktif olarak büyüyen hücrelerde, NOR'ların rRNA gen dizileri çözölmüş olup, birkaç FC halindedir.
- Aktif olarak transkribe edilen genler, FC ile DFC sınırında bulunur.

NÜKLEOLUS

- **Yoğun fibriler komponent**

- Yeni rRNA'ların oluştuğu ve bazılarının işlenmeye başladığı alan

- Nükleolar DFC, genellikle FC'nin etrafında bir kenar oluşturur, bazen yumru şeklidir.

- Yüksek konsantrasyonda RNP içerir ve bundan dolayı elektronca yoğundur.

NÜKLEOLUS

- Granüler komponent

FC ve DFC, 3. nükleolar alanı temsil eden nükleolar GC olarak isimlendirilen paketlenmiş 15nm'lik granür yapısının içine yerleşmiştir.

Ribozomal altünitelerin birleştiği alandır.

Nükleolus

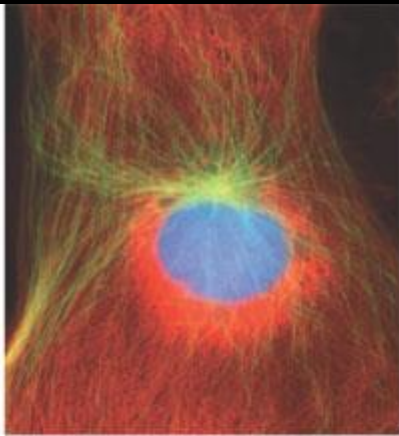
- Nükleolar morfoloji, hücrenin genel metabolizmasını yansıtır
- Örneğin, insan periferik kan lenfositleri genellikle içinde sadece bir FC görülen tek ufak bir nükleolusa sahiptir
- Hücre aktif olduğu zaman nükleolus büyür, biçimi ve integral organizasyonu değişir.
- Fitohemagglutinin ile uyarılan lenfositlerde kültürün 24-48 saattinden sonra birkaç FC'li bir veya birkaç nükleolus görülür.

Nükleolus ve kanser

- Kanser hücreleri genellikle yüksek protein sentezi ve yüksek rRNA transkripsiyon düzeyi ile karakterize edilir
- Bu nedenlerden dolayı nükleolusun sayısı, büyüklüğü ve morfolojisi, insan kanserlerinde teşhis belirteci olarak kullanılabilir.

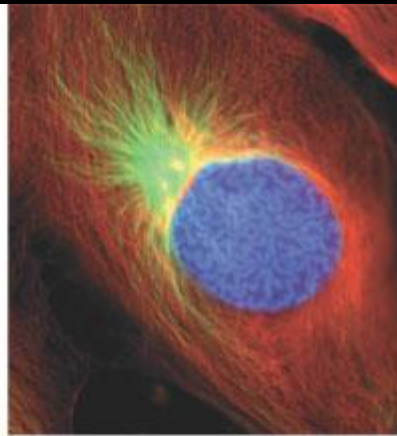
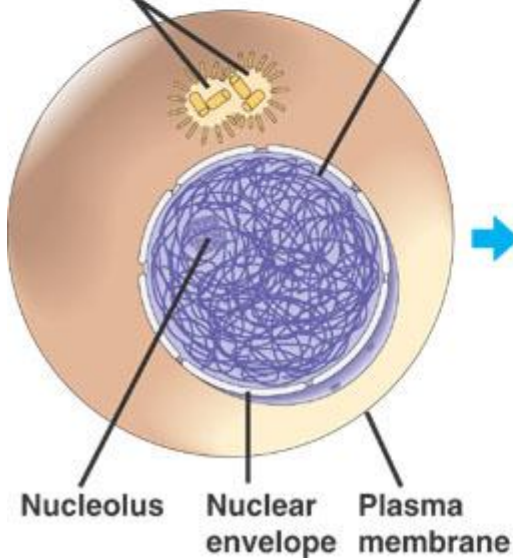
Nükleolus ve Mitoz

- Nükleolusun tekrar oluşma süreci **telofazda** başlar;
Daha önceki hücre siklüsünden NOR ile ilişkili kalan işlenmemiş pre-RNA ve işlemsel faktörler major rol oynar
- Nükleolar komponentlerin birçoğu, NOR ile ilişkili olan prenükleolar cisimler olarak adlandırılan partiküllerle birleşir



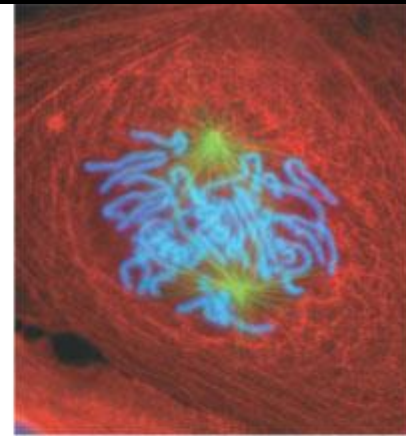
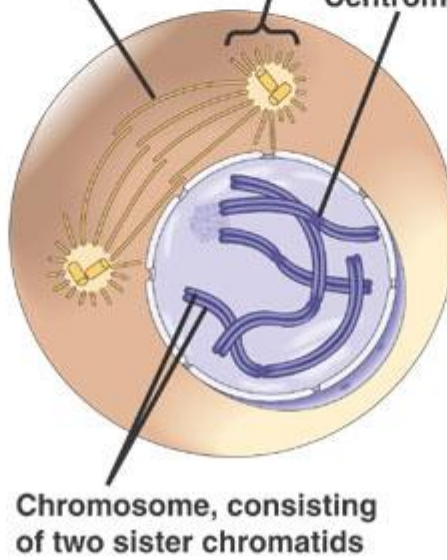
G₂ OF INTERPHASE

Centrosomes (with centriole pairs) (duplicated) Chromatin (duplicated)



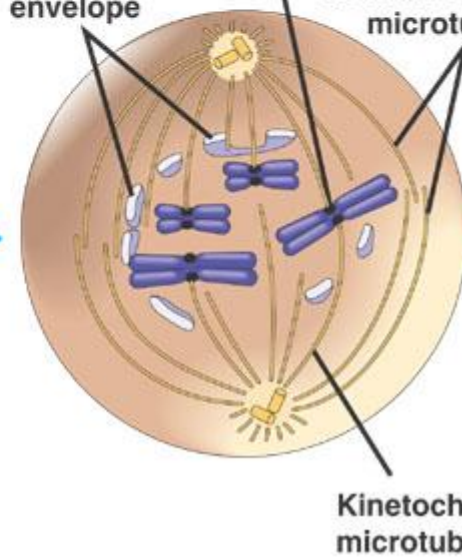
PROPHASE

Early mitotic spindle Aster Centromere

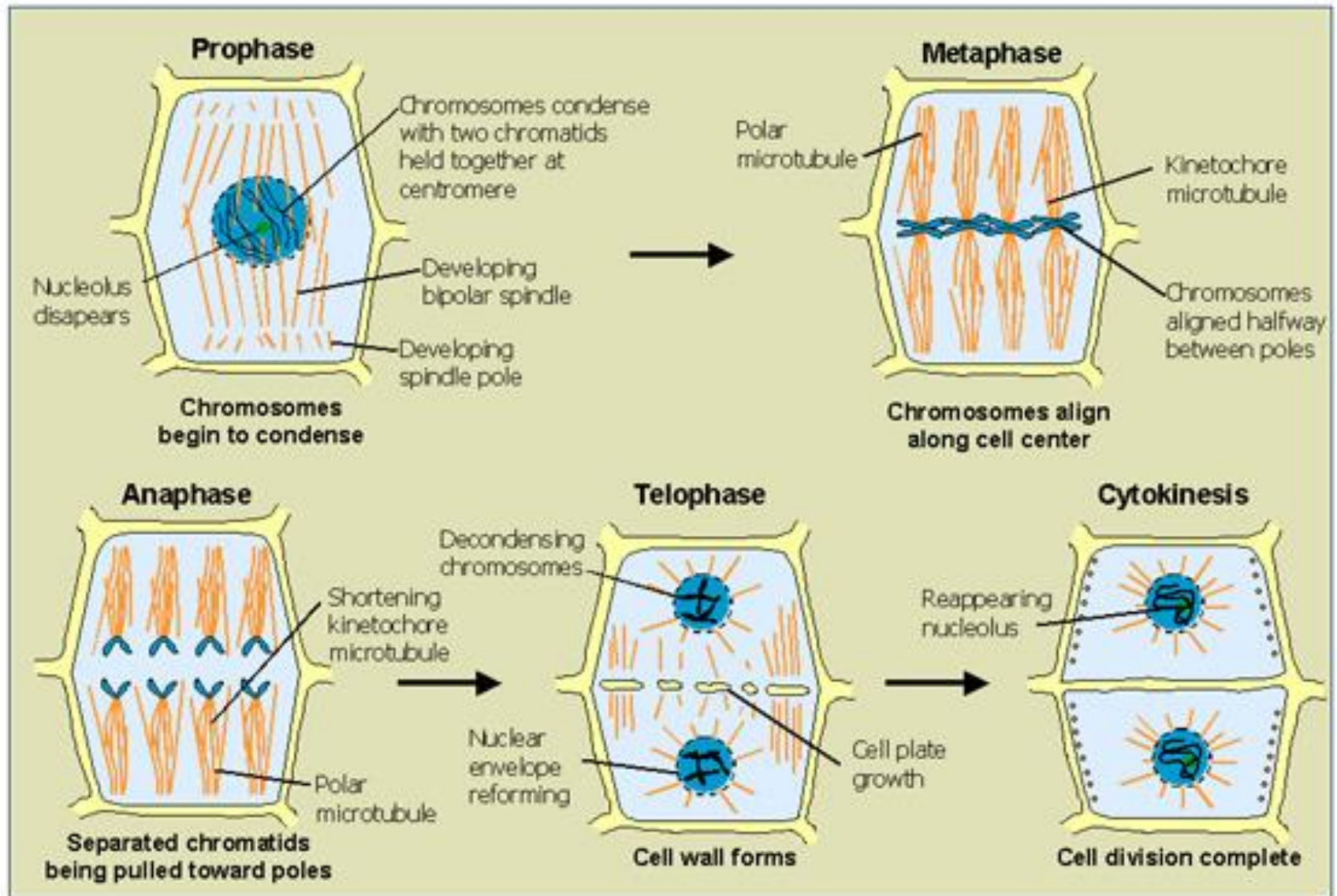


PROMETAPHASE

Fragments of nuclear envelope Kinetochore Nonkinetochore microtubules



Mitosis

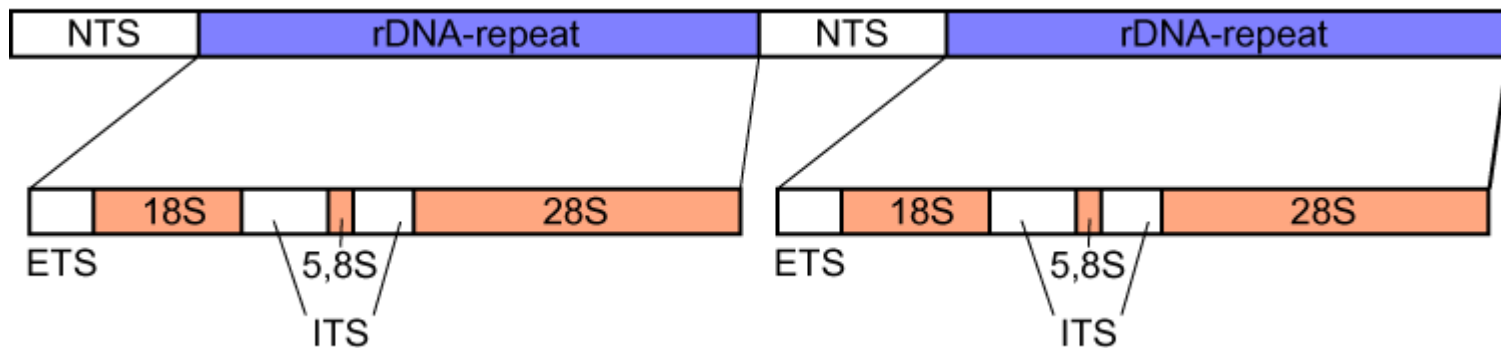


Nükleolus ve Mitoz

- Nükleolus , her mitozun profaz aşamasında DFC ve GC'nin dağılmaya başlamasıyla dağılır
- Bu dağılma nükleolar proteinlerin fosforilasyonu ile idare edilir.
- En son FC, tek başına mitotik kromozomlarla ilişkili olarak kalır.

Nükleolus –rRNA genleri

- Yüksek ökaryotların somatik hücrelerinde onlarca/yüzlerce, bitki hücrelerinde binlerce ribozomal gen vardır
- Bu genler bir veya birkaç kromozomda ardı ardına (tandem) tekrarlar şeklinde dizilmiştir.



NTS, transkribe edilmeyen aralık; ETS, eksternal transkribe edilen aralık; ITS, internal transkribe edilen aralık

Nukleolus-rRNA genleri

- Ribozomal RNA lokusu, tandem gen tekrarları ve bunları ayıran ara bölge şeklinde organize olmuştur.
- Bu genlerin toplam uzunluğu 40.000 baz çiftidir

Nükleolus-rRNA genleri

- Nükleolus ile ilişkili bölgelere NOR, Nucleola Organizer Region denmektedir
- Her bir NOR, bir kromozomdaki tandem (ardı ardına) tekrarlayan rRNA gen kümesine denk gelir.
- Bu genlerin miktarı (transkripsiyonu ile birlikte) nükleolusun morfolojisini oluşturmaktadır.
- 13, 14, 15, 21 ve 22. kromozomlardaki genlerin (NOR bölgelerinin) interfaz sırasında bir araya gelmesi nükleolusu oluşturur.

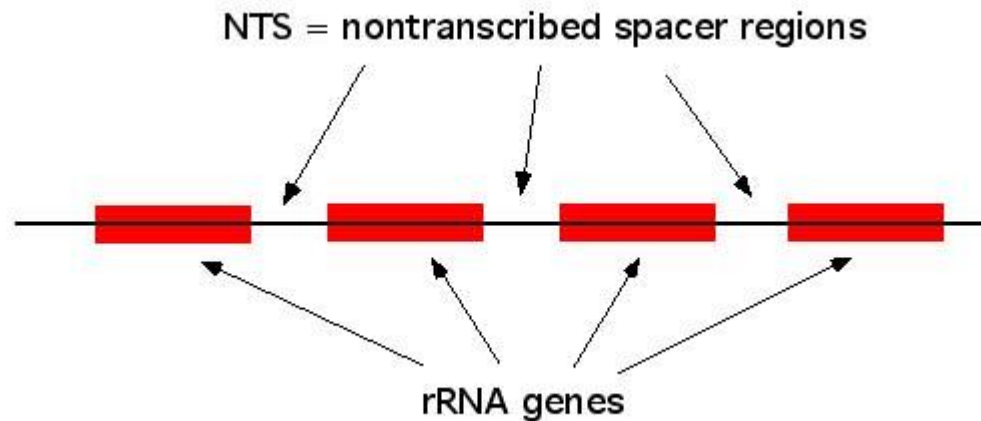
Nukleolus-rRNA genleri

- 45S (28S+5.8S+18S)rRNA geni
- Yaklaşık 300-400 kopyası vardır
- He birinde 50-70 kopyanın olduğu 5 farklı lokalizasyon; insanlarda 13, 14, 15, 21 ve 22. akrosentrik kromozomlarda lokalizedir.
- RNA pol 1 tarafından transkripsiyon

- 5S rRNA geni
- Yaklaşık 2000 kopyası vardır
- Kromozom 1'de lokalizedir
- RNA pol III tarafından transkripsiyon

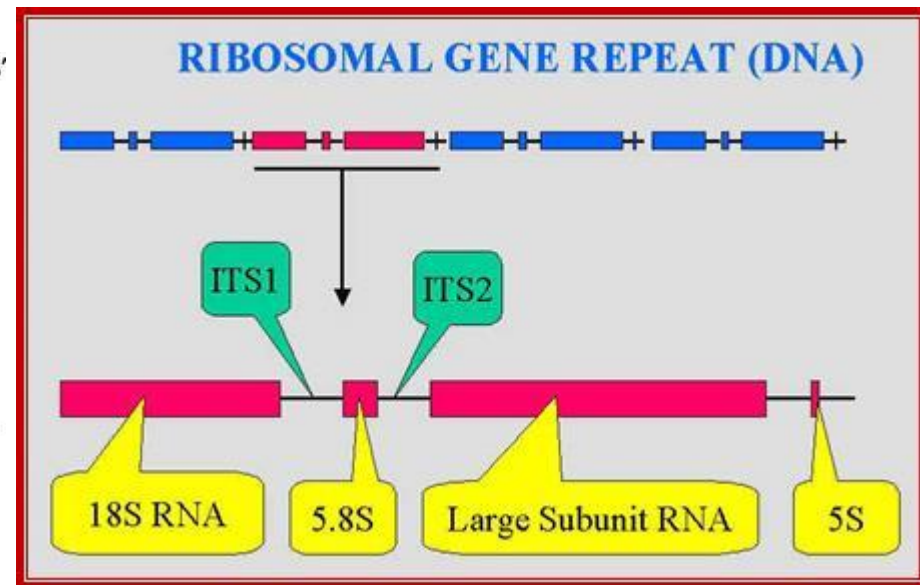
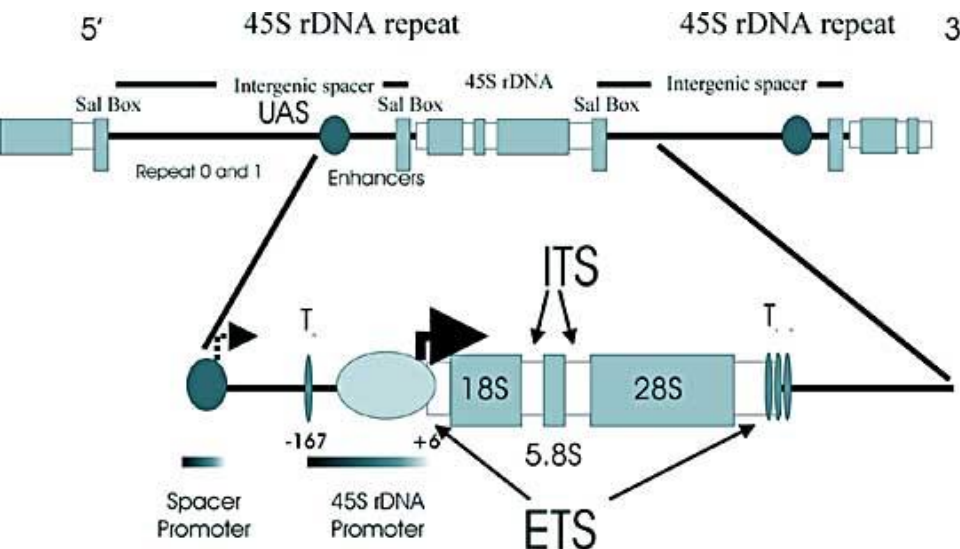
Nukleolus-rRNA genleri

- Herbir ribozomal gen ünitesi genellikle bir transkribe edilen dizi ve eksternal transkribe edilmeyen aralık şeklinde organize olmuştur.



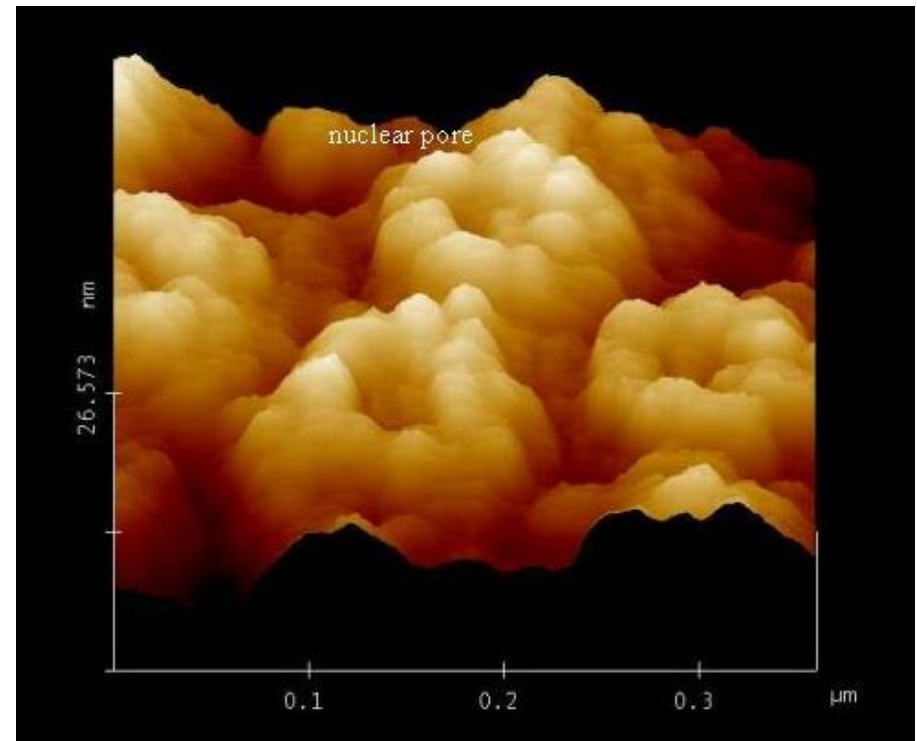
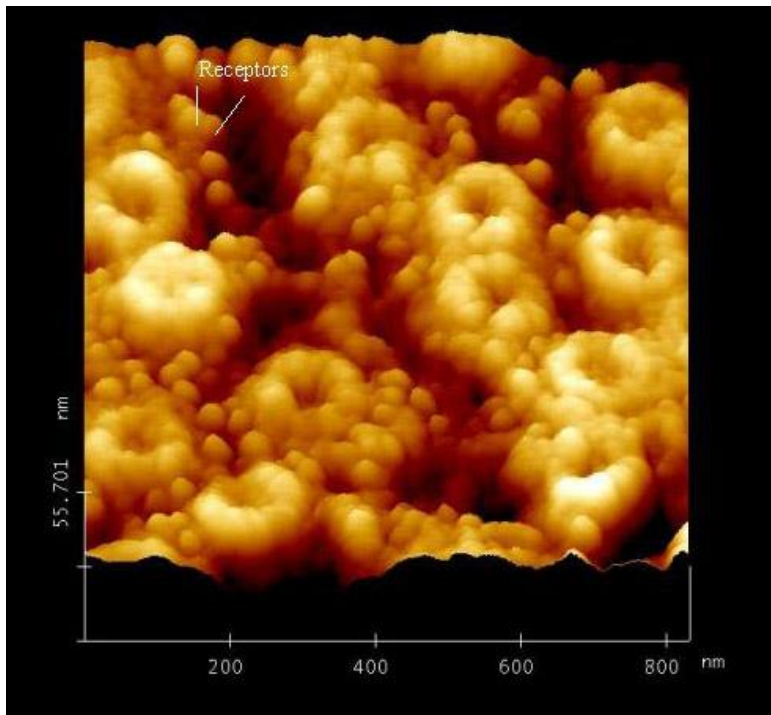
Nukleolus-rRNA genleri

- İnsanlardaki rRNA genleri;
13kb transkripsiyon ünitesi+30kb
transkribe edilmeyen bölge şeklinde organize
olmuştur.



Nükleer por kompleksleri

- Nükleer por kompleksleri (NPK) küçük polar moleküllerin, iyonların ve makromoleküllerin (Proteinler, RNA) geçişine izin veren yapılardır.



Nükleer por kompleksleri

- Nükleoporinler vertebralılarda 50-100 farklı proteinden oluşur.
- 125 milyon Dalton
- 120 nm çapında
- Bir hücre nükleusunda yaklaşık olarak 3000-5000 NPK vardır.

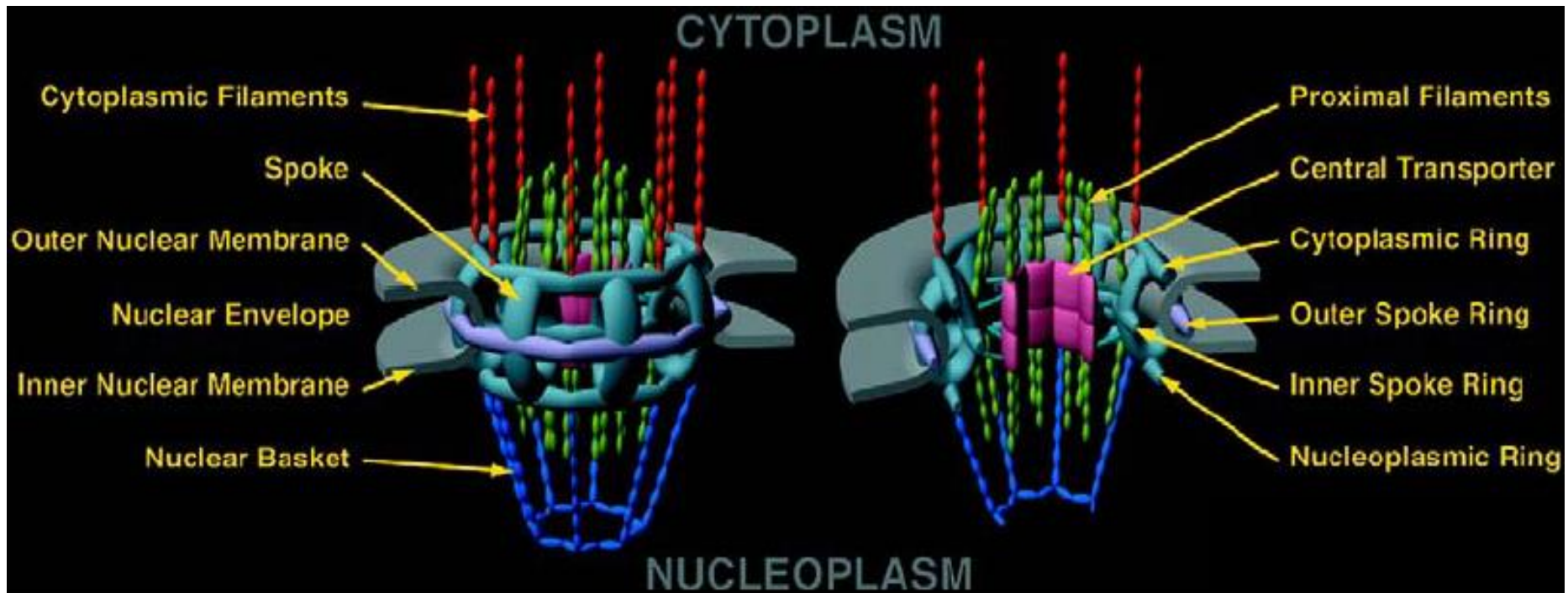
Nükleer por kompleksleri

- Ufak polar moleküllerin, iyonların ve makromoleküllerin (proteinler, RNA) geçişine izin veren yapılardır.
- 120nm çapta büyük yapılardır 125.000Kdalton (ribozomdan 30 kat daha büyüktür)
- Vertabralılarda nukleoporin adı verilen 30 farklı proteinin birçok kopyasından (50-100 protein) oluşur.
- Bir hücre nukleosunda yaklaşık 3000-5000 NPK vardır.

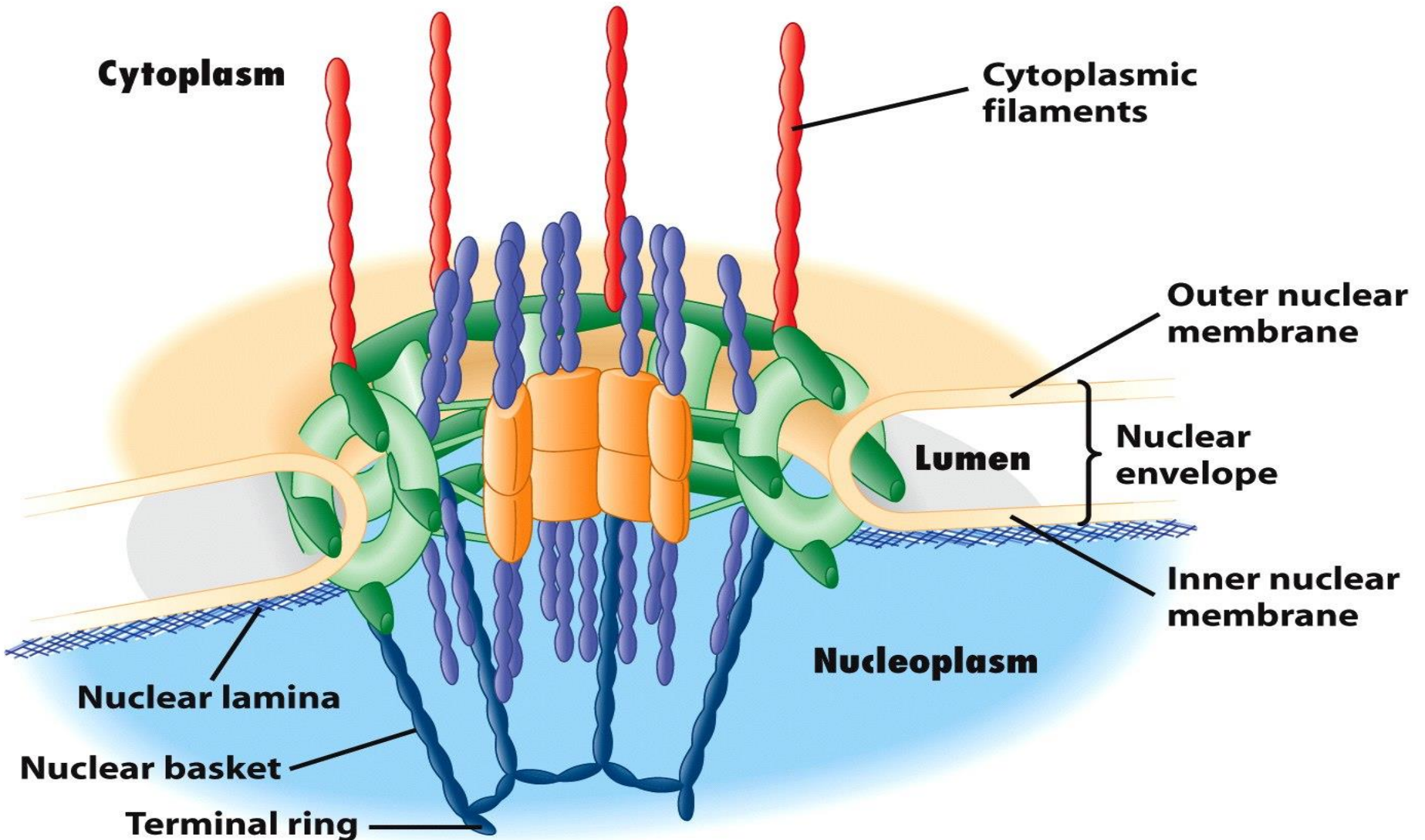
Nükleer por kompleksleri

- Merkezi bir kanal etrafında dizilmiş sekiz çubuk ve çubukların tutunduğu halkalardan oluşur.
- Bu yapı iç ve dış nükleer membranla birleşmiştir.
- Halkalardan sitoplazmik yüzde olan **Sitoplazmik Halka** denir,
- Nükleer yüzde olana ise **Nükleer Halka** denir.
- Nükleer Lamina ile etkileşir
- Sitoplazmik halkadan sitoplazmik filamanlar uzanır.
- Nükleer halkadan ise sepet filamanları uzanır.
- Terminal halka ile birleşerek “Nükleer sepeti” oluşturur

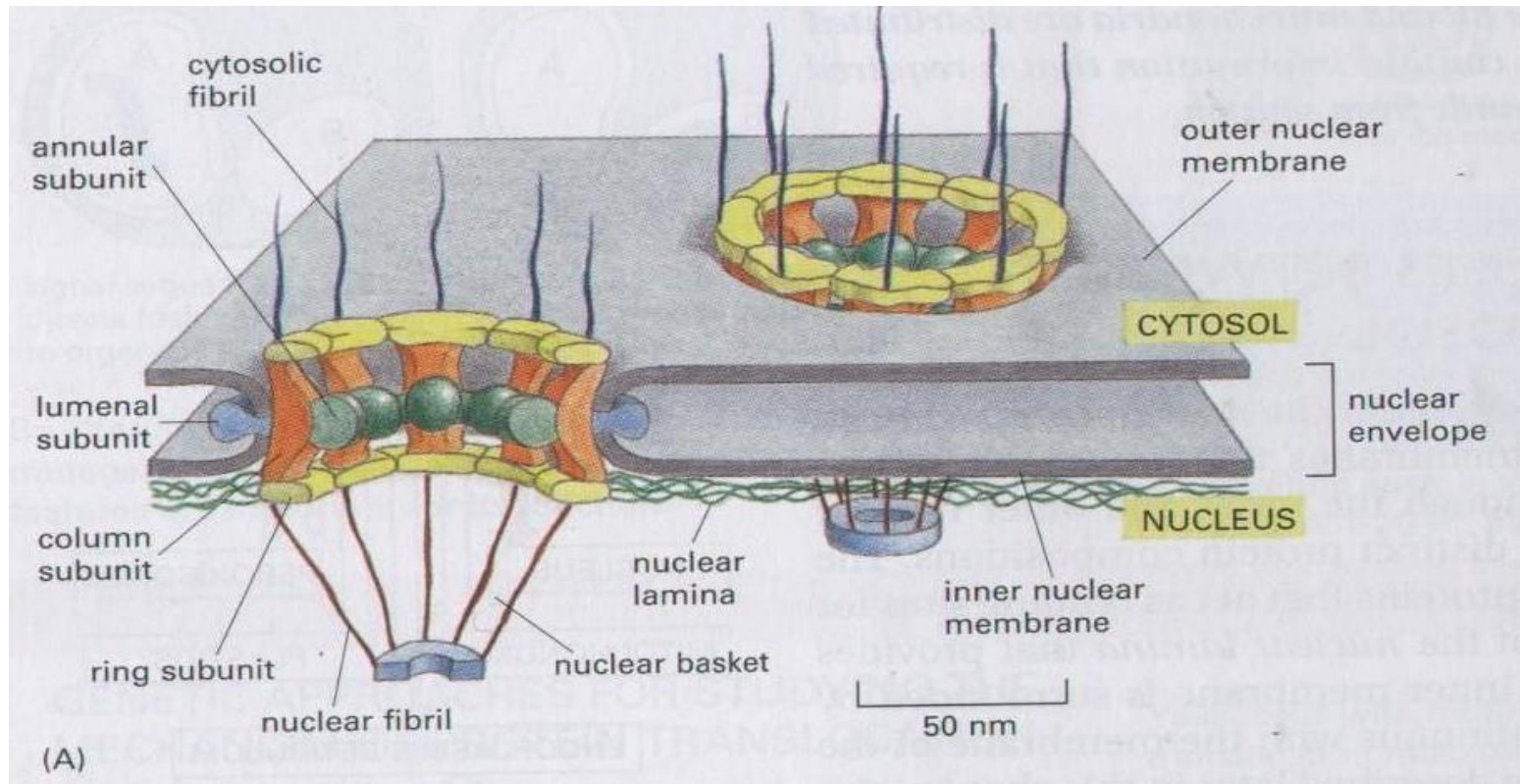
Nükleer por kompleksleri



Nuclear Pore



Nükleer por kompleksleri



Nükleer por kompleksleri

- NPK'sini oluşturan nukleoporinler tekrar dizilerden oluşmaktadır.
- Üçte birindeki tekrar diziler FG (fenilalanin-glisin) tekrarları şeklindedir (XFXFG ve GLFG). Diğerlerinde farklı tekrar dizileri vardır.
- Tekrar diziler proteinlere esneklik sağlayarak diğer proteinlerle etkileşimini kolaylaştırır.
- FG nükleoproteinleri çoğunlukla simetrik olarak dağılmıştır. Bununla beraber, NPK'sinin sitoplazmik ve nükleer yüzeylerinde primer olarak lokalize olmuşlardır.

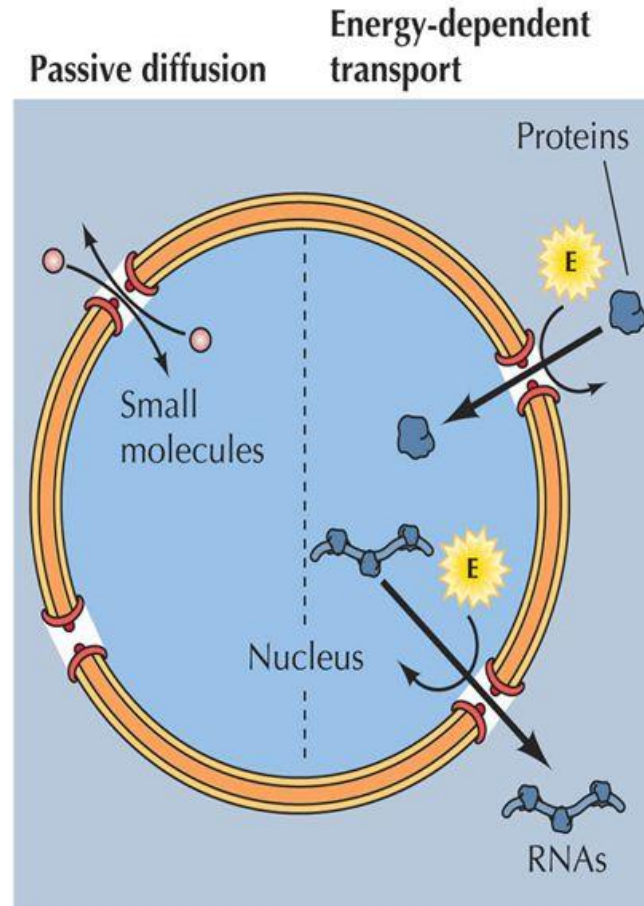
Nükleer transport

- ◉ Moleküller NPK'lerinden iki yolla geçerler;
 - Pasif Difüzyon
 - Aktif Transport,

NPK yoluyla saniyede 1000 molekül geçiş yapar.

Nukleer Por Kompleksinde molekül taşınımı

- Küçük Moleküller por kompleksinden pasif difüzyonla kolaylıkla geçerler.
- Makromoleküller özellikle proteinleri sitoplazmadan nukleusa ve RNA'ları nukleustan sitoplazmaya taşıyan enerji bağımlı seçici bir taşınım ile aktarılır.



Nükleer por kompleksleri

Pasif Difüzyon:

Ufak moleküller ve 20-60 kDa'dan daha küçük proteinler bu yolla geçer.

Bu mekanizmanın kullanıldığı NPK çapı 9 nm'dir.
Geçiş çift yönlüdür.

Nükleer por kompleksleri

Aktif Transport

Enerji harcanarak gerçekleşen seçici bir transporttur.

- Bu mekanizmanın kullanıldığı NPK çapı ortalama 25 nm'dir (9-40nm).
- Molekül geçişi uygun bir sinyale yanıt olarak tek yönlü olarak gerçekleşir.

Nükleer transport

- İki kompartman arasında makromoleküllerin taşınımı ile ilgili nükleer taşıyım reseptörleri vardır bunlara **Karyoferinler** denir.
- karyoferin reseptörlerine importin- β ailesinde denir.
- En az 20 üyesi vardır
- Bu üyelerden bazılarının görevi makromoleküllerin sitoplazmadan nükleusa taşınması (import-importinler) diğerlerinin görevi ise makromoleküllerin nükleustan sitoplazmaya taşınmasıdır (eksport-eksportin)

Moleküllerin Nükleus içine taşınması

- Sitoplazmadan nükleusa geçecek olan moleküller **Nükleer yerleşim Sinyali=NLS** adı verilen spesifik aminoasit dizilerine sahip olmalıdır.
- Bu moleküller; histonlar, DNA polimeraz, RNA polimeraz, transkripsiyon faktörleri, laminler ve bazı hnRNP (kırılma faktörleri)

Moleküllerin Nükleus içine taşınması

- NLS dizileri genellikle bazik aminoasitlerden (Lizin ve Arginin) zengin dizilerdir.
- Bazen bu diziler bölünmüş iki dizi şeklinde olabilir. Aradaki dizilerin fonksiyonu yoktur.
- Farklı dizileri tanıyan farklı reseptörler vardır
- Enerji gerektiren bir taşımadır.

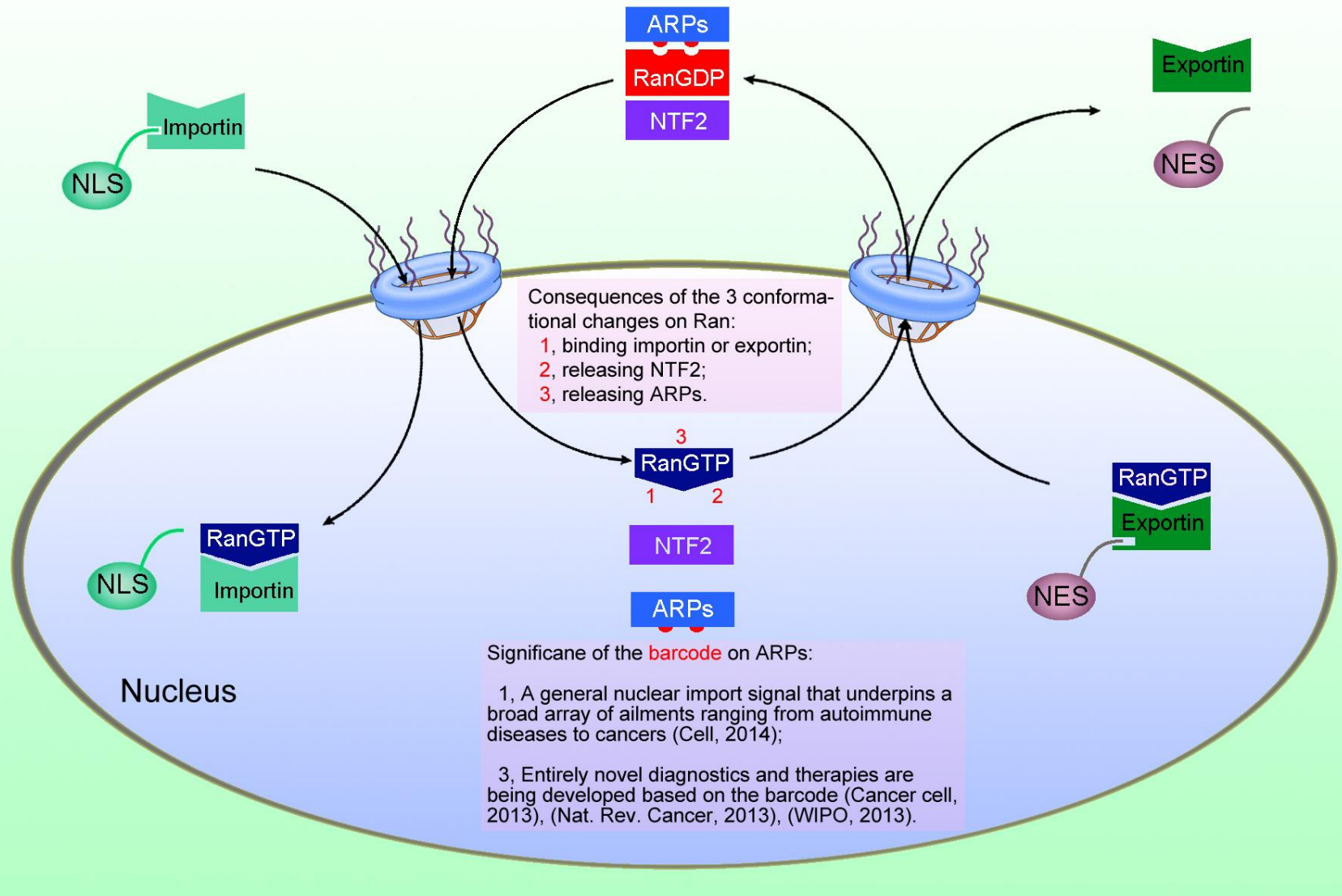
Moleküllerin Nükleus dışına taşınımı

- Bu moleküller Nükleer çıkış sinyali (NES) taşır.
- Bu diziler kısa (5-6 aa) lösince zengindirler
- Enerji gerektiren bir taşımadır.

NLS-nuclear import pathway

RaDAR-guided
nuclear import pathway

NES-nuclear export pathway



Nükleer transport

- Basit transportta,
- İmportin beta, kargo molekülündeki NLS veya NES'lerine direkt olarak bağlanır ve transport gerçekleşir.
- Adaptör aracılı transportta
- Adaptör proteinler kargo molekülündeki NLS veya NES'lerine bağlandıktan sonra İmportin beta adaptör proteine bağlanır ve transport gerçekleşir.
- İmportin alfa en iyi bilinen adaptör proteindir.

nükleus proteini

Sitozol

nükleus yerleşim sinyali

Nuclear envelope

NLS

Importin

α

β

1

2

6

nükleus geçit kompleksi

3

GTP

Ran

GDP + P_i

4

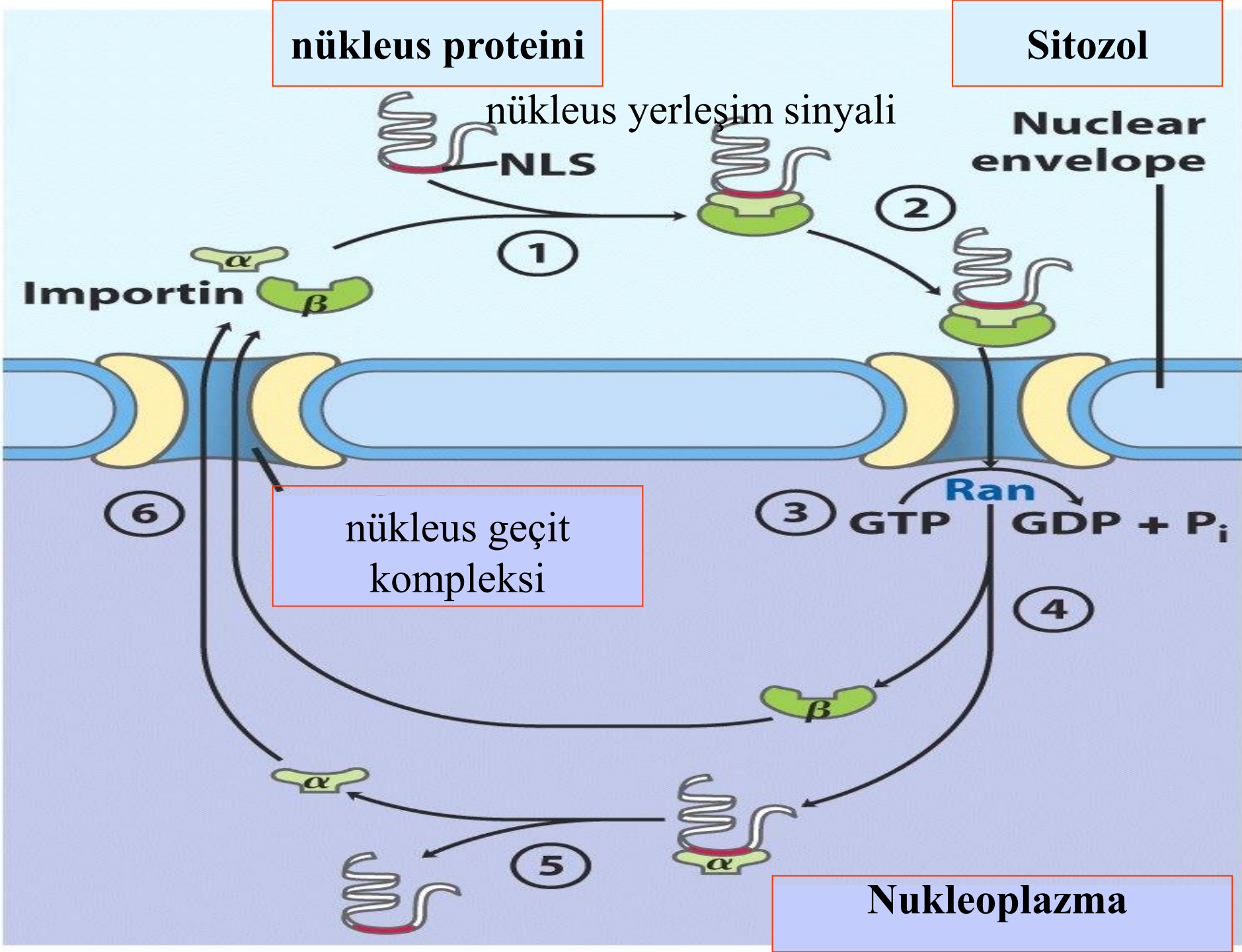
β

5

α

α

Nukleoplazma



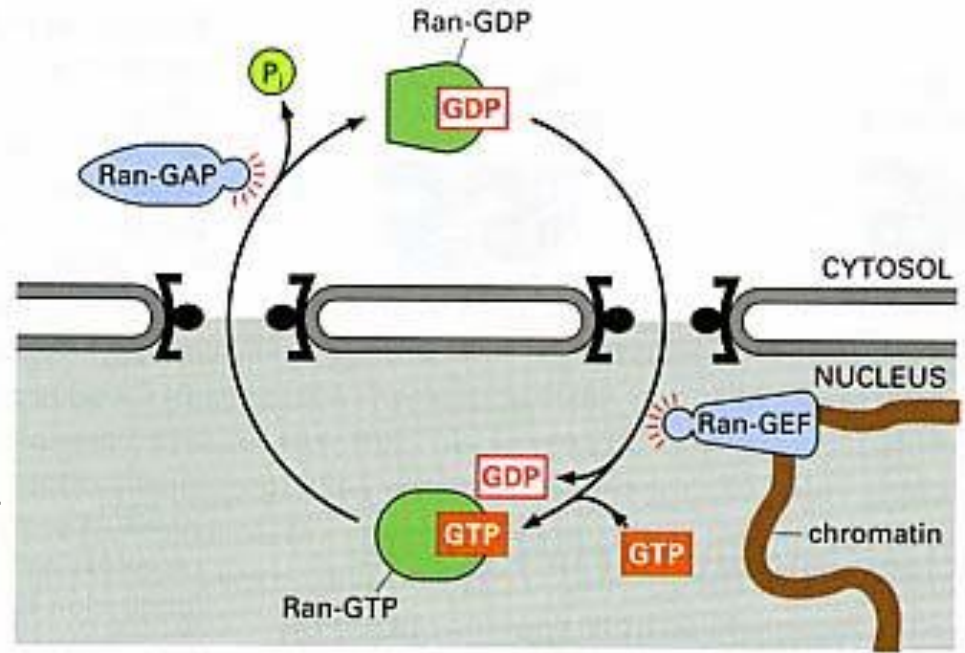
Nükleer İmport

- Kompleksteki importin NPK'deki sitoplazmik filamentlere bağlanır.
- Bu bağlanma sadece importin-kargo protein kompleksi olduğu zaman gerçekleşir
- İmportinler nükleoporinlerin FXFG tekrarlarına bağlanır.
- Ardından Ran/GTP'nin kArgo/İmportin kompleksine bağlanmasıyla kargo protein nükleusta serbest kalır.
- İmportin-Ran/GTP, nükleer por kompleksinden sitoplazmaya geri yollanır.

Ran GAP tarafından Ran/GTP' nin GTPaz Aktivitesi aktive edilir ve Ran/GDP'ye dönüşür. Böylece İmportin ve Ran/GDP Ayrılır.

İmportin sitoplazmada yeni fonksiyon hazırdır.

Ran/GDP ise NTF2, nükleer trnsport factor 2'ye bağlanarak NPK'dan tekrar kullanılacağı nükleusa döner.



Nükleus içinde **Ran-GEF** (RCC1) tarafından Ran/GTP'ye (fonksiyonel form) dönüştürülür

- Ran-GAP (Ran-GTPaz aktive edici protein) ve Ran-GEF (Ran-Guanine nükleotid değişim faktörü) enzimlerinin asimetric dağılımları Ran proteininin iki farklı formunun oluşumuna ve nükleer transportun regülasyonuna olanak verir.
- Sonuç olarak sitosolde Ran-GDP dominant, nükleer kısımda ise Ran-GEF vardır ve Ran-GTP dominanttır.

Moleküllerin Nükleus dışına taşınması

- Eksportin-Ran/GTP kompleksi sitoplazmaya taşınacak olan kargo proteine bağlanır ve NPK'den sitoplazmaya taşınır.
- Farklı NES dizilerine spesifik farklı eksportinler vardır; CAS, İmportin-alfa ve snurportin-1; CRM1, lösin-zengin NES, snRNA; Ekportin-t, tRNA; Eksportin 5, miRNA
- Sitosolde Ran/GTP'nin, Ran-GAP tarafından uyarılması ile kompleks (Eksportin/Kargo/Ran-GDP) dağılır.
- Eksportin ve Ran/GDP nükleer pordan nükleusa girer. Ran/GDP nükleusta Ran-GEF tarafından Ran/GTP'ye dönüştürülür.

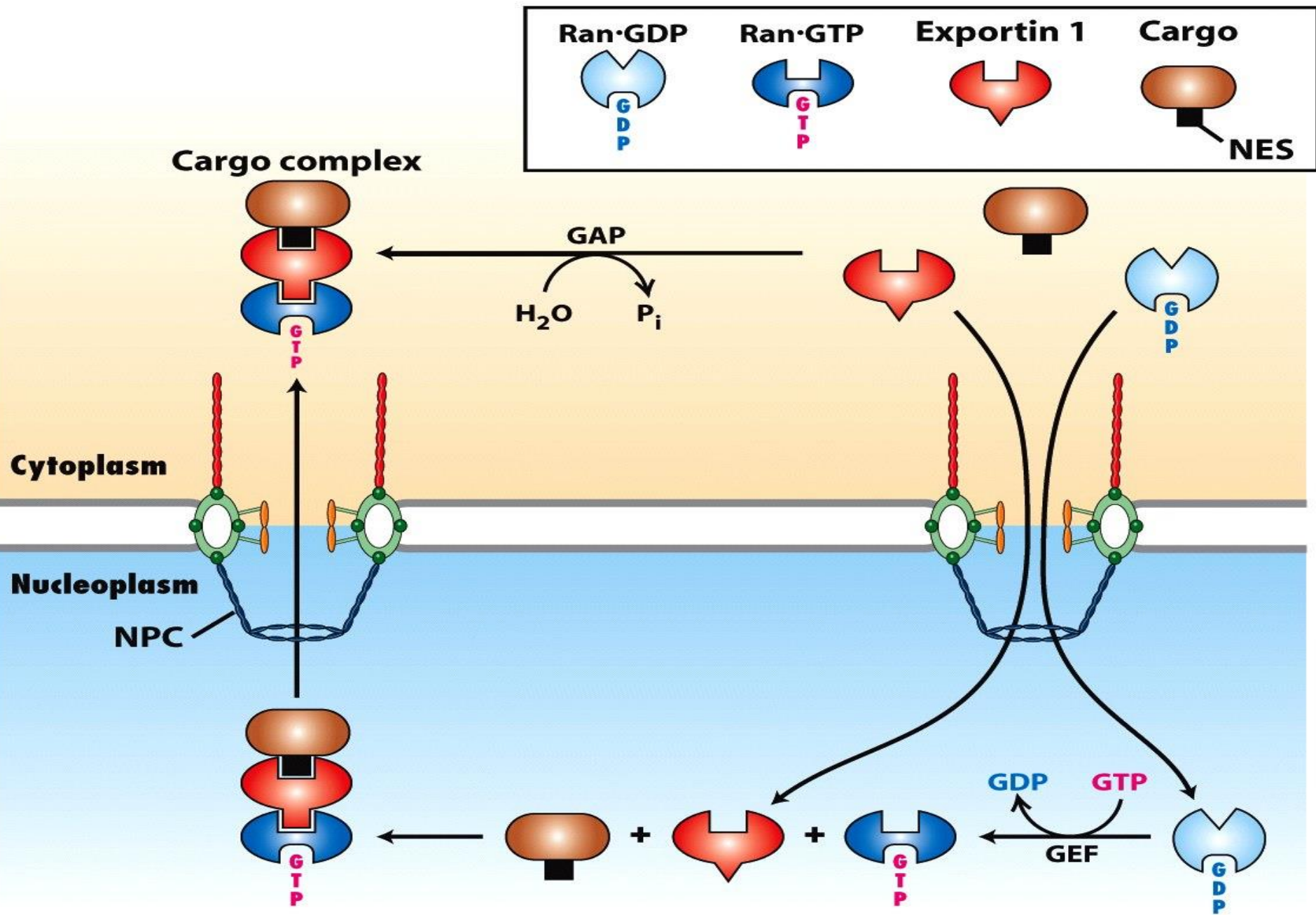


Figure 13-36a
Molecular Cell Biology, Sixth Edition
 © 2008 W. H. Freeman and Company

- Bir üçüncü sinyal tipi daha vardır; NRS (nuclear retention signal) nükleer kompartımanda tutma sinyali
- Bu sinyali taşıyan proteinler immatür RNA'lara bağlanarak onların olgunlaşmadan sitoplazmadan çıkmalarını önler

Defektif nükleer transport

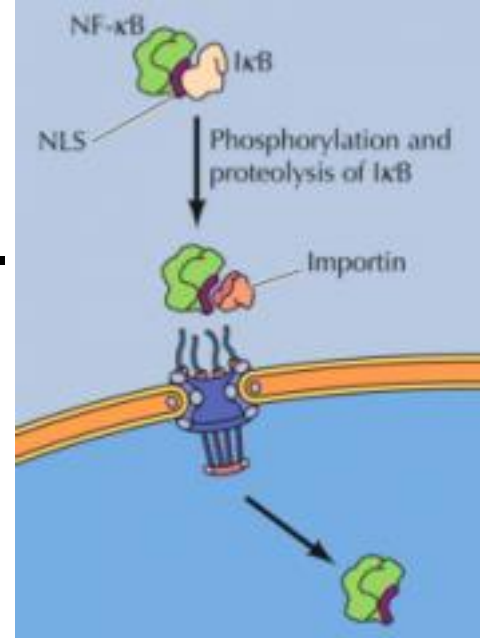
- Proteinlerin fonksiyonu onların lokalizasyonu ile ilişkilidir.
- Cinsiyet belirlenmesinde önemli regülatör fonksiyona sahip SRY (Sex-determining Region Y) transkripsiyon faktörünü kodlayan genin NLS bölgesi ile ilişkili mutasyonlar, gelişimin sürecinde nükleusta bulunması gereken SRY'nin sitoplazmada kalmasına neden olur
- Sonuç olarak dişi olarak gelişen 46XY karyotipli erkekler (pür gonadal disgenezi) gelişir.
- SRY mutasyonları testiküler diferensiyasyona ve kadın somatik fenotipine neden olan 46, XY pure gonadal dysgenesis ile ilişkilidir.

Moleküllerin nükleus içine ve dışına taşınması

- Bazı proteinler hem NES hem NLS taşır
- Örneğin, hnRNP (Hetero nükleoprotein parçacıkları)
- Exportin 1

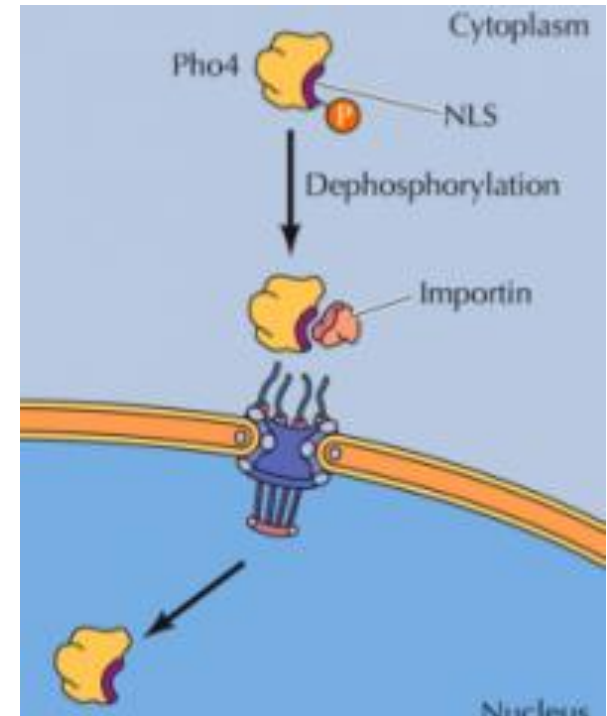
Nükleer İmportun Regülasyonu

- Nükleus içine alınacak proteinlerdeki NLS'lerin inhibitör proteinler ile kapatılması
- Bir uyarı durumunda inhibitör proteinlerin yıkılması ve NLS'lerini açığa çıkartarak transport gerçekleşir.



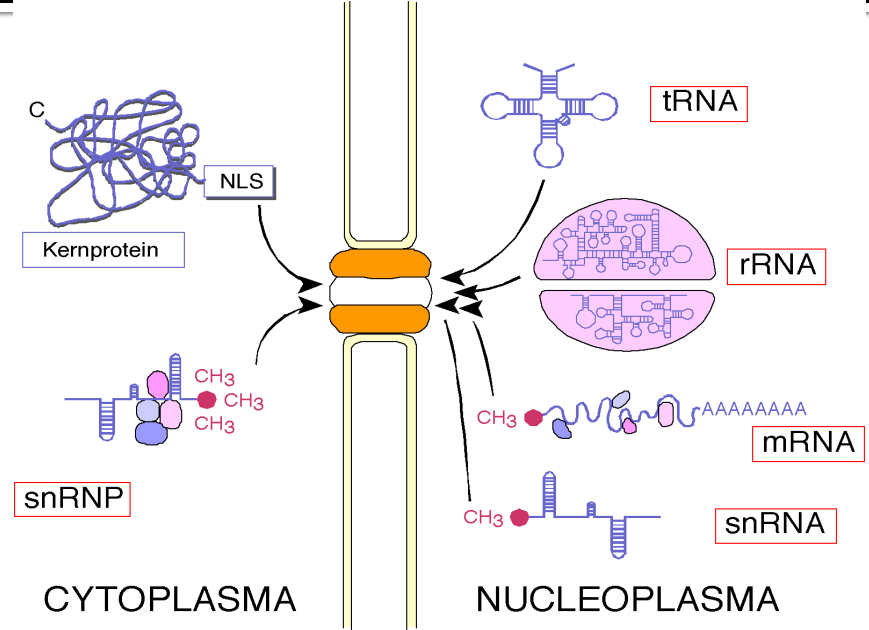
Nükleer İmportun Regülasyonu

- Nükleus içine alınacak proteinlerdeki NLS'lerinin fosforillenerek gizlenmesidir.
- Defosforilasyon ile bölge açılarak import sağlanır

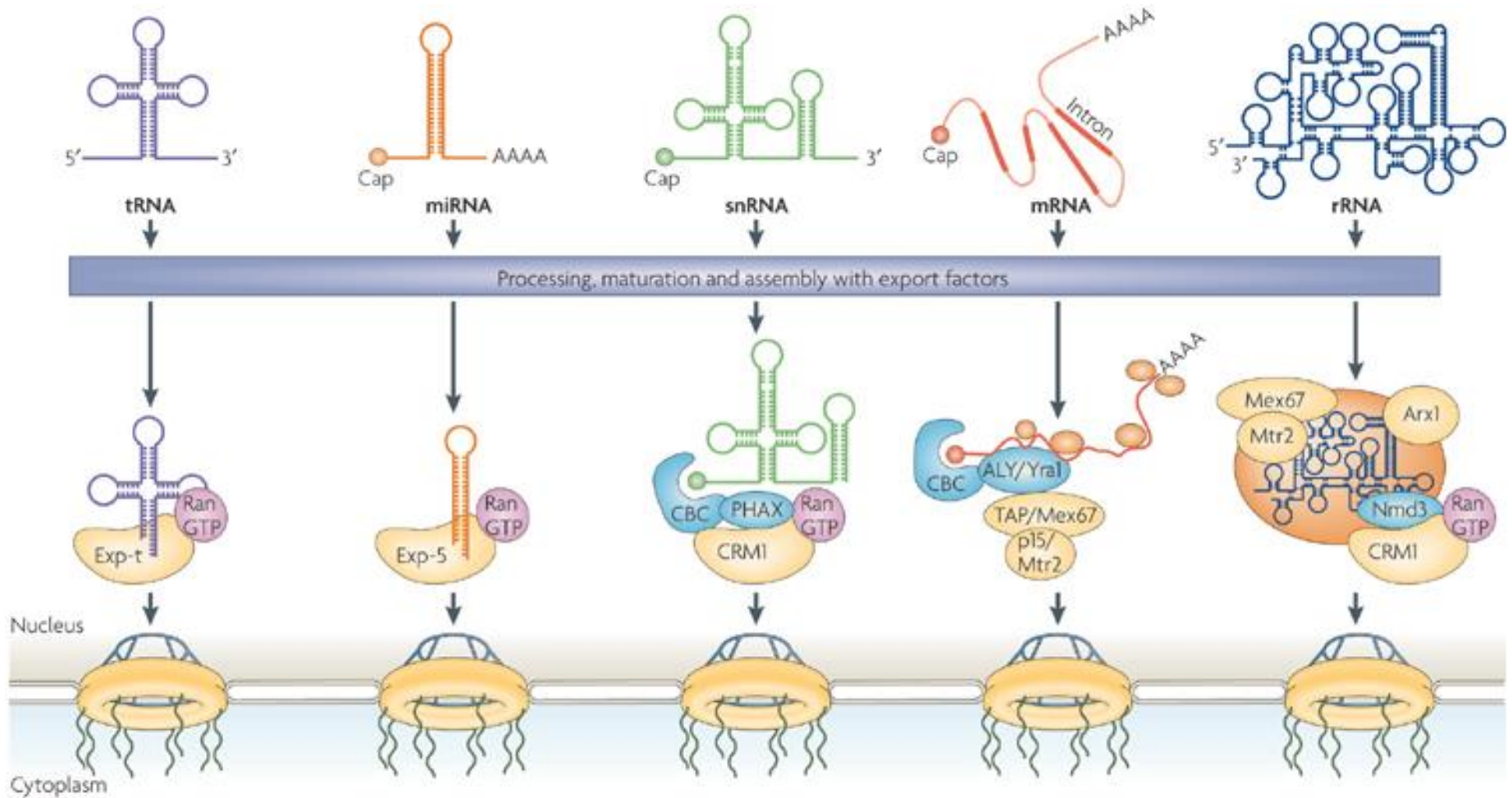


RNA'nın eksportu

- Sitoplazmada görev yapacak olan rRNA, mRNA, tRNA nükleustan sitoplazmaya ribonükleoproteinler şeklinde taşınırlar
- Kompleksteki bazı proteinler NES taşır



RNA'nın eksportu

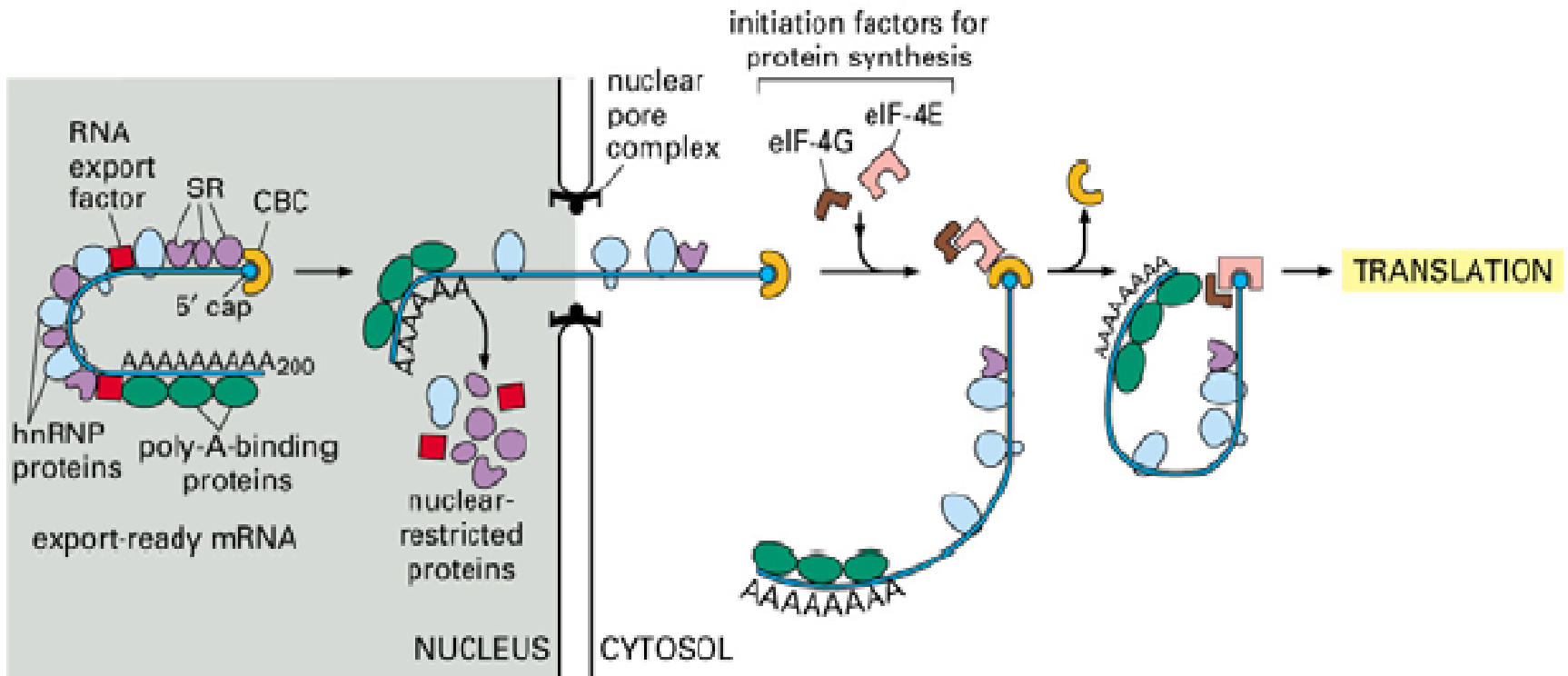


RNA'nın eksportu

- rRNA'lar ribonükleoprotein şeklinde taşınır (rRNA+ribozomal protein)
- Taşınma ile ilişkili ,**CRM1** (eksportin)'dir.
- tRNA ile etkileşen **eksportin-t** taşınmayı sağlar

mRNA'nın transferi

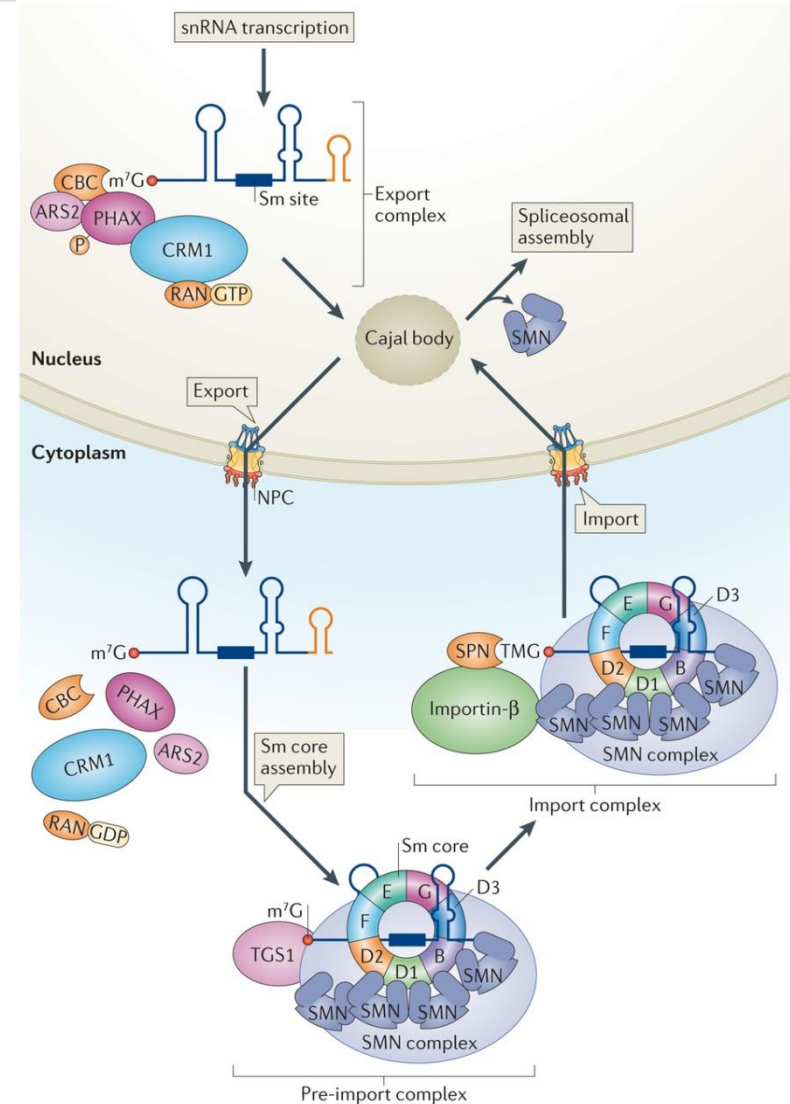
- İntronların çıkartılması için slicesomal kompleks ile ilişkili öncü-mRNA (hnRNA) kesim işlemi bitene kadar nükleustan çıkamaz.
- Sadece olgun mRNA nükleustan çıkabilir.



- Nukleer por kompleksi mRNA'yi tanır ve seçici olarak olgun mRNA'nın geçişine izin verir.
- **Nukleer kısıtlayıcı proteinler** (RNA poly II, snRNP'ler, hnRNP/ intron kompleksleri) nukleer cıkıstan hemen once uzaklaştırılırlar.
- **Mekik dokuyan proteinler**(shuttling) mRNA'nin Çıkışına yardımcı olmak için bağlı kalırlar.(hnRNP A1, SR proteinleri, CBC)
- mRNA molekulunun cekirdekten cikisi Ran-Bagimli degildir. Fakat tRNA ve snRNA'nin cikisi Ran-bagimlidir.

Nükleusta görev yapacak olan snRNA ve snoRNA'ların transferi

- snRNA'lar başlangıçta sitoplazmaya transfer edilerek yapısını tamamlayacak olan snRNP'ler ile birleşir
- snRNP'lerin 5'-CAP dizilerine bağlanan proteinler (bunlardan biri, exportin CRM1) onların sitoplazmaya eksportunu sağlar. Daha sonra 5'CAP ikinci kez metillenir ve proteinler ayrılır.
- snRNA taşıdığı NLS'ler sayesinde, snRNA'ların sitoplazmadan nükleusa importu sağlanır.



Kromozom, kromatin iplikleri, nükleozomlar

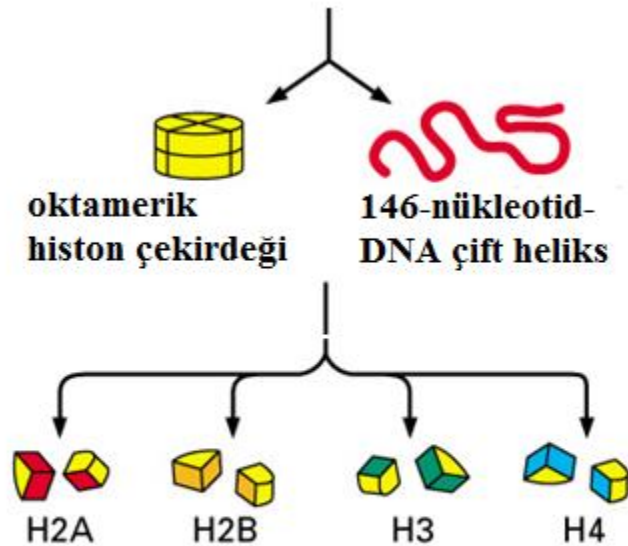
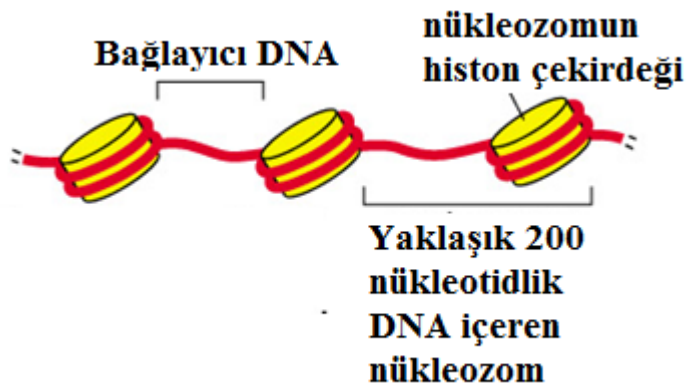
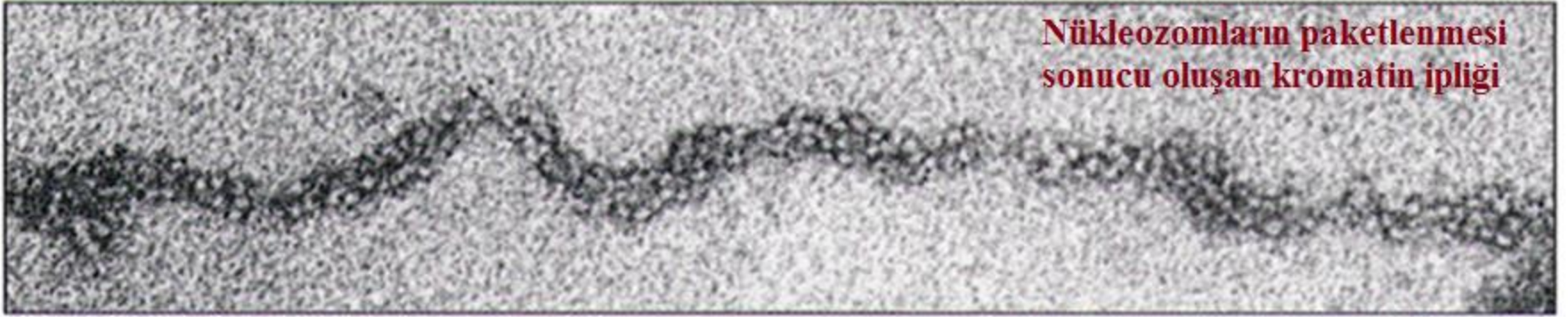
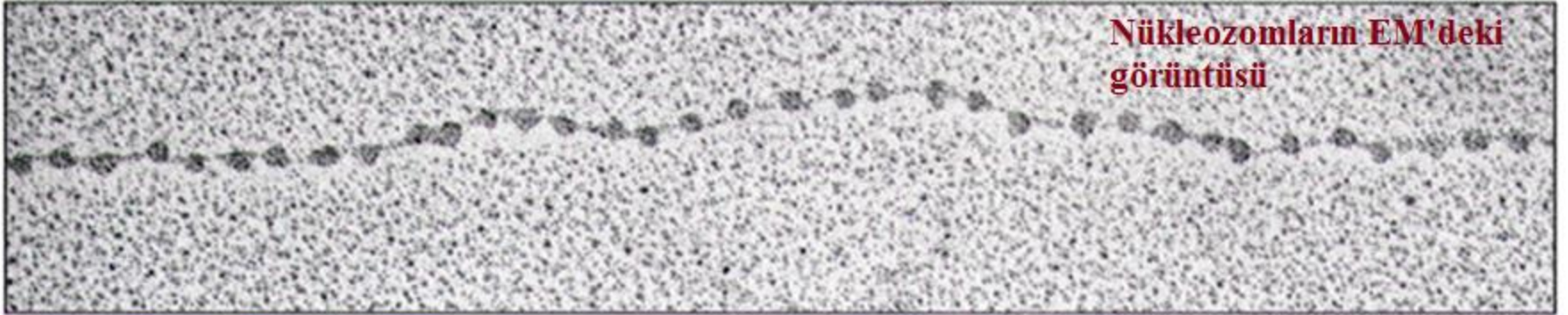


Figure 4-24 part 2 of 2. Molecular Biology of the Cell, 4th Edition.

(A)



(B)

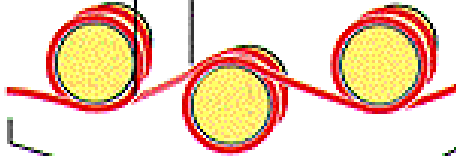


short region of
DNA double helix



2 nm

"beads-on-a-string"
form of chromatin



11 nm

30-nm chromatin
fiber of
packed nucleosomes



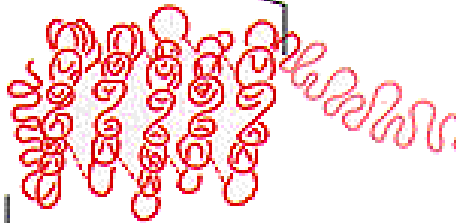
30 nm

section of
chromosome in an
extended form



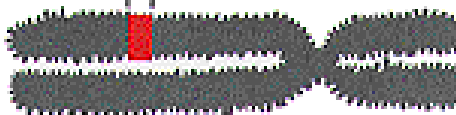
300 nm

condensed section
of metaphase
chromosome



700 nm

entire
metaphase
chromosome



1400 nm

DNA'nın paketlenmesi

