

Šūnas komunikācija un signāla pārnese II

Lekcijas saturs:

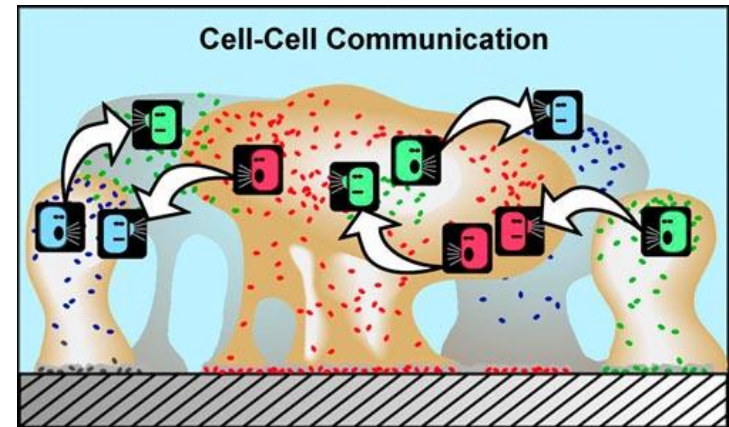
Receptoru guanilcilkāzes

Ligandu atkarīgie jonu kanāli

Adhēzijas receptori

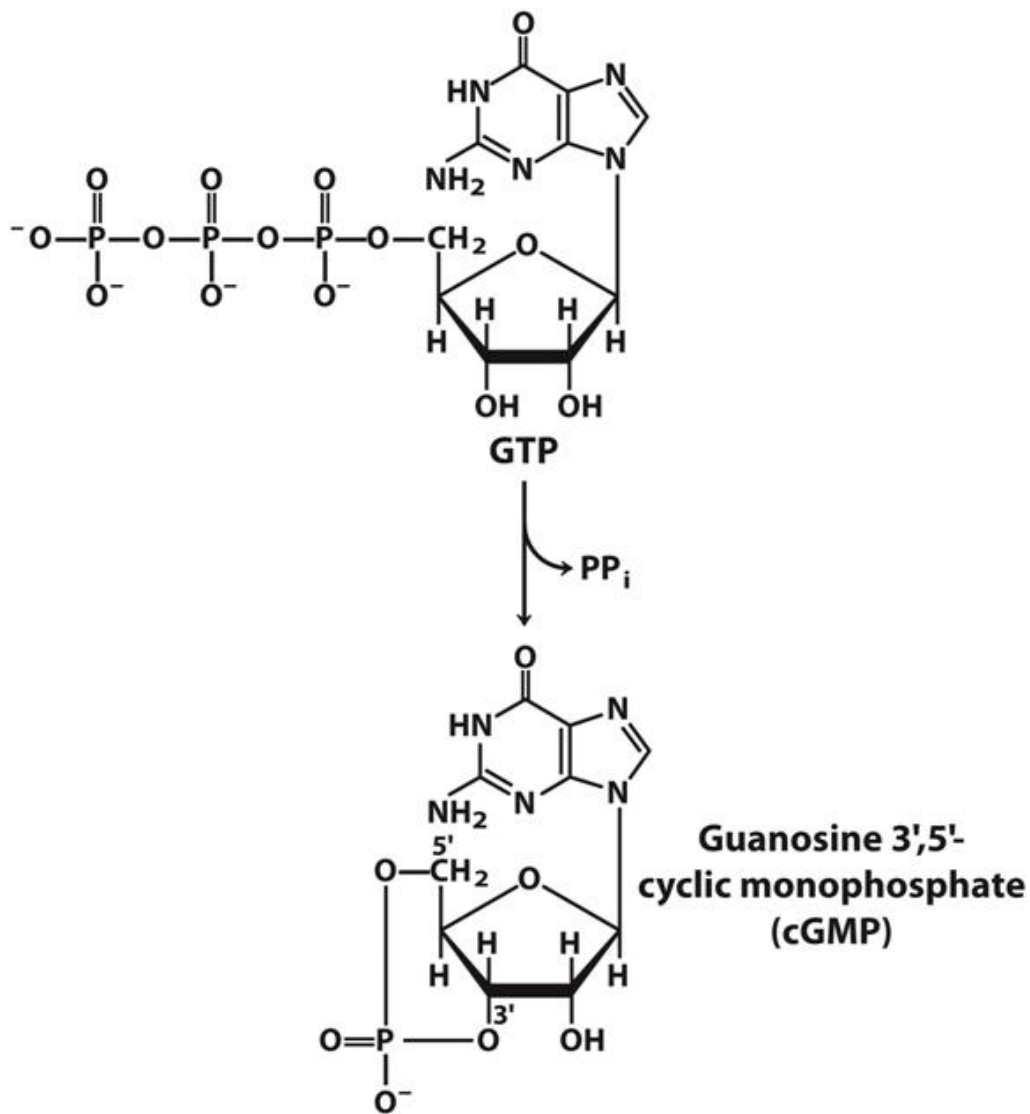
Nukleārie receptori

Signālsistēmas augos, raugos un baktērijās

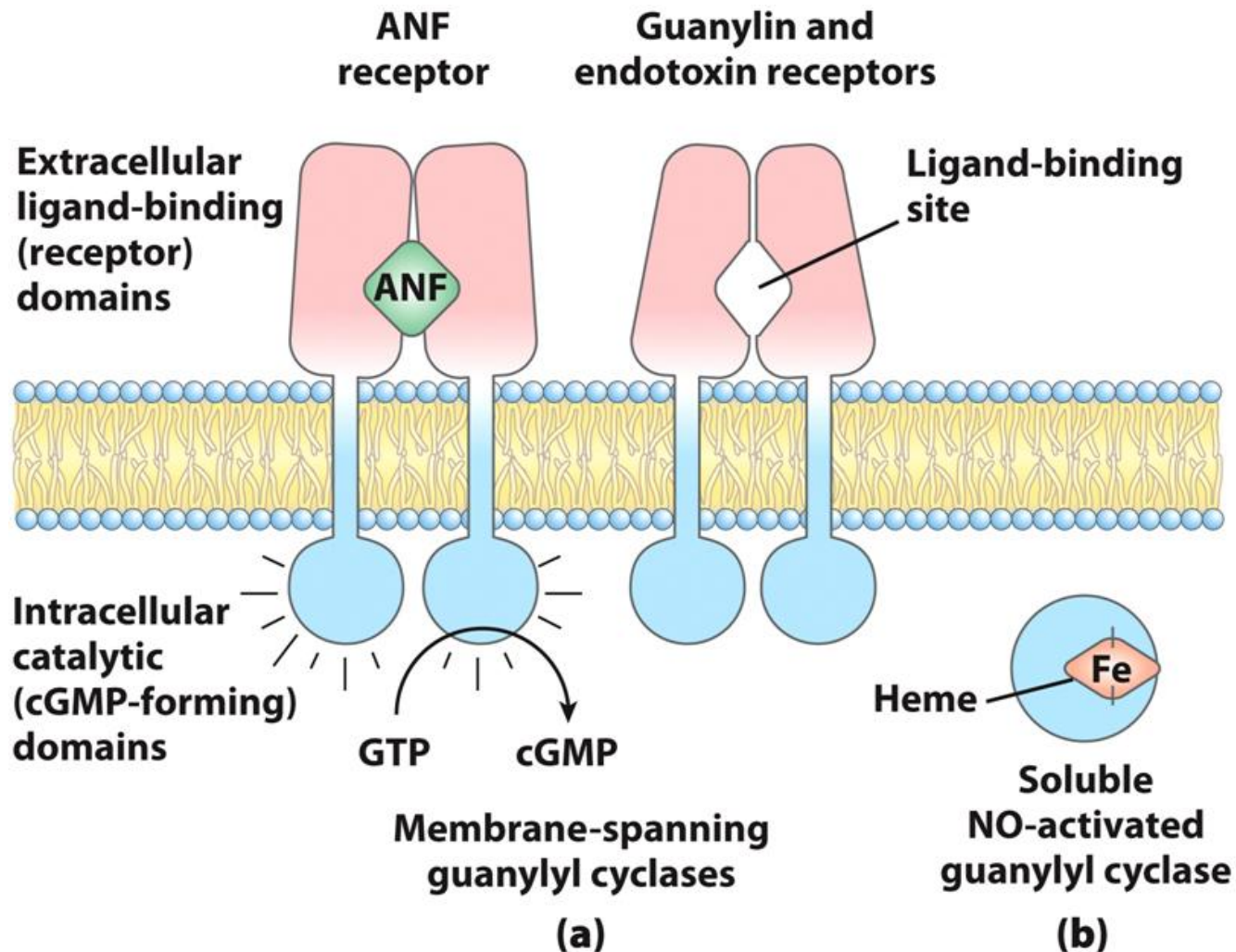


Receptoru guanilciklāzes

Guanilciclāzes ir receptorenzīmi, kas pārvērš GTP par ciklisko GMP



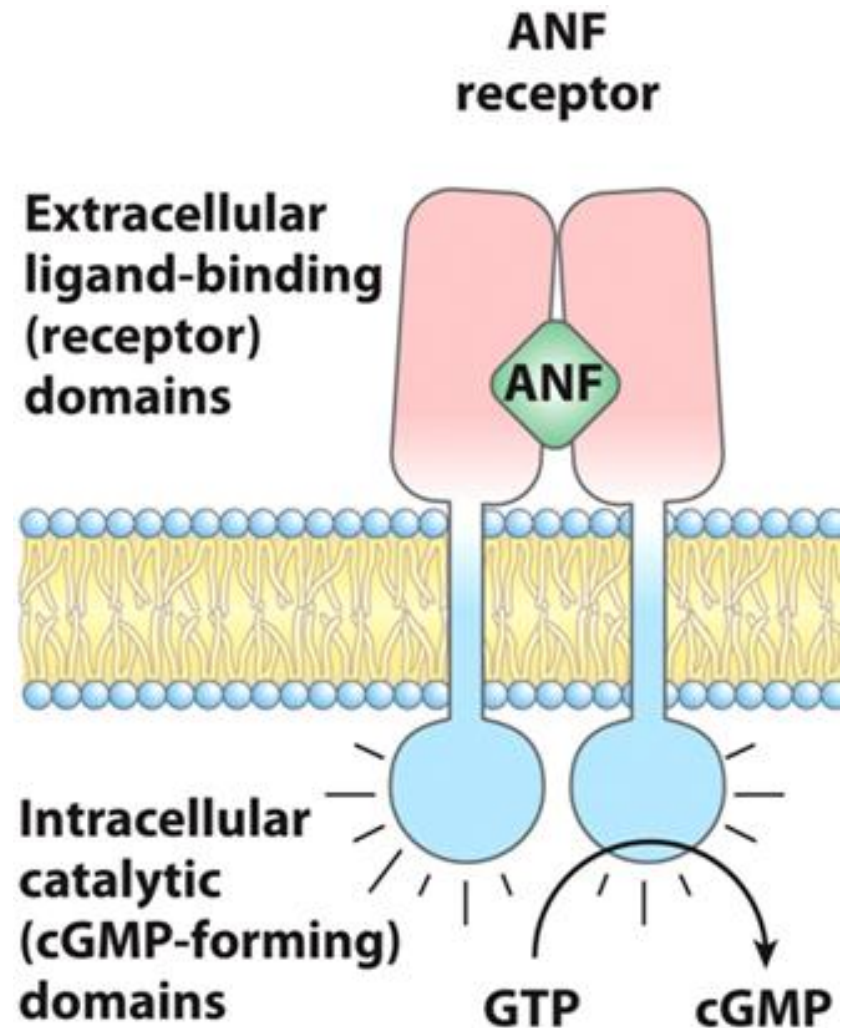
cGMP aktivē **proteīnkināzi G** (cGMP atkarīgā proteīnkināze), kas fosforilē Ser un Thr atlikumus mērķproteīnos (var būt gan saistīta pie receptora membrānā, gan šķīstošā veidā citosolā)



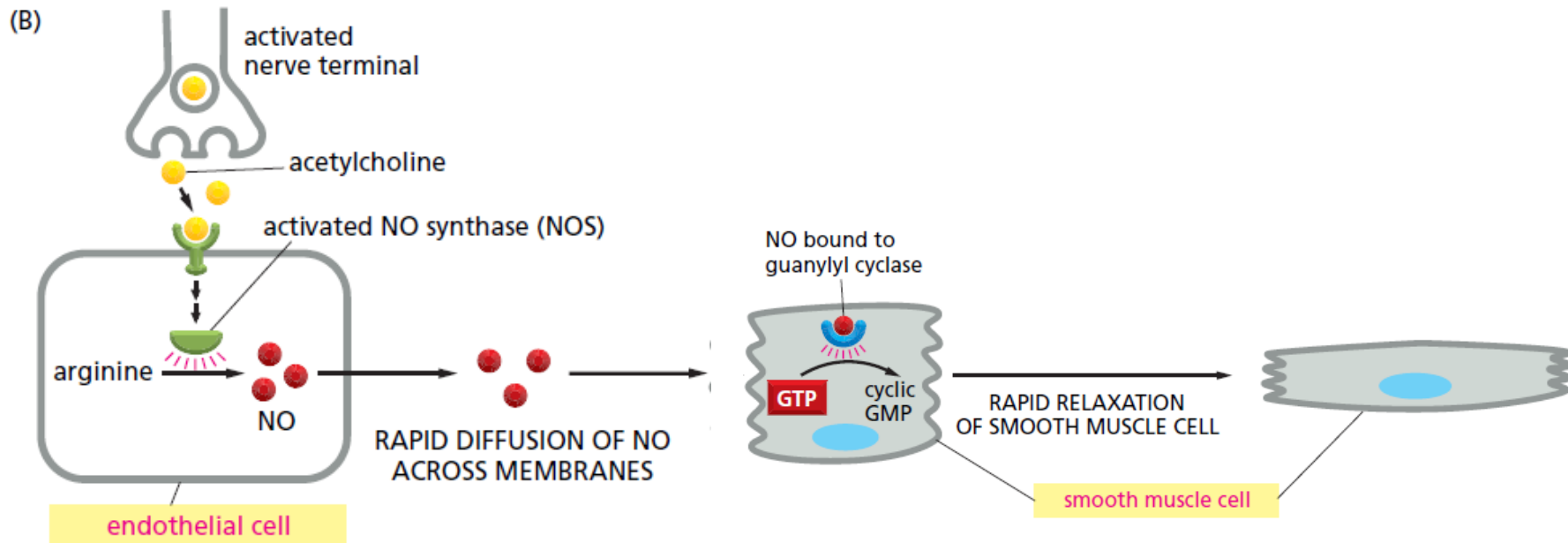
Fizioloģiskā nozīmība nierēs

- nierēs nodrošina jonu transportu un H₂O uzsūkšanos

Pārlietu liels sirds muskuļa iestiepums (palielināta asins daudzuma plūsmas dēļ) nodrošina atriāli natriurētiskā faktora sekrēciju, kas nierēs aktivē GC receptoru. [cGMP] pieaugums nodrošina Na⁺ izdalīšanos un osmotiskā spiediena izmaiņas noved pie pastiprinātas H₂O uzsūkšanās



Fizioloģiskā nozīmība asinsvados



- Acetilholīns aktivē NO sintēzi

- NO parakrīni difundē uz blakus esošajām šūnām

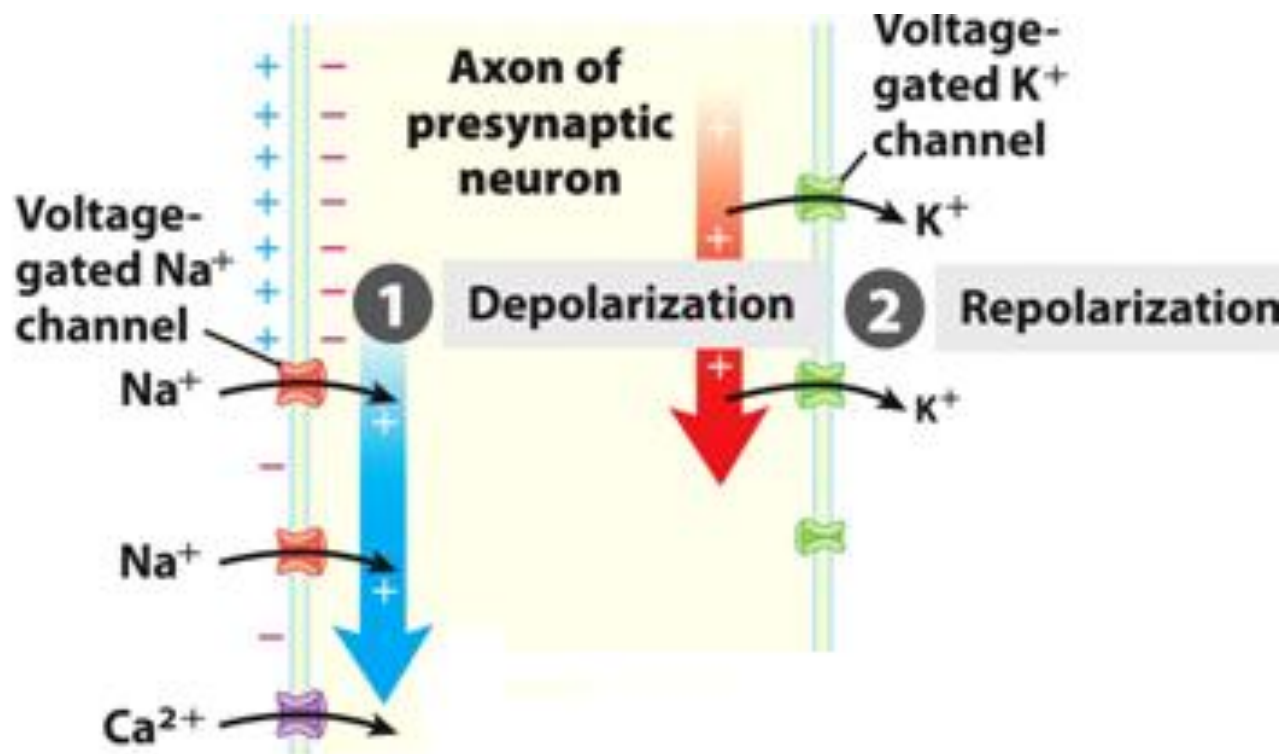
- NO aktivē brīvi citosolā atrodošos guanilciklāzi

- Gludie muskuļi relaksējas un asinsvads paplašinās

Ligandu atkarīgie jonu kanāli

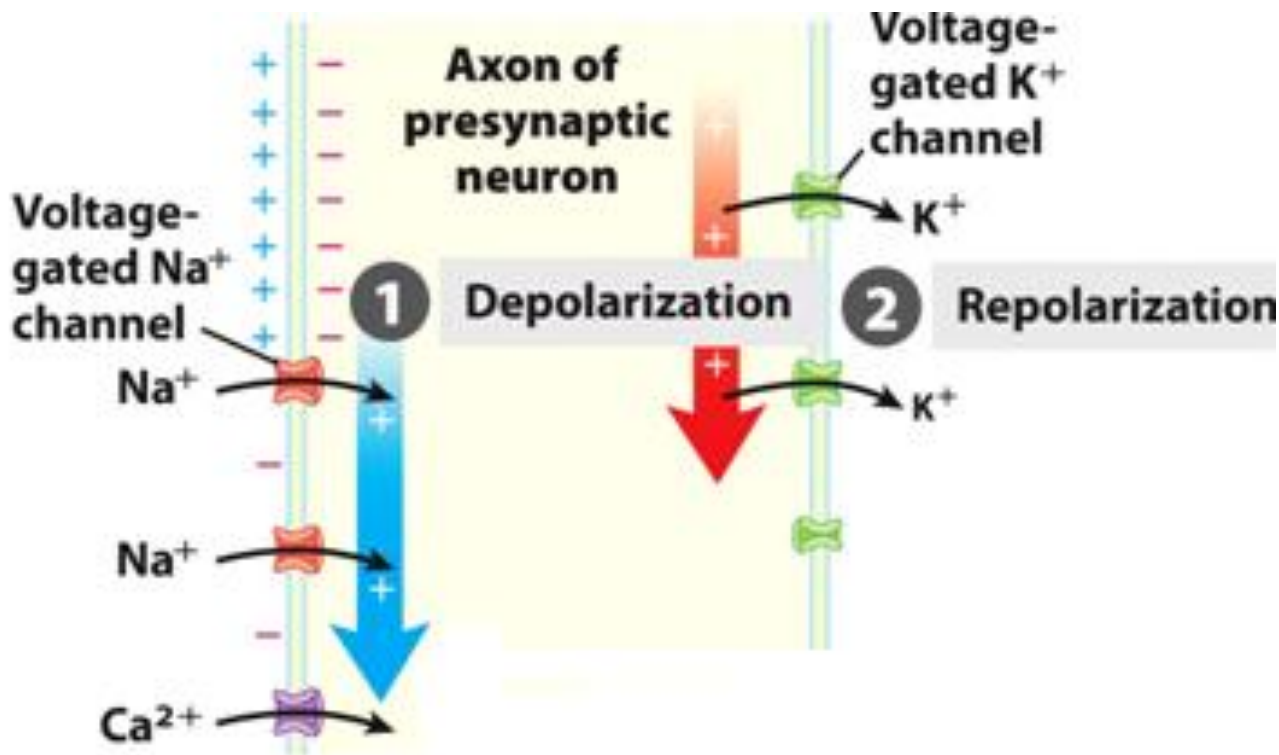
Signāla pārnese sinapsē

Stimula ietekmē presinaptiskā neirona plazmatiskā membrāna tiek depolarizēta, kā rezultātā aktivācijas potenciāls virzās pa aksonu

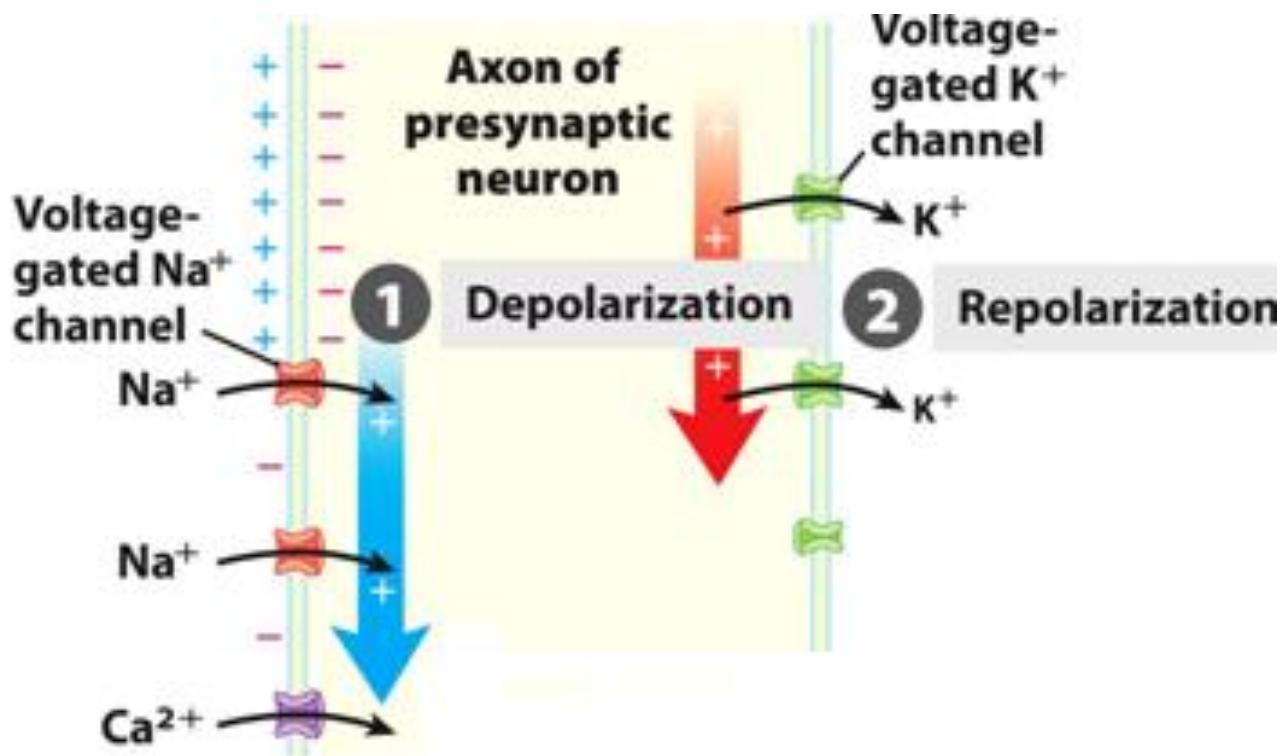


Trīs sprieguma regulētie jonu kanāli:

1. **Na⁺ kanāli** uz mirkli atverās un depolarizē membrānu ielaižot iekšā Na⁺ jonus
2. **K⁺ kanāli** depolarizācijas signāla ietekmē atveras un K⁺ joni tiek izpumpēti ārā K⁺ joni un notiek repolarizācija



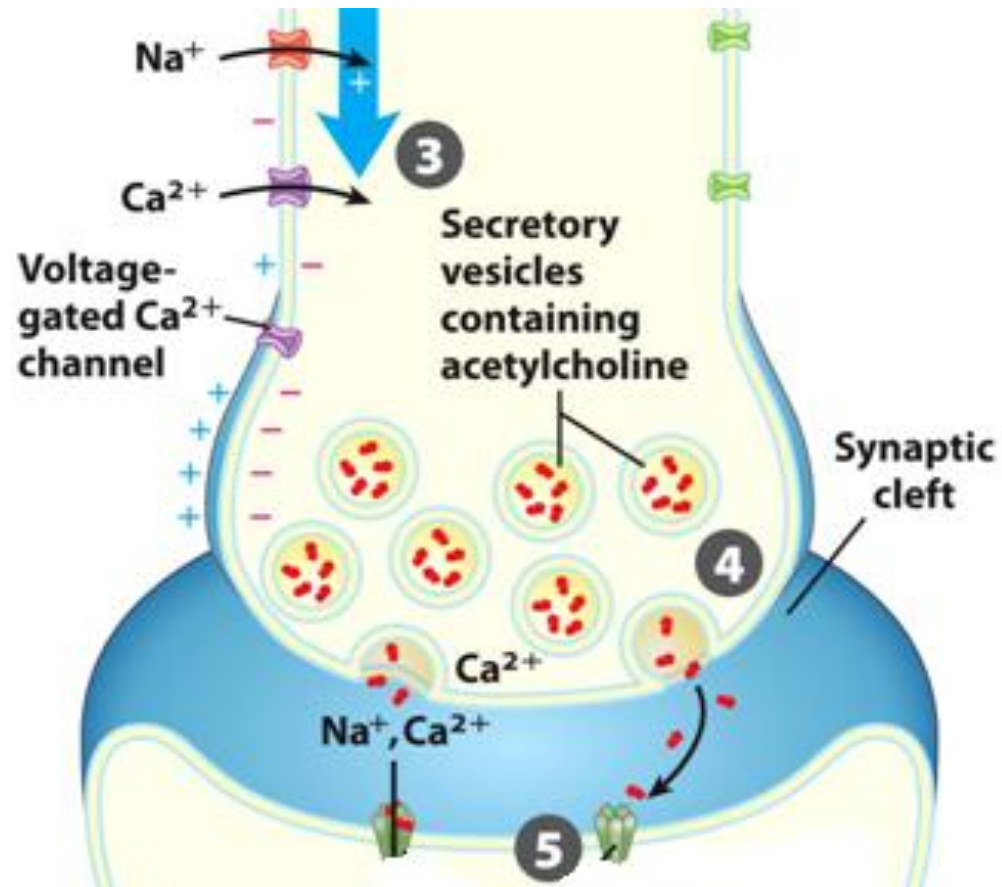
3. **Ca²⁺ kanāli** atrodas aksonu distālajos galos, pie sinapses un atverās, kad tos sasniedz aktivācijas potenciāls. Tie ierosina acetilholīna vezikulu izmešanu sinapsē



Aksona galā aktivācijas
potenciāla ietekmē atverās
 Ca^{2+} kanāli un ieplūst Ca^{2+}
joni

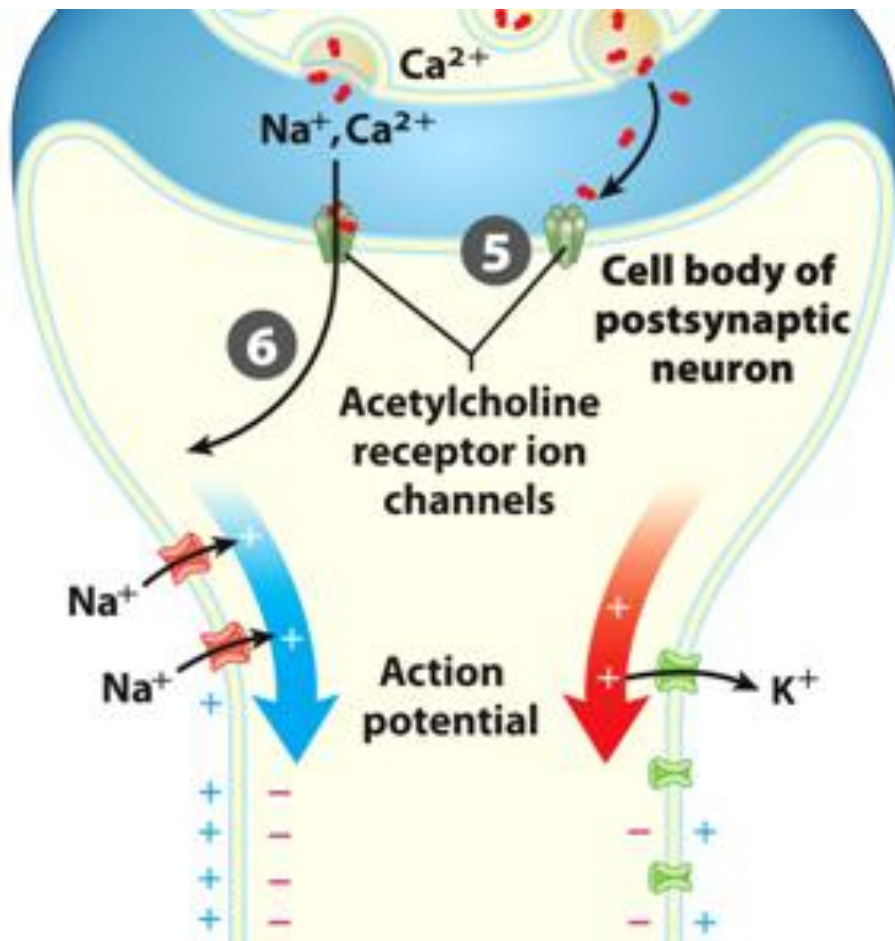
Tas nodrošina acetilholīna
sekrēciju sinapsē

Acetilholīns piesaistās
postsinaptiskā neirona
acetilholīna receptorajiem
jonu kanāliem



Acetilholīna atkarīgie jonu kanāli tiek atvērti, šūnā ieplūst Na^+ un Ca^{2+} joni, kas depolarizē postsinaptiskās šūnas membrānu

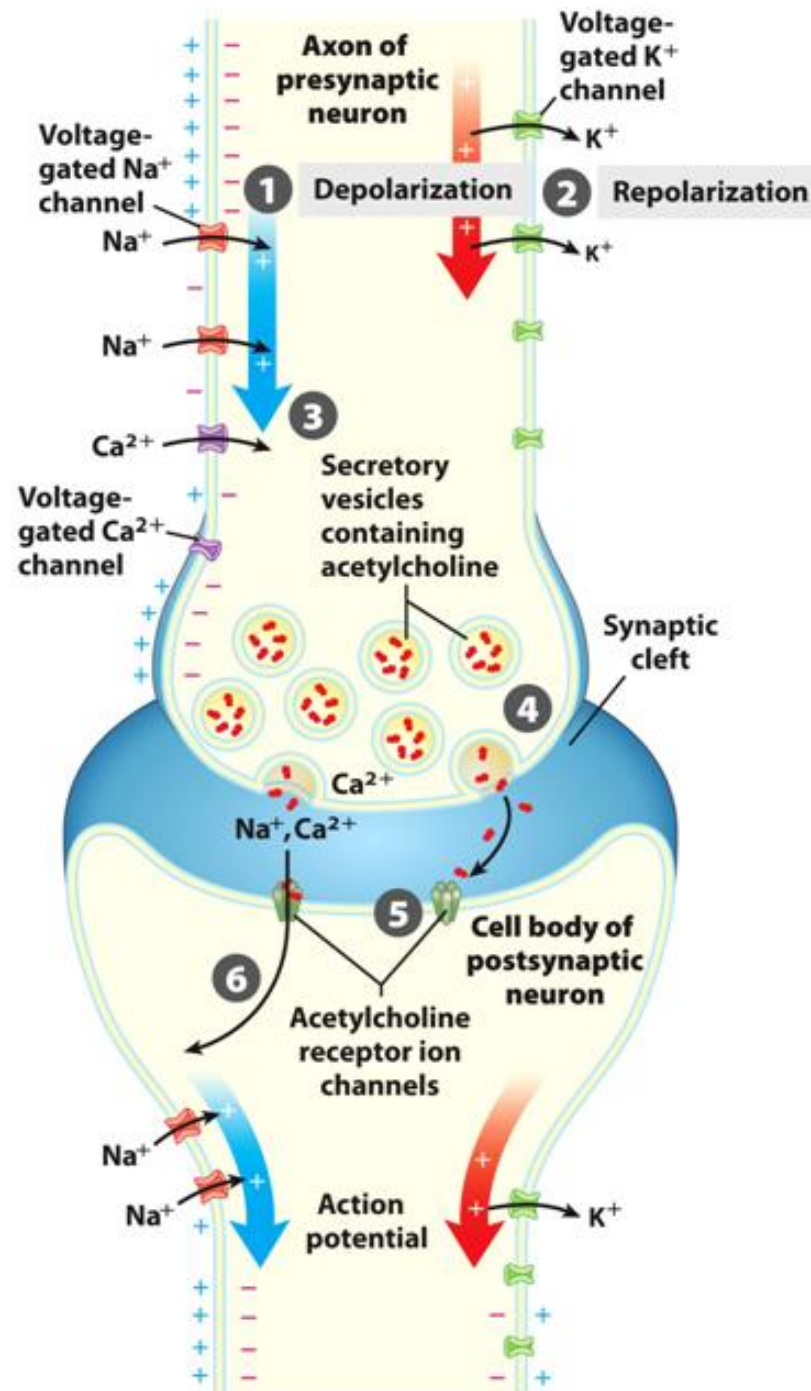
Postsinaptiskās šūnas aktivācijas potenciāls tiek nodots tālāk



Signāla pārnese sinapsē

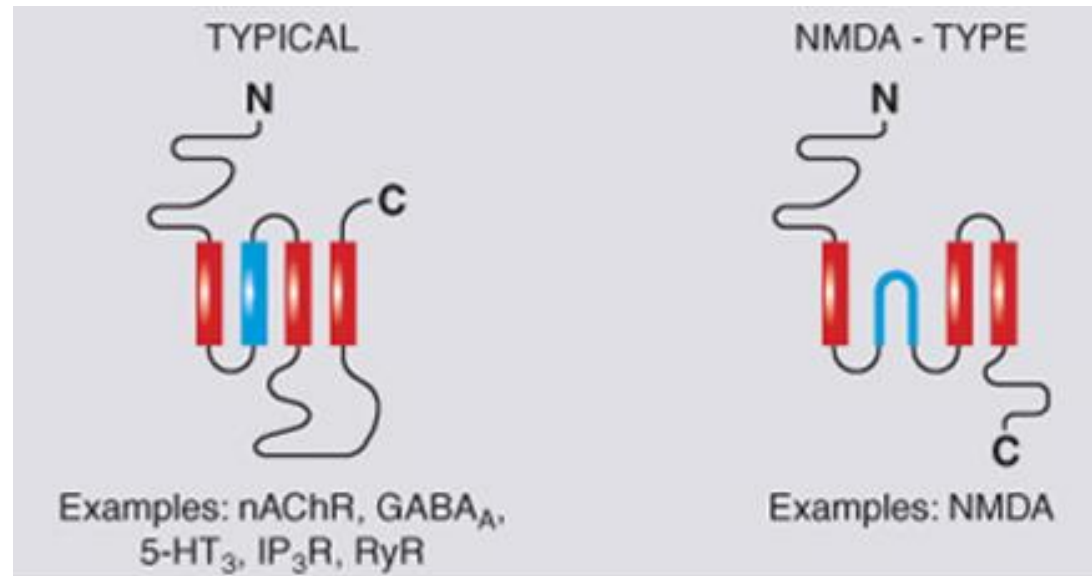
Līdzdarbojas četri jonu kanālu veidi:

- Na^+ jonu kanāli
- K^+ jonu kanāli
- Ca^{2+} jonu kanāli
- Acetilholīna atkarīgie jonu kanāli



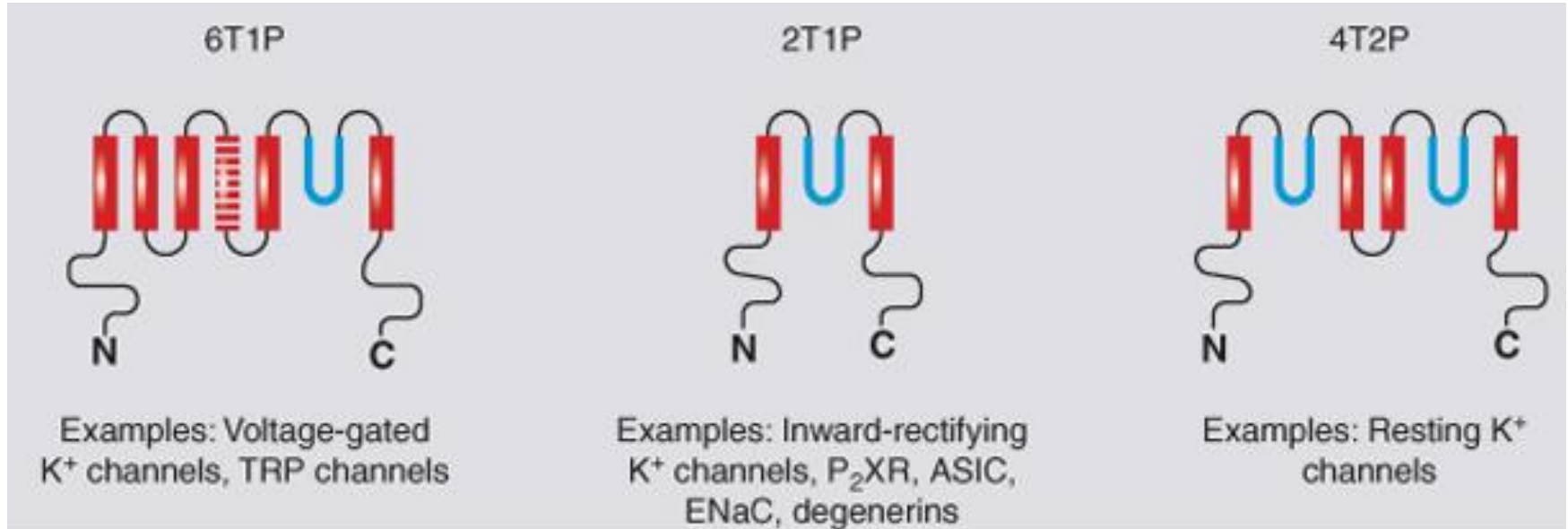
Jonu kanālu veidi

1. Liganda atkarīgie jonu kanāli



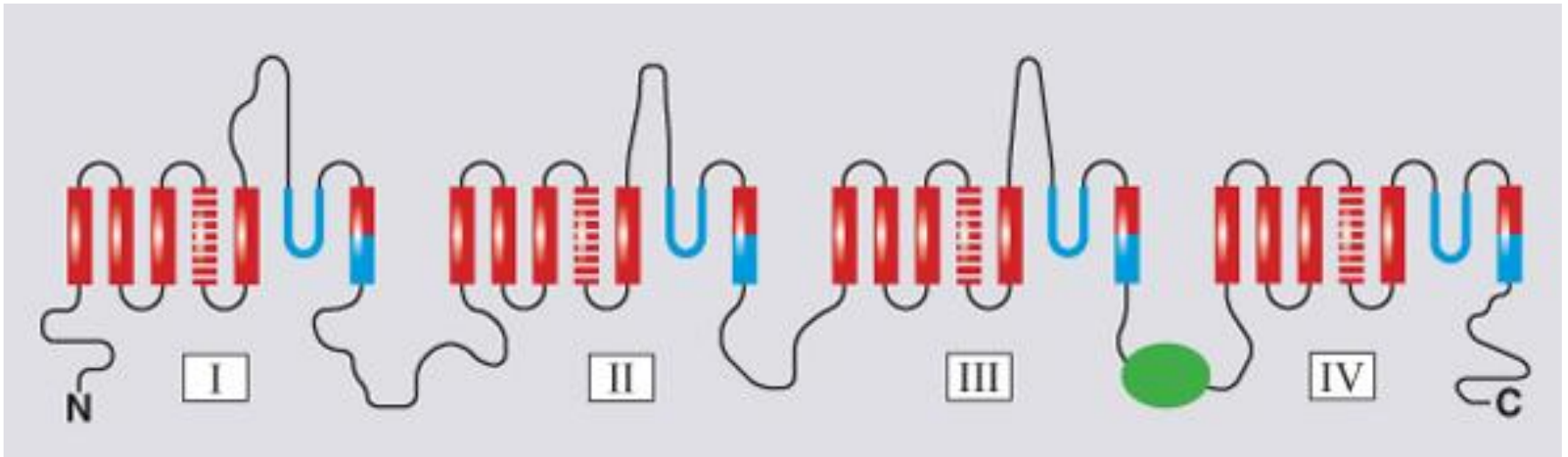
- Lielāko daļu liganda atkarīgo jonu kanālu veido četras vai piecas subvienības, kura katra sastāv no vairākiem transmembrānu rajoniem
- Daļai jonu kanālu struktūrā ir “poru veidojošās cilpas”
- N-terminālais gals satur liganda piesaistes vietu

2. Kālija jonu kanāli



- Daudzveidīga struktūra, parasti sastāv no četrām subvienībām
- Struktūras sastāvā var būt “poru veidojošās cilpas” un sprieguma jutīgie rajoni

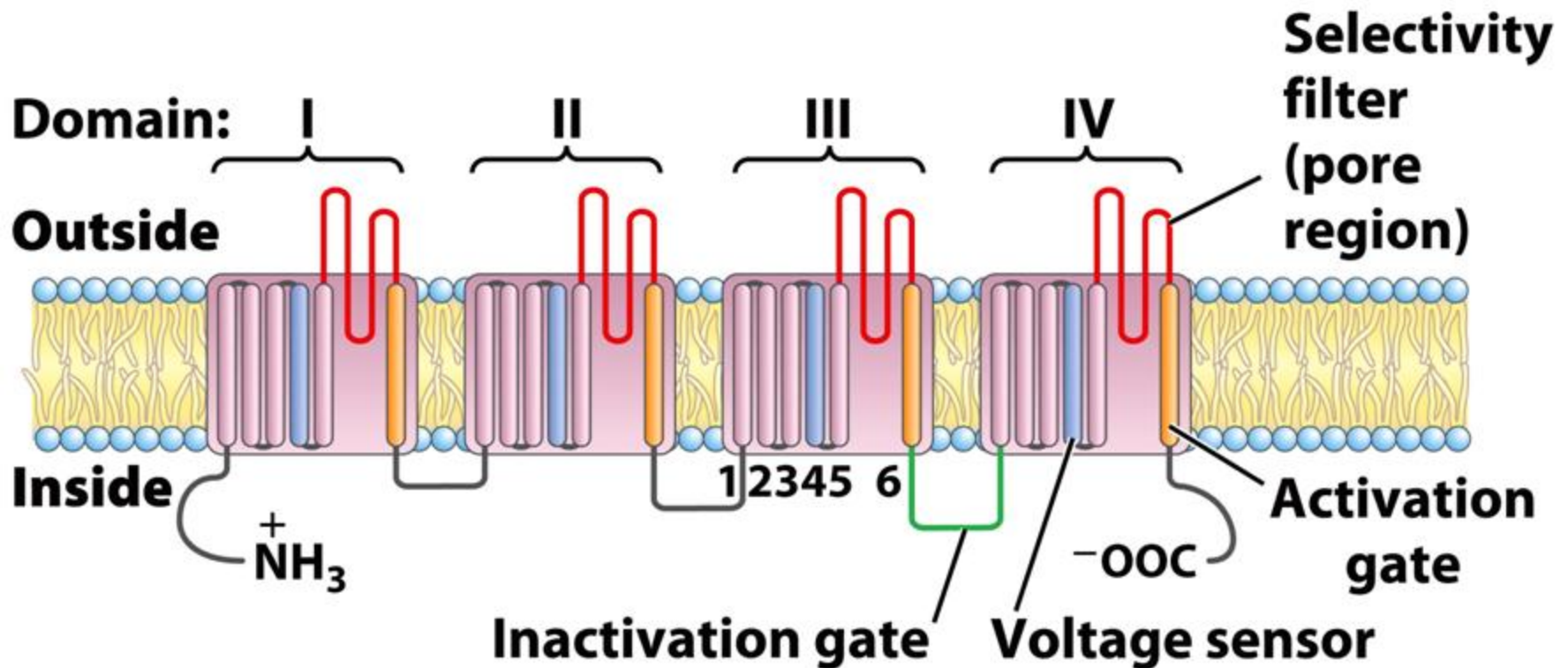
3. Nātrija un kalcija jonu kanāli



- Katra subvienība sastāv no 6 transmembrānas spirālēm
- Parasti četras subvienības, ko veido viena polipeptīdu ķēde
- Struktūras sastāvā var būt “inaktivējošā cilpa”

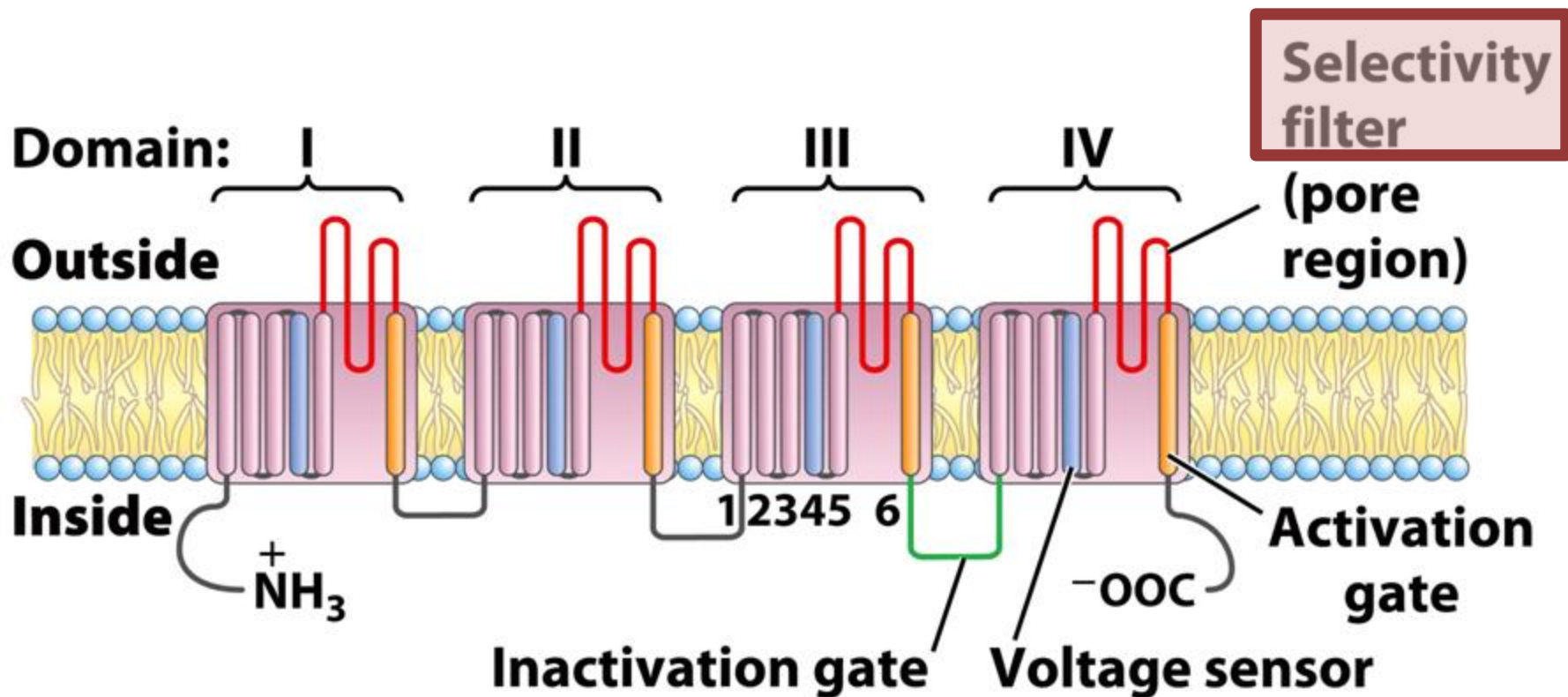
Sprieguma-regulētais Na⁺ kanāls

Sastāv no 4 domēniem, ko veido 6 transmembrānu α spirāles



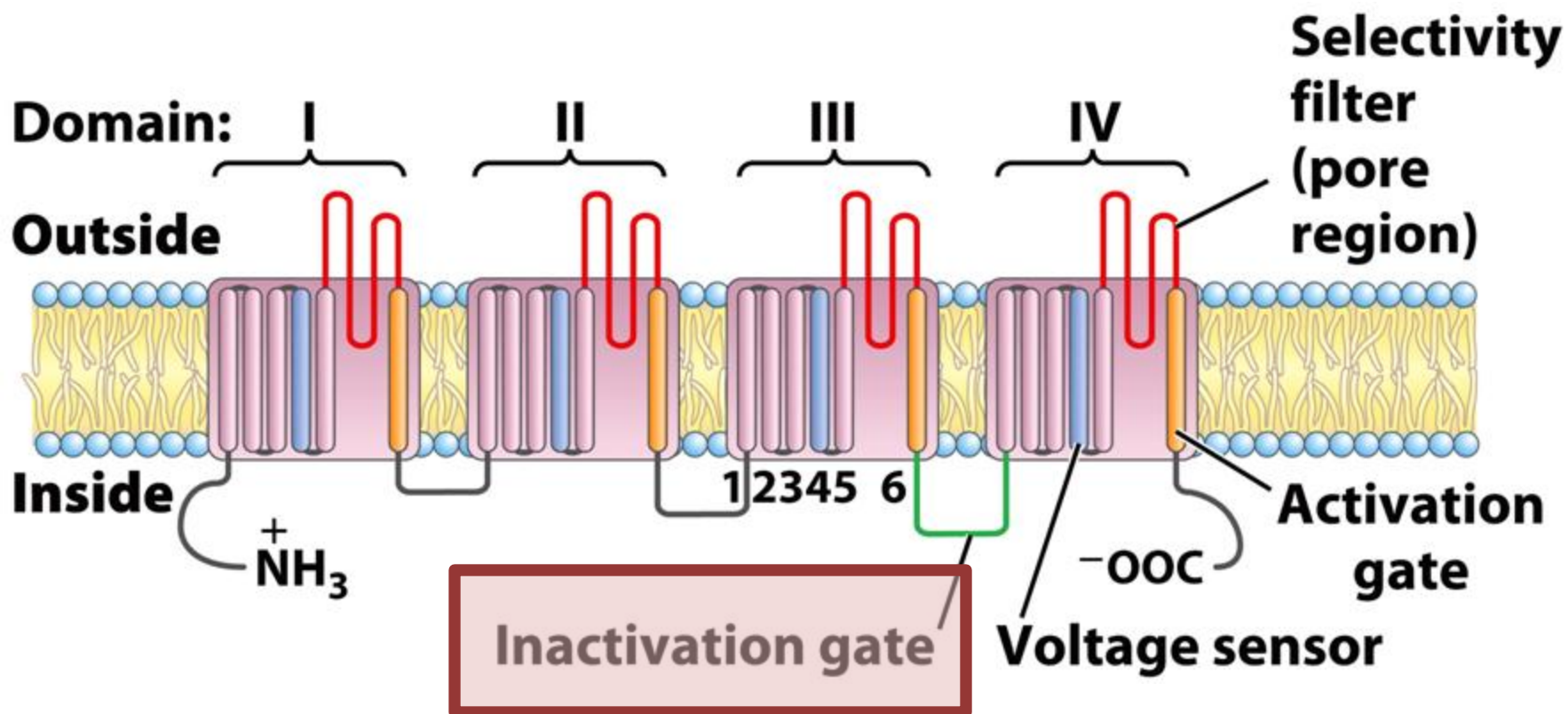
Sprieguma-regulētais Na⁺ kanāls

Selektivitātes filtrs – nodrošina specifisku Na⁺ jonu uztveršanu



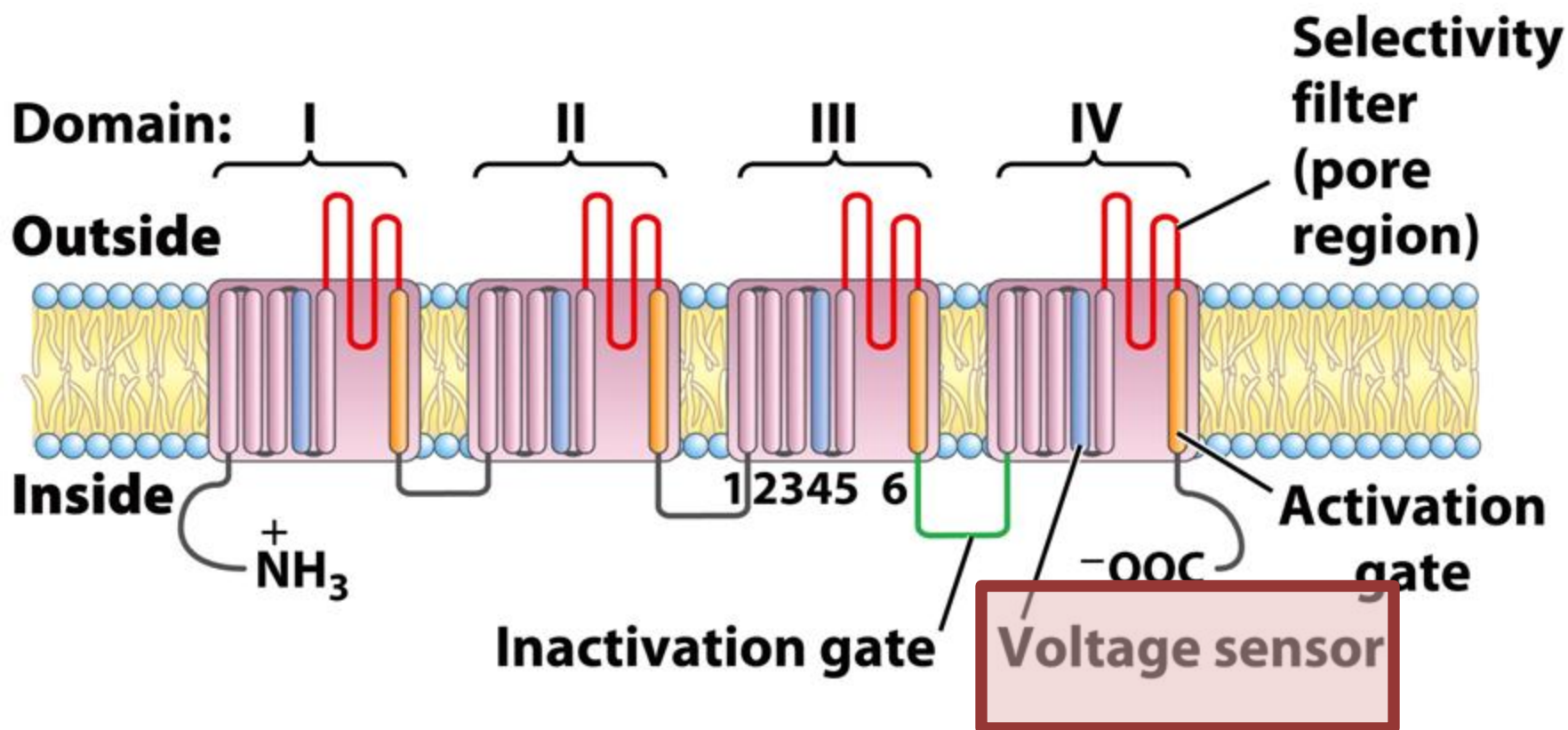
Sprieguma-regulētais Na⁺ kanāls

Inaktivācijas cilpa - noslēdz kanālu, pēc Na⁺ jonu ieplūšanas



Sprieguma-regulētais Na⁺ kanāls

Sprieguma sensors – TM4 domēns, saturs vairākus Arg atlikumus un sprieguma ietekmē virzās ārā no membrānas un atver kanālu Na⁺ joniem

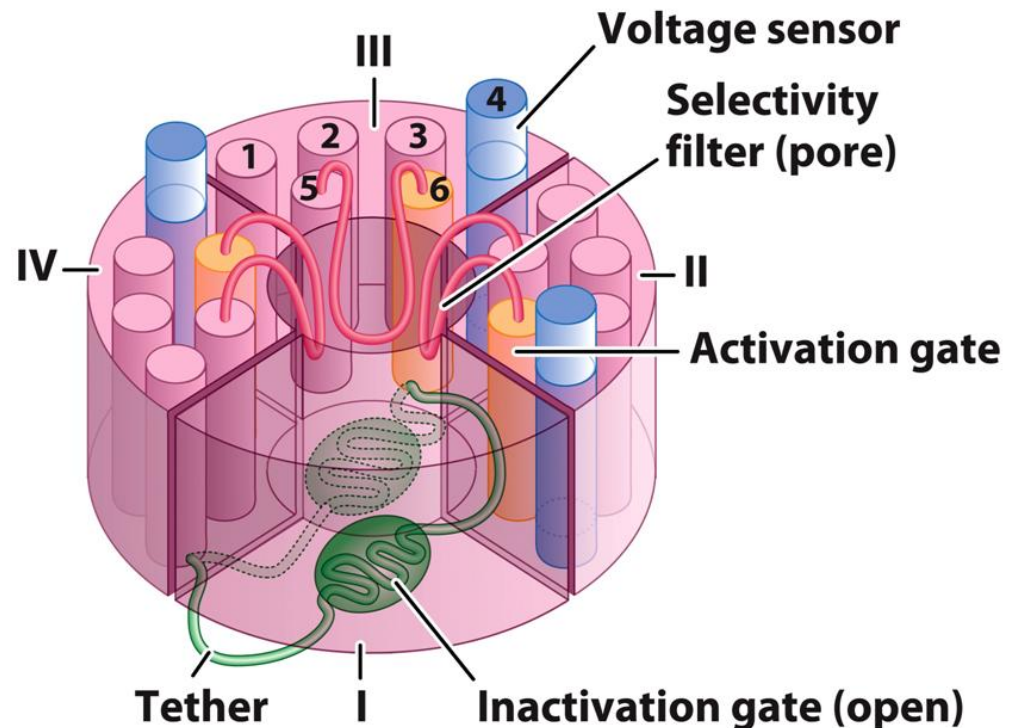
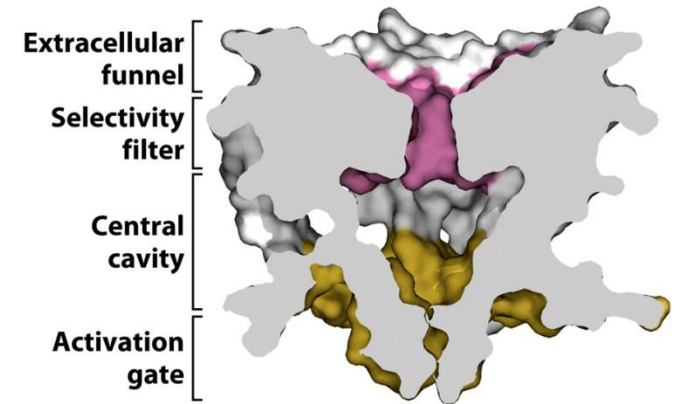


Sprieguma-regulētais Na⁺ kanāls

“Selektivitātes filtrs” starp 5. un 6. transmembrānas spirāli

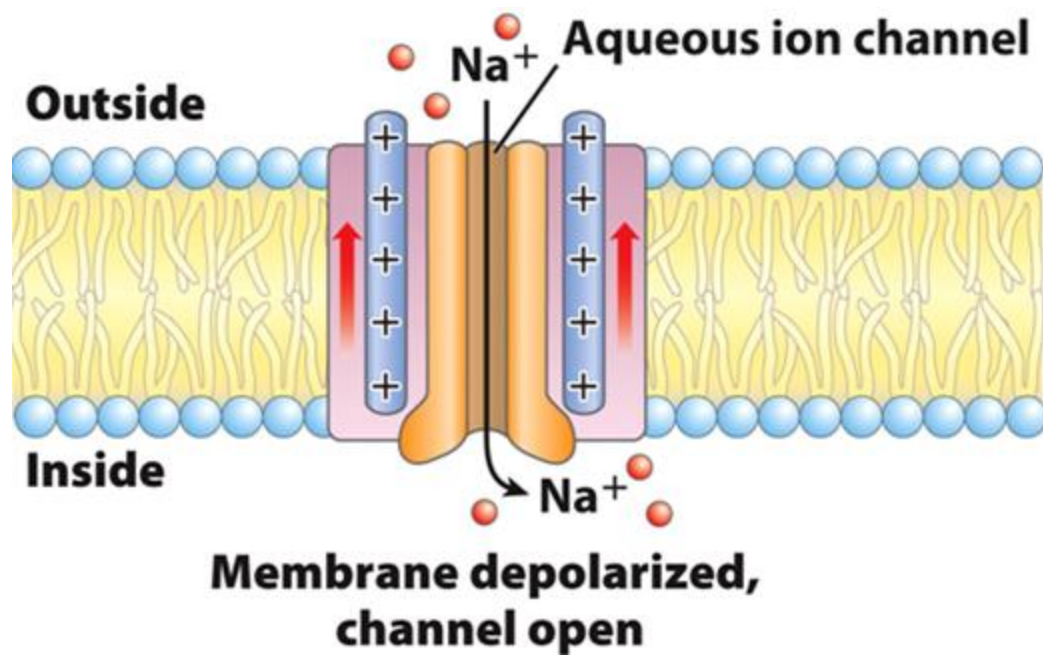
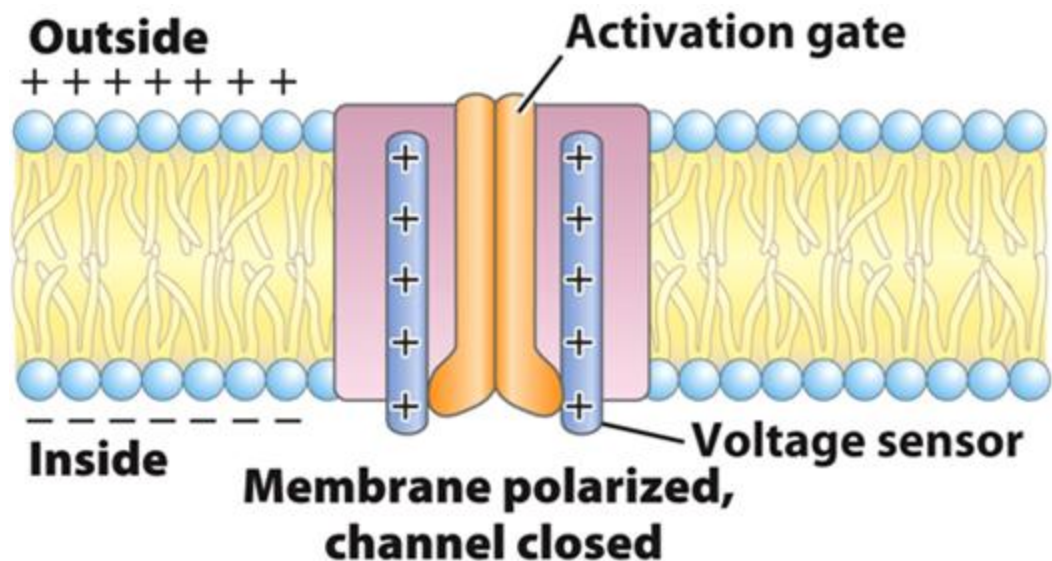
“Inaktivācijas slēdzis” starp III un IV domēnu

“Sprieguma sensors” 4. transmembrānas domēns



Sprieguma-regulētais Na⁺ kanāls

“Sprieguma sensors”
4. transmembrānas
domēns

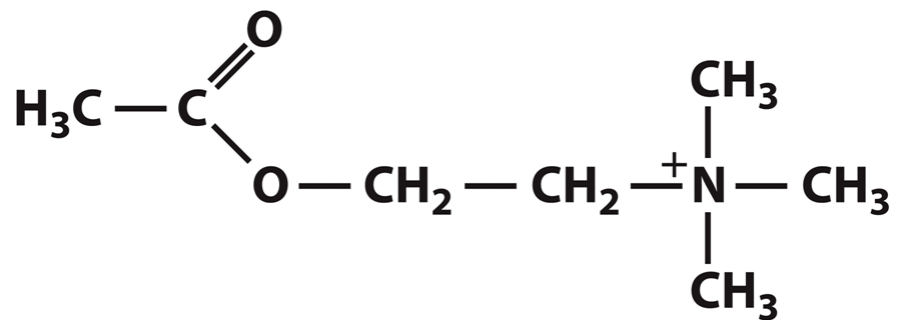


Acetilholīna receptorais jonu kanāls

To veido pieci transmembrānas domēni:

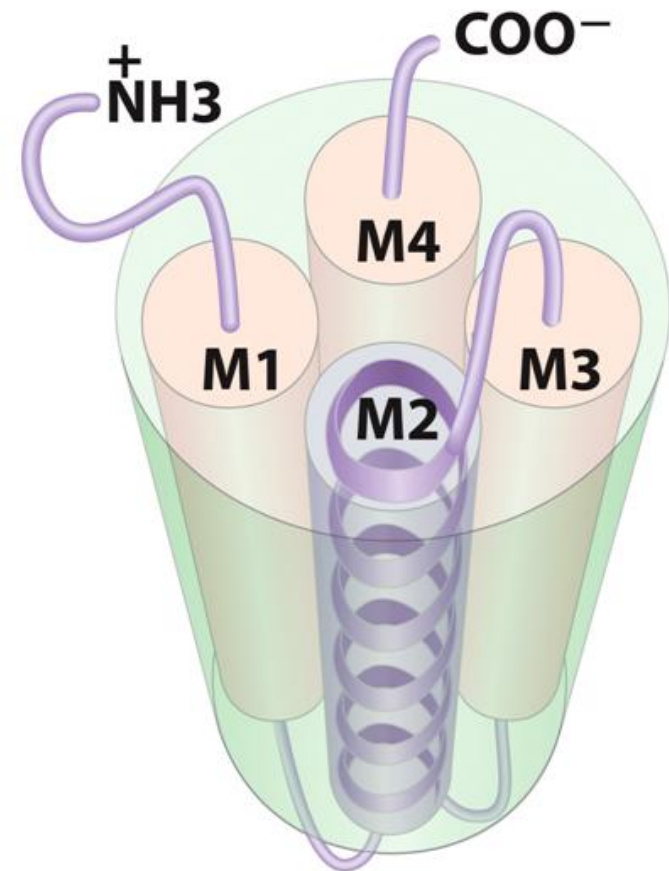
divi α un pa vienam **β , γ** un **δ** domēniem

Katru domēnu veido četras α spirāles

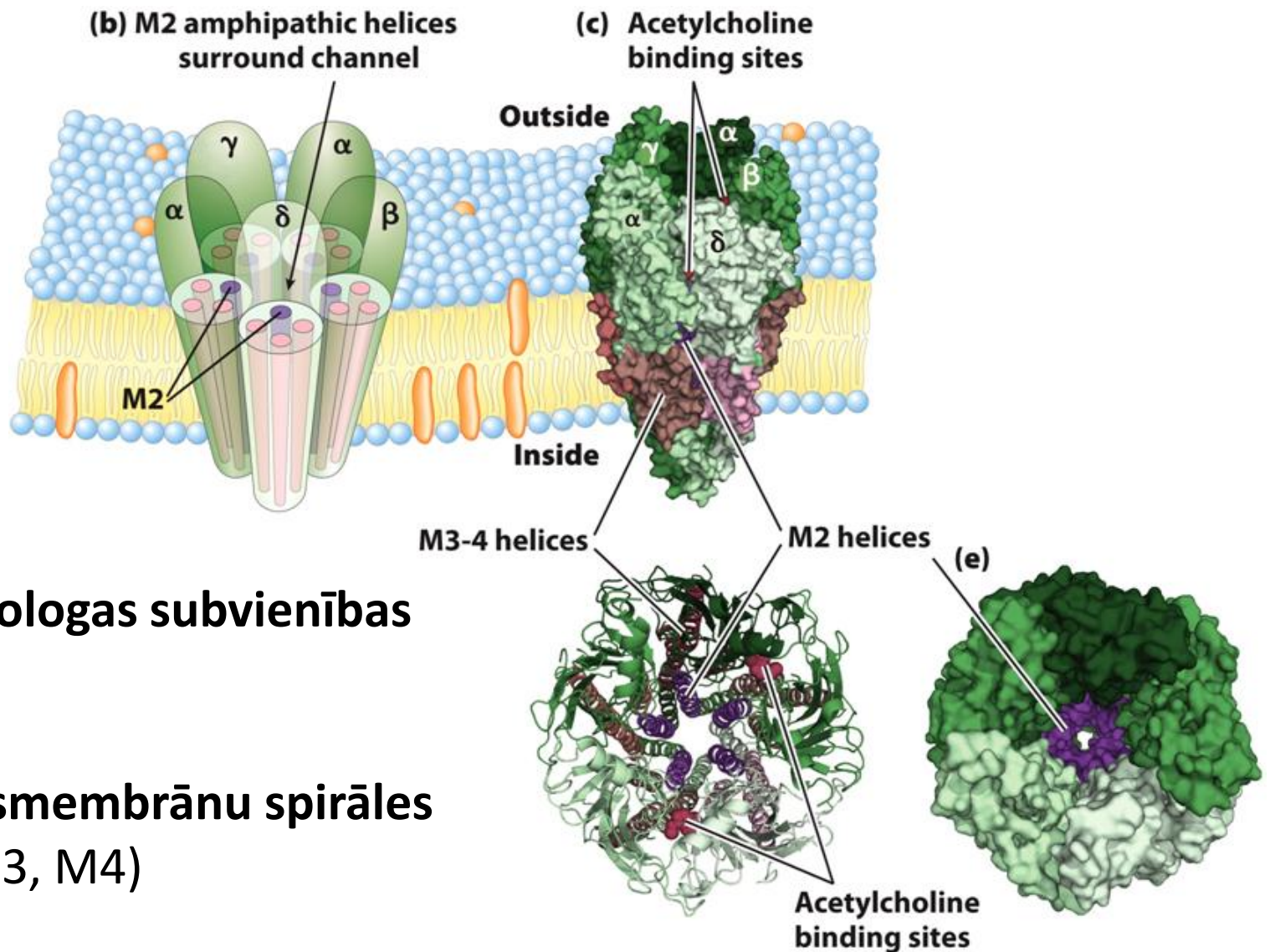


Acetylcholine

Subunit folds into four transmembrane α helices



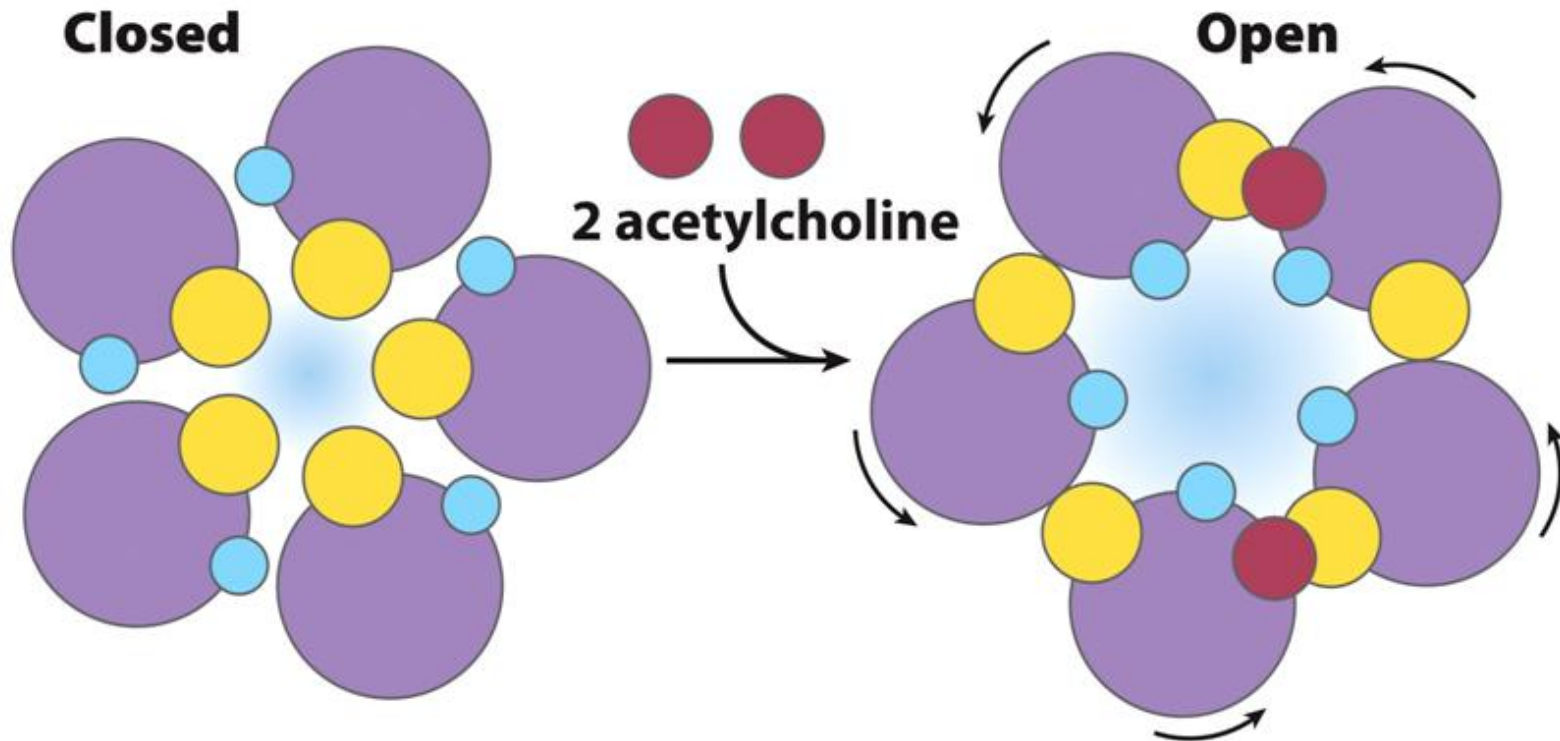
Acetilholīna receptorais jonu kanāls



Piecas homologas subvienības
($\alpha_2, \beta, \gamma, \delta$)

Četras transmembrānu spirāles
(M1, M2, M3, M4)

Acetilholīna receptorais jonu kanāls



Bulky, hydrophobic Leu side chains of M2 helices close the channel.

Binding of two acetylcholine molecules causes twisting of the M2 helices.

M2 helices now have smaller, polar residues lining the channel.

Neurotransmitteru aktivētie jonu kanāli

Neurotransmitters	Ķīmiskais raksturojums	Aktivētie jonu kanāli	Jonu plūsmas
Acetilholīns	acetilholīns	Acetilholīna rec.	K ⁺ , Na ⁺ (Ca ²⁺)
Glutamīnskābe	aminoskābe	NMDA, AMPA, Kainate rec.	K ⁺ , Na ⁺ , Ca ²⁺
γ-aminosviestskābe	aminoskābe	GABA _A , GABA _A -p rec.	Cl ⁻
Glicīns	aminoskābe	Glicīna rec.	Cl ⁻
Serotonīns	monoamīns	5-HT ₃	K ⁺ , Na ⁺ , Ca ²⁺
Oglekļa monoksīds	gāze	K ⁺ kanāliem piesaitītais hēms	K ⁺
Adenoziņa trifosfāts	fosfāts	P2X rec.	Na ⁺ , Ca ²⁺

Toksīni bloķē jonu kanālus

Melnā mamba - **dendroksīns** (vairāki toksīni ar dažādiem mērķiem starp tiem K^+ kanāli un acetilholīna r.)

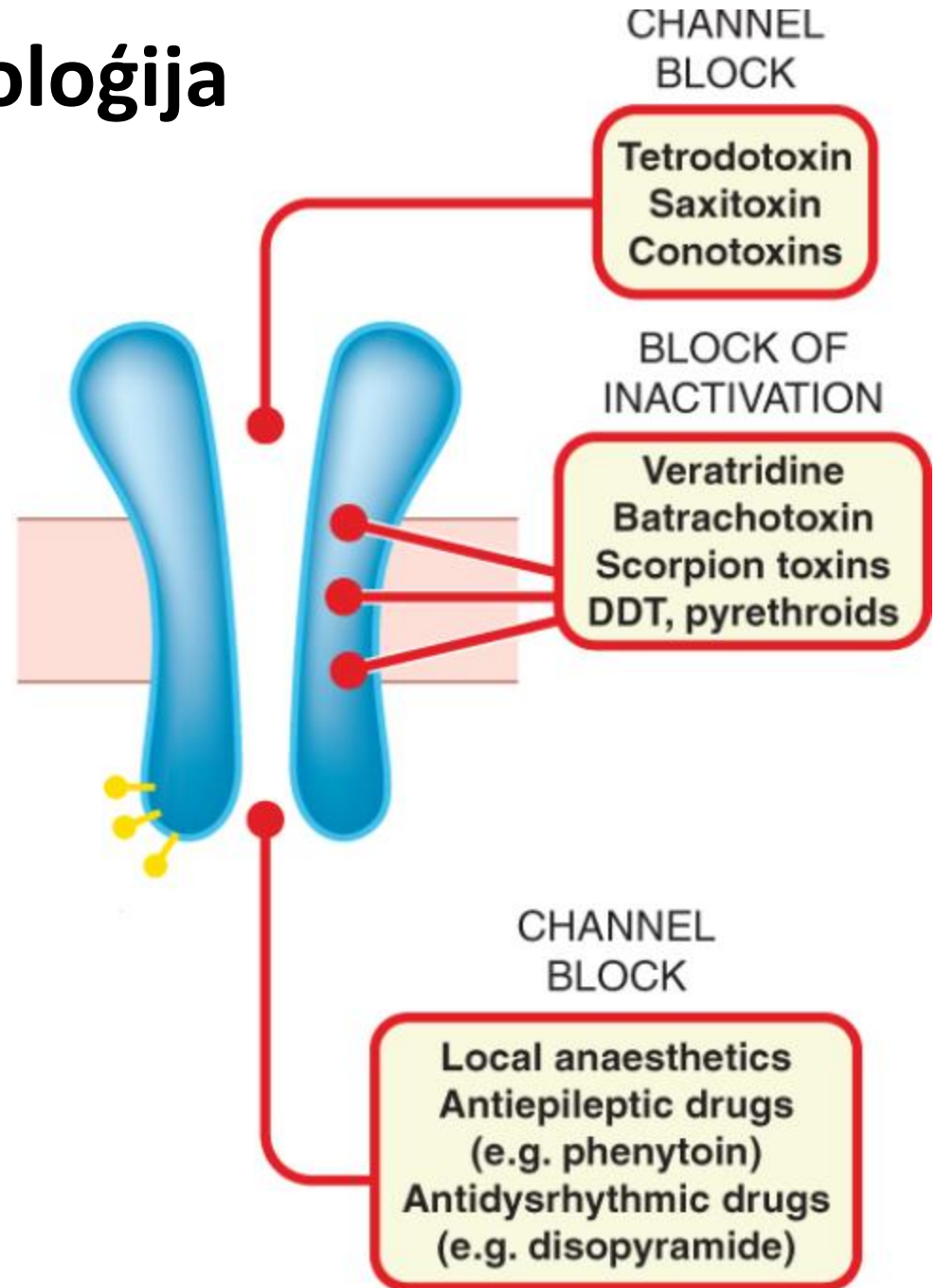
Naja kobras – **α -kobratoksīns** acetilholīna r. antagonists

Balonzivis (*Tetraodontidae*) – **tetrodotoksīns** Na^+ kanālu antagonists



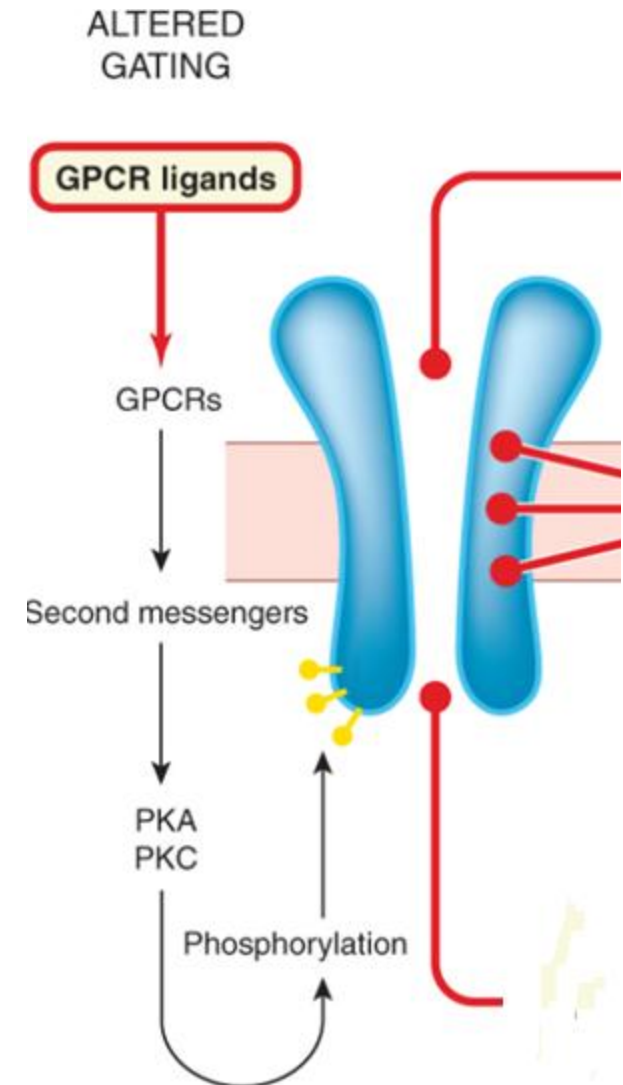
Jonu kanālu farmakoloģija

Virkne medikamentu un dabā sastopamu toksīnu darbojas tieši piesaistoties jonu kanālam



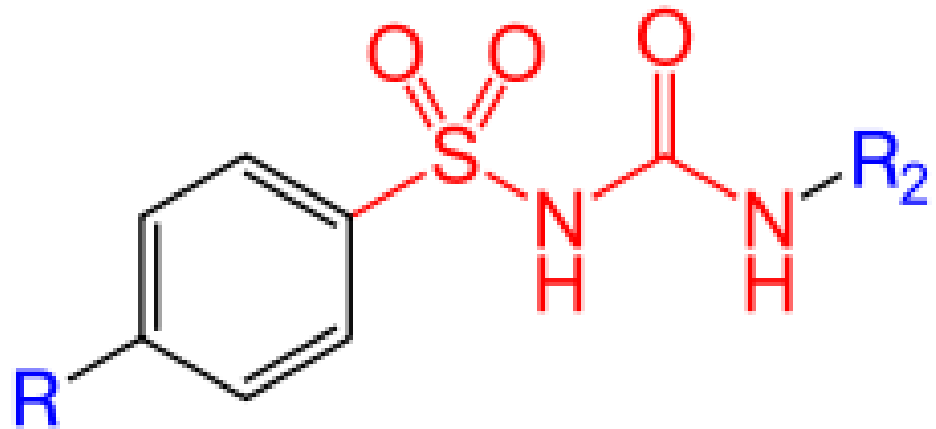
Jonu kanālu regulācija var notikt arī ar mediatoru starpniecību

- Tiek aktivēts ar G proteīnu saistītais receptors
- Notiek noteiktu proteīnkināžu aktivācijas, kas tālāk var fosforilēt aminoskābju atlikumus jonu kanāla iekšējās telpā
- Izmainoties jonu kanāla konformācijai var mainīties tā aktivitāte



Anti-diabēta preparāta darbības mehānisms

Sulfonylurea

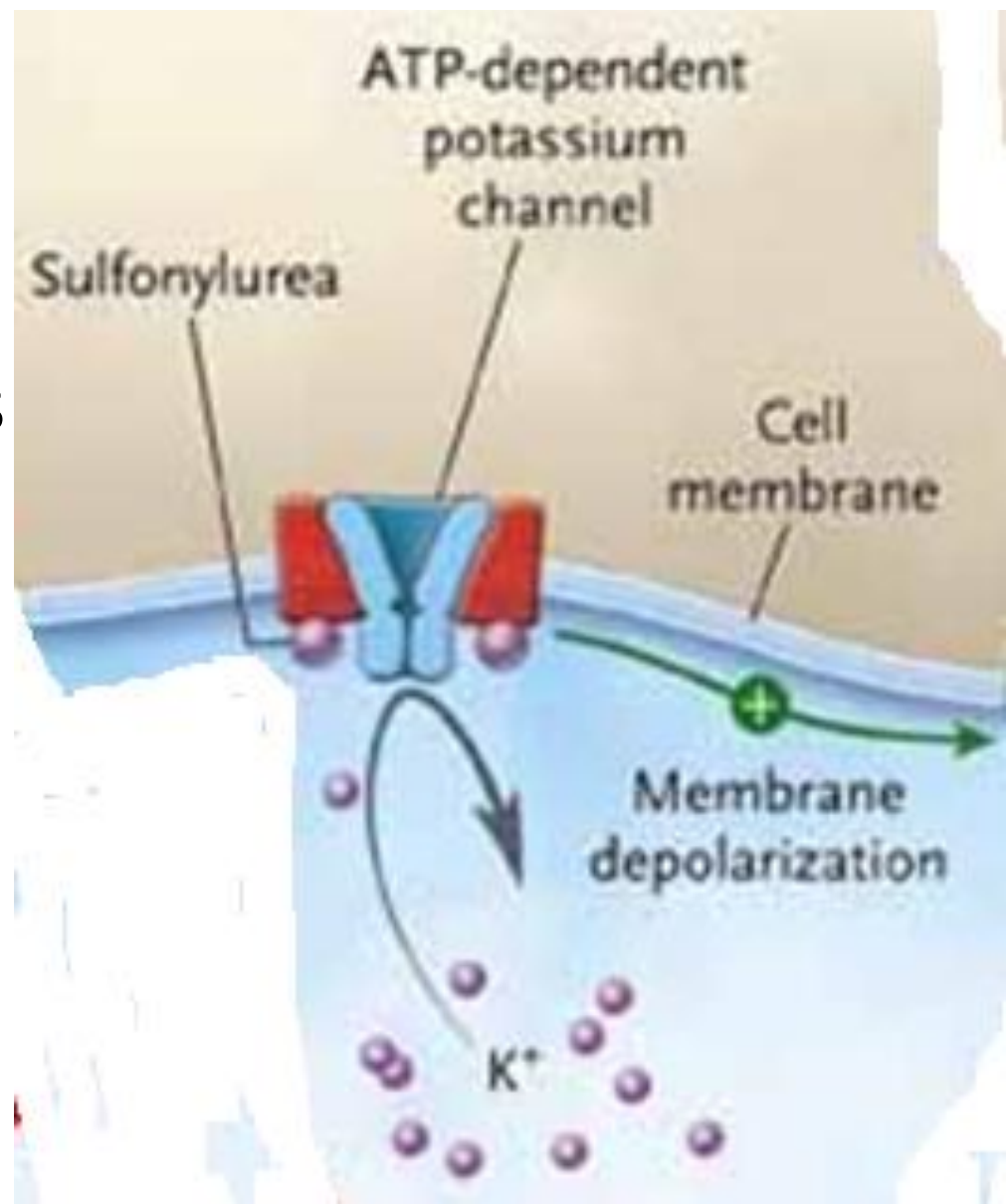


Palielina insulīna sekrēciju no aizkuņģa dziedzerā β šūnām

Sulfonylurea darbības mehānisms

Sulfonylurea piesaitās pie ATP-atkarīgajiem K^+ kanāliem β šūnu virsmas

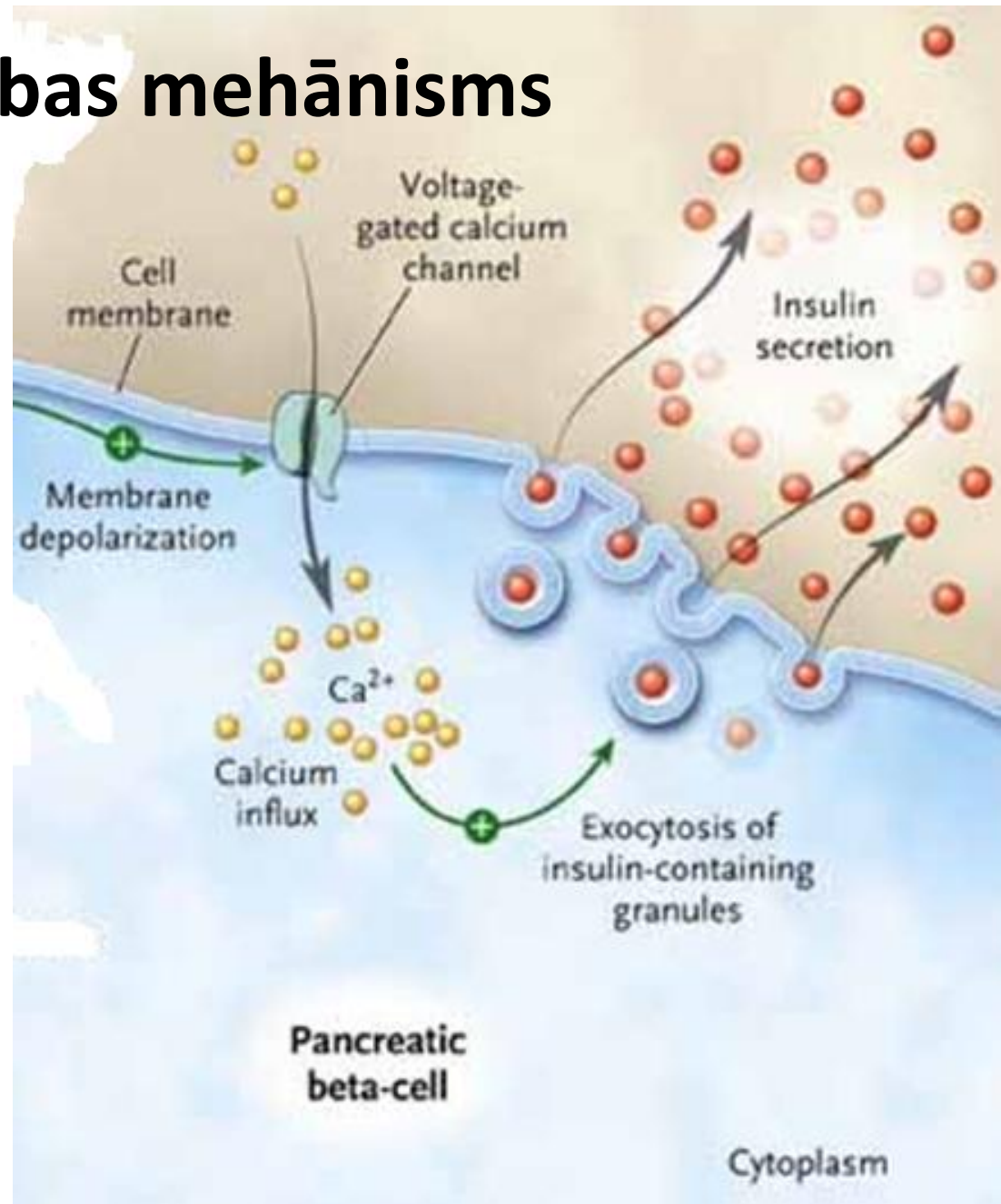
Tas inhibē K^+ jonu ieplūšanu šūnā



Sulfonylurea darbības mehānisms

β šūnas tiek depolarizētas un atverās Ca^{2+} kanāli

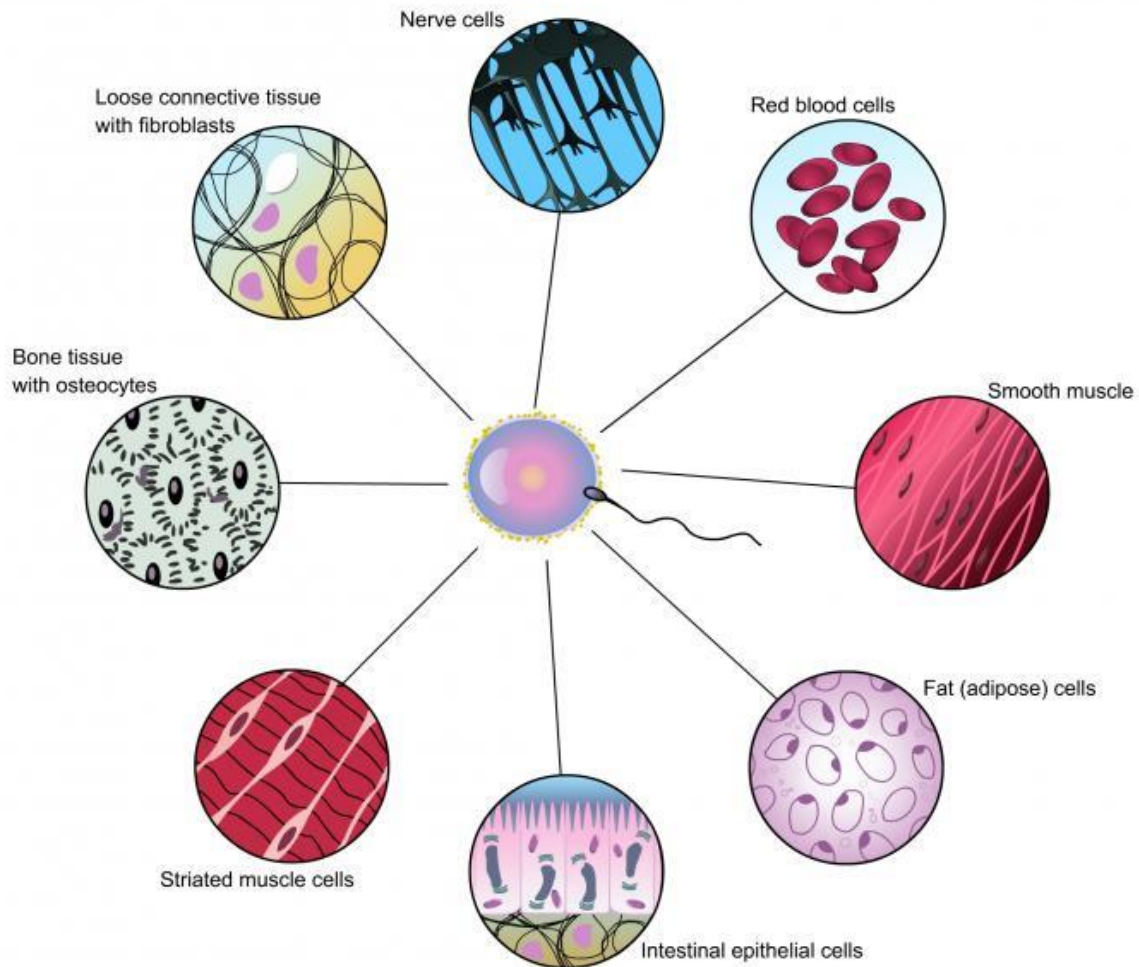
Kas stimulē insulīna sekrēciju



Adhēzijas receptori

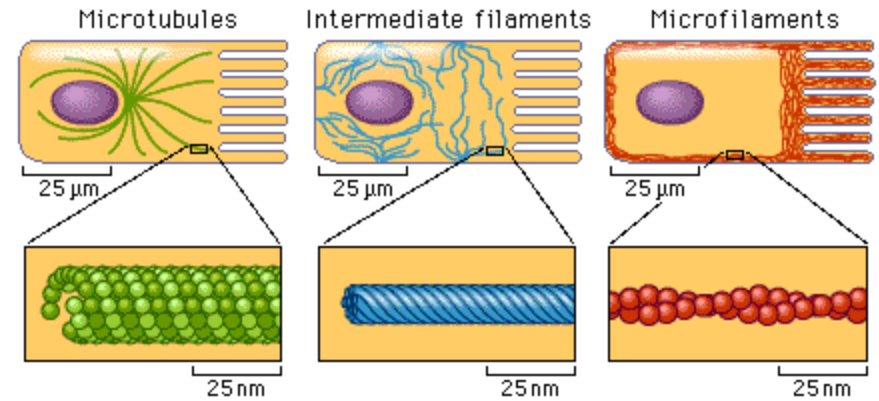
Kontakti

- Šūna-šūna
- Šūna-ārpusšūnas matriks

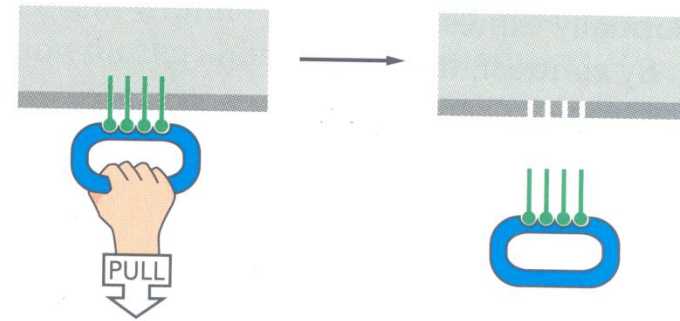


Daudzšūnu organisma funkcionālās integritātes nodrošināšanas procesi

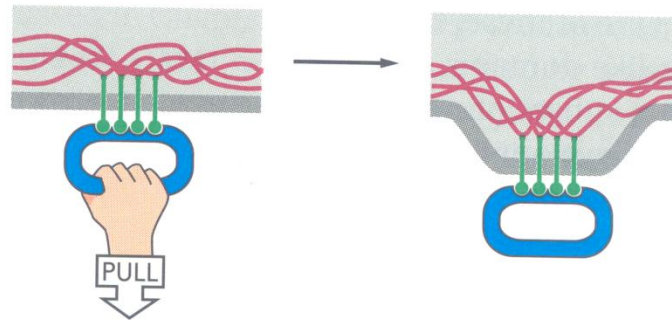
Citoskeleta nozīme šūnu adhēzijā



Adhēzijas molekulas, bez
piesaistes citoskeletam

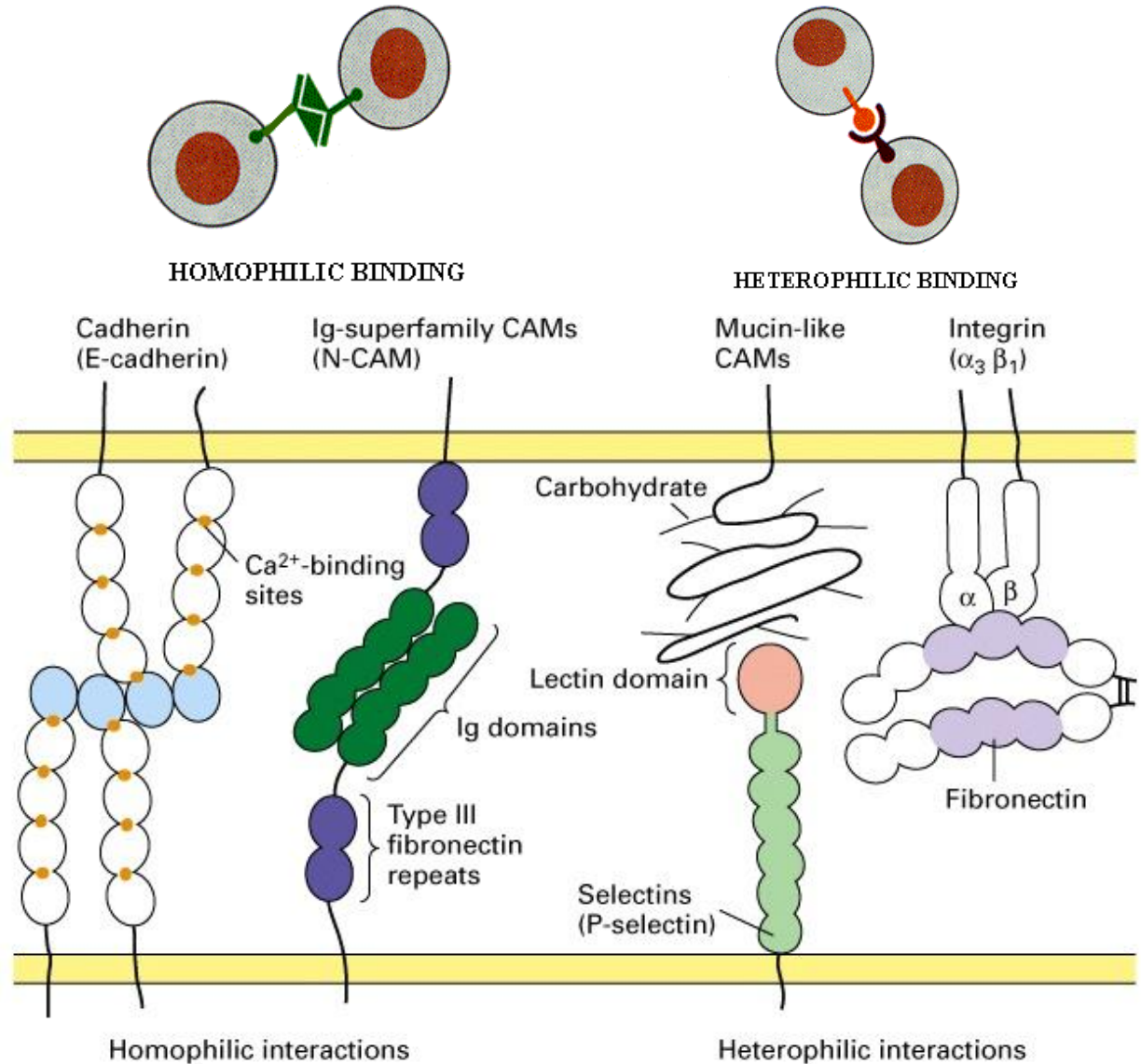


Adhēzijas molekulas
piesaistītas citoskeletam



Galvenās šūnu adhēzijas molekulu grupas:

- Kadherīni
- Selektīni
- Integrīni
- Adhezīvie imunoglobulīni



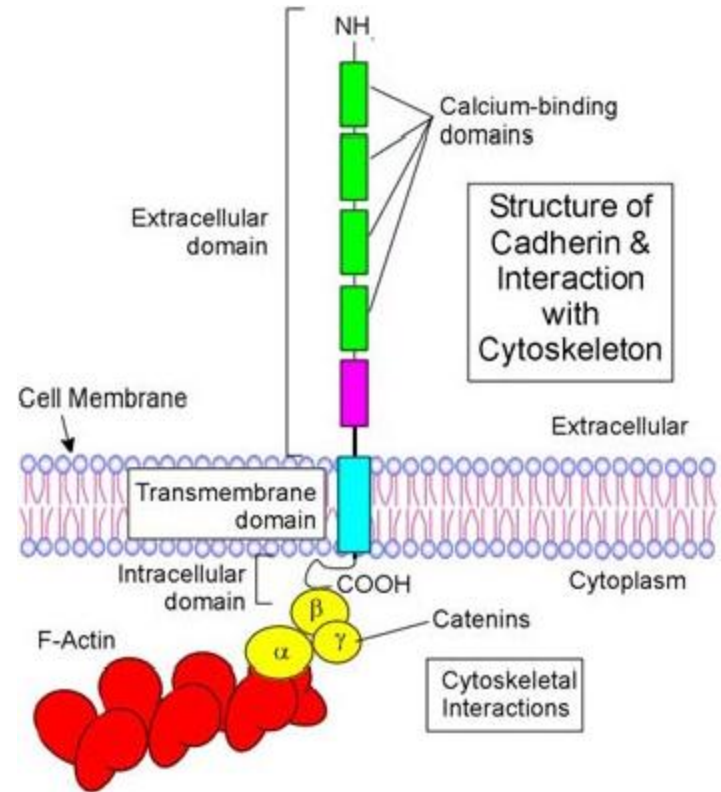
Kadherīni *(Calcium-dependent adhesion)*

Kadherīni – transmembrānas glikoproteīni apruveni 700 – 750 ask.a.

Ārpusšūnas daļu parasti veido 5 domēni, kas saista Ca^{2+}

Iekššūnas telpā kadherīns ar citu proteīnu starpniecību piesaistās citoskeletam

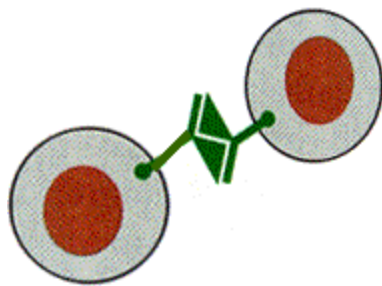
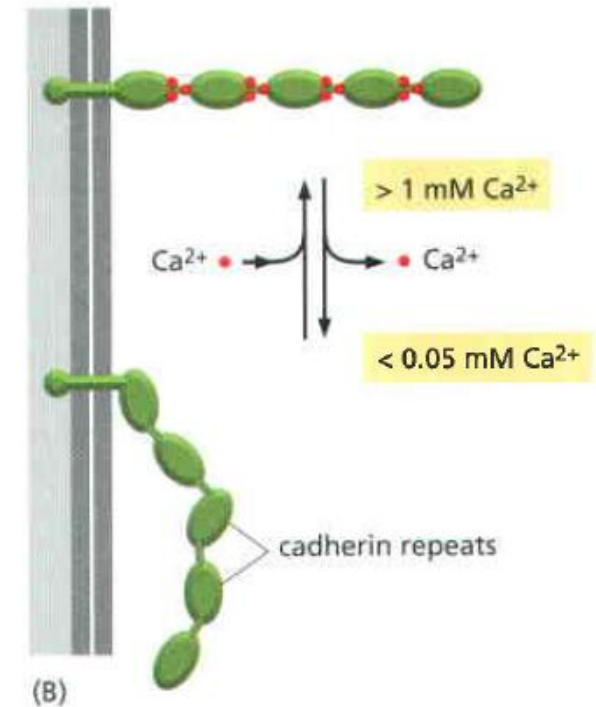
Būtiski: šūna-šūna kontaktu nodrošināšana, embriogēnēzē, šūnu migrācijā, audu struktūru integritātes saglabāšanā, metastāžu attīstībā utt.



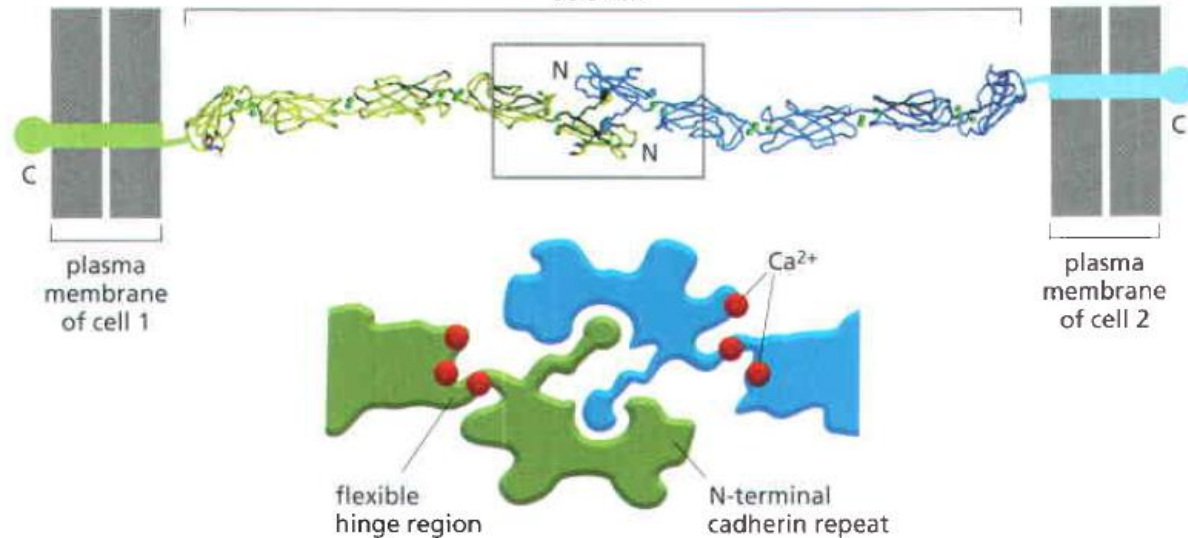
Kadherīni

Ca²⁺ jonu piesaiste izraisa konformācijas izmaiņas, kā rezultātā kadherīni var veidot savstarpējus kontaktus

Kadherīniem raksturīga homofīliskā saistīšanās



HOMOPHILIC BINDING

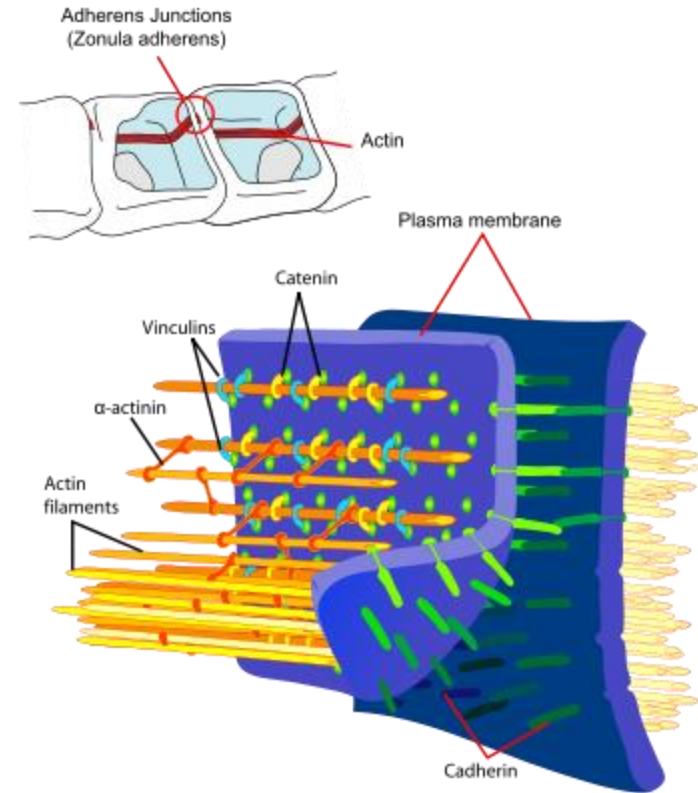


Kadherīni

E-kadheīni

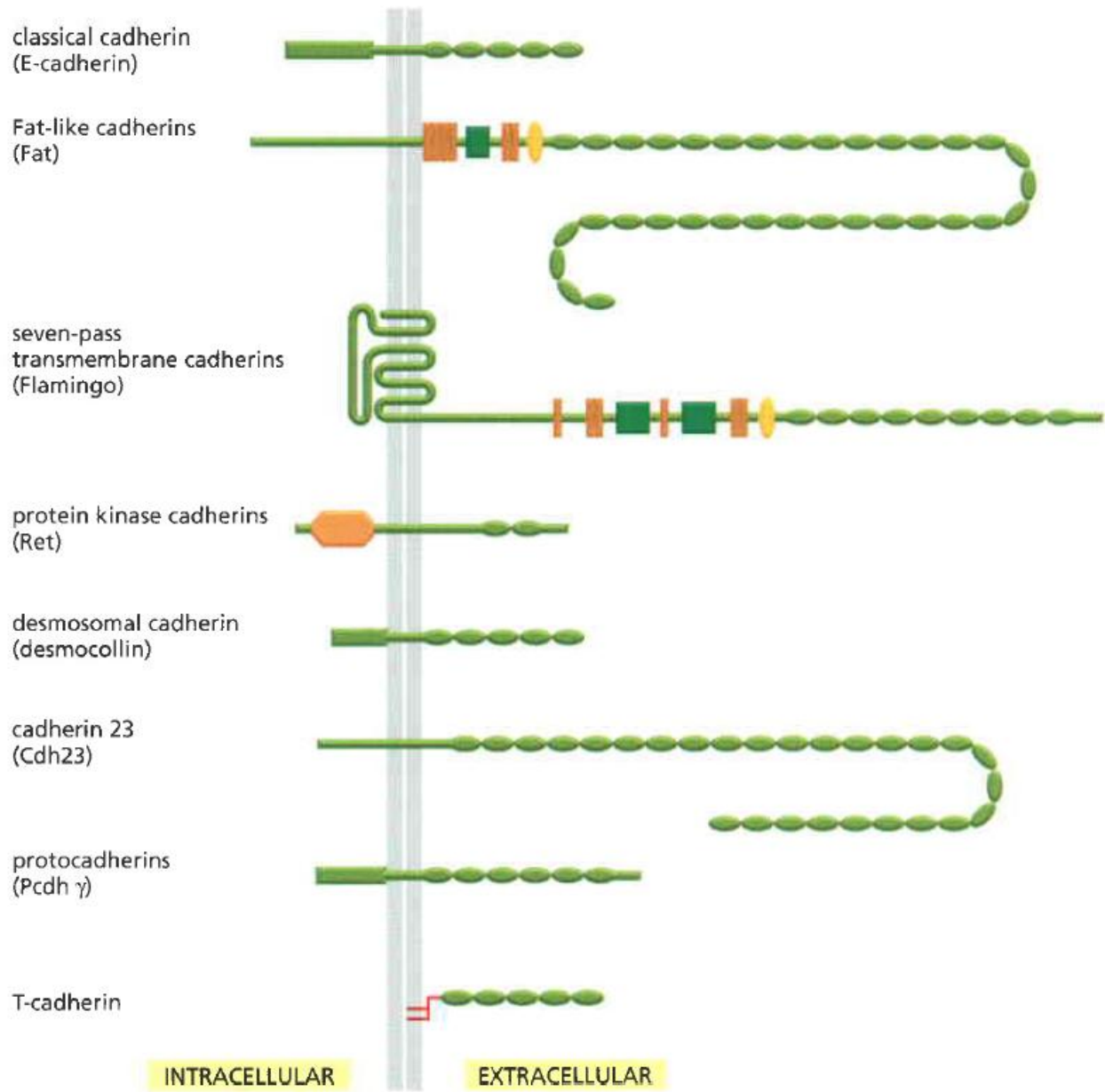
N-kadherīni

P-kadherīni



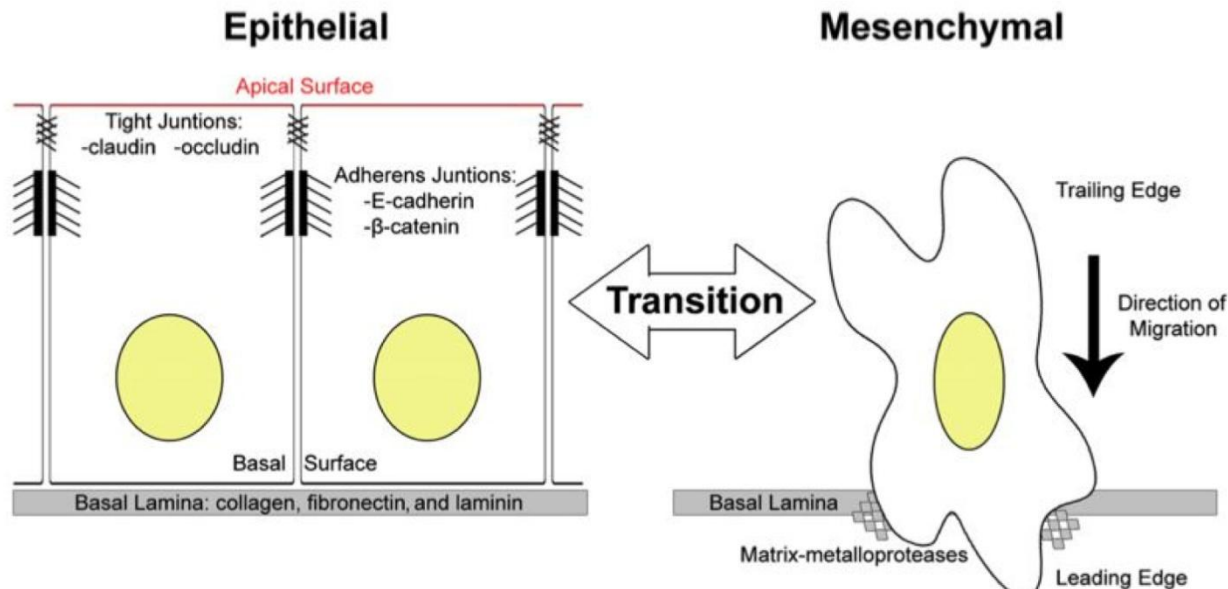
Sākontēji atklāti: Epitēlijaudos, neironālajos a., placenā

Mūsdienās atklāti vairāk kā 80 dažāda veida kadherīni,
ar dažādu audu izplatību



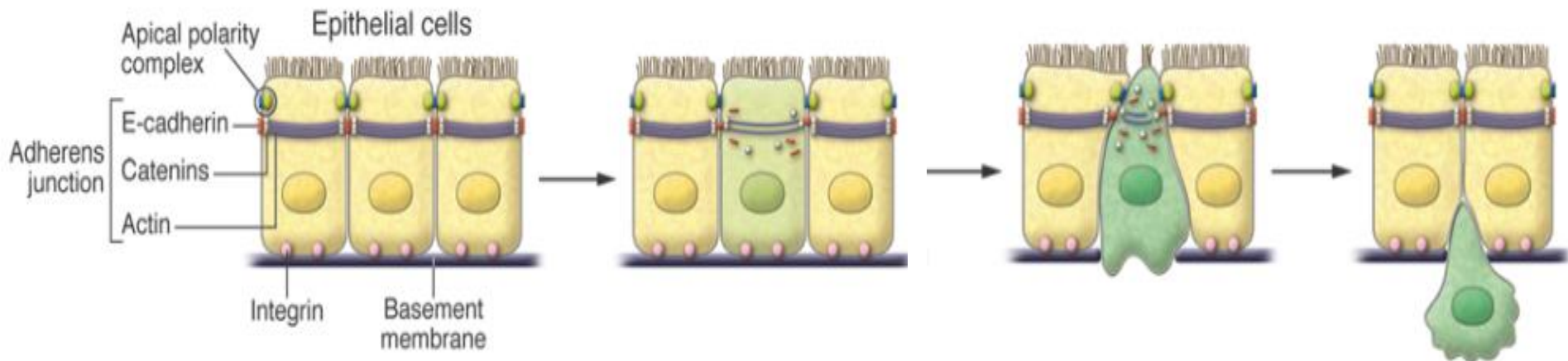
Kadherīnu nozīme šūnu funkcionalitātē

- Epiteliālās šūnas, kas ir cieši savstarpēji saistītas slāņu vai caurulīšu veidā
- Mezenhimālās šūnas, kas nav savstarpēji saistītas un darbojas, kā neatkarīgas vienības (spējīgas migrēt)



Epiteliāli-mezenhimālā tranzīcija

Epiteliāli-mezenhimālā tranzīcija ir notikumu kopa, kuras rezultātā epitēlijšūnas transformējas par mezenhīmas šūnām



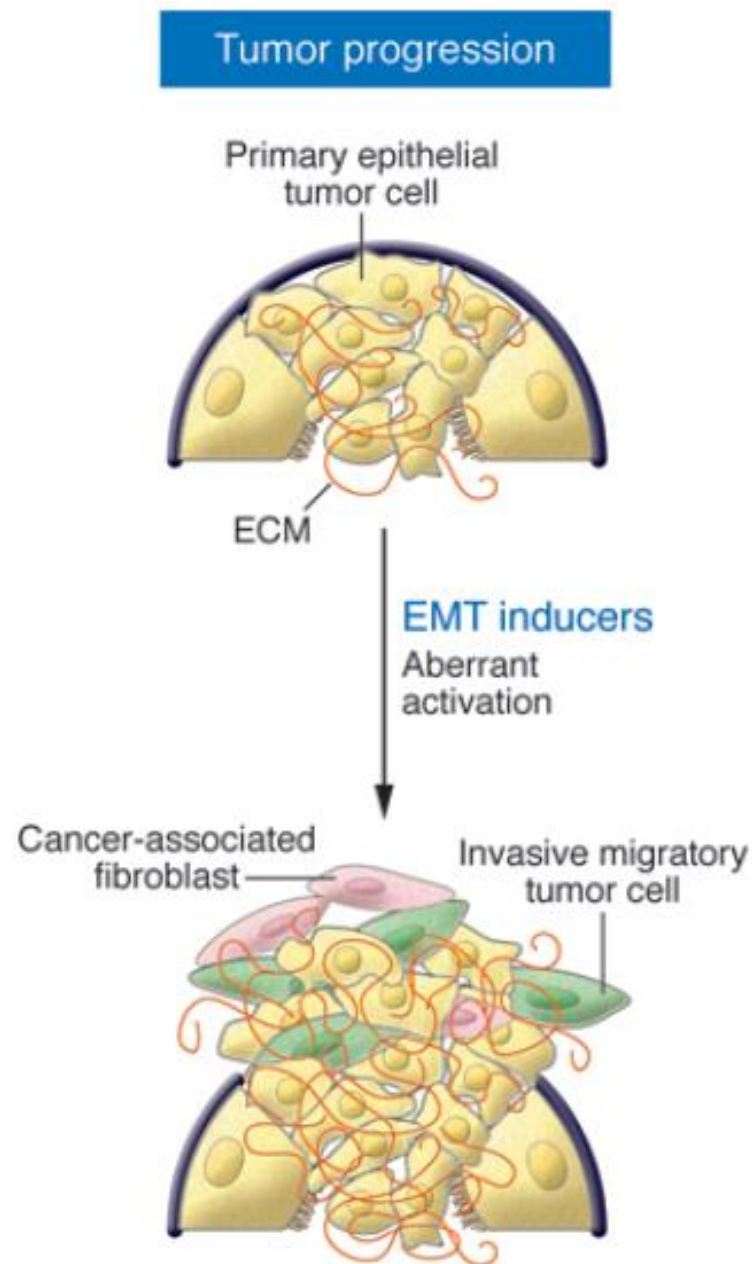
EMT procesi:

1. Epitēlijšūnām samazinās E-kadherīnu ekspresija
2. Samazinās integrīnu saistība ar bazālo laminīna slāni
3. Proteāzes aktīvi reorganizē citoskeletu, lai līdzinātos mezenhīmas šūnām

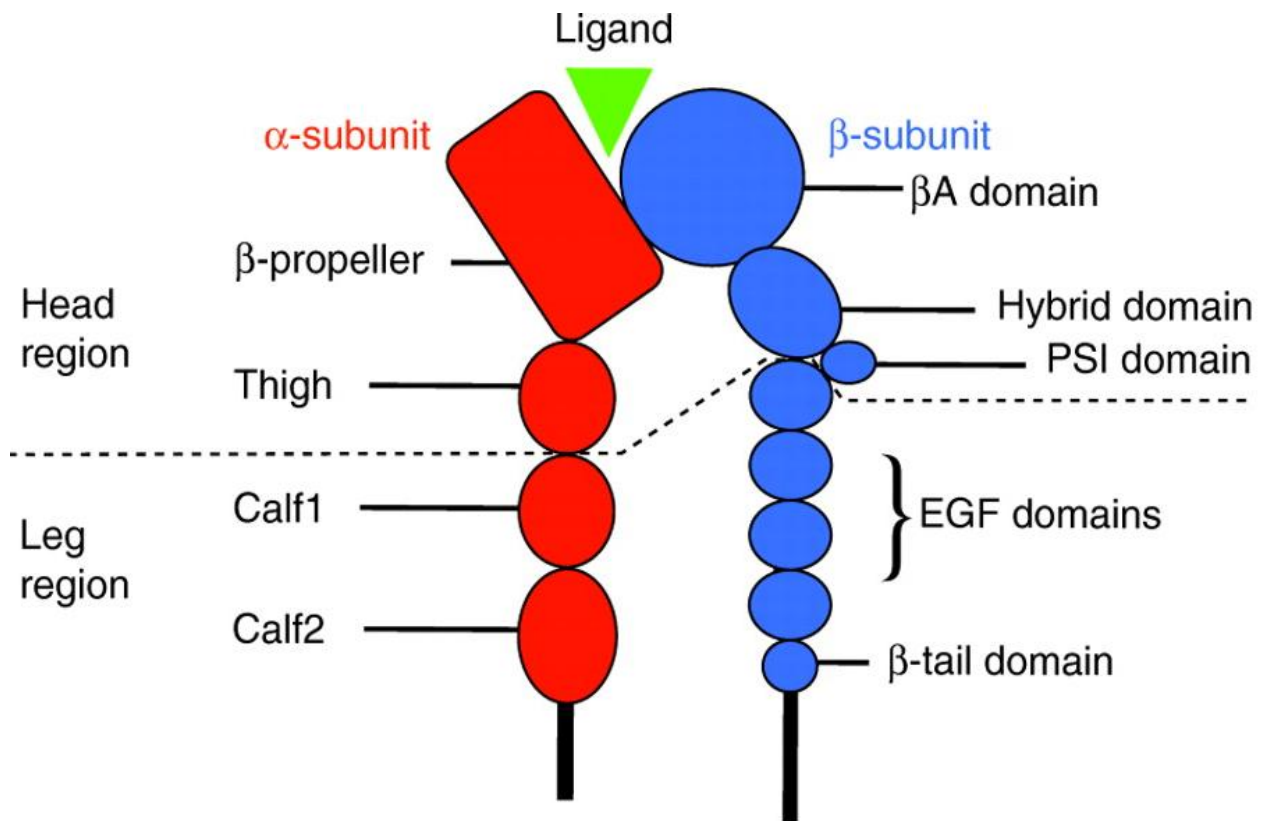
EMT audzējos

- Pieaugušā organismā EMT ierosina audzēja metastāžu veidošanos
- Audzēja šūnas zaudē kontaktu ar primāro audzēju, kā rezultātā migrē un var invadēt citus audus

Audzēju šūnu EMT pamatā ir :
Kadherīnu zudums un citoskeleta reorganizācija



Integrīni



Integrīni ir membrānas proteīni, kas nodrošina šūnu mijiedarbību ar ārpusšūnas matriksu

Zīdītāju genomā 18 gēni kodē integrīnu α subvienību un 8 – β subvienību

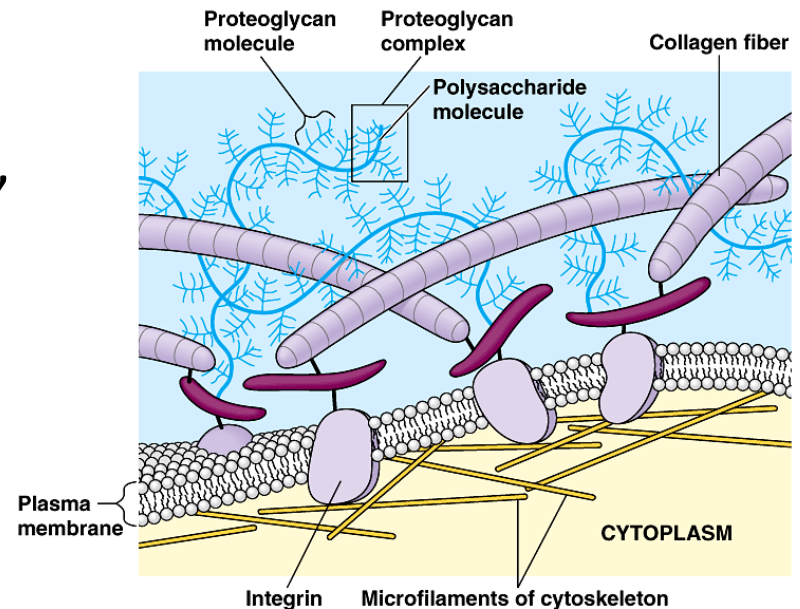
Ārpusšūnu matriks

Ārpusšūnu matriks ir nešķīstošs makromolekulu tīkls, ko sekretē šūnas, lai aizpildītu starpšūnu telpu

Ārpusšūnu matriksam ir nozīme šūnu migrācijā, adhēzijā un struktūru veidošanā, tas nodrošina infrastruktūru daudziem funkcionāliem

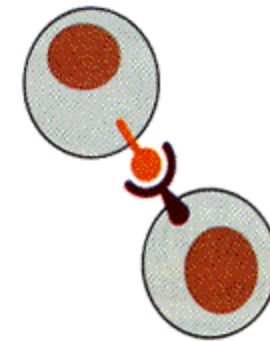
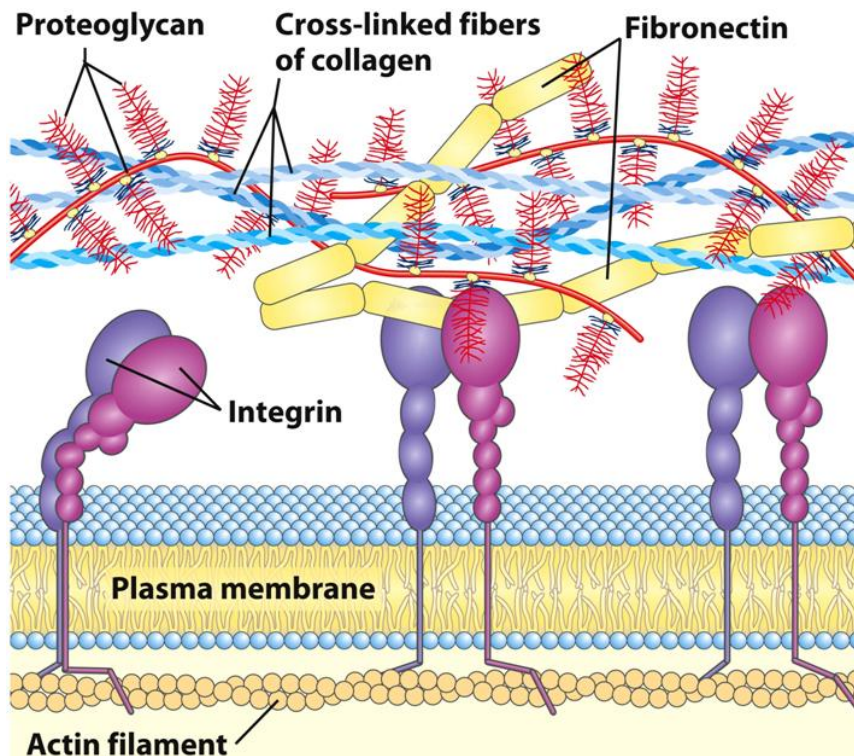
Ārpusšūnu matriksu veido:

- ✓ Kolagēni
- ✓ Proteoglikāni
- ✓ Glikoproteīni (fibronektīns, laminīns)



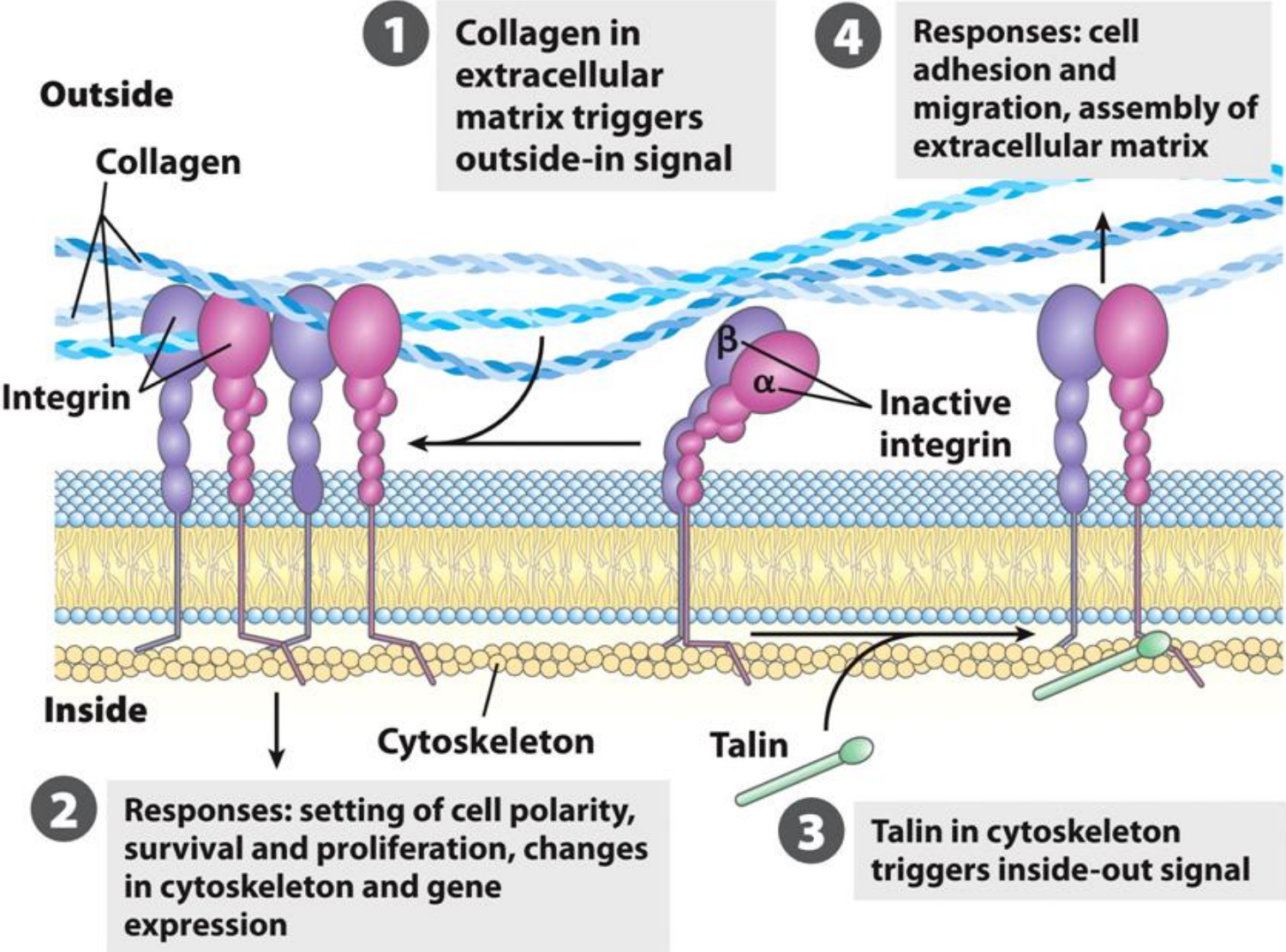
Integrīni

Dažādās kombinācijās un audu specifiskās ekspresijas attiecībās šīs subvienības nodrošina daudzveidīgu ligandu specifisku signālu uztveri un šūnas fizioloģijas izmaiņas



HETEROPHILIC BINDING

Integrīnu aktivācija



Integrīni mugurkaulniekos

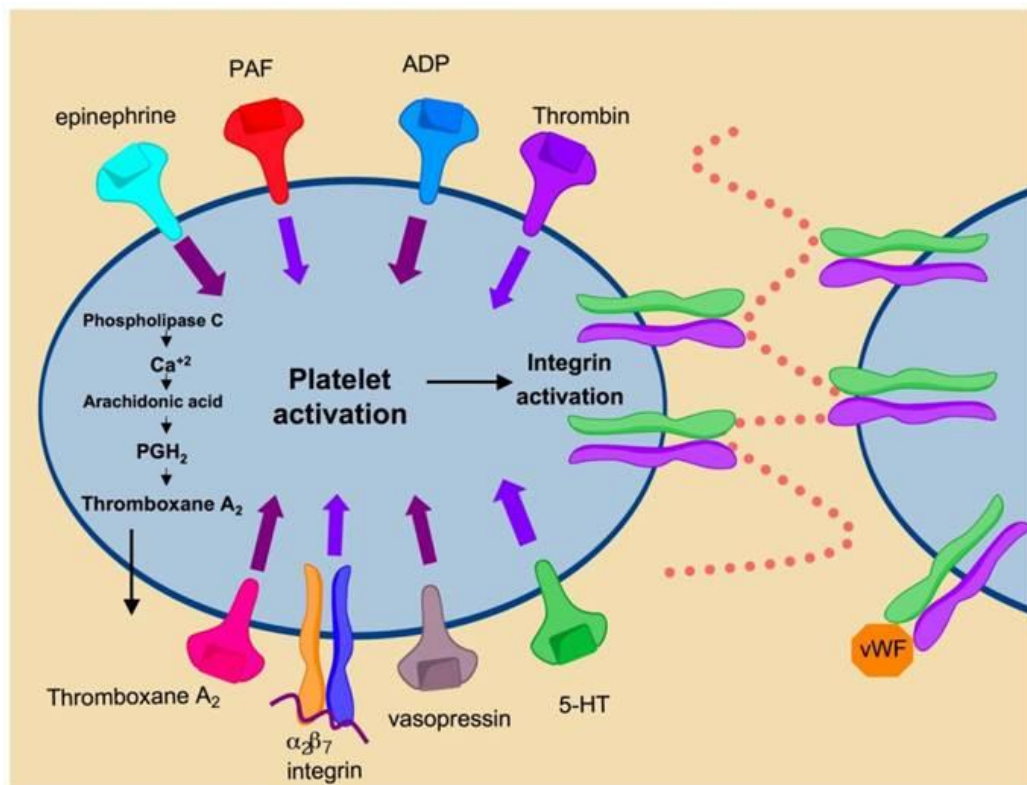
Nosaukums	Ekspresija	Ligands
$\alpha_1\beta_1$	Ļoti plaša	Kolagēns, laminīns
$\alpha_4\beta_1$	Hematopoētiskās š.	Fibronektīns, VCAM-1
$\alpha_L\beta_2$	T-limfocītos	ICAM-1, ICAM-2
$\alpha_M\beta_2$	Neitrofilos un monocītos	Seruma proteīni, ICAM-1
$\alpha_{IIb}\beta_3$	Trombocītos	Fibrinogēns, fibronektīns
$\alpha_v\beta_3$	Aktivētās endotēlija š., melanomā, glioblastomā	Vitronektīns, fibronektīns, fibrinogēns, osteopontīns, Cyr61
$\alpha_v\beta_8$	Neirālie un perifēro nervu audi	Fibronektīns, TGF β 1

V/I CAM – vaskulārā/intracelulārā adhēzijas molekula, Cyr61 – Cys bagātais angiogēnes inducētājs, TGF – transformējošais augšanas faktors

Integrīnu $\alpha_{IIb}\beta_3$ nozīme asins koagulācijas procesā

➤ Uz trombocītu virsmas ir daudzi šūnas virsmas receptori, kas uztver signālus par asinsvadu sienīgas bojājumiem

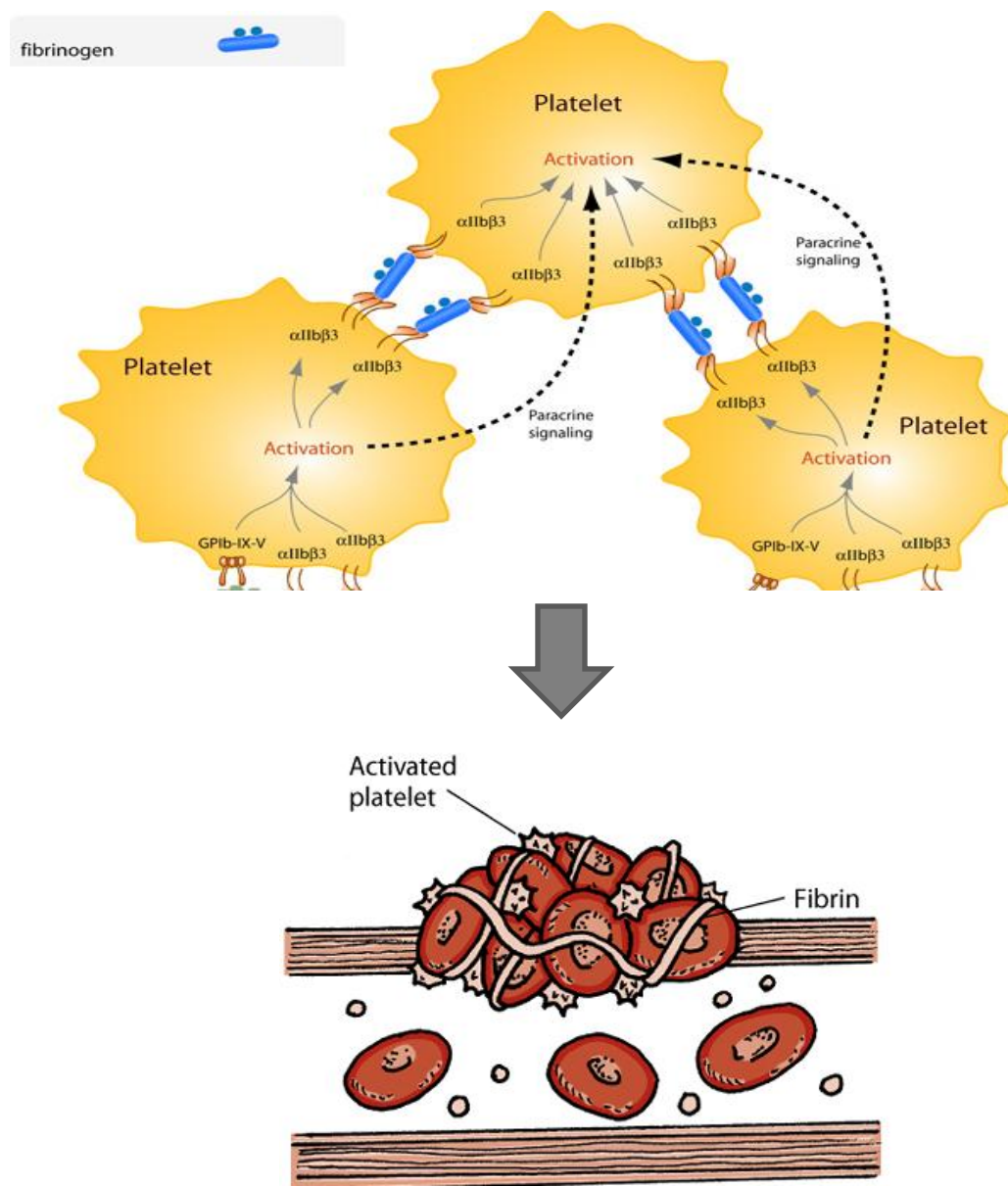
➤ Šo receptoru uztvertie signāli tiek integrēti un trombocīti aktivēti



➤ Uztverot asinsvadu sienīgas bojājumus uz trombocītu virsmas sāk ekspresēties $\alpha_{IIb}\beta_3$

Integrīnu $\alpha_{IIb}\beta_3$ nozīme asins koagulācijas procesā

- $\alpha_{IIb}\beta_3$ saista fibrinogēnu (šķīstošu plazmas proteīnu)
- Trombīns fibrinogēnu pārveido nešķīstošā fibrīna tīklā
- Aktivēto trombocītu un fibrīnu tīkls veido armatūru trombam, tajā saķerās eritrocīti

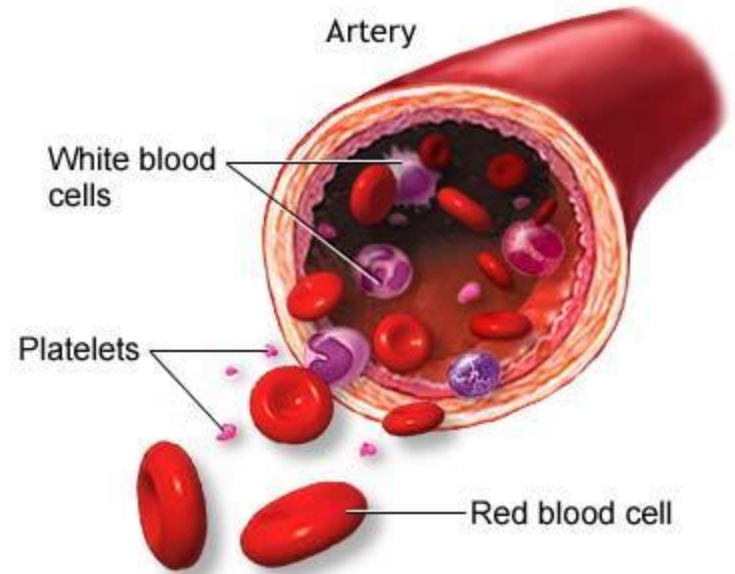
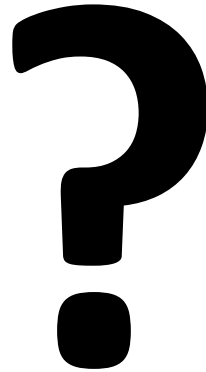


Selektīni

E-selektīni

L-selektīni

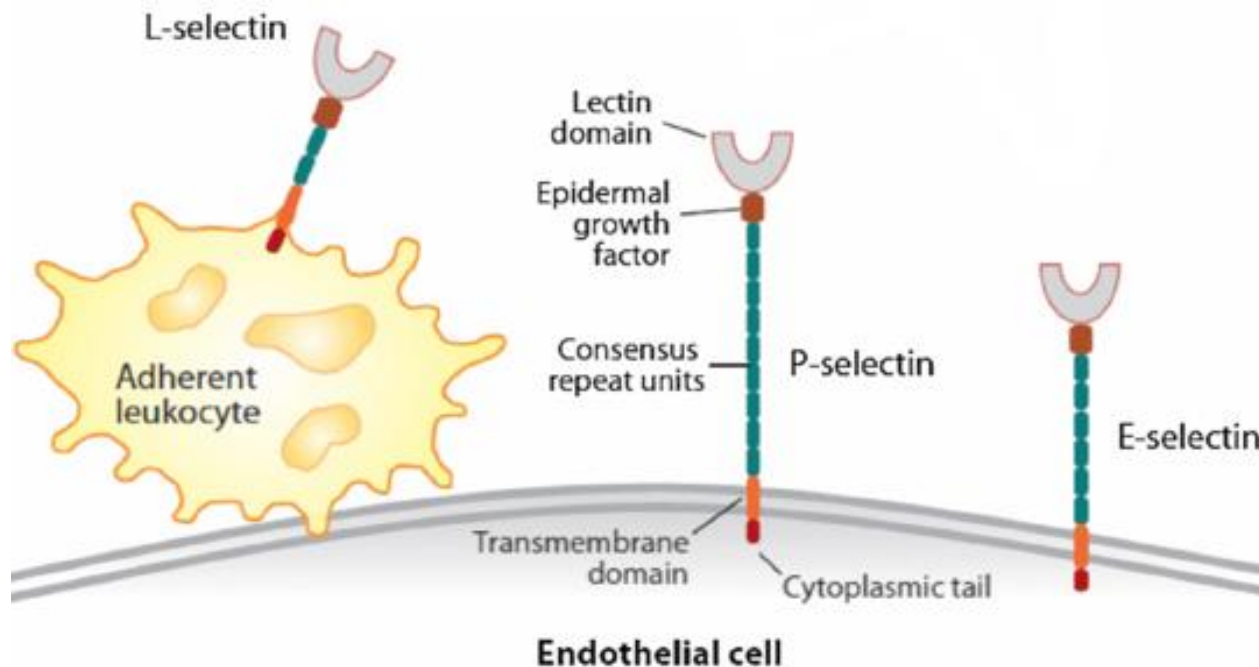
P-selektīni



Endotēlija šunu, leikocītu un trombocītu

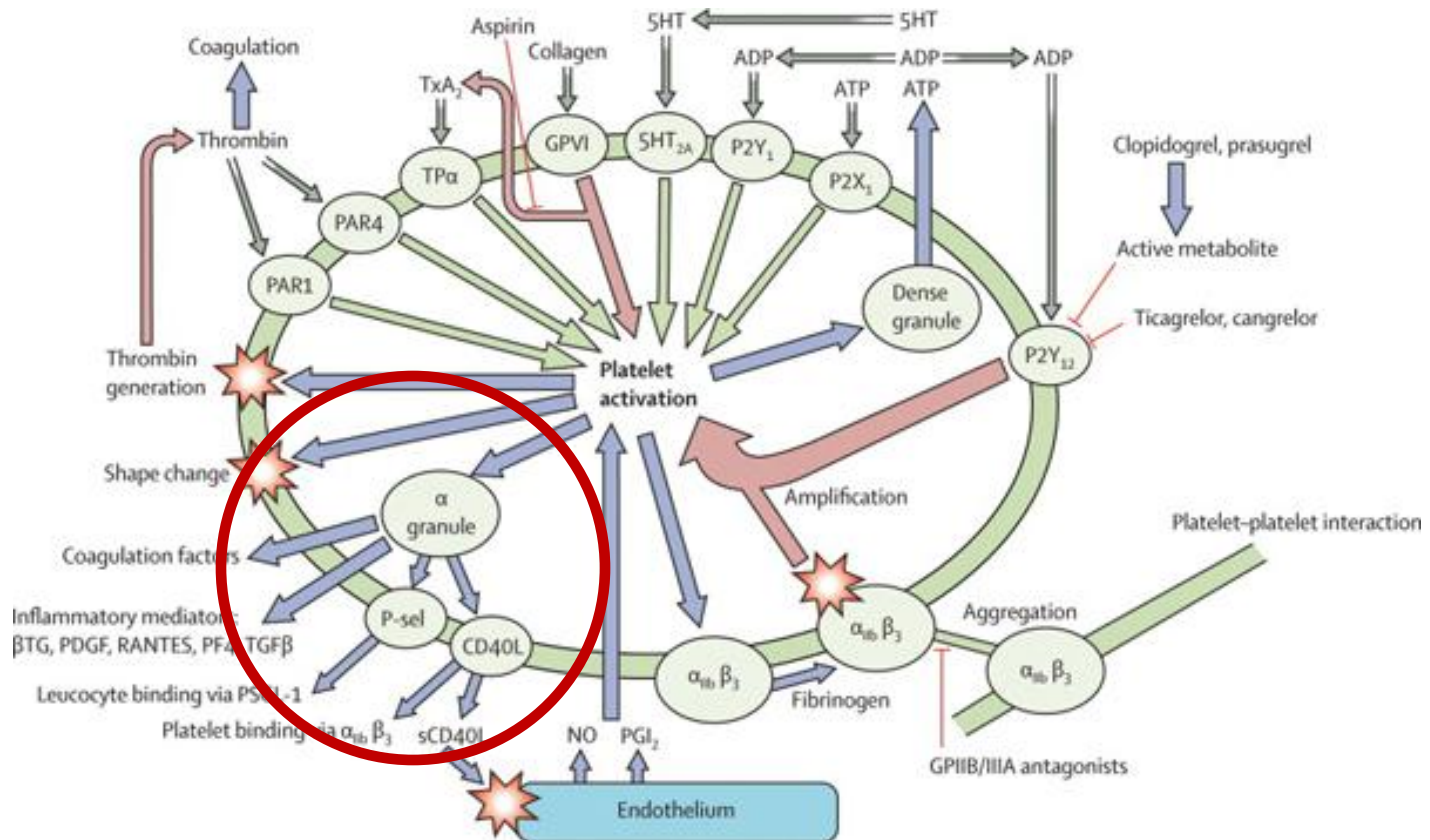
Selektīni

Šūnas virsmas proteīni, kas saista oglehidrātus (lektīni) un nodrošina šūnas-šūnas mijiedarbības asinsritē



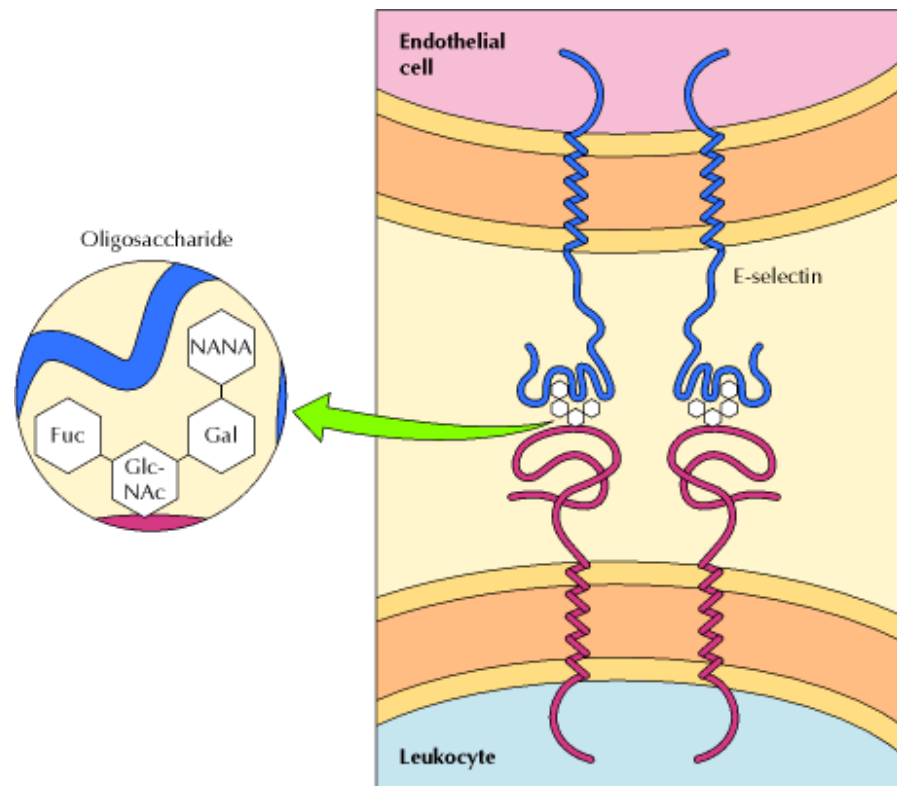
P-selektīns

- Inaktivētās endoteliālajās šūnās vai trombocītos P-selektīns atrodas granulās
- Šūnu aktivācijas procesā granulas saplūst ar šūnas membrānu un P-selektīns tiek prezentēts uz šūnas virsmas



E-selektīns

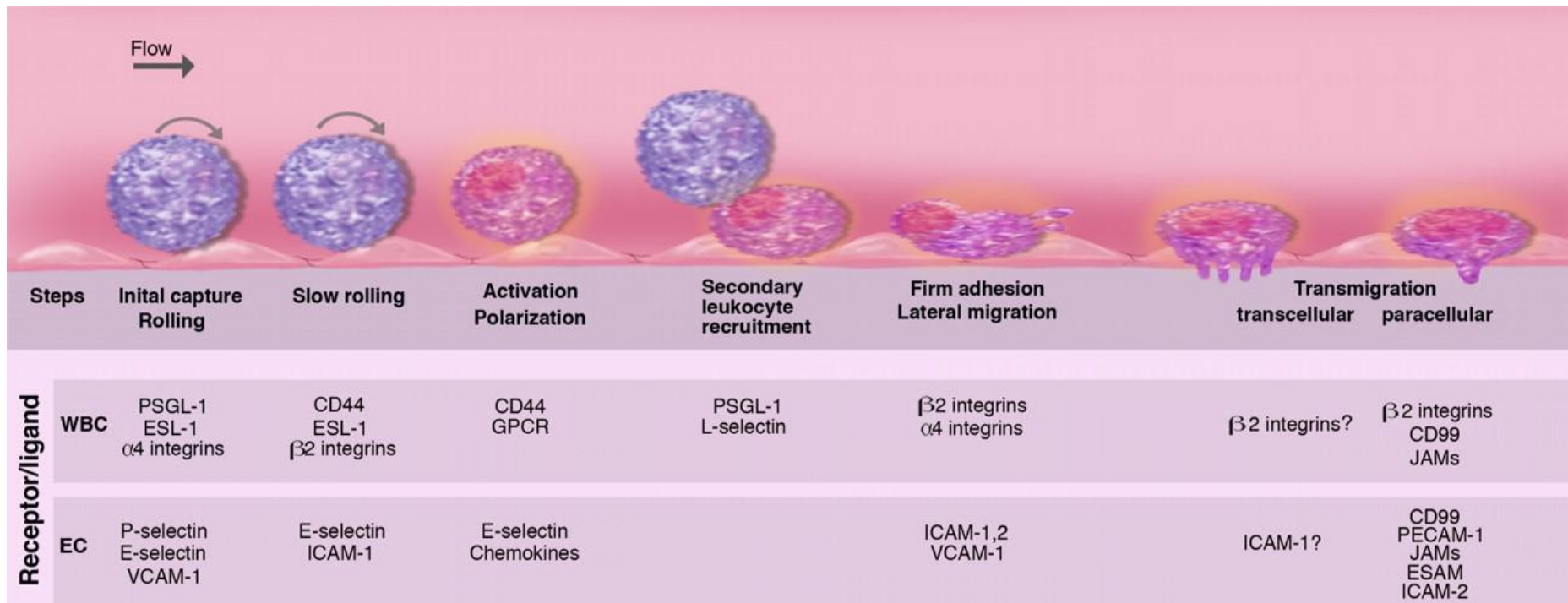
- E-selektīna “rezerves” neglabājas šūnās un aktivācijas procesā šī adhēzijas molekula tiek transkribēta, translēta un transportēta uz šūnas membrānu



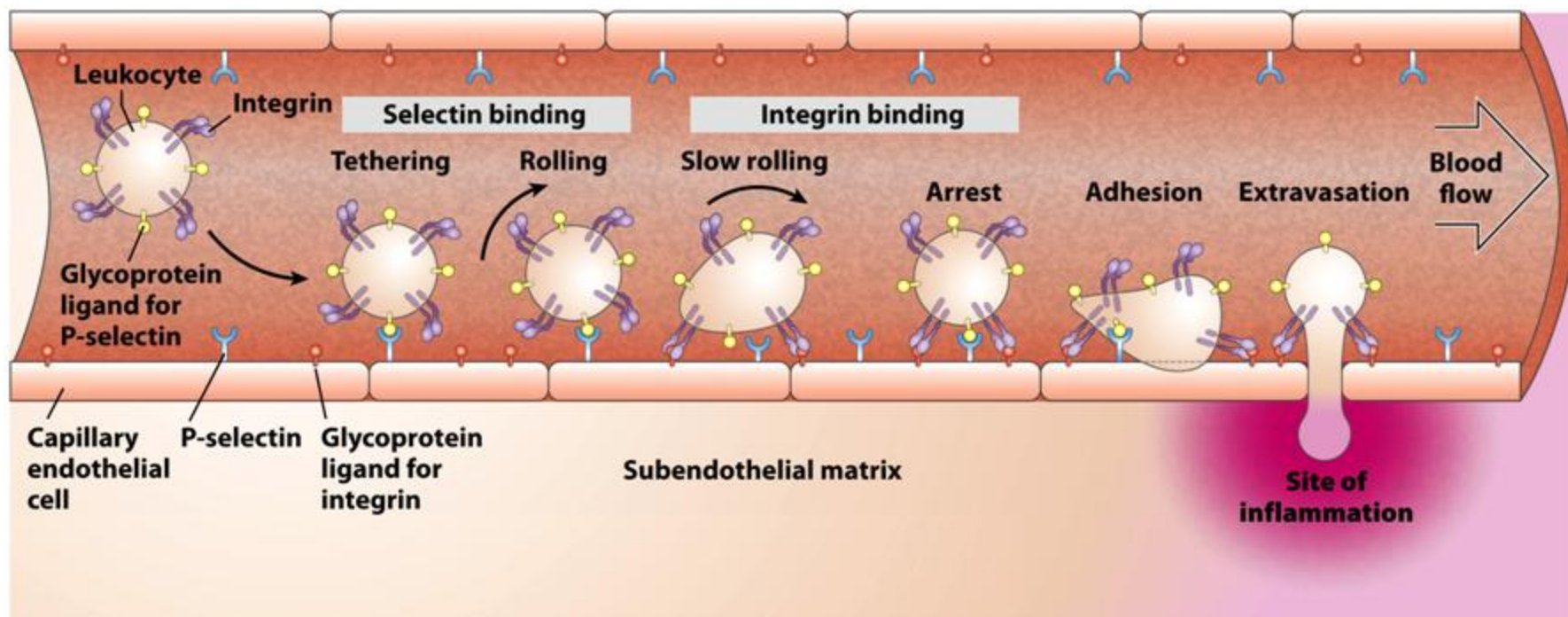
- Pēc sākotnējā citokīnu signāla E-selektīns uz endoteliālo šūnu virsmas parādās pēc 2h, maksimumu sasniedz pēc 6-12h un tiek eliminēts pēc 24h
- Līdzīgi, kā P-selektīns palīdz rekrutēt leikocītus uz iekaisuma vietu

L-selektīns

- Tiek ekspresēts limfocītos, saista ligandus, kas ekspresēti uz endotēlija šūnu virsmas
- Nodrošina limfocītu migrāciju cauri asinsvada sienīgai uz sekundāro limfoīdo orgānu



Selektīnu un integrīnu koordinēta leikocītu migrācija



- Selektīni nodrošina leikocīta adhēziju pie asinsvada iekšējās virsmas un migrāciju iekaisuma vietas virzienā
- Integrīni nodrošina leikocīta nostiprināšanos pie asinsvada iekšējās virsmas un migrāciju mērķaudos uz iekaisuma vietu

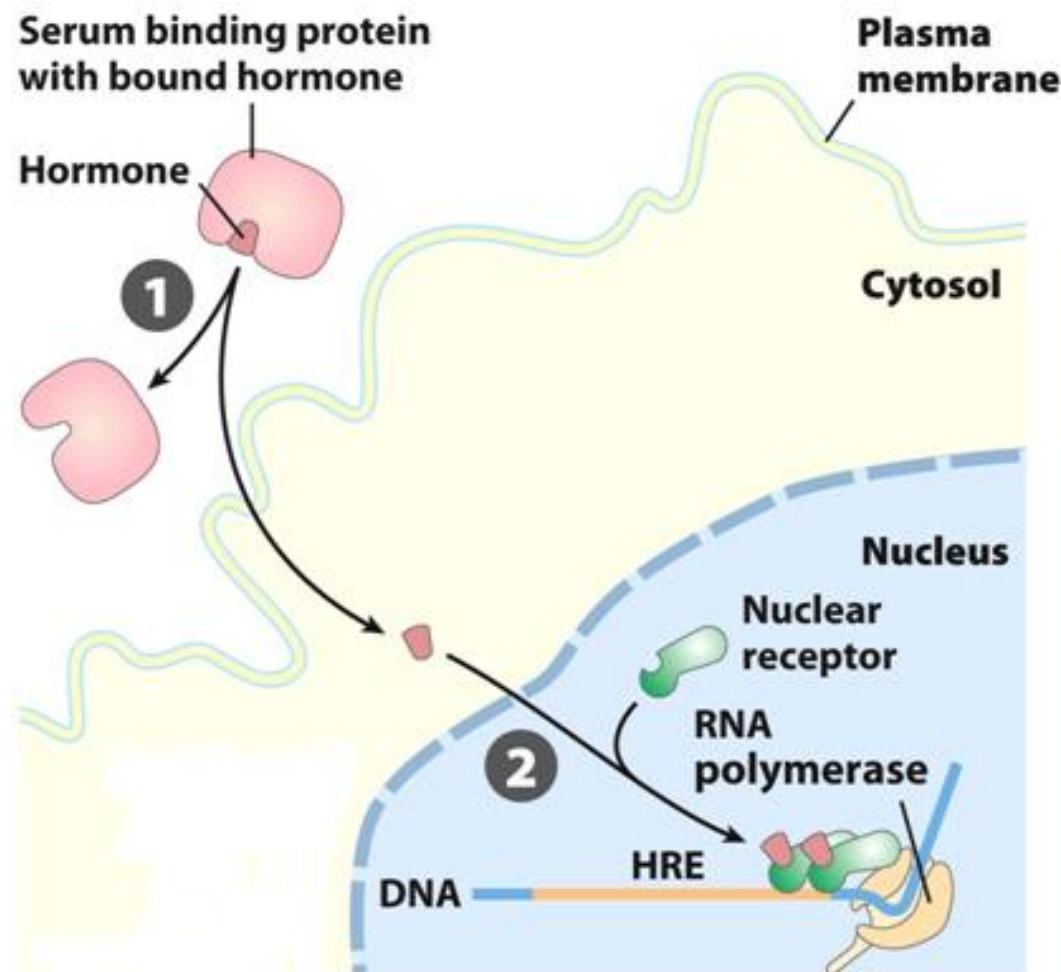
Nukleārie receptori

Nukleārie receptori uztverot hormona signālu darbojas šūnas kodolā izmainot gēnu ekspresiju

Hormons endokrīnā veidā nokļūš līdz mērķaudiem →

Difundē šūnas iekšienē →

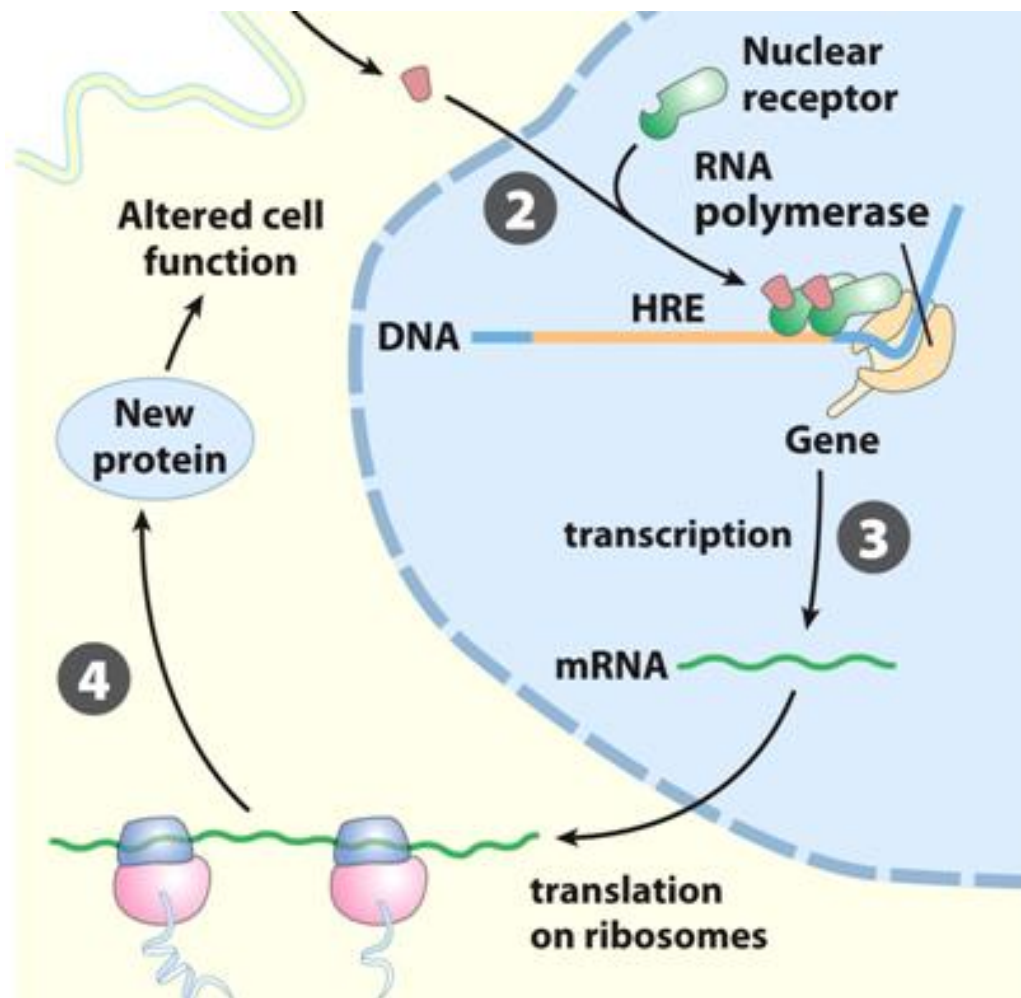
Šūnas kodolā saistās pie nukleārā receptora



Nukleārie receptori

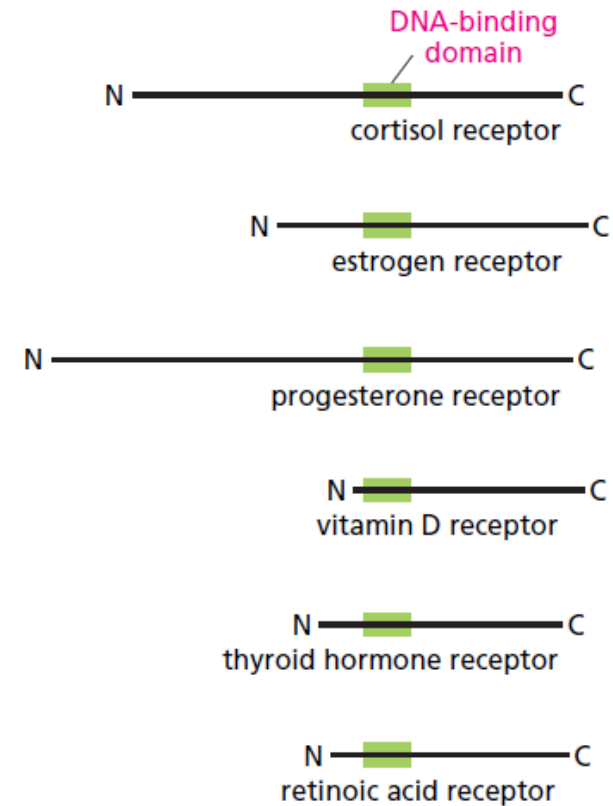
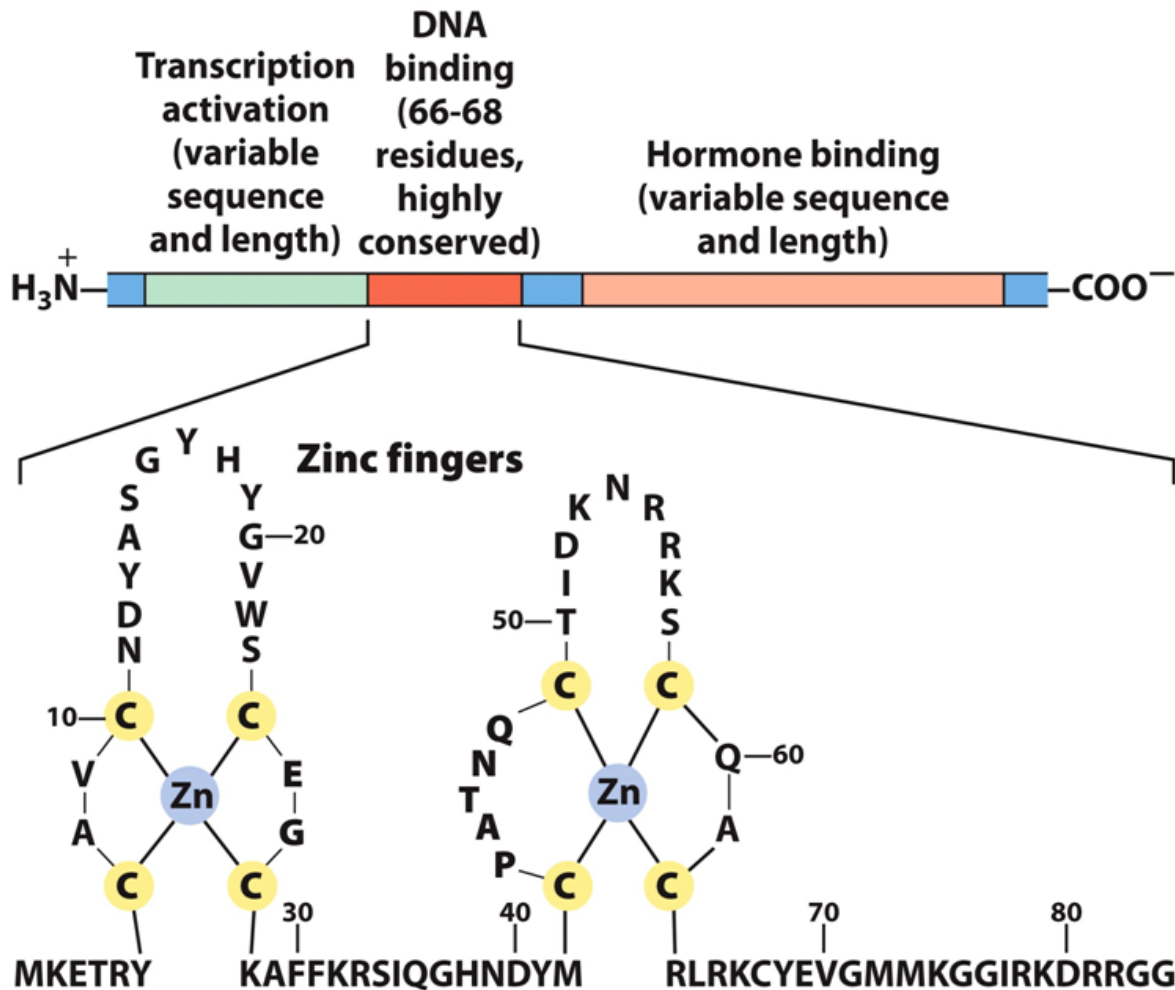
Šūnas kodolā ligands saistās pie nukleārā receptora →

NR un hormona komplekss aktivē noteiktu gēnu ekspresiju



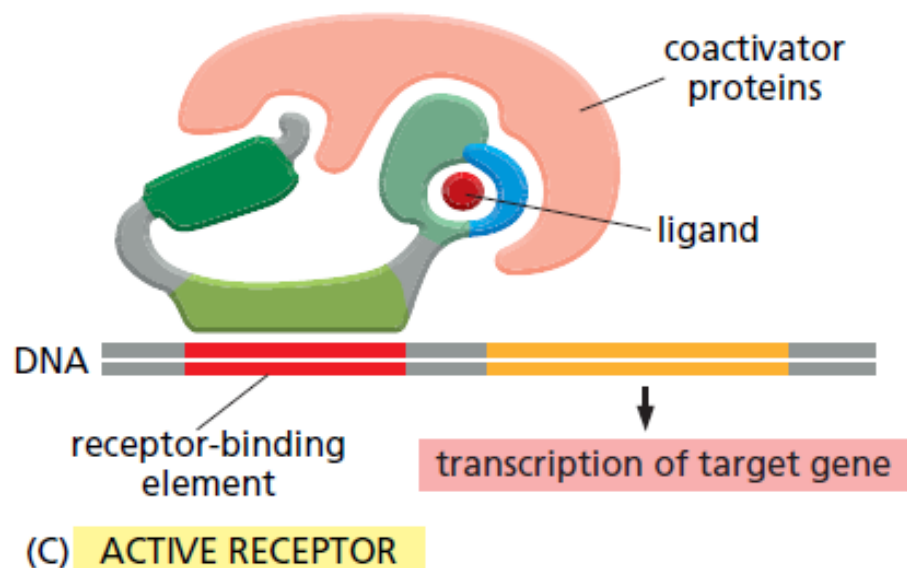
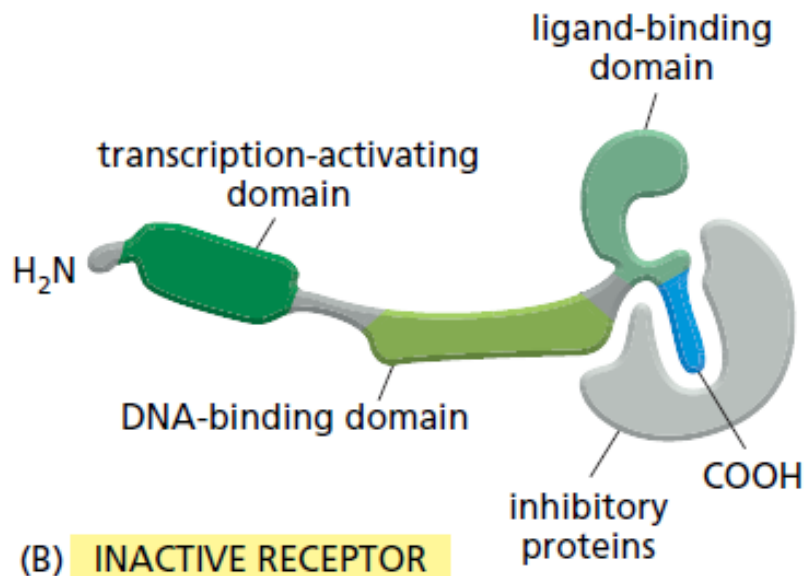
Nukleāro receptoru veido DNS un ligandu saistošie domēni

DNS saistošo domēnu veido “cinka pirkstiņi”



Nukleāro receptoru piesaite DNS

- Inaktivētā formā nukleārais receptors ir piesaistījies inhibitoro proteīnu
- Aktivētā formā nukleārais receptors piesaistot ligandu maina konformāciju un var saistīties pie DNS



Steroīdo hormonu receptoru DNS piesaistes sekvences

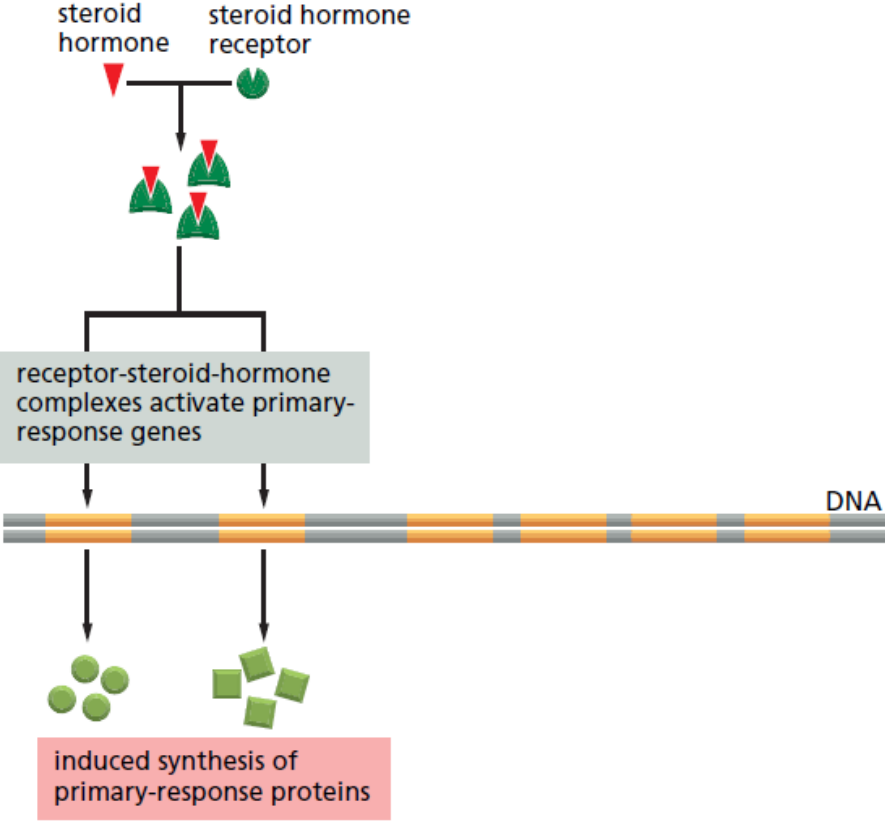
Receptor	Consensus sequence bound*
Androgen	GG(A/T)ACAN₂TGTTCT
Glucocorticoid	GGTACAN₃TGTTCT
Retinoic acid (some)	AGGTCAN₅AGGTCA
Vitamin D	AGGTCAN₃AGGTCA
Thyroid hormone	AGGTCAN₃AGGTCA
RX[†]	AGGTCANAGGTCANAG GTCANAGGTCA

*N represents any nucleotide.

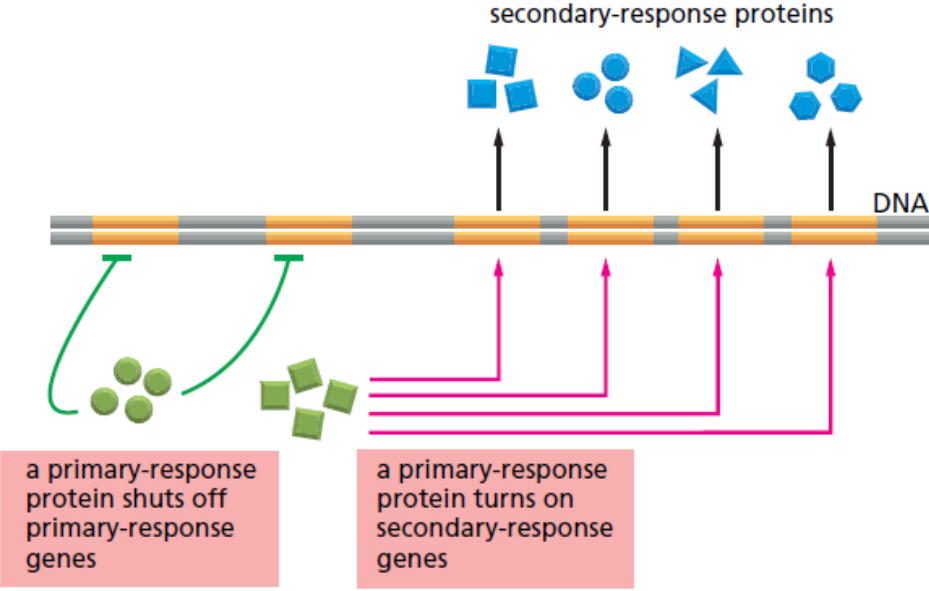
[†]Forms a dimer with the retinoic acid receptor or vitamin D receptor.

Steroīdo hormonu stimulētā gēnu ekspresija

(A) PRIMARY (EARLY) RESPONSE TO STEROID HORMONE



(B) SECONDARY (DELAYED) RESPONSE TO STEROID HORMONE



Svarīgākās nukleāro receptoru grupas

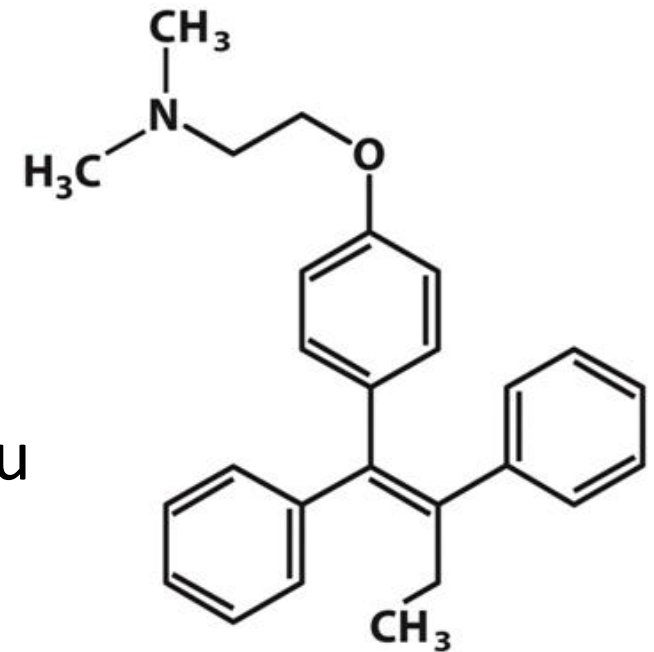
Saime	Grupas	Ligandi
Tiroīdo hormonu rec. līdz.rec.	Tiroīdo h.r., Retinoskābes r., D-vitamīna r.l.r.	Tiroīdie hormoni, A vitamīns, D vitamīns, holesterīns, hēms, ksenobiotiķi, taukskābes, prostoglandīni
Retinoīdo X r.l.r.	Hepatocītu nuc.fak. 4 r., Retionīdie X r., Testikulārie r.	Taukskābes, retinoīdi
Estrogēnu r.l.r.	Estrogēna r., Estrogēnlīdz. r.,	Estrogēns, kortizols, aldosterons, testosterons, progesterons
Steroīdogenisko faktoru r.l.r.	Steroidogeno f.r., Aknu r. homologi	Fosfoditilinositols

Steroīdo hormonu ligandi farmakoloģijā

Tamoksifens – estrogēna antagonists

Atsevišķos krūts audzēja tipos vēža šūnu dalīšanos ietekmē paaugstināta estrogēna koncentrācija

Tamoksifens izkonkurē estrogēnu piesaistē pie receptora un nenotiek šūnu proliferācijai nepieciešamo gēnu transkripcija



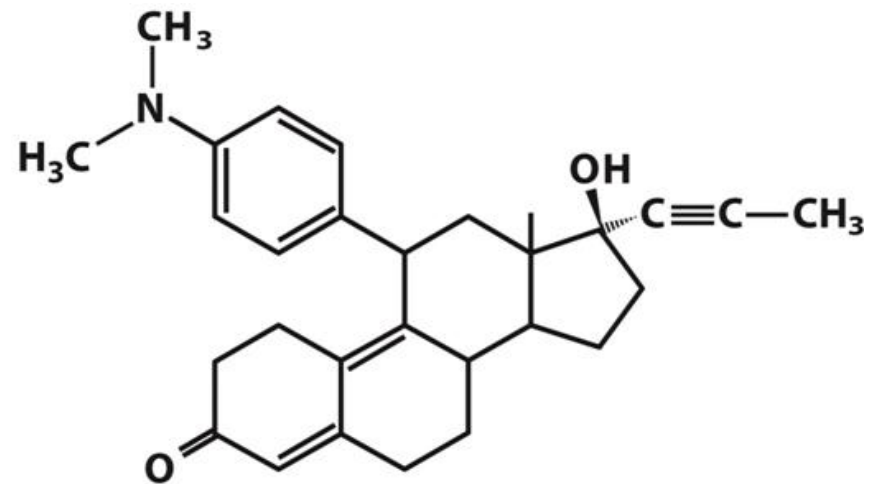
Tamoxifen

Steroīdo hormonu ligandi farmakoloģijā

Mifepristons (RU486) –
progesterona antagonists

Izkonkurējot progesterona
piesaisti pie receptora bloķē
apaugļotas olšūnas
implantāciju dzemdē

Lieto abortiem līdz
7.grūtniecības nedēļai un
zemākās devās avārijas
kontracepcijā



**Mifepristone
(RU486)**

Signālsistēmas augos, raugos un baktērijās

TABLE 12-7 Signaling Components Present in Mammals, Plants, or Bacteria

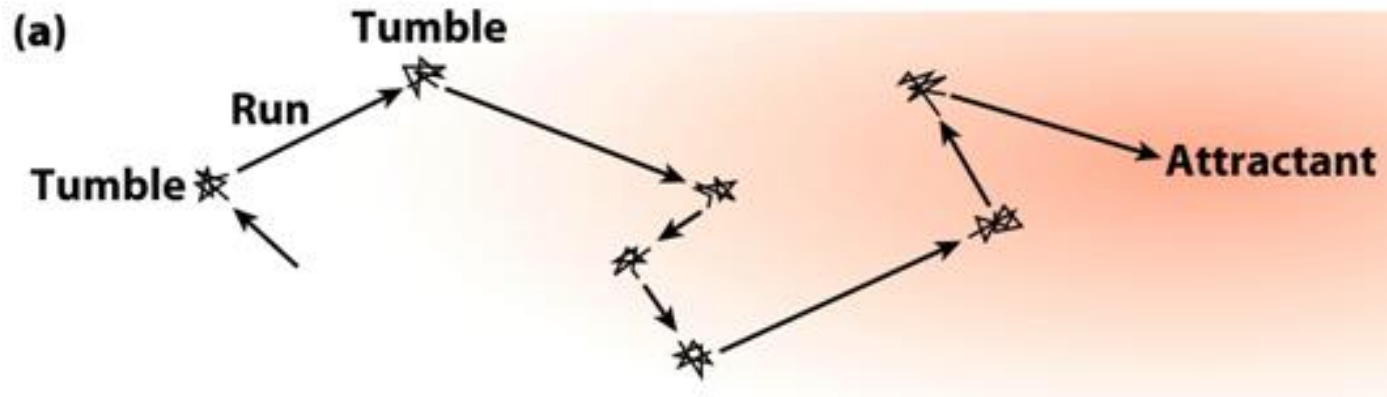
Signaling component	Mammals	Plants	Bacteria
Ion channels	+	+	+
Electrogenic ion pumps	+	+	+
Two-component His kinases	+	+	+
Adenylyl cyclase	+	+	+
Guanylyl cyclase	+	+	?
Receptor protein kinases (Ser/Thr)	+	+	?
Ca ²⁺ as second messenger	+	+	?
Ca ²⁺ channels	+	+	?
Calmodulin, CaM-binding protein	+	+	-
MAPK cascade	+	+	-
Cyclic nucleotide-gated channels	+	+	-
IP ₃ -gated Ca ²⁺ channels	+	+	-
Phosphatidylinositol kinases	+	+	-
GPCRs	+	+/-	+
Trimeric G proteins	+	+/-	-
PI-specific phospholipase C	+	?	-
Tyrosine kinase receptors	+	?	-
SH2 domains	+	?	?
Nuclear steroid receptors	+	-	-
Protein kinase A	+	-	-
Protein kinase G	+	-	-

Sastopami gan zīdītājos, gan augos, gan baktērijās

Sastopami tikai zīdītājos

Hemotakstes regulācija baktērijās

Baktēriju migrācija barības vielu gradienta virzienā

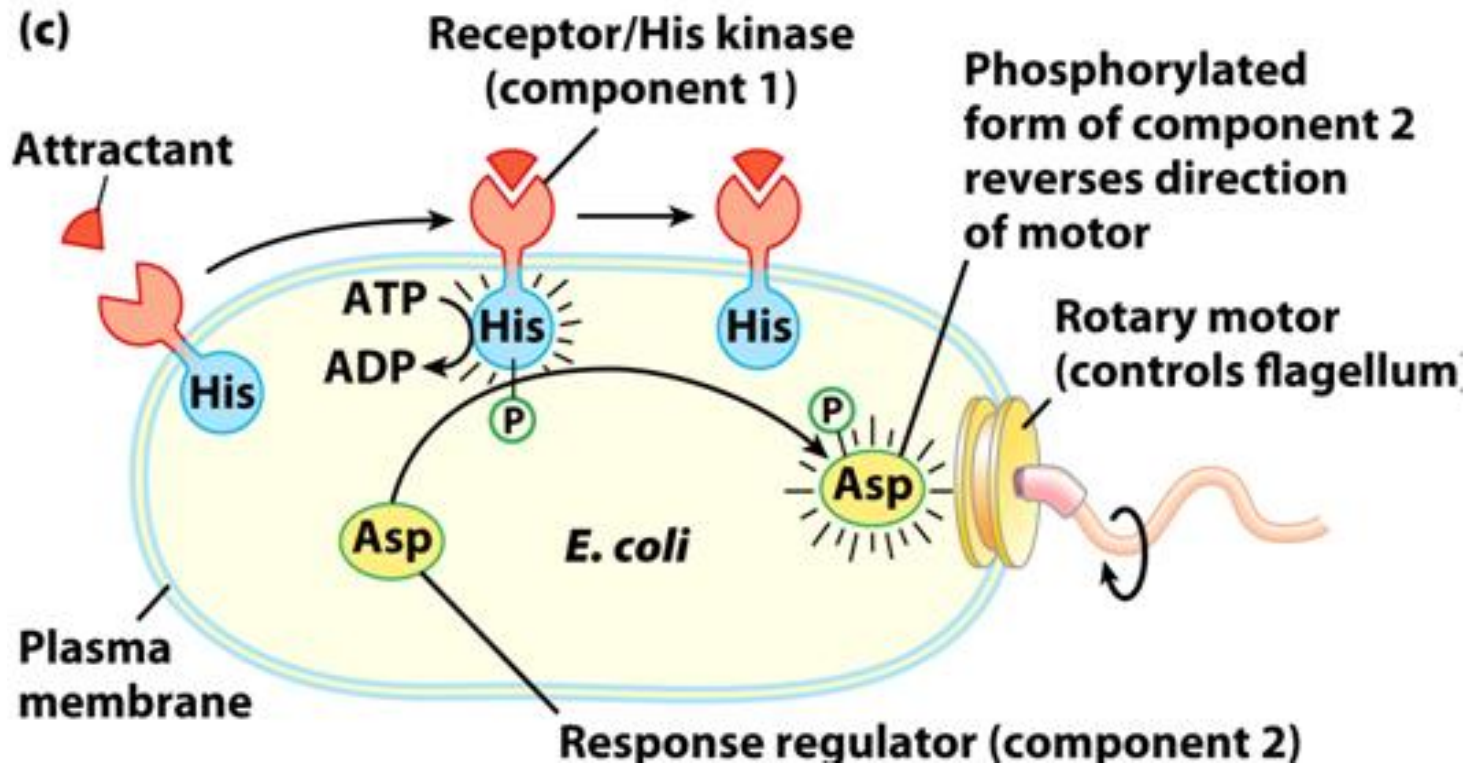


(b) Counterclockwise rotation → "run"



Clockwise rotation → "tumble"

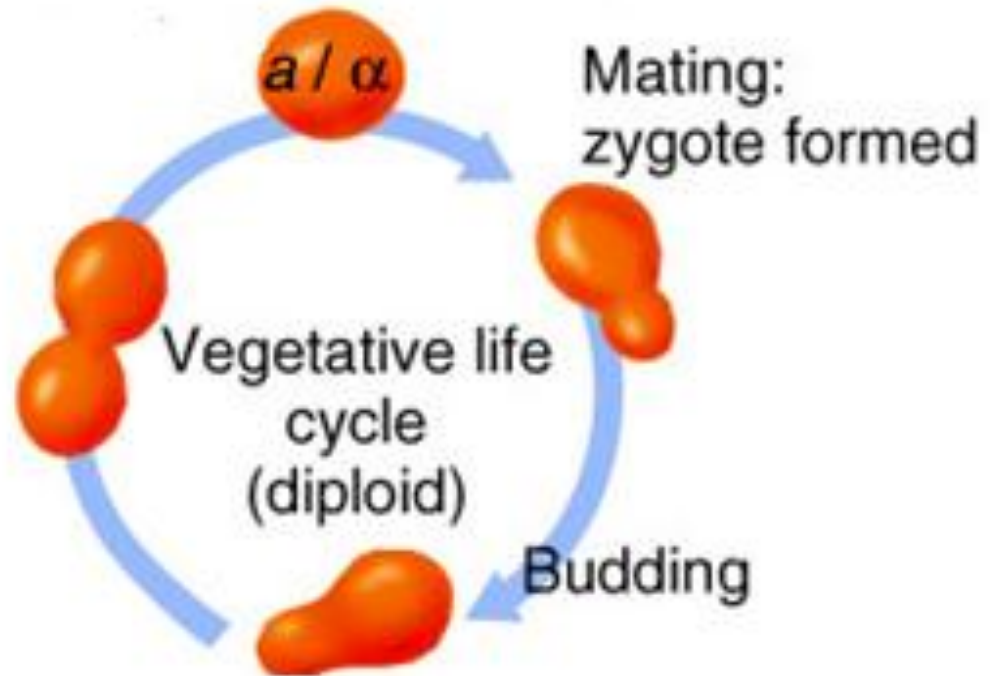




Atraktants ierosina receptora His atlikumu autofosforilāciju

Fosforilgrupa no His tiek pārnesta uz **atbildes elementa Asp**, kas aktivē bārktiņas kustības

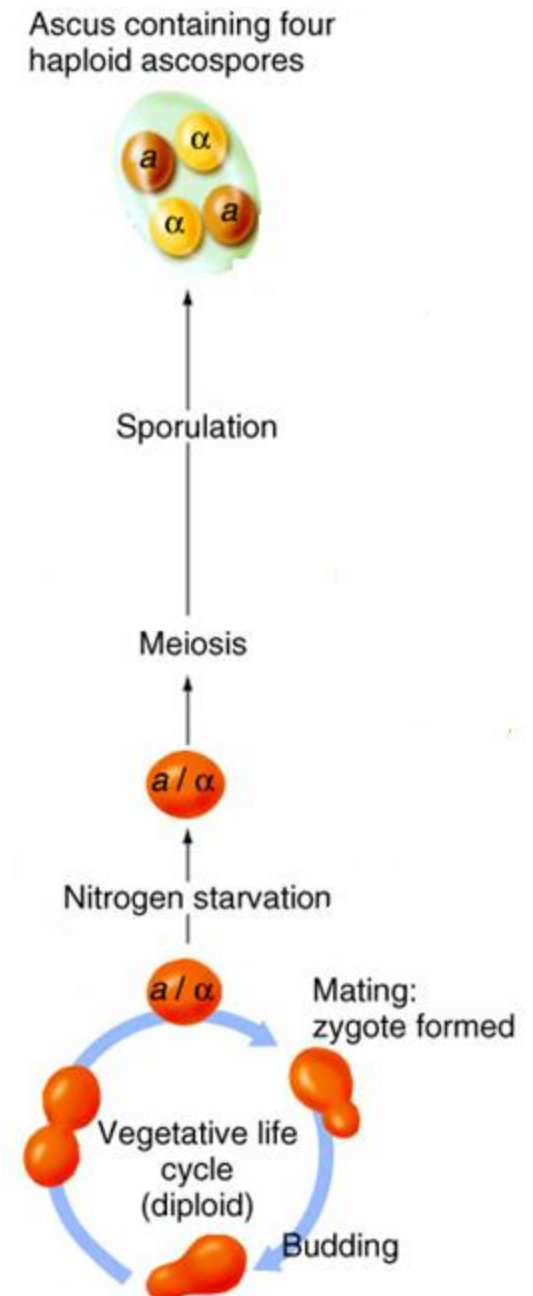
Ar G proteīnu saistītie receptori raugos *S.cerevisiae*



Pietiekošu barības vielu klātbūtnē raugi vairojās veģetatīvi (mitotiski)

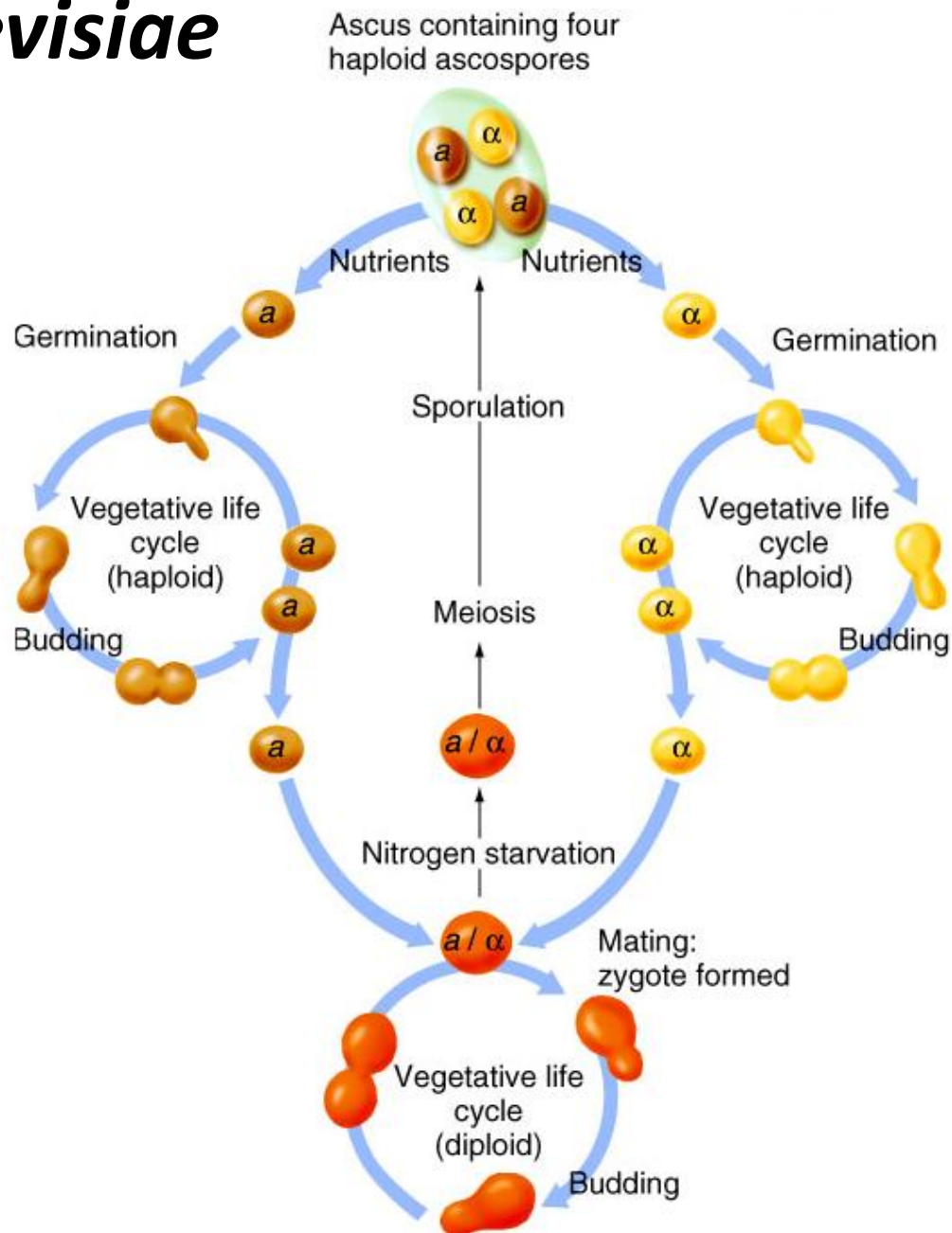
GPCR raugos *S. cerevisiae*

Limitētu barības vielu pieejamības gadījumā raugi sporulē (meiotiski)



GPCR raugos *S. cerevisiae*

Haploīdo šūnu
saplūšanu nodrošina
ar G proteīnu saistītie
receptori

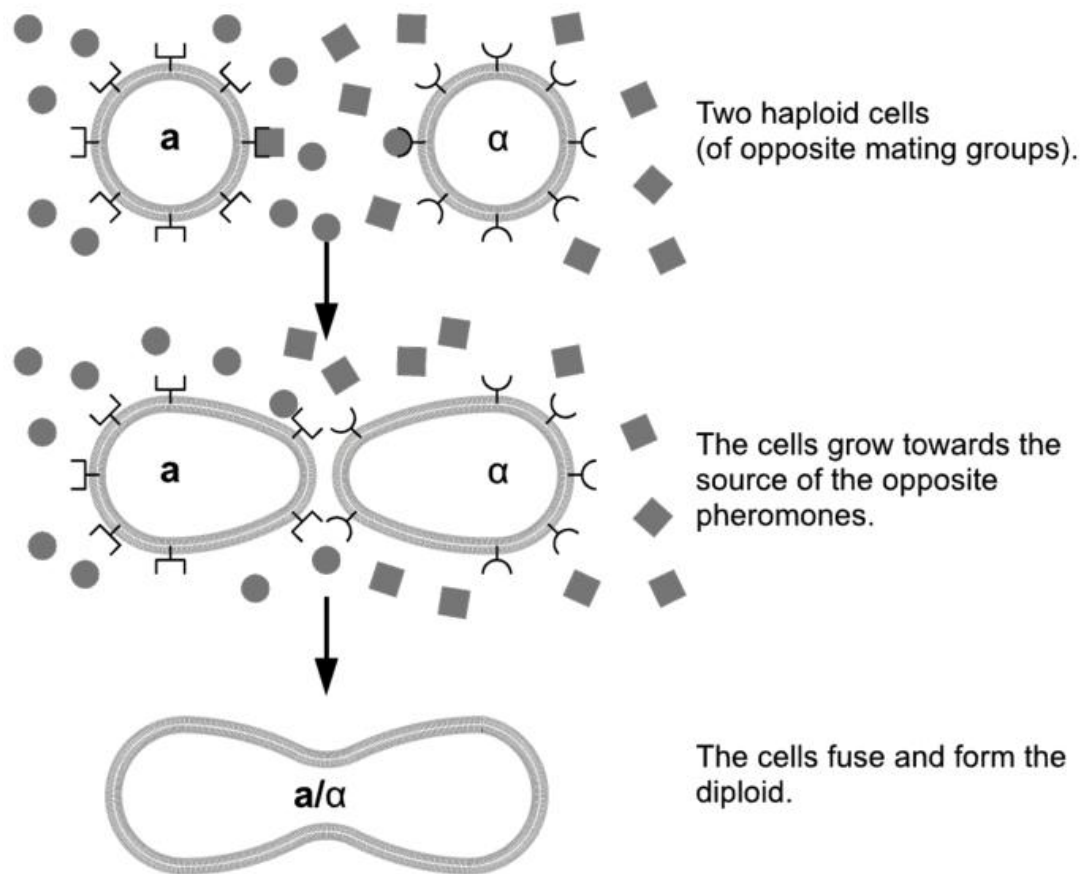


Saccharomyces cerevisiae pārošanās tipi

Haploīdu saplūšanu veicina specifiskie feromonu peptīdi, ko izdala katrs pārošanās tips

Šūnas ar pārošanās tipu $Mata$ izdala feromonu α , bet šūnas ar pārošanās tipu $Mata$ - feromonu a

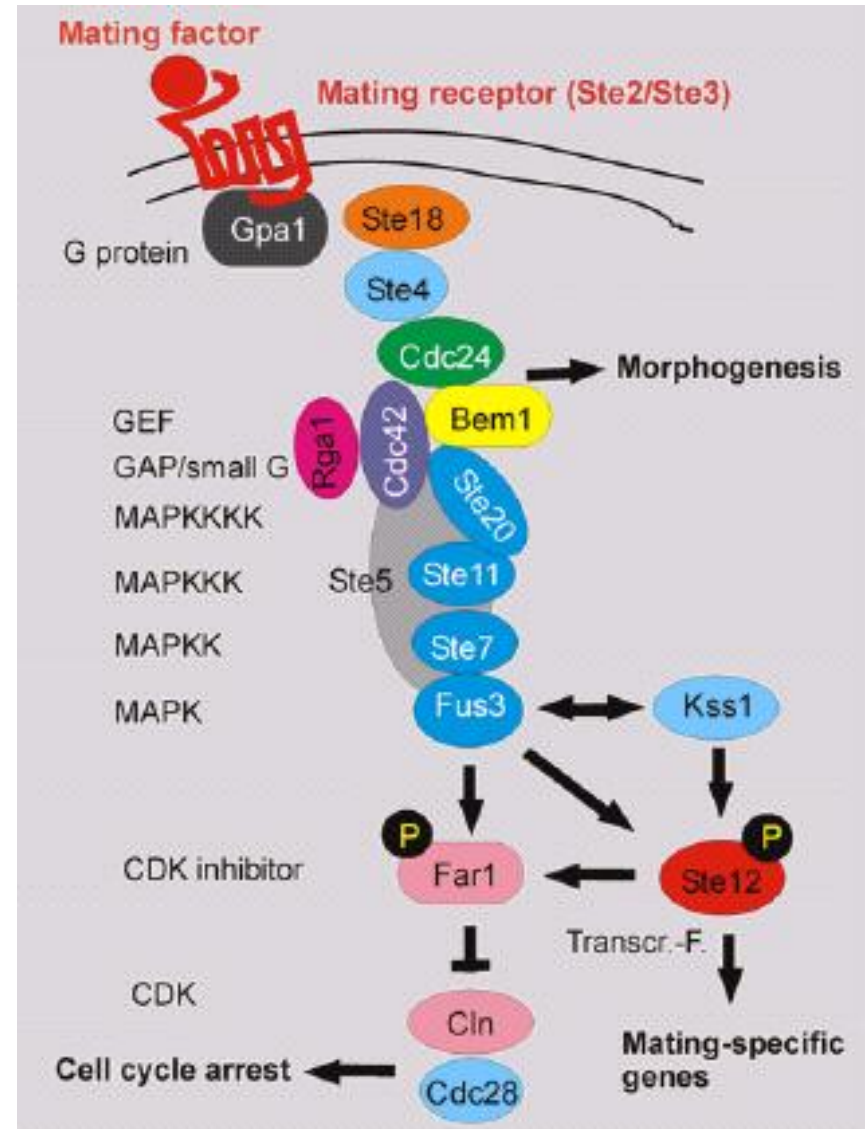
Kad katra šūna ar G-proteīns saistīto receptoru uztver feromonu signālu no pārošanās partnera, tad tiek iedarbināta MAP kināzes reakciju kaskāde



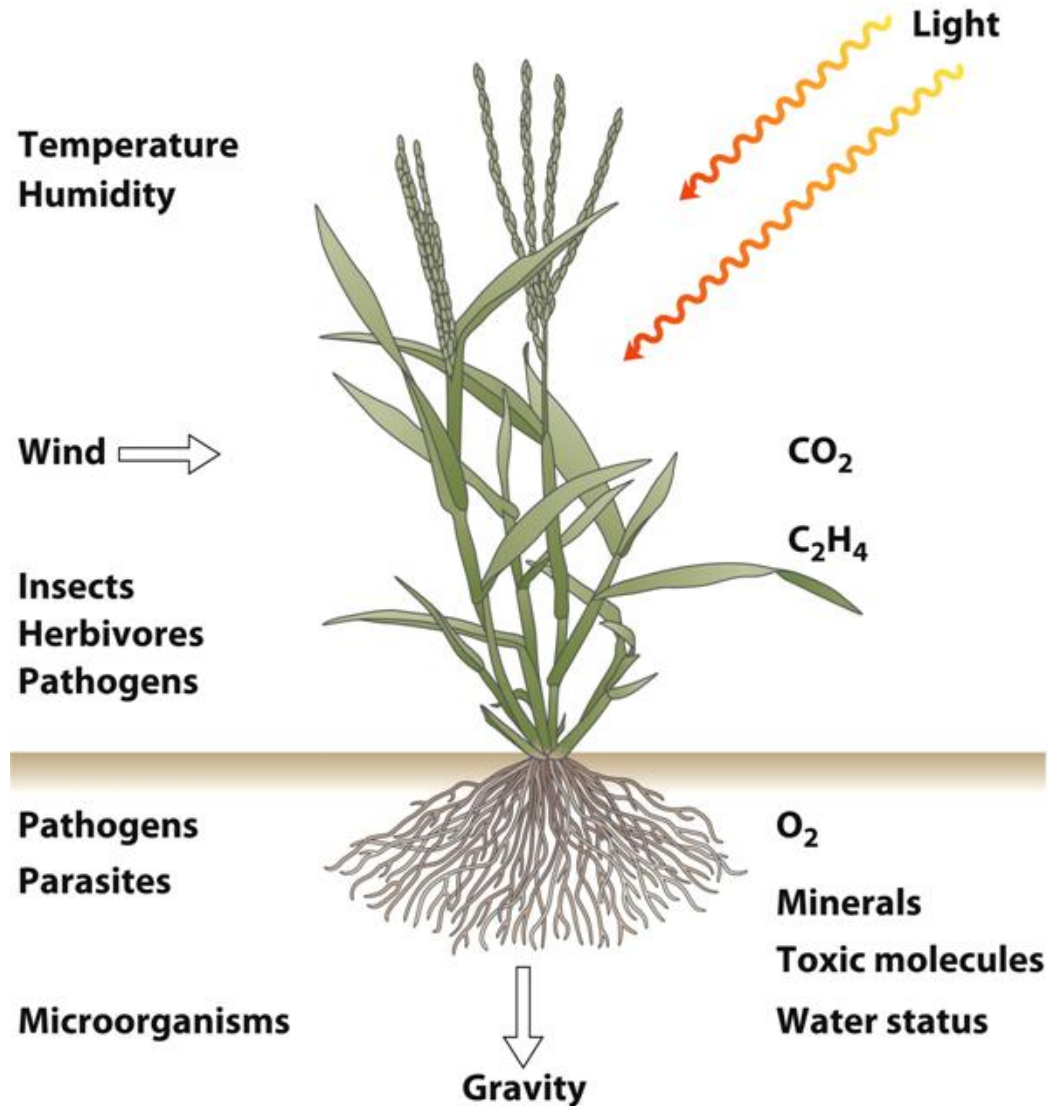
Saccharomyces cerevisiae feromonu signālceļš

MAP kināzes kaskāde noved pie pārmaiņām šūnā, kas nepieciešamas saplūšanas procesā

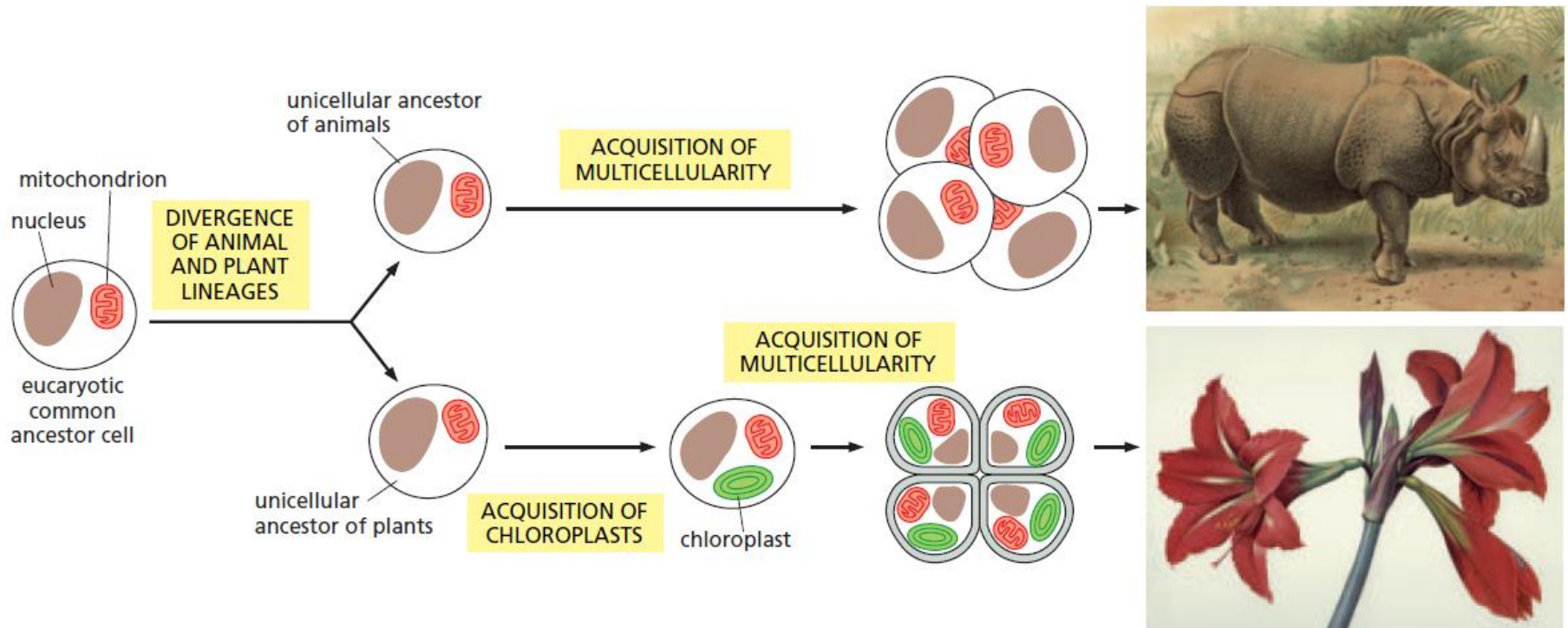
Map kināzes kaskādes rezultātā: polāra šūnas augšana uz pārošanās partnera pusi, šūnas cikla arests G1 stadijā un pastiprināta proteīnu ekspresija, kas nepieciešama kodolu un šūnu saplūšanai



Augu signāluztveres īpatnības



Augu un dzīvnieku evolucionārā izcelsme

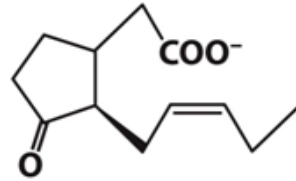


Kopējs sencis vienšūnas eikariots

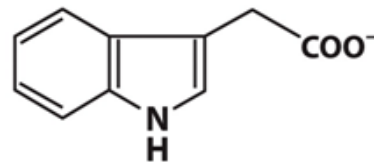
Filoģenētiskā nodalīšanās domājams notikusi pirms
1.6 – 0.6 miljardiem gadu

Augu un dzīvnieku signālmolekulu analogija

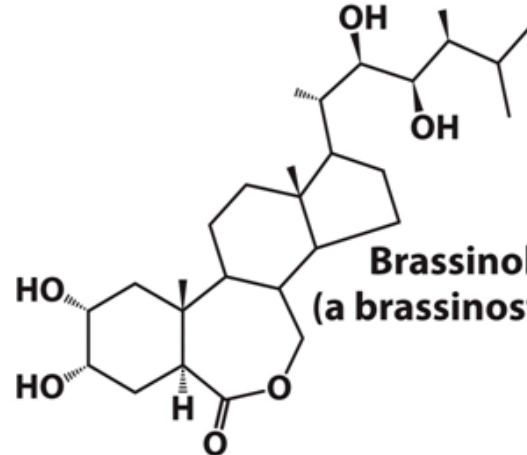
Plants



Jasmonate

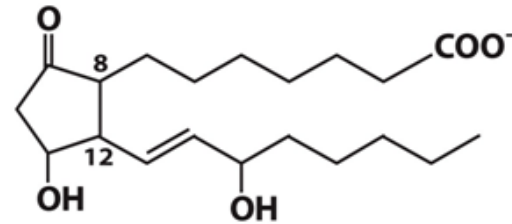


Indole-3-acetate
(an auxin)

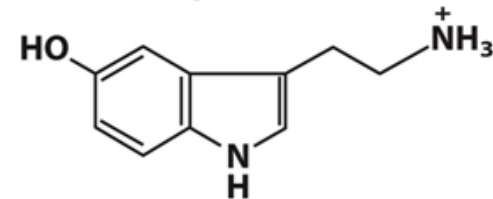


Brassinolide
(a brassinosteroid)

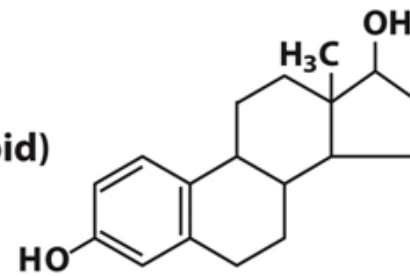
Animals



Prostaglandin E₁

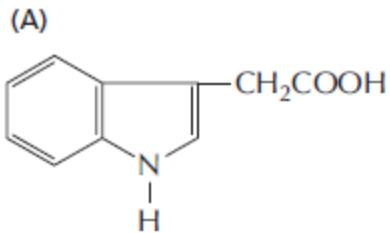


Serotonin
(5-hydroxytryptamine)

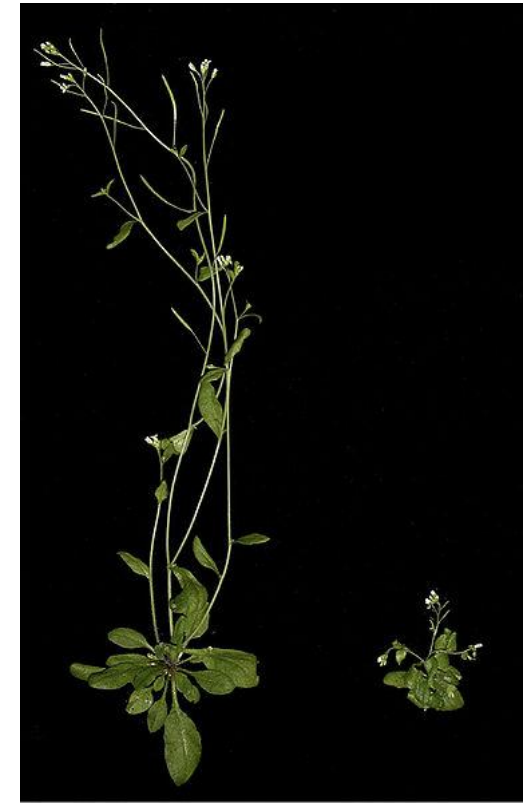


Estradiol

Auksīna signālceļš augos



Auksīns – koordinē augu augšanas procesu



(B) ABSENCE OF AUXIN

auxin-response factor (ARF)

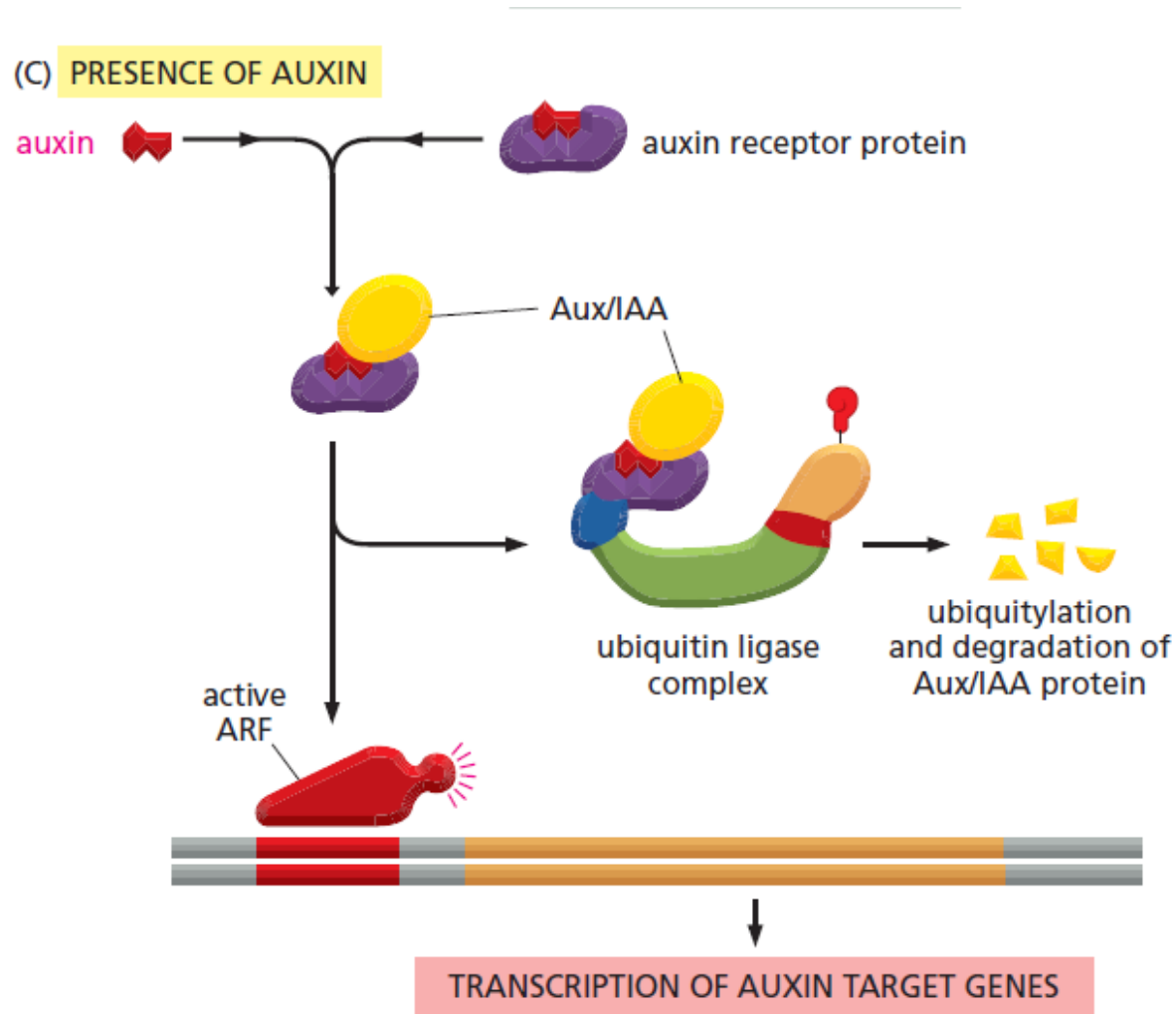
transcriptional repressor (Aux/IAA)



Auksīna transkripcijas represors inhibē auksīna atkarīgo gēnu ekspresiju

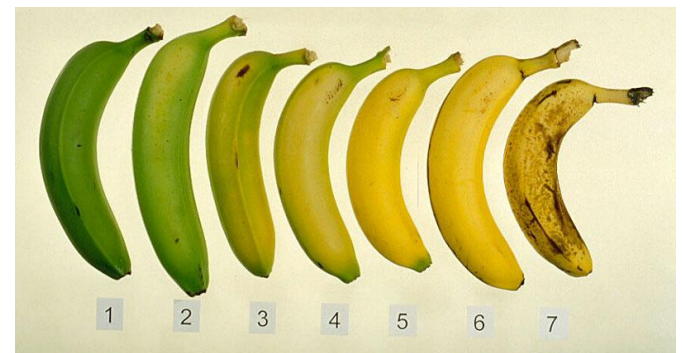
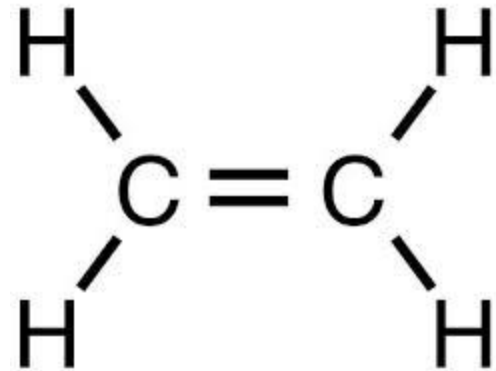
Auksīna signālceļš augos

- Auksīna klātbūtnē tiek aktivēts auksīna receptors
- Aktivētais auksīna receptors saista represoru un veicina tā proteosomisku degradāciju
- Auksīna atkarīgie gēni var tikt transkribēti



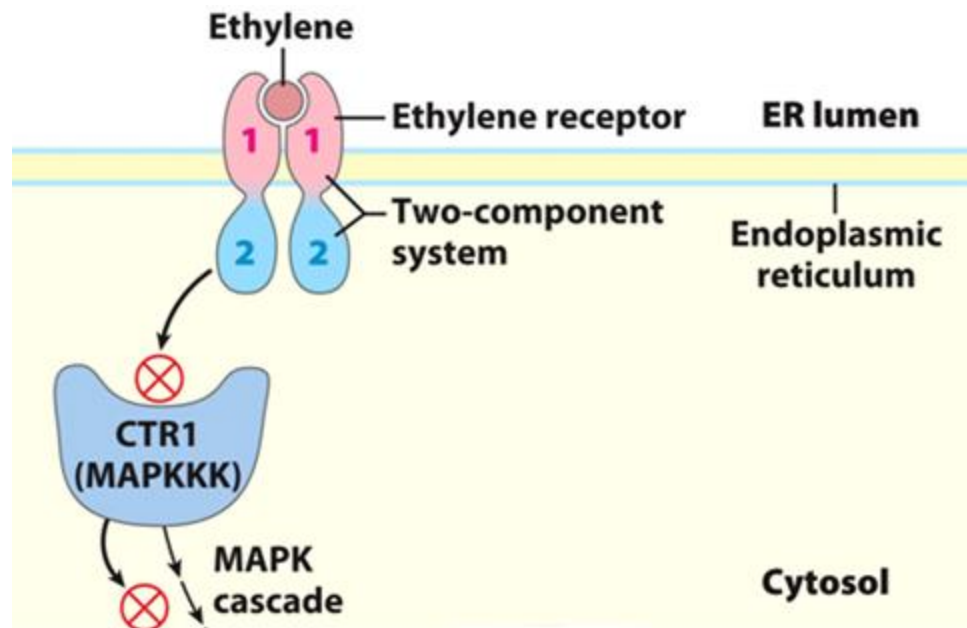
Etilēna signālsistēma augos

Etilēns ir gāze, ko izmanto augļu ātrai nogatavināšanai



Etilēna signālsistēma augos

Etilēns difundē caur plazmas membrānu un pie EPT membrānas saistās pie etilēna receptora Ser/Thr kināzes

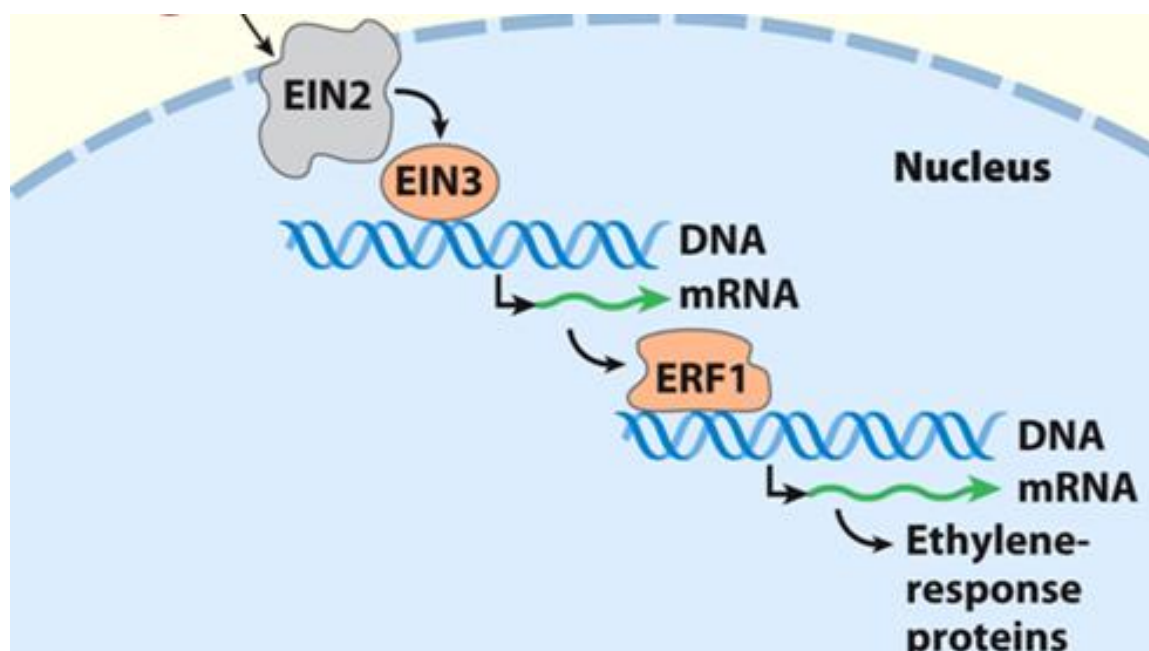


Bez etilēna CTR1 kināze ir aktīva un bloķē MAPKKK

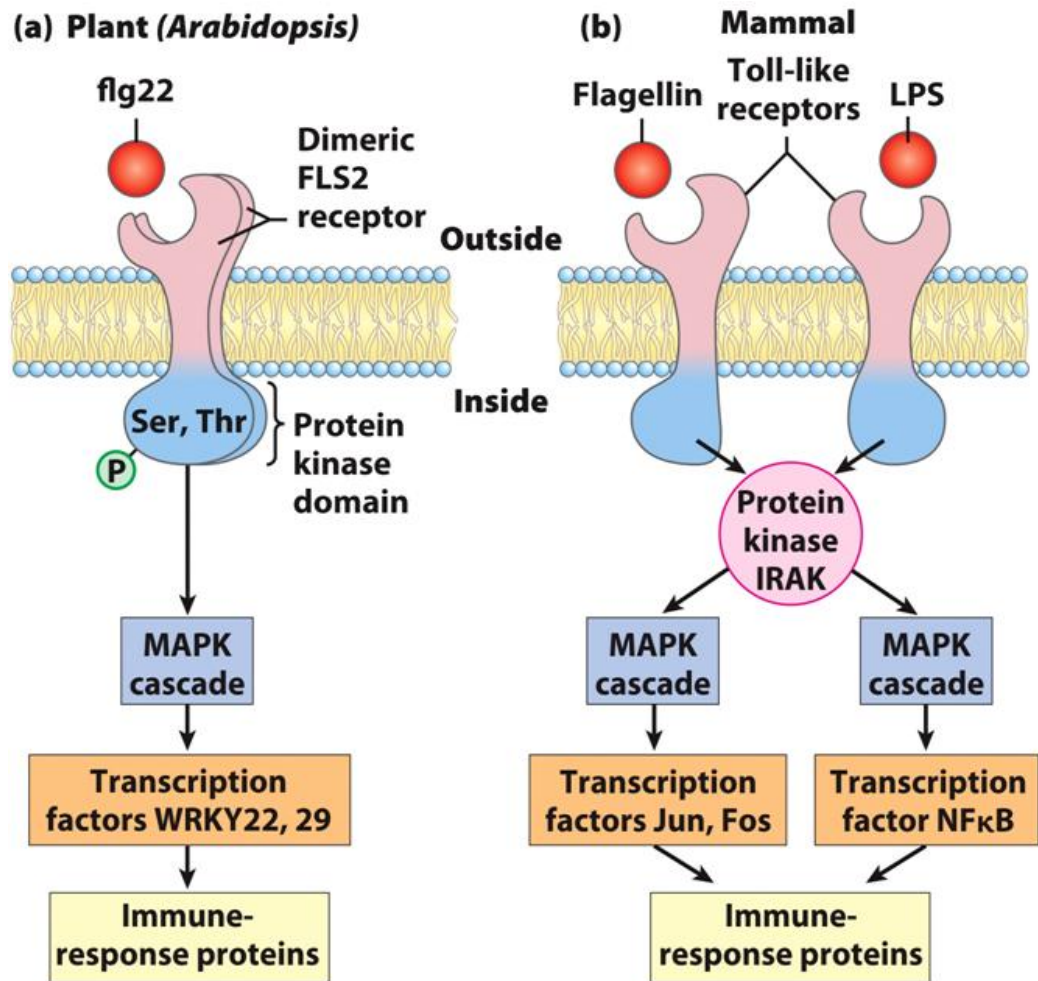
Etilēna signālsistēma augos

Etilēnam aktivējot receptoru CTR1 tiek inhibēta un MapKKK aktivēta

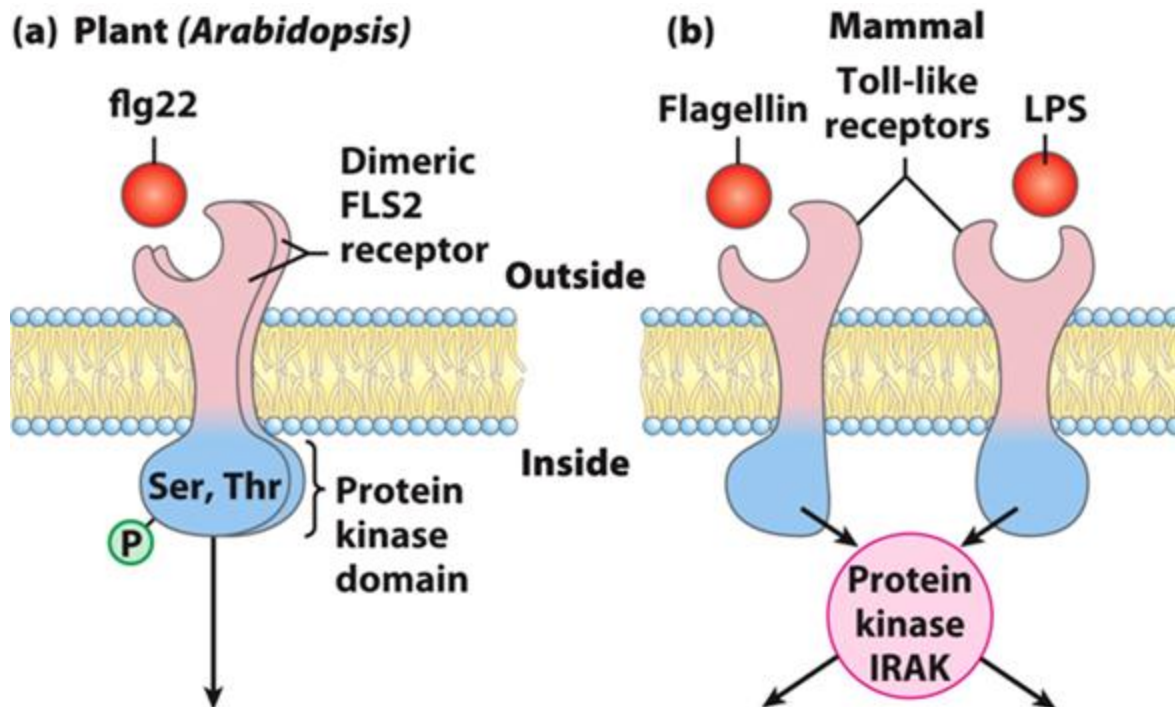
Tas noved pie etilēna atbildes proteīnu transkripcijas



Imūnsistēmas homologija augiem un zīdītājiem



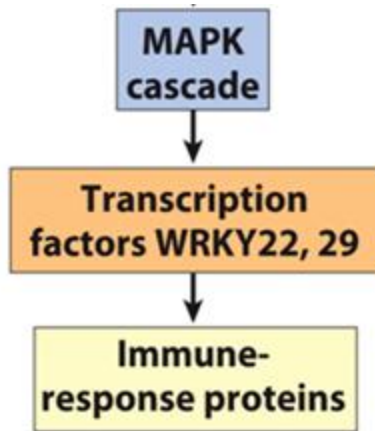
Imūnā atbilde uz bakteriālu patogēnu



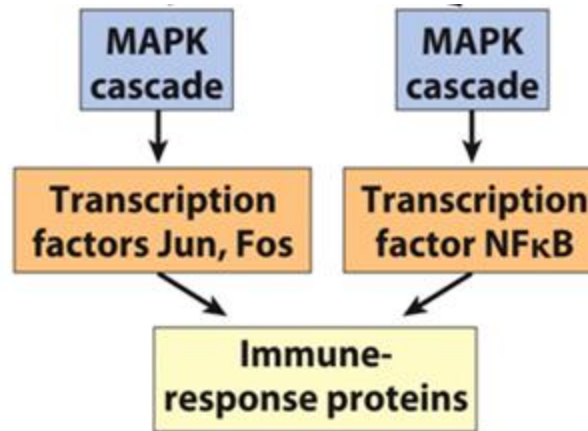
Augos receptoru ligands - flg22 peptīds atvasināts no baktērijas flagellām, pēc liganda piesaistes receptors dimerizējas, kas noved pie autofosforilācijas un Ser/Thr kināzes aktivācijas

Zīdītājos receptoru ligands - baktēriju flagelīns un virsmas lipopolisaharīds, pēc liganda piesaistes receptoram aktivējas iekšūnas telpā esošā proteīnu kināze

Augi



Zīdītāji



Augos - Ser/Thr kināze fosforilē šūnas proteīnus, aktivējot MAPK kaskādi, kas noved pie ar imūnitāti saistīto gēnu ekspresijas

Zīdītājos - tiek aktivēti divi MAP kināzes atkarīgie signālceļi, kas noved pie imūnatbildes gēnu ekspresijas

Nākamajā lekcijā

Attīstības bioloģijas pamatprincipi

