MUNI
SCI

Pohyb v buňce, buňka v pohybu.

Logistika života v buňce a jak o tom

vyprávět

Petr Chlapek
chlapek@sci.muni.cz

2025 Kurz pro učitele středních škol

Sestříhaná videa použitá v prezentaci ke stažení (dočasně na veřejném serveru):
https://limewire.com/d/sjC9P#TyxoHfwOLx

slido.com
#1361 714

Napište klíčová slova charakterizující logistické kroky a prostředky, potřebné k přepravě něčeho někam.

Např. marmeláda k babičce.

Do not edit
How to change the des

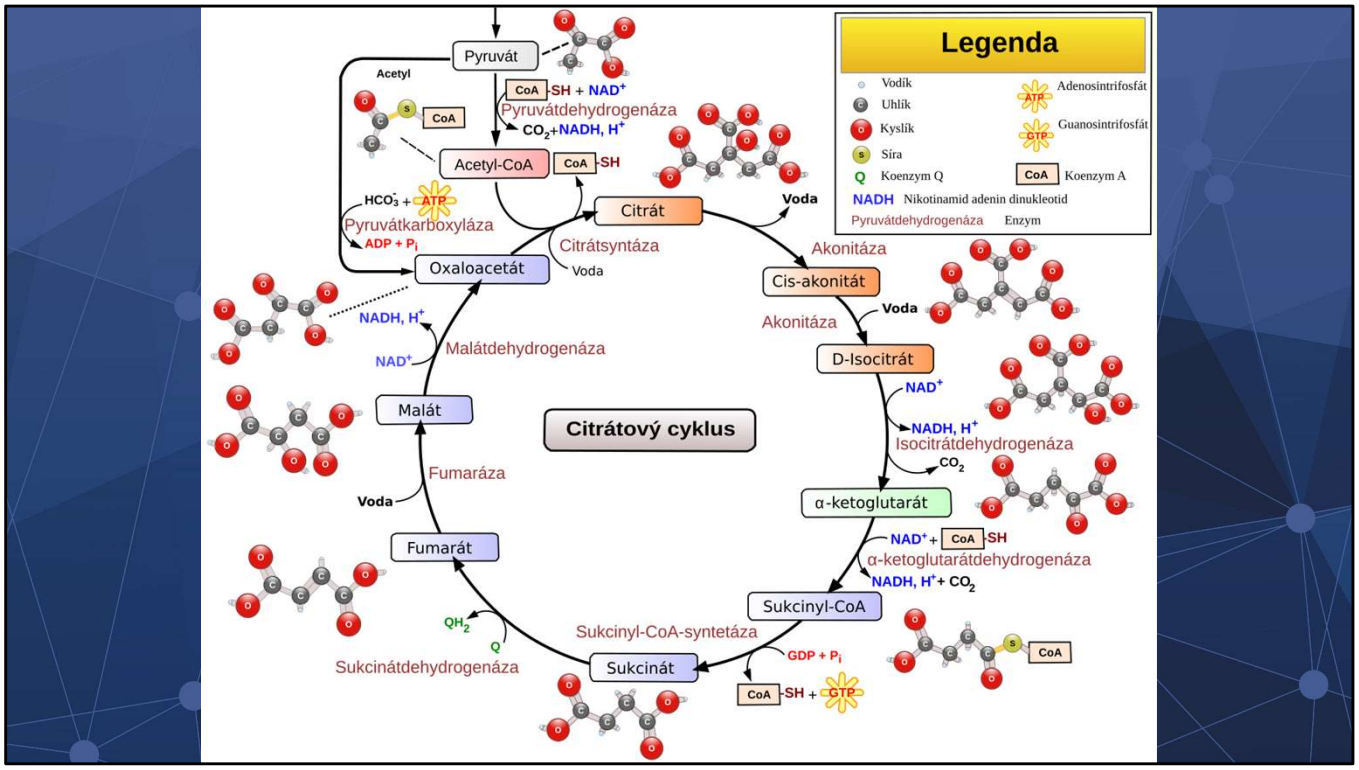
Napište klíčová slova charakterizující logistické kroky

Např. marmeláda k babičce.

The Slido app must be installed on every computer you're presenting from

slido

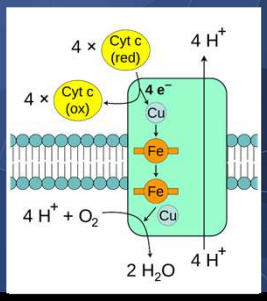
Energie

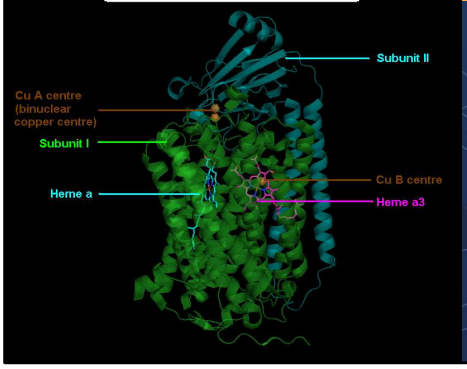

Legenda
Vodík
Uhlík
Kyslík
Síra
Koenzym Q
NADH Nikotinamid adenin dinukleotid
Pyruvátdehydrogenáza Enzym
Adenosintrifosfát
Guanosintrifosfát
Koenzym A
Pyruvát
Acetyl
CoA
SH + NAD+
Pyruvátdehydrogenáza
CO2+NADH, H+
Acetyl-CoA
CoA
SH
HCO3- + ATP
Pyruvátkarboxyláza
ADP + Pi
Citrát
Voda
Citrátsyntáza
Voda
Oxaloacetát
Akonitáza
Cis-akonitát
Voda
Akonitáza
D-Isocitrát
NAD+
NADH, H+
Isocitrátdehydrogenáza
CO2
α-ketoglutarát
NAD+ + CoA SH
α-ketoglutarátdehydrogenáza
NADH, H+ + CO2
Sukcinyl-CoA
Sukcinyl-CoA-syntetáza
GDP + Pi
CoA SH + GTP
Sukcinát
QH2
Q
Sukcinátdehydrogenáza
Fumarát
Voda
Fumaráza
Malát
NADH, H+
NAD+
Malátdehydrogenáza
Citrátový cyklus

Právě reverzibilní oxidační stavy železa umožňují mitochondrii katalyzovat přenos elektronů prostřednictvím proteinů obsahujících hemy a sirné klastry železa (ISC) a využívat tento proces k přenosu energie.

Kromě šesti různých hemů spojených s cytochromy, více než sedmi center železa a síry a ubichinonu jsou na cestě od NADH ke kyslíku také dva atomy mědi a flavin, které slouží jako nosiče elektronů pevně vázané na proteiny dýchacího řetězce. Tato dráha zahrnuje celkem více než 60 různých proteinů.
https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK26904/

Cytochrom C oxidáza





Měď

(0,1 – 0,15 g na 70kg člověka)

$Cu^{+} \leftrightarrow Cu^{2+}$

Kofaktory oxidoreduktáz

Katalýza přenosu elektronů

Přenos energie

Enzymy obsahující měď

řetězení kolagenu, elastinu, keratinu

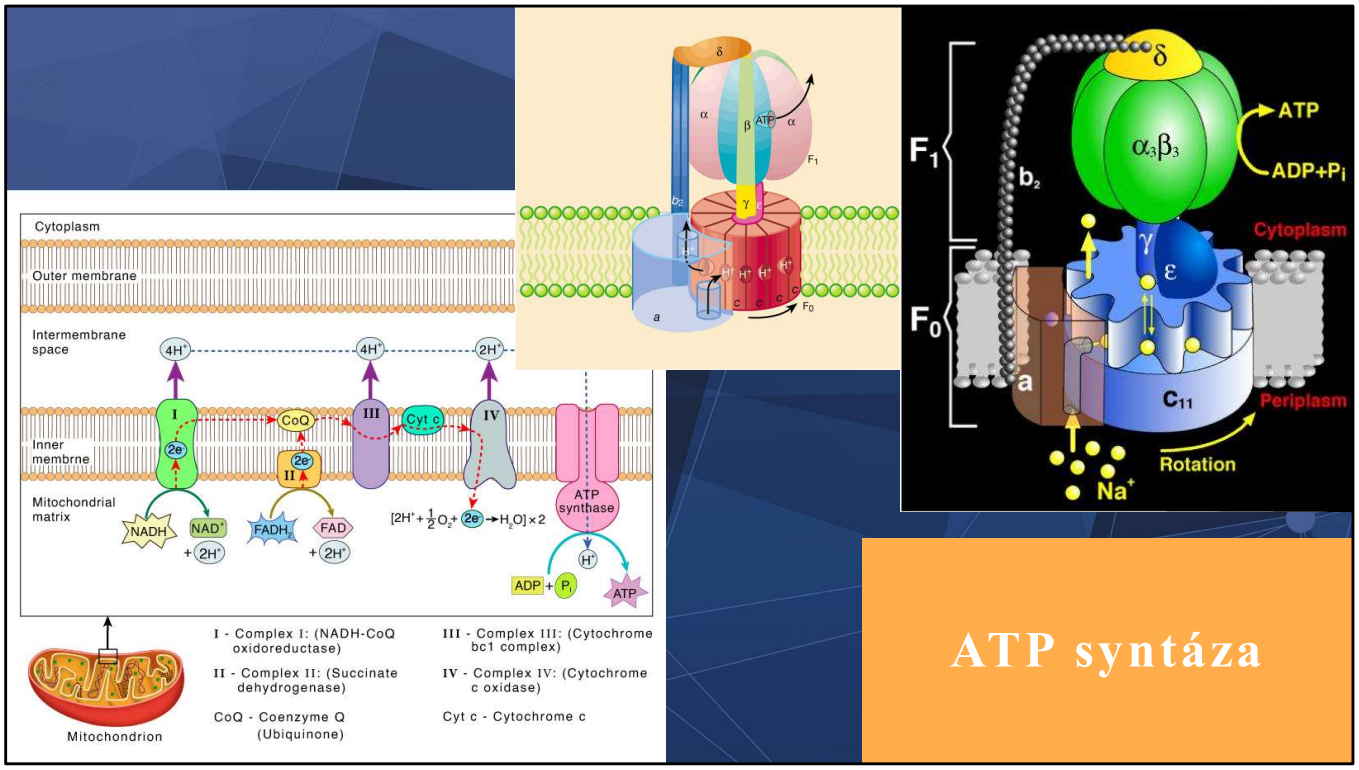
biosyntéza neurotransmiterů

ochrany před volnými radikály

homeostáza železa

MĚD A JEJÍ PATO/FYZIOLOGICKÝ VÝZNAM V LIDSKÉM ORGANISMU – Diplomová práce, Klára Bechná

Kromě šesti různých hemů spojených s cytochromy, více než sedmi center železa a síry a ubichinonu jsou na cestě od NADH ke kyslíku také dva atomy mědi a flavin, které slouží jako nosiče elektronů pevně vázané na proteiny dýchacího řetězce. Tato dráha zahrnuje celkem více než 60 různých proteinů.
https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK26904/

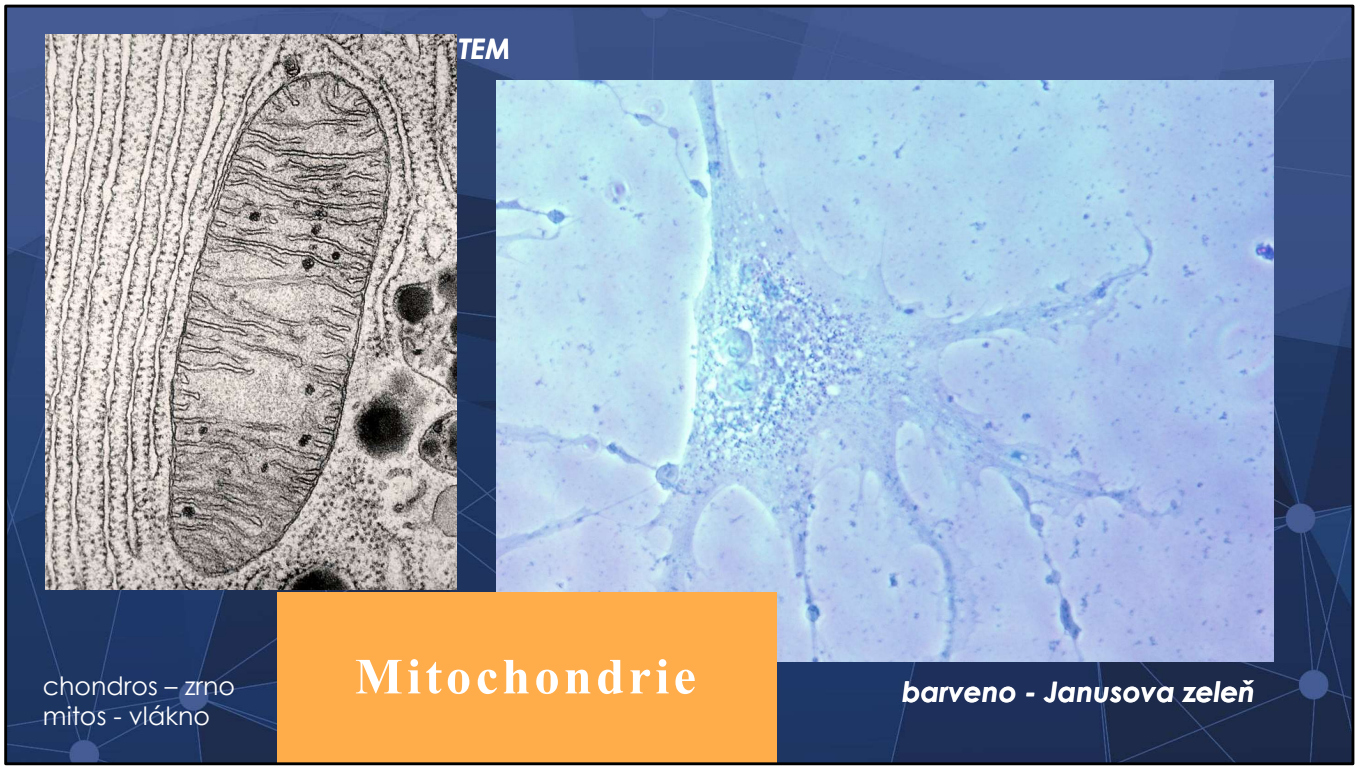


ATP syntáza video https://www.youtube.com/watch?v=kXpzp4RDGJI
Electron transport chain video https://www.youtube.com/watch?v=LQmTKxI4Wn4
https://www.youtube.com/watch?v=LQmTKxI4Wn4&t=73s
https://www.youtube.com/watch?v=W3KxU63gcF4

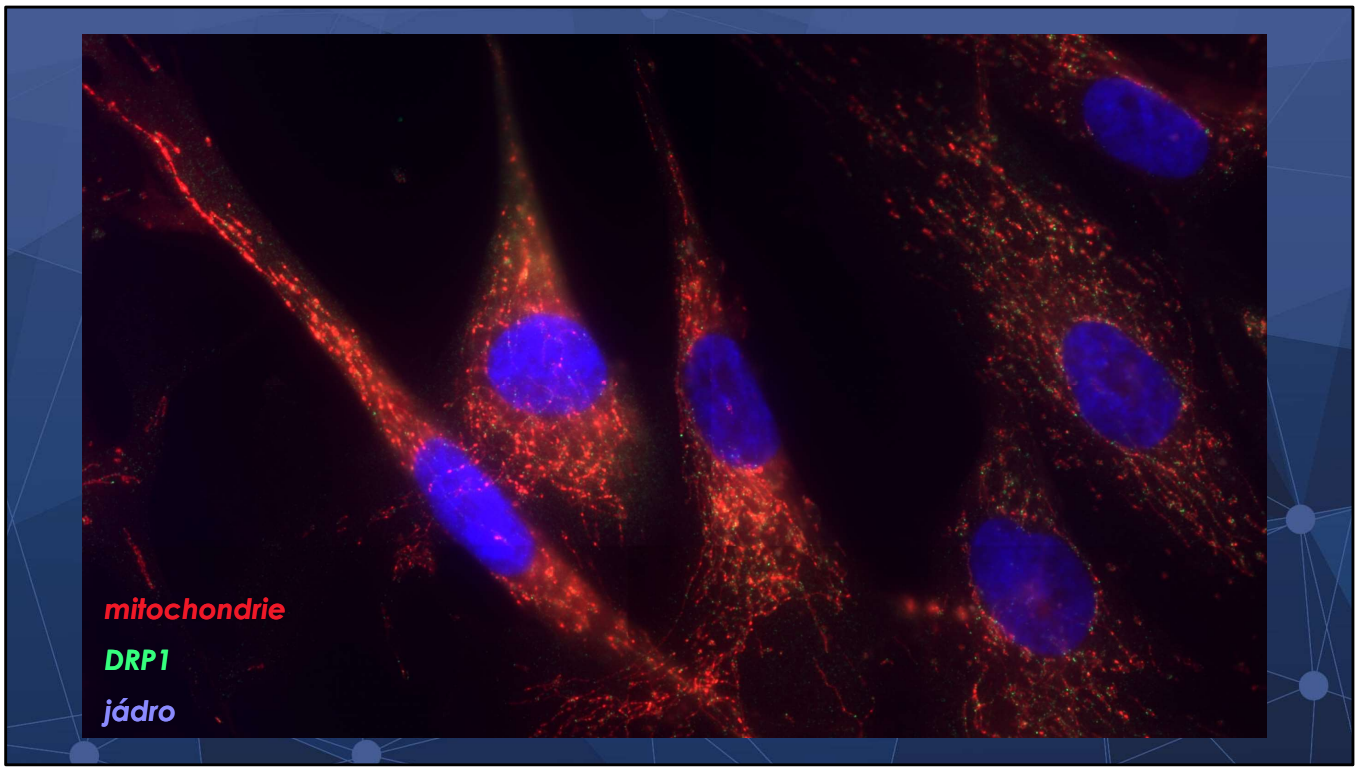
Reverzní funkce jako iontová pumpa u bakterií
https://mcb.berkeley.edu/faculty-and-research/research-spotlight/structure-atp-synthase-universal-protein-manufactures-atp
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0005272800000967
https://www.nature.com/articles/35089509

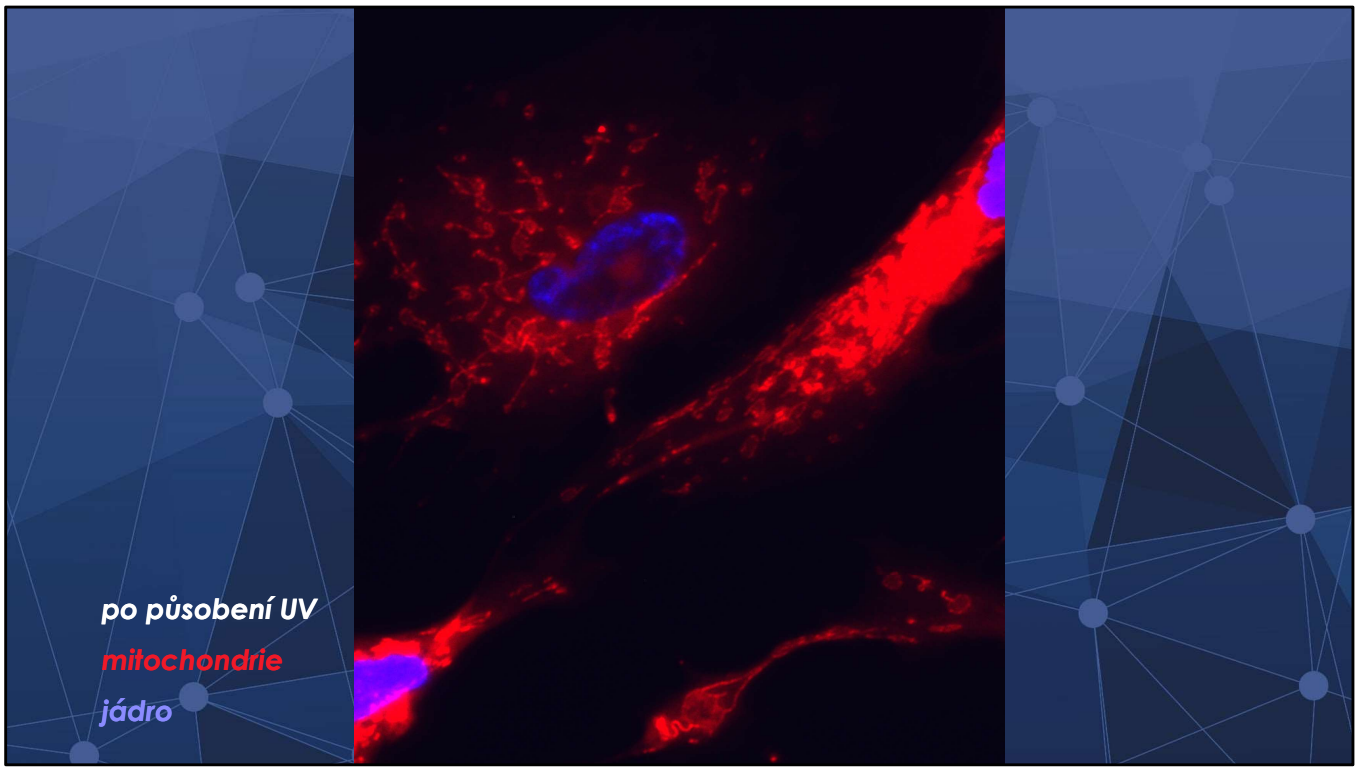
ATP syntáza video https://www.youtube.com/watch?v=kXpzp4RDGJI
Electron transport chain video https://www.youtube.com/watch?v=LQmTKxI4Wn4
https://www.youtube.com/watch?v=LQmTKxI4Wn4&t=73s
https://www.youtube.com/watch?v=W3KxU63gcF4

Reverzní funkce jako iontová pumpa u bakterií
https://mcb.berkeley.edu/faculty-and-research/research-spotlight/structure-atp-synthase-universal-protein-manufactures-atp
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0005272800000967
https://www.nature.com/articles/35089509



https://www.sciencephoto.com/media/215016/view/tem-of-mitochondrian-in-cell


mitochondrie
DRP1
jádro


po působení UV
mitochondrie
jádro

GTP

Vznik: z GDP v Krebsově cyklu/ prostřednictvím ATP

Dynamika mikrotubulů

- *hydrolýza GTP na GDP při polymerizaci β-tubulinu*

Rab proteiny (Rab GTPázy)

- *Váčky označeny různými Rab proteiny – vazba na specifické cíle – volba trasy, spojení s cílem*

Dynamin (GTPáza)

- *obepíná stopku pučícího váčku – zaškrcení, oddělení*

Další malé GTPázy (Ran, Arf, Sar1)

- *řídí transport přes jaderné póry, spouštěč tvorby váčků (vazba specializovaných obalových proteinů)*

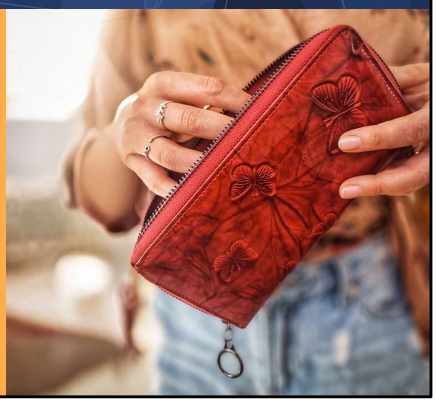
Koncentrace ATP v kosterním svalu: 2-5 mM

Kreatin + ATP ⟷ kreatinfosfát

(kreatinkináza)

- *120 g u člověka (70kg)*
- *Syntéza v játrech a ledvinách 2 g/den*
- *Příjem v potravě 1 g/den (svalovina)*

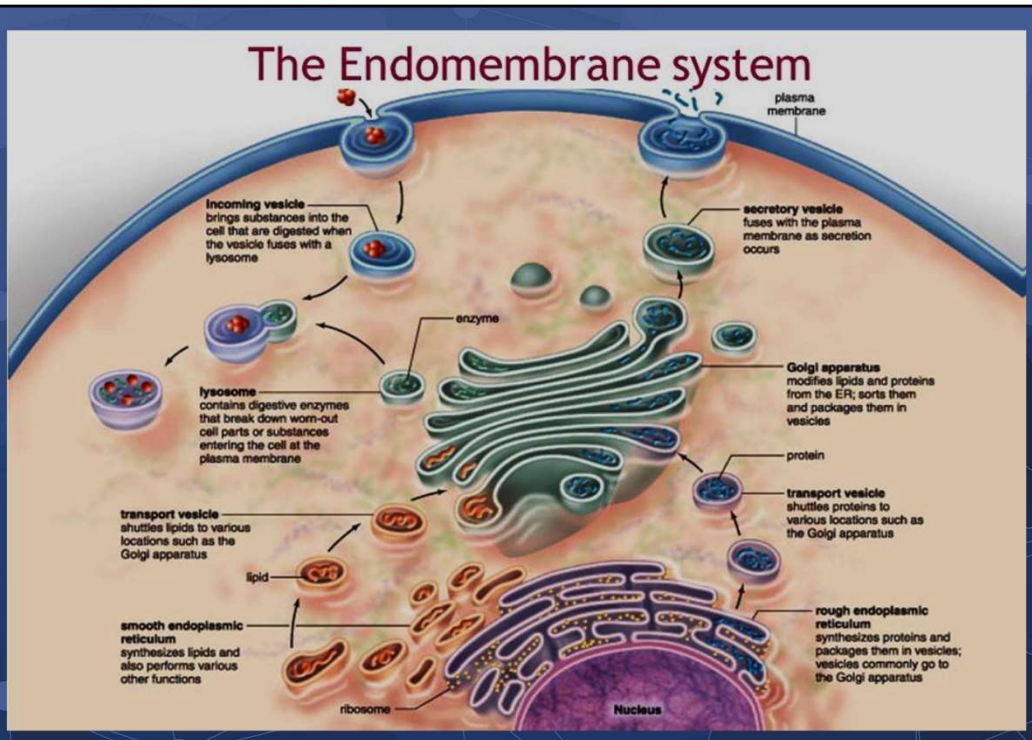
Kreatin



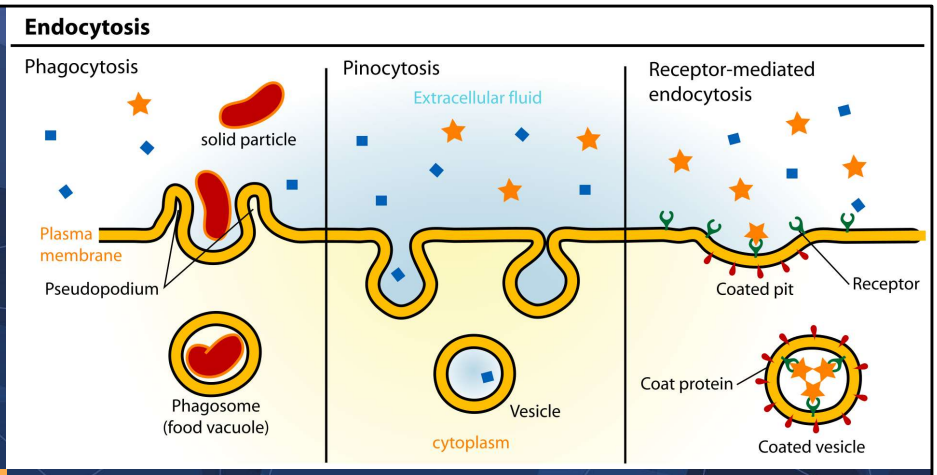
https://cs.wikipedia.org/wiki/Kreatin

Obal

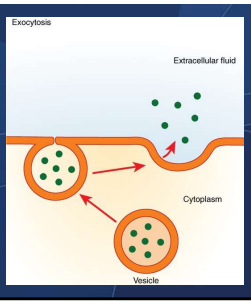
The Endomembrane system



1. *Endocytóza*
   - *Pinocytóza (tekutiny)*
   - *Fagocytóza (částice)*
2. *Exocytóza*



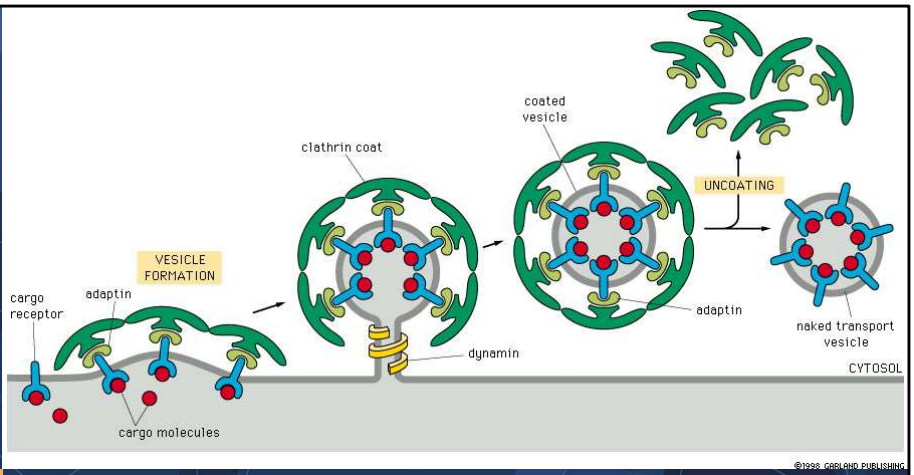
Vezikuly



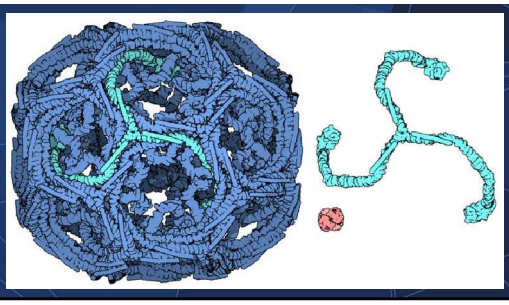
https://www.zoology.ubc.ca/~berger/B200sample/unit_8_protein_processing/vesicle_traffic/vesicle_transport.htm
https://bio.libretexts.org/Bookshelves/Cell_and_Molecular_Biology/Book%3A_Cells_-_Molecules_and_Mechanisms_%28Wong%29/11%3A_Protein_Modification_and_Trafficking/11.06%3A_Vesicular_Transport

Endocytóza

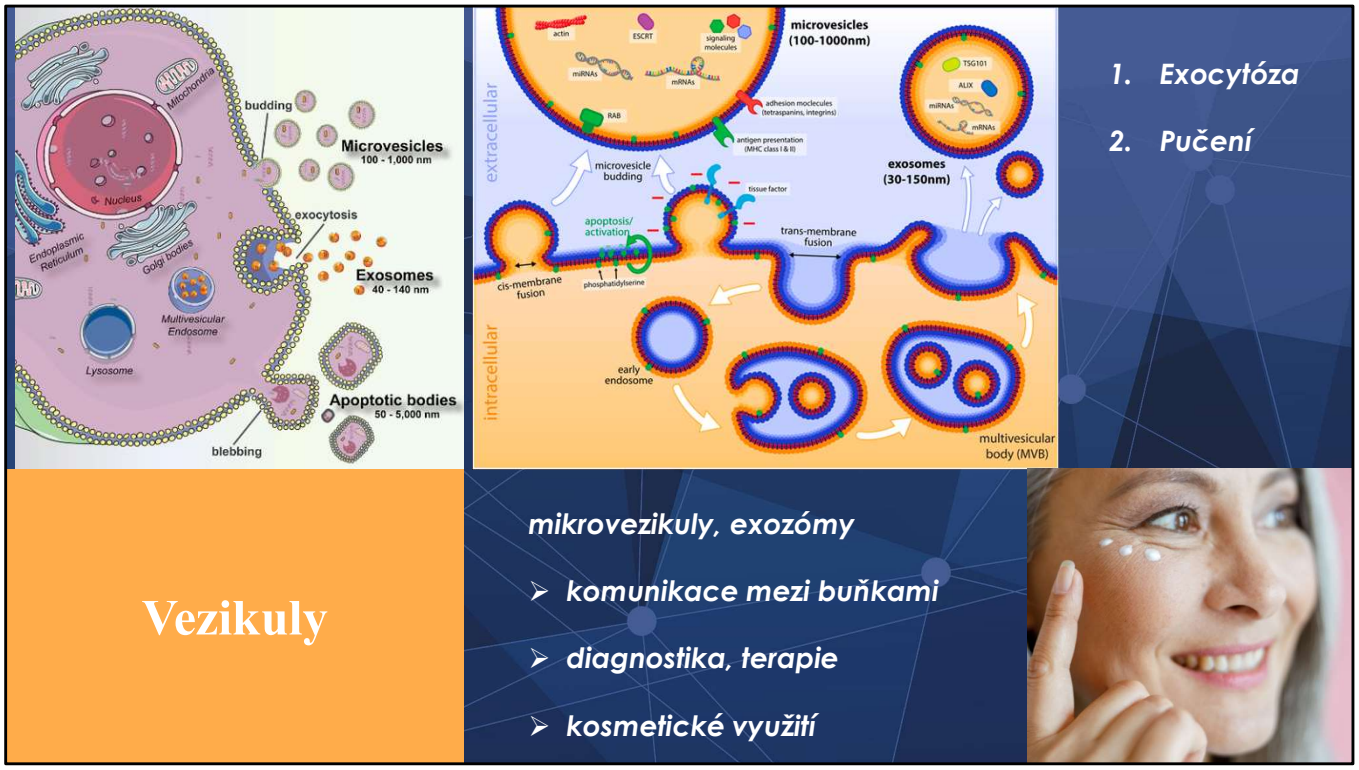
- *receptor*
- *Klatriny*
- *Dynamin (GTPáza)*



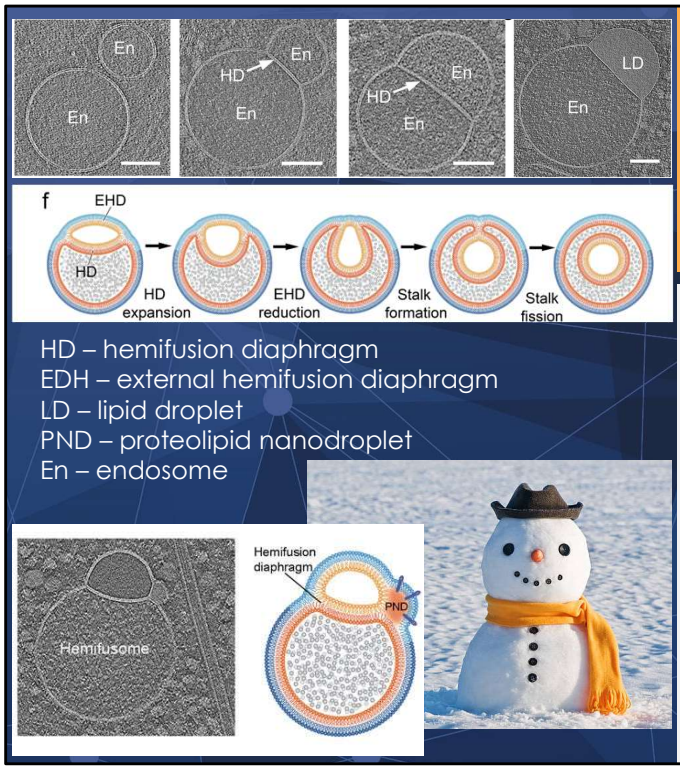
Vezikuly



https://www.zoology.ubc.ca/~berger/B200sample/unit_8_protein_processing/vesicle_traffic/vesicle_transport.htm
https://bio.libretexts.org/Bookshelves/Cell_and_Molecular_Biology/Book%3A_Cells_-_Molecules_and_Mechanisms_%28Wong%29/11%3A_Protein_Modification_and_Trafficking/11.06%3A_Vesicular_Transport



https://doi.org/10.3389/fcell.2022.859863
https://www.genzentrum.uni-muenchen.de/research-groups/ferraz/research/vesicles/index.html



Hemifusomy - nové (2025) membránové organely

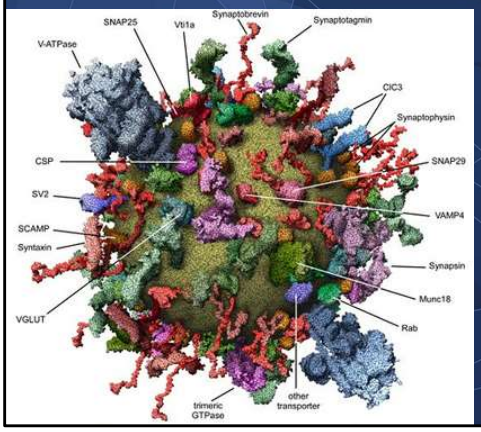
Membránový váček, částečně fúzovaný s lipidovou kapénkou

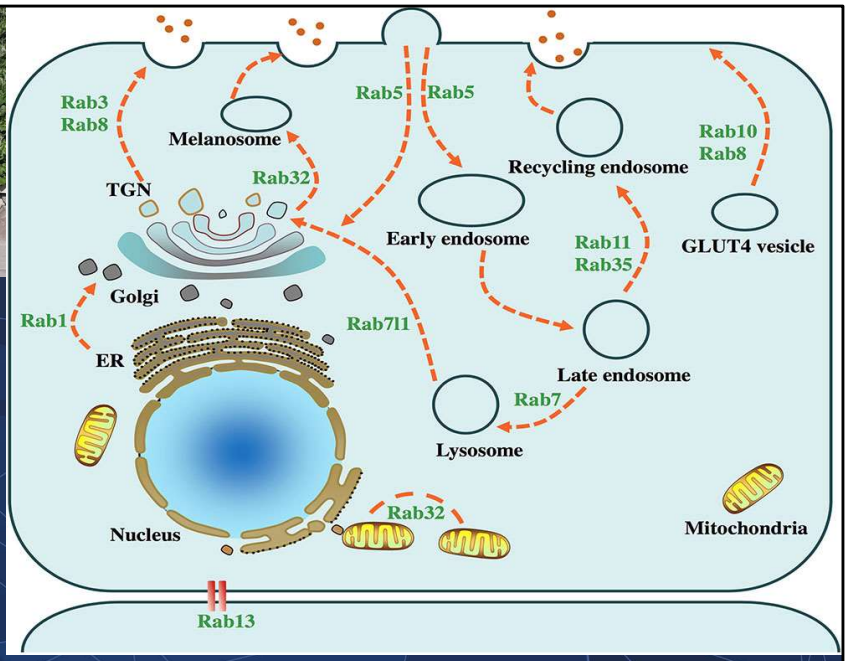
- ***hemifúzní membrána mezi váčky***
- ***lipidová kapka jako zdroj lipidů při novotvorbě váčků?***
- ***nový mechanismus vzniku multivezikulárních tělísek***
- ***komunikace, třídění, recyklace***

https://www.nature.com/articles/s41467-025-59887-9

Adresa, označení

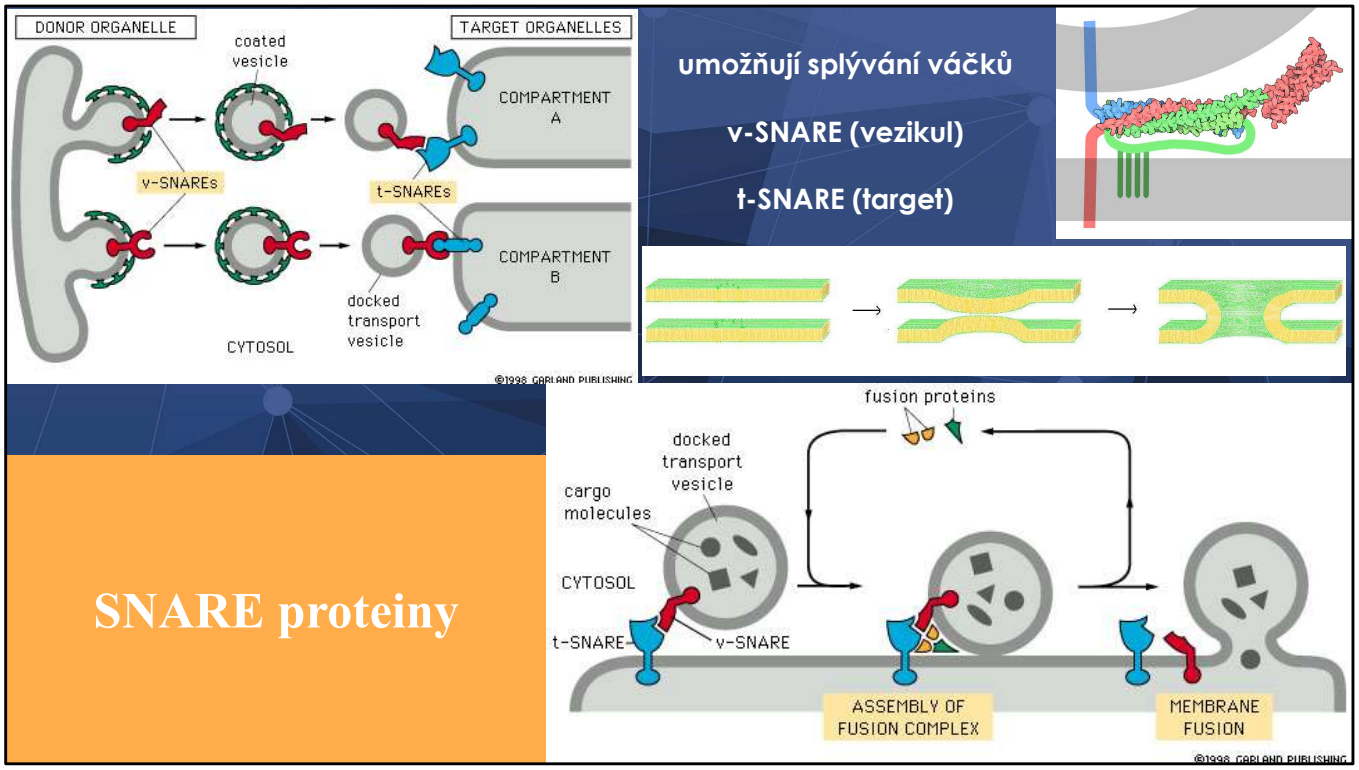
Rab GTPázy





Model průměrného synaptického váčku

https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17110340/



https://cs.wikipedia.org/wiki/SNARE

Vezikuly s neurotransmiterem

Botulotoxin

Clostridium botulinum

Acetylcholin

➡ **paralýza**

Tetanus toxin

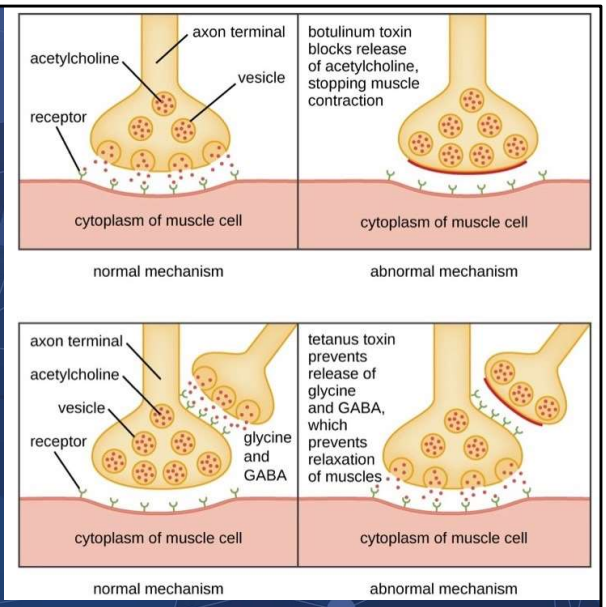
Clostridium tetani

GABA (γ-aminobutyric acid)

inhibitor motoneuronů

➡ **spasmus**

degradace SNARE proteinů toxiny



https://en.wikipedia.org/wiki/Tetanus_toxin

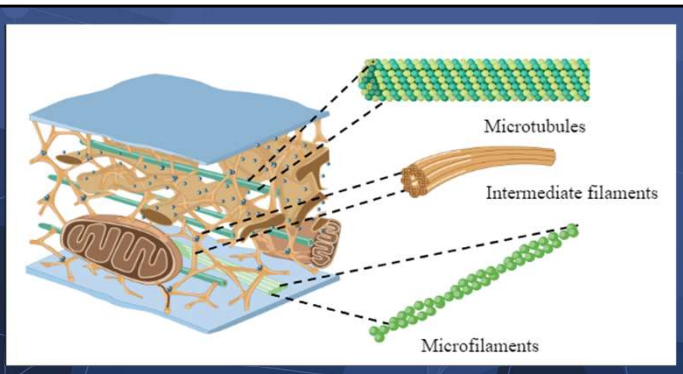
Cesty, tratě

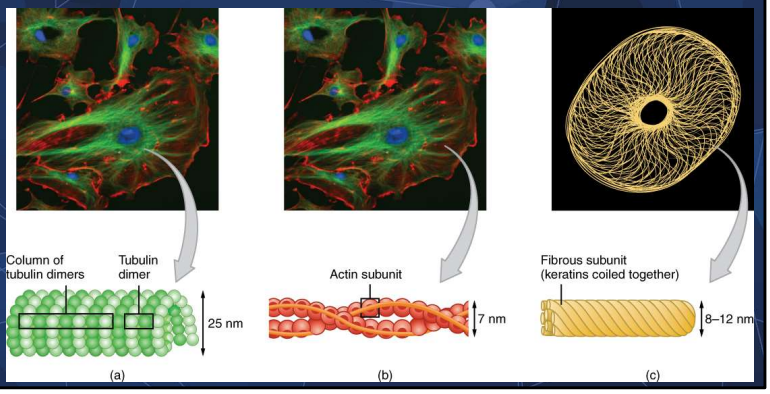
Mikrotubuly *- tubulin*

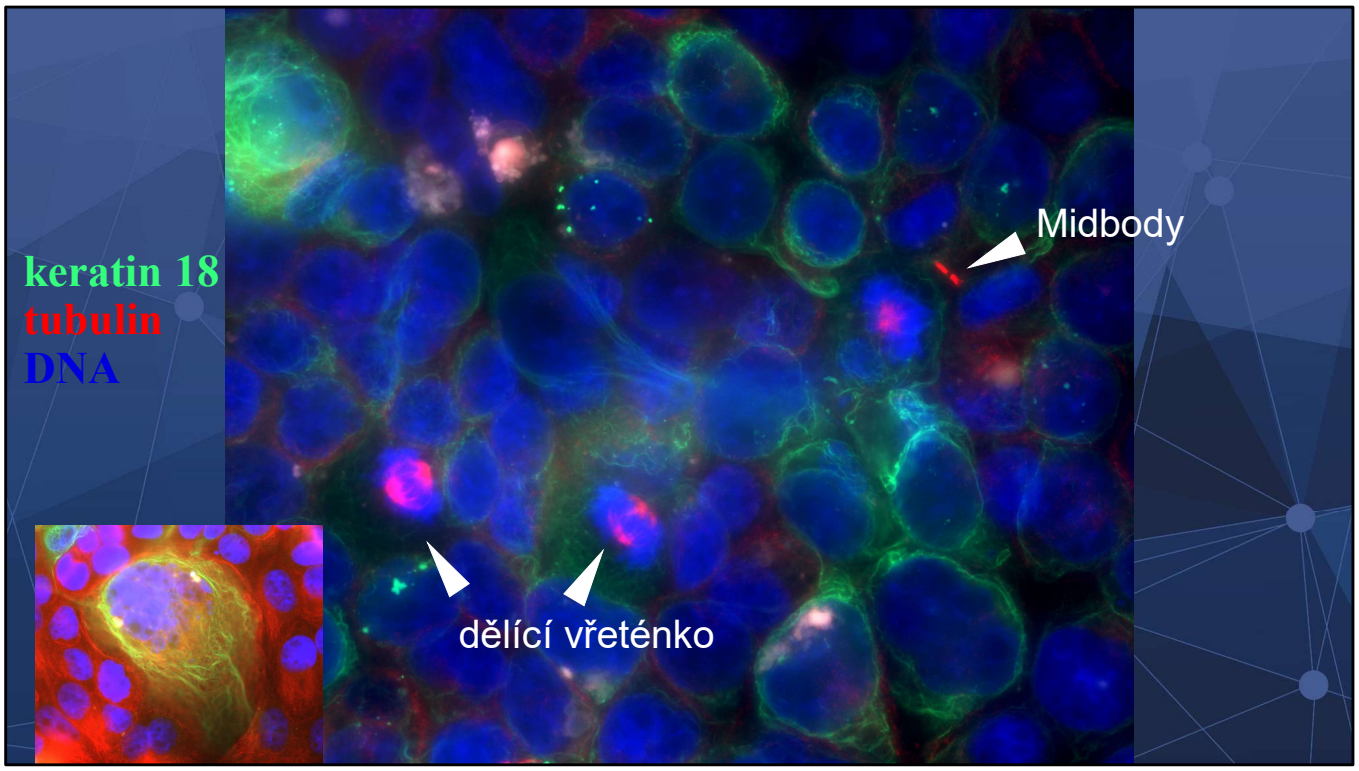
Střední filamenta – 6 tříd

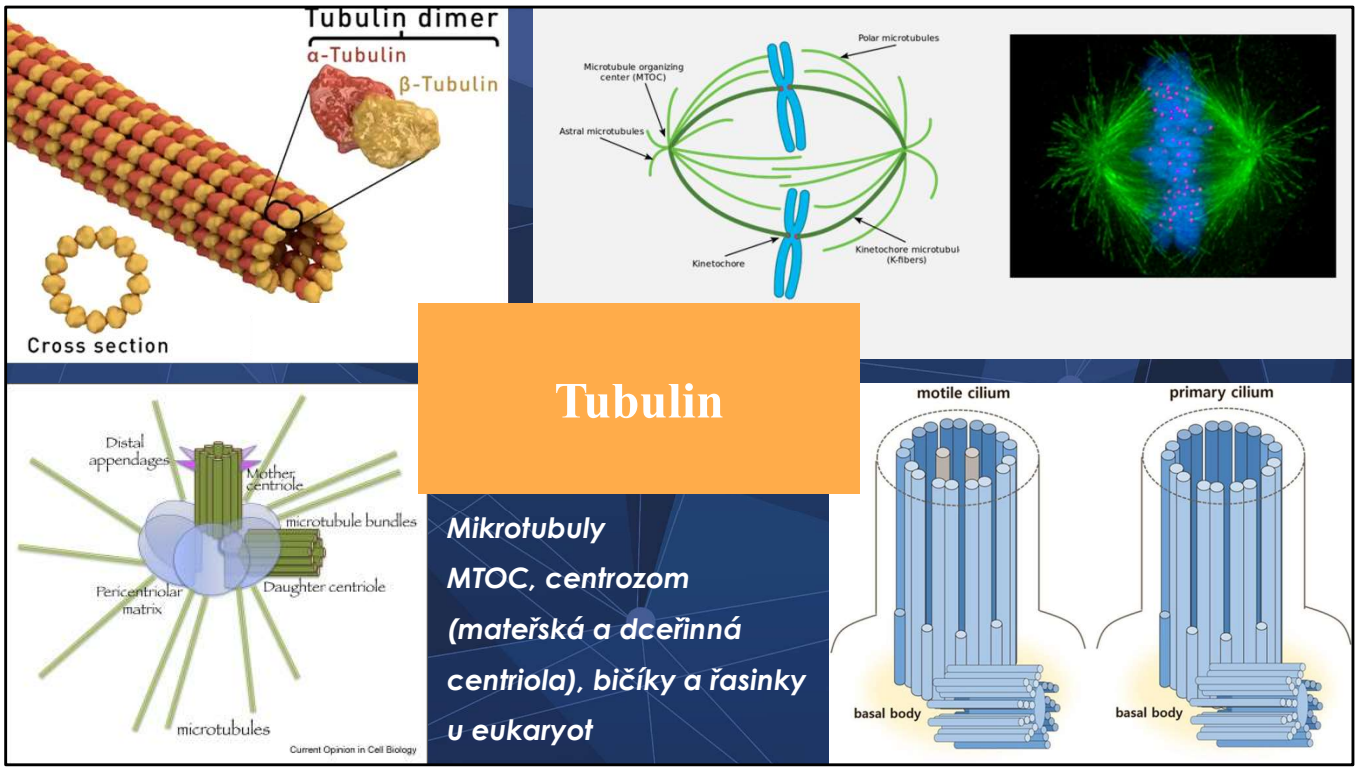
Mikrofilamenta *- aktin*

Cytoskelet

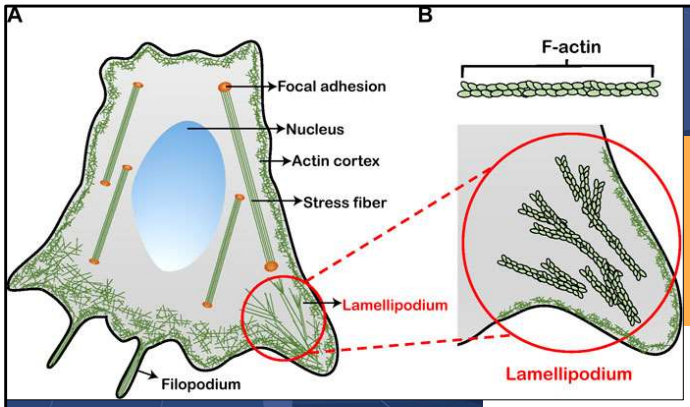




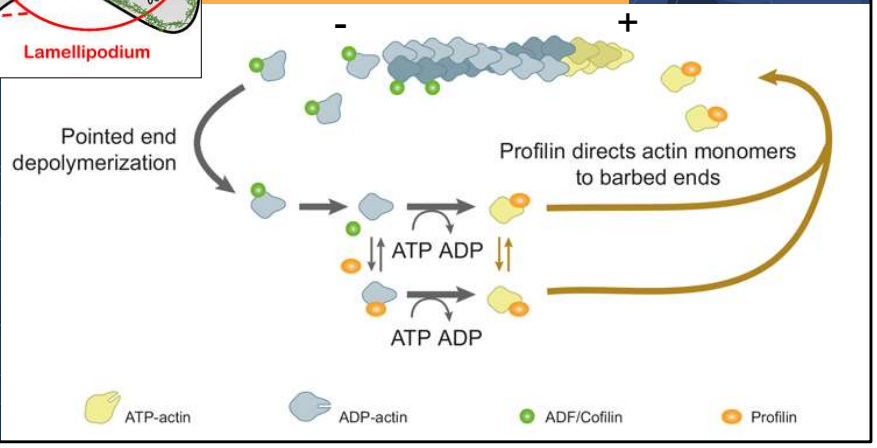

keratin 18
tubulin
DNA
Midbody
dělící vřeténko

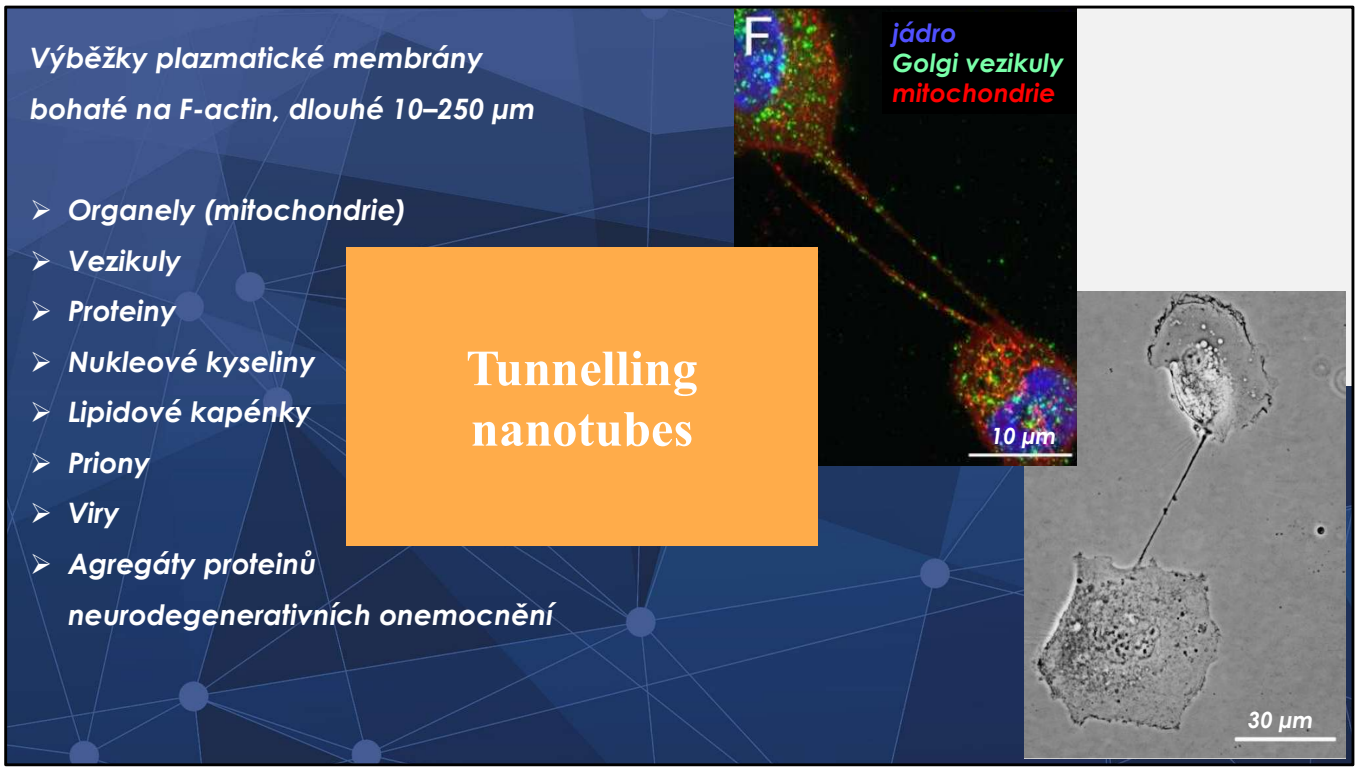

Tubulin dimer
α-Tubulin
β-Tubulin
Cross section
Polar microtubules
Microtubule organizing center (MTOC)
Astral microtubules
Kinetochore
Kinetochore microtubuli (K-fibers)
Tubulin
Distal appendages
Mother centriole
microtubule bundles
Pericentriolar matrix
Daughter centriole
microtubules
Current Opinion in Cell Biology
Mikrotubuly
MTOC, centrozom
(mateřská a dceřinná centriola), bičíky a řasinky u eukaryot
motile cilium
primary cilium
basal body
basal body

Aktin



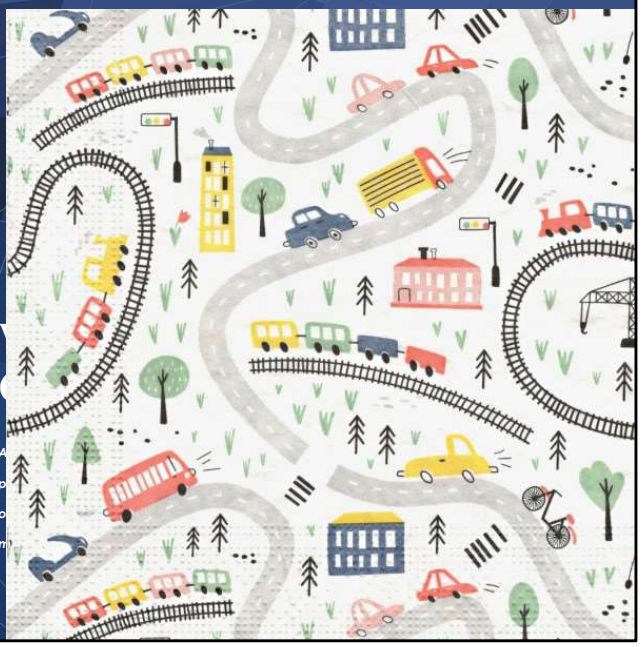
Mikrofilamenta
kontrakce svalů, interakce s cytoplazmatickou membránou (lamellipodia, microvilli, adheze), lokomoce buňky (améboidní), cytokineze





https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3302868/

Dopravní prostředky



asociace s mikrotubuly

Kinezin (+), Dynein (-)

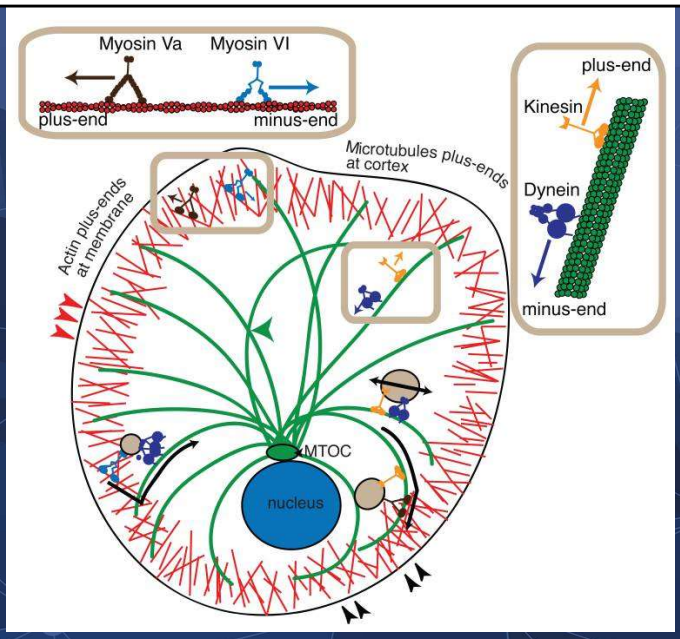
asociace s mikrofilamenty

Myosiny, Rab GTPázy

Rotační motory

ATP syntáza

pohyb bakteriálního bičíku



Molekulární motory

Přeměna chemické energie v mechanickou – změna konformace proteinu

https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/1996/cislo-6/molekulove-motory.html
https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC2688467/

asociace s mikrotubuly

Kinezin (+), Dynein (-)

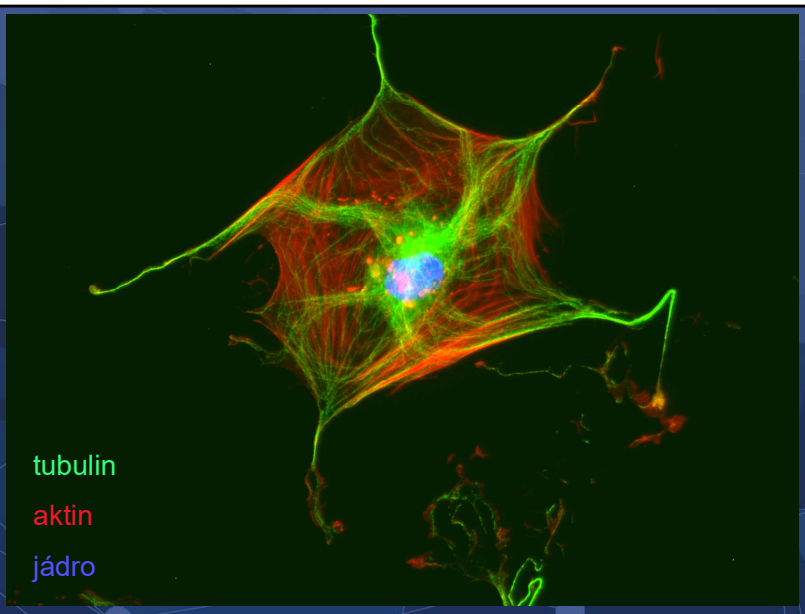
asociace s mikrofilamenty

Myosiny, Rab GTPázy

Rotační motory

ATP syntáza

pohyb bakteriálního bičíku



tubulin

aktin

jádro

Molekulární motory

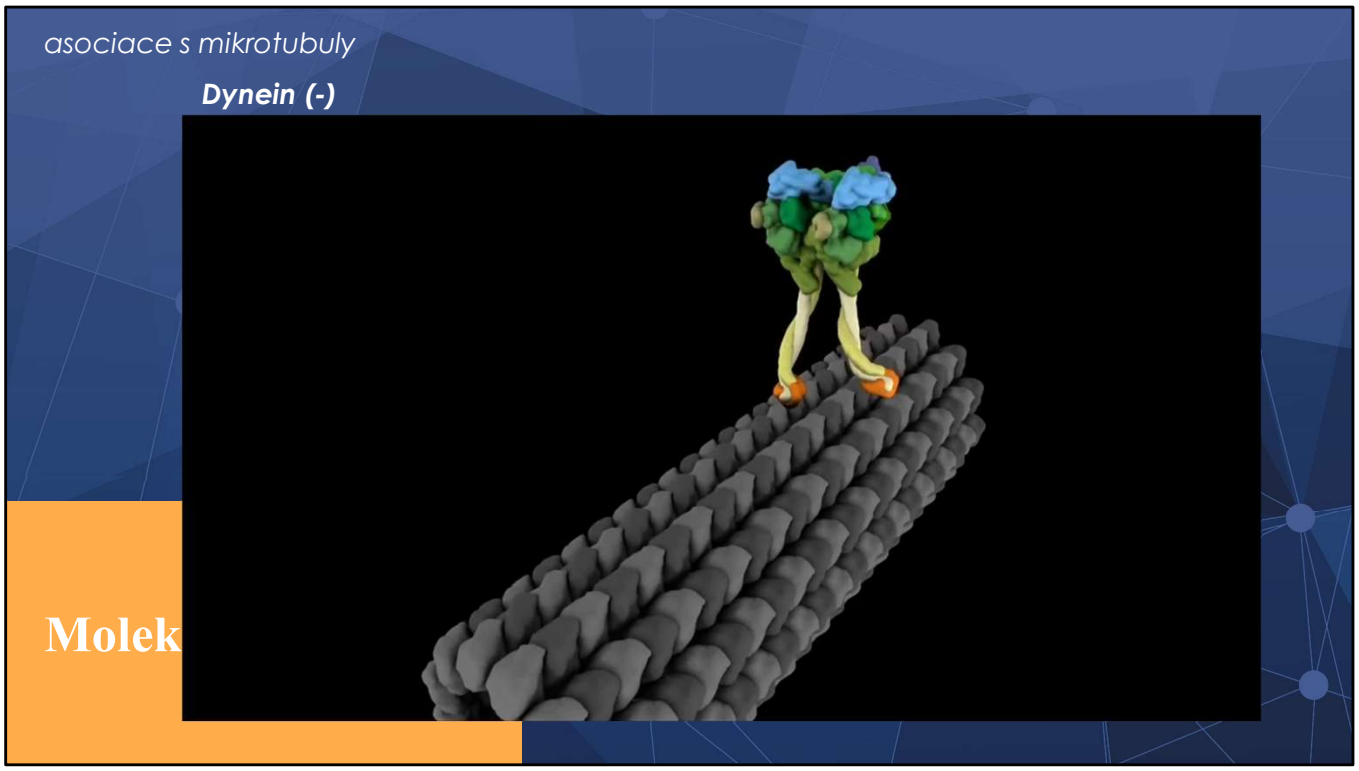
Přeměna chemické energie v mechanickou – změna konformace proteinu

asociace s mikrotubuly

Kinezin (+

Molek

Dynein: https://www.youtube.com/watch?v=-7AQVbrmzFw
Kinesin: https://www.artofthecell.com/



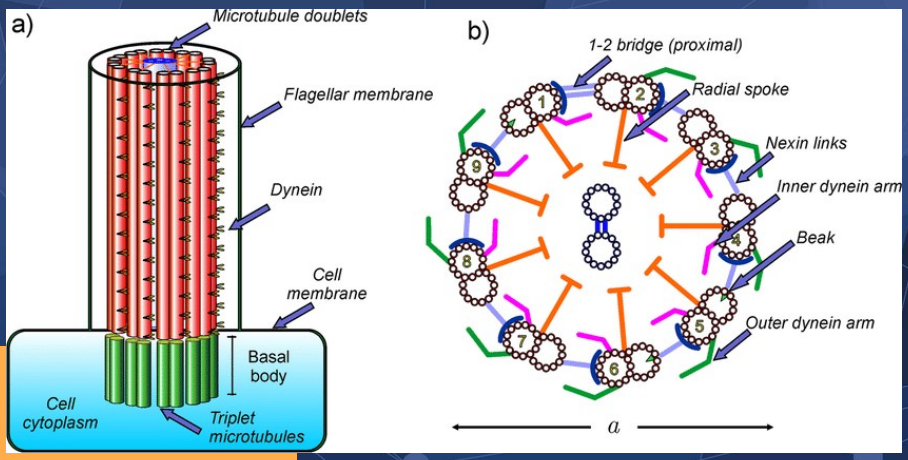
Dynein: https://www.youtube.com/watch?v=-7AQVbrmzFw
Kinesin: https://www.artofthecell.com/

Dynein in flagellum/ cilia: https://www.youtube.com/watch?v=9nZYlyFGm50
https://www.youtube.com/watch?v=wEtRevG3c6I

asociace s mikrotubuly

Dynein (-)

Bičíky a řasinky u eukaryot



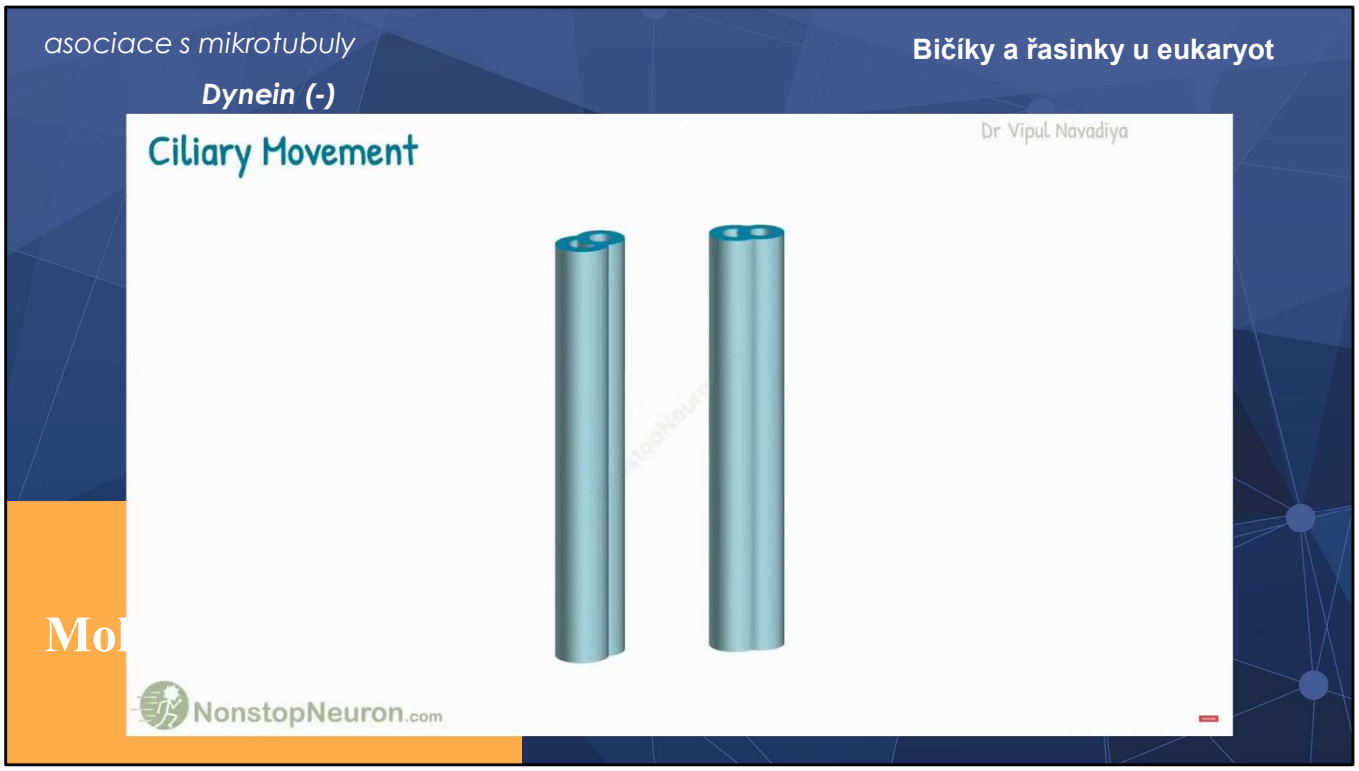
Molekulární motory

Dynein: https://www.youtube.com/watch?v=-7AQVbrmzFw
Kinesin: https://www.artofthecell.com/

Dynein in flagellum/ cilia: https://www.youtube.com/watch?v=9nZYlyFGm50
https://www.youtube.com/watch?v=wEtRevG3c6I

Původ obrázku: https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10863-021-09920-5

Dynein (-)



Dynein: https://www.youtube.com/watch?v=-7AQVbrmzFw
Kinesin: https://www.artofthecell.com/

Dynein in flagellum/ cilia: https://www.youtube.com/watch?v=9nZYlyFGm50
https://www.youtube.com/watch?v=wEtRevG3c6I

Původ obrázku: https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10863-021-09920-5

Vliv zkrácení řasinek: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC2790614/

Menší vliv na pohyb u elektronických cigaret: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5732188/

Počty řasinek: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC2993085/

asociace

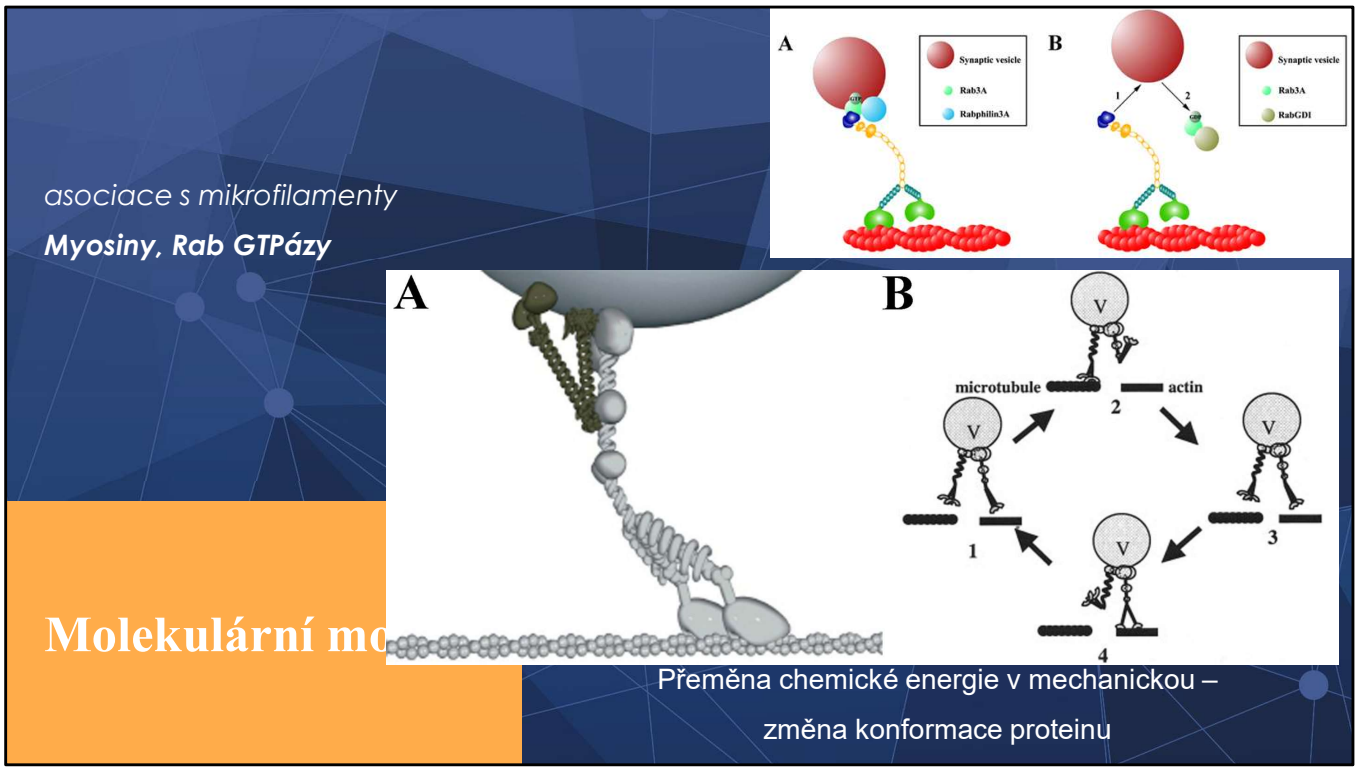
Myosiny,

Molel

Přeměna chemické energie v mechanickou – změna konformace proteinu

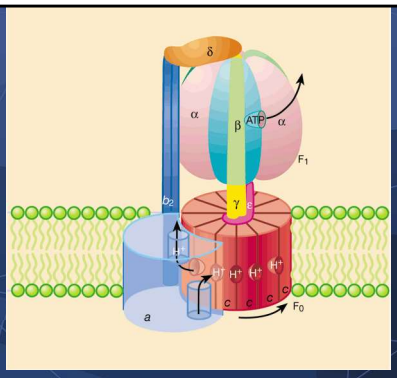
https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/1996/cislo-6/molekulove-motory.html

Pohyb váčků po aktinu https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3783939/



Pohyb váčků po aktinu https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3783939/

https://www.youtube.com/watch?v=4pXNl24SpFc

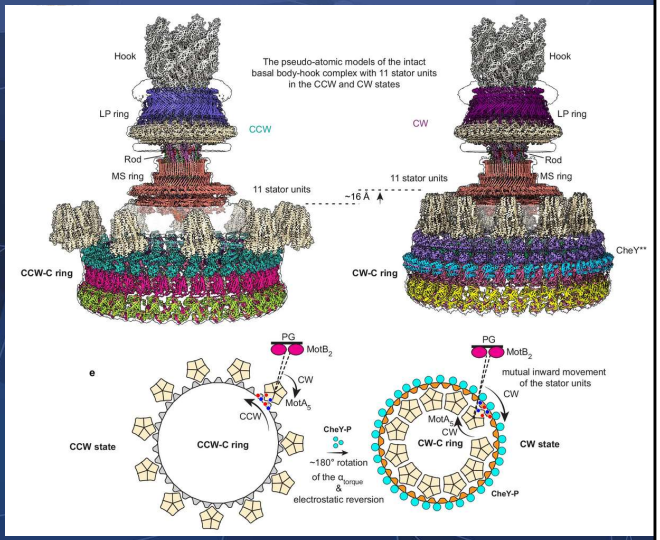


Rotační motory

ATP syntáza

pohyb bakteriálního bičíku

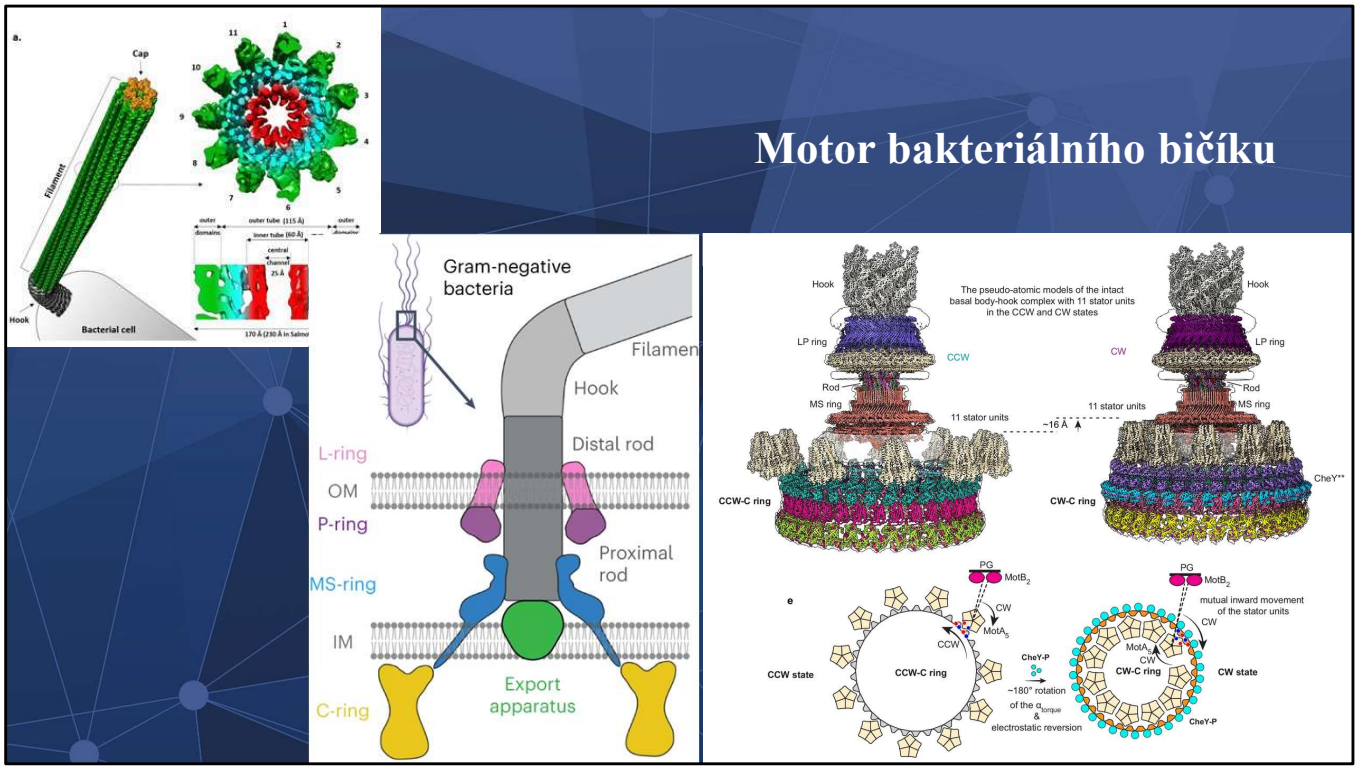
Molekulární motory



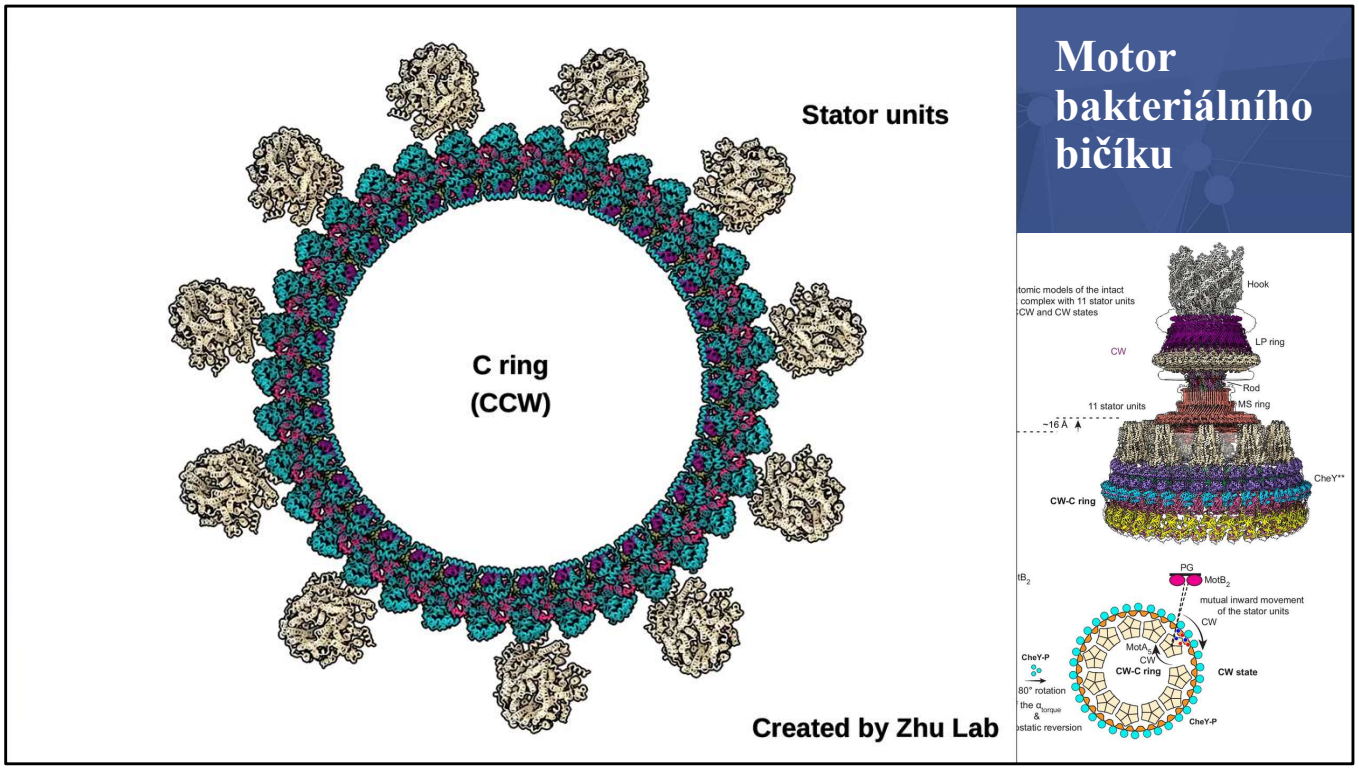
Přeměna chemické energie v mechanickou – změna konformace proteinu

https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/1996/cislo-6/molekulove-motory.html

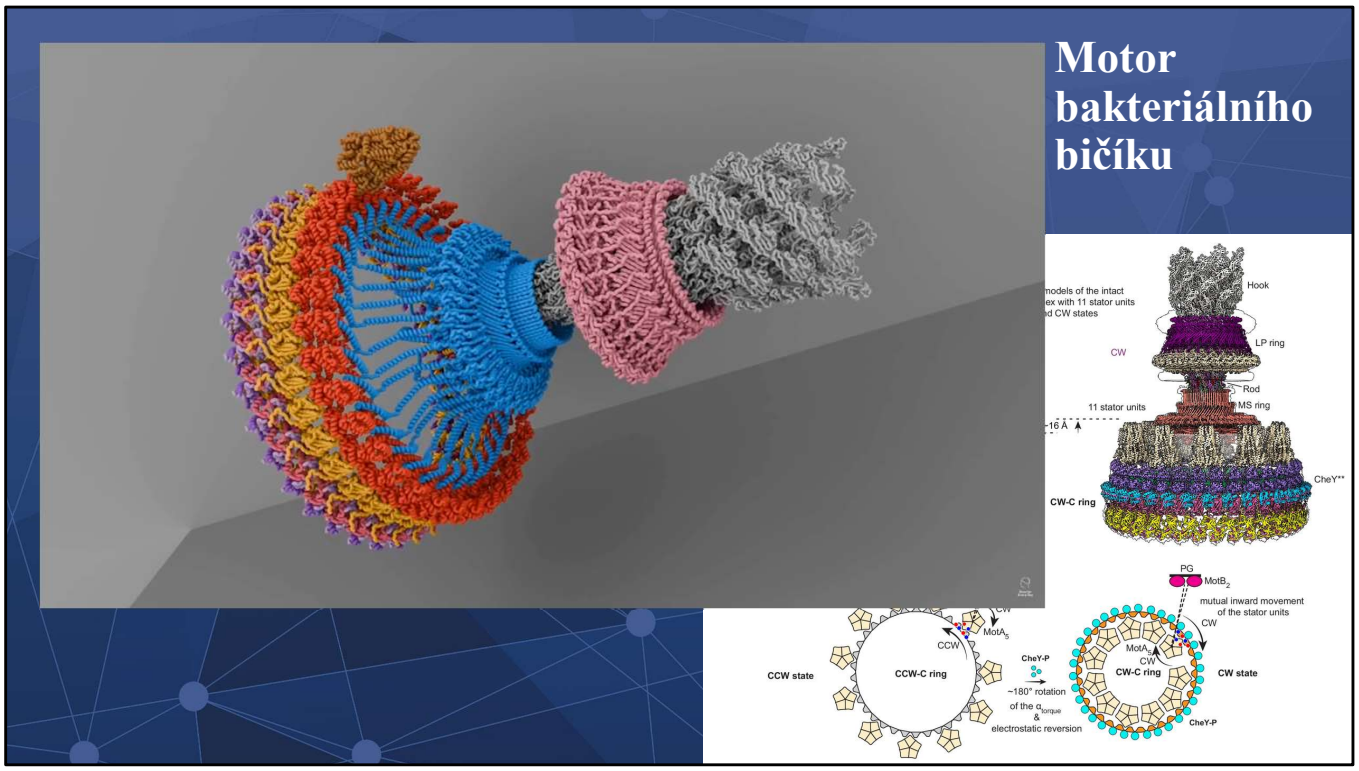
Motor bakteriálního bičíku



https://www.youtube.com/watch?v=VPSm9gJkPxU
https://www.nature.com/articles/s41564-024-01674-1
https://www.nature.com/articles/s41422-024-01017-z
https://encyclopedia.pub/entry/12624



https://www.youtube.com/watch?v=VPSm9gJkPxU
https://www.nature.com/articles/s41564-024-01674-1
https://www.nature.com/articles/s41422-024-01017-z
https://encyclopedia.pub/entry/12624

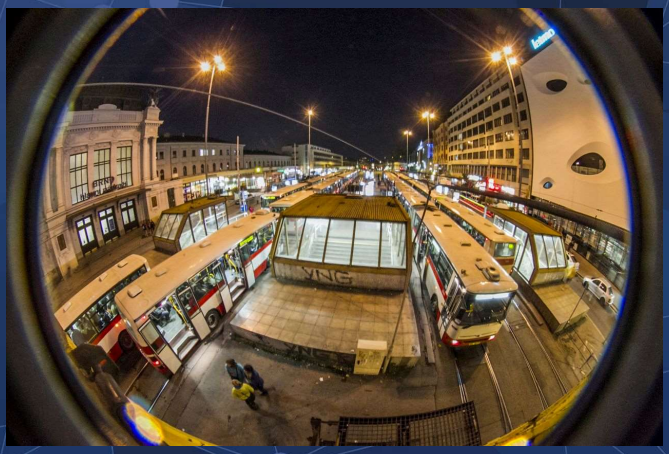


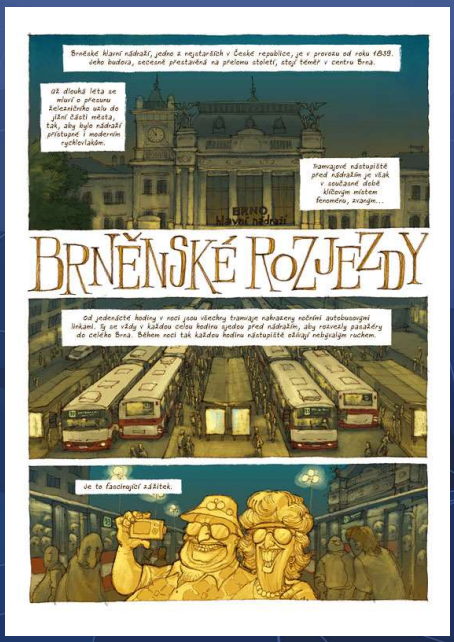
https://www.youtube.com/watch?v=VPSm9gJkPxU
https://www.nature.com/articles/s41564-024-01674-1
https://www.nature.com/articles/s41422-024-01017-z
https://encyclopedia.pub/entry/12624

Energie
Obal
Adresa
Cesty, tratě
Dopravní prostředky
Zpětná vazba?

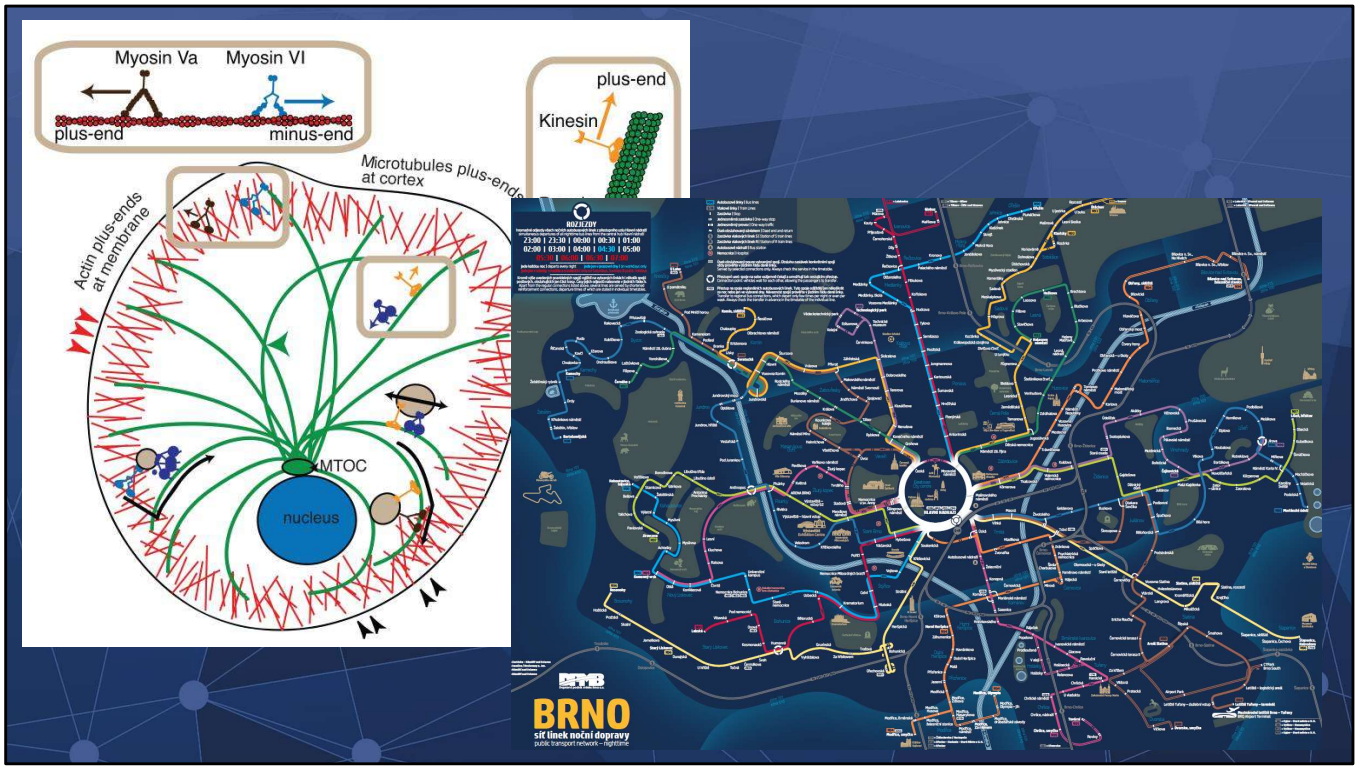
Pohybové buněčné procesy:

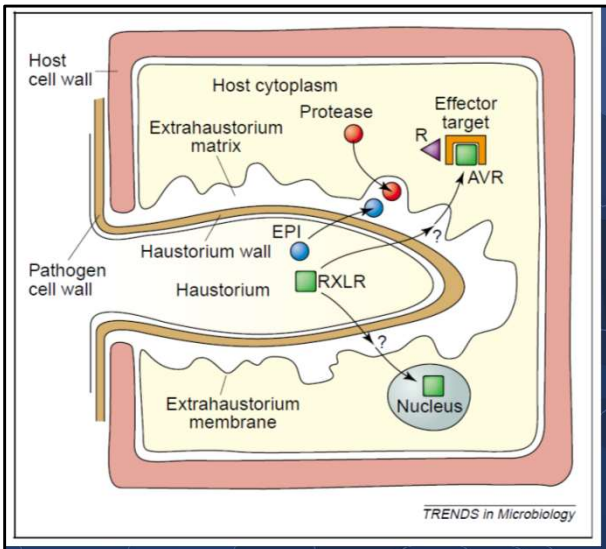
- **Vnitrobuněčný transport organel, membránových váčků**
- **Pohyb chromozómů při dělení buněk**
- **Cytokineze**
- **Lokomoce buněk (améboidní a řasinkový pohyb)**
- **Svalový pohyb**

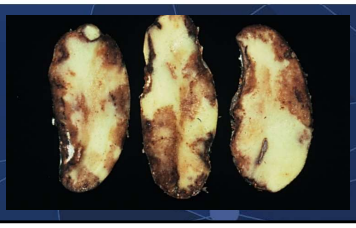




https://www.dasm.cz/clanek/komiks-brnenske-rozjezdy


Myosin Va
Myosin VI
plus-end
minus-end
plus-end
Kinesin
Microtubules plus-ends at cortex
Actin plus-ends at membrane
MTOC
nucleus
BRNO
síť linek noční dopravy
public transport network – nightime





Velký bramborový hladomoru v Irsku 1845 – 1849

plíseň bramborová (Phytophthora infestans)

- *translokace stovek proteinů přes membránu*
- *proteiny s motivem RXLR (Arginin-any AA-Leucin-Arginin), obdoba proteinů u malárie*
- *Narušení Rab GTPáz – blokace transportu obranných mechanismů (superoxidové anionty, proteázy)*
- *Zablokování senzoru pro Ca^{2+} – nespuštění přísunu iontů potřebných pro reorganizaci cytoskeletu*

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0966842X05003124?ref=cra_js_challenge&fr=RR-1
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1016847824001833 primárně *P. capsici*
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0898656824000688 review o působení patogenů na osu Calcium signaling-cytoskeleton-immune response
https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2019.00374/full proteiny vážící calmodulin
Jak zkoumat funkce aktinu:
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168945298002386 blokace polymerizace aktinu cytochalasinem B

Děkuji za pozornost

Děkuji za pozornost

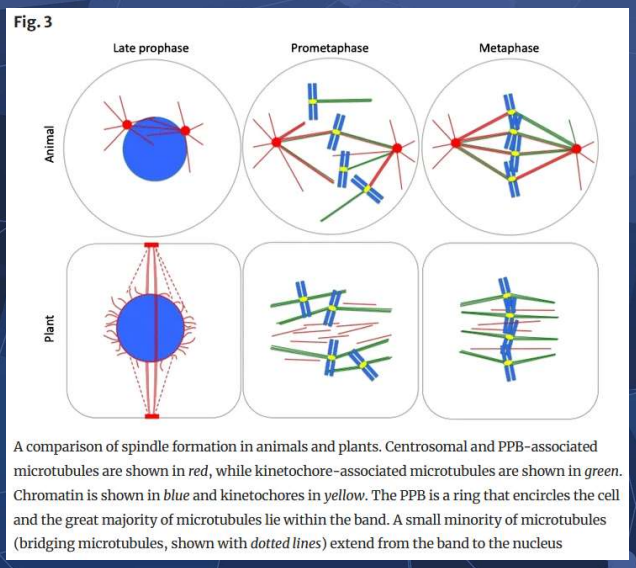
Zpětná vazba

slido.com
#6728 731

Odpovědi

Co nahrazuje centrozomy u rostlin?

Před mitózou se u rostlin objeví prstenec mikrotubulů a aktinových filament pod plazmatickou membránou → tzv. předprofázní pás (The preprophase band – PPB). PPB vymezuje budoucí místo dělení.
Během pozdní profáze je PPB nahrazeno acentriolárním mitotickým vřeténkem.
Tedy mikrotubuly mají více center mitotického vřeténka. V těchto centrech hraje důležitou roli γ-tubulin, tedy stejná izoforma tubulinu, kterou lze najít i v živočišných MTOC.



A comparison of spindle formation in animals and plants. Centrosomal and PPB-associated microtubules are shown in *red*, while kinetochore-associated microtubules are shown in *green*. Chromatin is shown in *blue* and kinetochores in *yellow*. The PPB is a ring that encircles the cell and the great majority of microtubules lie within the band. A small minority of microtubules (bridging microtubules, shown with *dotted lines*) extend from the band to the nucleus

https://link.springer.com/article/10.1007/s10577-011-9190-y#Sec3
https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC1475493/
https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.1912240116

Odpovědi

Je nějaká alternativa cytoskeletu u prokaryot?

Ano, některé analogické vláknité proteiny mají (byť já jsem o nich dosud neslyšel, nebo mi neutkvěly v paměti).

- protein FtsZ (filamentation temperature-sensitive protein Z) – jako homolog tubulinu
- proteiny MreB, Mbl, ParM – homology aktinu
- protein CreS (Crescentin), Bactofilin – homolog středních filament

Funkce je podle všeho podobná – role v určování polarity buněk, udržování (změna) tvaru, funkce při dělení.

Nejsou ovšem známy (zatím, či podrobněji) homology molekulárních motorů a popsané jsou tak funkce závislé na polymerizaci a depolymerizaci vláken.

https://en.wikipedia.org/wiki/Prokaryotic_cytoskeleton
https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC1681361/
https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3088616