

Cytologie II

Buněčné organely, inkluze, mezibuněčná spojení, buněčný cyklus (mitóza, meióza), diference buněk

Buněčné organely

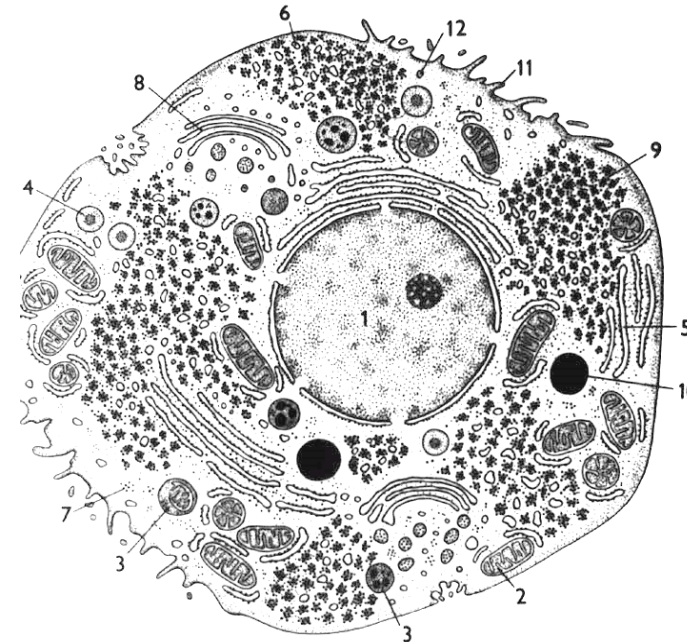
jsou konstantní součásti cytoplazmy
vyžadují přísun energie k vykonávání svých funkcí

Membránové

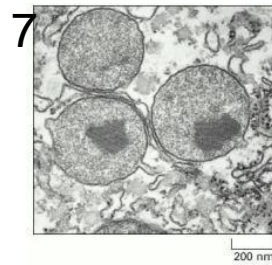
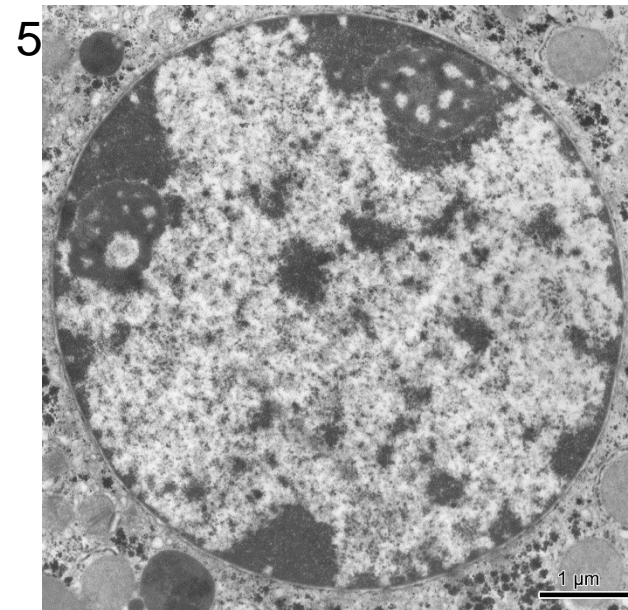
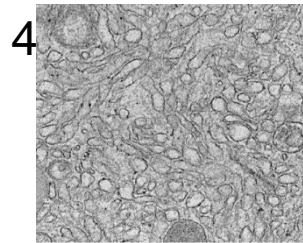
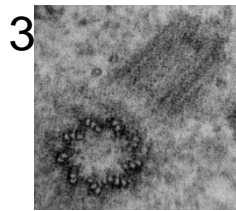
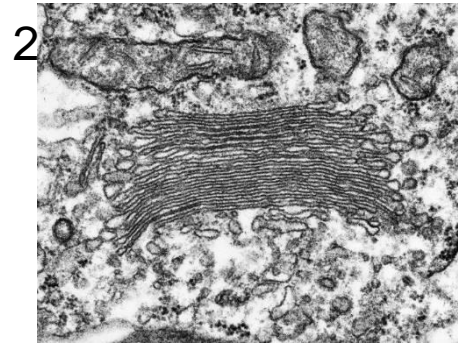
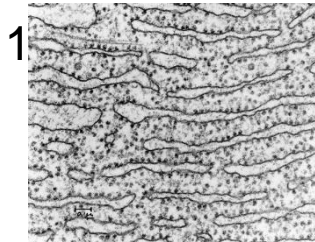
- Mitochondrie
- Endoplazmatické retikulum
(drsnné a hladké)
- Golgiho aparát
- Lyzosomy a endosomy
- Peroxisomy

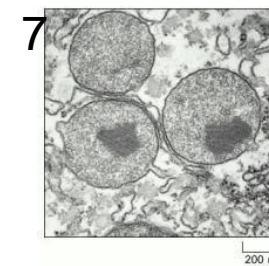
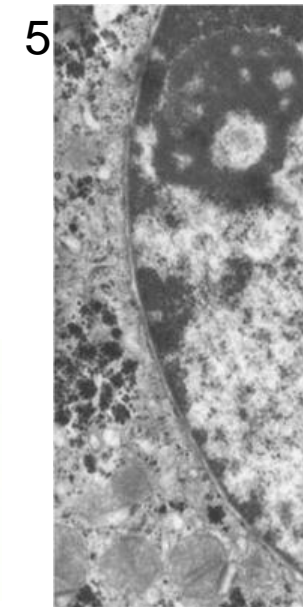
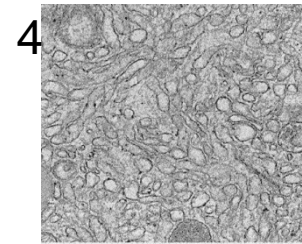
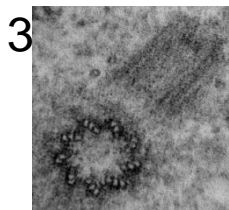
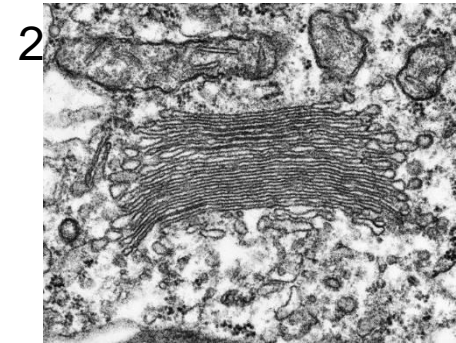
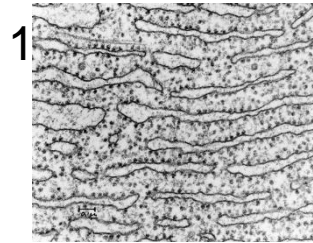
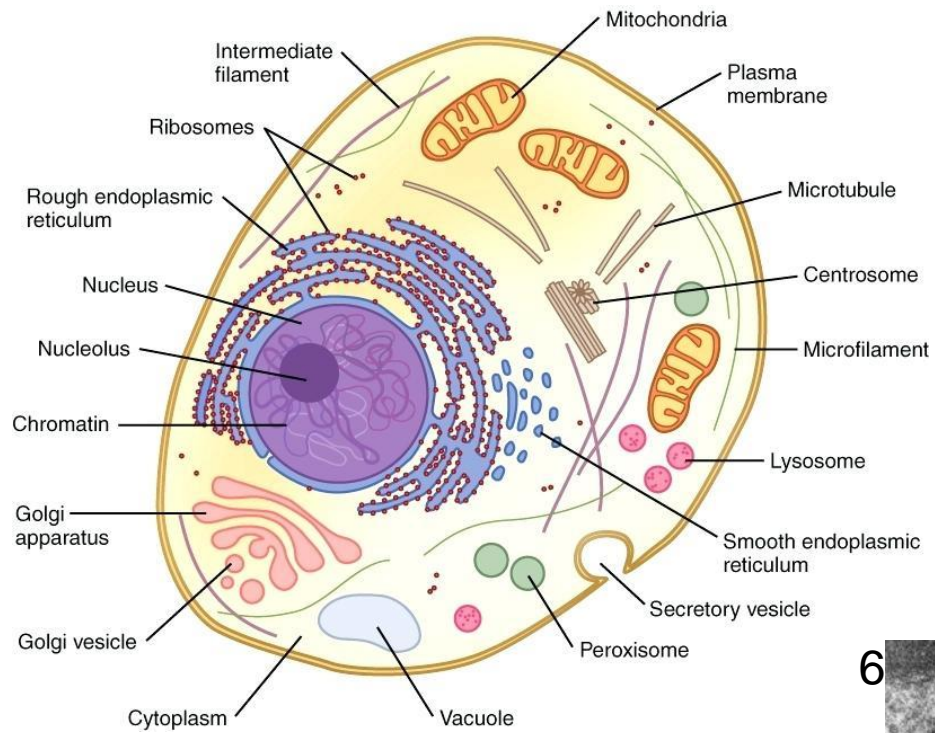
Bez membrány

- Ribosomy
- Centrioly



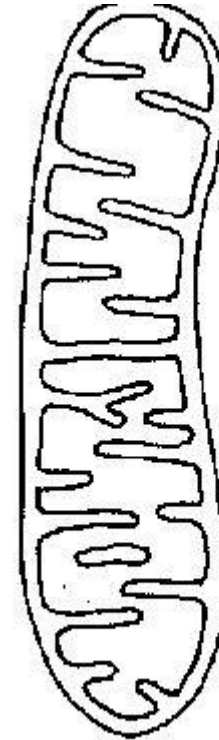
Přiřadte názvy k očíslovaným strukturám





Mitochondrie

- tvar: kulatý, oválný (až vláknitý)
- velikost: $\varnothing \sim 0,5 \mu\text{m}$, délka 1-10 μm
- počet: různý dle metabolické aktivity buňky a jejich nároků na dodání energie (*např. v jaterní buňce 1000 – 2000 mitochondrií*)
- nové mitochondrie vznikají dělením stávajících



Stavba mitochondrie

- zevní membrána (hladká)
- vnitřní membrána s kristami
- matrix (DNA, RNA, ribosomy, enzymy) – semiautonomie
- mitochondriální tělíska (osmiofilní)

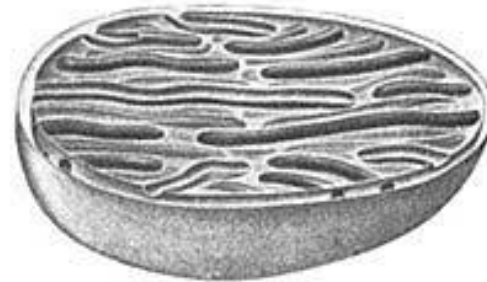


Mitochondriální kristy

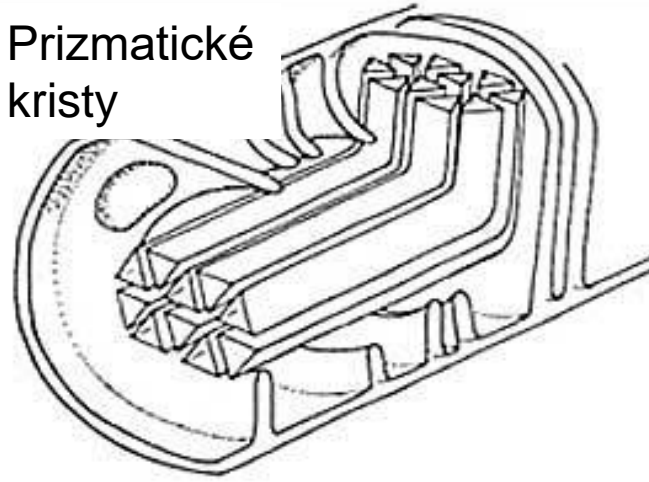
Hřebenovité (listovité) kristy

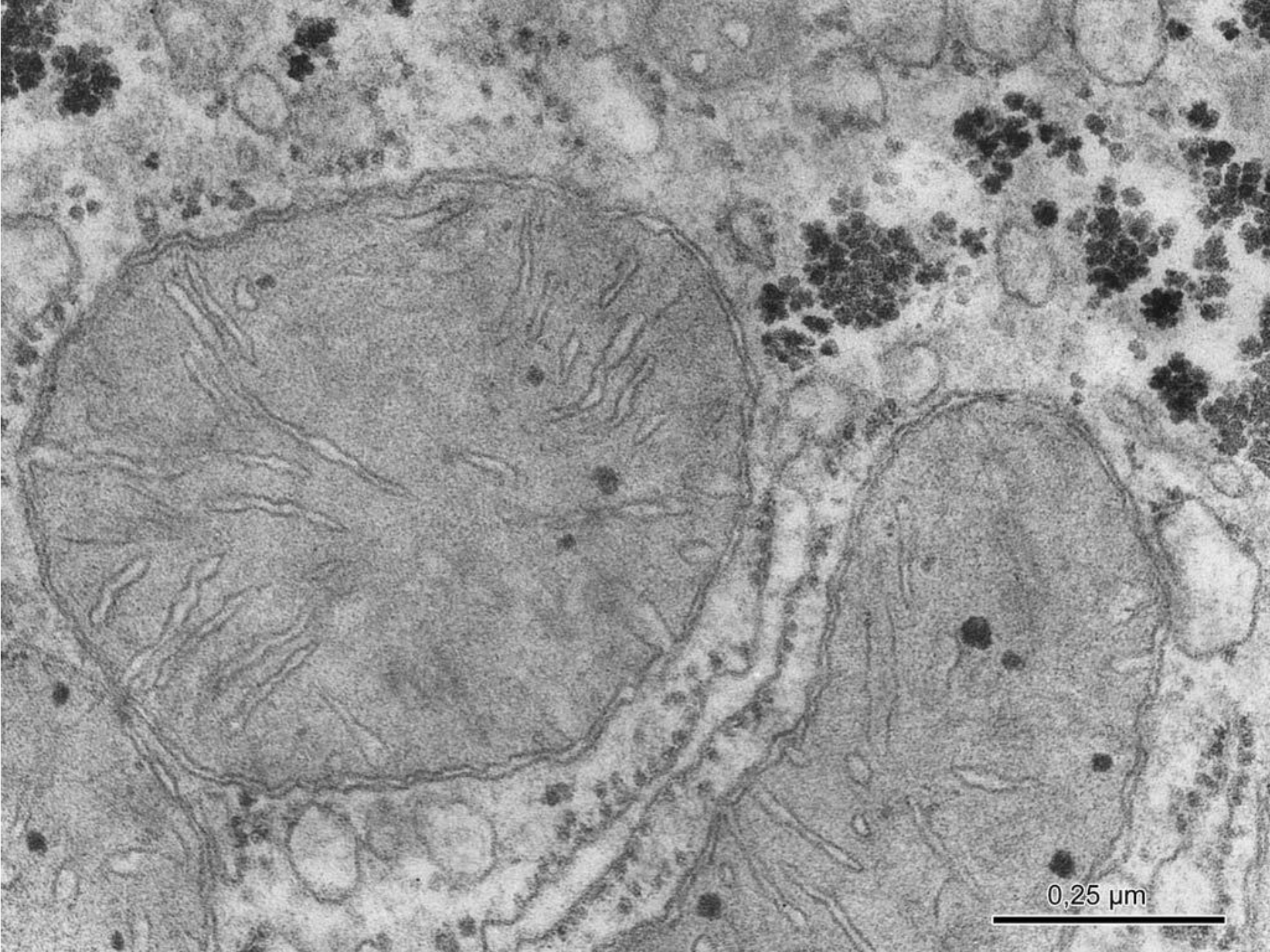


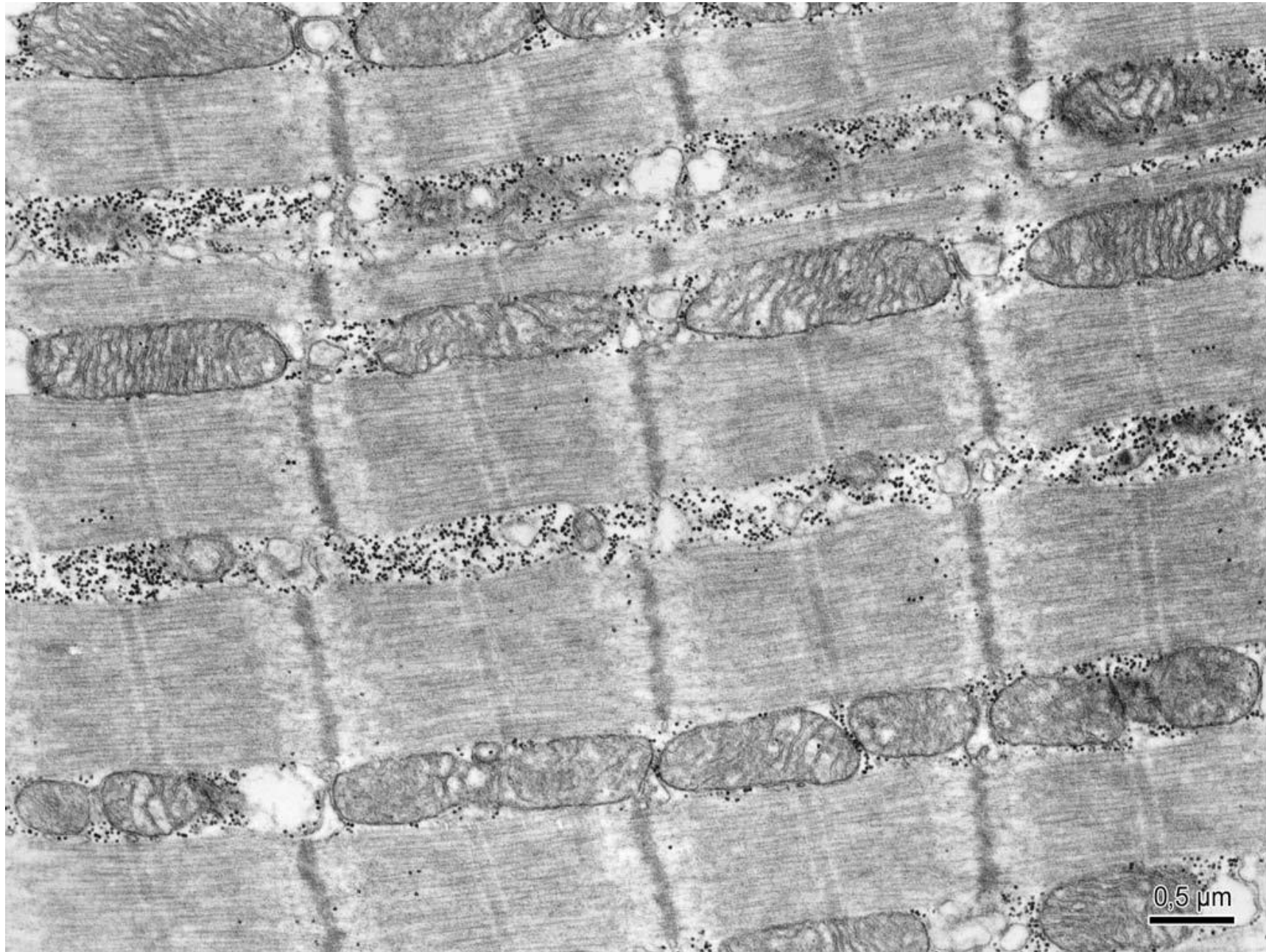
tubulózní kristy

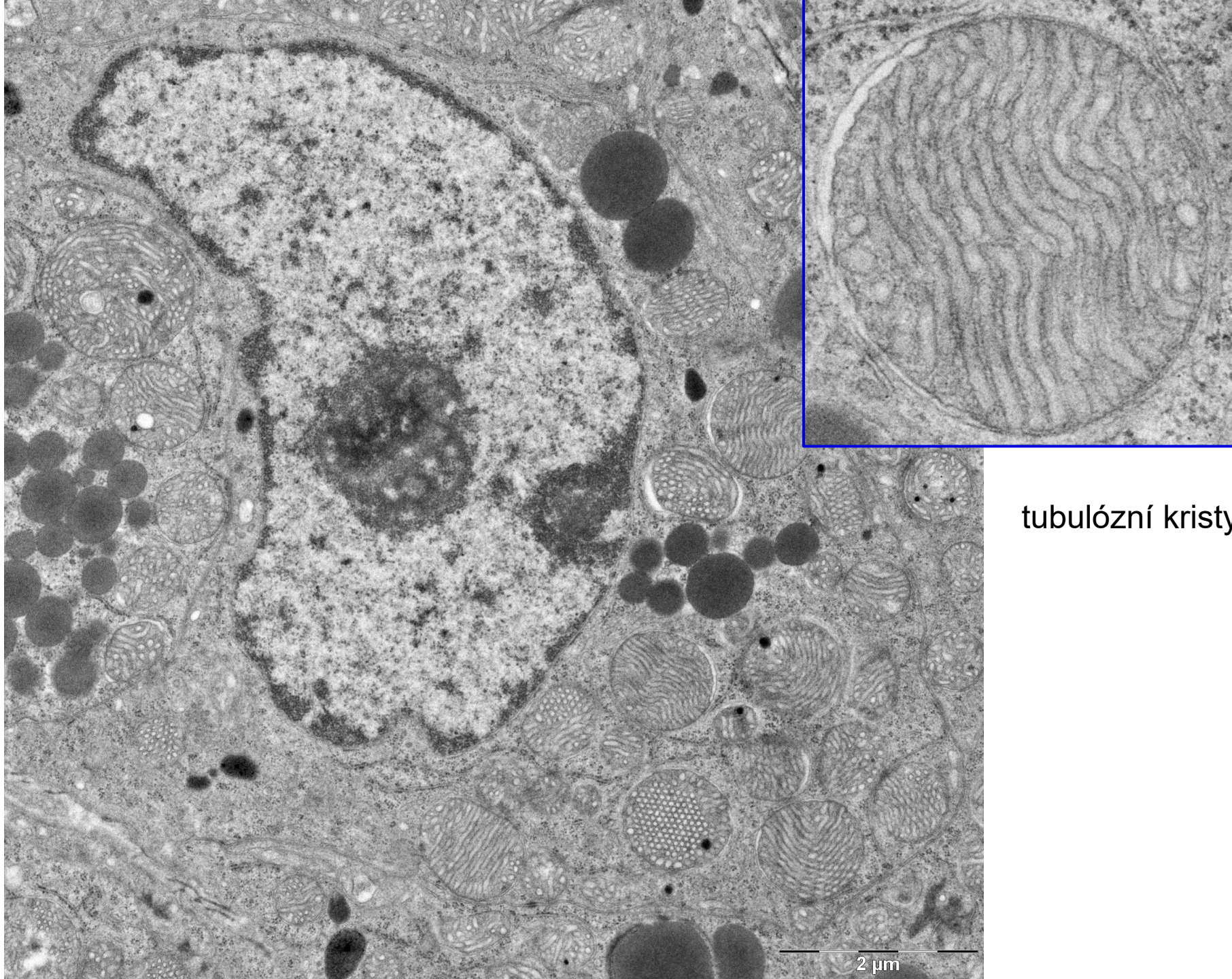


Prizmatické kristy









tubulózní kristy

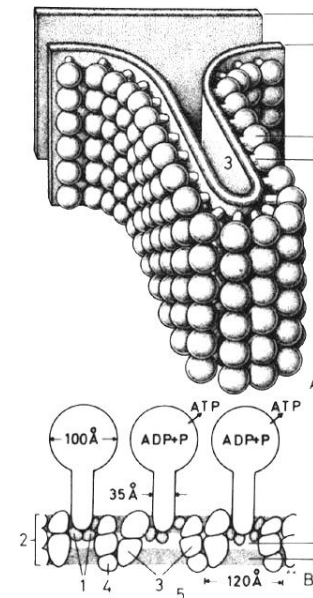
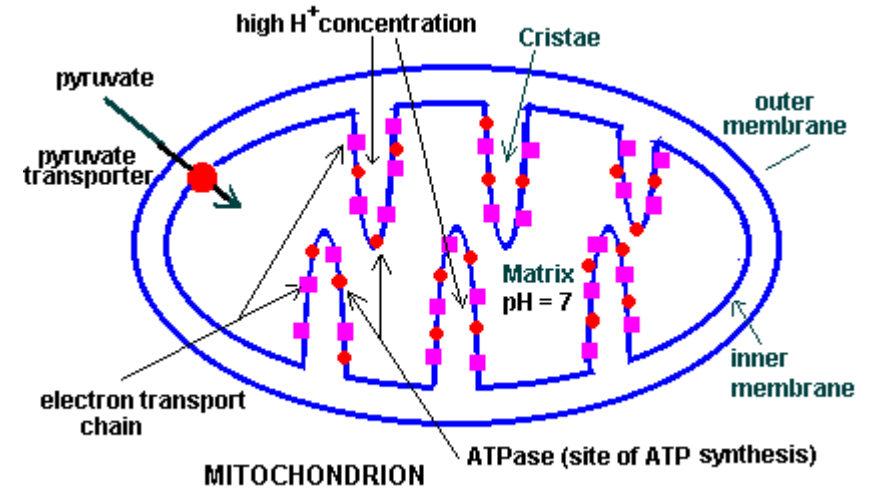
Funkce mitochondrií

v matrix:

- enzymy Krebsova (citrátového) cyklu
- β -oxidace mastných kyselin
- dekarboxylace pyruvátu

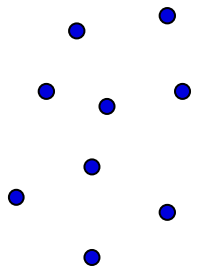
na vnitřní membráně:

dýchací řetězec, **oxidativní fosforylace** (ATP-syntáza)

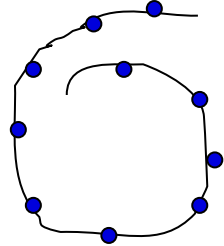


Ribosomy

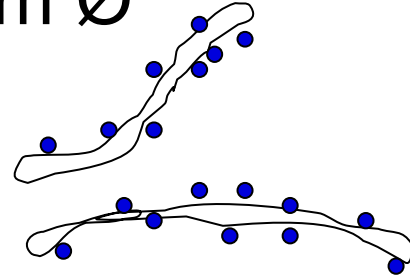
- tělísko složené ze 2 podjednotek
- rRNA + proteiny
- velikost ribosomu: ~20-25 nm Ø



volné
ribosomy

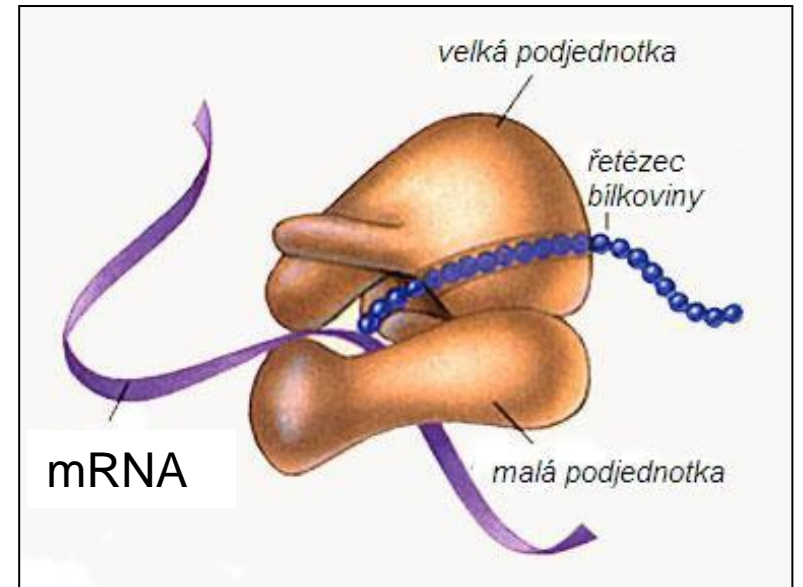


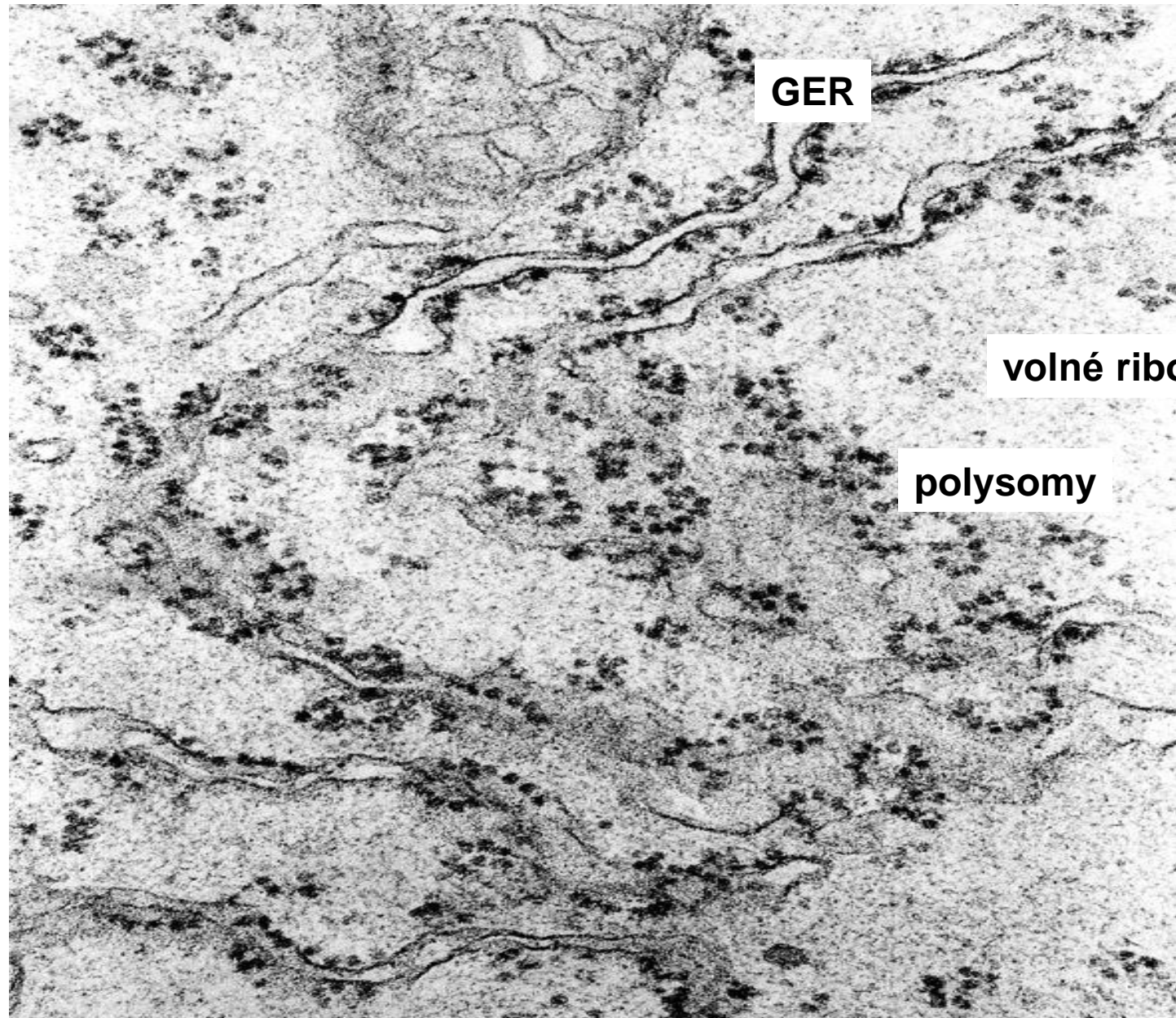
poly(ribo)somy



ribosomy na
endoplazmatickém
retikulu

Proteosyntéza „pro buňku“ a „na export“ (např. žlázné bb.) nebo jako součást membrán





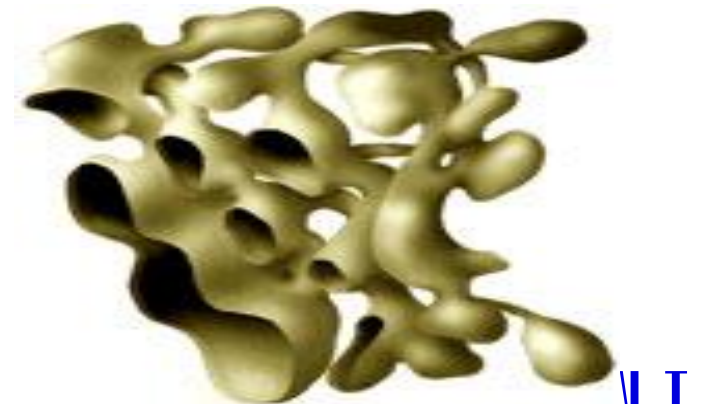
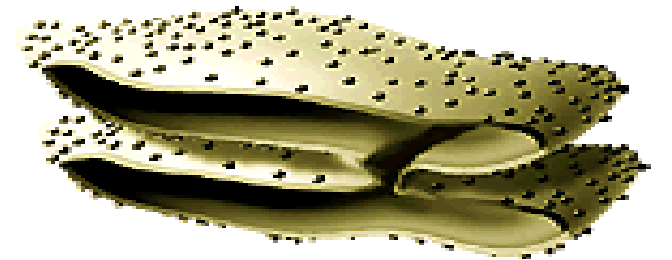
GER

volné ribosomy

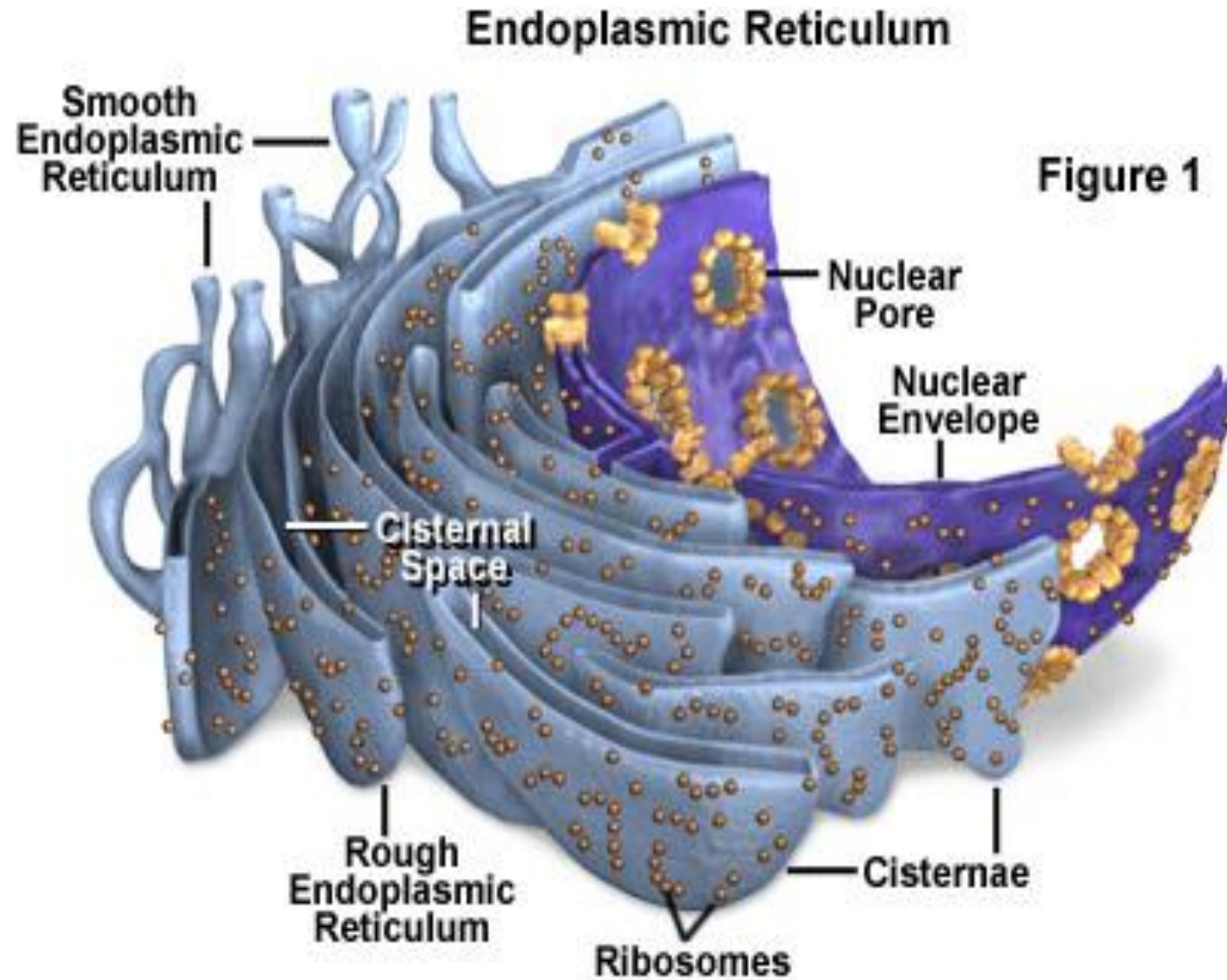
polysomy

Endoplazmatické retikulum (ER)

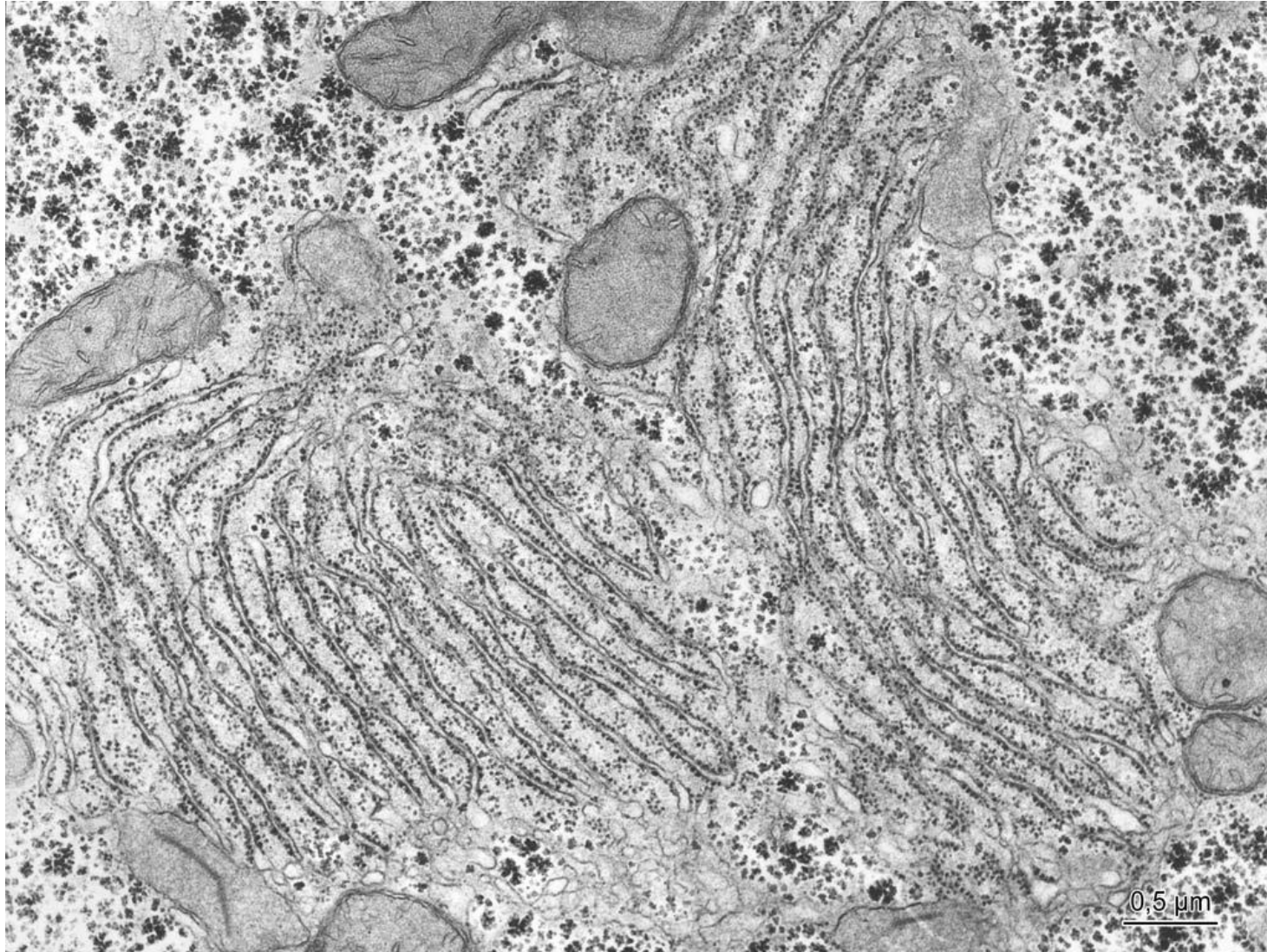
- členitý 3D systém membrán, v cytoplazmě buňky – 2 formy:
- **zrnité (granulární) ER – GER:**
 - systém plochých, anastomozujících cisteren + (poly)ribosomy reverzibilně vázané na membránu
- **hladké (agranulární) ER – AER:**
 - systém tubulů a váčků s membránou bez ribosomů

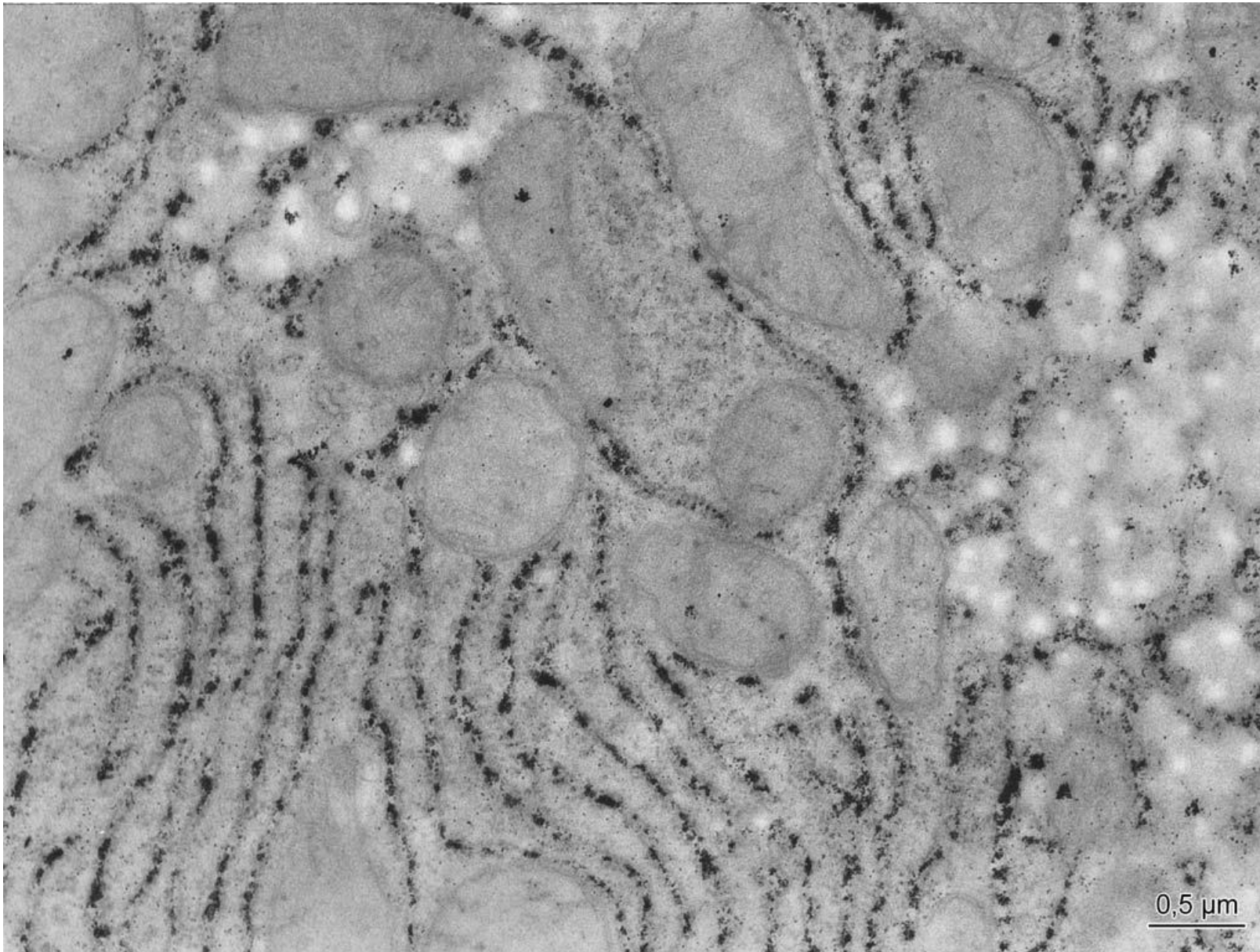


Komunikace GER s perinukleárním prostorem jaderného obalu



Zrnité (granulární) endoplazmatické retikulum (GER)

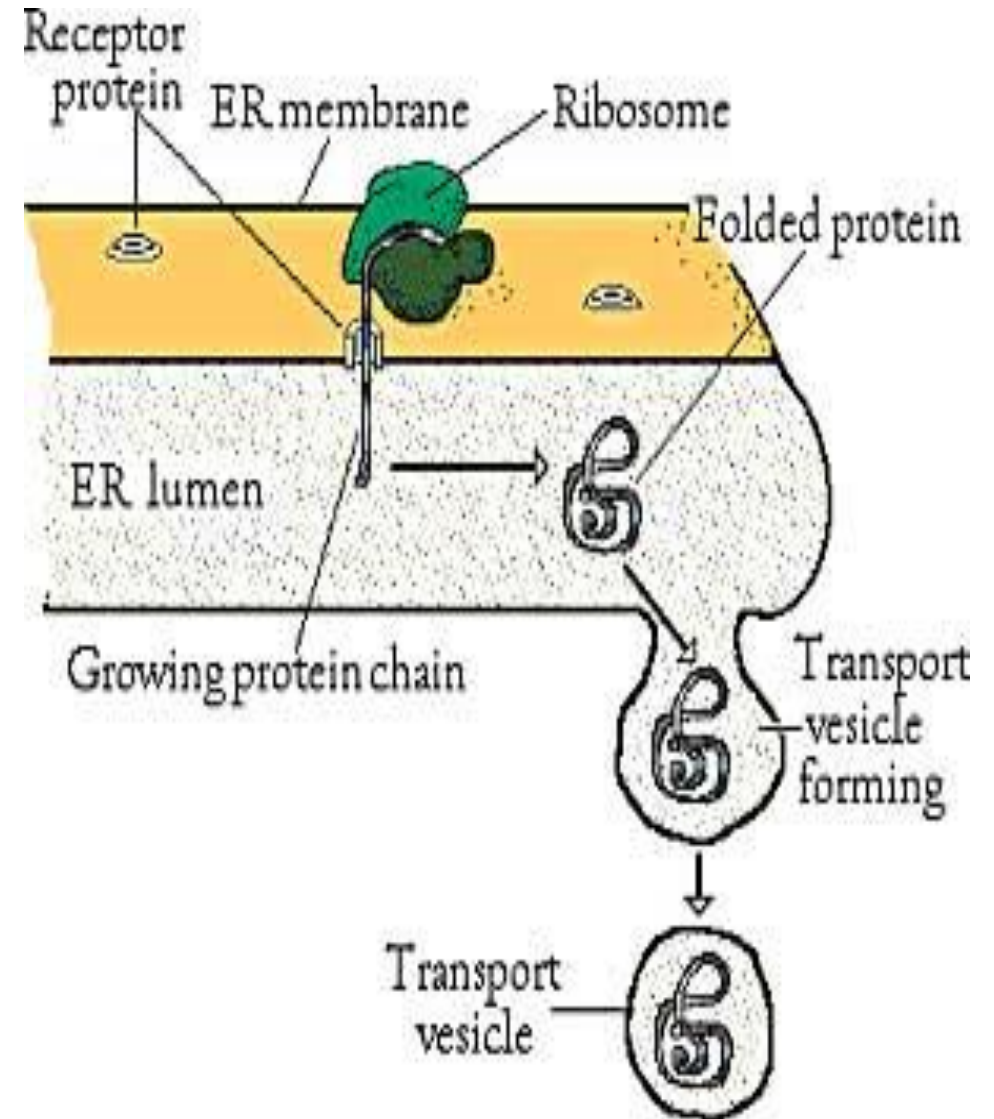




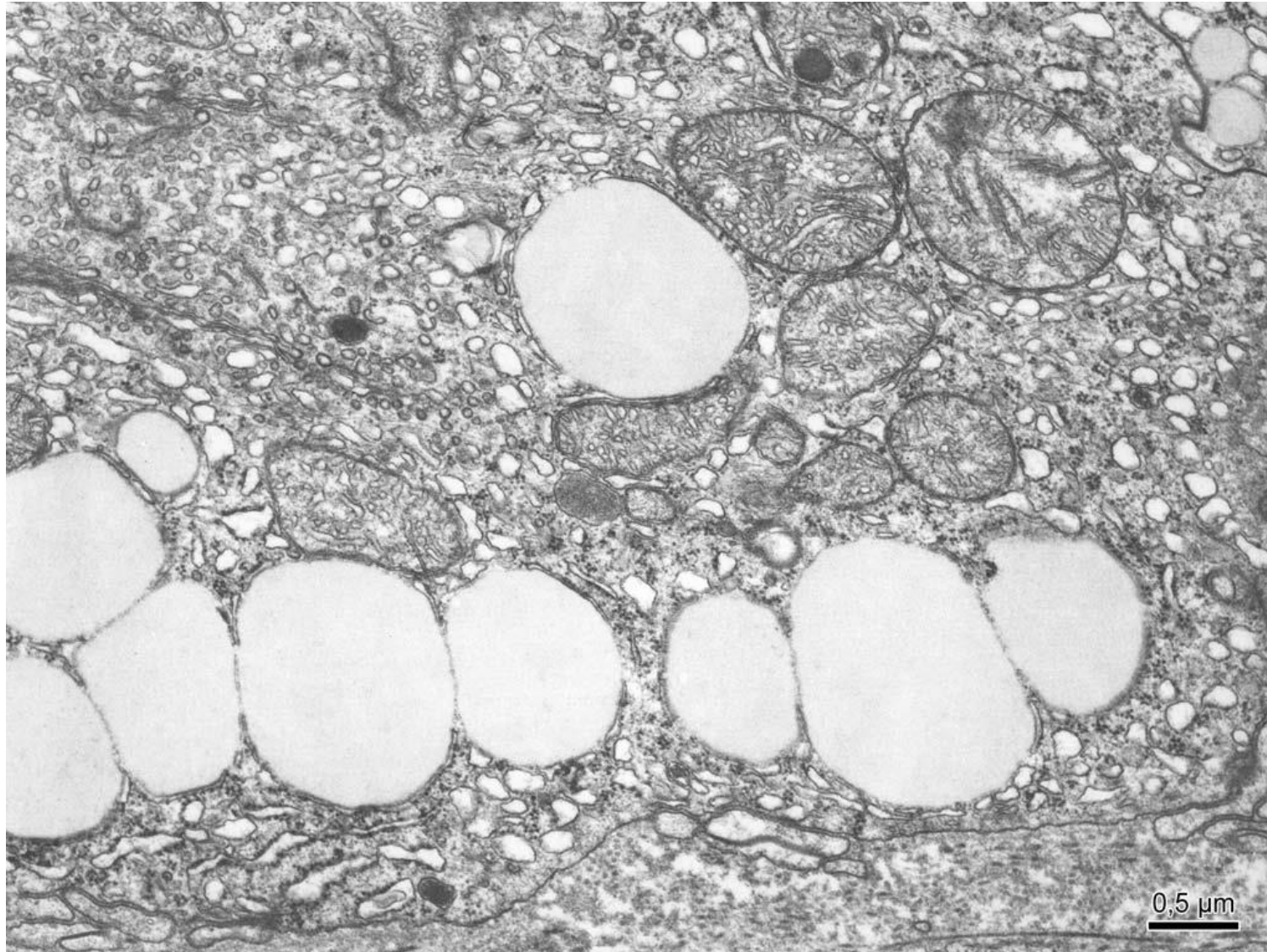
Cisterny drsného ER pozitivní na glukózo-6-fosfatázu
Glukozo-6-fosfatasa je jedním z enzymů účastnících se procesu tvorby glukózy.

Funkce zrnitého ER

- **Proteosyntéza** a posttranslační modifikace a skládání a následný transport proteinů do Golgiho aparátu (**transportními váčky**) nebo do membrán
- Intercelulární uskladnění proteinů ve specifických (leukocyty) a pro transport mimo buňku (**sekreční granula**)
- Produkce peroxisomů



Hladké (agranulární) endoplazmatické retikulum (AER)

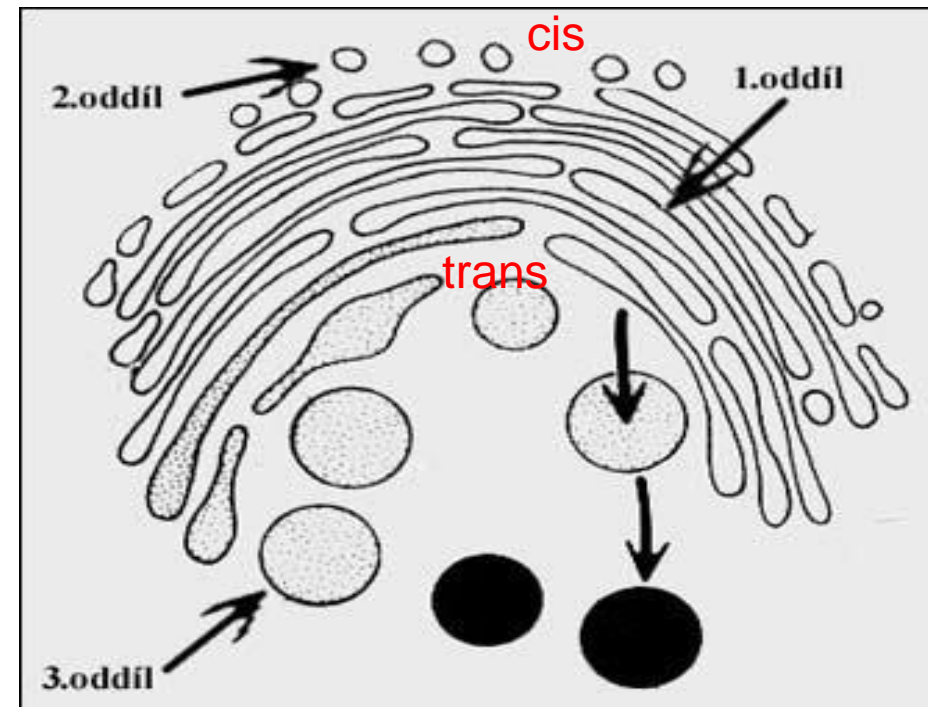
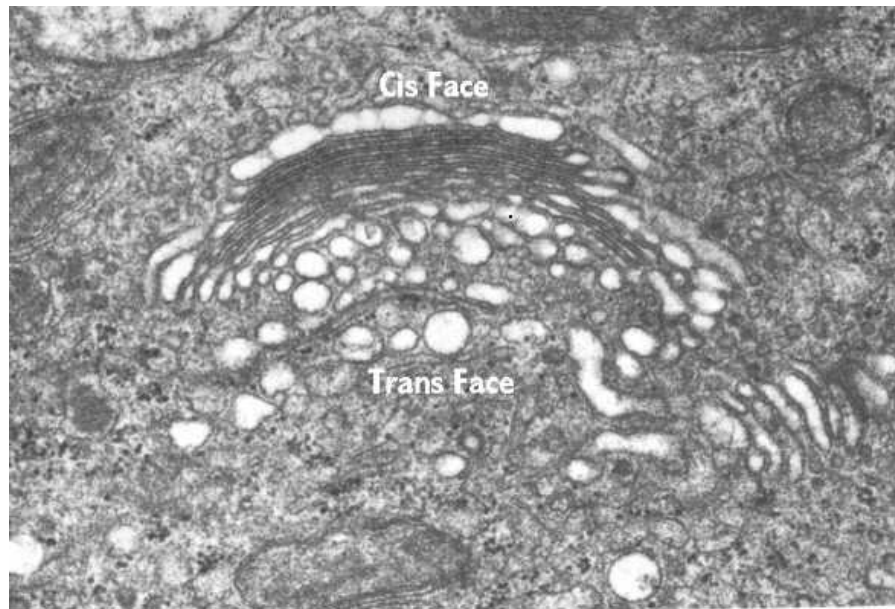
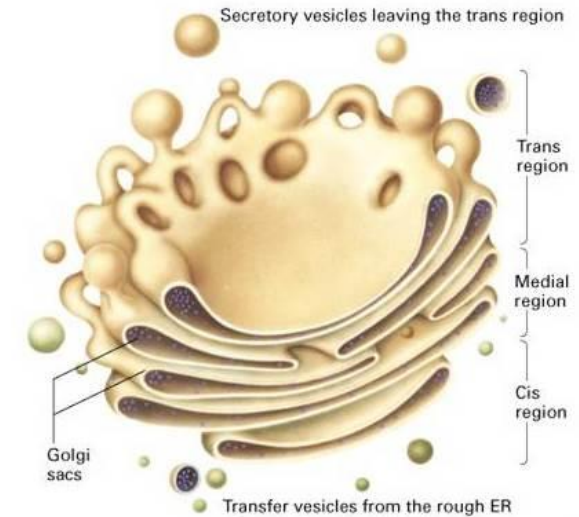


Funkce hladkého ER

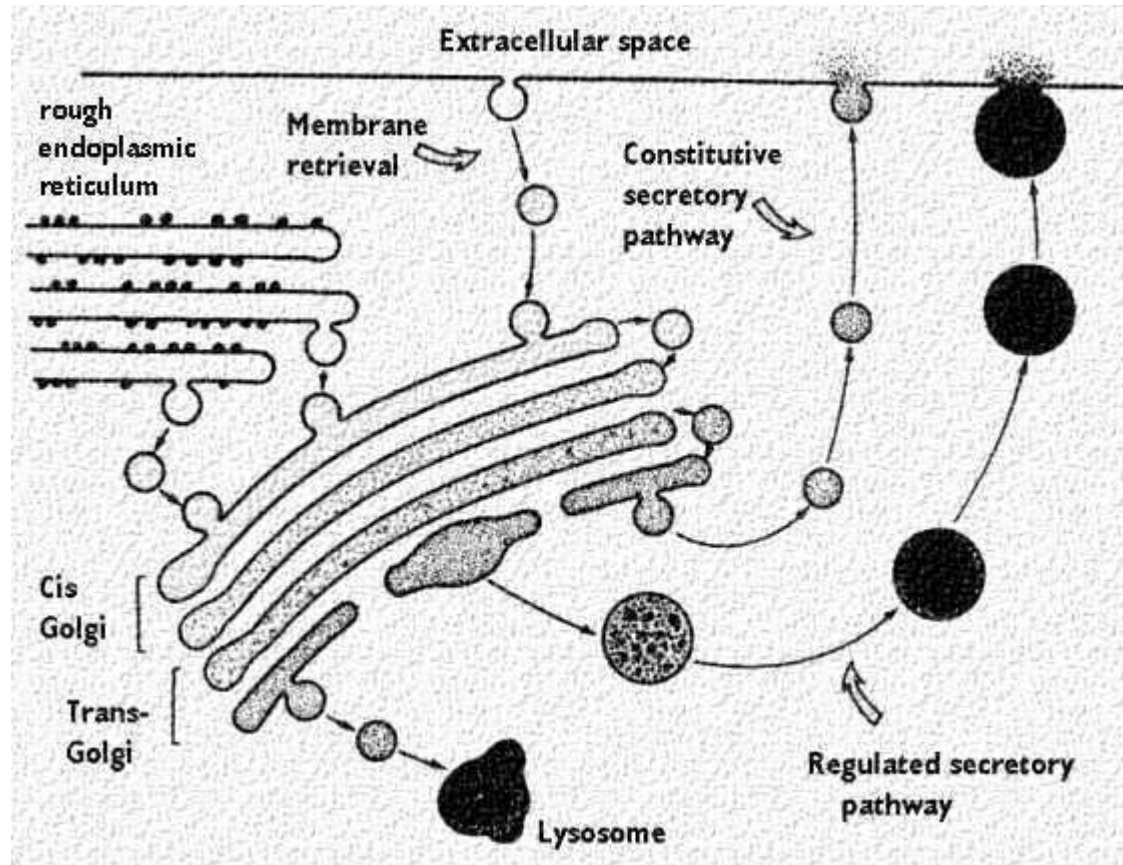
- syntéza **lipidů** včetně fosfolipidů a steroidních hormonů
- **detoxikační procesy** (jaterní buňky)
- **sarkoplazmatické retikulum** ve svalových buňkách (Ca^{2+})

Golgiho aparát (GA)

- Systém hladkých membrán ohraničujících:
cisterny (3-10) a **vesikuly**
- Polarita GA: *cis*
trans



Funkční polarita GA



Transport proteinů z GER:
transportními váčky

Strana konvexní – **cis**
(produkční)

Strana konkávní – **trans**
(maturační)

kondenzační vakuoly

sekreční zrna

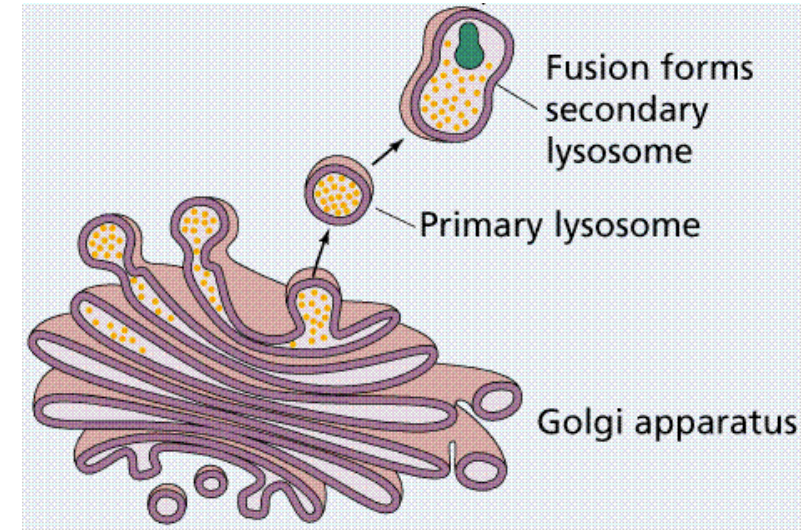
lyzosity

Funkce GA

- posttranslační úprava a maturace proteinů
(glykosylace, sulfatace, fosforylace)
- kondenzace a skladování sekrečních produktů
⇒ kondenzační vakuoly, sekreční granula
- vznik lysozomů
- vznik akrozomálního váčku při přeměně spermatidy ve spermii
- donor membrán

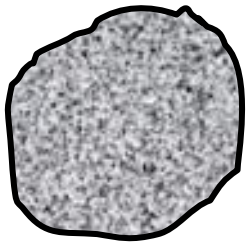
Lyzosomy

- váčky – jednoduchá membrána,
- matrix s **hydrolytickými enzymy** kyselého pH (kys. fosfatáza, karboxylesterhydrolázy, katepsiny, hyaluronidáza, nespecifická esteráza, lipáza, ribonukleáza, kolagenáza aj.)



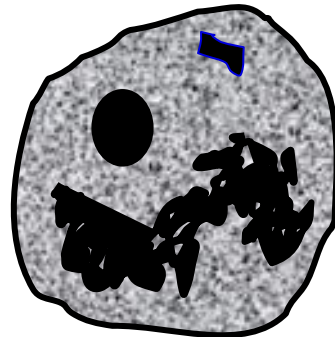
Lyzosomy

primární Ly

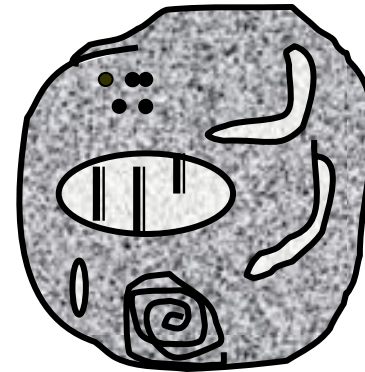


sekundární Ly

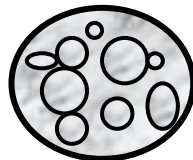
fagosomy



autofagická vakuola

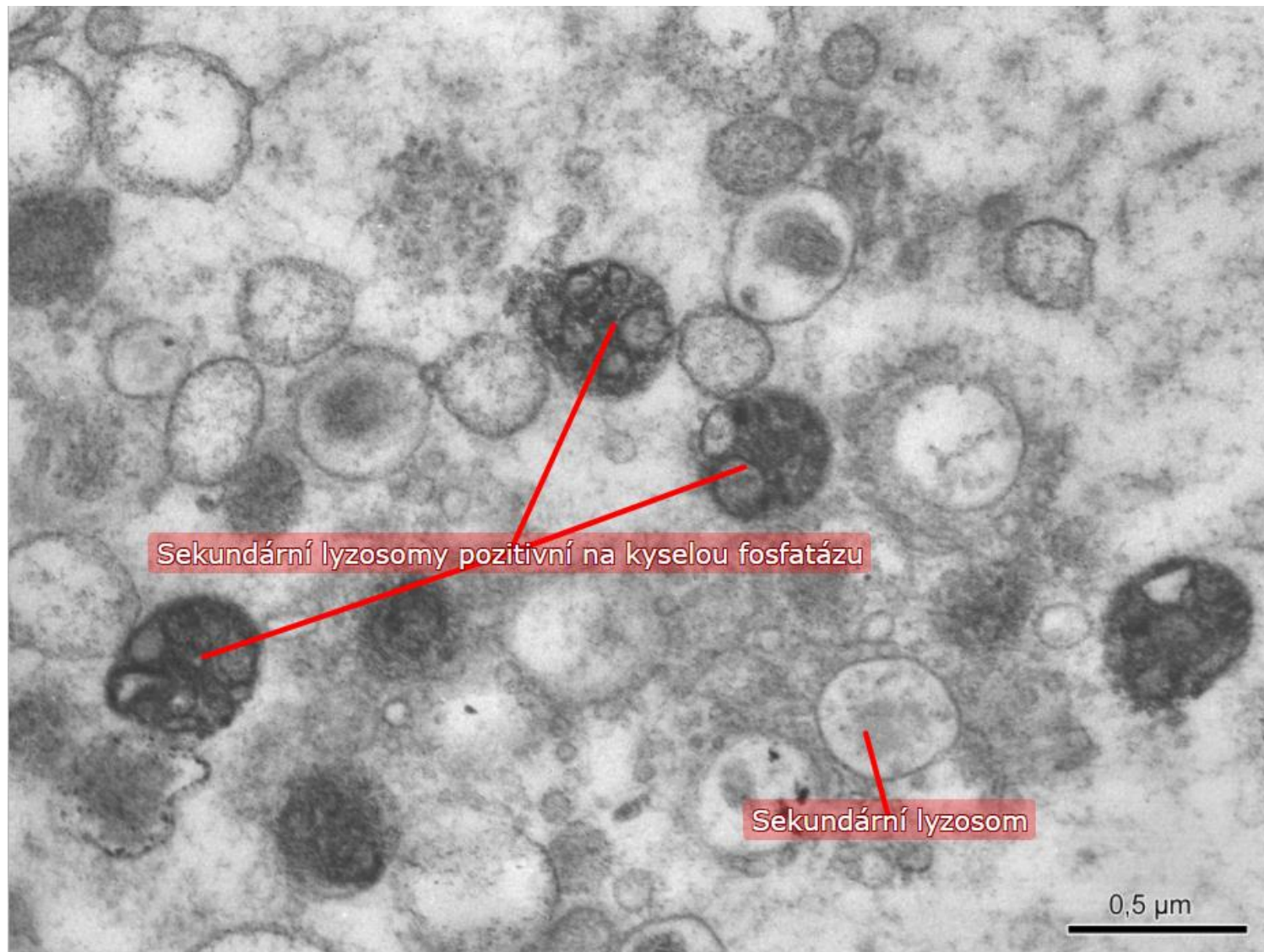


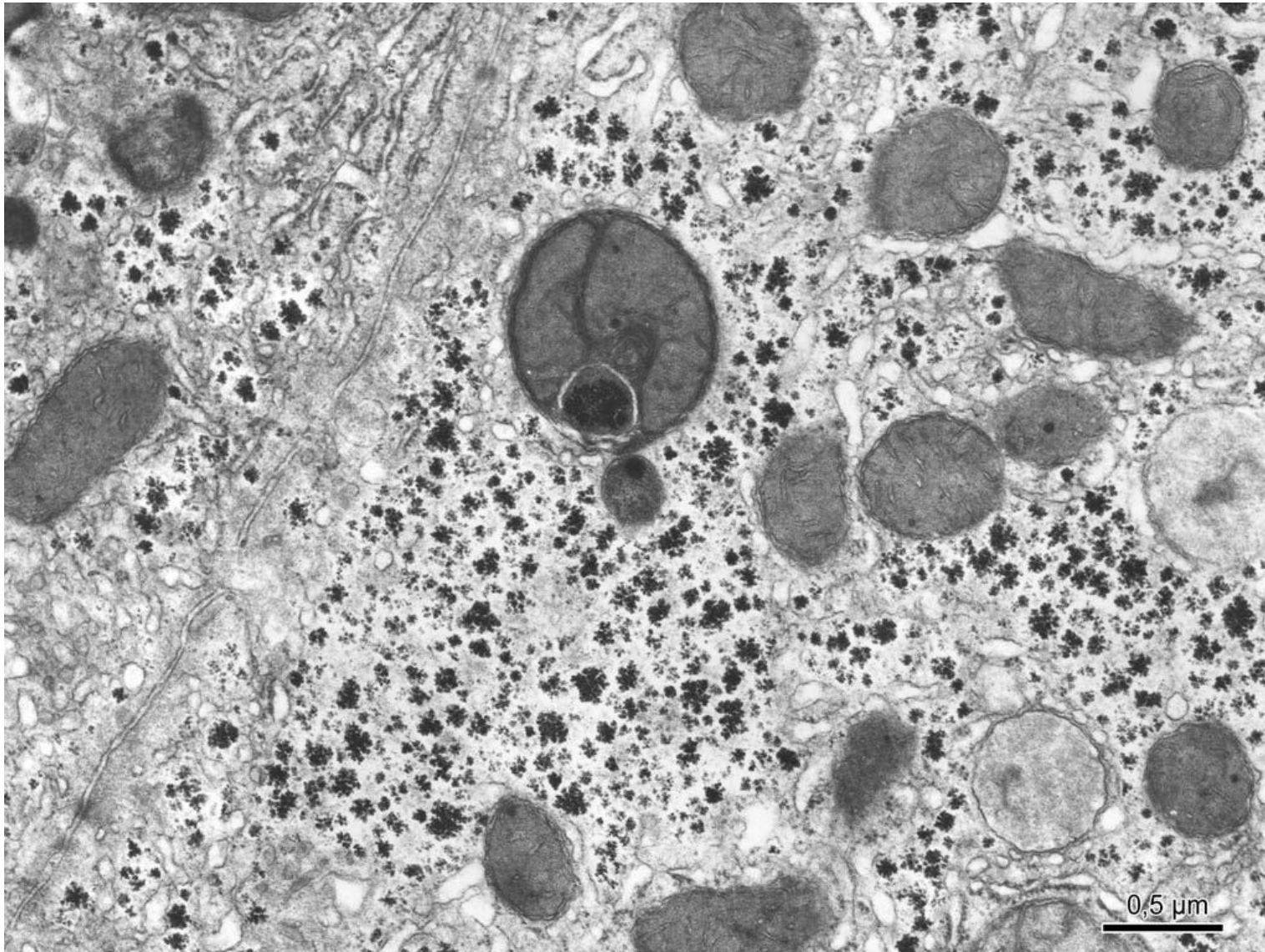
multivesikulární tělísko



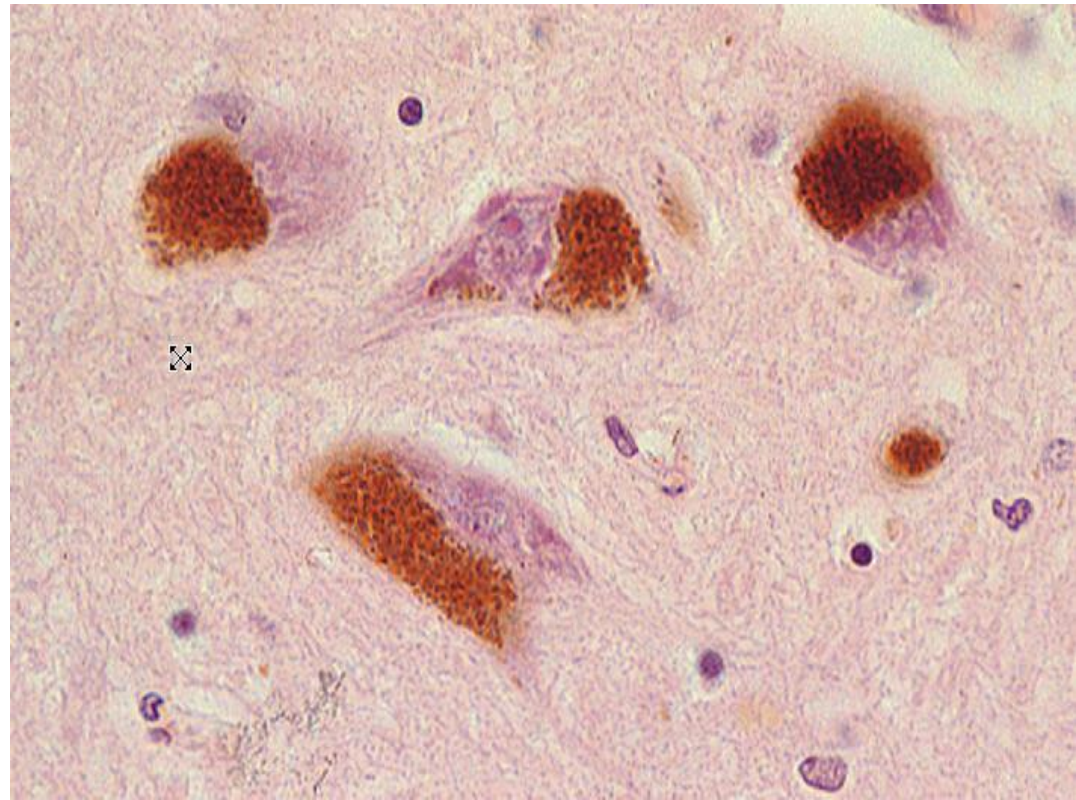
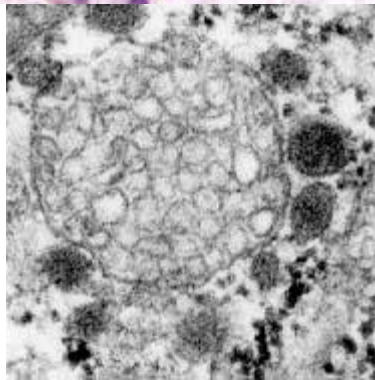
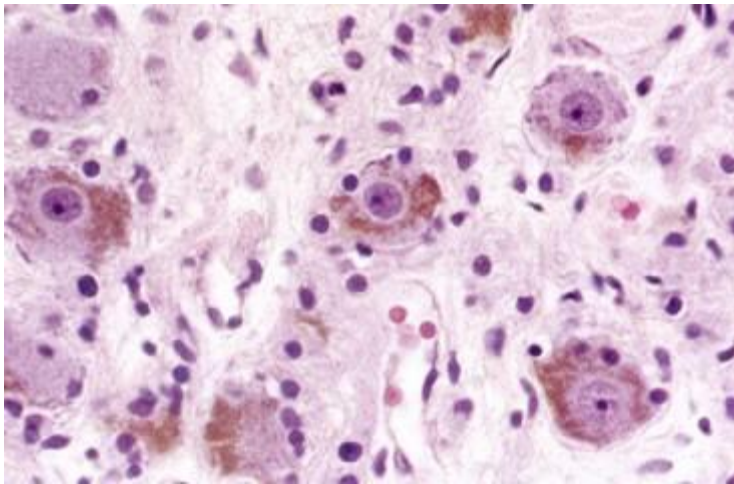
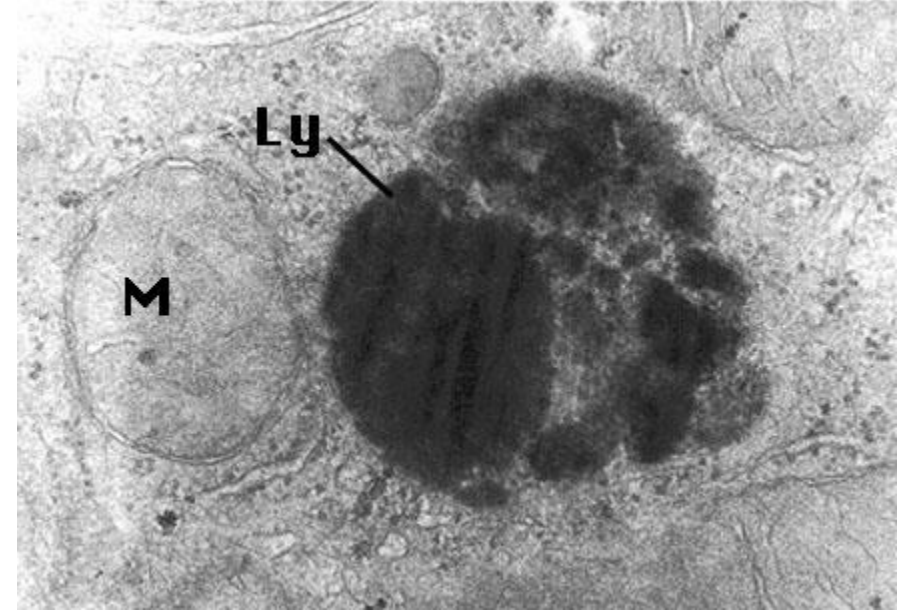
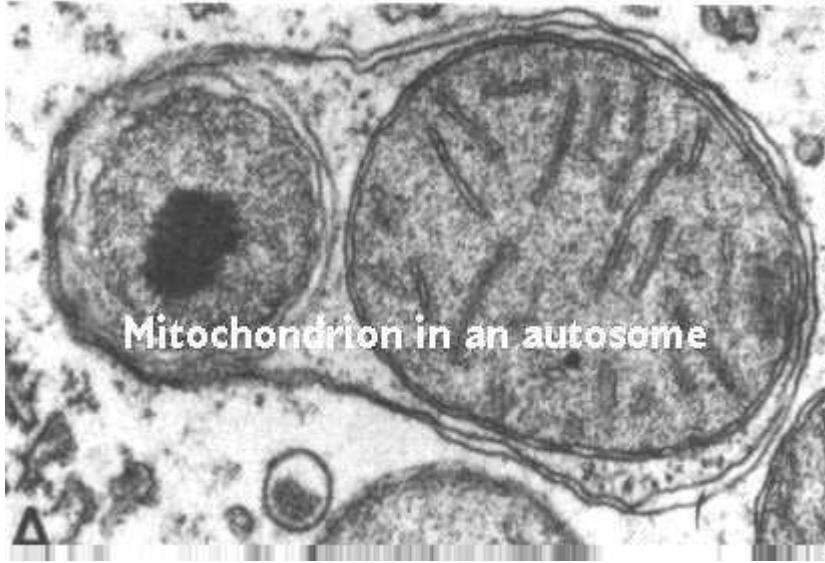
terciární Ly
reziduální tělíska







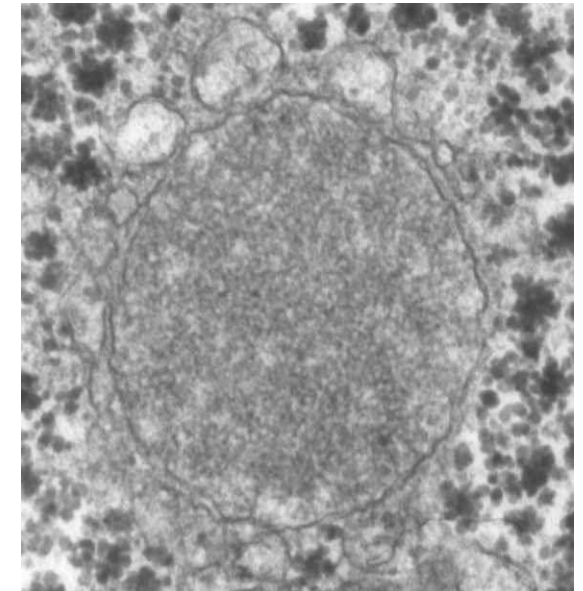
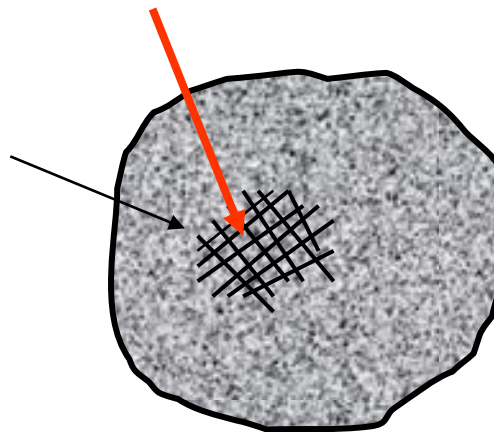
autofagická vakuola

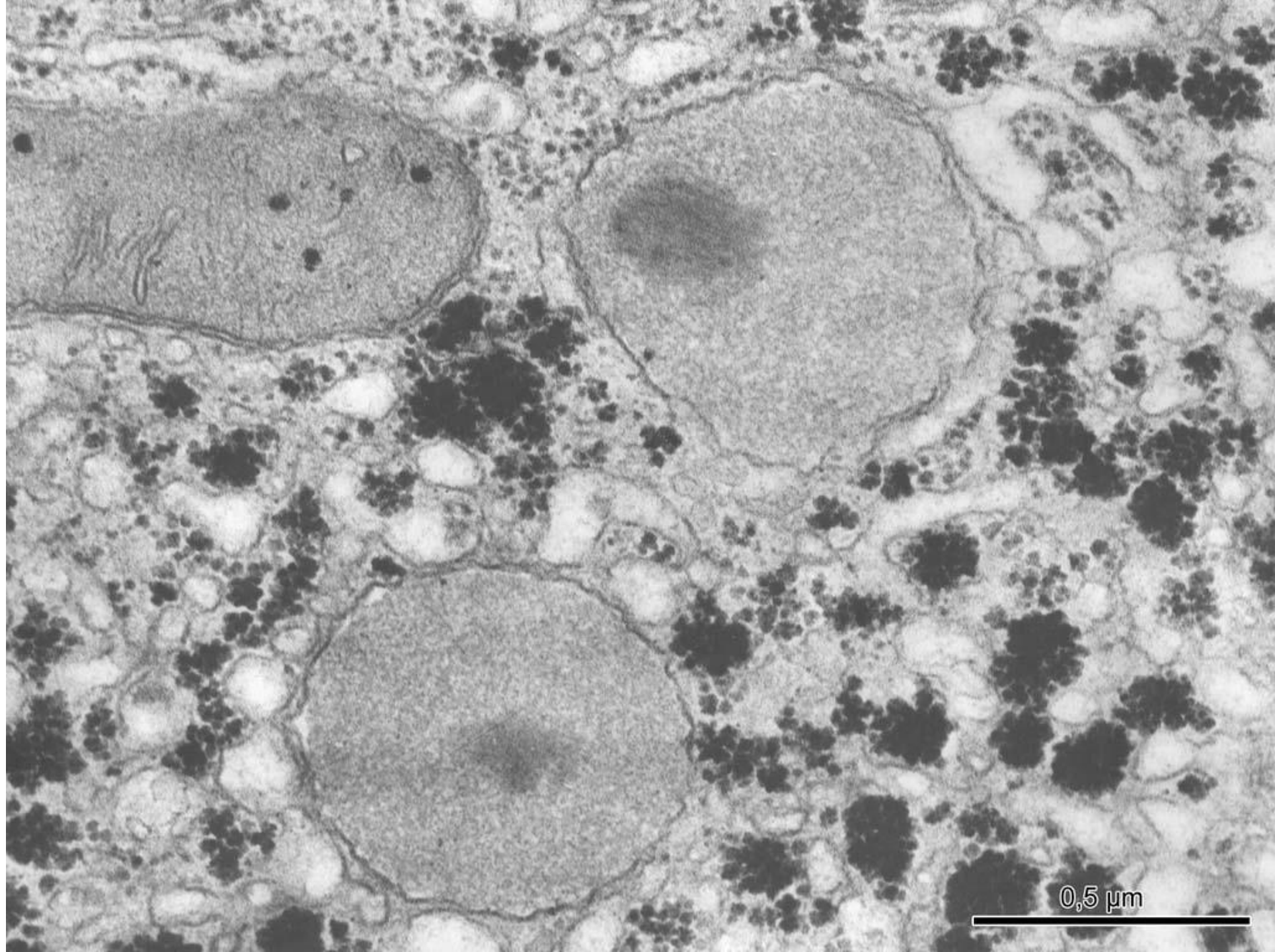


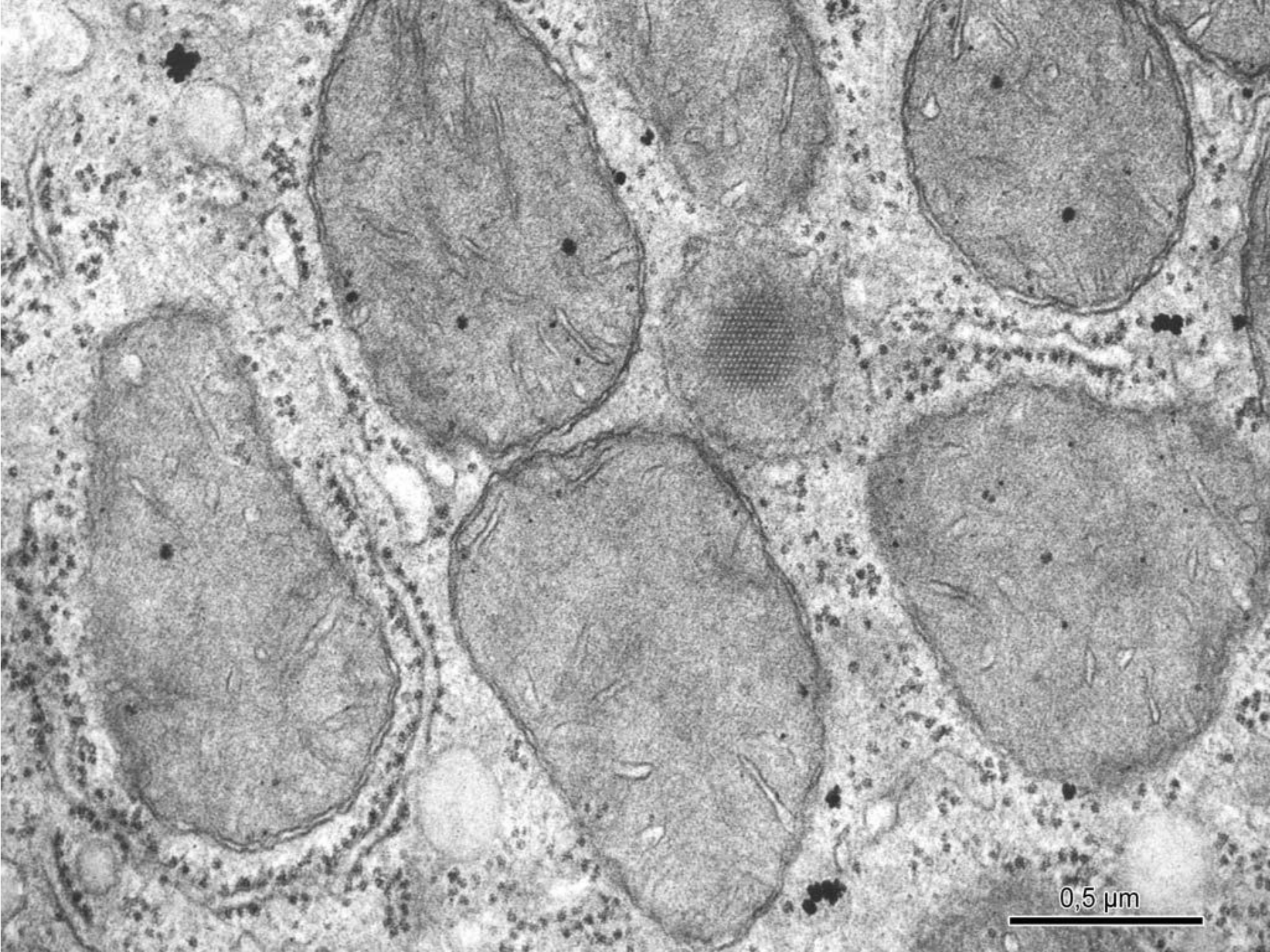
Peroxisomy (mikrotělíška)

- váčky – 0,1 - 0,5 μm \emptyset , jednoduchá membrána
- matrix s oxidativními enzymy
(peroxidáza, kataláza, urikáza aj.)

[nukleoid = *krytaloid*]





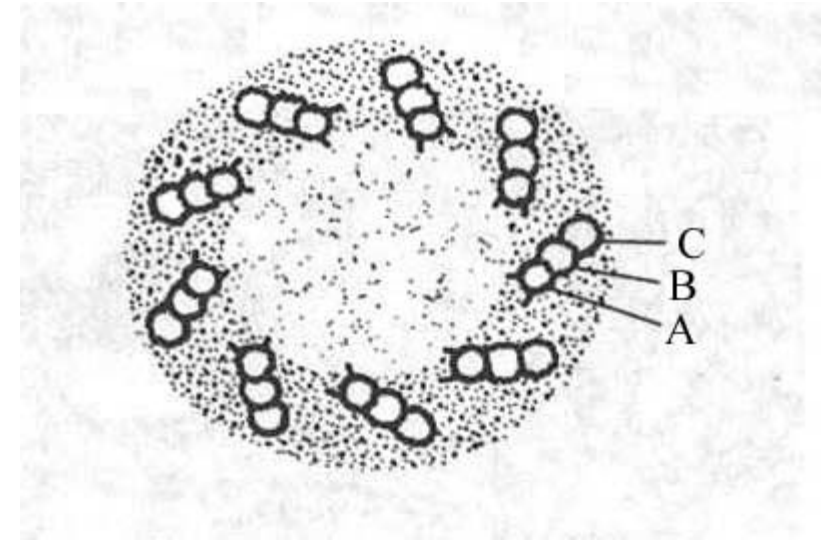


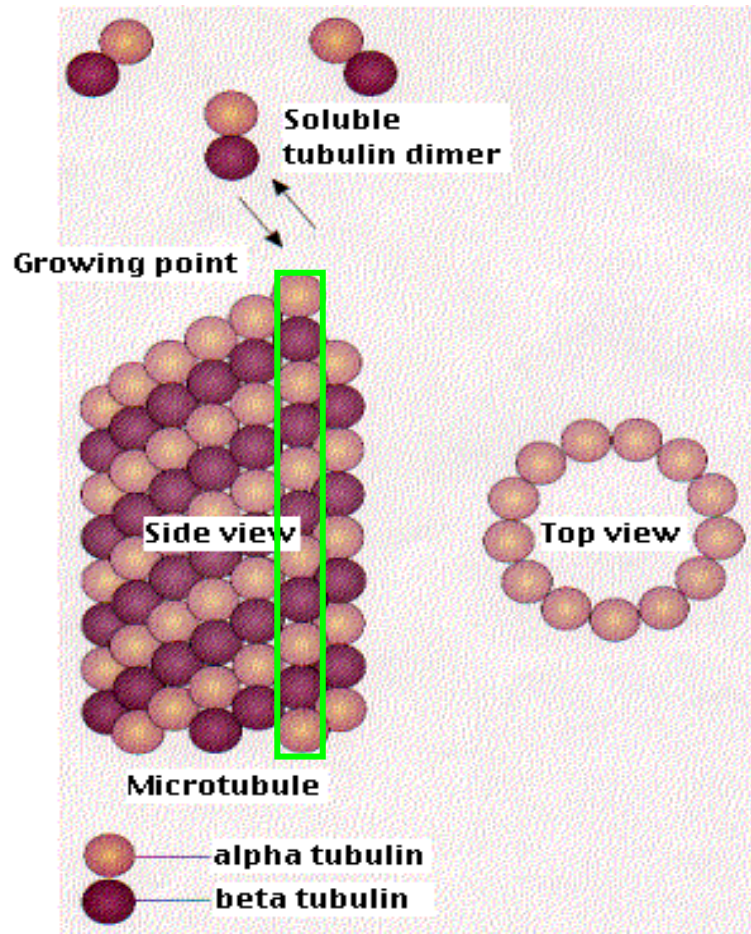
Funkce lyzozomů a peroxisomů

- **Ly** – intracelulární digesce endo- a exogenního materiálu
- **Pe** – detoxikace (rozklad H_2O_2 , štěpení purinů a mastných kyselin)
 - účast na syntéze žlučových kyselin
 - účast na syntéze fosfolipidů

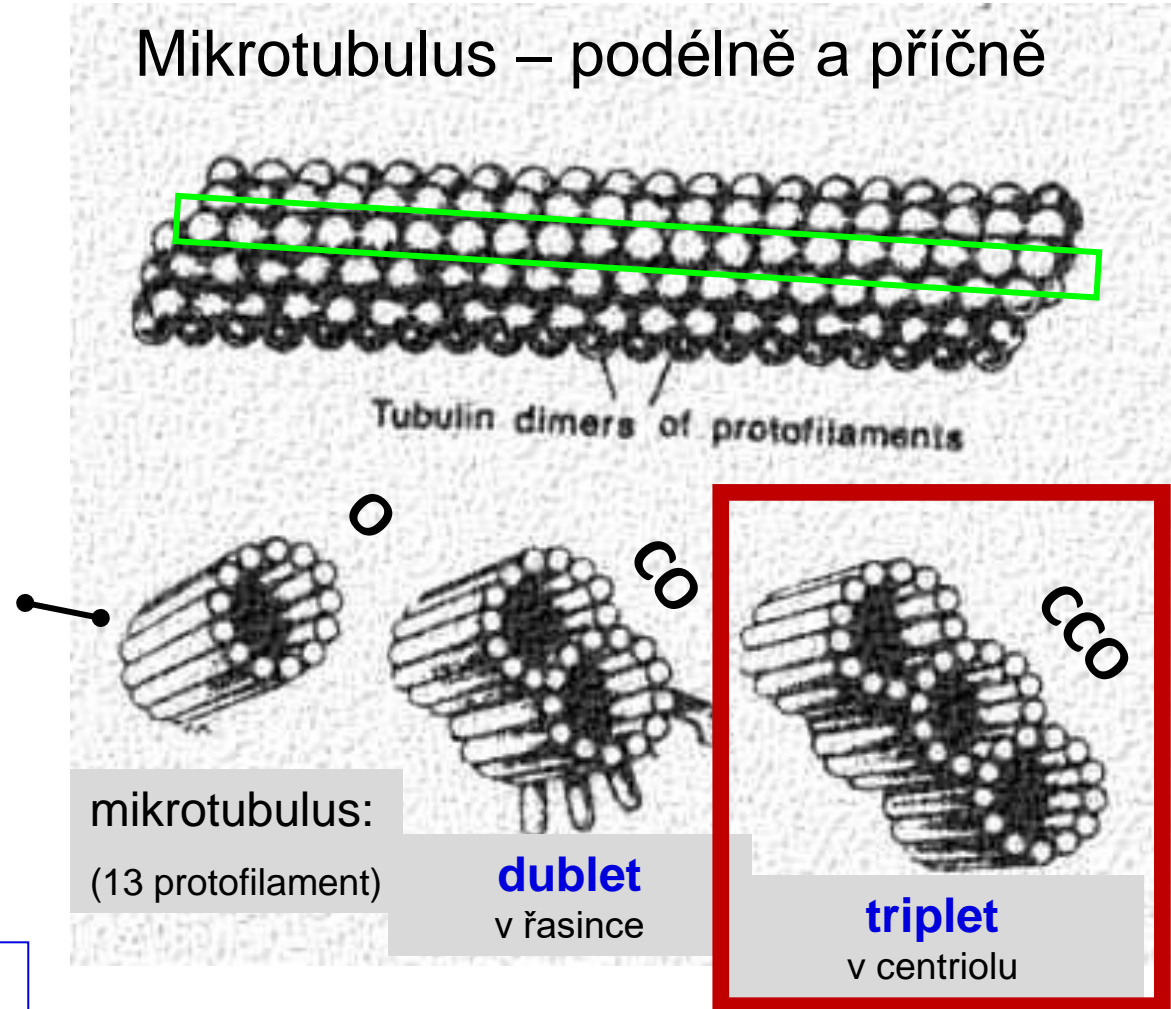
Centriol

- tvar: cylindr (válec)
- velikost: \varnothing 0,2 μm , délka 0,3 - 0,5 μm
- stavba: **9 tripletů mikrotubulů** po obvodu stěny centriolu
- výskyt v buňce (v interfázi):
1 pár na sebe kolmých centriolů [„T“]
v cytoplazmě blízko jádra =
centrosom





Mikrotubulus – podélně a příčně



Dublety a triplety – částečně sdílená stěna mikrotubulů

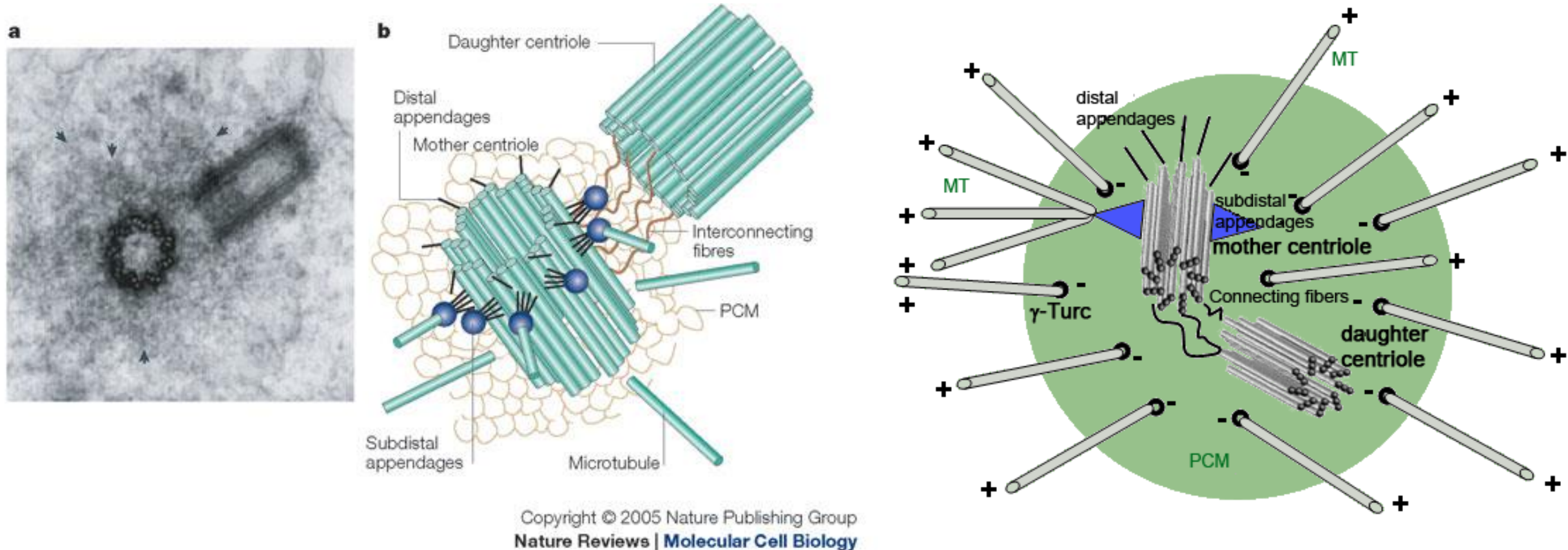
protofilamentum

se skládá z dimerů α a β tubulinu

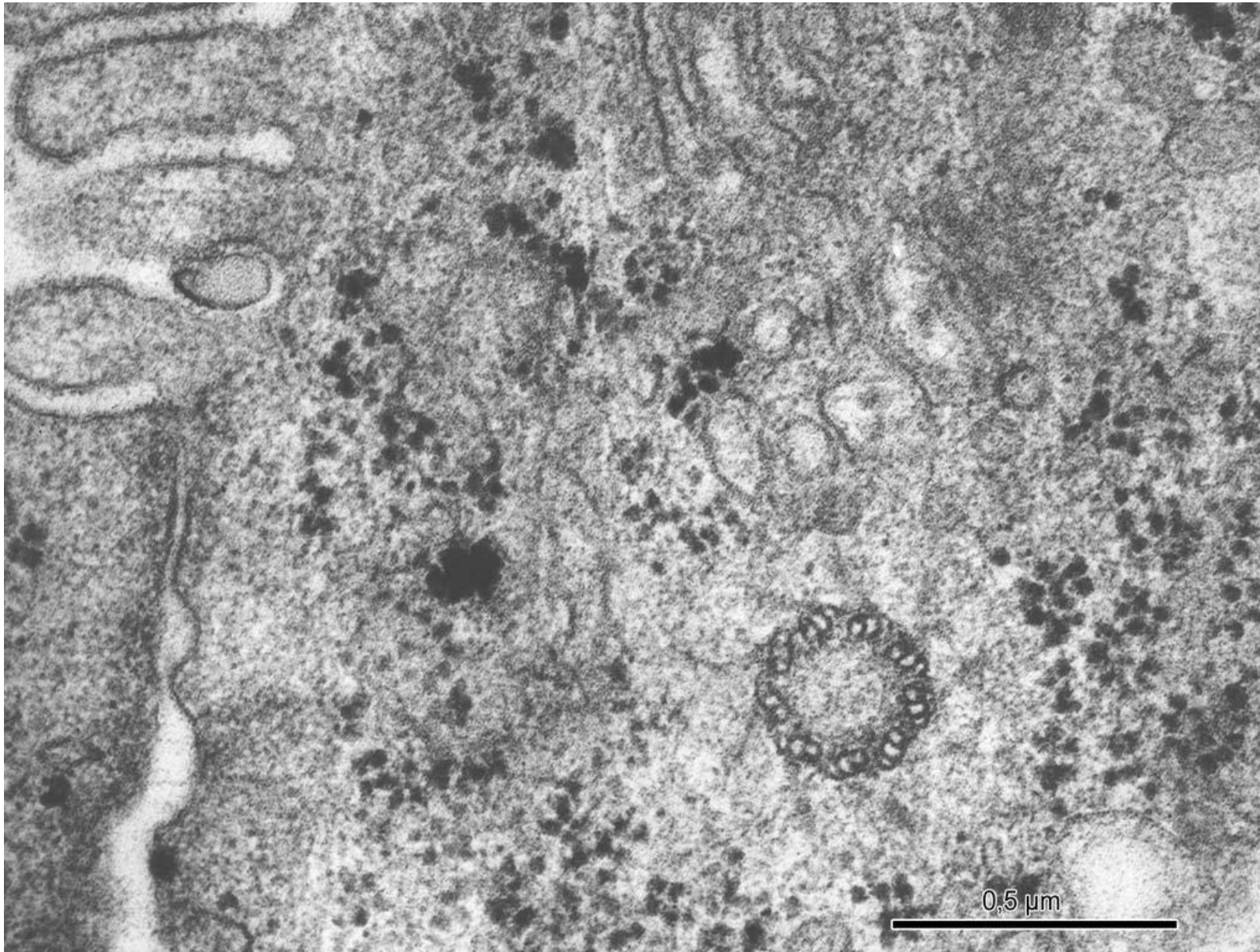
mikrotubulus

se skládá z 13 protofilament

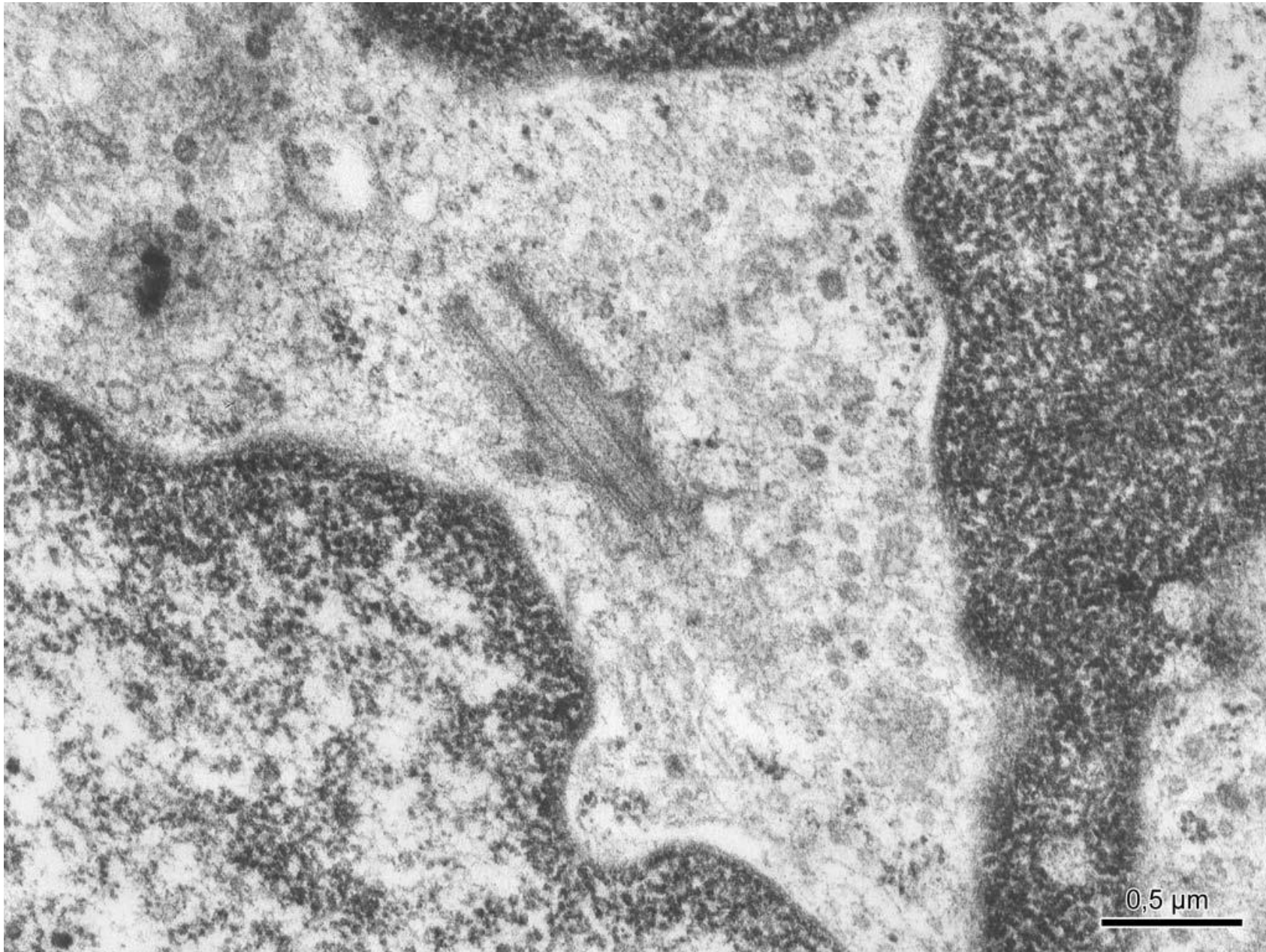
Stavba centriolu



Pár vzájemně kolmých centriolů spolu s pericentriolární matrix a satelitními strukturami vytváří **centrosom** → **mikrotubuly organizující centrum**



Centriol, pericentriolární matrix a satelitní struktury - příčně

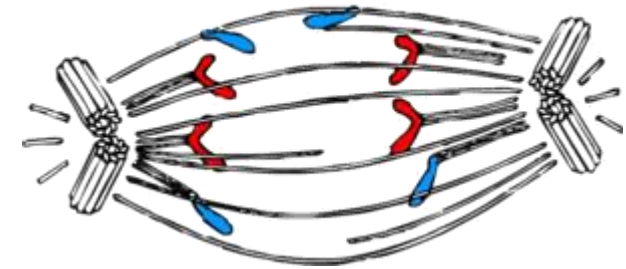


Centriol a satelitní struktury - podélně

Funkce centriolů

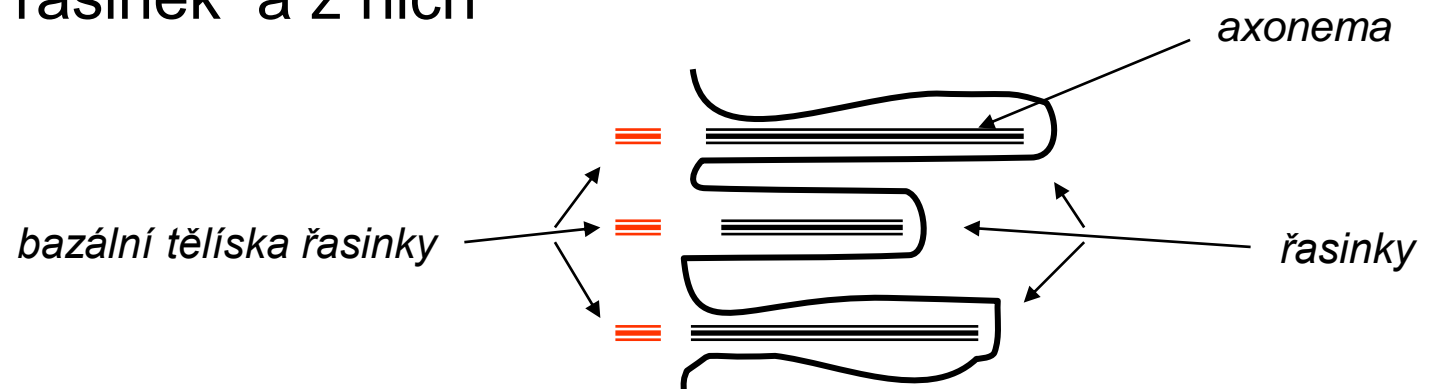
Duplikace centrozomů v průběhu dělení buňky

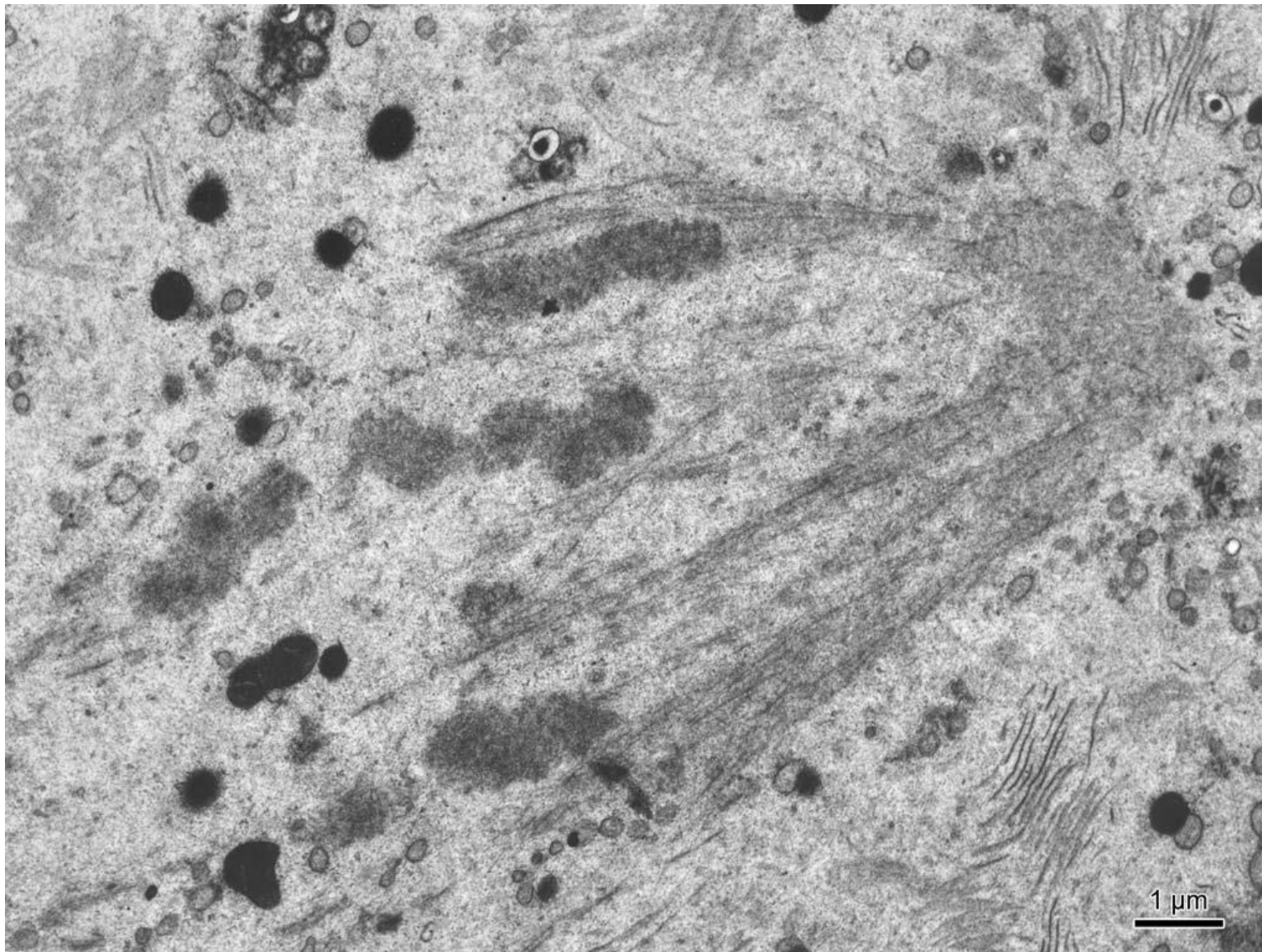
⇒ vznik **dělicího vřeténka**



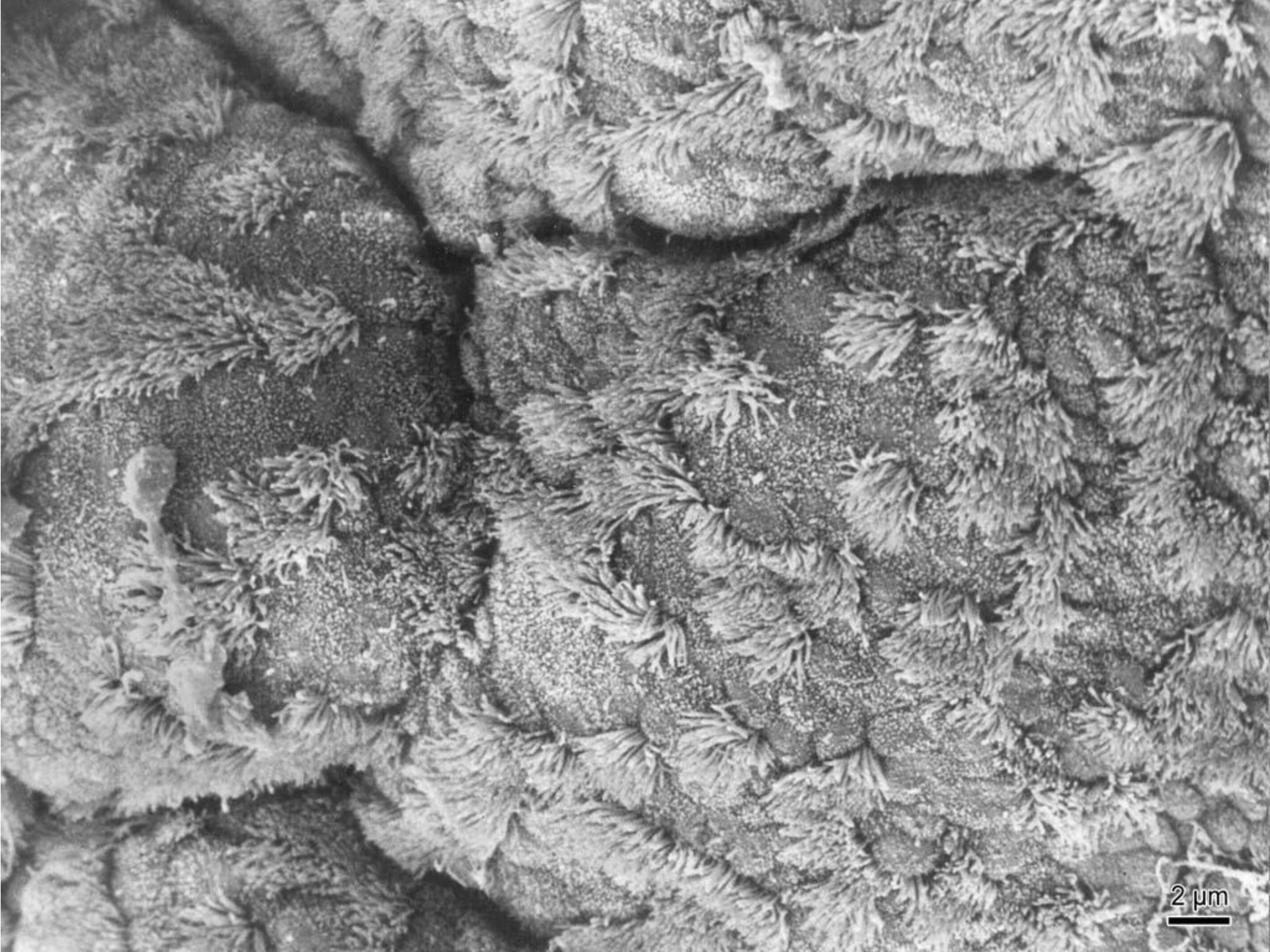
Mnohočetná replikace centriolů v průběhu ciliogeneze

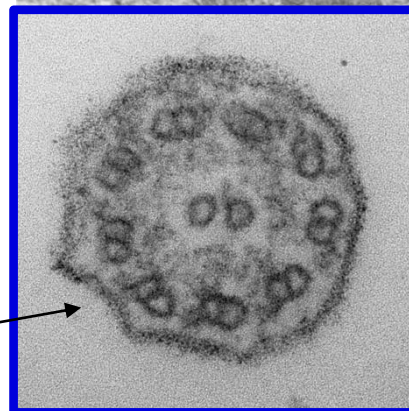
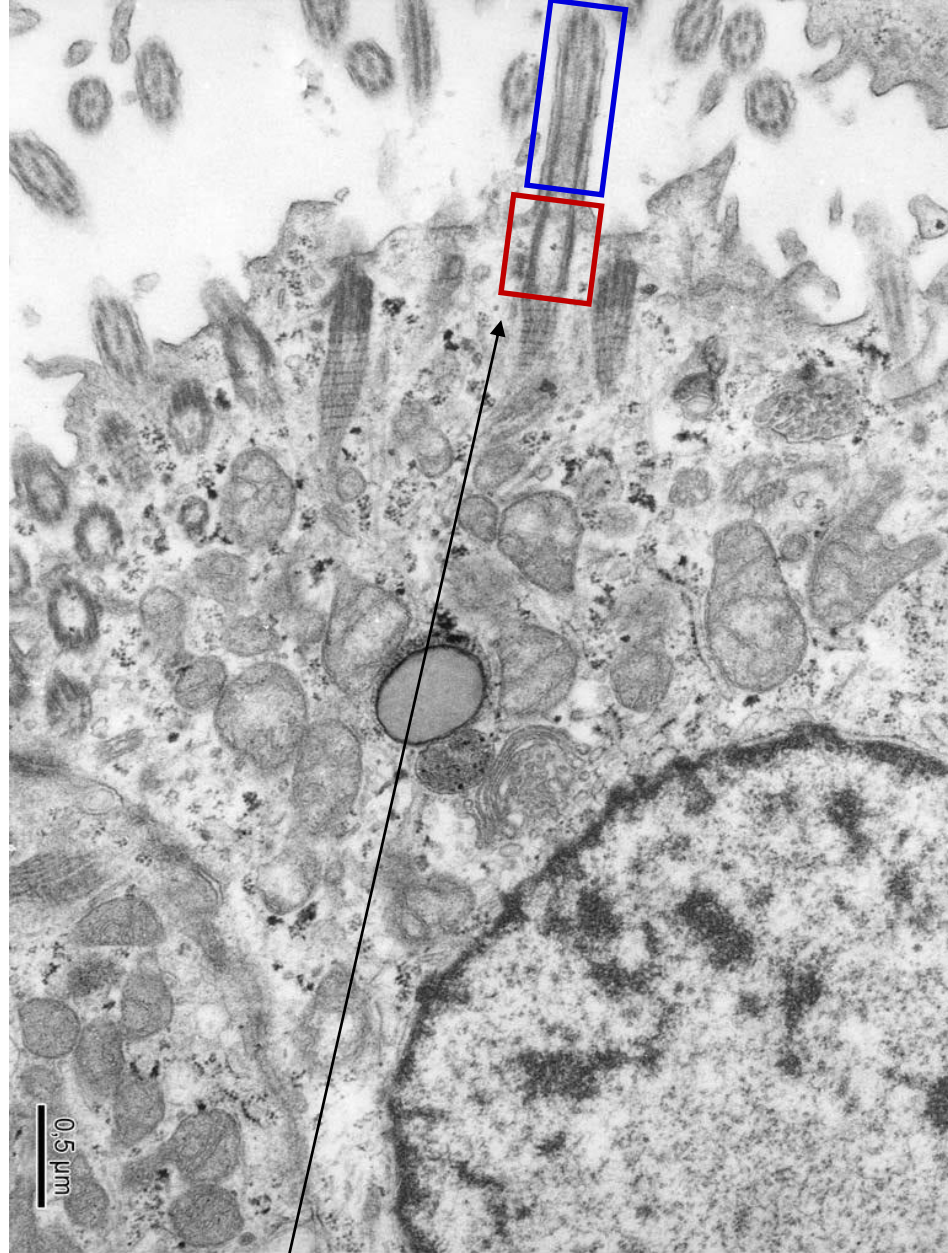
⇒ vznik **bazálních tělísek** řasinek a z nich vycházející **axonemy**





Dělicí vřeténko s chromosomy






Inkluze

– přechodné (dočasné) součásti buňky

– Sekreční granula

– Zásobní látky 

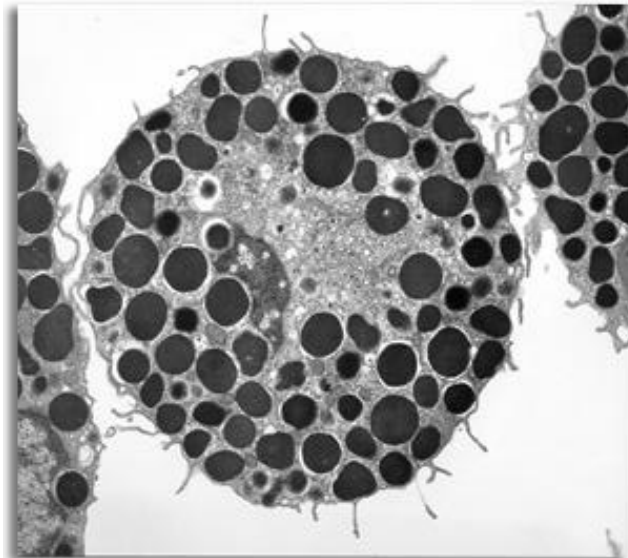
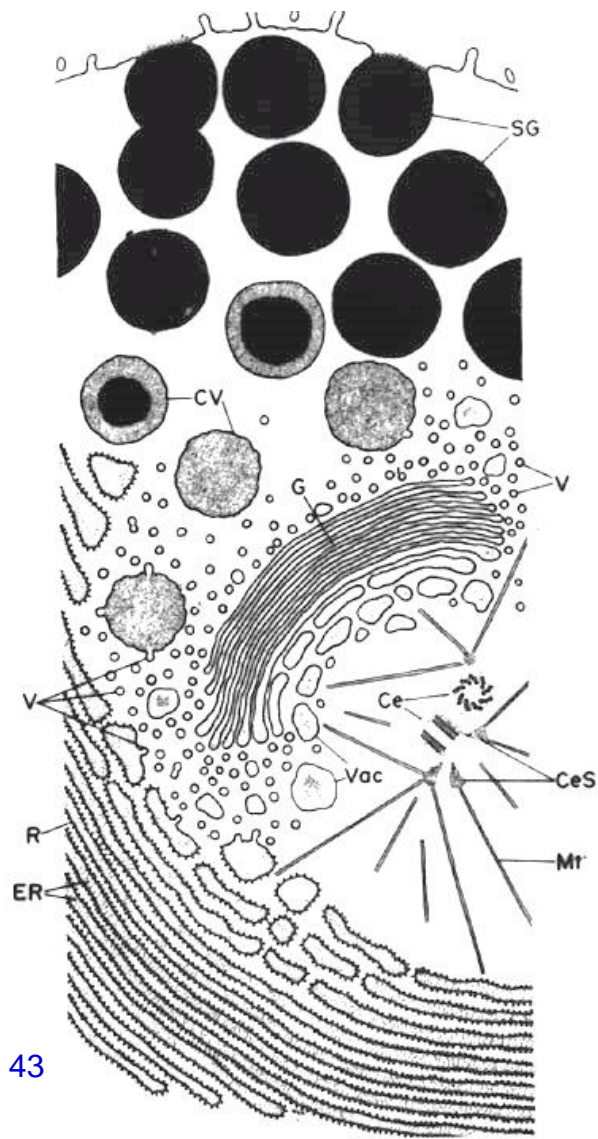
– Krystaly

– Pigmenty

endogenní - autogenní (melanin), hematogenní (hemosiderin, biliverdin, bilirubin), lipofuscin

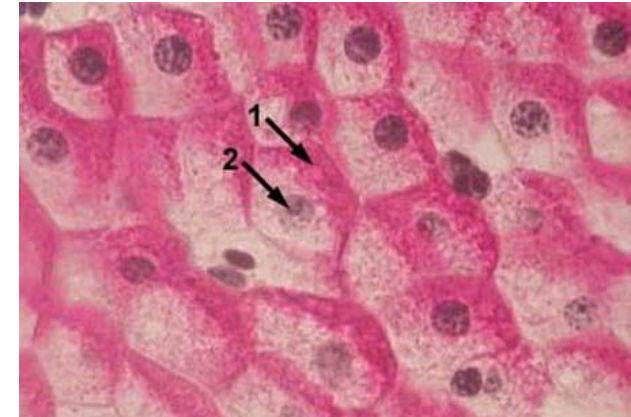
exogenní - prach, barviva (karoteny), tetováž

Sekreční granula



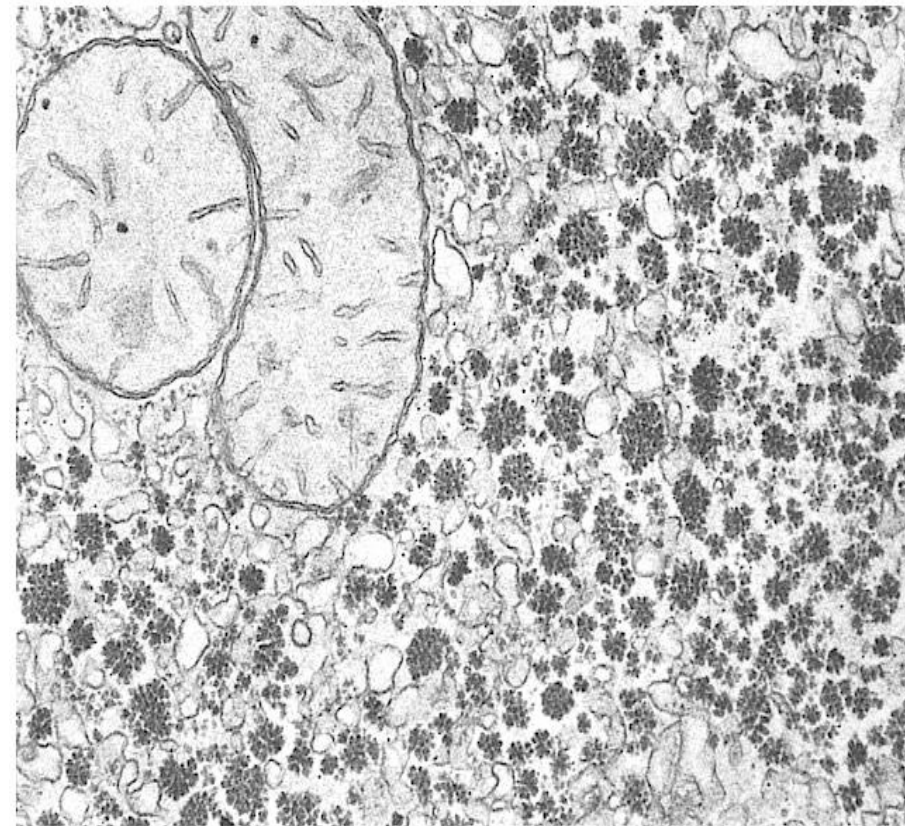
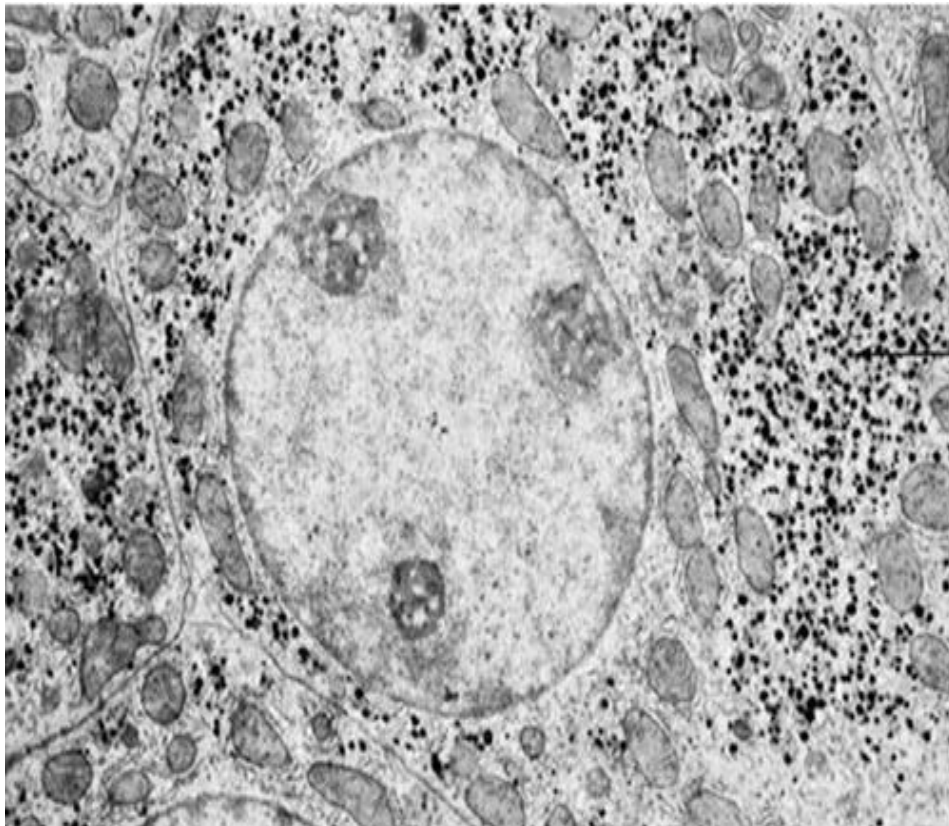
Glykogen

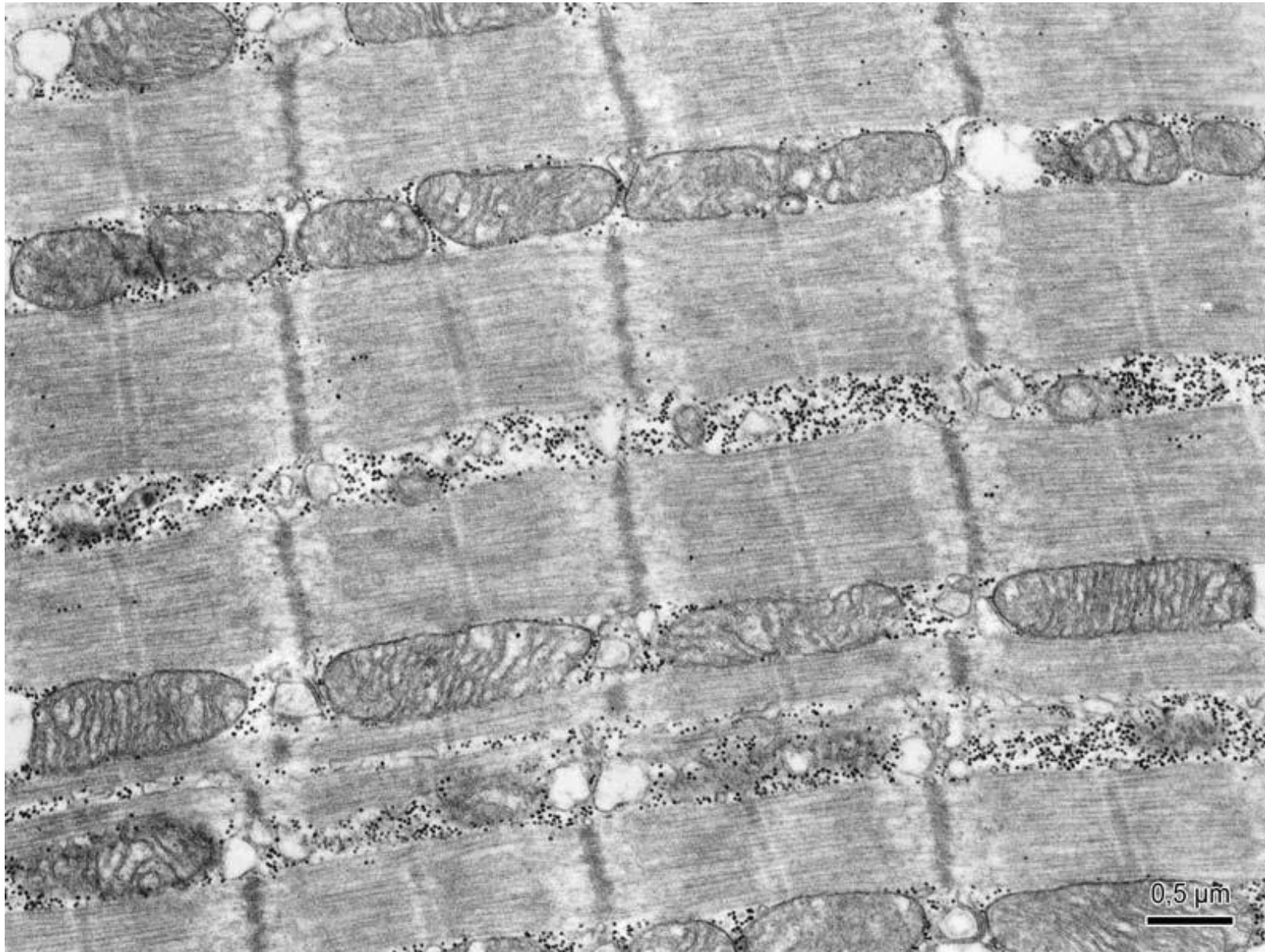
lineární, bohatě větvený polymer složený z molekul glukózy



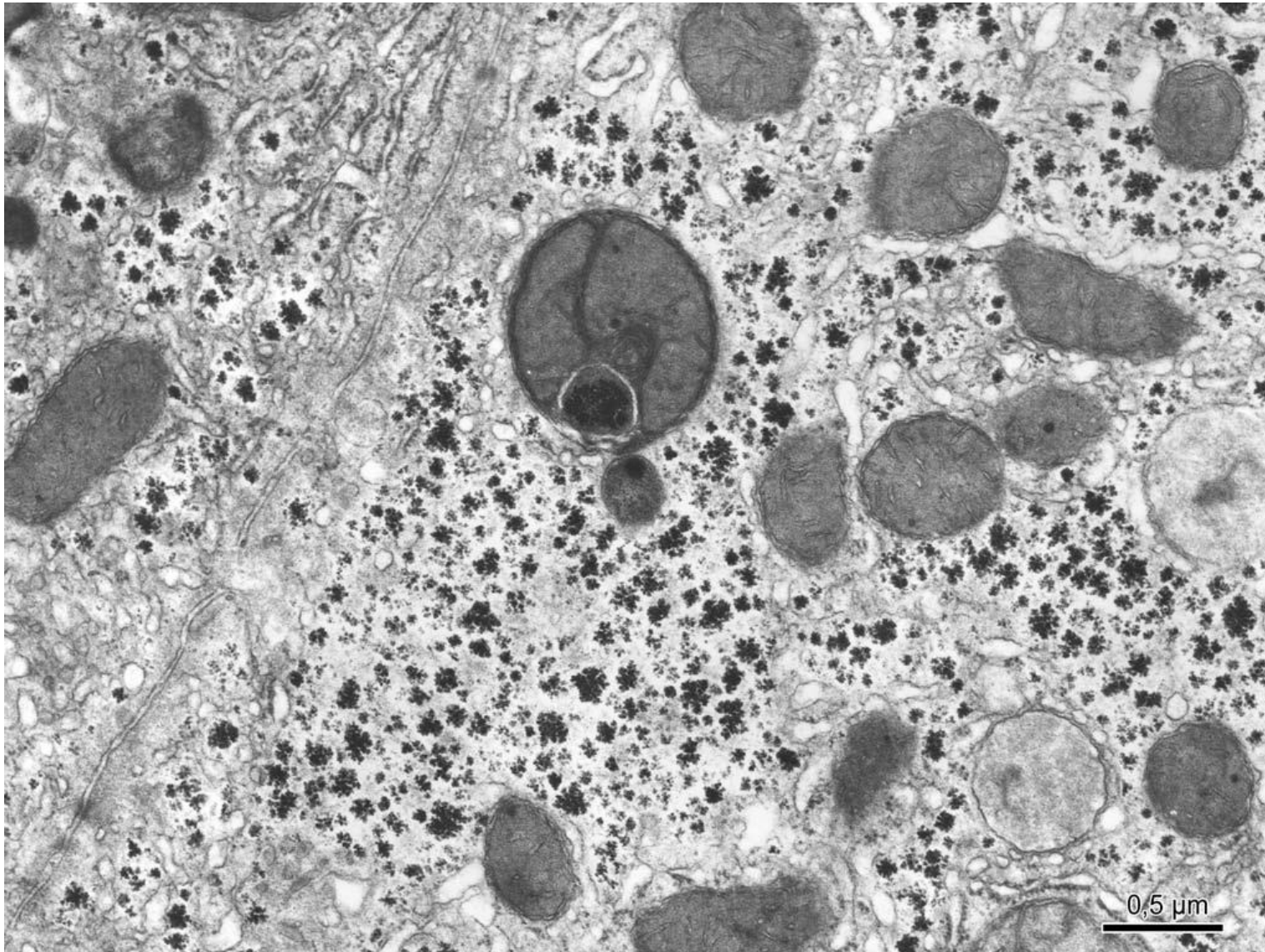
β – granula (40 nm)

α – granula (shluky, až 400 nm)





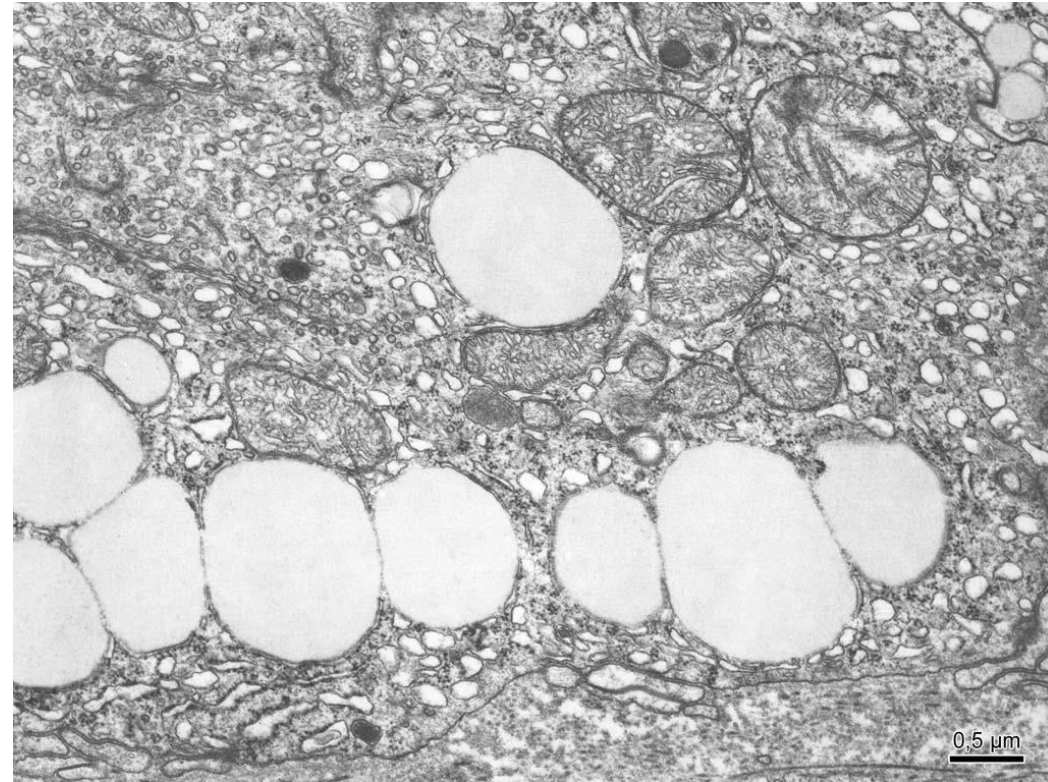
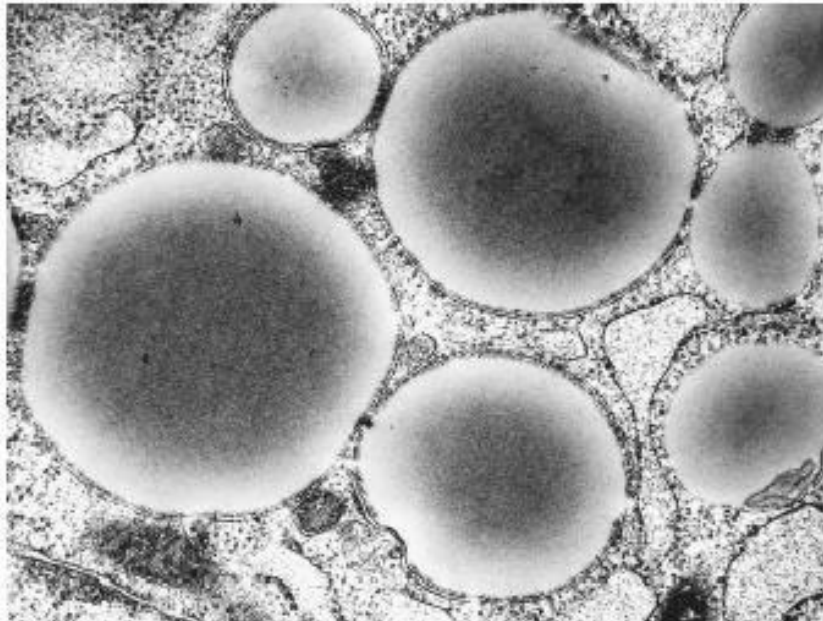
Beta granula glykogenu



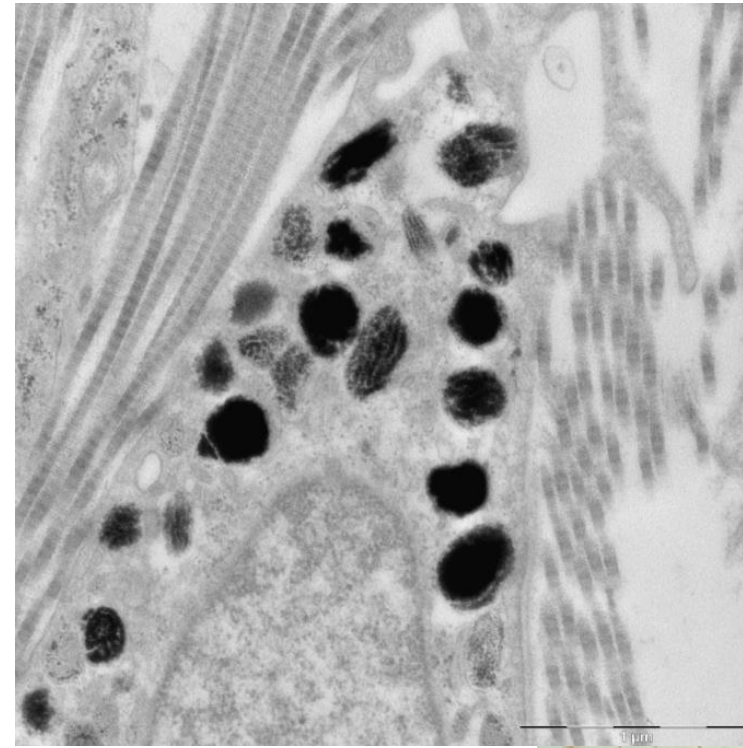
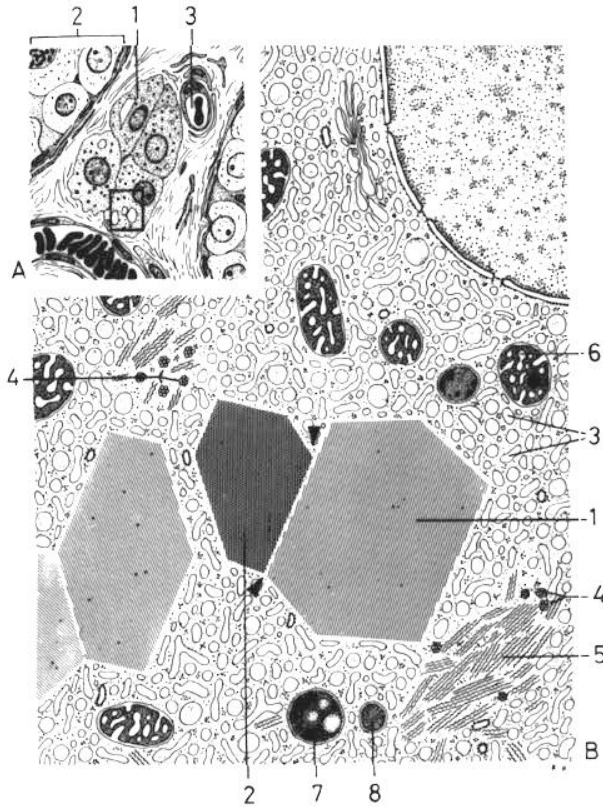
Alfa granula glykogenu

Lipidové kapky

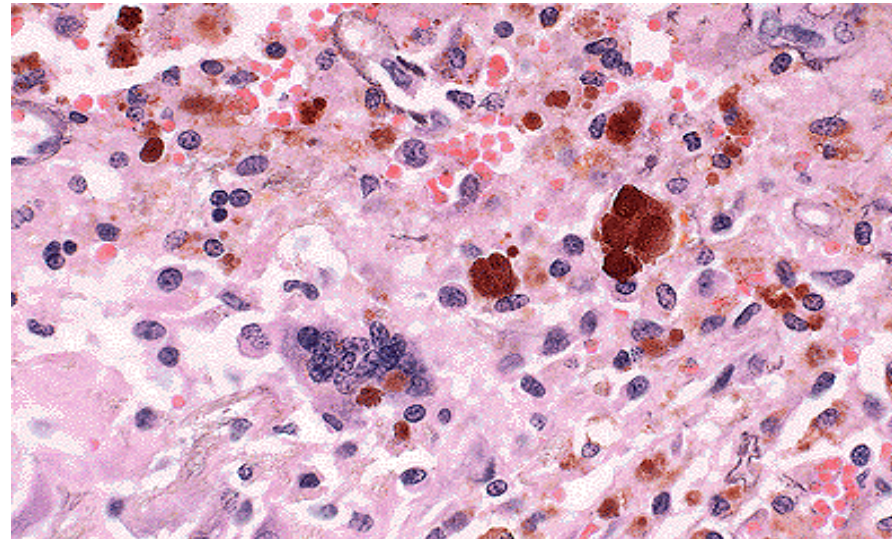
nemají membránu, pouze fázové rozhraní



Krystaly, pigmenty

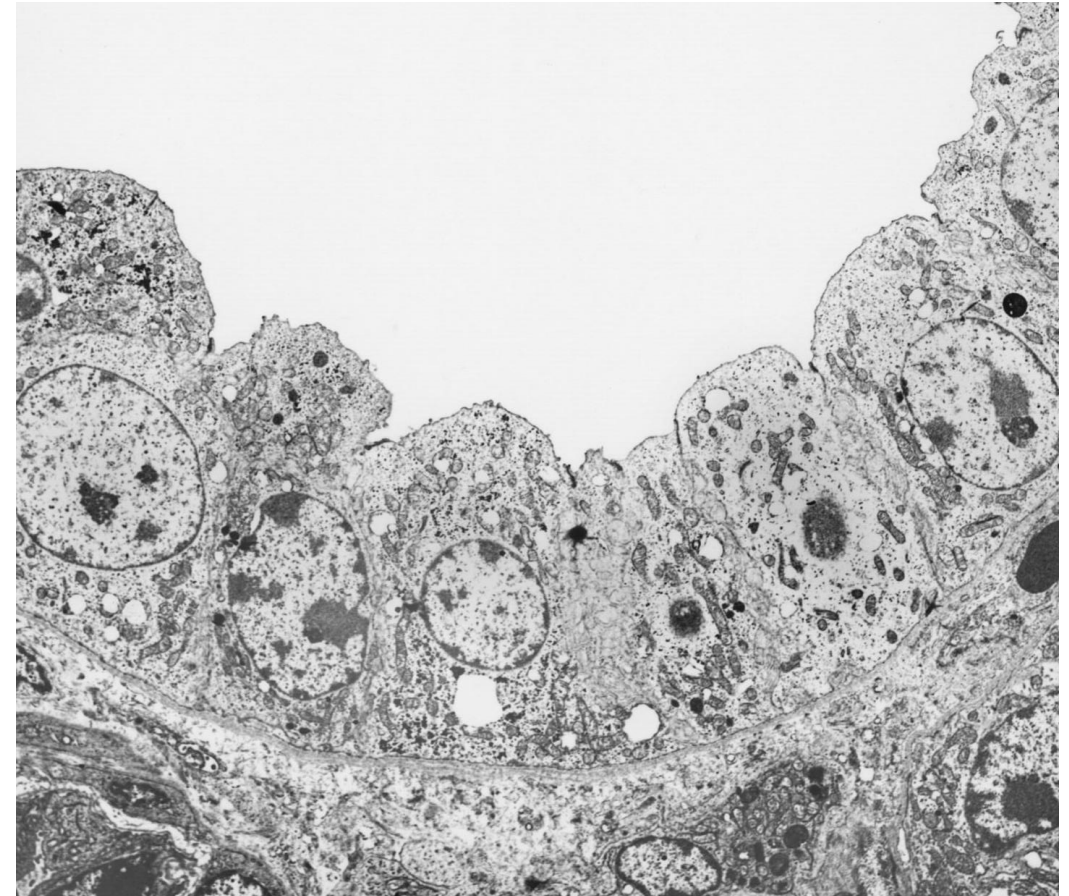


Pigment melanin



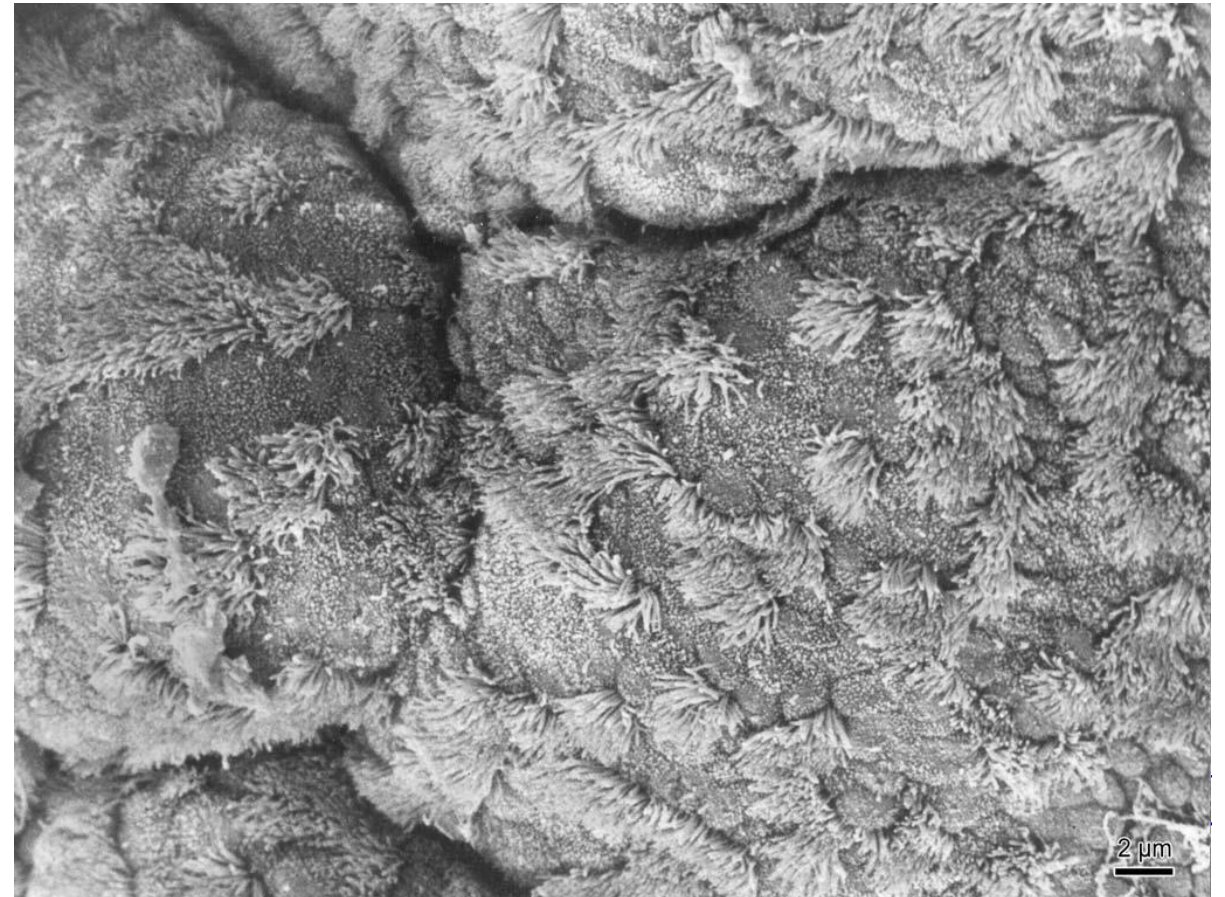
Buněčný povrch

- **apikální** – směřuje k volnému povrchu
 - hladký nebo s výběžky
(mikrovlčky, stereocilie, řasinky, bičíky)
- **laterální** - povrch přivrácený k jiné buňce
 - mezibuněčné spoje
- **bazální** - přivrácený k bazální membráně
 - poloviční spoje (hemidesmosomy)



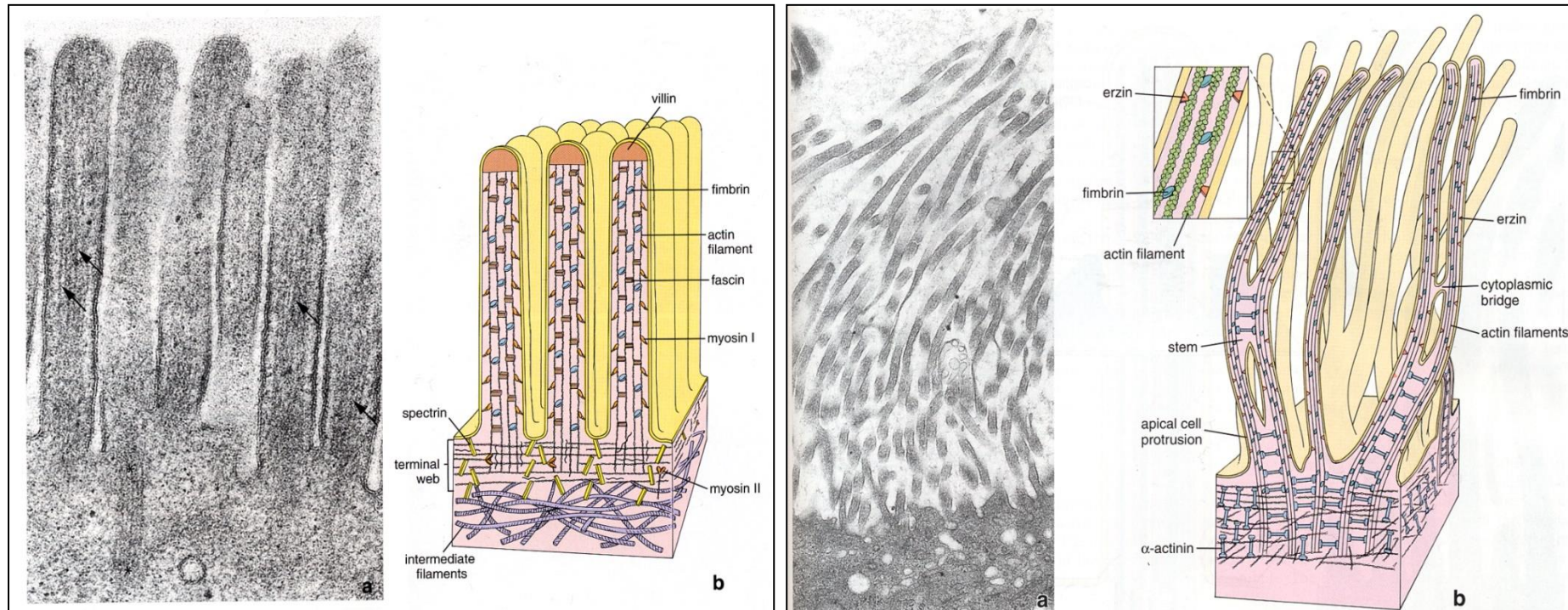
Apikální (volný) povrch

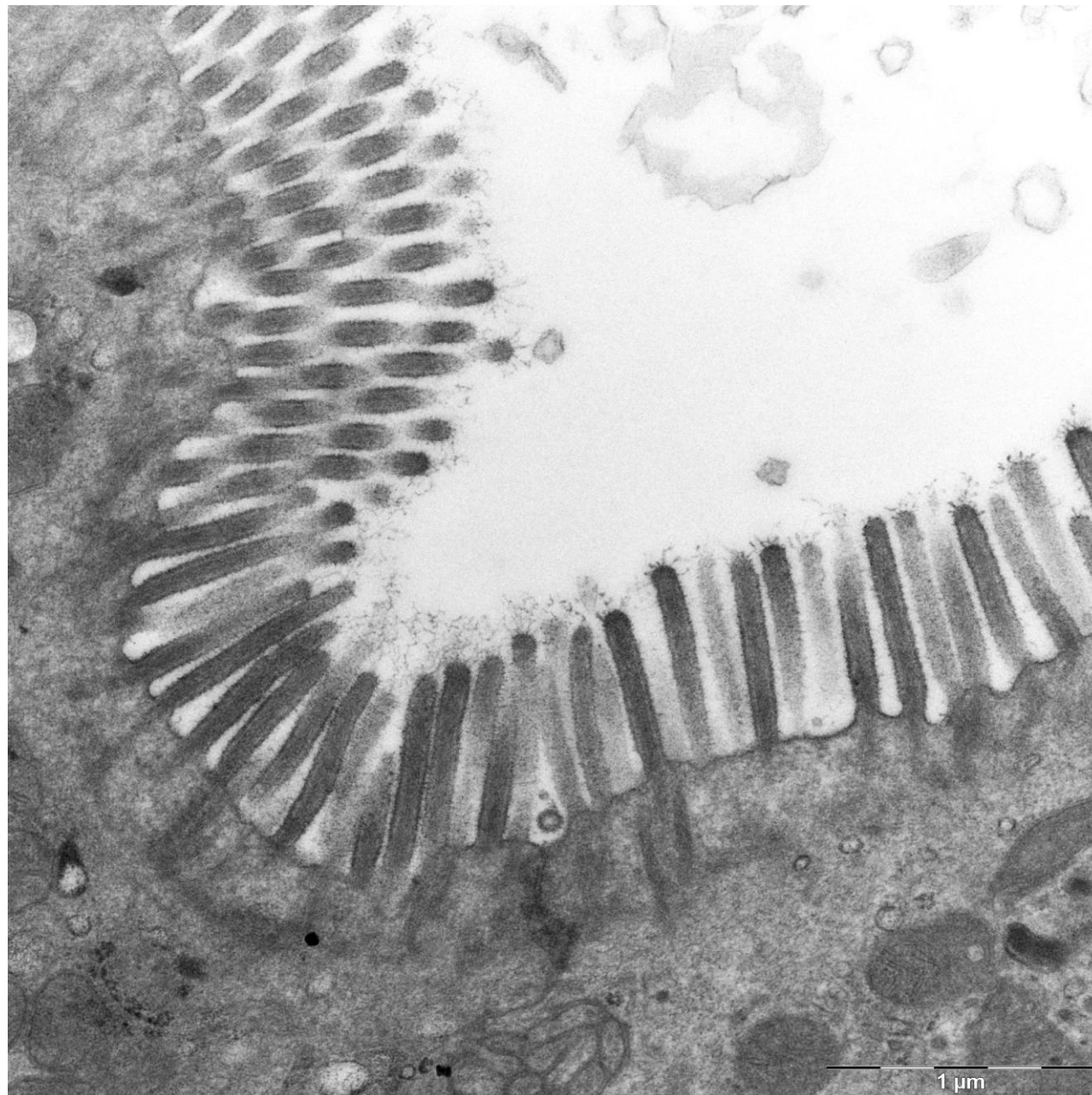
- hladký (rovný nebo členitý – *např. pseudopodie*)
- mikroklky, stereocilie
- Kinocilie, bičíky



Mikroklky

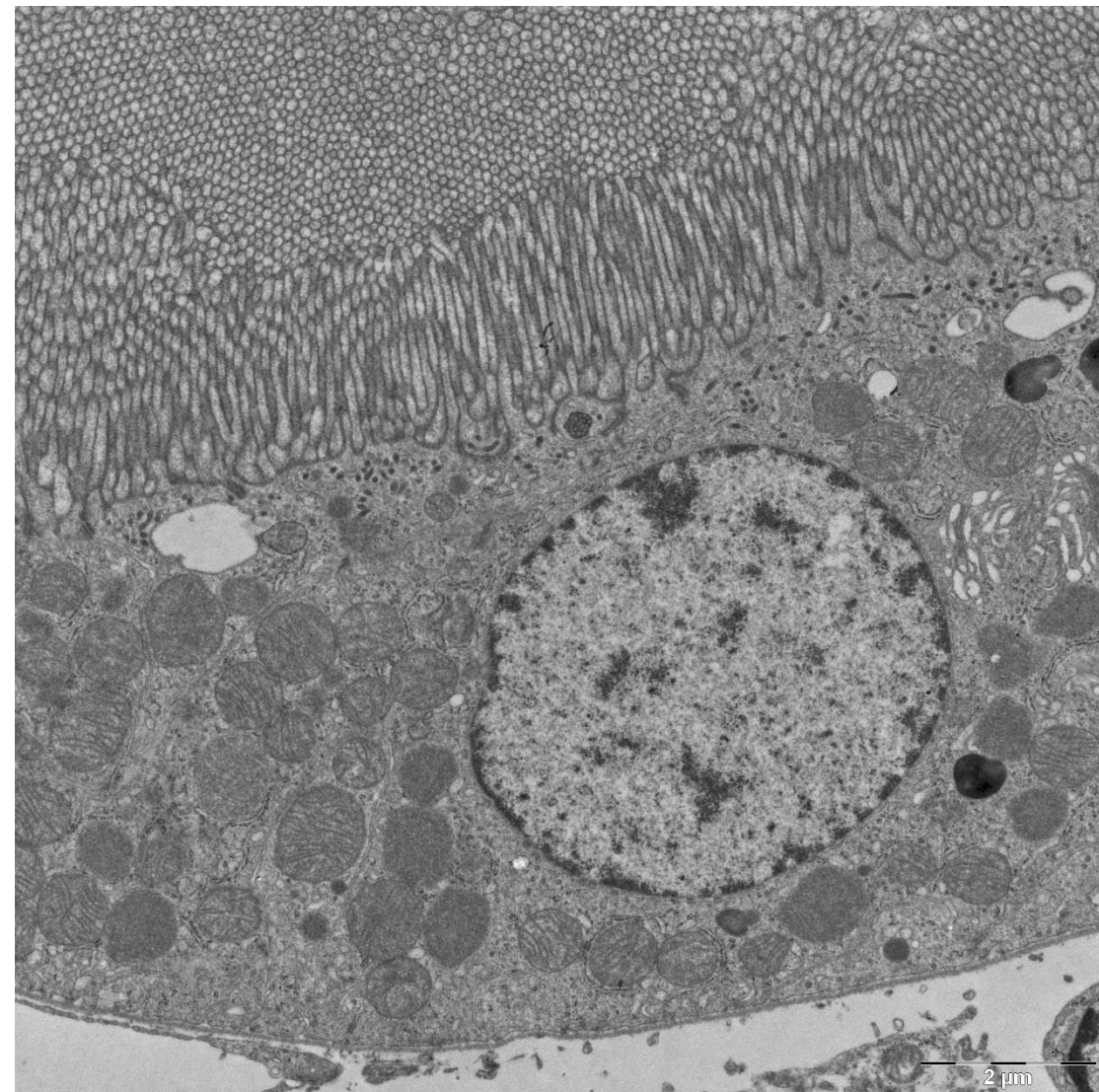
- = výběžky cytoplazmy vyztužené aktinovými mikrofilamenty, především zvětšují povrch pro resorpci
- žíhaná kutikula – *př. epitel. bb. střeva*
 - kartáčový lem – *př. kanálky nefronu*
 - stereocilie – jsou delší - *př. ductus deferens*



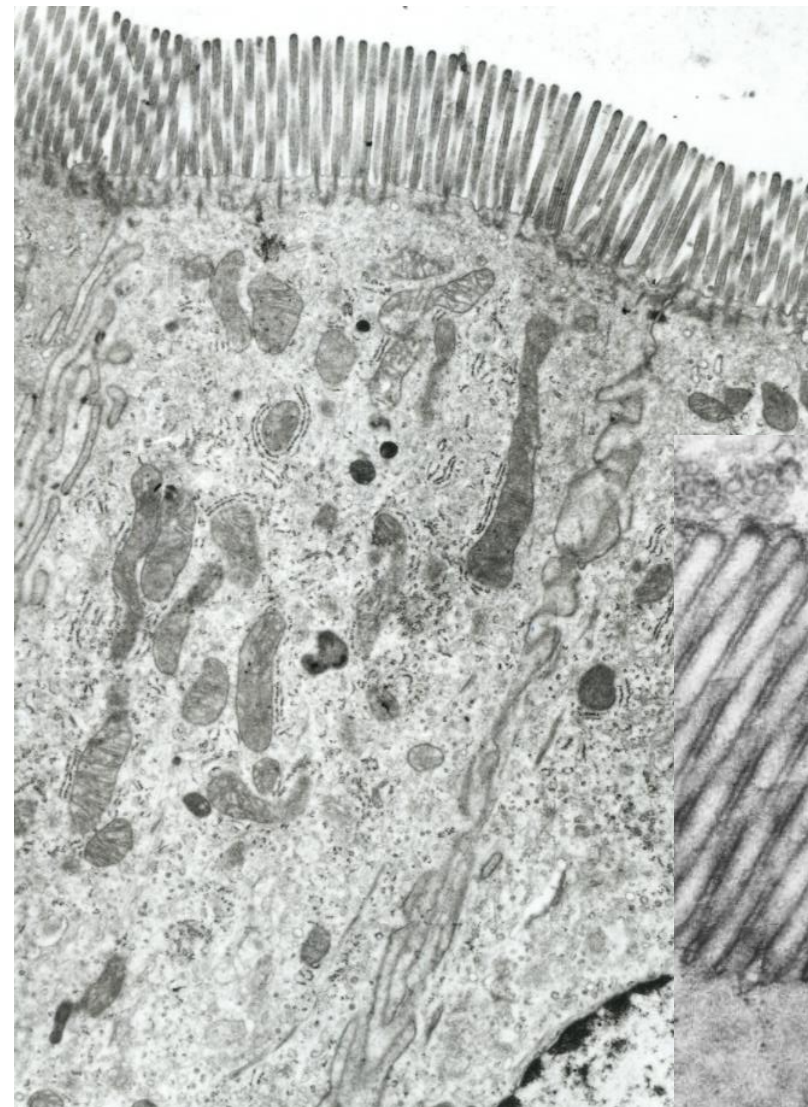


Mikroklky vyztužené aktinem

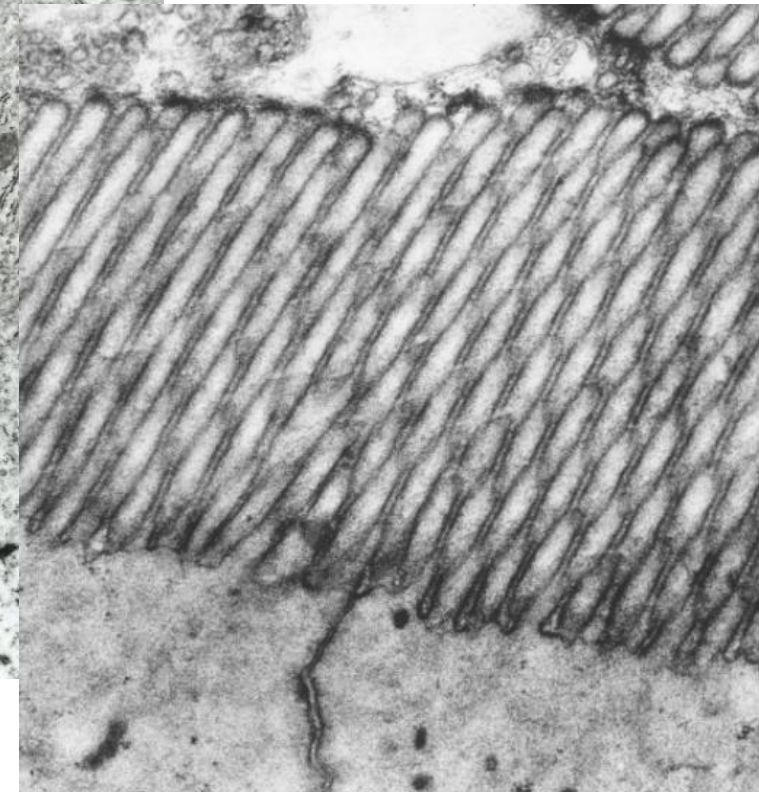
Mikroklky



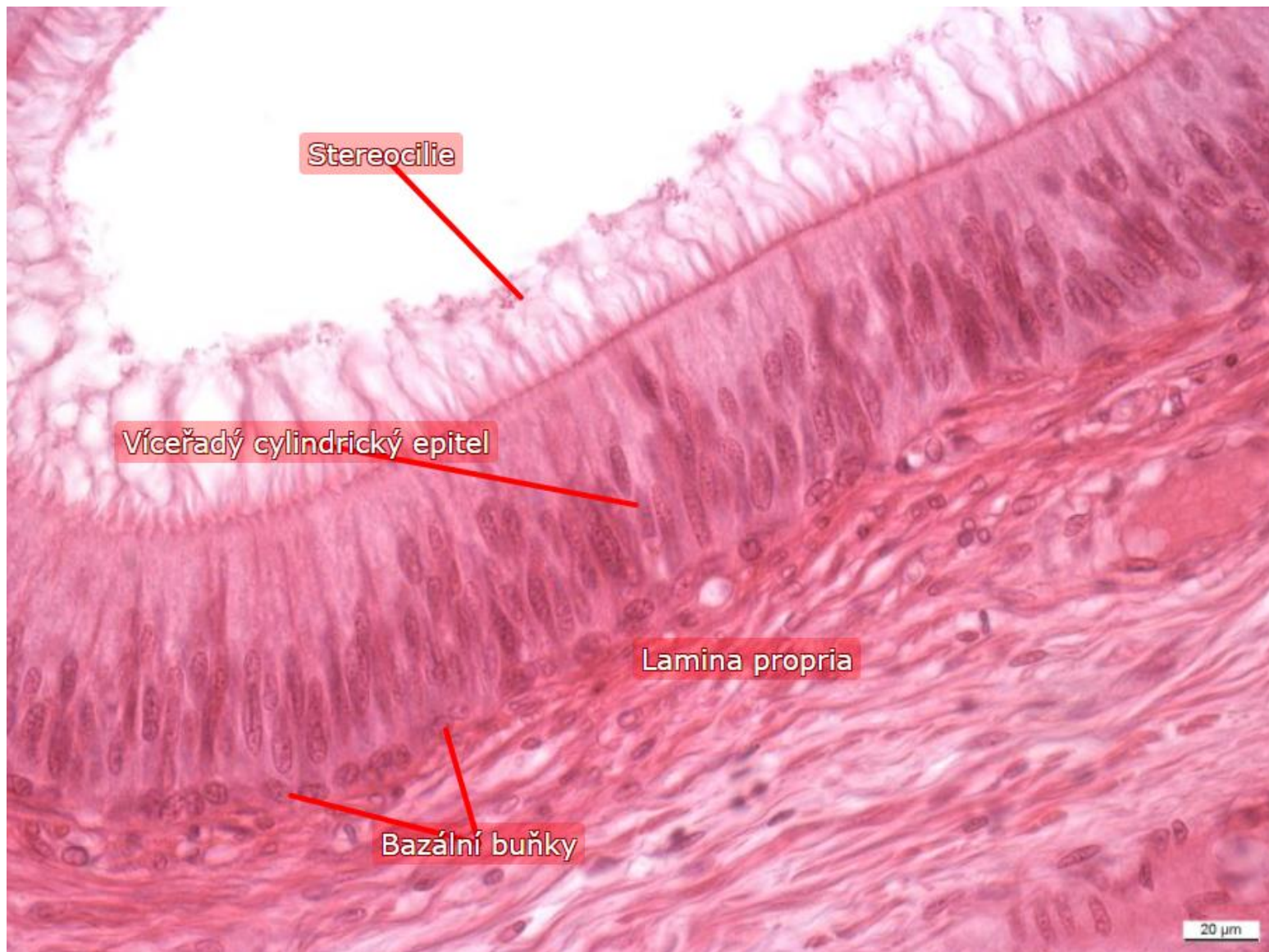
kartáčový lem



žíhaná kutikula

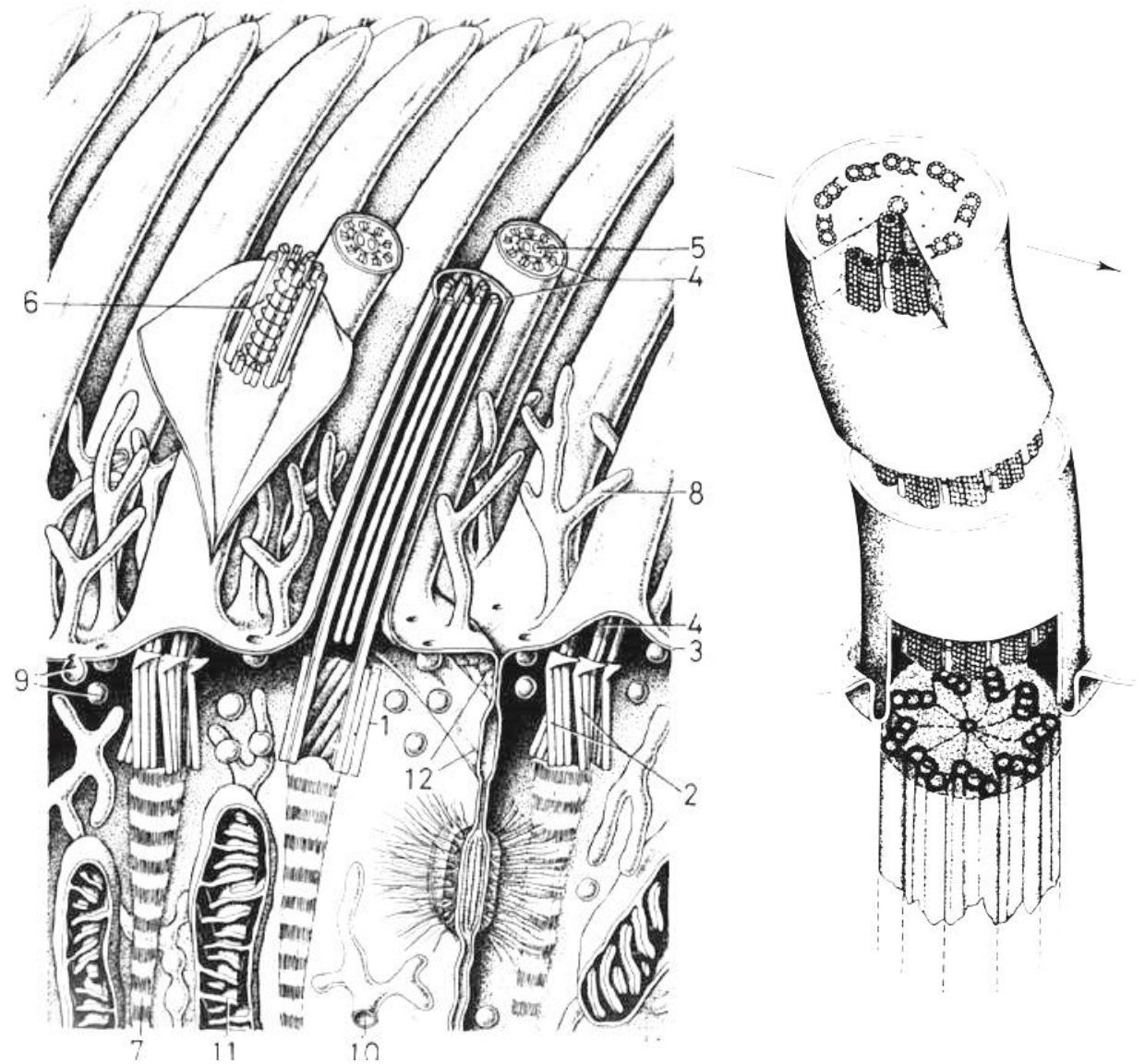


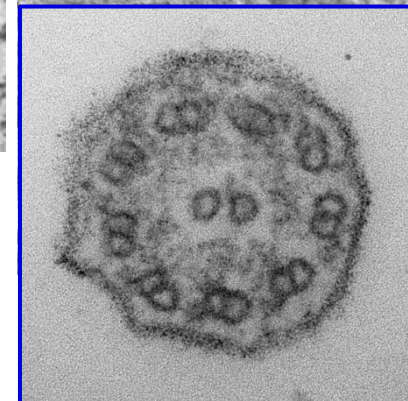
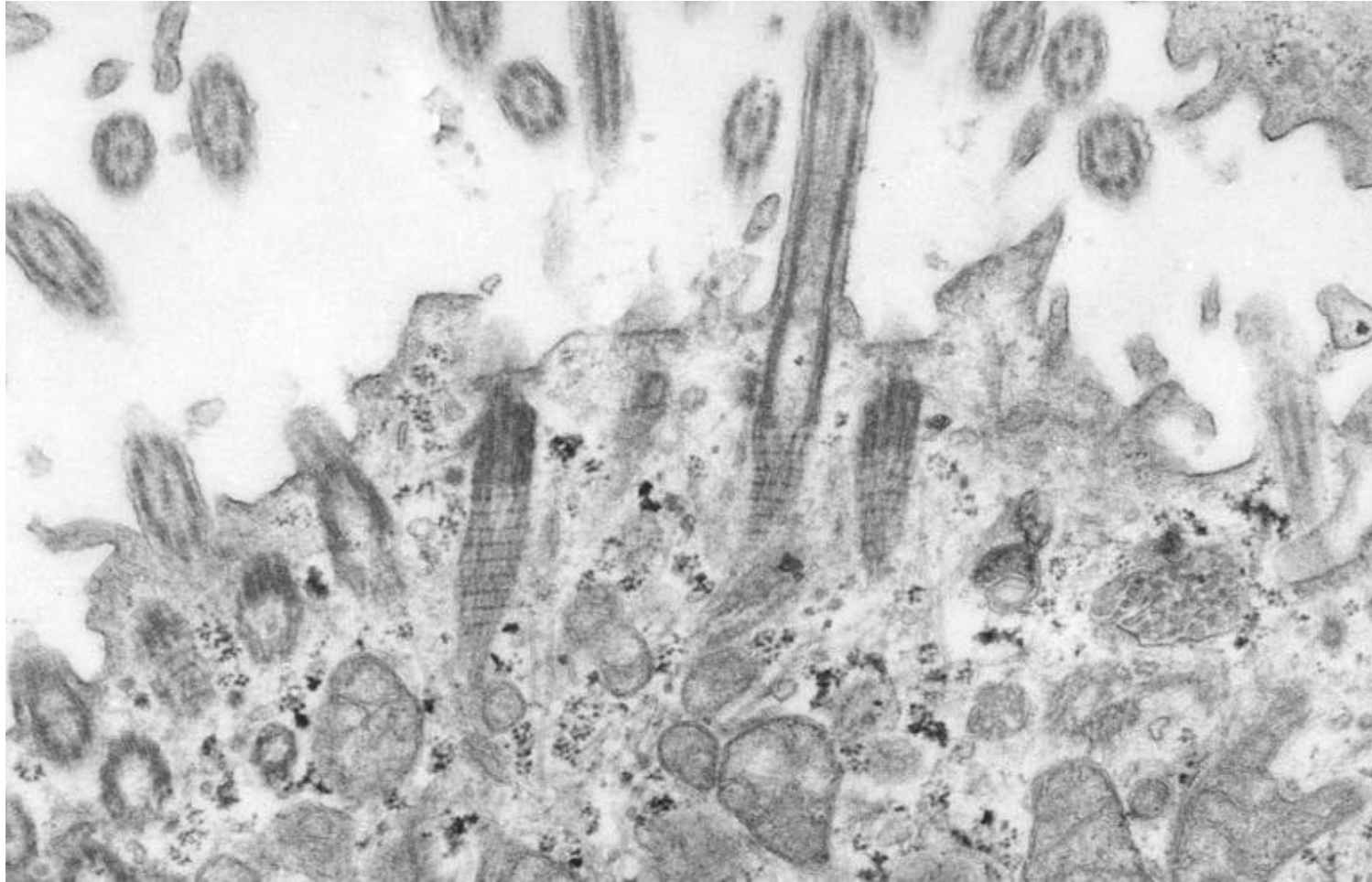
Stereocilie na epitelových buňkách v nadvarleti



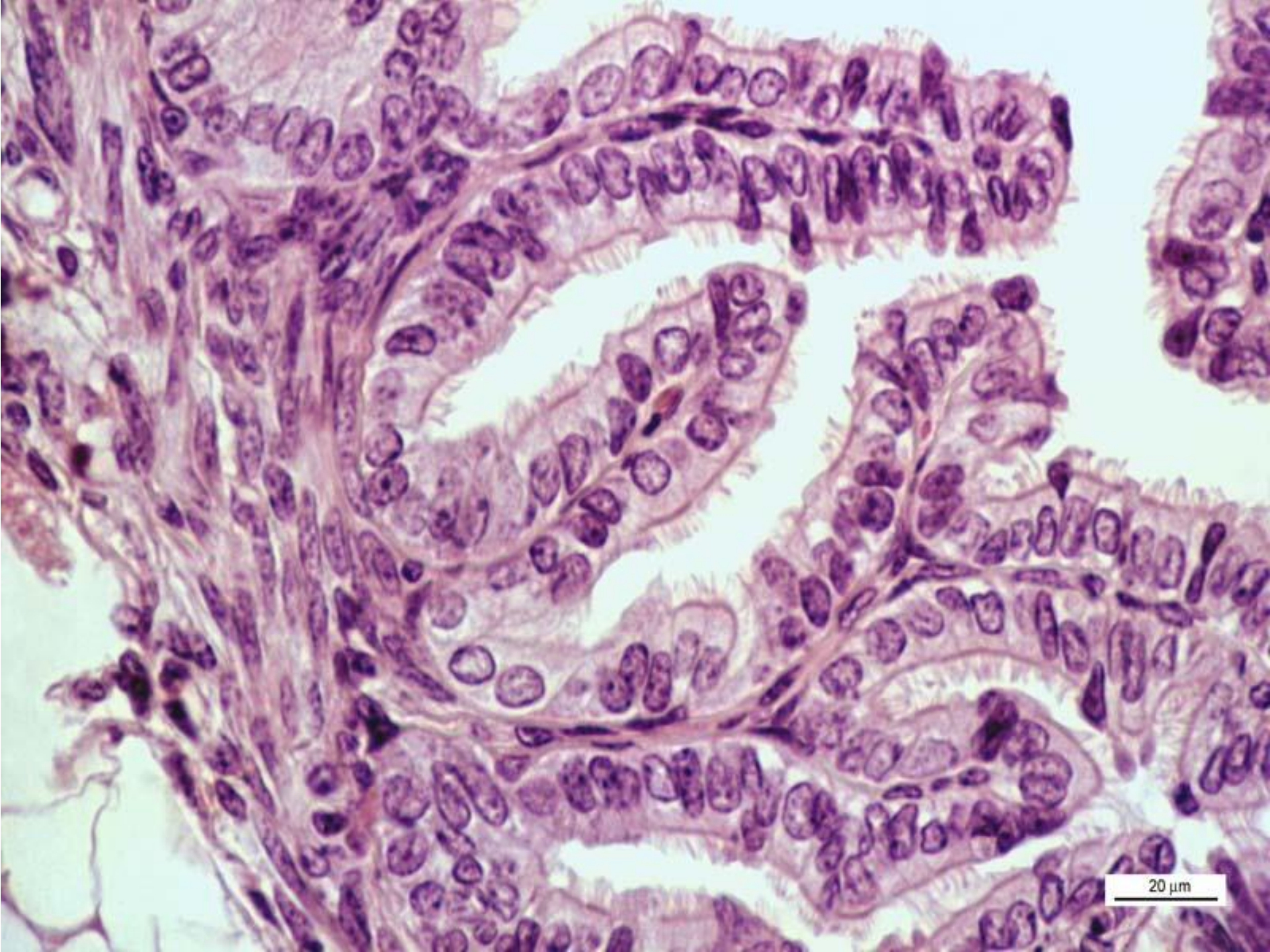
Řasinky (kinocilie)

- Pohyblivé výběžky cytoplazmy vyztužené **mikrotubuly**:
- **Axonema** = 9 dubletů + 1 centrální pár
- **Bazální tělísko** = centriol
- **Žíhaná nožka** – kontraktilní proteiny



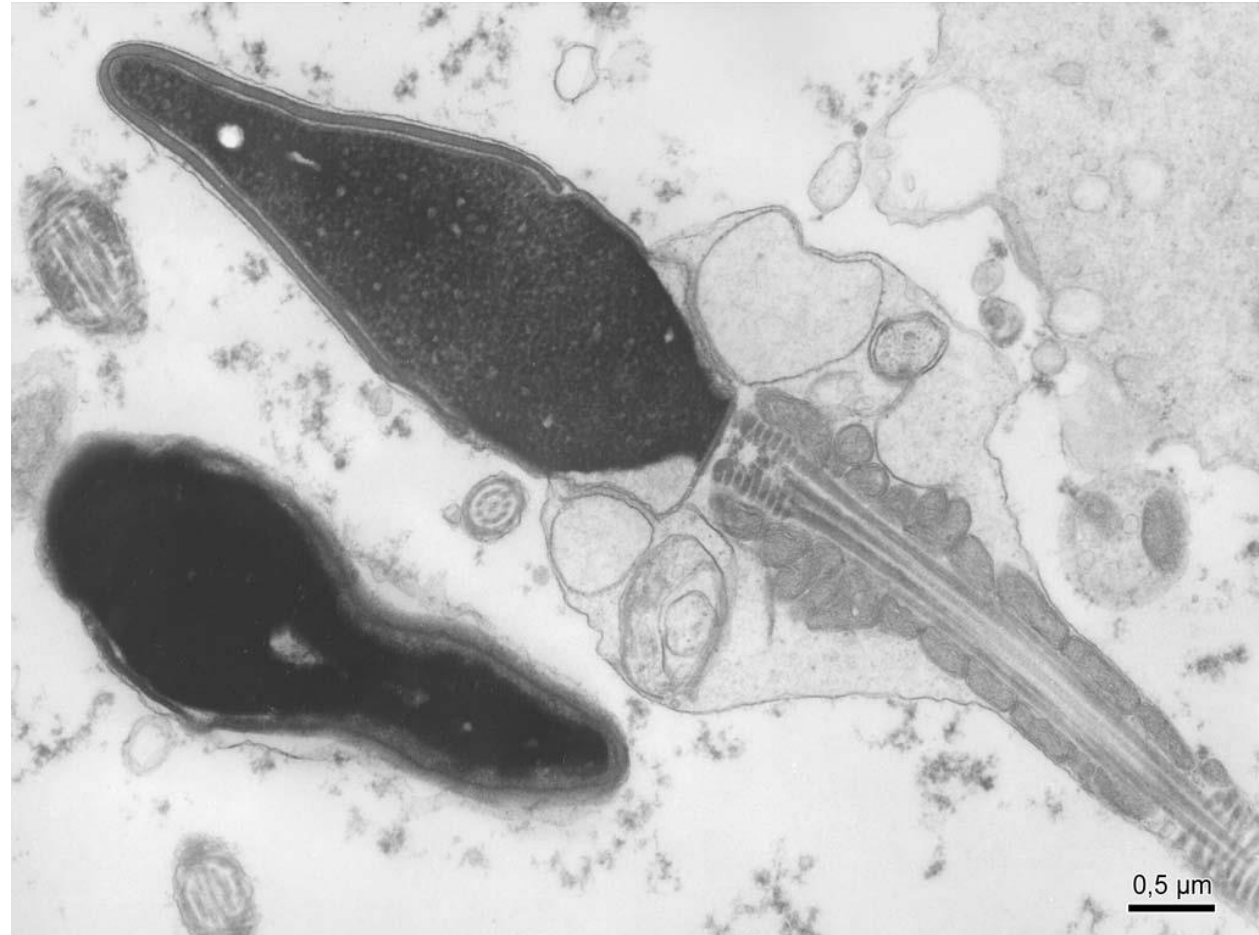


Řasinky – žíhaná nožka, bazální tělísko a axonema



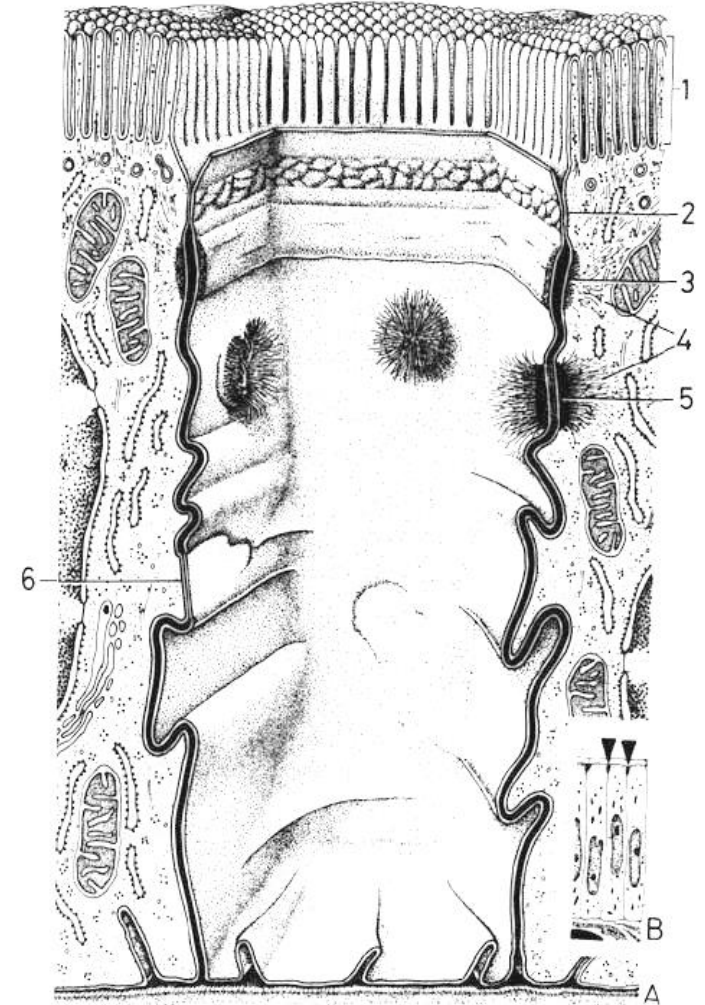
Bičíky

- složitější stavba
- centriol, axonema a další vyztužující struktury (chordy)
- př. spermie



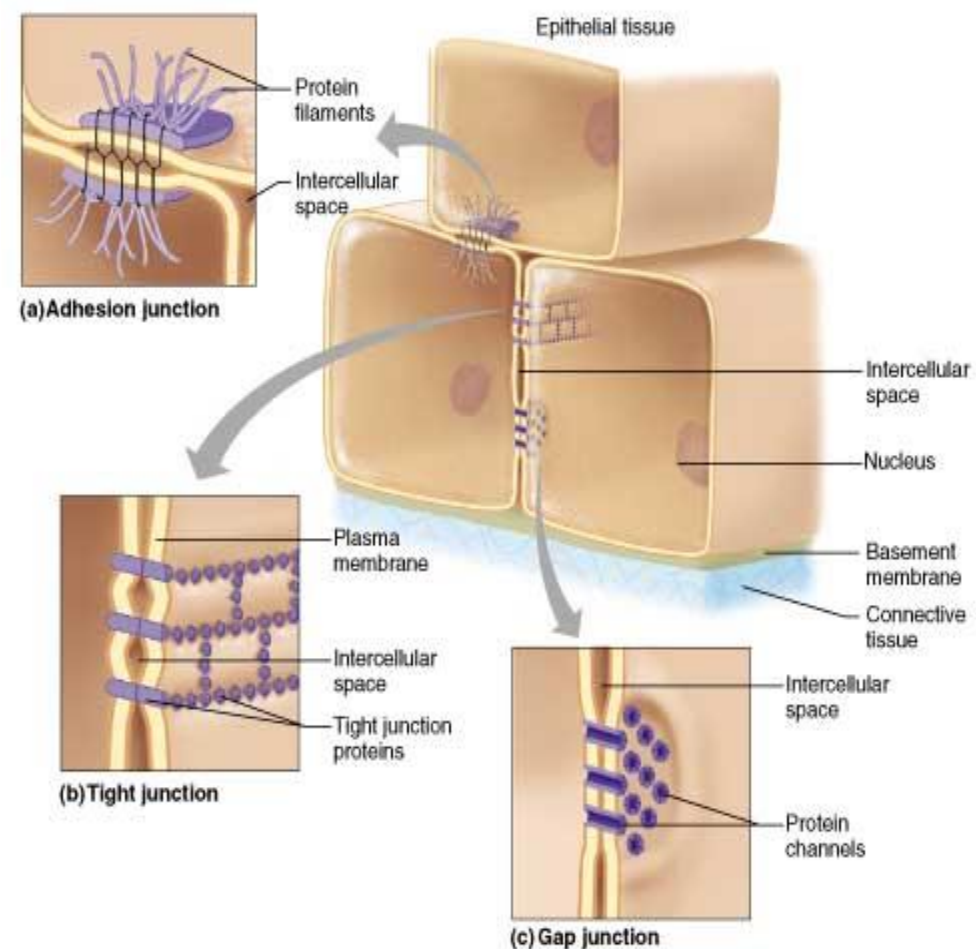
Laterální povrch

- intercelulární štěrbina (20 nm)
- mezibuněčné spoje



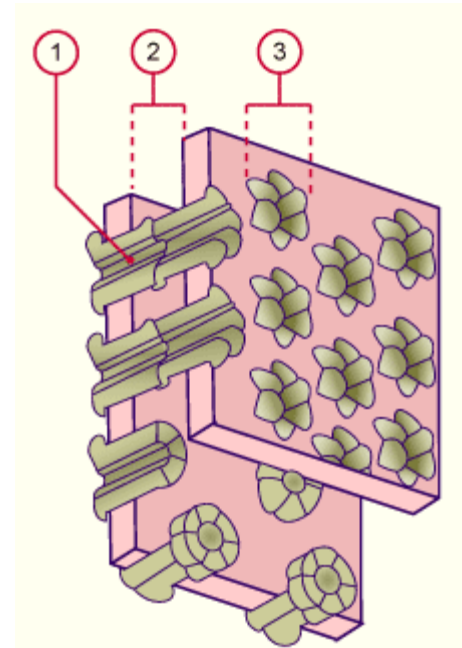
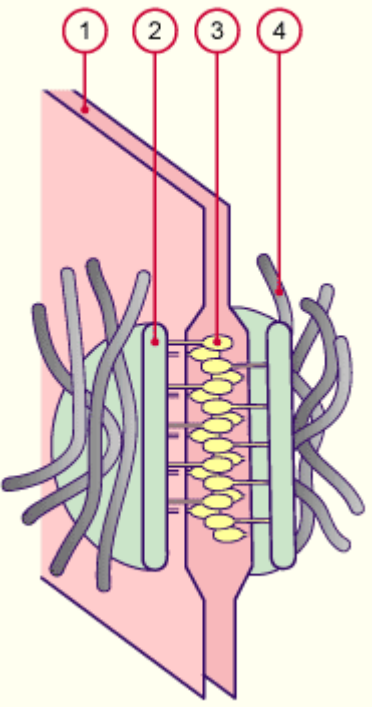
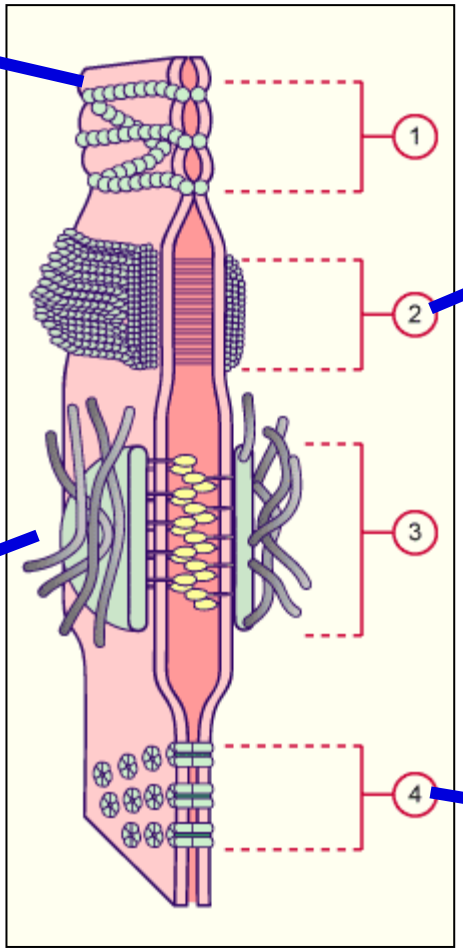
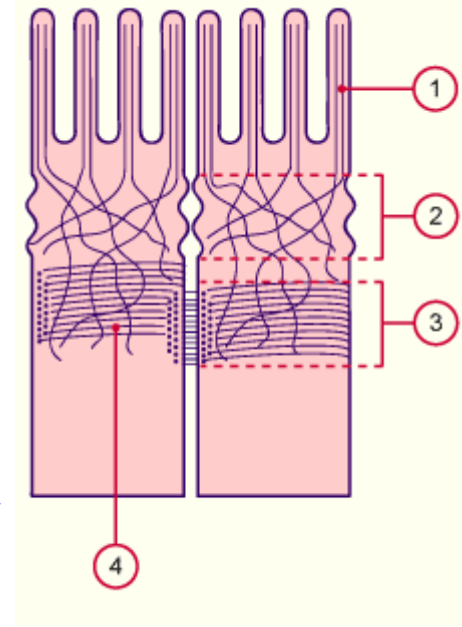
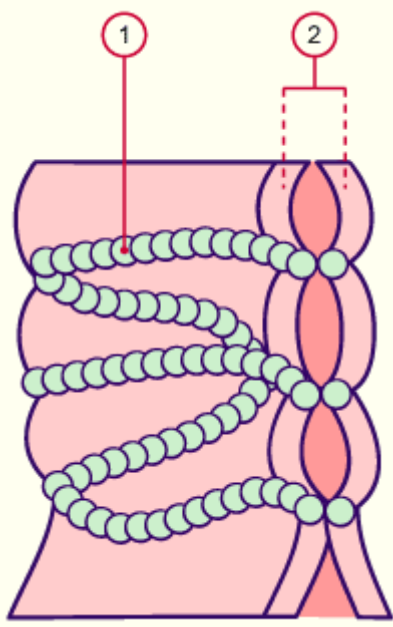
Mezibuněčné (intercelulární) spoje

- těsné = okluzní: zonula occludens
- adhezní: zonula adherens, dezmosom (macula adherens), na bazálním povrchu hemidezmosom
- komunikační: nexus (gap junction)



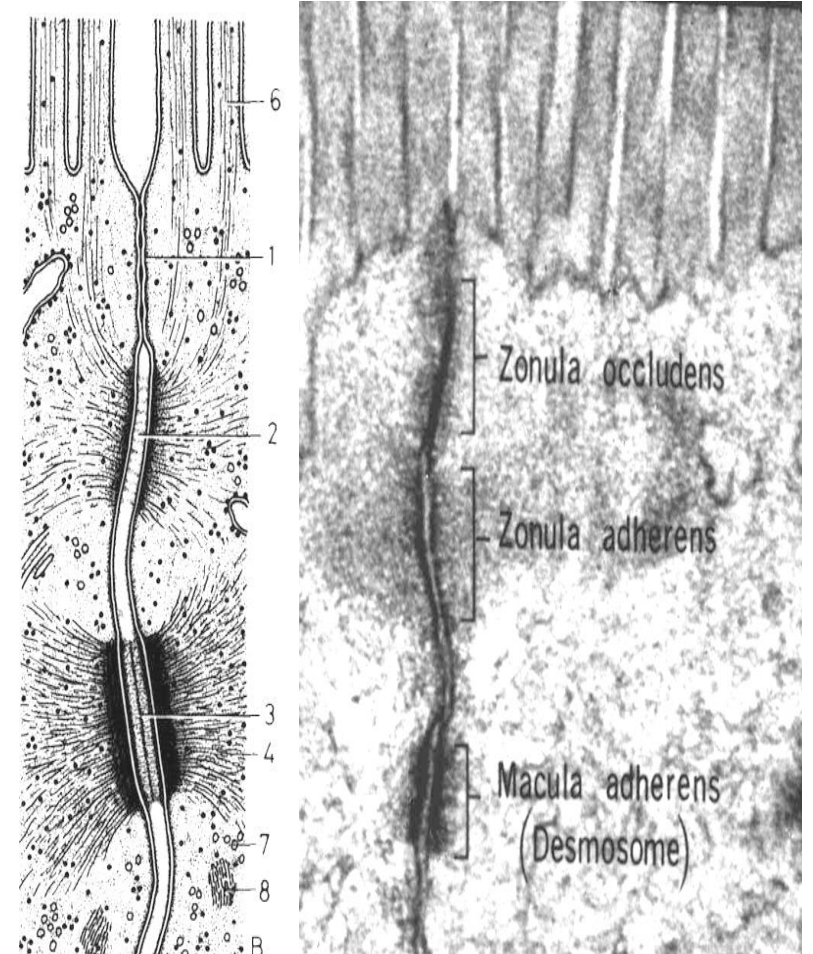
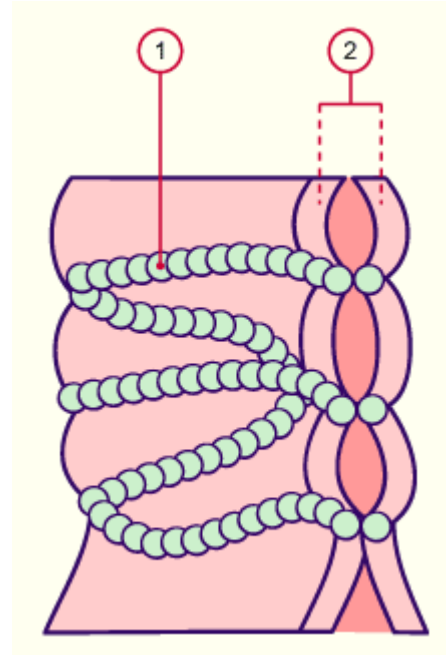
Copyright © 2001 Benjamin Cummings, an imprint of Addison Wesley Longman, Inc.

1. ZO, 2. ZA, 3. MA, 4. N



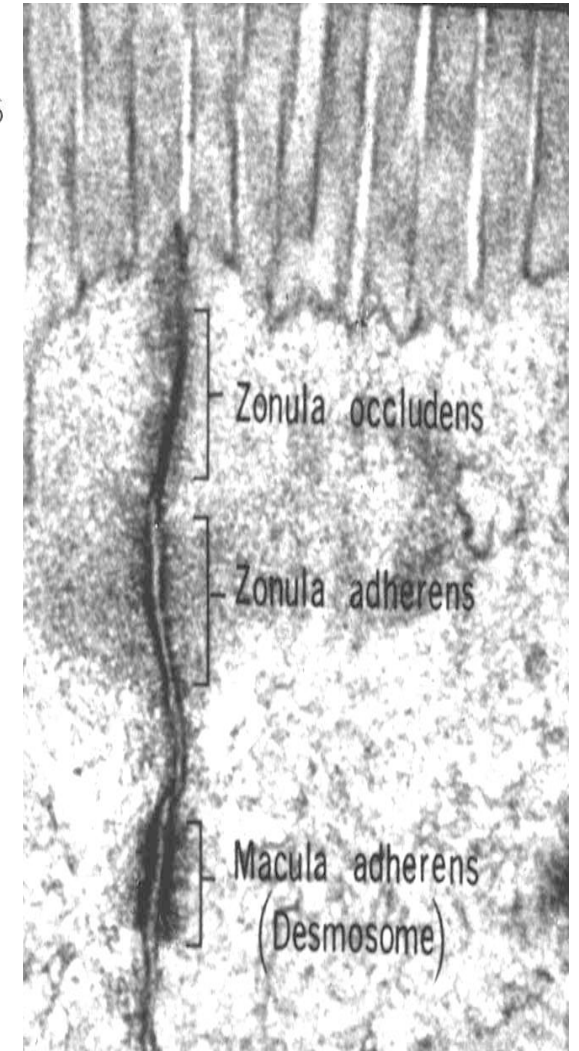
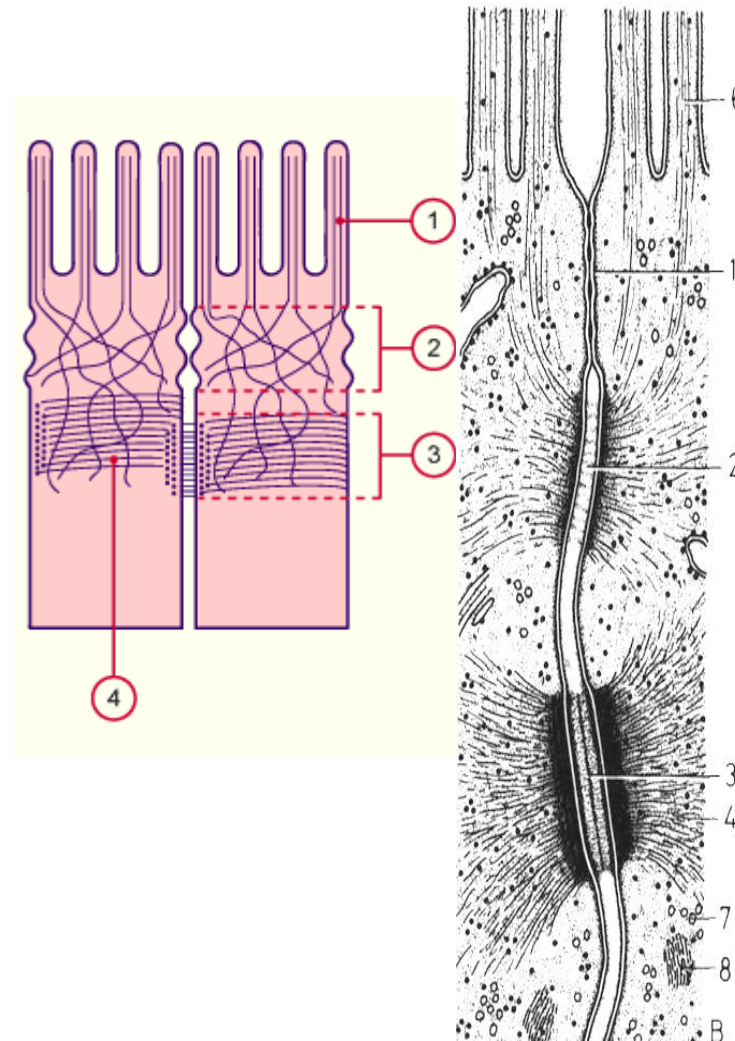
Zonula occludens

- těsné **pásovité spojení** blízko apexu buňky
- plazmalema susedních buněk místy splývá (společné integrální proteiny – *klaudiny, okludiny*)
- funkce: **utěsnění intercelulární štěrbin**



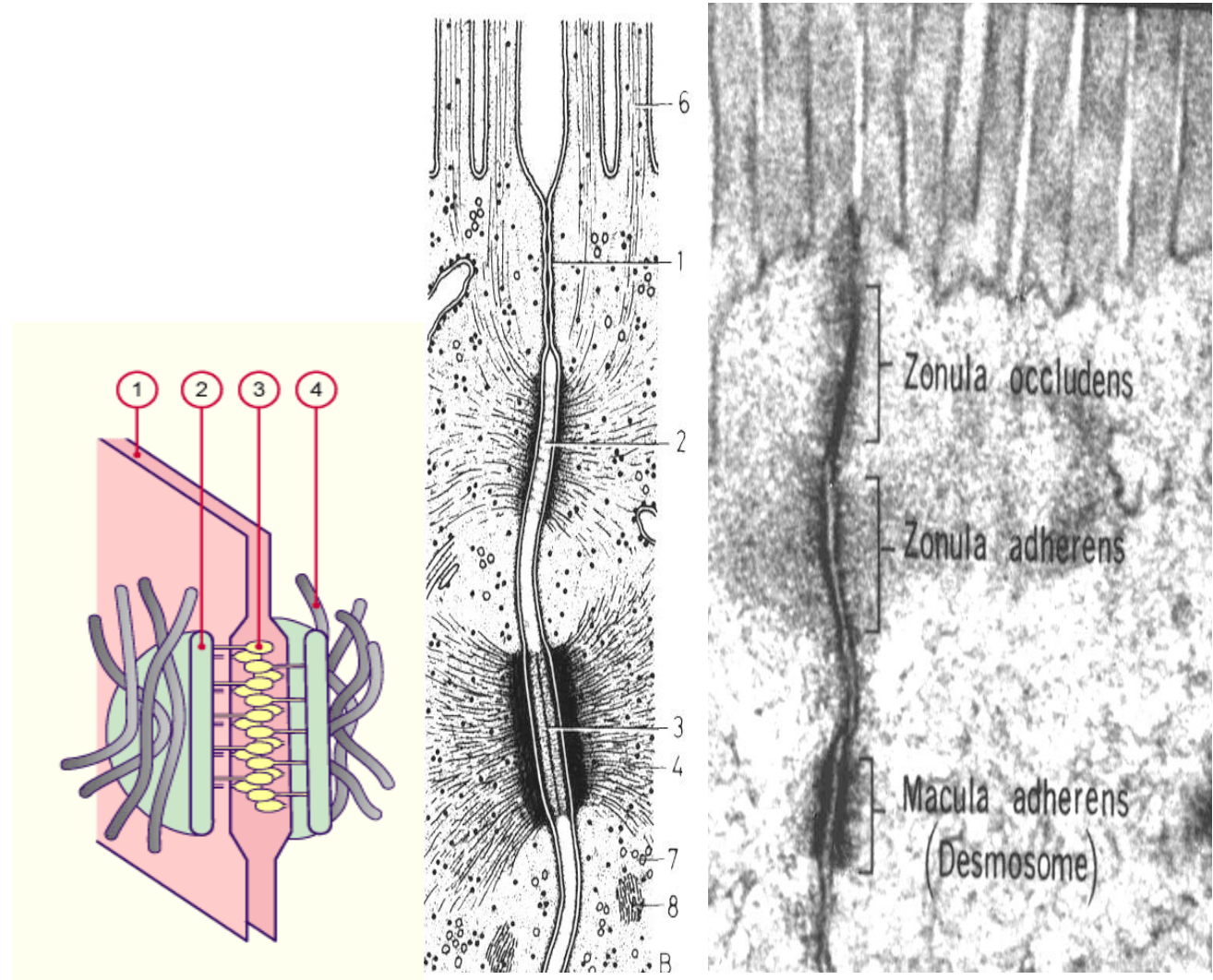
Zonula adherens

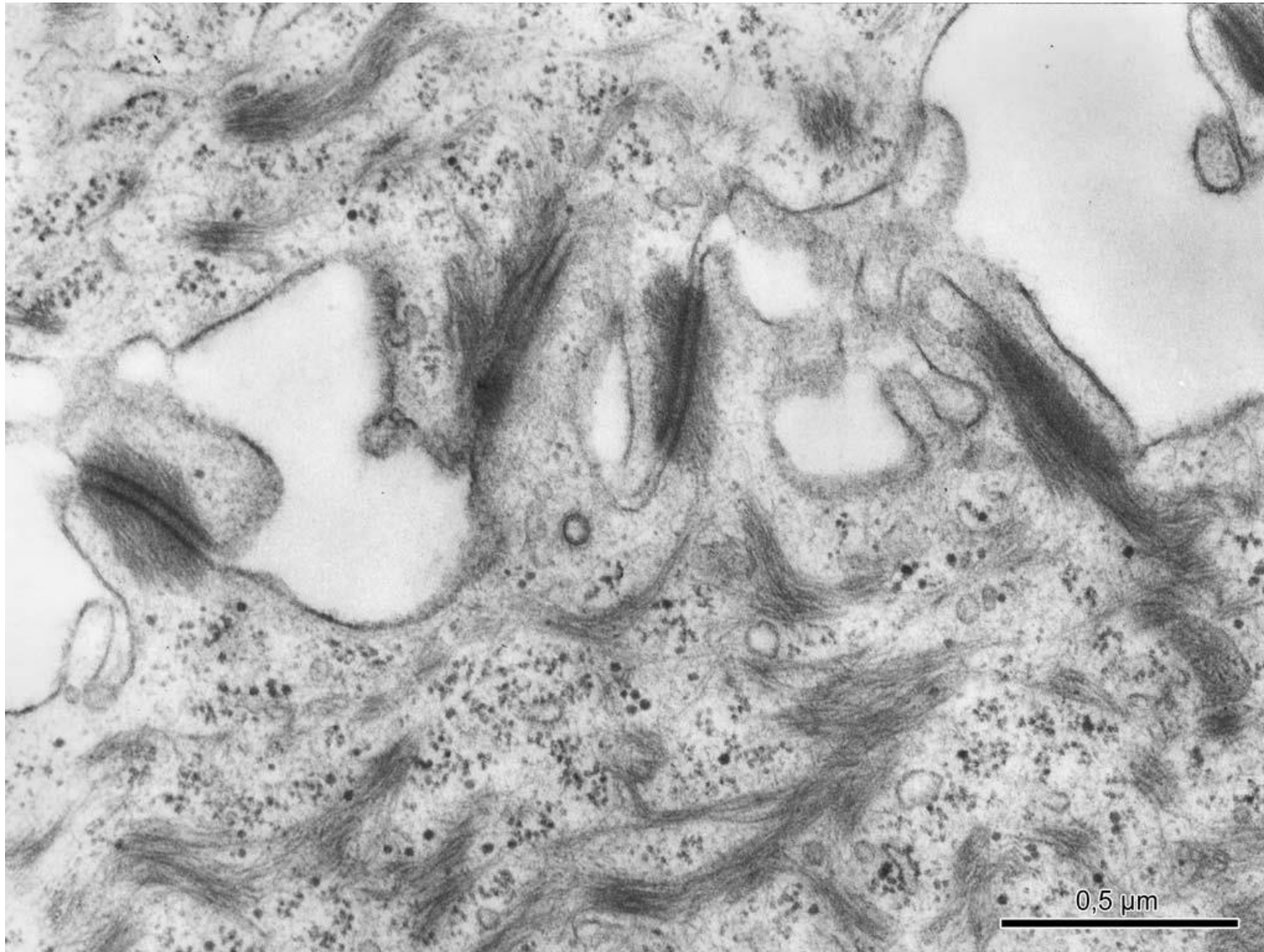
- pásovitý spoj kolem buňky
- intercel. štěrbina – 20 nm, *kadheriny*
- inzerují **aktinová mikrofilamenta** (Ø 6 nm)
- funkce: adheze buněk



Dezmosom (macula adherens)

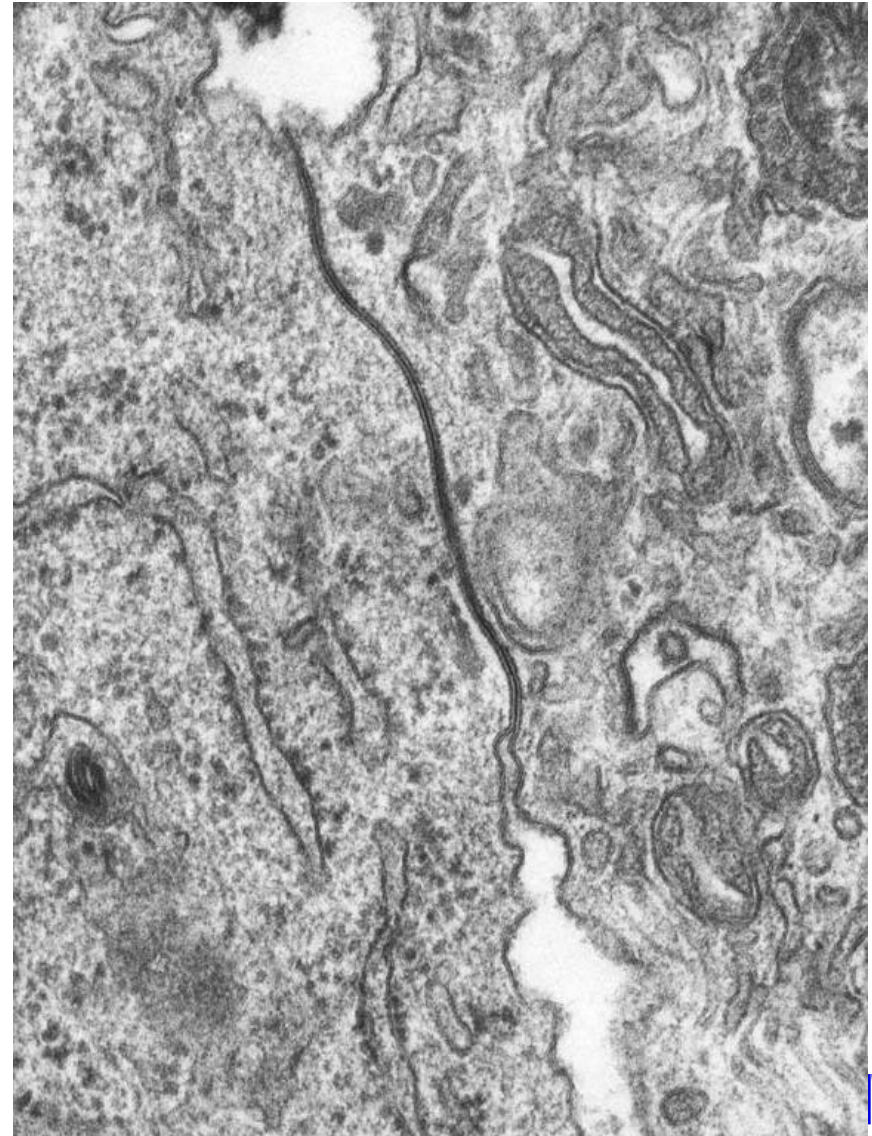
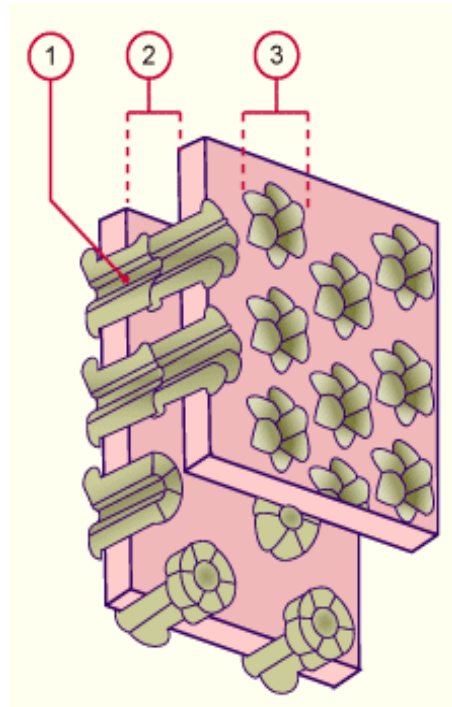
- diskovitý spoj ($\text{\O} 0,3\text{-}0,5 \mu\text{m}$)
- intercel. štěrbina – 40 nm;
el.denzní ploténka, *kadheriny*
- inzerují **intermediární filamenta** (cytokeratin)
- funkce: adheze buněk





Nexus (gap junction)

- plošný „kanálkový“ spoj
- intercel. štěrbina – 2 nm
- **6 konexinů** → kanálek
konexon
- funkce:
komunikace

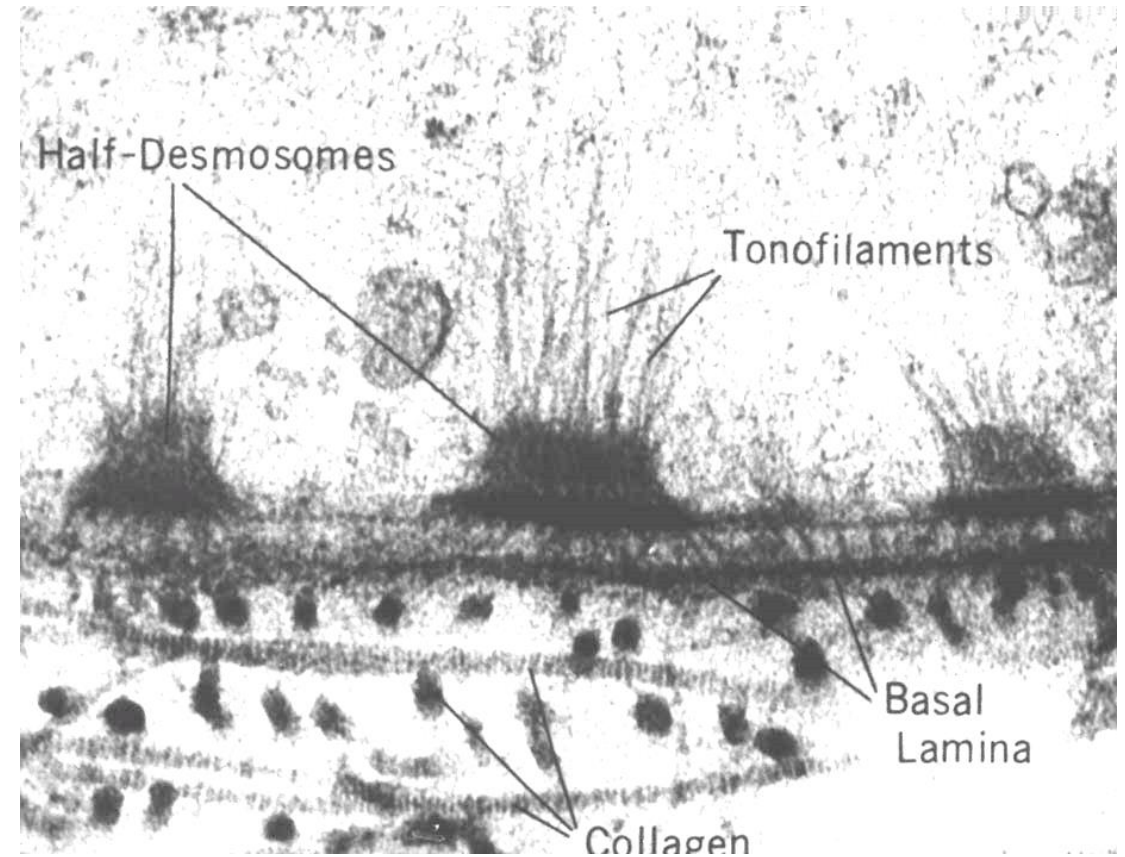


Mezibuněčná spojení - speciality

- **Interkalární disky** – v myokardu, obsahují adhezní spoje (*dezmosomy*, *fascia/zonula adherens*) a komunikační spoje (*nexusy*)
- **Spojovací komplex** (terminální lišta) - kombinace *zonula occludens* (těsnost, pás), *zonula adherens* (pevnost, pás) a *dezmosomů* (body); od apexu k bázi v tomto pořadí
- **Buněčné interdigitace** – na laterální straně buněk, zvětšení povrchu buňky

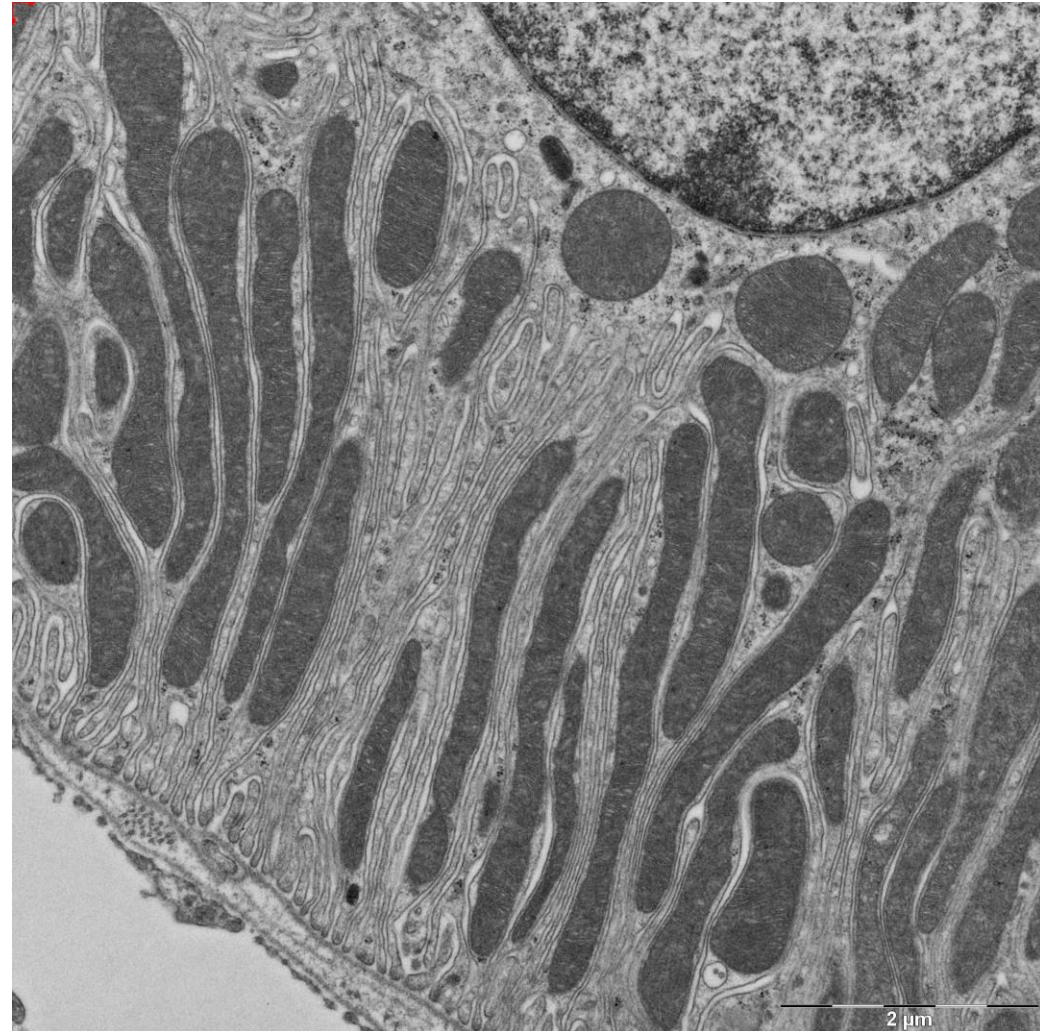
Bazální povrch - Hemidezmosom

- adhezní spoj na bazální straně buňky, diskovitý tvar
- „poloviční dezmosom“
- inzerují **intermediární filamenta**
- funkce: **ukotvení buňky**



Bazální povrch - Bazální labyrint

- záhyby buněčné membrány
- mezi nimi mitochondrie
- v buňkách transportujících ionty (zvětší povrch, mitochondrie zajistí energii)

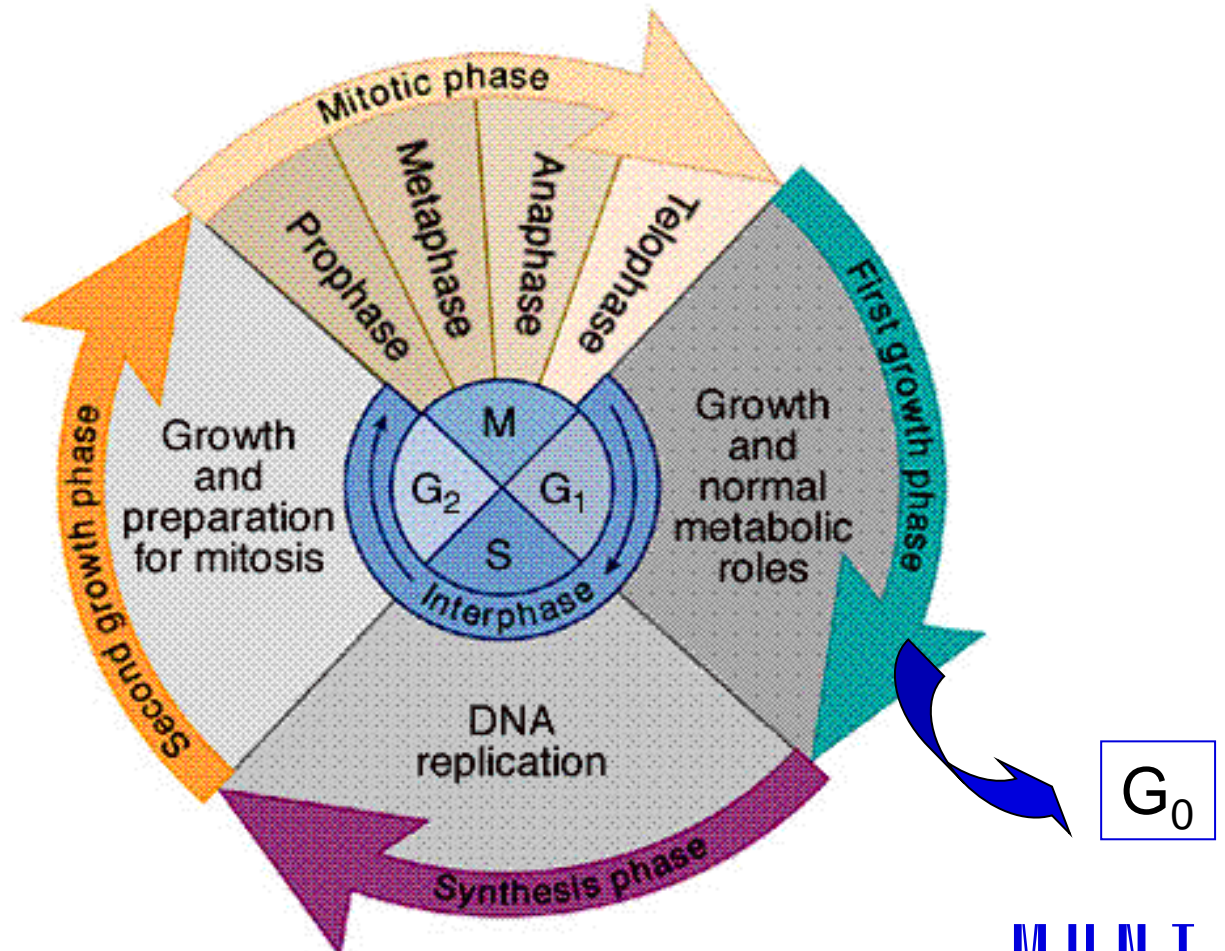


Buněčný cyklus

= sled dějů v buňce mezi 2 po sobě jdoucími mitózami, jehož výsledkem je vznik 2 dceřinných buněk

Fáze buněčného cyklu

- G_1 (postmitotická)
 - S (syntetická DNA)
 - G_2 (premitotická)
 - M (mitóza)
- } Interfáze



- **G₁ – fáze:** postmitotický **růst buňky**; intenzivní tvorba nových organel – syntéza **proteinů**, jak strukturních, tak i enzymů a regulačních proteinů, [chromosom = 1 chromatida] (*délka fáze závisí na typu buňky ± 11 hod.*)
- **S – fáze:** replikace DNA v jádře ⇒ [chromosom = 2 chromatidy], replikace centriolů; (*asi 8 hod.*)
- **G₂ – fáze:** postsyntetické **zmnožení organel**, syntéza **tubulinu**; (*3-4 hod.*)
- **M – fáze:** (mitóza) (*± 1 hod.*)
- **G₀ – fáze** = *zastavený cyklus (neurony, svalové buňky)*



<https://microbenotes.com/chromosome-structure-types-and-functions/>

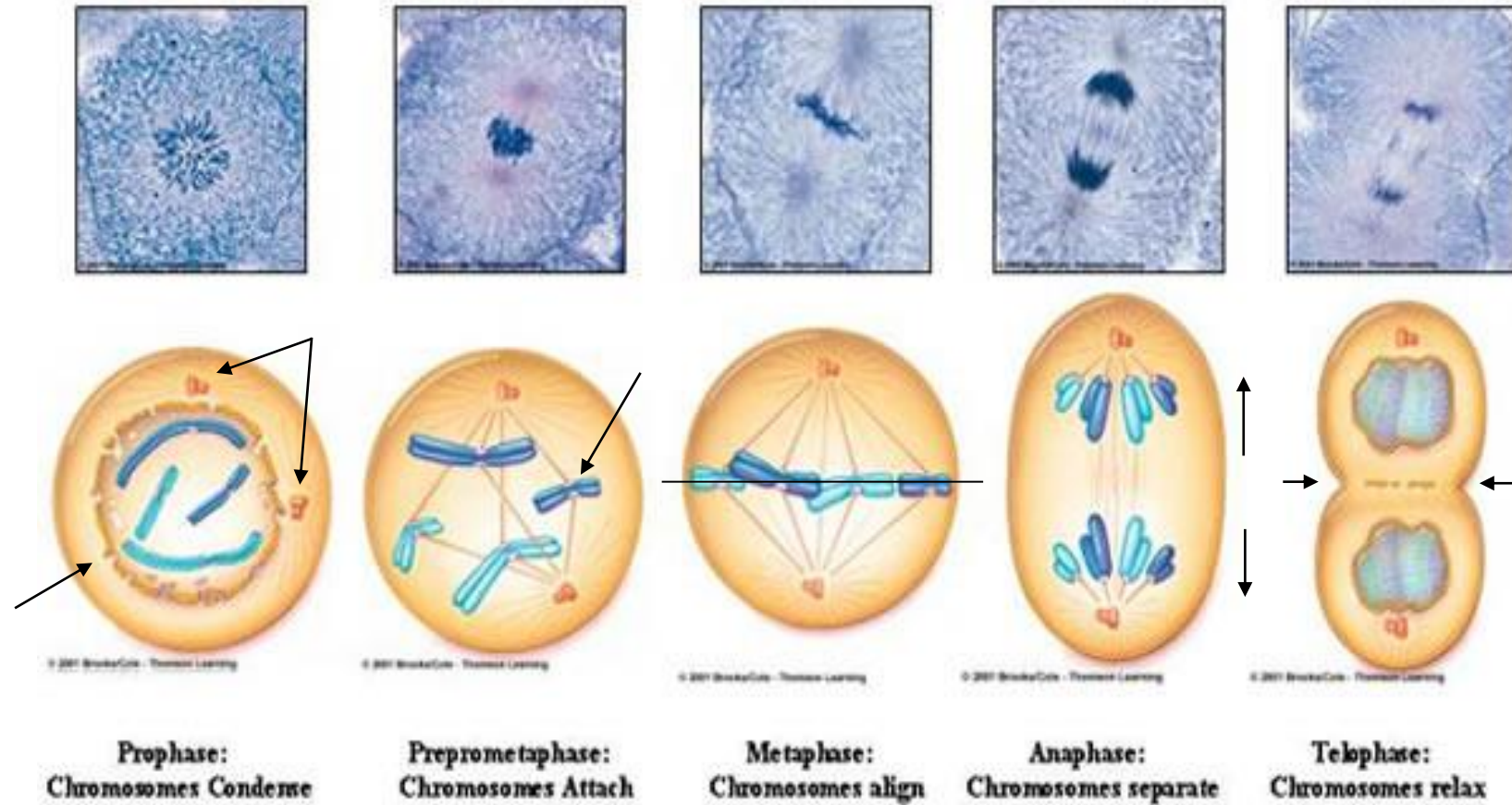
Mitóza

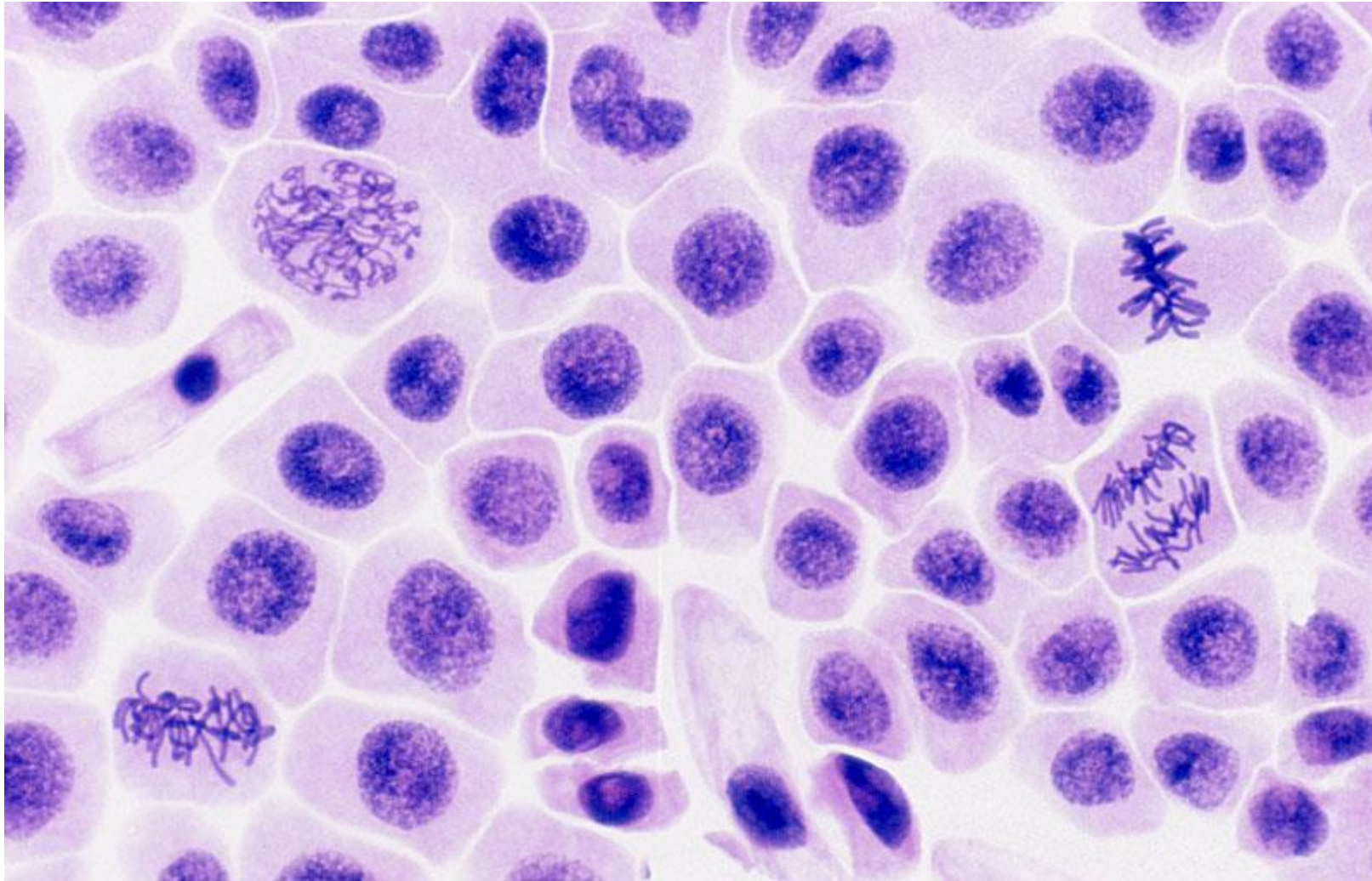
mechanismus, který zajišťuje genetickou identitu somatických buněk

Karyokineze (rozdělení jádra):

- 1) **Profáze** - **dělicí vřeténko**; kondenzace a **spiralizace chromosomů**, rozpadnutí jaderného obalu a vymizení jadérek;
- 2) **Metafáze** - **chromosomy v ekvatoriální rovině** (monaster), dělicí vřeténko – připojení na kinetochory chromosomů;
- 3) **Anafáze** - **oddělení sesterských chromatid**, **zkracování dělicího vřeténka** - rozestup chromosomů k pólům buňky (diaster);
- 4) **Telofáze** - dekonenzace a **despiralizace chromosomů**, rekonstrukce jaderného obalu,

Cytokineze (rozdělení cytoplazmy) – kontraktilní prstenec z aktinu





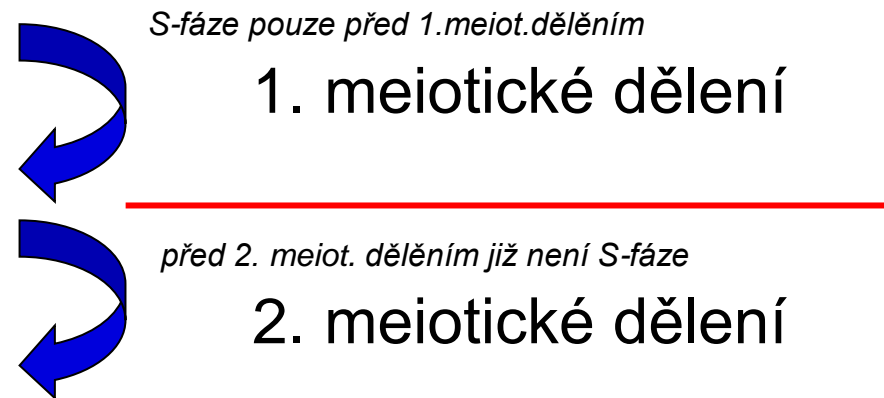
Meióza

- redukce a rekombinace genetického materiálu
- zajišťuje rozdělení diploidních primárních gametocytů (oocyt, spermatocyt) na haploidní gamety

Gametocyty I (**diploidní**; **2n, 4c**)
(46 chromozomů, každý o 2 chromatidách)

Gametocyty II (**haploidní**; **1n, 2c**)
(23 chromozomů, každý o 2 chromatidách)

Gamety (**haploidní**; **1n, 1c**)
(23 chromozomů, každý o 1 chromatidě)



Pozn.: 2n = diploid.počet chromosomů, c = počet řetězců DNA (chromatid) od jednoho typu chromosomu

Meióza

1. Meiotické dělení

Profáze I – dlouhá a modifikovaná:

Leptoten – kondenzace chromosomů

Zygoten – párování homologních chromosomů – bivalenty, synaptolemální komplex

Pachyten – chromatidy = tetrády, rekombinace - **crossing-over**

Diploten – zánik synaptolemálních komplexů a rozestup tetrád, chiasmata – místa, kde došlo k rekombinacím (crossing-over)

Diakineze – zánik (terminalizace) chiasmat, rozpad jaderného obalu, profáze končí

Metafáze (rozestup celých chromosomů), anafáze, telofáze

2. Meiotické dělení

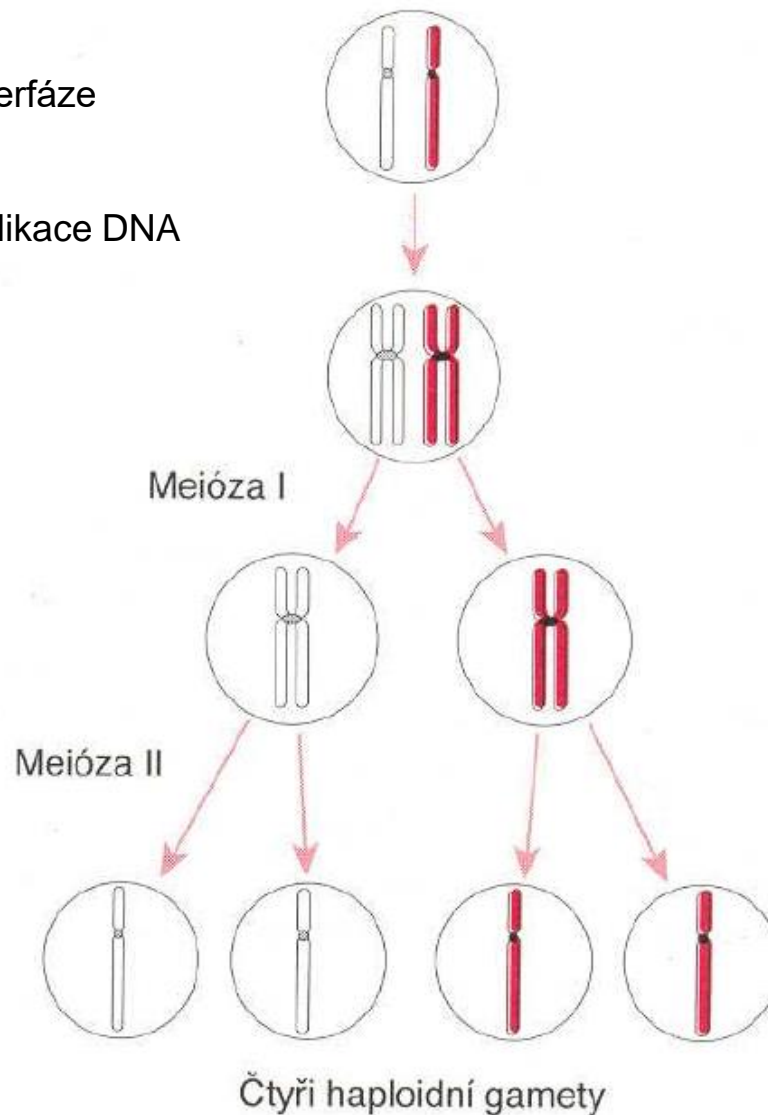
Profáze, Metafáze (rozestup chromatid), anafáze, telofáze

Mezi 1. a 2. meiotickým dělením nedochází k replikaci DNA!

Meióza

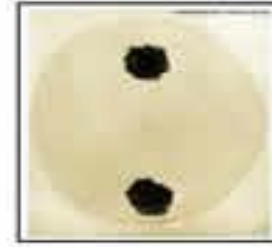
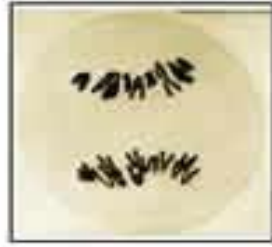
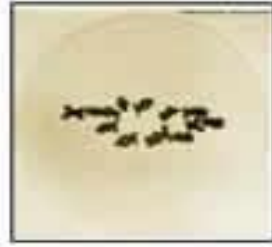
Interfáze

- replikace DNA



Čtyři haploidní gamety

Zjednodušené znázornění základních stadií meiózy sestávajících z jednoho cyklu replikace DNA, následovaného dvěma cykly segregace chromozomů, prvním a druhým meiotickým dělením.



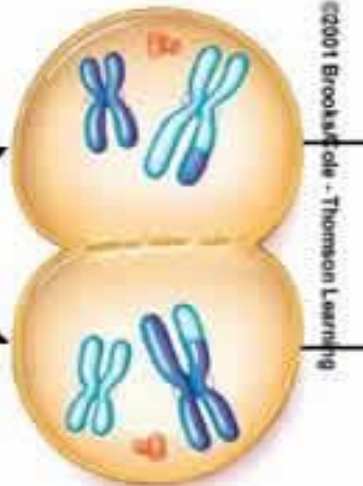
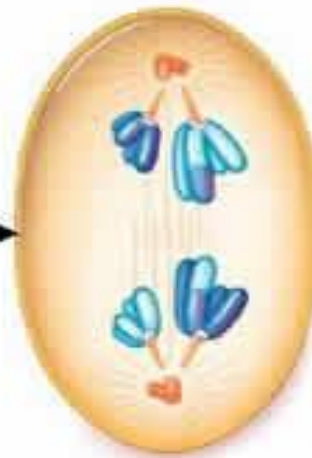
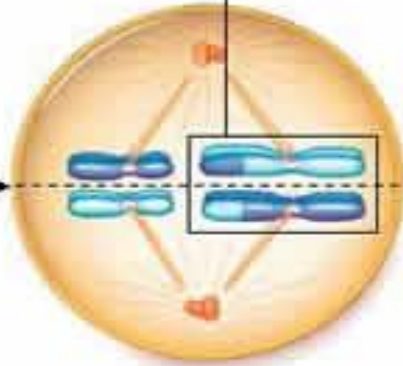
One pair of homologous chromosomes (homologues)

Homologues Condense and cross over

Homologues Align

Homologues Separate

Meiosis I result: homologues separated into 2 cells



©2001 Brookfield - Thomson Learning

PROPHASE I

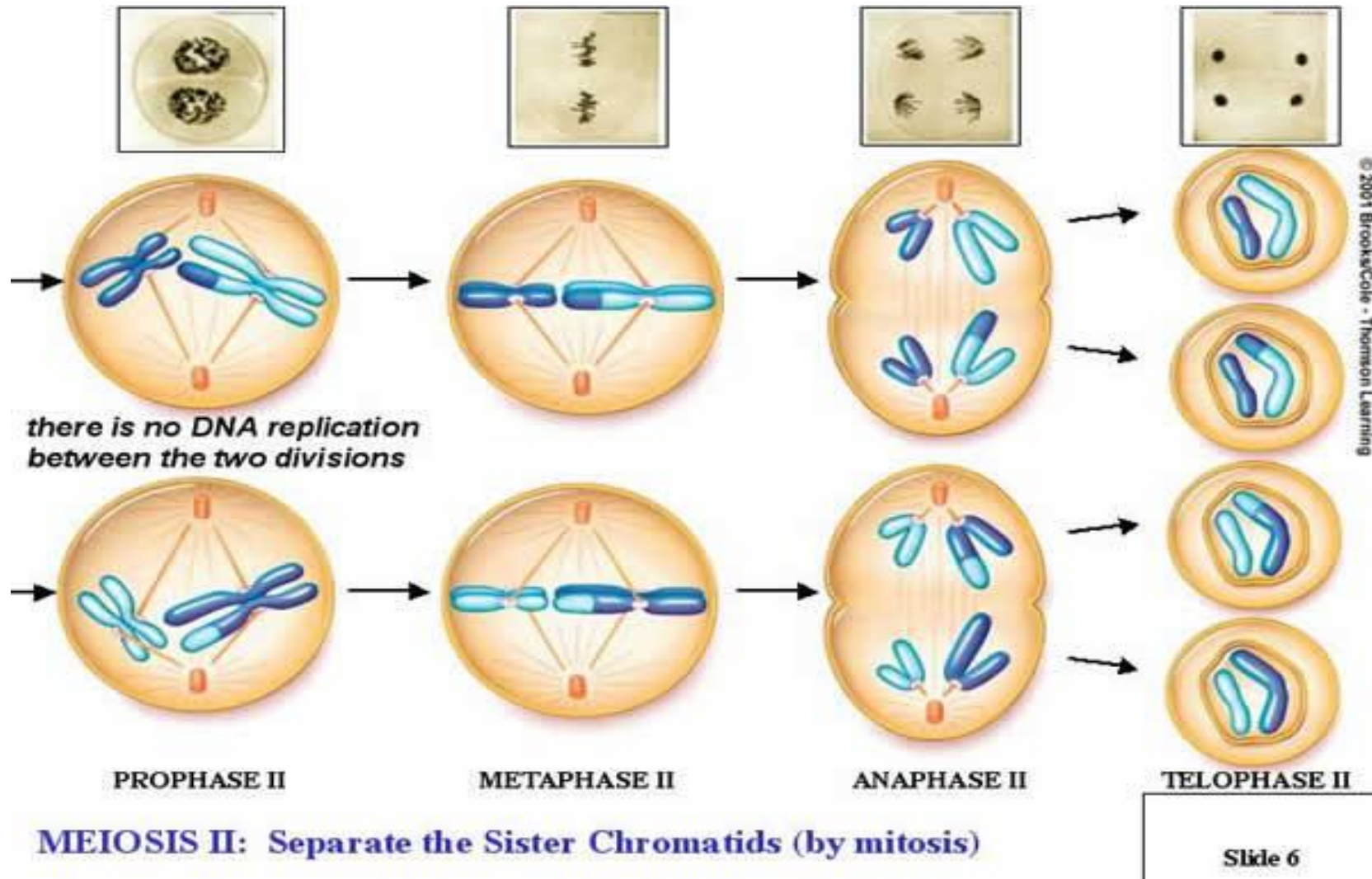
METAPHASE I

ANAPHASE I

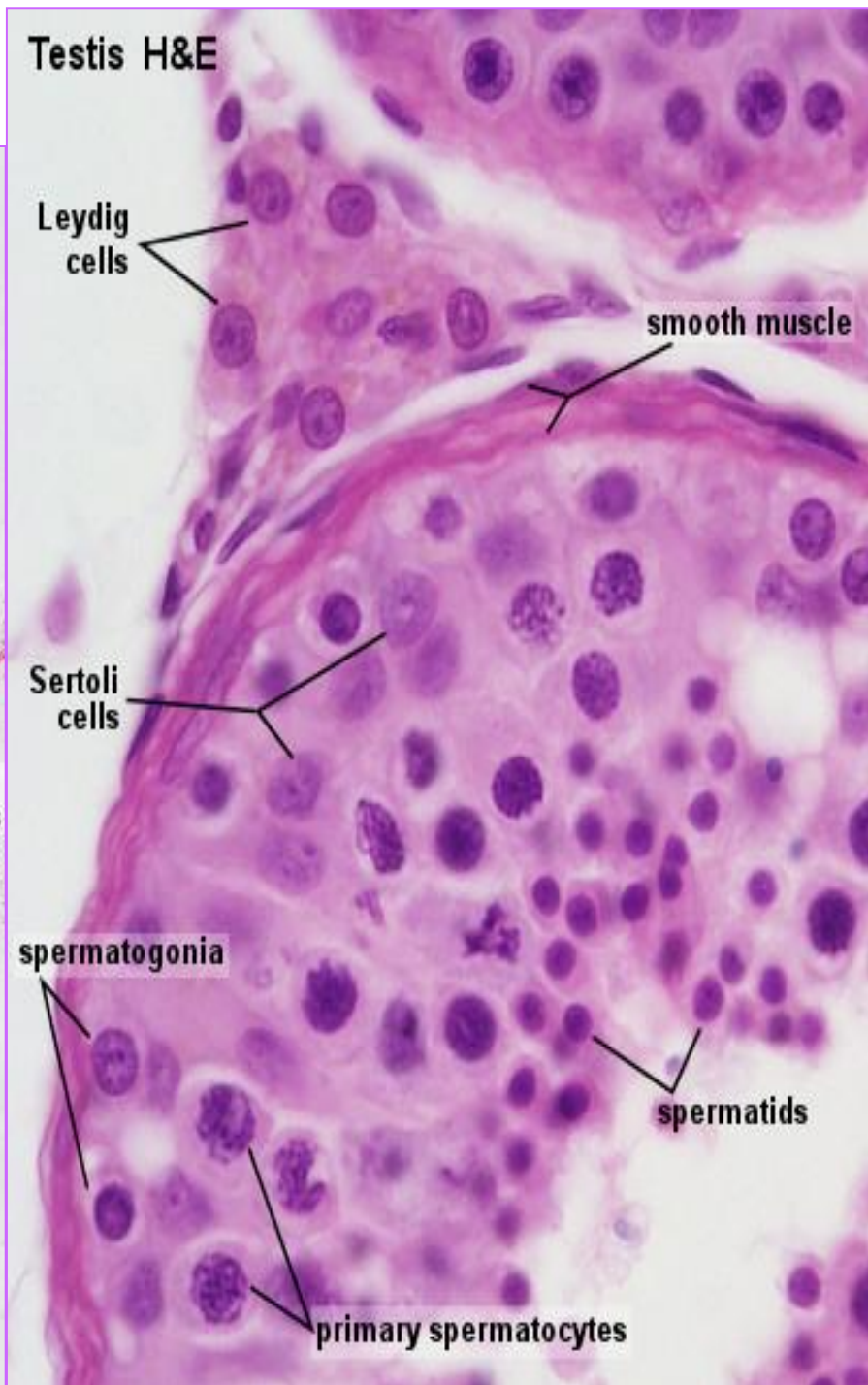
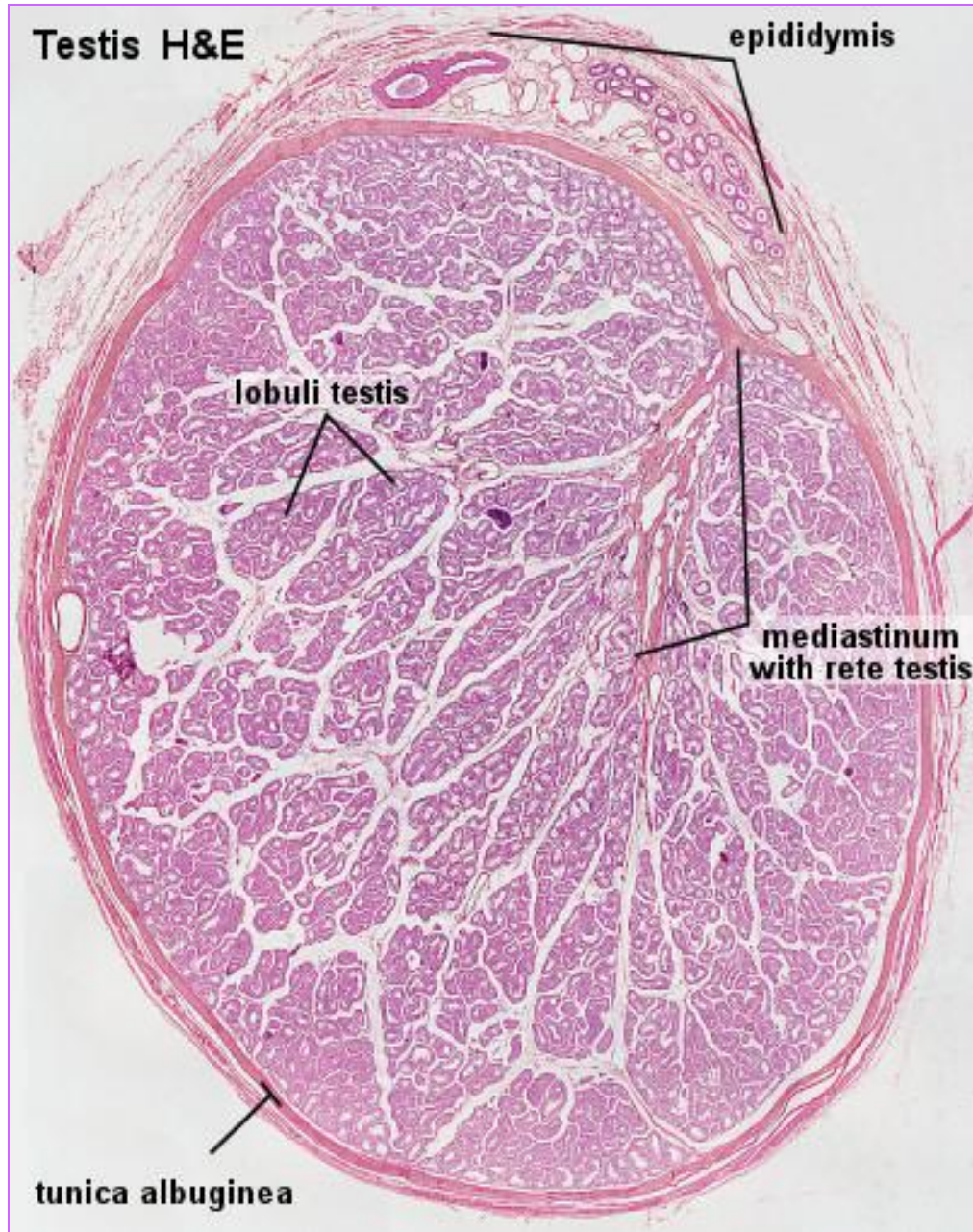
TELOPHASE I

MEIOSIS I: Separate the Homologues

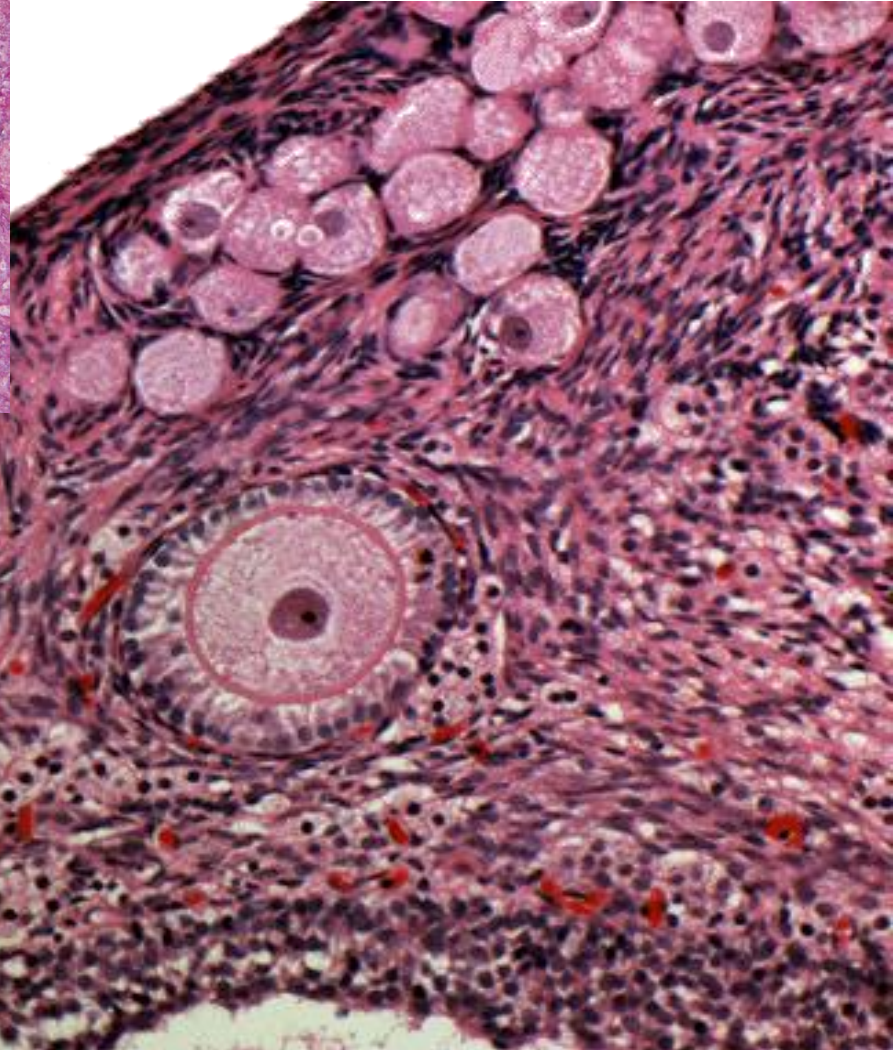
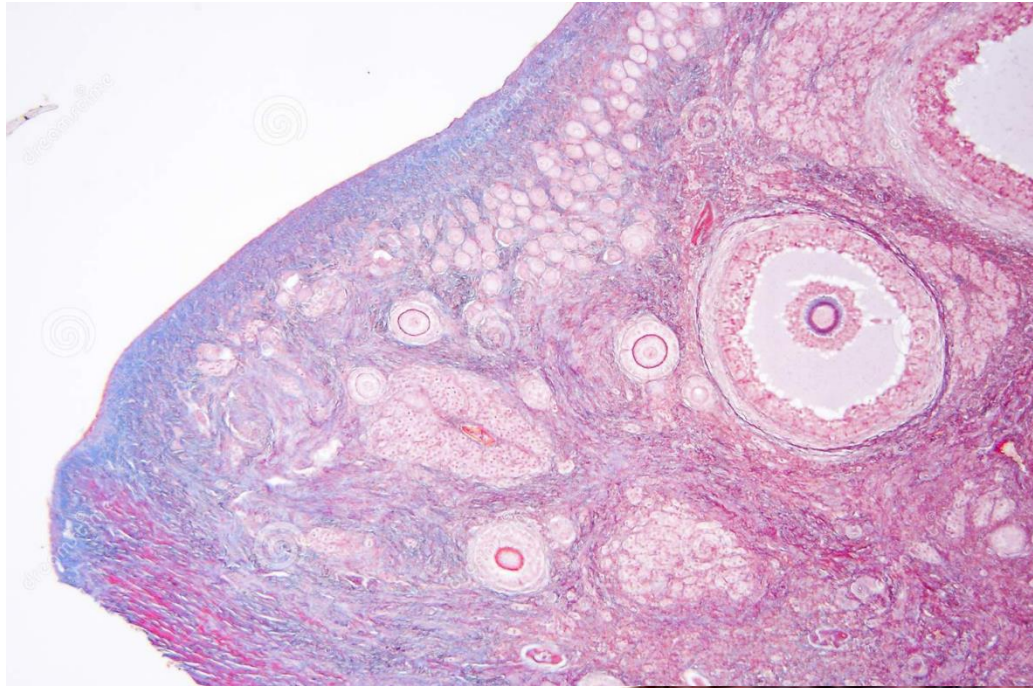
Slide 5



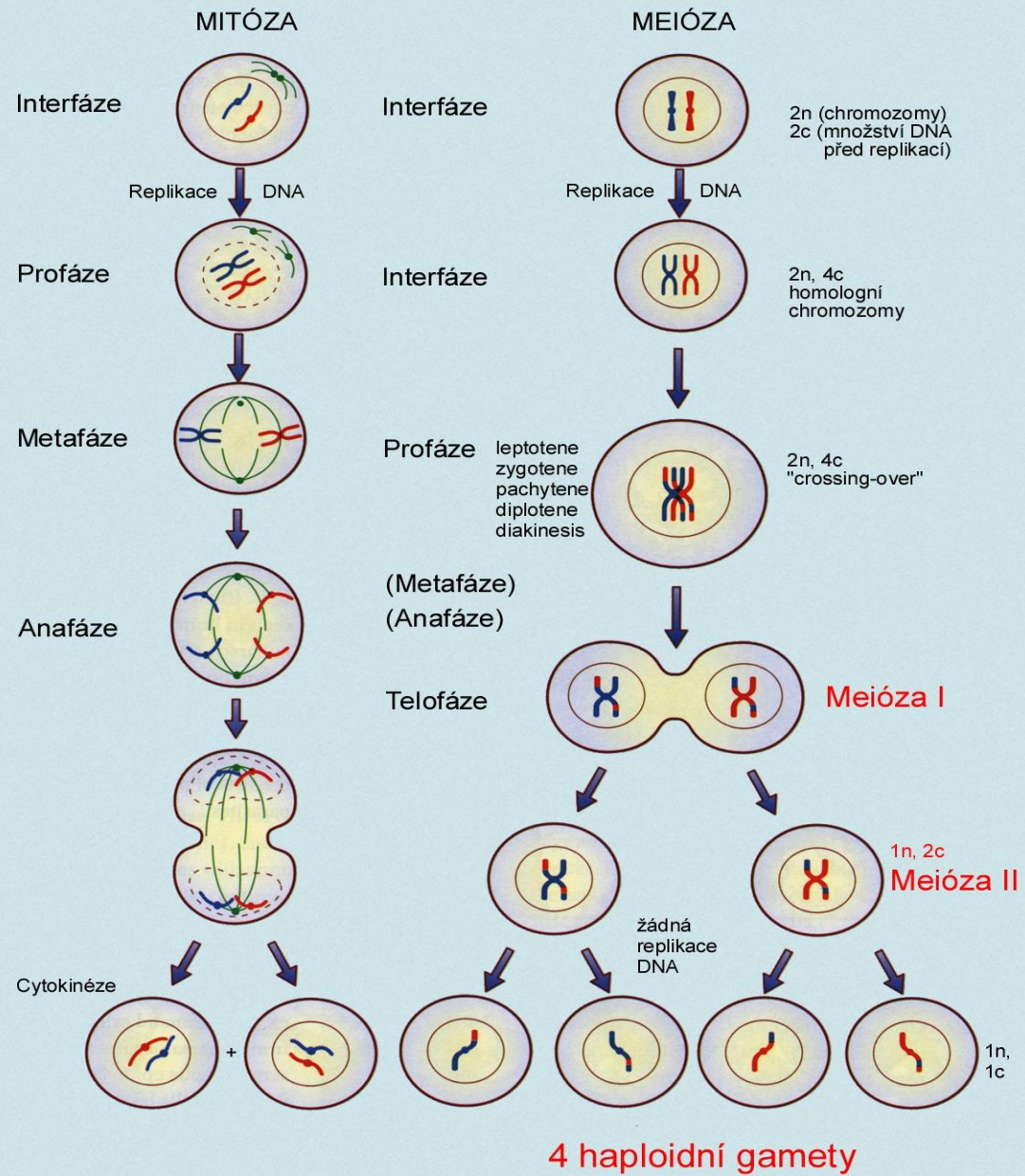
Spermatogeneze



Oogeneze



POROVNÁNÍ MITÓZY A MEIÓZY



Srovnání mitózy a meiózy

Mitóza

- vznik diploidní buňky
- dceřinné bb. jsou identické s mateřskou
- mateřská b.
↓
2 dceřinné bb.

Meióza

- vznik haploidní buňky
- crossing-over

spermatocyt I



4 spermie
(2_xX, 2_xY)

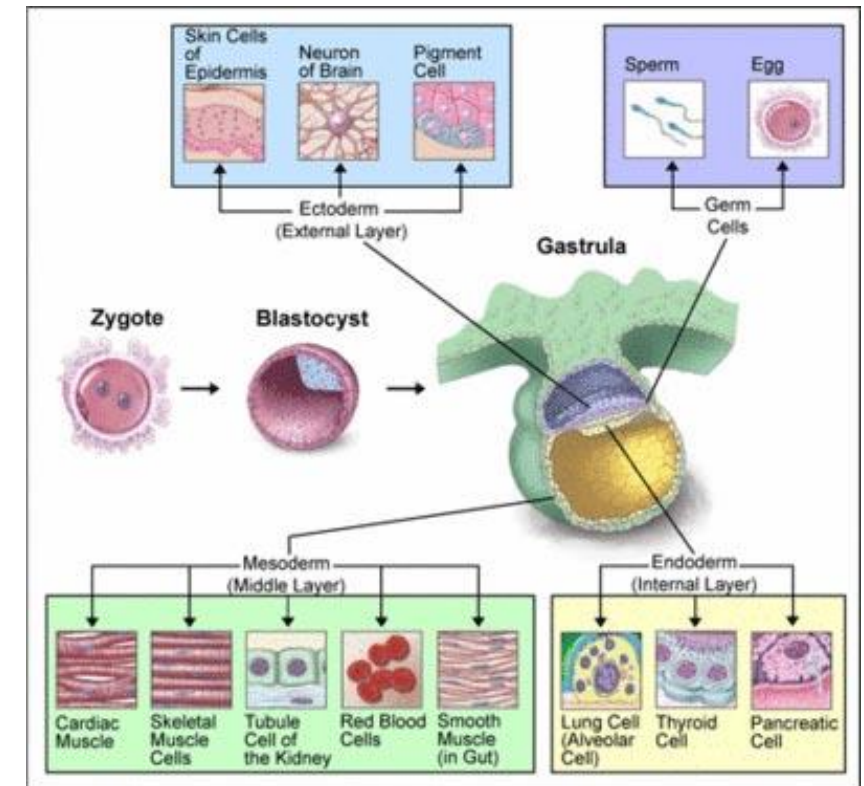
oogocyt I



1 oocyt +
2 pólová
tělíska
(X)

Diferenciace buněk

- postupná specializace buněk (biochemická, morfologická a funkční) uskutečňovaná postupným zapojováním jednotlivých částí genomu
- úloha signálů z okolí buňky = vzájemné interakce buněk v mnohobuněčném organismu, příp. buněk a mezibuněčné hmoty



Růst buňky

- Růstové faktory – aktivují geny odpovědné za zahájení G1 fáze buněčného cyklu
- Zvětšení orgánu: **hyperplazie** (počet buněk ↑)
hypertrofie (velikost buněk ↑)
- Zmenšení orgánu: **atrofie**

Buněčná smrt

- **Nekróza** - ruptura buněčné membrány; vylití cytoplazmy, uvolnění lysozomálních enzymů,
zánět v okolí!
- **Programovaná buněčná smrt**
 - **Apoptóza** – kondenzace chromatinu, fragmentace cytoplazmy, apoptotická tělíska s membránou - likvidace makrofágy aj. (fagocytóza),
bez zánětlivé reakce!
 - **Autofagie** - rozklad buněčných struktur pomocí lysozomů

Použité zdroje

- Cytologický a embryologický atlas, PETR VAŇHARA (ED.), JANA DUMKOVÁ (ED.)
- Histologický atlas LF MU VAŇHARA, Petr, Miroslava SEDLÁČKOVÁ, Irena LAUSCHOVÁ, Jana DUMKOVÁ, Veronika SEDLÁKOVÁ, Svatopluk ČECH a Aleš HAMPL. Histologický atlas LF MU. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 2018. Elportál. ISBN 978-80-210-9068-2.