



Fyziologie pohybu

1.

Lukáš Hlaváček, Katedra zoologie PřF UP Olomouc, 2010

POHYB



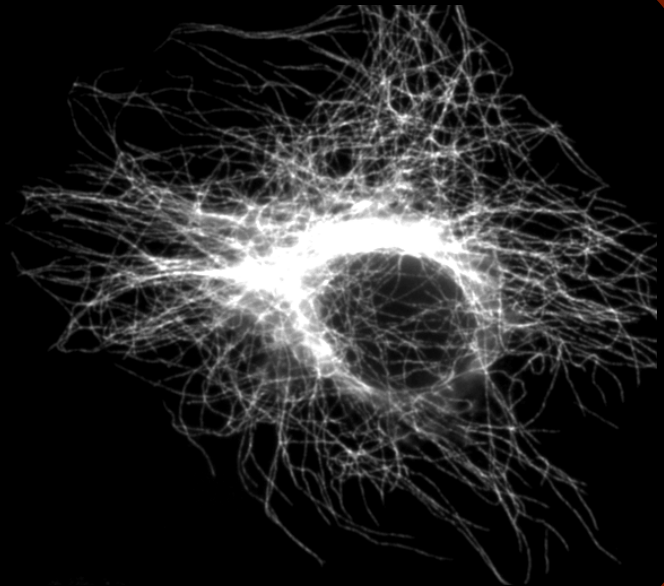
- ✦ **POHYB** je jeden ze základních životních projevů
- ✦ pro život je nezbytný **POHYB** na všech úrovních
 - ✦ **subcelulární** (pohyb v rámci buňky)
 - ✦ **celulární** (pohyb buňky)
 - ✦ **orgánový pohyb** (pohyb orgánu)
 - ✦ **organizmální pohyb** (pohyb celého organismu)

✦ základem veškerého aktivního pohybu v živočišné říši je interakce proteinových vláken
CYTOSKELETU

Cytoskelet - buněčná kostra



X



Cytoskelet se někdy ztotožňuje s pojmem „buněčná kostra“. Skutečně plní funkci vnitřní kostry buňky a navíc má stejně jako kostra organismů funkci pohybovou (kostra organismů má však při pohybu jen funkci pasivní, u cytoskeletu se přidává i funkce aktivní).

Cytoskelet

◆ **důležitá součást
živočišných buněk**

◆ **funkce:**

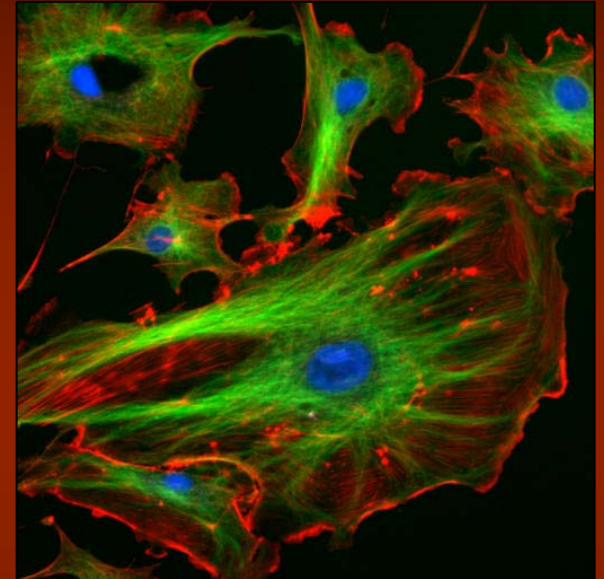
◆ **STATICKÁ**

„vnitřní kostra buňky“,
zajišťuje tvar buňky,
určuje pozici organel

◆ **DYNAMICKÁ**

zajištění pohybu buněčných struktur a látek
na subcelulární úrovni,
schopnost změny tvaru buňky,
pohyb celé buňky

cytoskelet
živočišných
buněk pod
fluorescenčním
mikroskopem



pohyb chromozomů,
fagocytóza, endocytóza,
pohyb mikrokvlků, ...

Cytoskelet



```
graph TD; C[Cytoskelet] --> A[základní proteinové tubuly a filamenta]; C --> B[asociované proteiny]; A --> C1[MIKROTUBULY]; A --> C2[MIKROFILAMENTA]; A --> C3[STŘEDNÍ FILAMENTA]; B --> C4[MOLEKULÁRNÍ MOTORY];
```

**základní proteinové
tubuly a filamenta**

asociované proteiny

MIKROTUBULY

MIKROFILAMENTA

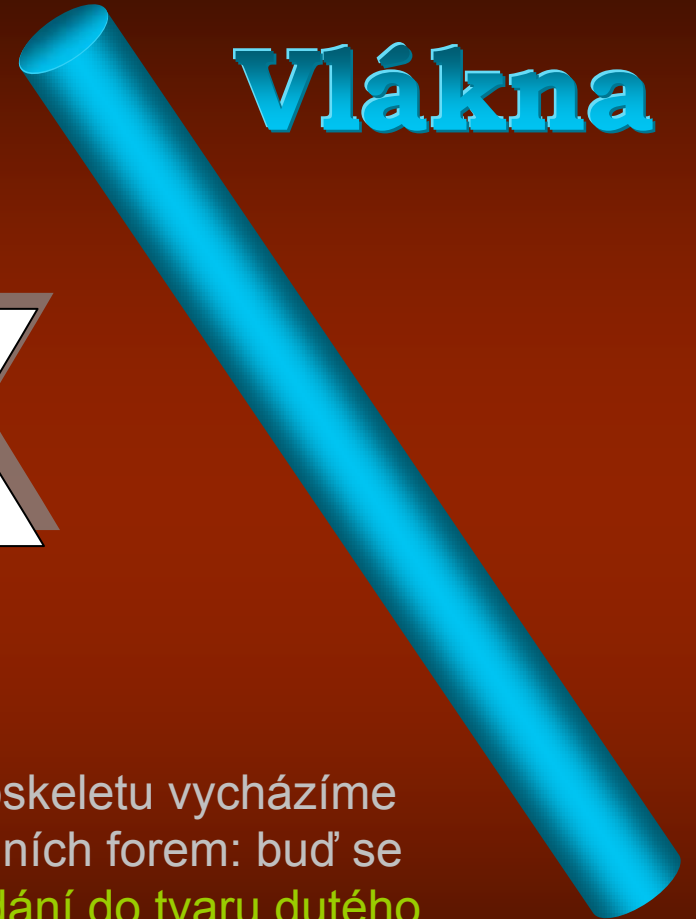
STŘEDNÍ FILAMENTA

MOLEKULÁRNÍ MOTORY

Tubuly & Filamenta



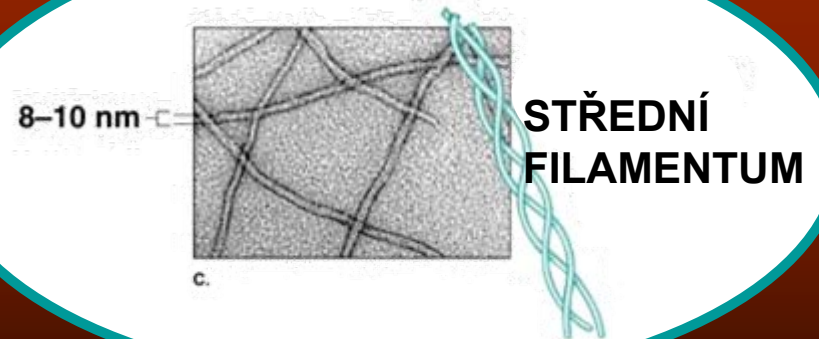
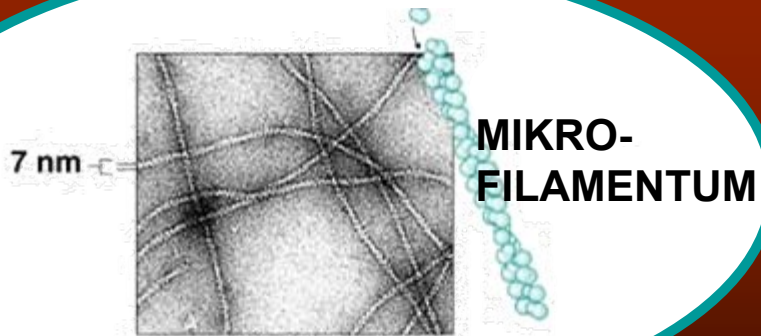
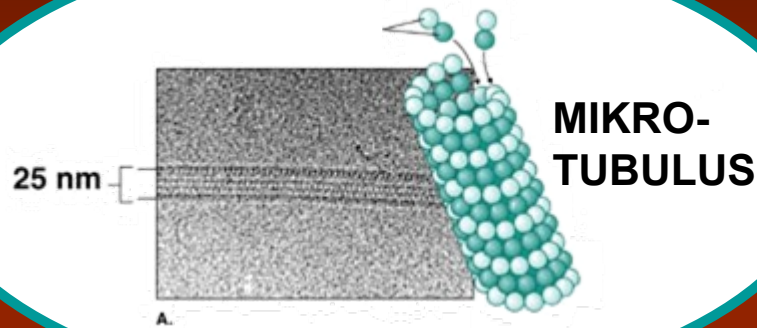
Duté válce



Vláknna

Při popisu cytoskeletu vycházíme ze dvou základních forem: buď se jedná o **uspořádání do tvaru dutého válce** (v případě mikrotubulů), nebo o **uspořádání vláknité** (v případě mikrofilament a středních filament).

Tubuly & Filamenta

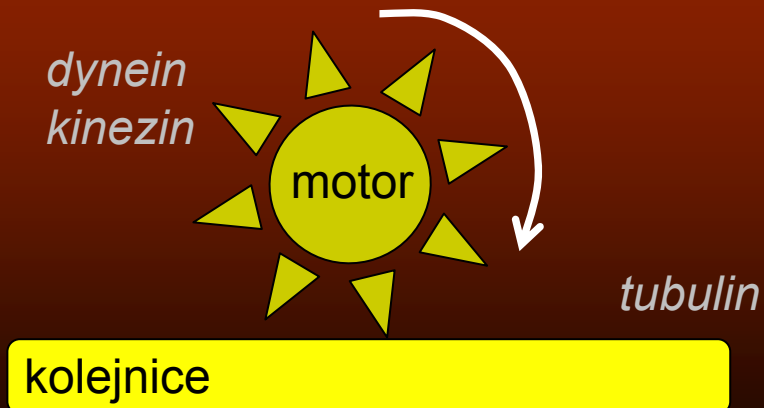


Pohyb = spolupráce proteinů

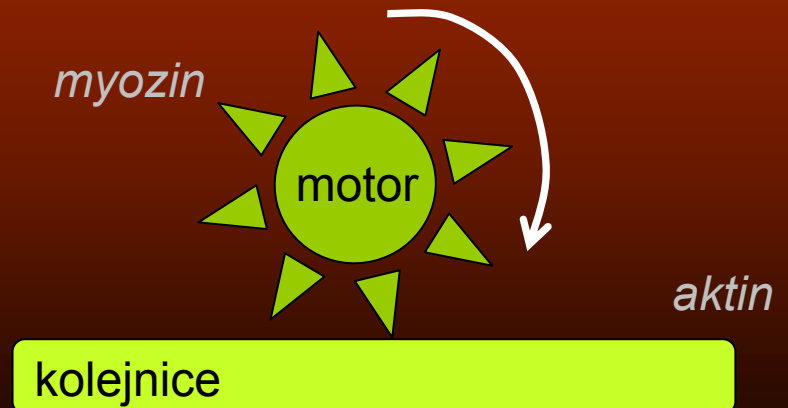
◀ subbuněčný i buněčný pohyb založen vždy na spolupráci dvou typů proteinových vláken:

- ◀ 1. funguje jako aktivní motor (lokomotiva), která se za spotřeby energie posouvá po vlákně druhém ...
- ◀ 2. funguje jako pasivní mechanická podložka (kolejnice)

MIKROTUBULÁRNÍ DVOJICE



MIKROFILAMENTÁRNÍ DVOJICE



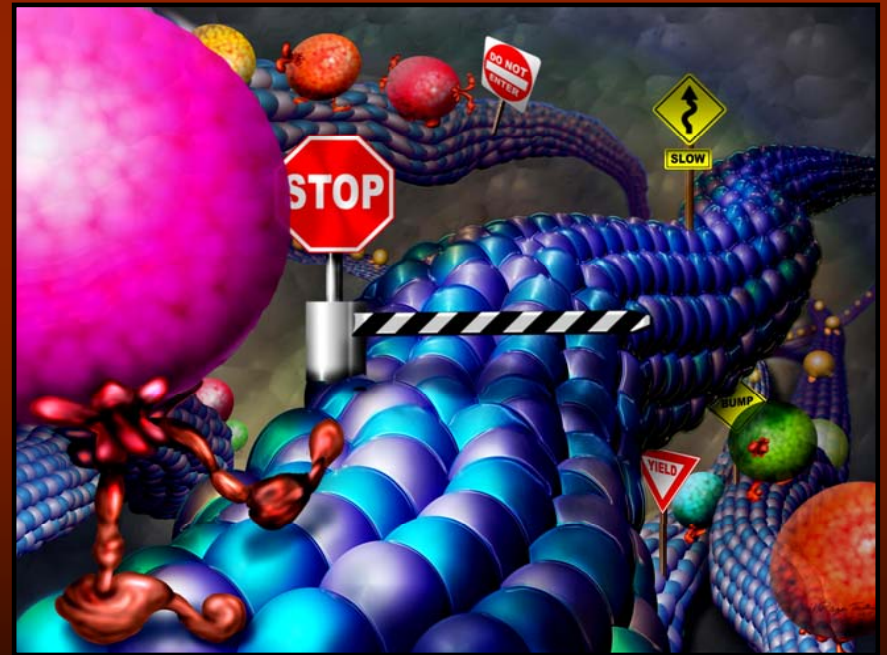
Asociované proteiny

Zatímco vlákna a tubuly cytoskeletu představují především nosnou strukturu, skrze asociované proteiny se uskutečňuje většina jeho pohybových funkcí.

Jsou to proteiny, které jsou s cytoskeletem spojeny funkčně. Významnými zástupci těchto proteinů jsou tzv. „molekulární motory“ (dynein, kinezin, myozin).

PODSTATA FUNGOVÁNÍ MOLEKULÁRNÍCH MOTORŮ

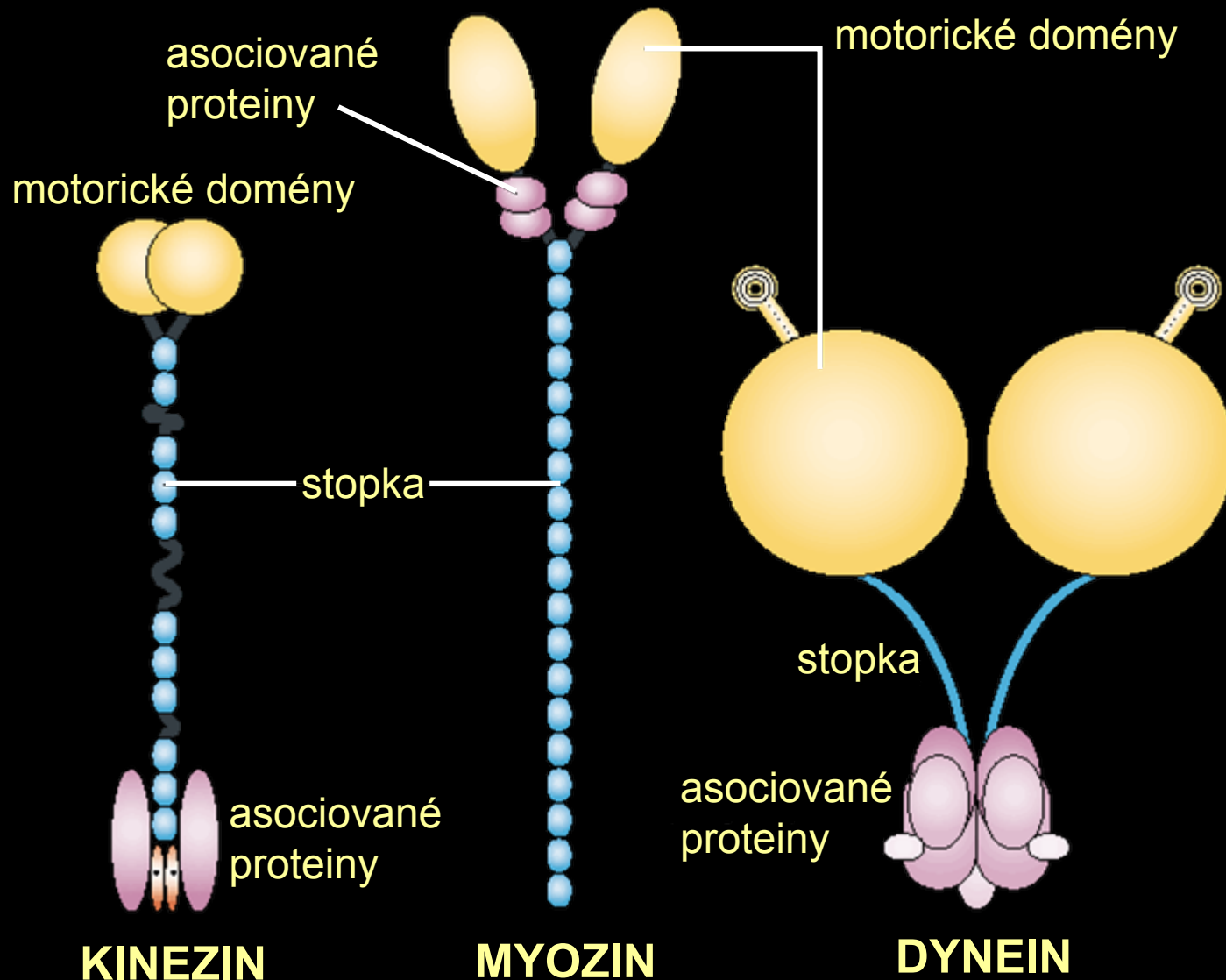
- ✦ molekulární motory obsahují enzym ATP-ázu, který štěpí ATP
- ✦ rozštěpení makroergních vazeb → uvolnění energie
- ✦ energie využita ke změně tvaru motoru (= jeho posunutí po podložce)
- ✦ rozštěpení další molekuly ATP → další posunutí motoru



🟢 motory asociované s mikrotubuly (kinezin, dynein)

🟢 motory asociované s mikrofilamenty (myozin)

Subbuněčné motory

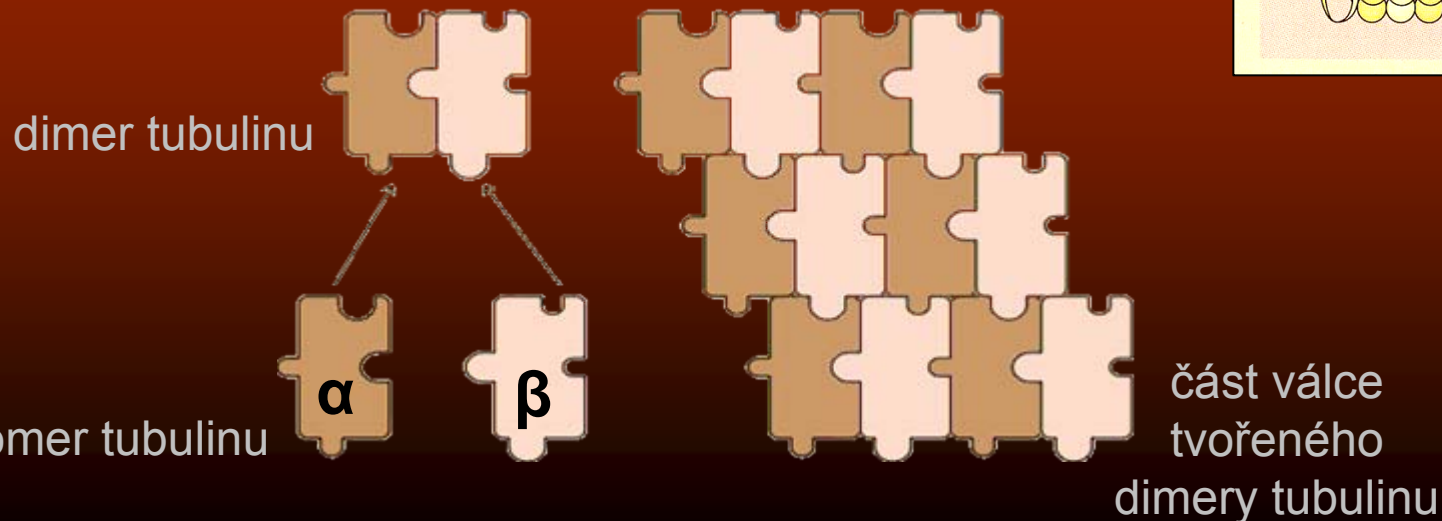
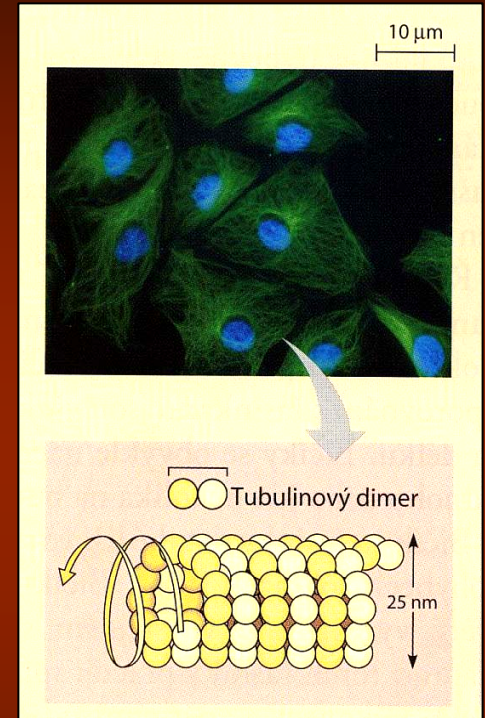


Ukázka spolupráce proteinů: Axonální transport



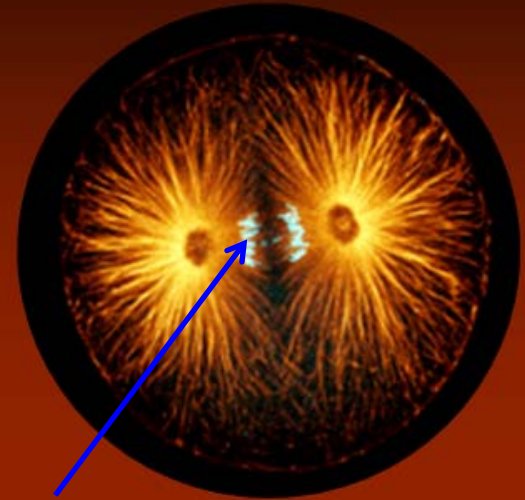
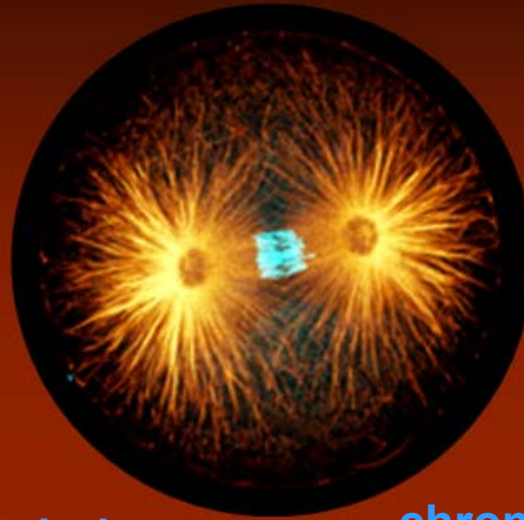
Mikrotubuly

- ✦ součást cytoskeletu všech eukaryotních buněk
- ✦ 1 mikrotubulus = dutý váleček tvořený vlákny tvořené dimery tubulinu (sférický protein)
- ✦ jsou jimi tvořeny různé buněčné výběžky (axony), bičíky, řasinky, centriola, dělicí vřeténko
- ✦ mikrotubuly se mohou spojovat do vyšších celků charakteristických pro každou strukturu (př. bičík)
- ✦ určují tvar buňky, pozici organel v buňce a intracelulární transport



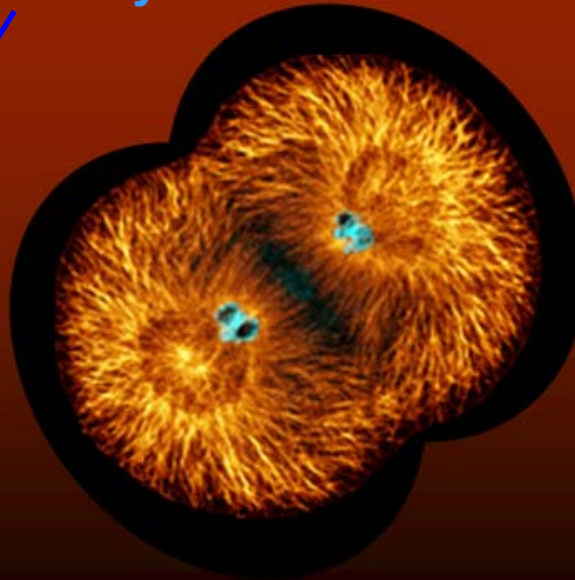
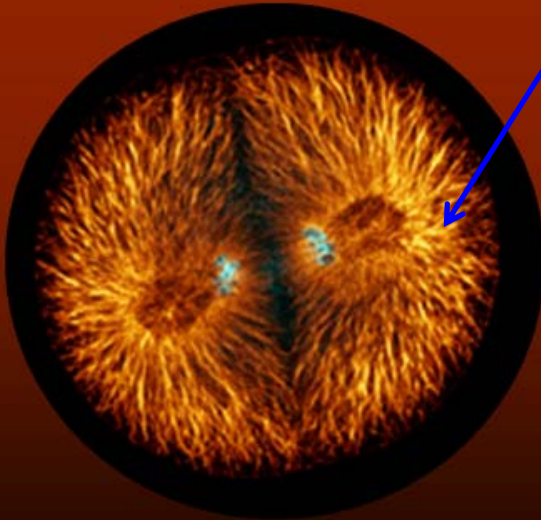
Úloha cytoskeletu při buněčném dělení

dělící se buněčné jádro



mikrotubuly

chromozomy

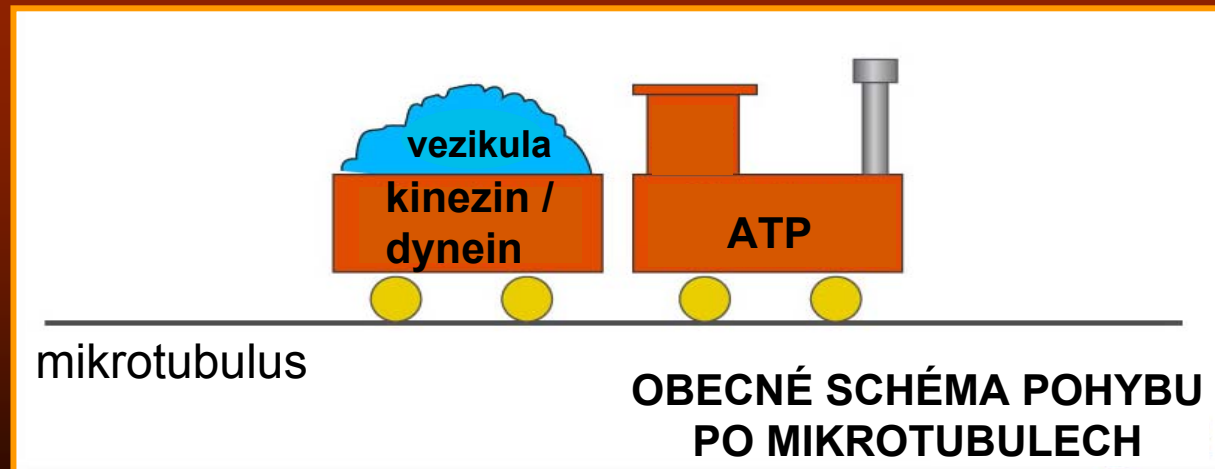


chromozomy
jsou odtahovány na
opačné póly buněk
pomocí mikrotubulů

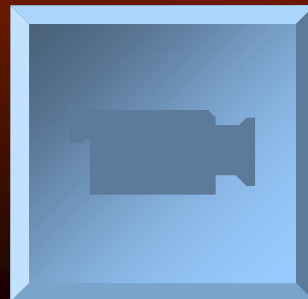
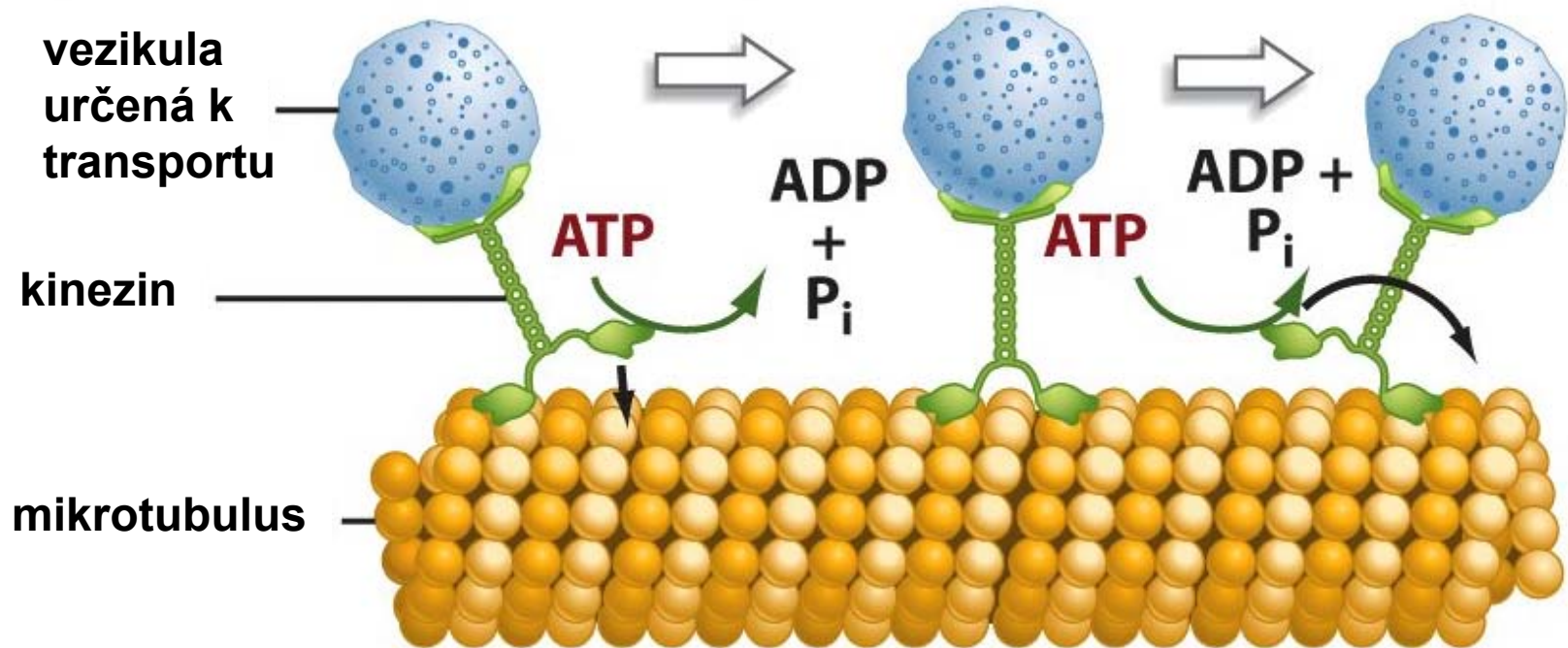
Proteiny asociované s mikrotubuly

DYNEIN, KINEZIN

- tyto molekulární motory přenášející organely či jiné částčky cytoplazmou podél mikrotubulů
- kinezin/dynein se za spotřeby ATP pohybuje po vláknech mikrotubulů jako nákladní vlak po kolejích a „rozváží naložený materiál“
- př. transport vezikul s mediátorem na synapsích

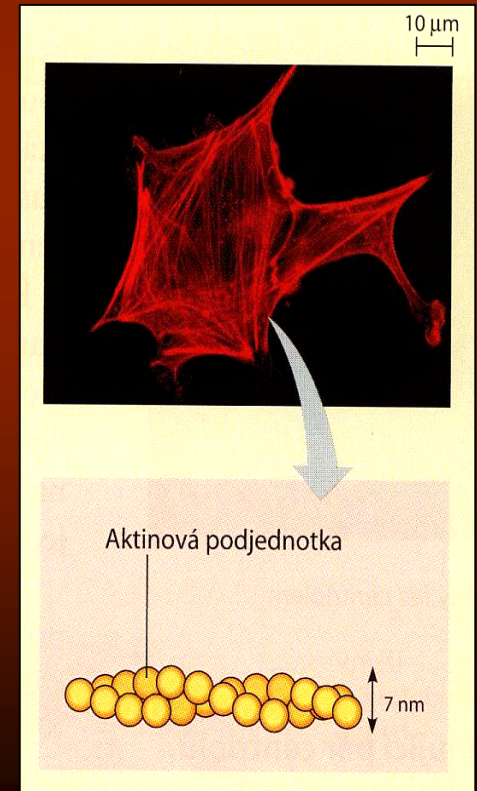


Úloha kinezinu



Mikrofilamenta

- ✦ mikrofilamentum je tvořeno dvojicí řetězců, kde základní jejich jednotkou jsou molekuly aktinu
- ✦ **základní protein:** AKTIN
- ✦ **asociované proteiny:** více než u mikrotubulů tubulů, př. myozin
- ✦ v cytoplazmě vytvářejí souvislou síť, někdy soustředěnou do specializovaných pohybových struktur
- ✦ filamenta jsou vždy připojená k plazmatické membráně, vyskytují se hojně pod plazmatickou membránou
- ✦ př. v mikrokalcích epitelálních buněk, ve výběžcích vláskových buněk Cortiho orgánu, ...
- ✦ funkce dynamická i statická
- ✦ zajišťují tvar buňky a její lokomoci
- ✦ jsou základem struktur s čistě pohybovou funkcí

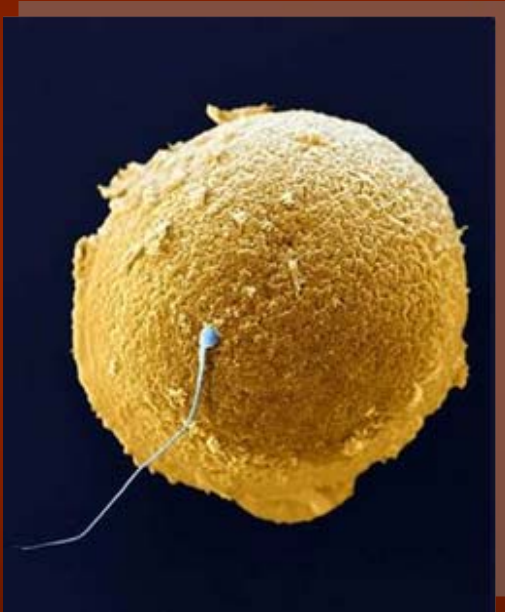


Střední filamenta

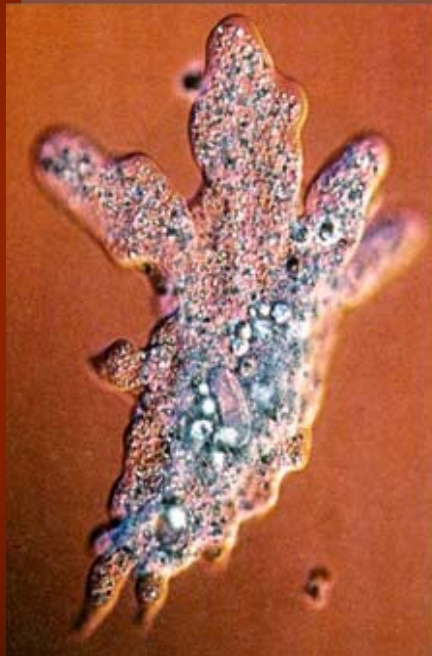
- ◆ = intermediární filamenta
- ◆ tvořené proteinovými vlákny
- ◆ přítomny v místech, kde je buňka vystavena mechanickému namáhání
- ◆ jsou zodpovědná za mechanickou stabilitu buněk a tkání
- ◆ př. kůže vyšších živočichů obsahuje síť středních filament tvořených proteinem keratinem = **keratinová filamenta**
- ◆ jiným typem jsou **neurofilamenta** v nervových buňkách (zpevnění axonů)
- ◆ jádra všech buněk obsahují **jaderná filamenta** (zpevnění jádra)
- ◆ na rozdíl od ostatních složek cytoskeletu se proteiny, tvořící střední filamenta, velmi liší velikostí a složením jak mezi různými typy buněk, tak mezi odpovídajícími si typy buněk v různých organismech

Typy POHYBU

Brvy / Bičíky



Amoeboidní



Svalový pohyb



Pohyb pomocí brv / bičíků

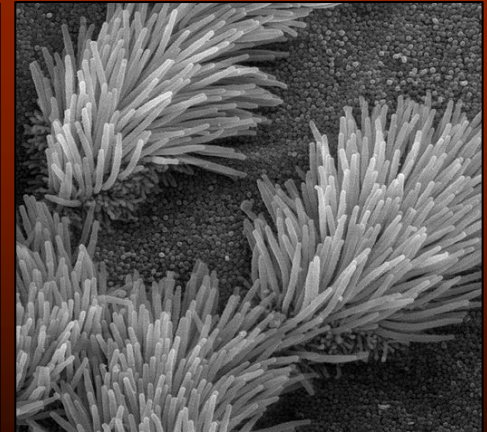
- ◀ především u jednobuněčných živočichů
- ◀ dále u epitelových buněk a spermií výše postavených taxonů živočichů
- ◀ princip pohybu brv (řasinek) a bičíků je v zásadě stejný
- ◀ podobná i jejich struktura ($9 \times 2 + 2$), kolem vláken pevný obal a na bázi řasinky nebo bičíku bazální tělísko
- ◀ mohou se pohybovat pouze v tekutém prostředí



savčí spermie



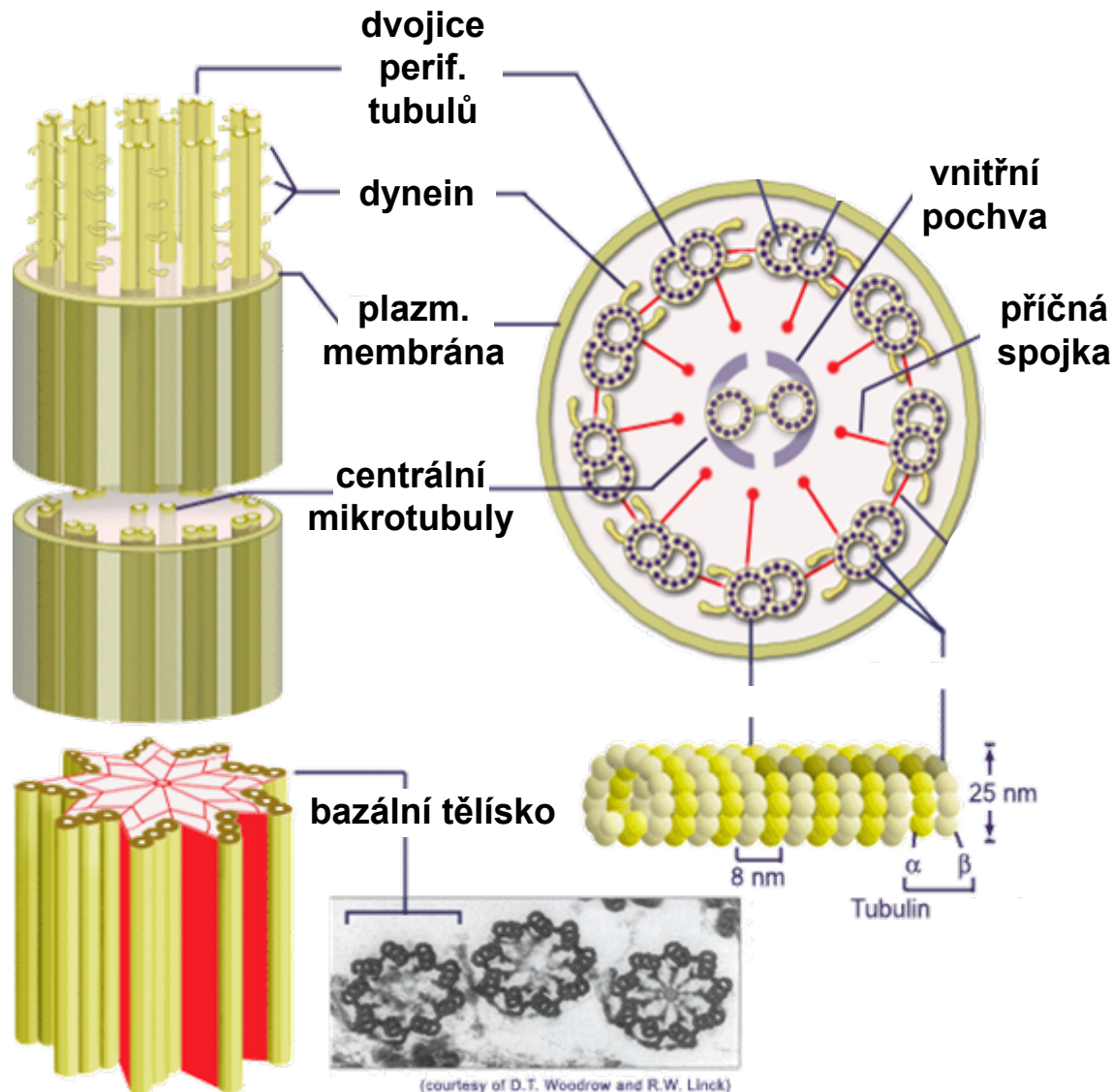
nálevník (r. Ophryoscolex)



řasinkový epitel průdušnice

Stavba bičíku / řasinky

FUNKCE DYNEINU V BIČÍKU/ŘASINCE

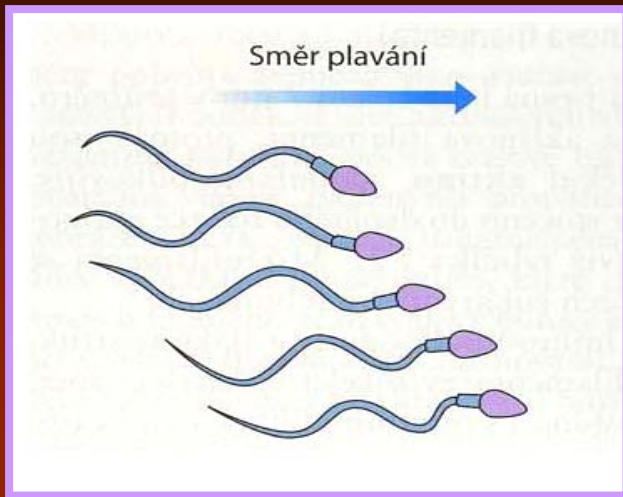


9 párů mikrotubulů obklopující 2 centrální mikrotubuly ($9 \times 2 + 2$)

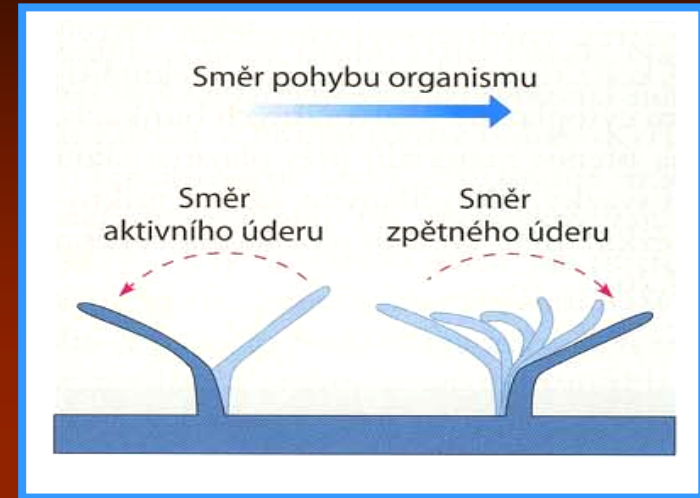
dynein transformuje energii ATP na svoji konformační změnu → spojení dvou sousedních párů mikrotubulů a jejich vzájemný posun

synchronizovaná aktivace dyneinu → šroubovicový pohyb bičíku / kmitání řasinek

Pohyb pomocí bičíků / brv



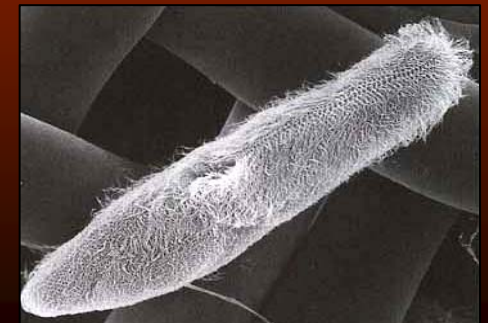
Bičík se obvykle vlní, jeho hadovitý pohyb vede buňku ve směru osy bičíku. (Příkladem bičíkové lokomoce je rychlý posun spermie.)



Řasinky vykazují pohyb zpět a tam, který pohybuje buňkou ve směru kolmém na osu řasinky. (Na obrázku hustý pokryv řasinek, kmitající 40 – 60x za 1s, pokrývá prvoka *Paramecium*.)

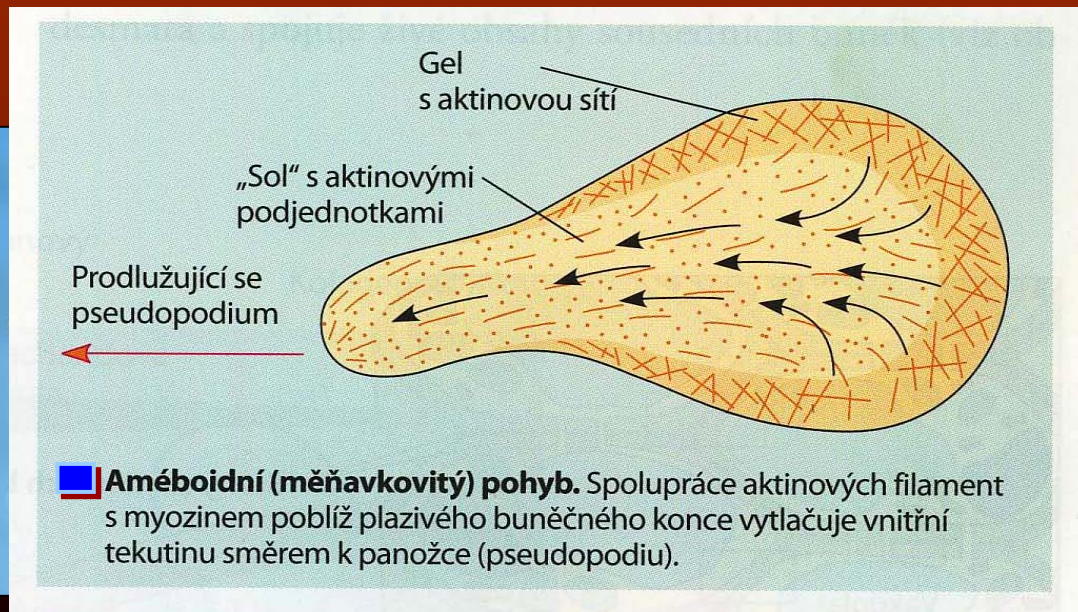


- silnější
- delší
- malý počet
- tenčí
- kratší
- velký počet



Amoeboidní pohyb

- ◀ někteří jednobuněční živočichové – př. kořenonožci (rod *Amoeba*)
- ◀ některé buňky mnohobuněčných živočichů
 - ◀ př. amoeboidní pohyb leukocytů obratlovců
 - ◀ pohyb buněk k místu svého určení během rané ontogeneze
- ◀ tvorba a pohyb lokomočních výběžků buňky (= pseudopodií) prostřednictvím mikrofilament nebo endocytózou ... přesný mechanismus není dosud objasněn ...



Svalový pohyb

- ✦ nejčastější forma makroskopického pohybu živočichů
- ✦ založeny na něm základní životní děje mnohobuněčných:

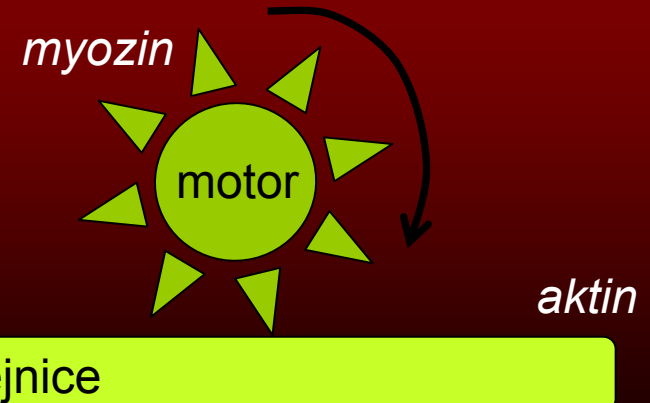
- ✦ vyhledávání potravy
- ✦ vyhledávání sexuálního partnera
- ✦ útěk před predátorem
- ✦ oběh, dýchání, trávicí pochody, termoregulace
- ✦ komunikace, psaní, řeč, ...

- ✦ základ pro **LOKOMOCI** živočichů

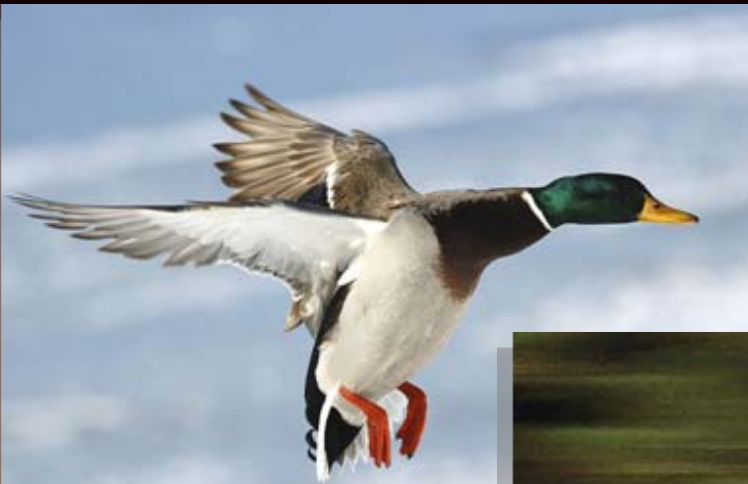
- ✦ speciální buňky = svalové buňky → **SVALY**

- ✦ svalové buňky specializovány na přeměnu energie ATP na kontraktilní pohyb (kontrakce = přeměna chemické energie na mechanickou)
(svalové buňky mají podobně jako neurony vzrušivé membrány s napěťově vrátkovanými kanály schopné generovat a vést akční potenciály)

MIKROFILAMENTÁRNÍ DVOJICE



Svalový pohyb



pomocí křídel ...

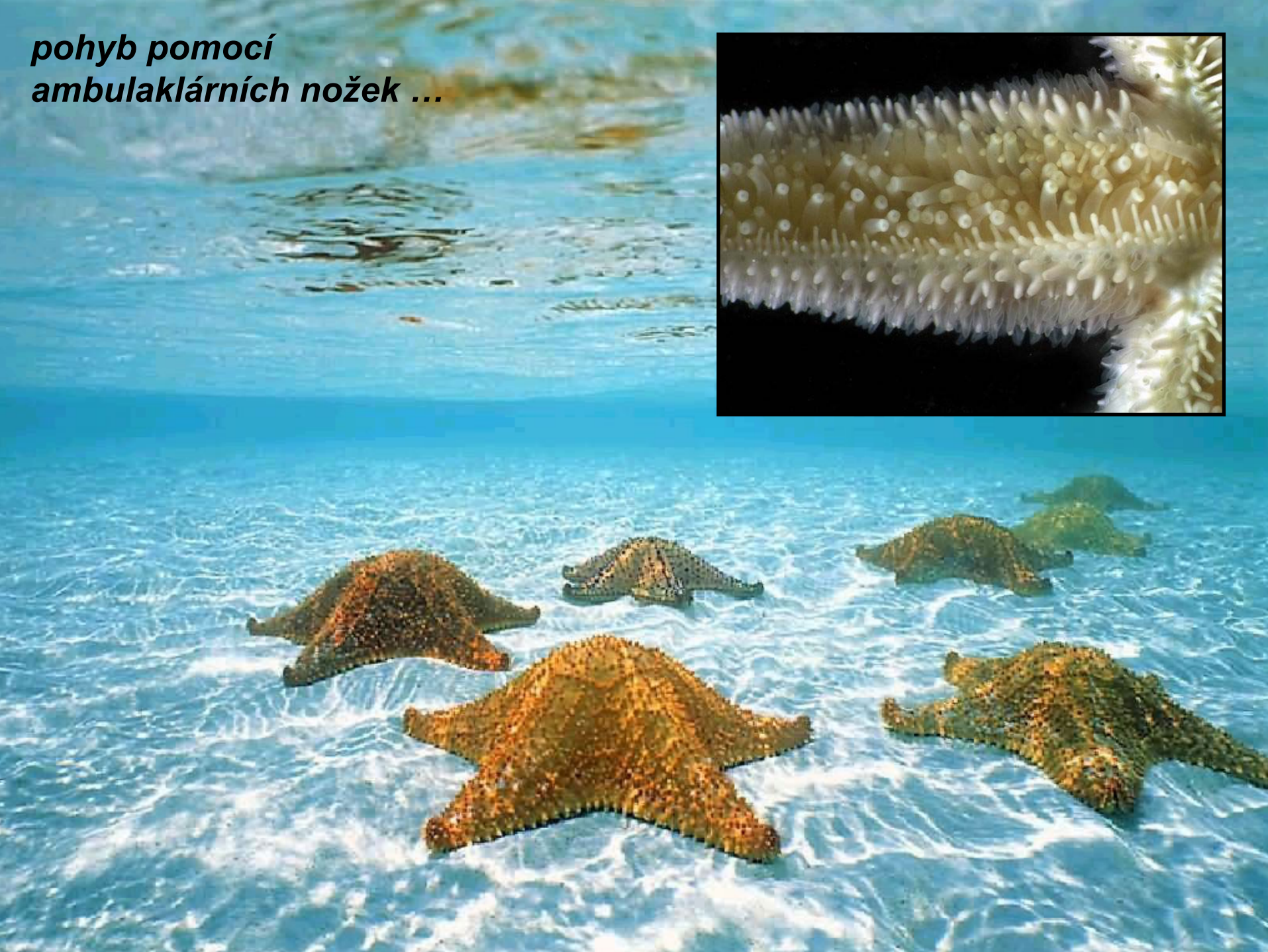


pomocí nohou ...



pomocí ploutví ...

*pohyb pomocí
ambulaklárních nožek ...*



"Nepohybliví živočichové"

Někteří živočichové nebyli obdařeni schopností lokomoce (pohyb z místa na místo).

UKÁZKY TAXONŮ S PŘÍSEDLÝMI ZÁSTUPCI



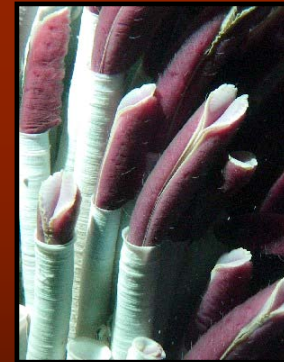
Anthozoa



Polycheata



Porifera



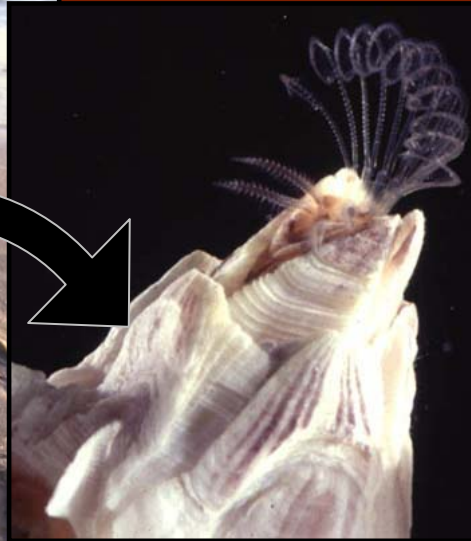
Pogonophora



Coccoidea

"Nepohybliví živočichové"

UKÁZKY TAXONŮ S PŘISEDLÝMI ZÁSTUPCI



Cirripedia



Urochordata

Chemické složení svalu



Základní vlastnosti svalů

- ✦ je složena z buněk, které jsou schopny reagovat na podráždění změnou své délky nebo napětí
- ✦ svalová tkáň patří ke vzrušivým tkáním
 - ✦ excitace (na níž navazuje kontrakce) povrchové membrány svalových buněk je spojena se vznikem a šířením akčního potenciálu, který může na membráně vzniknout třemi způsoby:
 - ✦ *chemicky* (působením látek na membránové receptory)
 - ✦ *elektricky* (prostřednictvím komunikačních spojů - nexy)
 - ✦ *autonomně* (pacemakerové buňky)
- ✦ mezi důležité vlastnosti svalů patří pevnost (odolnost proti přetržení) a pružnost (schopnost měnit délku – kontrakce x relaxace)
- ✦ svalová tkáň vznikla z mezodermy (výjimka: hladké svaly duhovky vzniklé z ektodermy)

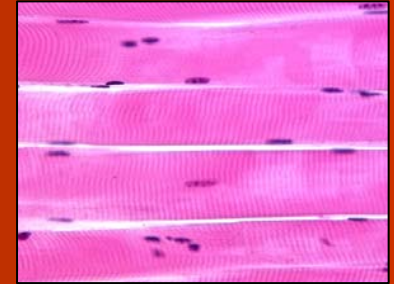
TERMINOLOGIE

speciální termíny obsahující předpony **sarko-** a **myo-**

Typy SVALŮ podle stavby a funkce

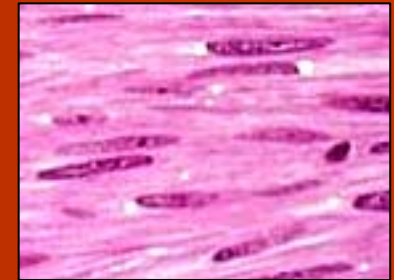
Příčně pruhované = žíhané = kosterní

tvoří různě diferencované svalové skupiny připojené na kostru



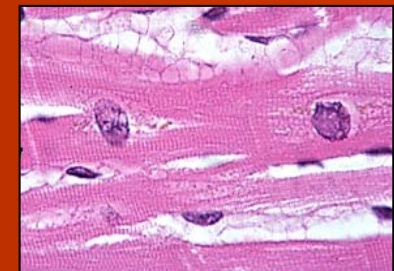
Hladké svaly

vystýlají stěny tělních dutin a vnitřních orgánů atd. (rozdíl obratlovci x bezobratlí)



Srdeční svaly

stavba podobná žíhané svalovině, ale vlastnostmi se blíží hladkým svalům



Příčně pruhované svaly

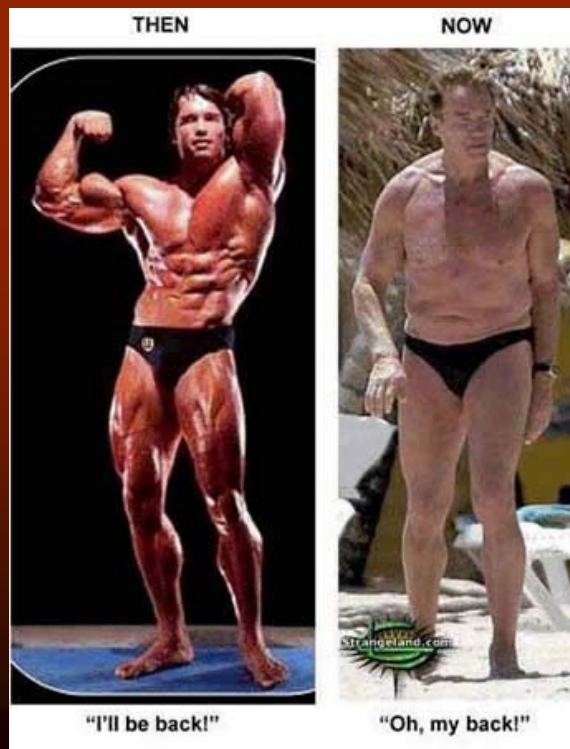


➡ příčně pruhovaný sval je orgán, jehož hlavní funkcí je zajištění pohybu živočicha nebo jeho částí

➡ svaly mají schopnost měnit chemickou energii živin v kinetickou energii a teplo

➡ sval je tvořen především svalovou tkání, dále vazivem, cévy a nervy

➡ u člověka se podílí ze 40 – 50 % na celkové tělesné hmotnosti



Hierarchie kosterní svaloviny

