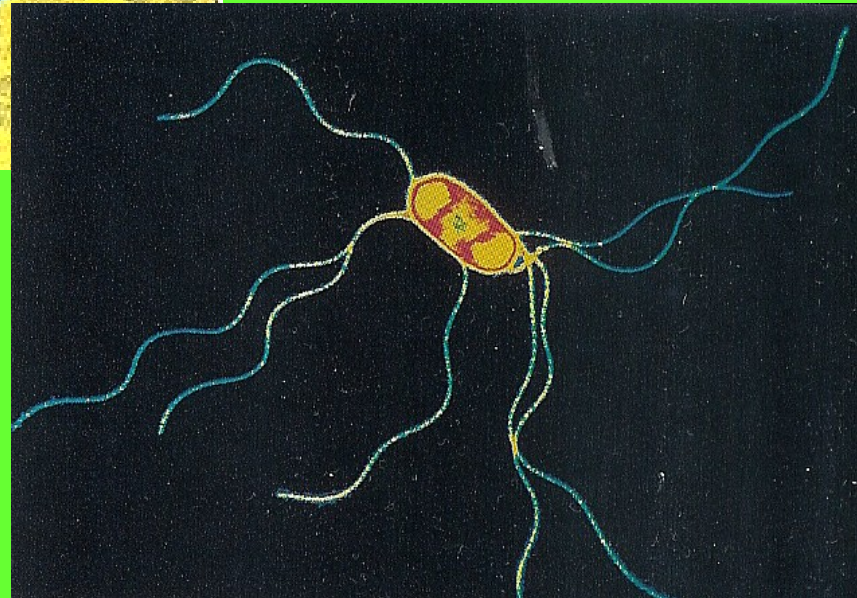
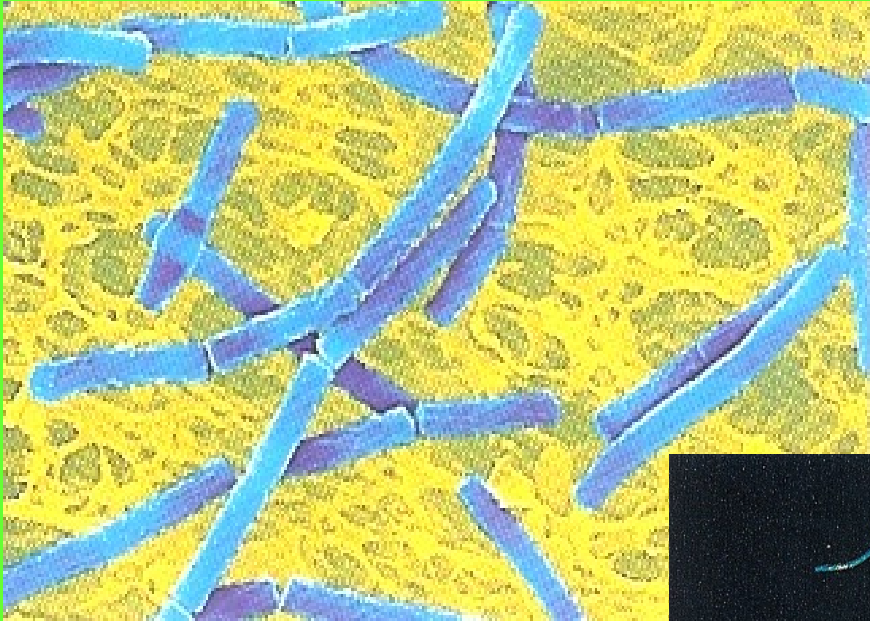
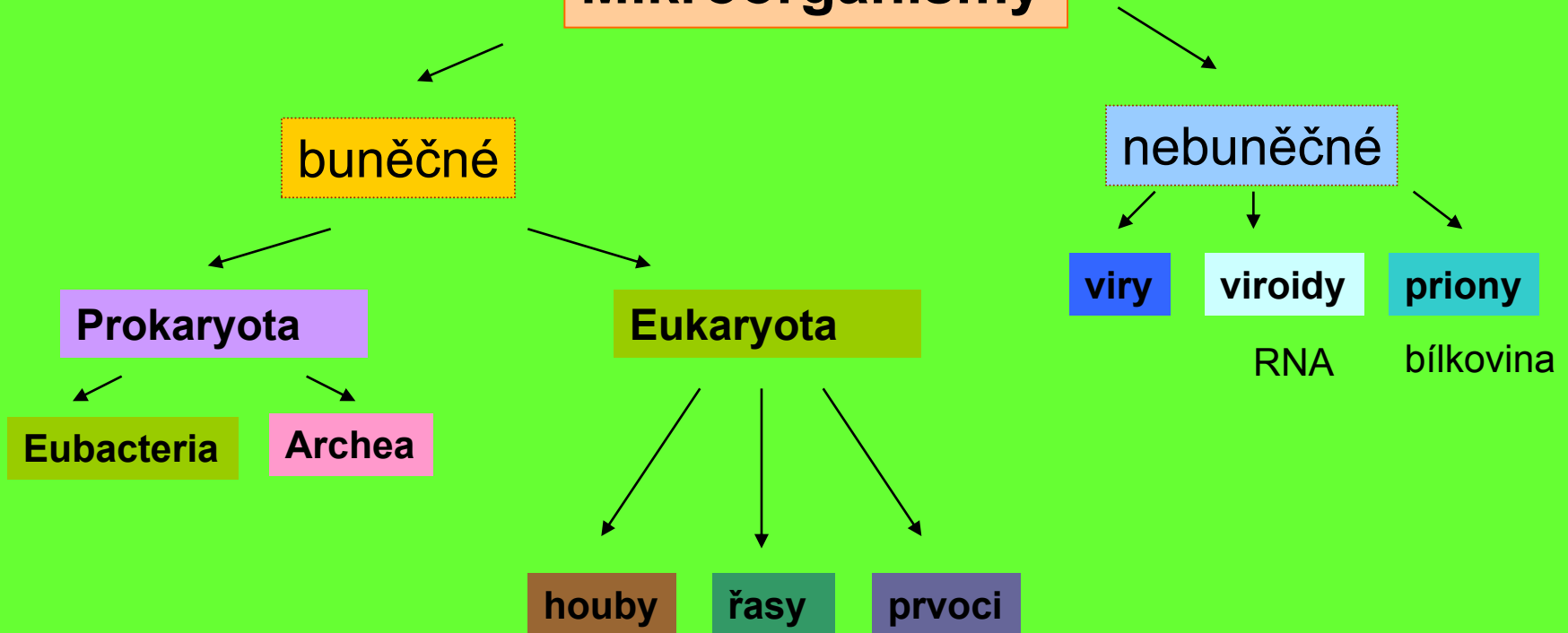


# Bakterie

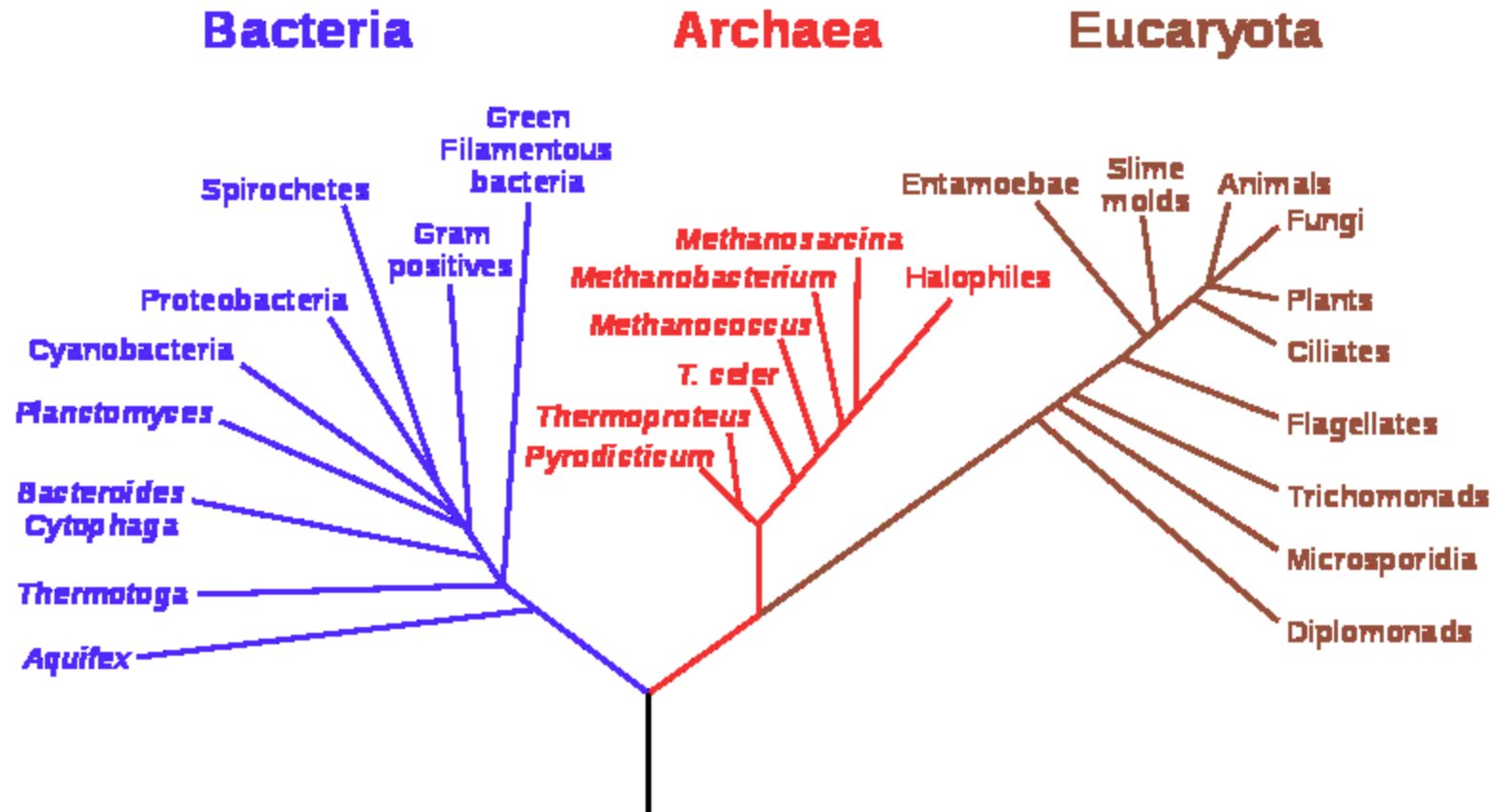


# Mikroorganismy




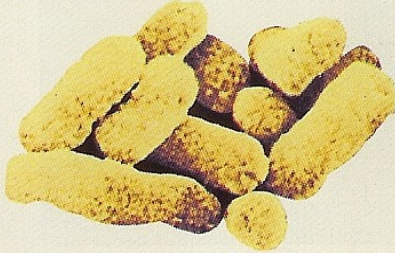
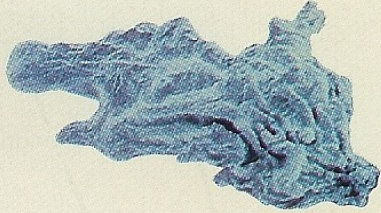
Nester, 1998

# Phylogenetic Tree of Life





# Srovnání některých znaků Archaea, bakterií a eukaryot

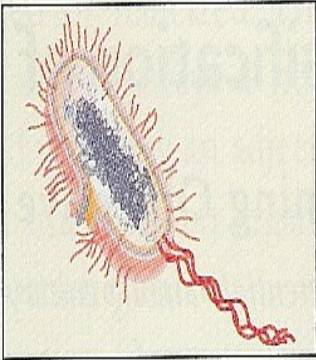
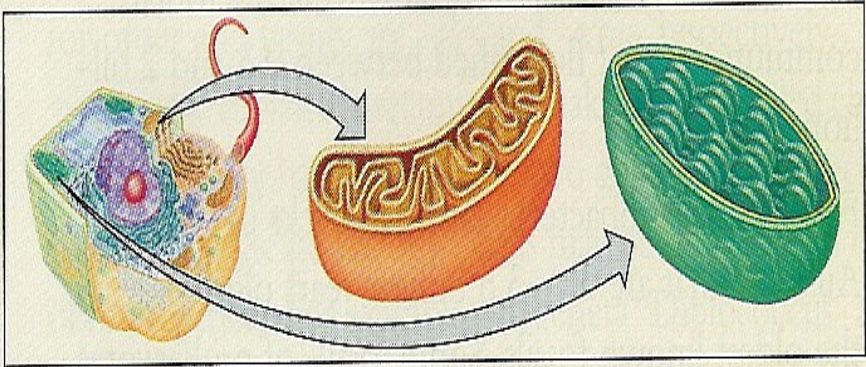
	Archaea	Bacteria	Eukaryotes
	 <p><i>Methanosarcina</i></p> <p>SEM   10 μm</p>	 <p><i>E. coli</i></p> <p>SEM   1 μm</p>	 <p><i>Amoeba</i></p> <p>SEM   1 μm</p>
Cell Type	Prokaryotic	Prokaryotic	Eukaryotic
Cell Wall	Varies in composition; contains no peptidoglycan	Contains peptidoglycan	Varies in composition; contains carbohydrates
Membrane Lipids	Composed of branched carbon chains attached to glycerol by <u>ether</u> linkage	Composed of straight carbon chains attached to glycerol by <u>ester</u> linkage	Composed of straight carbon chains attached to glycerol by <u>ester</u> linkage
Start Signal for Protein Synthesis	Methionine	Formylmethionine	Methionine
Antibiotic Sensitivity	No	Yes	No
rRNA Loop*	Lacking	Present	Lacking
Common Arm of tRNA**	Lacking	Present	Present
<p>*Binds to ribosomal protein; found in all bacteria.</p> <p>**A sequence of bases on tRNA found in all eukaryotes and bacteria: guanine-thymine-pseudouridine-cytosine-guanine.</p>			



# Srovnání prokaryotické buňky, eukaryotických buněk a jejich organel

	Prokaryotic Cell	Eukaryotic Cell	Eukaryotic Organelles (Mitochondria and Chloroplasts)
DNA	Circular	Linear	Circular
Histones	No	Yes	No
Ribosomes	70S	80S	70S
Growth	Binary fission	Mitosis	Binary fission

	
--	---

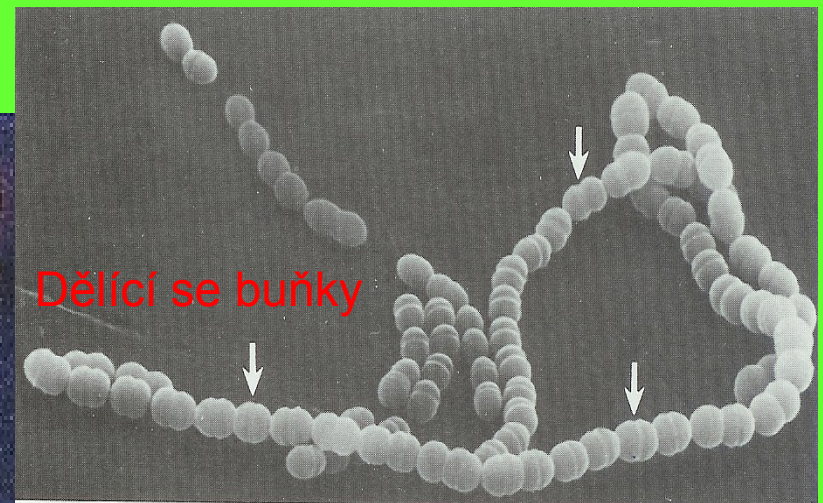
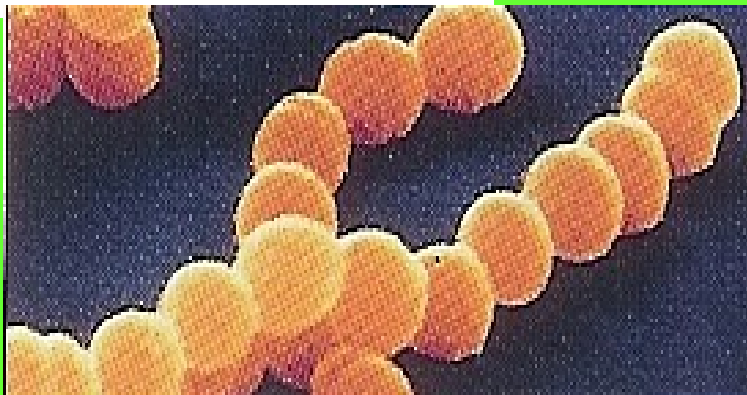
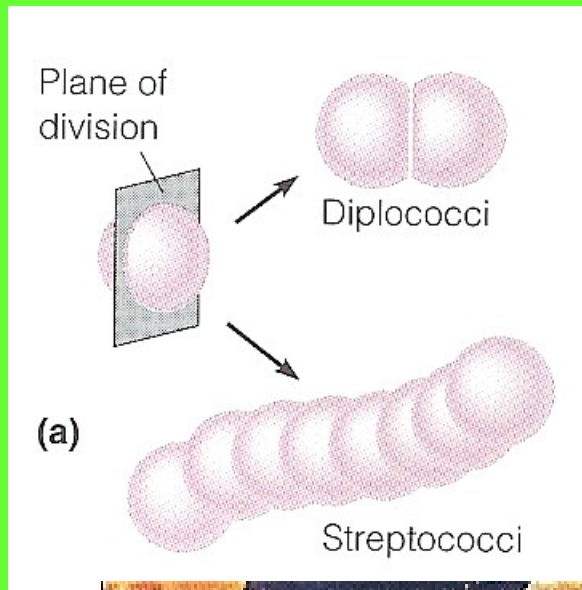
# Základní tvary bakteriální buňky

- kulovitý (kok, coccus, cocci)
- tyčinka (bakterie, bacillus)
- spirálovitý
- pleomorfní (vícetvarý)



# Kulovitý tvar bakteriální buňky

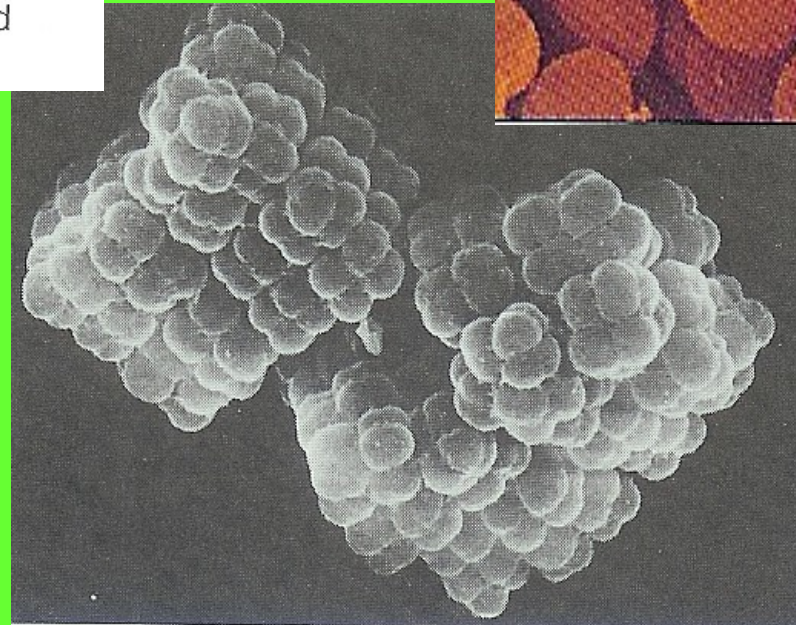
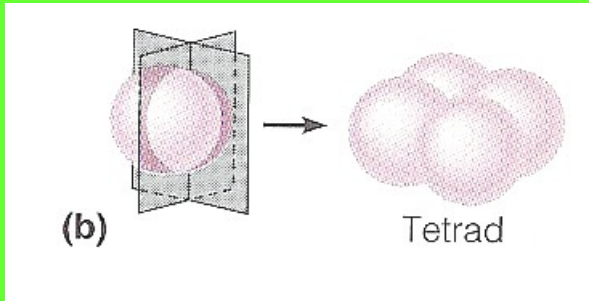
- Dělení buňky v jedné rovině





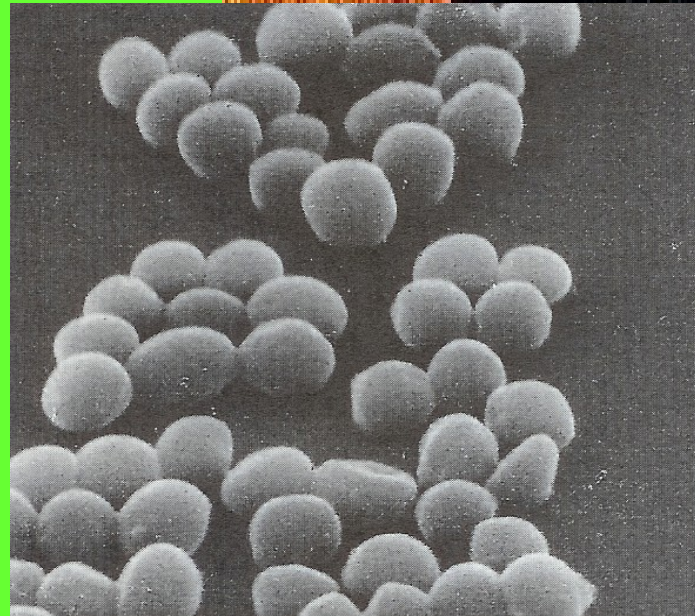
# Kulovitý tvar bakteriální buňky

- Dělení buňky ve dvou rovinách - tetrakoky



# Kulovitý tvar bakteriální buňky

- Dělení v různých rovinách



# Základní tvary bakteriální buňky

- kulovitý (kok, coccus, cocci)
- tyčinka (bakterie, bacillus)
- spirálovitý
- pleomorfní

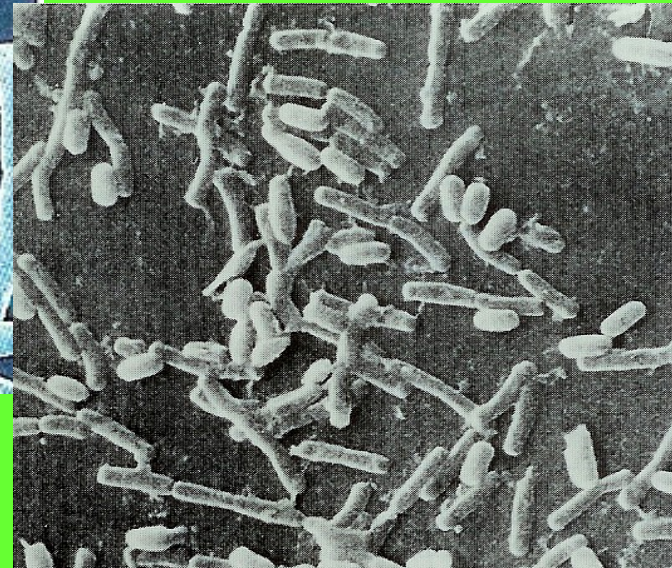
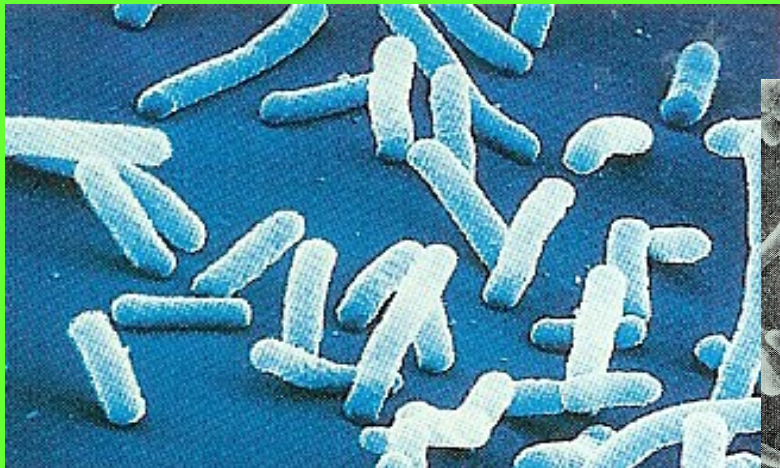


# Tyčinkovitý tvar bakteriální buňky- bacilus

- jednotlivé buňky

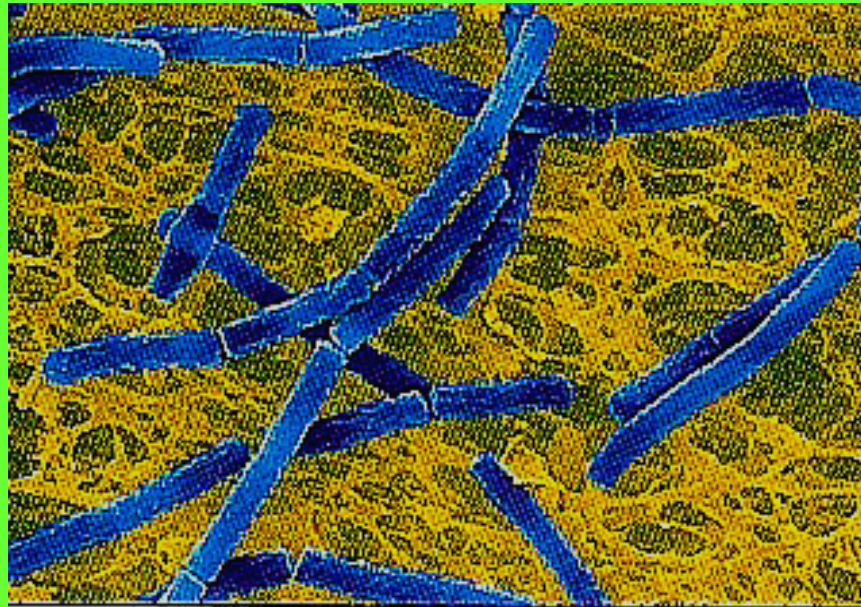
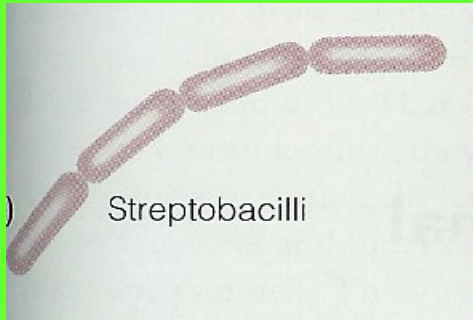


- diplobacilus



# Tyčinkovitý tvar bakteriální buňky- bacillus

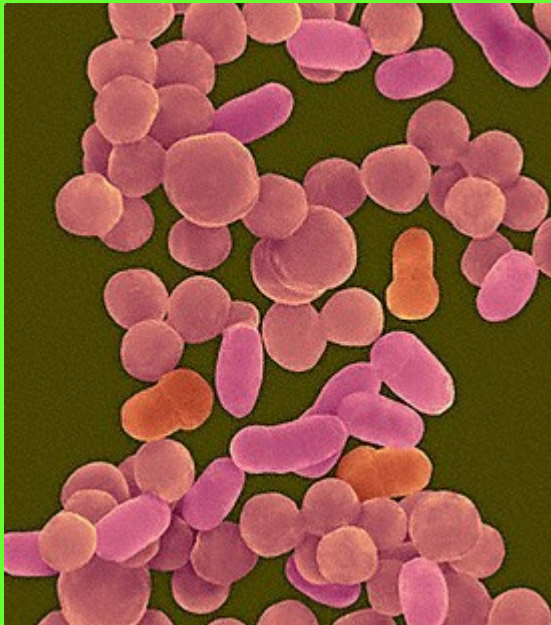
- streptobacillus



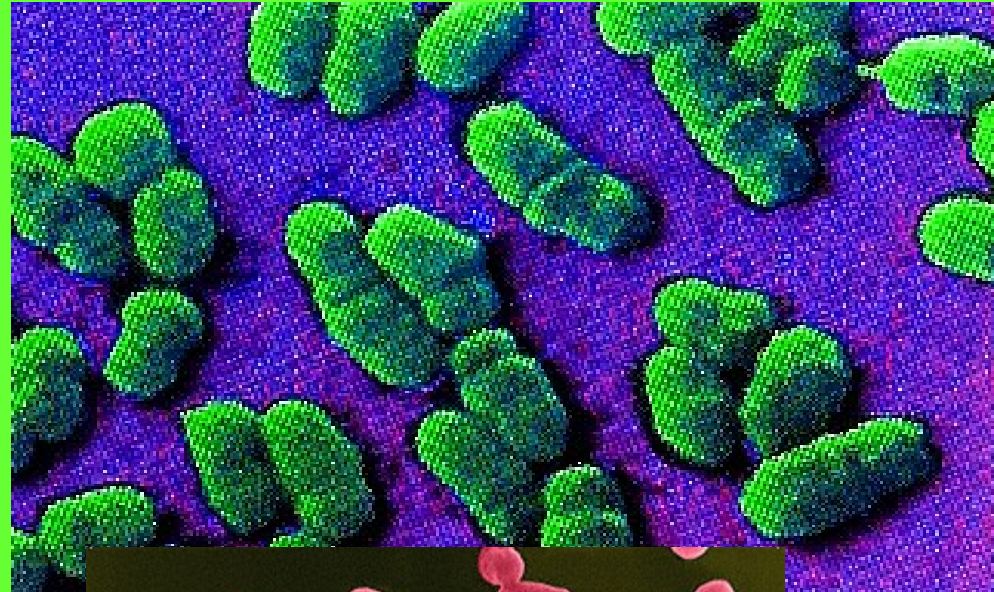


# Tyčinkovitý tvar bakteriální buňky- bacillus

- kokobacillus



*Haemophilus influenzae*



Copyright © 2004 Dennis Kunkel Microscopy, Inc.

*Brucella abortus*



# Tyčinkovitý tvar bakteriální buňky- bakterie

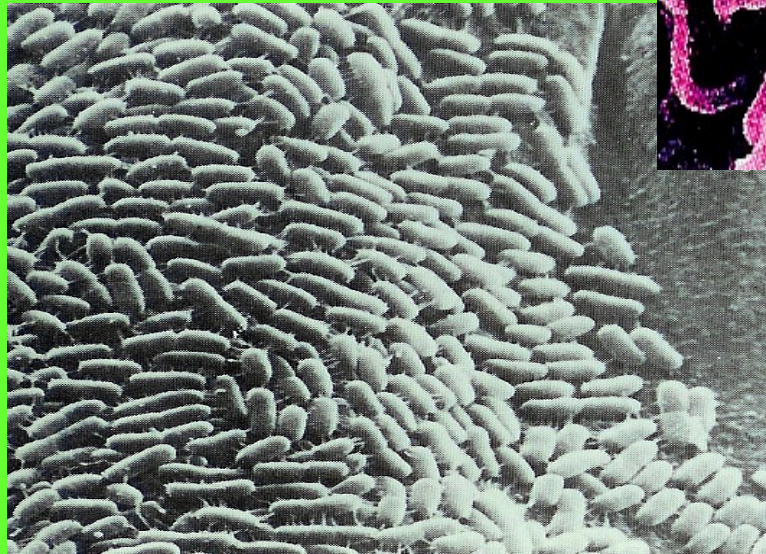
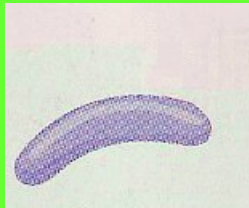
- jednotlivé buňky
  - diplobakterie
    - streptobakterie
      - zkrácené tyčinky

# Základní tvary bakteriální buňky

- kulovitý (kok, coccus, cocci)
- tyčinka (bakterie, bacillus)
- spirálovitý
- pleomorfní

# Spirálovitý tvar bakteriální buňky

- vibrio

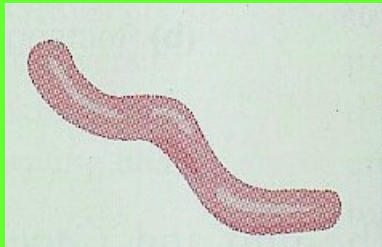


*Vibrio cholerae*



# Spirálovitý tvar bakteriální buňky

- Spirillum - lehce zvlněná tyčka



*Spirillum volutans*

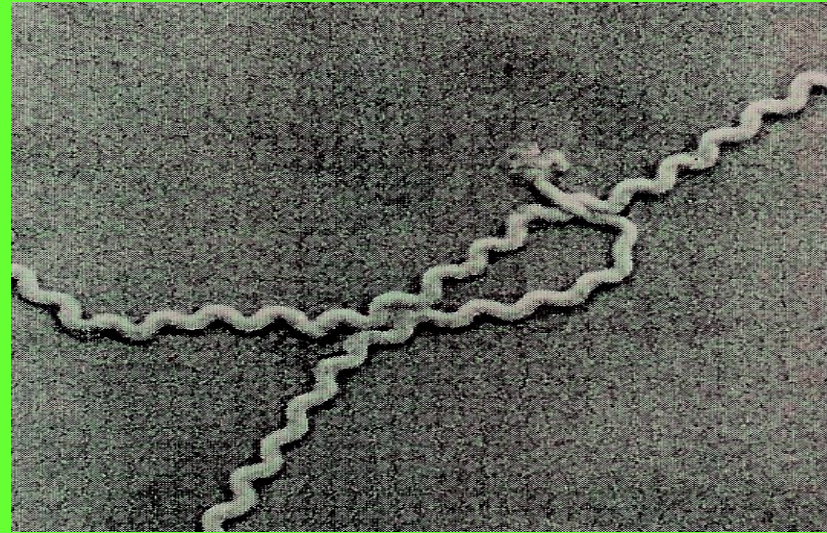
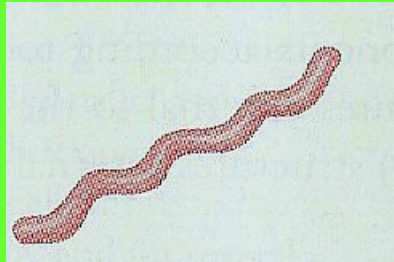


van Leeuwenhoek

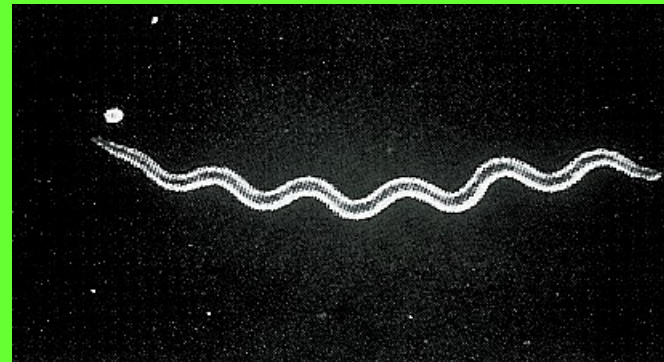


# Spirálovitý tvar bakteriální buňky

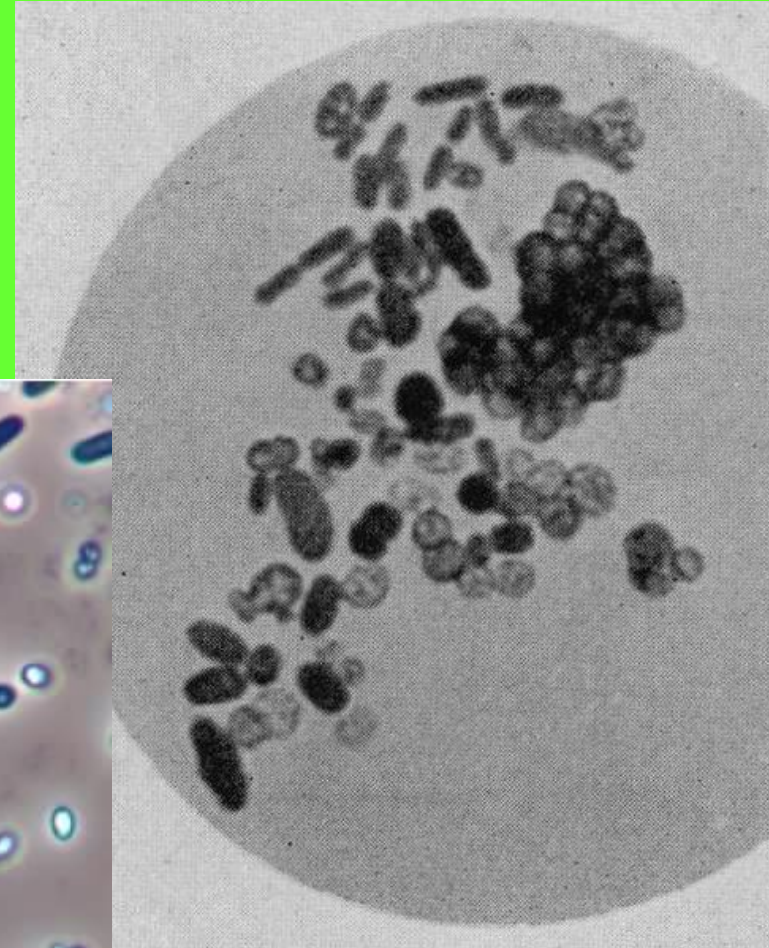
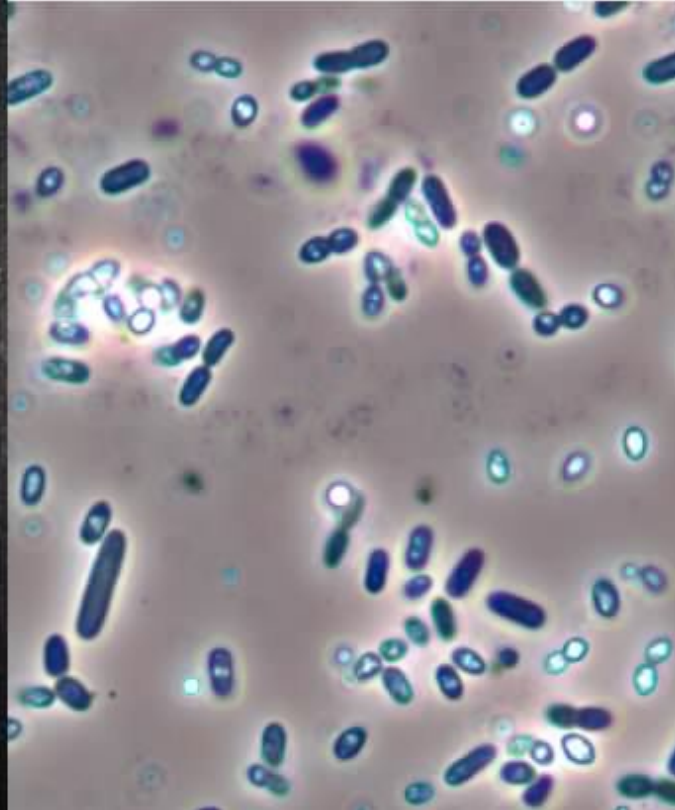
- Spirocheta - šroubovicovitý tvar



*Treponema pallidum*



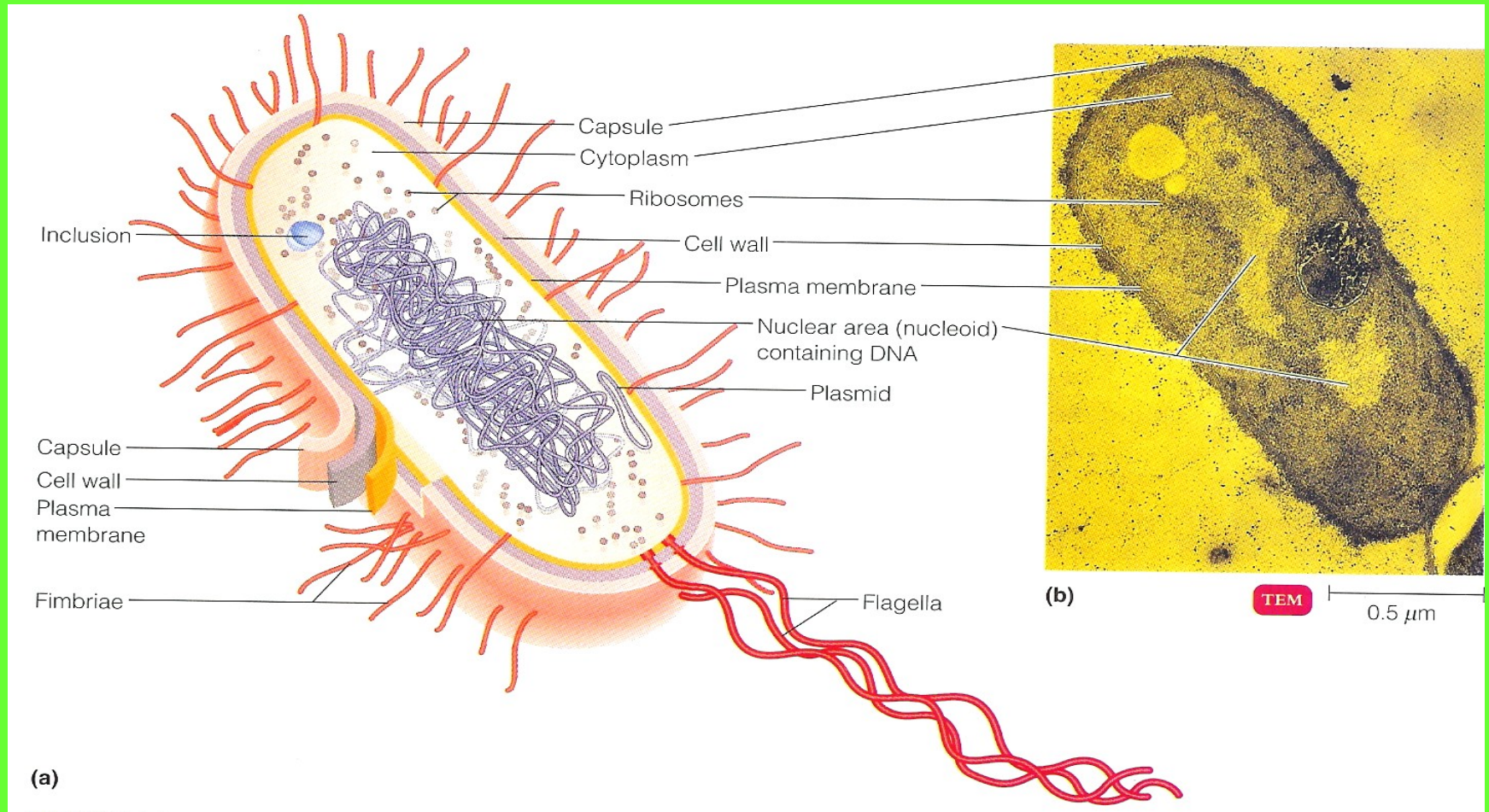
# Pleomorfni tvar buněk



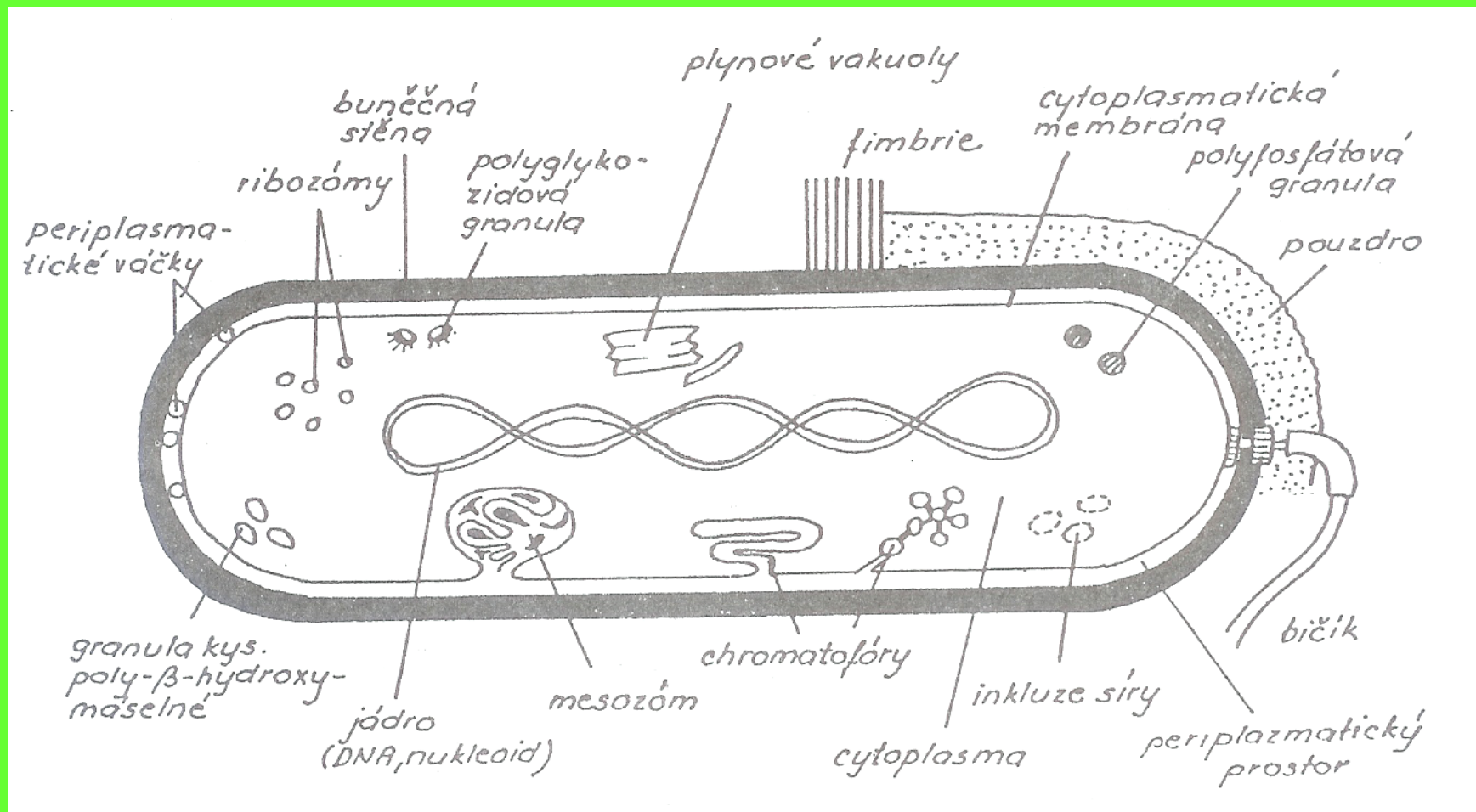
*Azotobacter* sp.



# Základní struktury bakteriální buňky



# Základní struktury bakteriální buňky



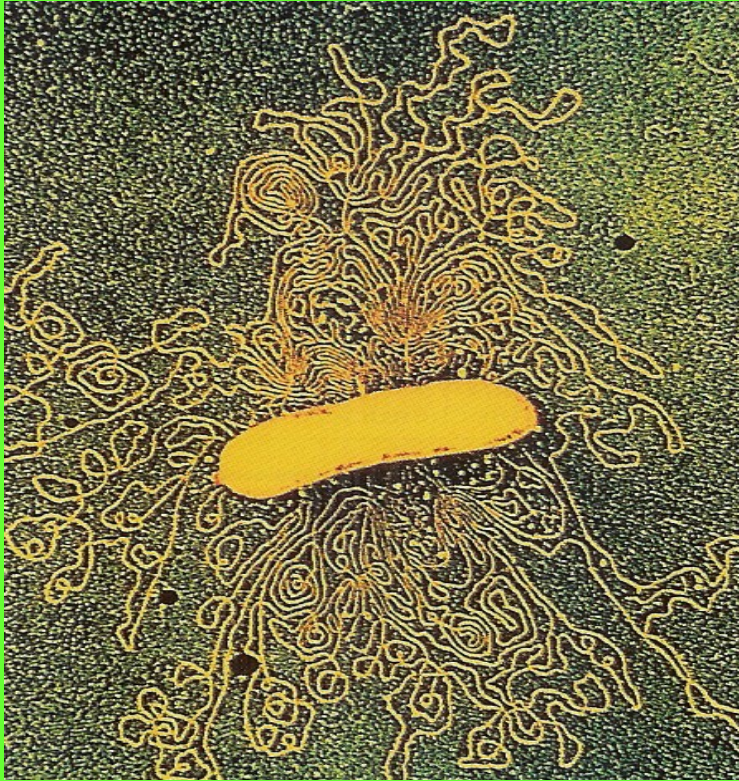
# Základní struktury bakteriální buňky

- Struktury esenciální
  - \*cytoplazmatická membrána
  - \*základní cytoplazma
  - \*nukleoid
  - \*ribozomy
- Struktury obvyklé
  - buněčná stěna
  - fimbrie
  - bičíky
  - pouzdro
  - inkluze
  - chlorobiové váčky
  - endospóry
  - pigmenty



# Esenciální struktury bakteriální buňky

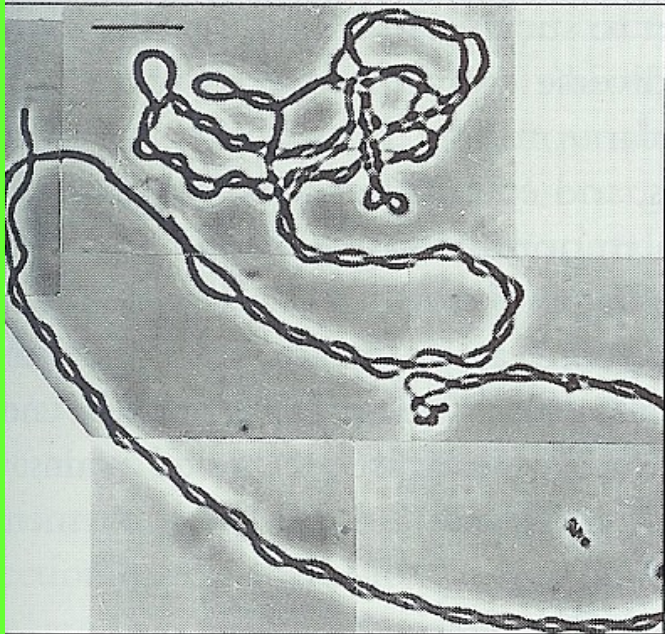
## nukleoid



- Cirkulární dvouřetězcová helikální DNA
- Není od základní cytoplazmy oddělena membránou
- Neobsahuje histony (na molekulu DNA jsou vázány asi 4 druhy proteinů)
- Vytváří kompaktní komplex tvořený obvykle více než 50 smyčkami
- Tvoří s molekulami RNA a proteiny komplex vyššího řádu (DNA-60%)

# Esenciální struktury bakteriální buňky

## nukleoid



DNA z *Bacillus subtilis*

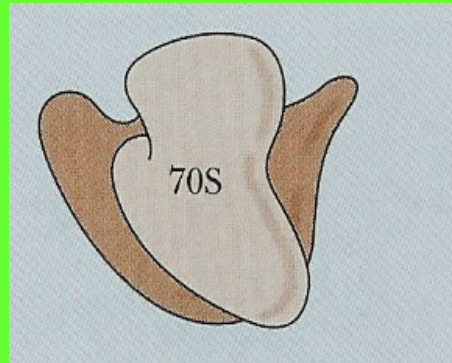
- Nerostoucí buňka má jedno haploidní “jádro“
- Molekulová hmotnost DNA je  $10^9$ - $10^{10}$
- Typická bakterie obsahuje  $4 \times 10^6$  párů bází
- Rychle rostoucí bakterie mohou obsahovat 2 – 8 kopií chromozomové DNA
- Chromozom *E.coli* je tvořen 4639221 párů bází a kóduje 4397 genů. Z toho je 108 genů pro RNA a 4289 pro proteiny. Z nich je 952 enzymů (703 zmapovaných)

# Esenciální struktury bakteriální buňky

## ribozom

### Ribozóm

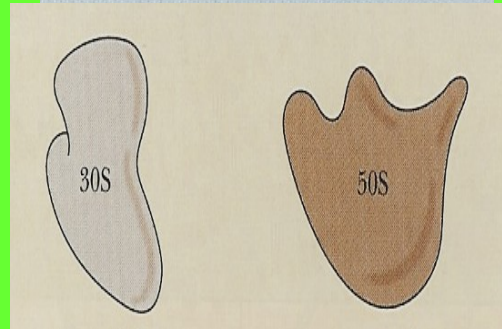
( $2,52 \times 10^6$  D)



tvorí 25 % hmotnosti buňky

### Podjednotky

( $0,93 \times 10^6$  D)



( $1,59 \times 10^6$  D)

### RNA

16S rRNA  
(1542 nukleotidů)

23S a 5S rRNA  
(2904 a 114 nukleotidů)

### Bílkoviny

21 bílkovin

31 bílkovin



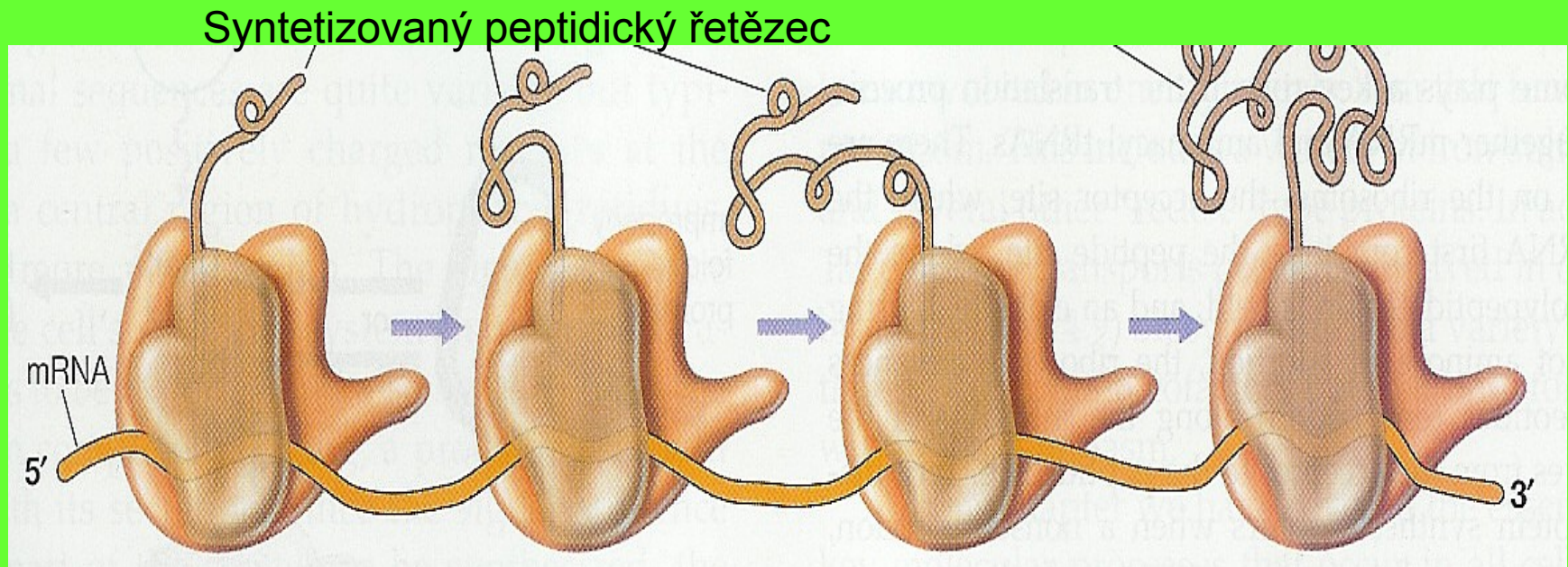
# Esenciální struktury bakteriální buňky

## ribozom

- Ribozomy jsou v buňce zodpovědné za proteosyntézu
- Jsou to supramolekulové komplexy, které se rychle vytvářejí (bez dodání energie) a rychle disociují (bez tvorby energie)
- Pro vytvoření ribozomu z podjednotek a mRNA je nutná přítomnost  $Mg^{2+}$
- Počet ribozomů je závislý na fyziologické aktivitě. V průměrně rychle rostoucí buňce je jich asi 15 000 (někdy až 30 000)
- Mohou se vytvářet polyribozomy
- Ribozom je “tělísko“ o objemu asi  $6\ 000\text{nm}^3$  a hmotnosti asi  $4,4 \times 10^{-18}\text{g}$
- Rychlost činnosti ribozomu není regulována, je téměř konstantní a činí asi 15 aminokyselin za sekundu.
- U *E.coli* s  $\tau = 28$  minut je při translaci rychlost asi 170 000 aminokyselin za sekundu na genom, tj. 500 000 aminokyselin za sekundu na buňku. Větší rychlosti proteosyntézy se dosahuje větším počtem ribozomů.

# Esenciální struktury bakteriální buňky

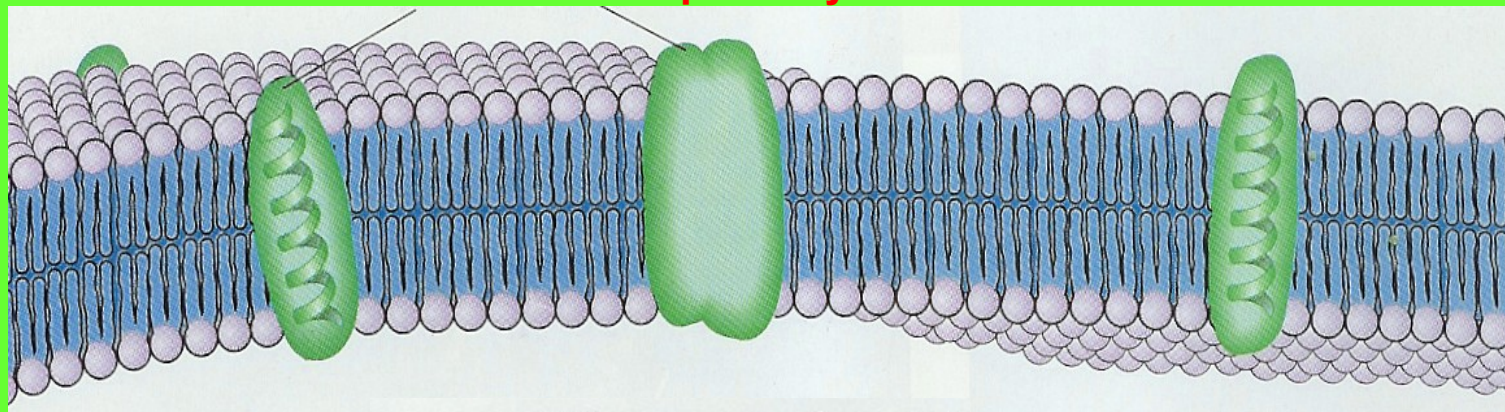
## **polyribozom**



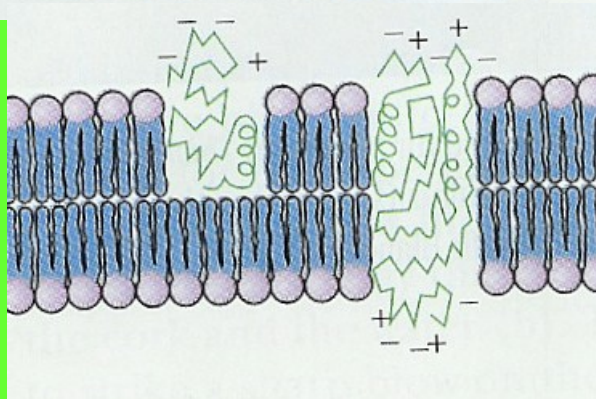
# Esenciální struktury bakteriální buňky

## cytoplazmatická membrána

Membránové proteiny



glycerol  
mastná kyselina



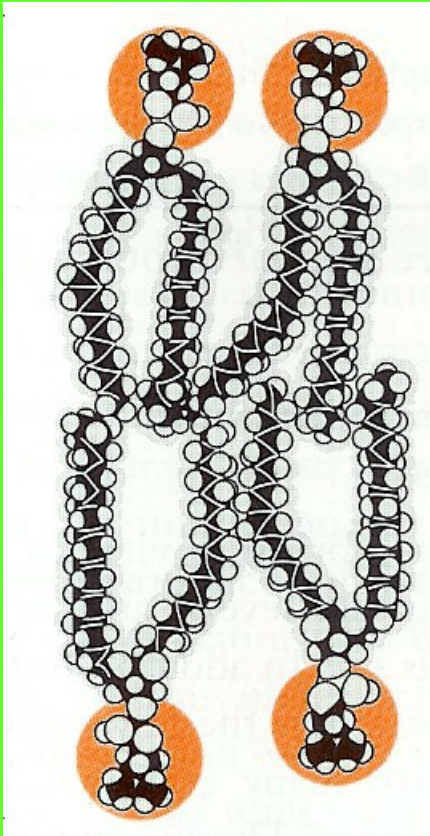
Fosfolipid



# Esenciální struktury bakteriální buňky

## cytoplazmatická membrána

- Odděluje základní cytoplazmu od vnějšího prostředí
- Její stavba odpovídá struktuře biologické membrány (u prokaryot je **jediná**)
- CM tvoří 10 až 26% suché hmotnosti bakterie a je tlustá asi 8 nm.
- Jejím základem je tekuté kontinuum dvojvrstvy fosfolipidů se zanořenými bílkovinami
- Bílkoviny jsou zanořené z vnitřní nebo vnější strany nebo jí procházejí a představují 10-20% všech bílkovin buňky
- Zanořené bílkoviny mají funkci strukturální nebo enzymatickou
- Bílkoviny a lipidy CM nejsou lokalizovány staticky, ale “pohybují se“
- Cytoplazmatická membrána je asymetrická
- Charakteristickým rysem je **nepřítomnost cholesterolu**
- Poměr mezi nasycenými a nenasycenými mastnými kyselinami se liší v závislosti na teplotě kultivace



# Esenciální struktury bakteriální buňky

## **cytoplazmatická membrána**

- Funkce cytoplazmatické membrány
  - \* je místem transformace energie (je na ní lokalizován respirační řetězec, aparát fotosyntézy, ATPáza,...)
  - \* je místem replikace bakteriální DNA
  - \* odehrávají se na ní poslední fáze syntézy buněčné stěny, nebo se na ní syntetizují její některé složky
  - \* je semipermeabilní a zodpovědná za pasivní i aktivní transport látek do buňky a z buňky
  - \* **CM nemůže být “vyrobena“ de novo**
  - \* pro zvětšení aktivní plochy jsou velice časté invaginace

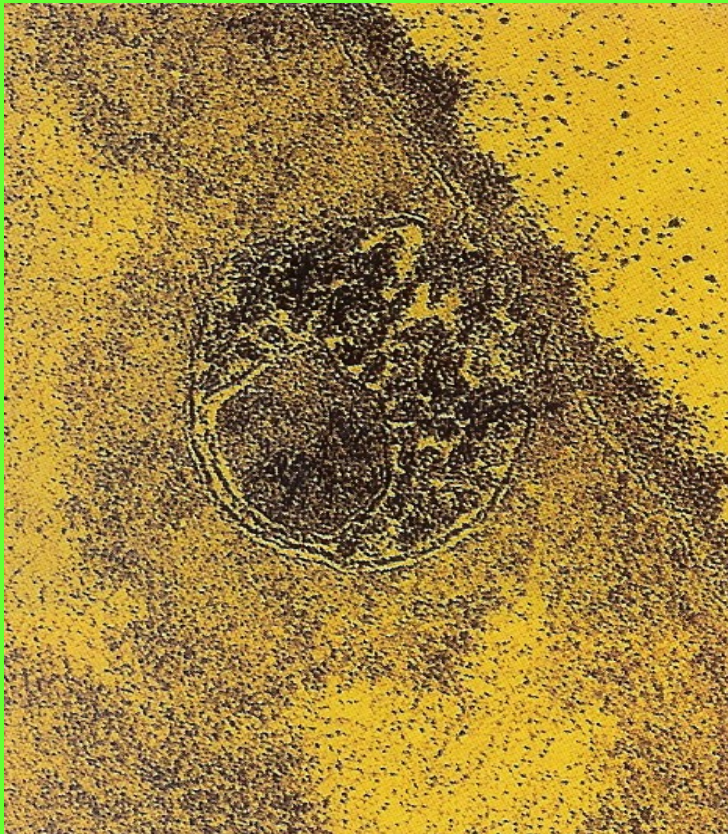
# Esenciální struktury bakteriální buňky

## cytoplazmatická membrána

- Invaginace CM

### \* **Mesozom**

- \*\* Má tvar měchýřku, je rozdělený do trubičkových útvarů nebo váčků
- \*\* Je jich 2 a více, v závislosti na metabolické aktivitě
- \*\* (Je zodpovědný za replikaci bakteriálního chromozomu a dělení buňky
- \*\* Je obvykle v kontaktu s nukleoidem)
- \*\* Chemolitotrofní bakterie mají vedle mesozomů další invaginace, umožňující oxidaci anorganických látek



**Mesozom *B.subtilis***



# Esenciální struktury bakteriální buňky

## cytoplazmatická membrána

- Invaginace CM

- \* **Chromatofory**

- \*\* Mají tvar měchýřku  
rozděleného na segmenty
    - \*\* Obsahují pigmenty  
zodpovědné za vazbu  
světelného kvanta  
(bakteriochlorofyl, karotenoidy)
    - \*\* Jsou místem syntézy ATP u  
fototrofních bakterií



**Chromatofory *Rhodospirillum rubrum***

# Esenciální struktury bakteriální buňky

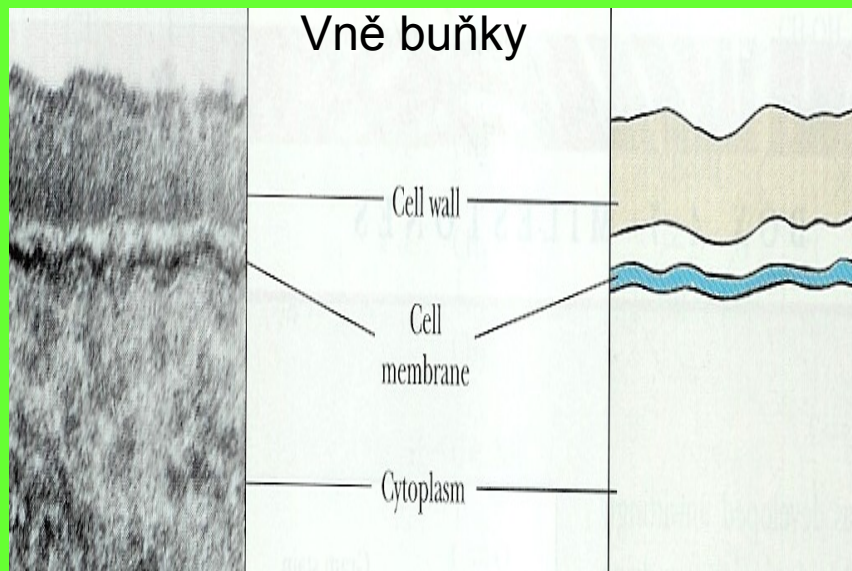
## **základní cytoplazma**

- Vyplňuje celý vnitřní prostor
- Cytoplasma je velice koncentrovaný roztok mnoha biomolekul (malých, velkých i supramolekulových komplexů)
- Je hodně viskózní a podobá se spíše gelu, kde probíhají všechny reakce nutné pro život buňky (od vyhledávání odpovídajících molekul až po uskutečnění vlastní reakce)
- Obsahuje více než 50% všech bílkovin buňky, z nichž většina má enzymatickou funkci
- Protože bakteriální buňka nemá specifické organely, přebírá cytoplazma řadu jejich funkcí
- Třebaže nemá viditelnou strukturu je velice nepravděpodobné, že by umožnění reakcí (limitovaných pohybem molekul v cytoplazmě a pravděpodobností jejich kolizí) mohlo odehrávat bez jakékoliv organizace (*Archea* mají cytoskeleton- soustavu proteinových vláken)

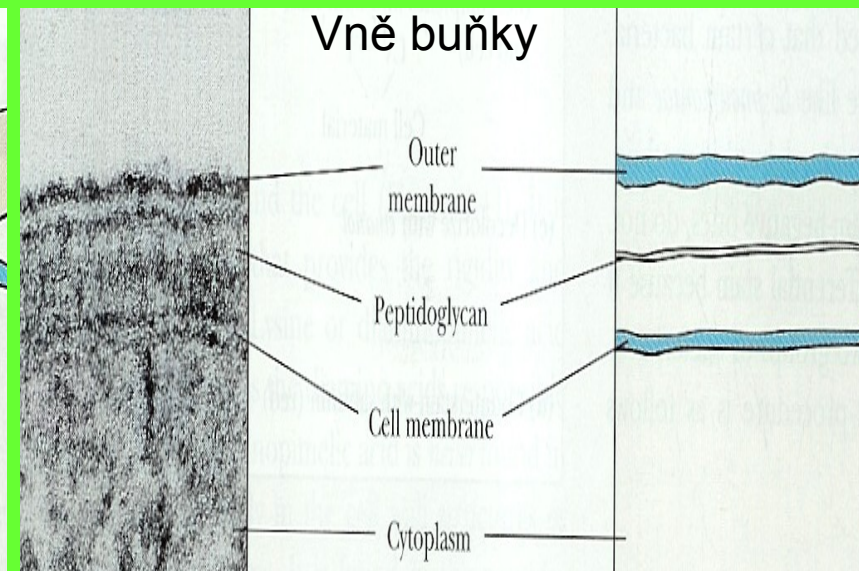
# Obvyklé struktury bakteriální buňky

## **buněčná stěna**

Gram pozitivní bakterie



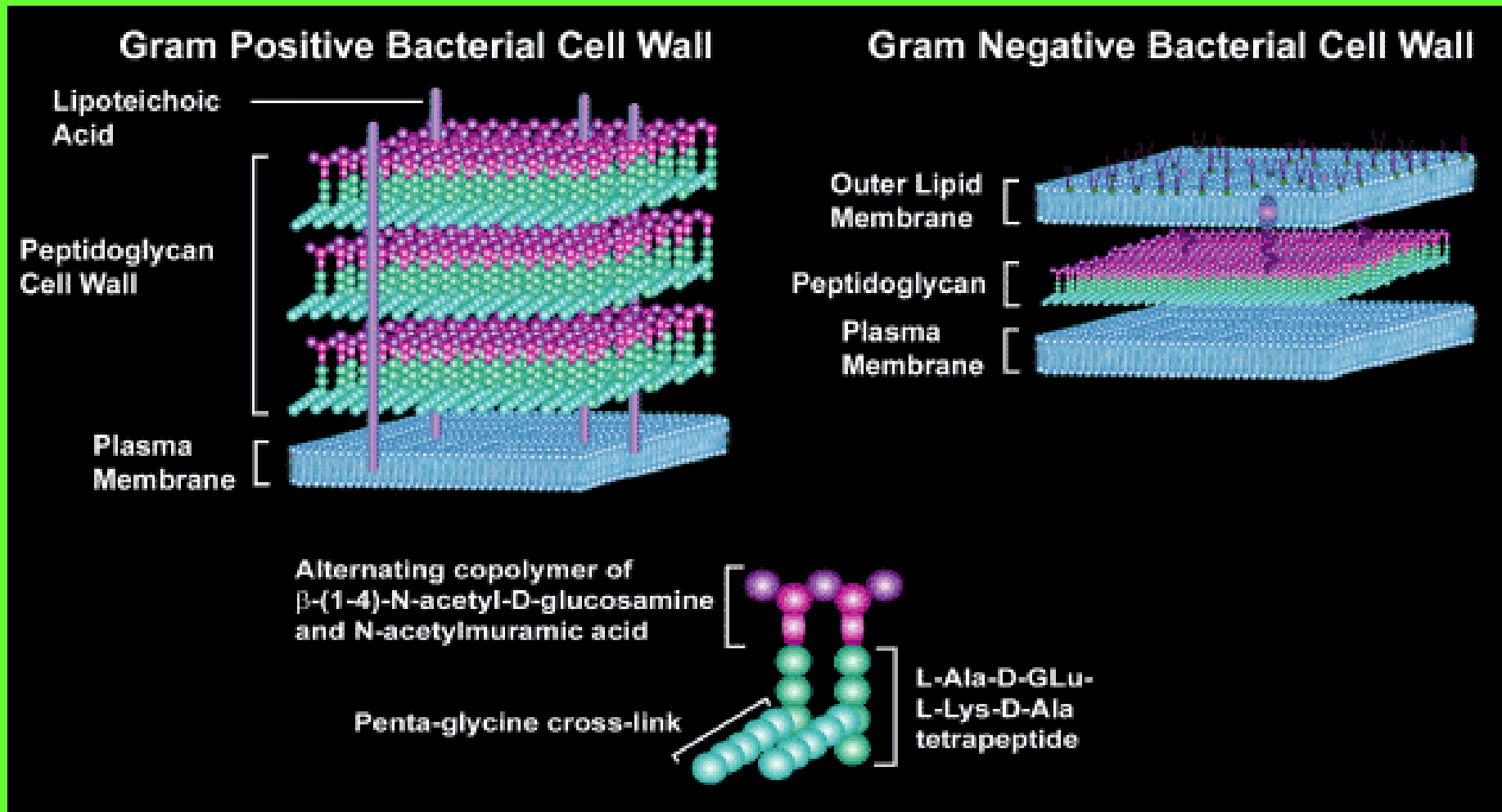
Gram negativní bakterie





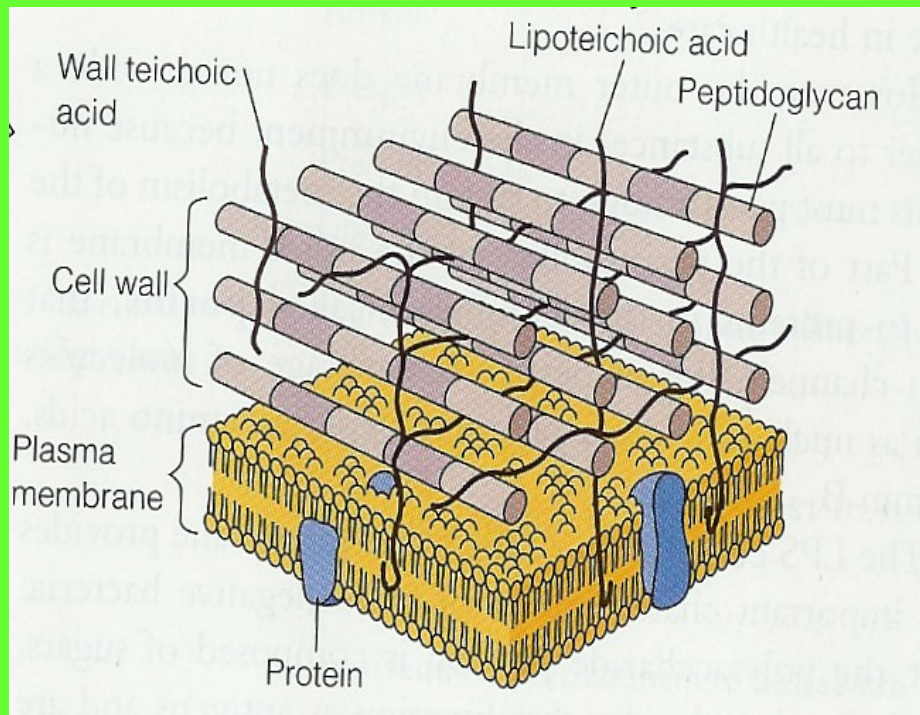
# Obvyklé struktury bakteriální buňky

## buněčná stěna



# Obvyklé struktury bakteriální buňky

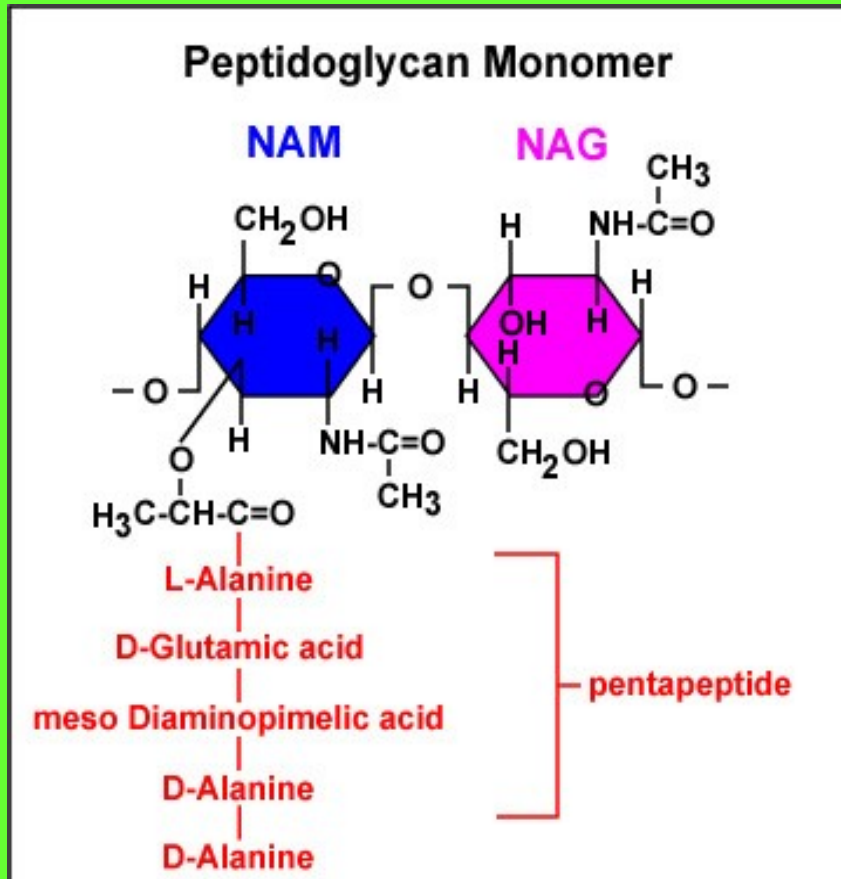
## **buněčná stěna G+ bakterií**



- Složení buněčné stěny
  - \* peptidoglykan
  - \* teichoové kyseliny

# Peptidoglykan

*E. coli*



Copyright © Gary E. Kaiser

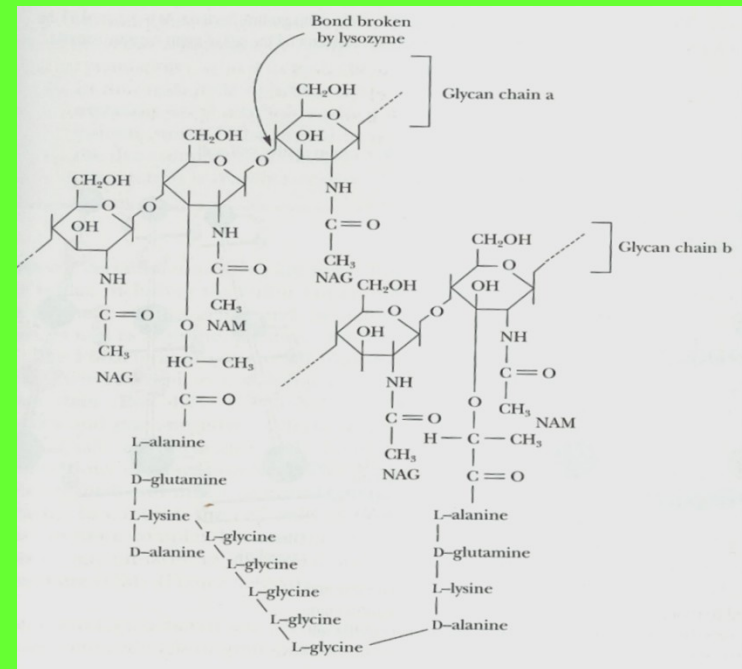
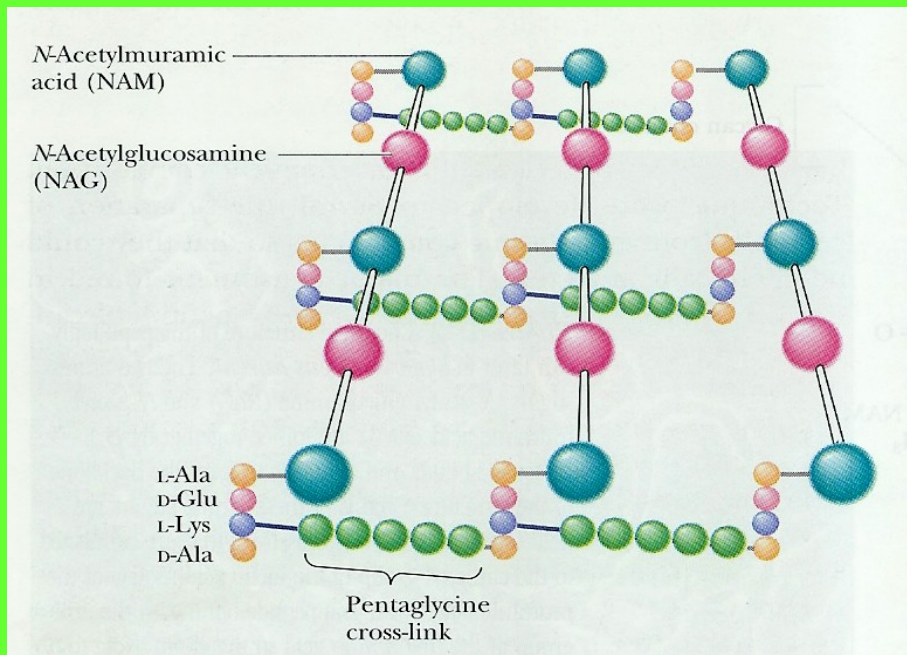
- Základní stavební jednotka buněčné stěny bakterií
- Specifický pro bakterie
- peptidoglykan
  - N-acetylmuramová kys.
  - N-acetylglukózamin
  - β – 1,4 glykos. vazba
  - Řetízky aminokyselin



# Obvyklé struktury bakteriální buňky

## buněčná stěna G+ bakterií

### Struktura peptidoglykanu (*Staphylococcus aureus*)

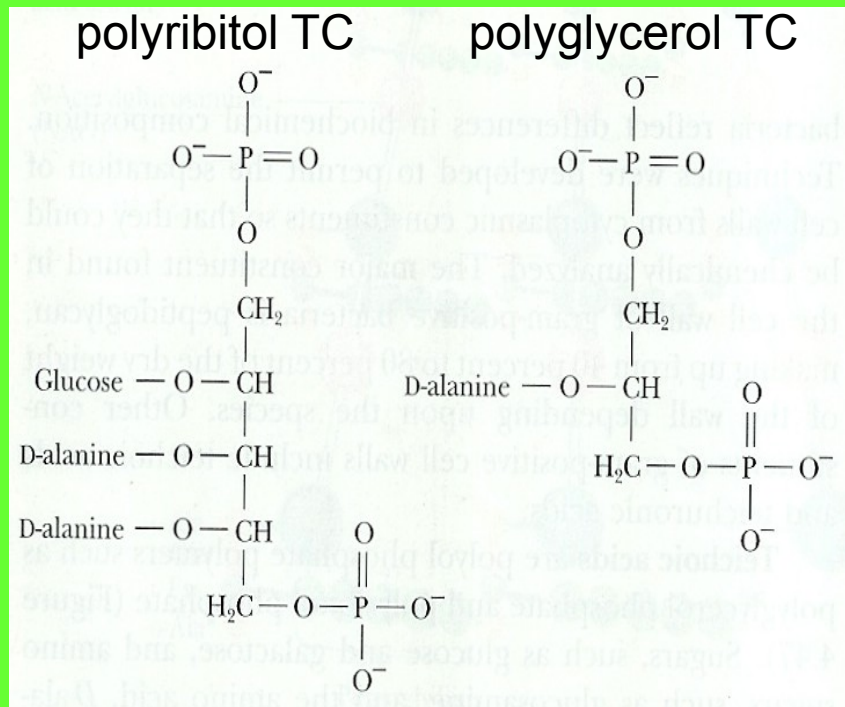


# Obvyklé struktury bakteriální buňky

## buněčná stěna G+ bakterií

### Teichoové kyseliny (TC)

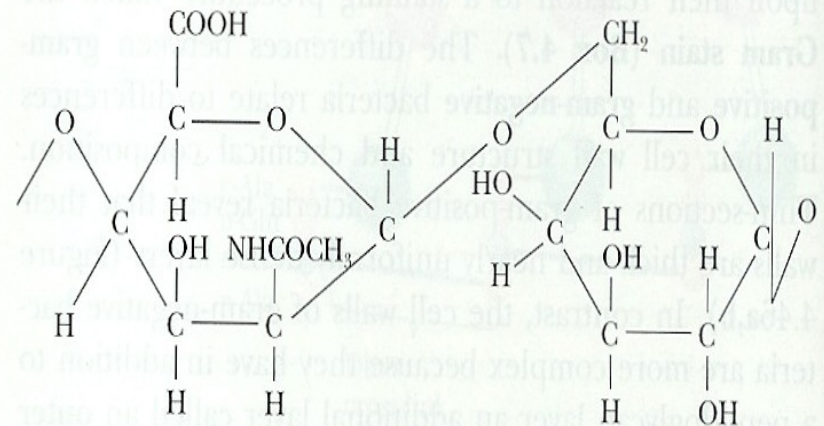
Lineární polymery glycerolfosfátu či ribitolfosfátu s glykosidicky vázanými monosacharidy. Jsou značně rozmanité, pronikají na povrch a jsou významnými povrchovými antigeny řec. teichos stěna



*Bacillus subtilis*

*Lactobacillus sp*

### 4-N-acetyl-D-manosaminouronosyl-β-(1,6)-glukóza



*Micrococcus luteus*

# Obvyklé struktury bakteriální buňky

## buněčná stěna G- bakterií

- Složení buněčné stěny

- \* peptidoglykan

- \* vnější membrána

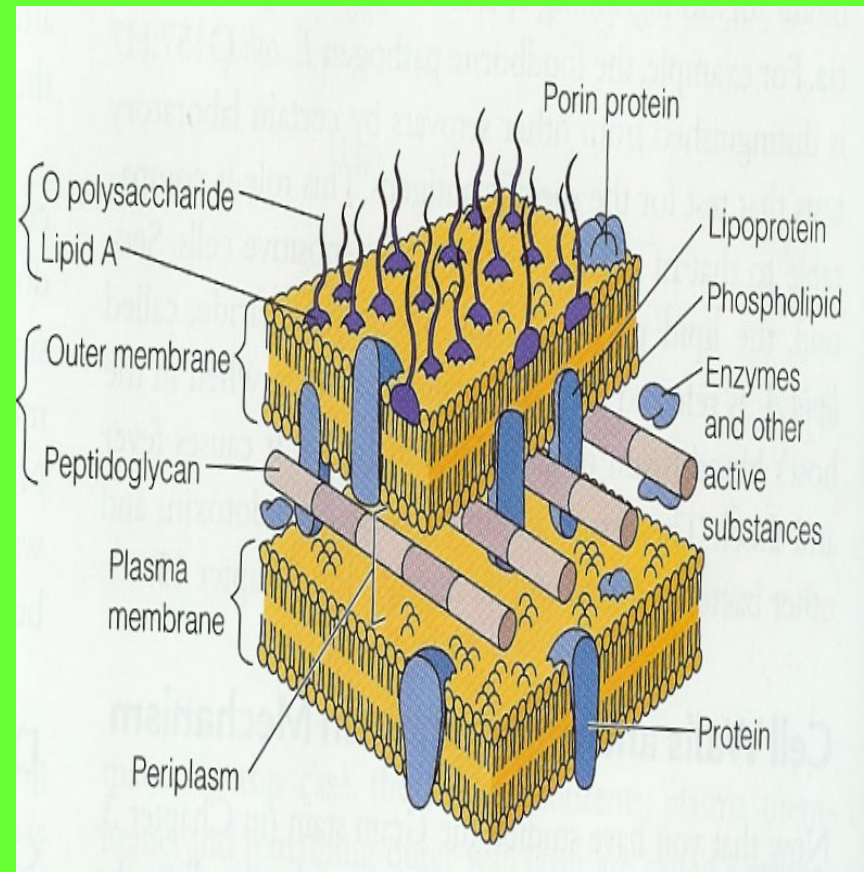
fosfolipid

polysacharid

lipid A

lipoprotein

porinové proteiny

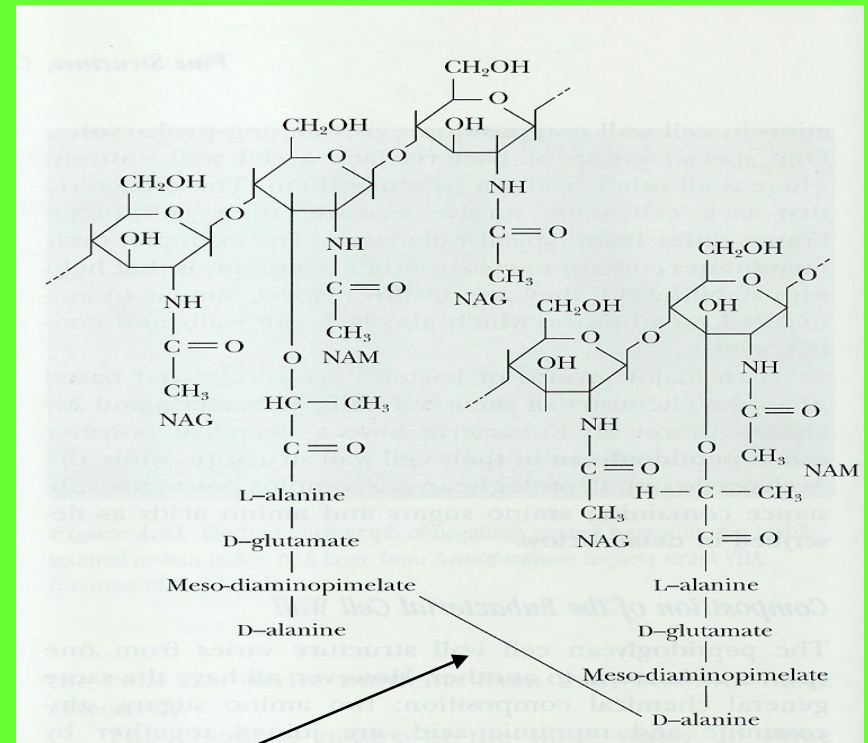
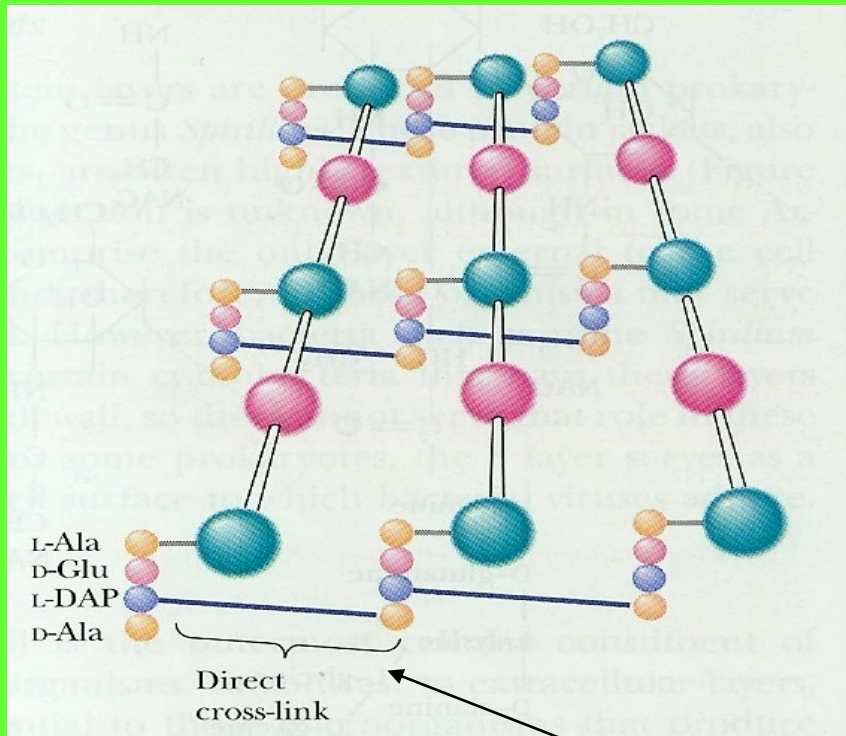




# Obvyklé struktury bakteriální buňky

## buněčná stěna G<sup>-</sup> bakterií

### Struktura peptidoglykanu (*Pseudomonas aeruginosa*)

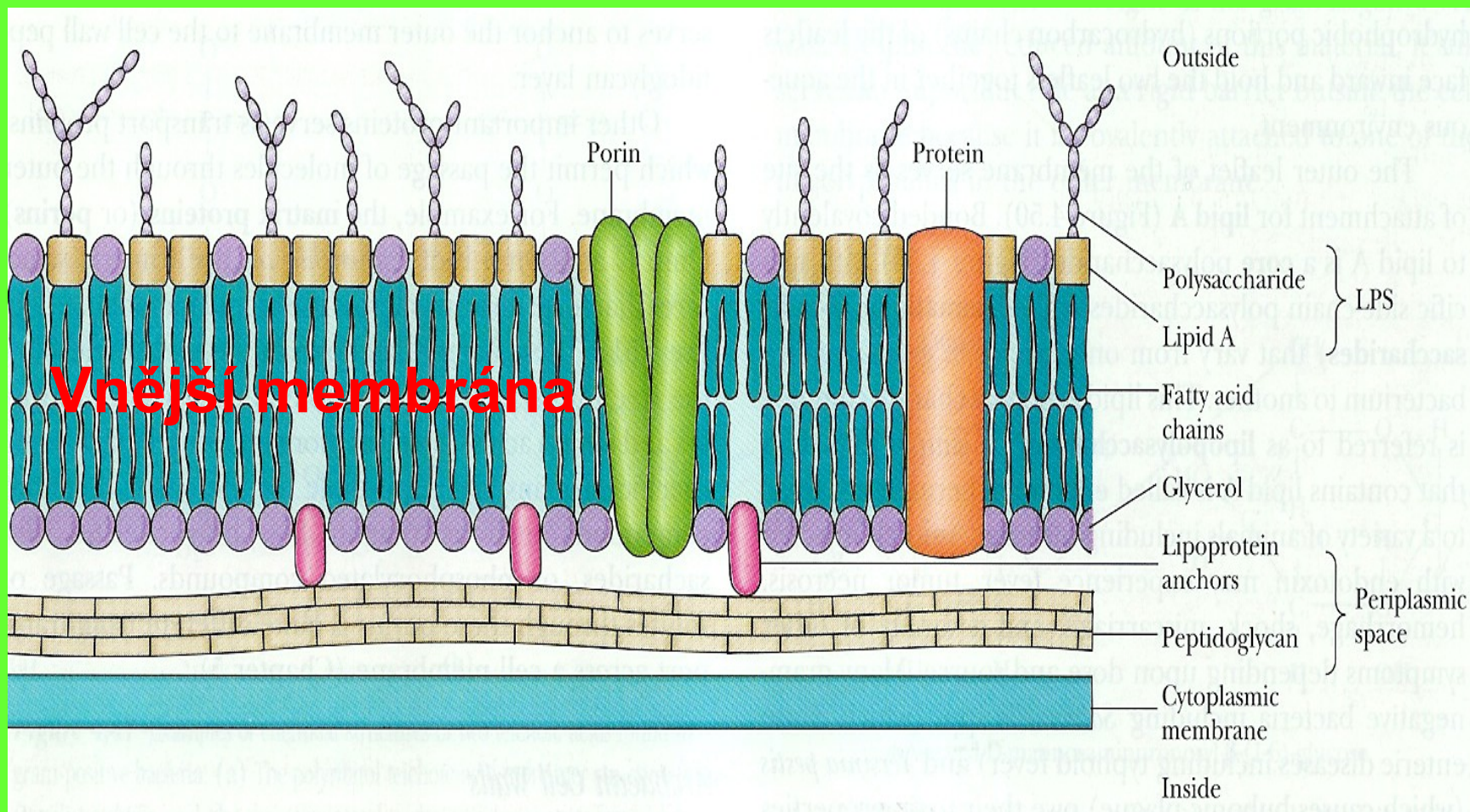


Chybí pentaglycinový můstek

# Obvyklé struktury bakteriální buňky

## buněčná stěna G<sup>-</sup> bakterií

### Struktura vnější membrány





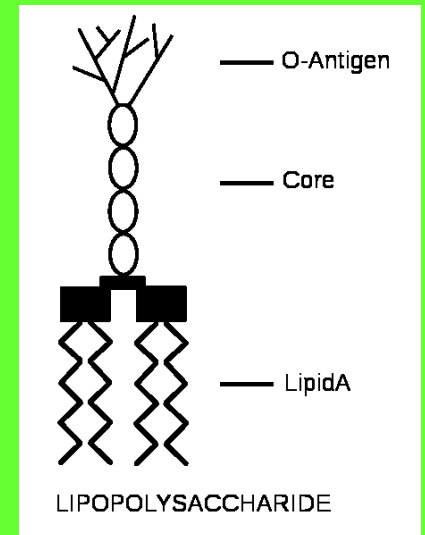
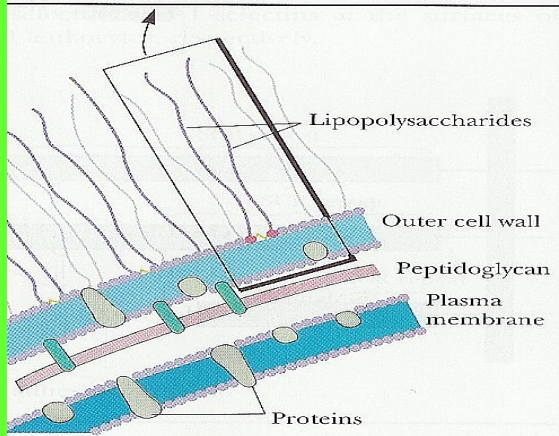
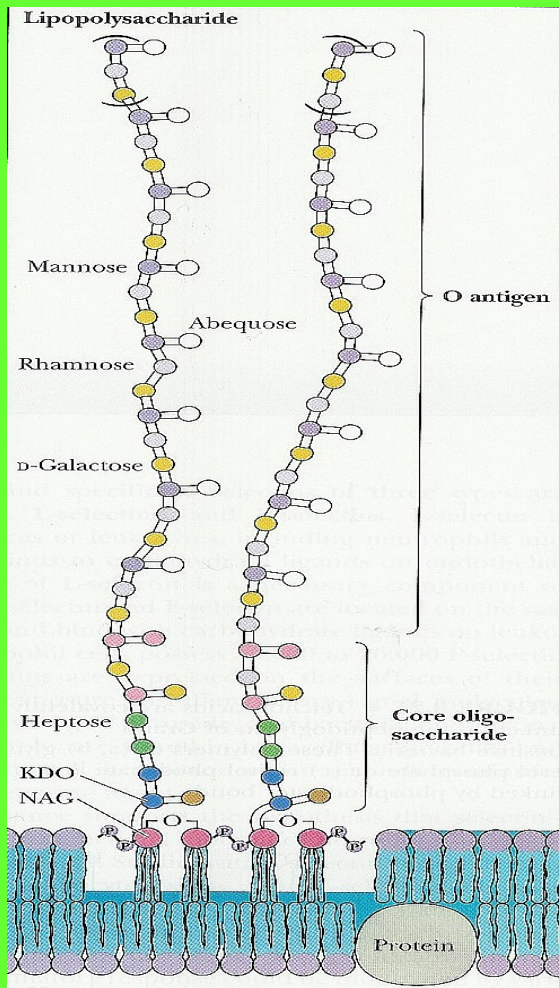
# Obvyklé struktury bakteriální buňky

## buněčná stěna G- bakterií

Lipopolysacharidová (LPS) vrstva vnější membrány G- bakterií

**LPS – velké molekuly - lipid a polysacharidy spojené kovalentními vazbami**

- působí jako endotoxiny
- vyvolávají velkou imunitní reakci u živočichů



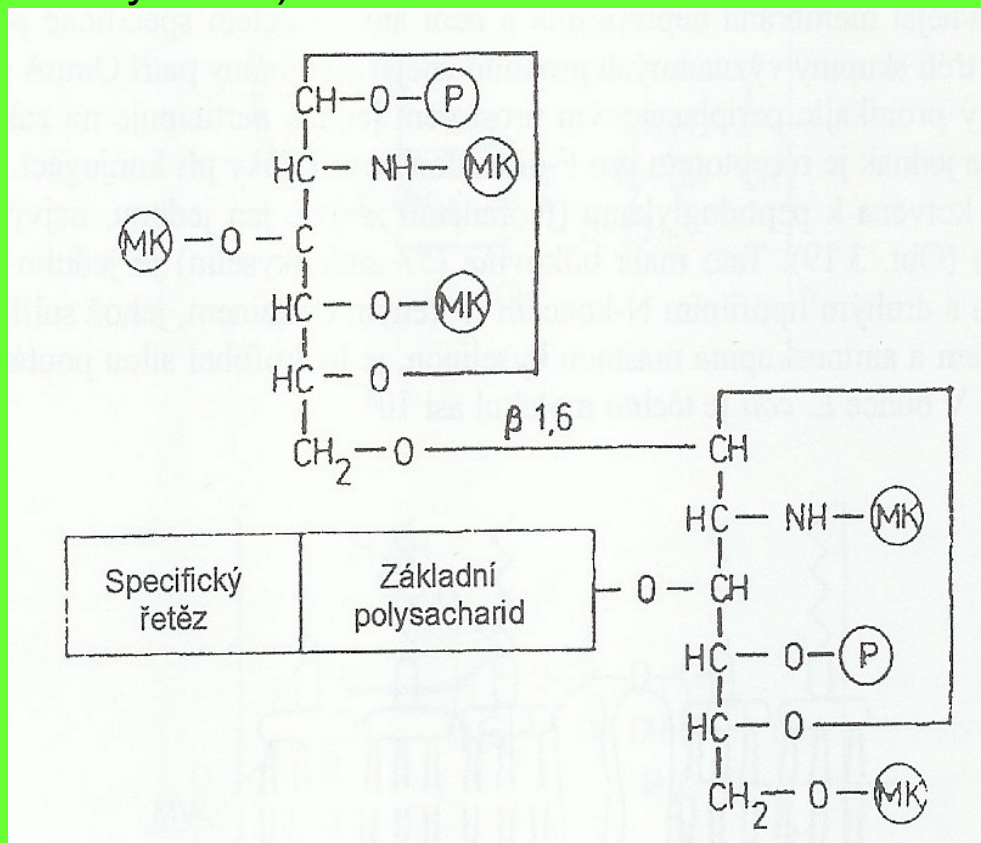


# Obvyklé struktury bakteriální buňky

## buněčná stěna G<sup>-</sup> bakterií

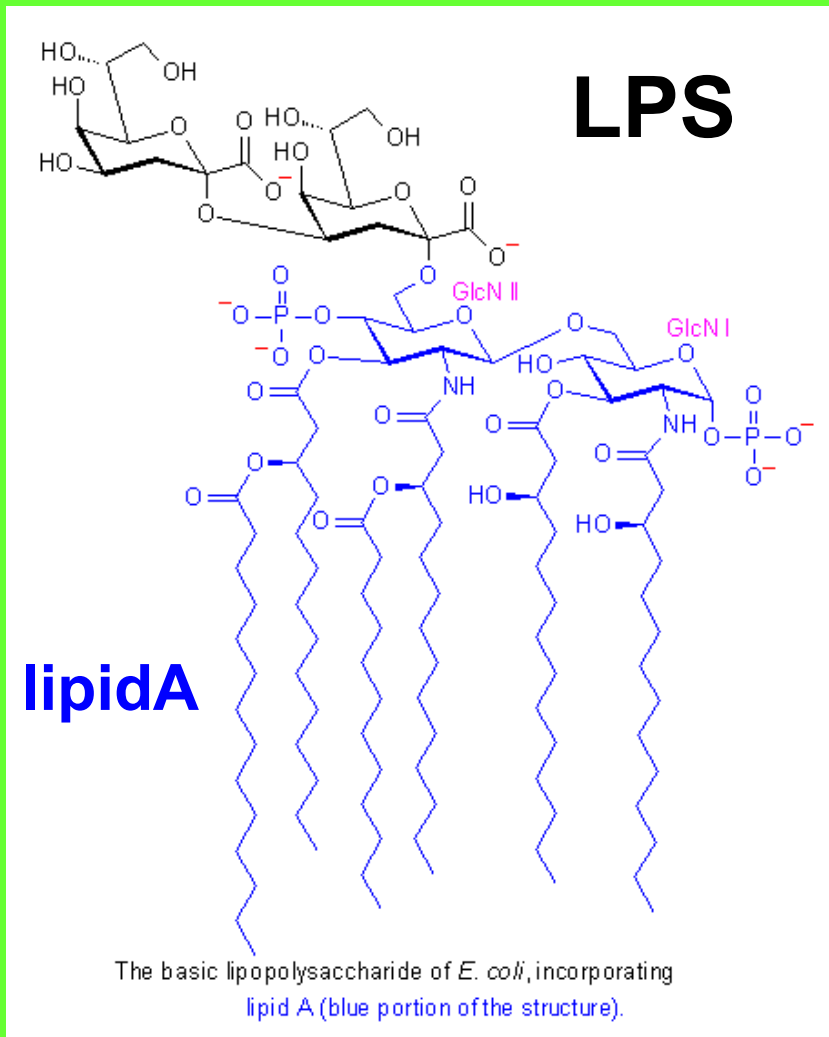
### Struktura lipidu A lipopolysacharidu

(MK – masná kyselina)



# Obvyklé struktury bakteriální buňky

## buněčná stěna G- bakterií

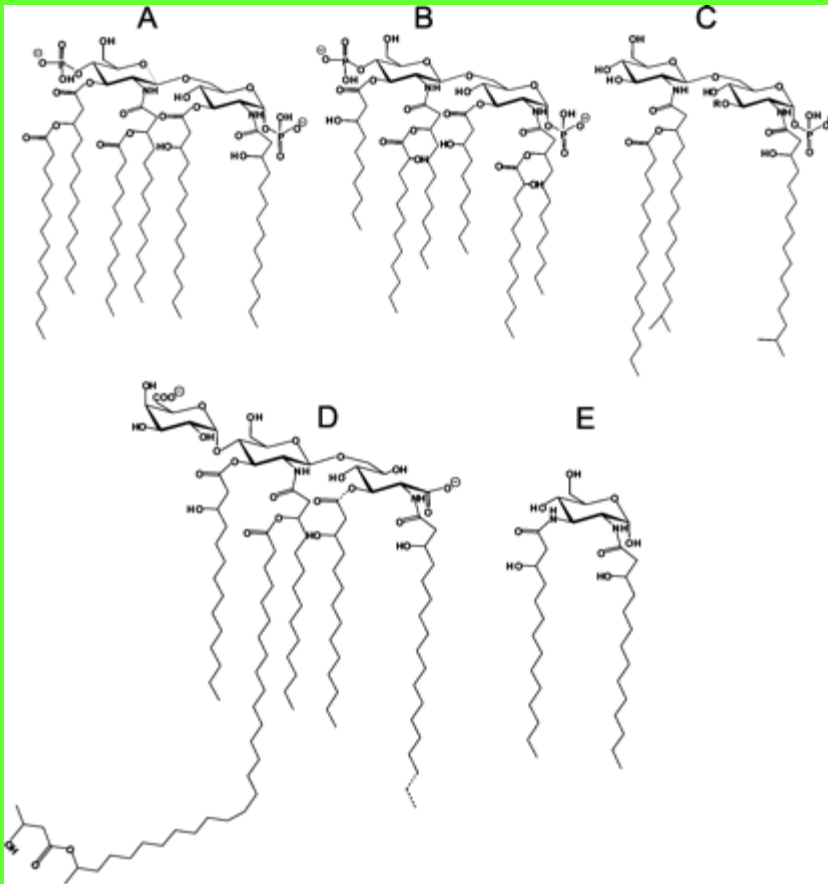


### Struktura lipidu A lipopolysacharidu (LPS)

Lipid A – lipidový komponent LPS (endotoxinů) zodpovědný za toxicitu G- bakterií

- nejvnitřnější ze 3 částí LPS
- hydrofobní – zakotvení LPS do vnější membrány
- skládá se ze 2 glukozaminových jednotek s připojeným acylovým řetězcem (mastné kyseliny)
- obvykle s 1 P skupinou na každý karbohydrát

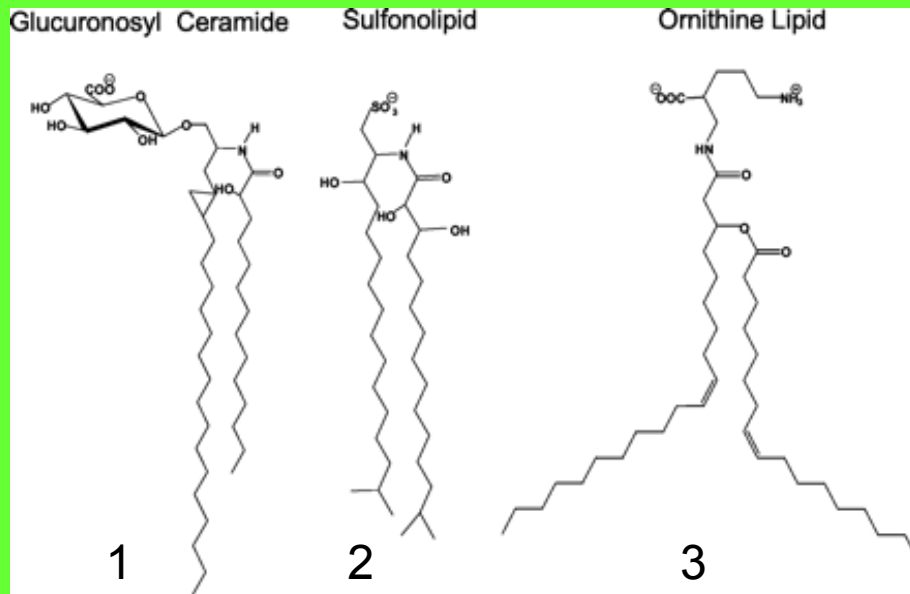
# Lipid A s neklasickou strukturou



- A/ lipid A *E. coli*
- B/ Lipid A z *P. aeruginosa* (mastné kyseliny jsou kratší než u *E. coli* a jsou distribuovány symetricky nad dvěma glukózaminovými zbytky)
- C/ Lipid A z *P. gingivalis* (R je H u jednoho kmene a acylová skupina u jiného)
- D/ Lipid A from *R. leguminosarum* (“redukující“ glukózaminový zbytek je nahrazen 2-amino-2-deoxyglukonovou kyselinou; obvyklá fosfátová skupina ve 4'-pozici je nahrazena zbytkem galakturonové kyseliny)
- E/ Lipid A z *Rhodopseudomonas viridis*, je založen an 2,3-diaminoglucose monomeru a úplně ztratil fosfátové substituenty



# Extrahovatelné lipidy, které nahrazují nebo doplňují LPS u různých bakterií

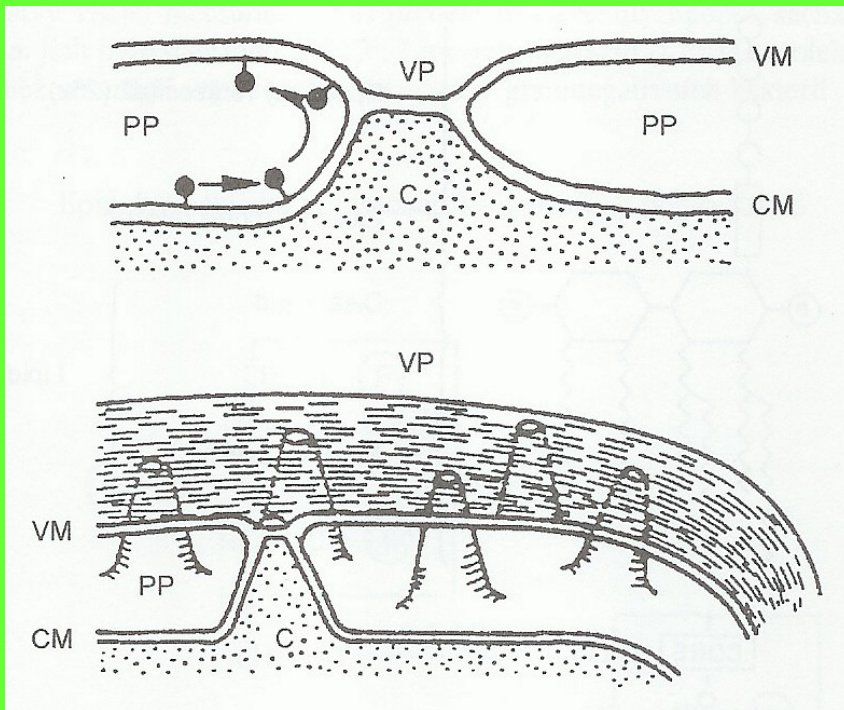


- 1/ A sfingolipid, D-glucuronosylceramid z *Sphingomonas yanoikuyae*
- 2/ A sulfonolipid ze submerzně rostoucí *Flavobacterium johnsoniae*
- 3/ Ornithin lipid z *Paracoccus denitrificans*

# Obvyklé struktury bakteriální buňky

## **buněčná stěna**

Adhezivní místa mezi vnější a cytoplazmatickou membránou – transport LPS, bílkovin, fágů (*Escherichia coli*)



VM – vnější membrána

CM – cytoplazmatická membrána

PP – periplazmatický prostor

C – cytoplazma

VP – vnější prostor

# Některé charakteristiky buněčné stěny G<sup>+</sup> a G<sup>-</sup> bakterií



• Peptidoglykan	tlustý (mnohovrstvý)	tenký (jednovrstevný)
• Teichoové kyseliny	mnoho	nepřítomné
• Vnější membrána	nepřítomná	přítomná
• Obsah lipopolysacharidů	prakticky žádný	velký (vnější membrána)
• Lipidy a lipoproteiny	málo	hodně
• Produkce toxinů	převážně exotoxiny	převážně endotoxiny
• Mechanické poškození	malé	velké
• Působení lysozymu	silné	slabé
• Citlivost k penicilinu	velká	malá
• Citlivost ke streptomycinu	malá	velká
• Citlivost k tetracyklinům	malá	velká
• Inhibice bazickými barvivy	velká	malá
• Odolnost k vysoušení	vysoká	slabá

Streptomycin- ribozómy-AK; tetracyklin – ribozomy, inhibice syntézy proteinů



# Obvyklé struktury bakteriální buňky

## **buněčná stěna – její funkce**

- Stěna bakterie má roli vnějšího buněčného skeletu
- Uděluje buňce tvar a chrání ji před působením vnějšího prostředí
- Za pevnost a odolnost je zodpovědný peptidoglykan – je specifický pro prokaryota
- Syntézu peptidoglykanu katalyzují enzymy periplasmatického prostoru a vnější části CM
- Je dvojího konstrukčního typu – grampozitivního a gramnegativního

## Obvyklé struktury bakteriální buňky **bakterie bez buněčné stěny**

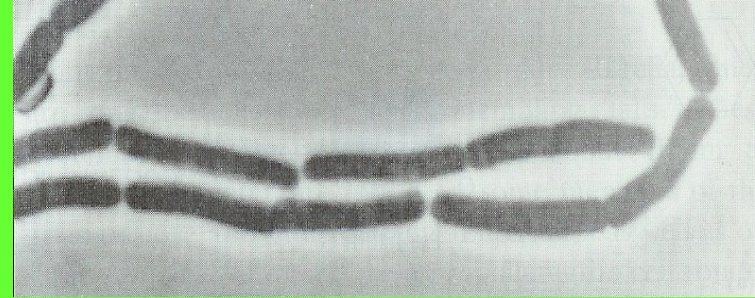
- Geneticky zakotvená neschopnost syntézy buněčné stěny. Především u intracelulárních parazitů (*Mycoplasma*, *Acholeplasma*,...). Buňka je ohraničena trojvrstevnou cytoplazmatickou membránou.
- Protoplasty
- Sferoplasty

# Obvyklé struktury bakteriální buňky

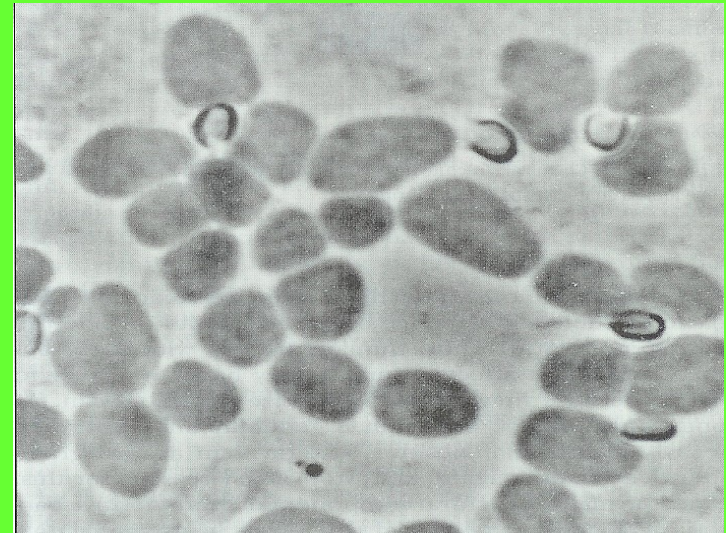
## bakterie bez buněčné stěny

### protoplasty

- Vznikají u G<sup>+</sup> bakterií po působení **lysozymu** (štěpením glykozidické vazby peptidoglykanu), nebo po působení antibiotik blokujících syntézu buněčné stěny (**peniciliny**, **cefalosporiny**)
- Protoplasty metabolizují, rostou, ale **nemnoží se**
- Protoplasty se musí **stabilizovat v hypertonickém prostředí**
- Za určitých podmínek je možná reverze na normální buňku
- G<sup>-</sup> bakterie protoplasty netvoří



Normální buňka *Bacillus megaterium*



Protoplasty vzniklé po působení lysozymu (stabilizované v sacharóze)



# Obvyklé struktury bakteriální buňky

## **bakterie bez buněčné stěny**

### **sferoplasty**

- U G<sup>-</sup> bakterií není možná tvorba protoplastů, protože se lysozymem odstraní pouze peptidoglykanová vrstva a zůstává vnější membrána
- Sféroplast, metabolizuje, roste a množí se
- Po odstranění faktoru, který vyvolal tvorbu sféroplastru, je možná reverze na normální buňku
- Fixované L-formy → buňky ztratily schopnost reverze

# Obvyklé struktury bakteriální buňky

## pouzdro

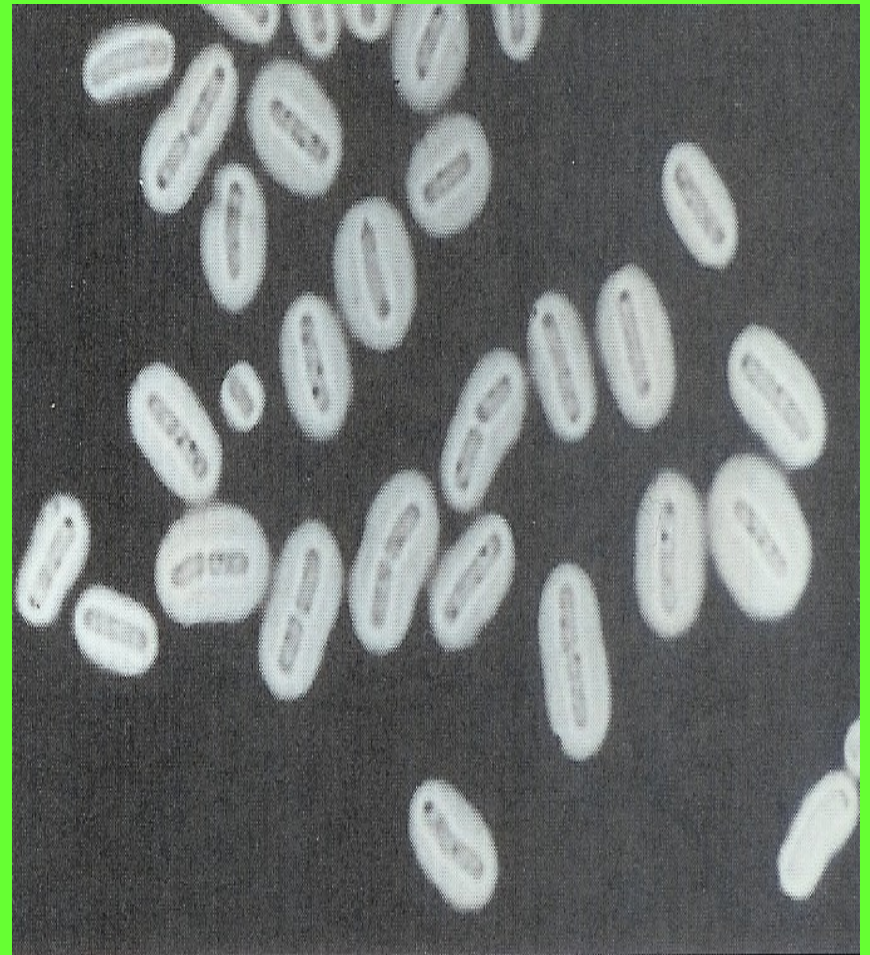
- U mnohých bakterií se vytváří vně buněčné stěny silně hydratovaná vrstva – pouzdro, kapsula
- **Mikrokapsula** – tloušťka 0,2 nm – za určitých podmínek může být mylně považována za součást buněčné stěny. U enterobakterií je to komplex obsahující bílkovinu, polysacharid a někdy stopy lipidu
- **Makrokapsula** je podstatně silnější a je tvořena především **polysacharidy a bílkovinami**. Složení je odlišné v závislosti na druhu bakterie
- Kmeny produkující kapsulu jsou označovány jako S-formy (smooth, hladké), neprodukující jako R-formy (rough, drsné)
- R-formy mohou vznikat z S-formy mutací
- Přítomnost kapsuly je indikací pro **virulenci**, nepřítomnost pro avirulenci
- Má **antigenní** vlastnosti – kapsulární antigen
- Význam ve výživě bakterií (elektrostatické síly)

# Obvyklé struktury bakteriální buňky

## **pouzdro**



*Streptococcus pneumoniae*



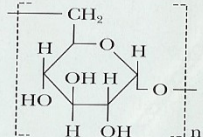
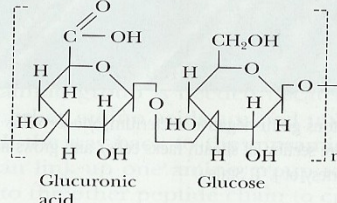
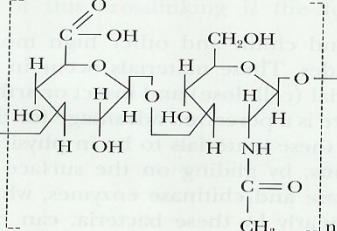
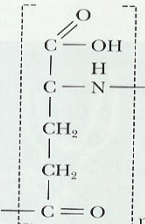
*Bacillus* sp



# Obvyklé struktury bakteriální buňky

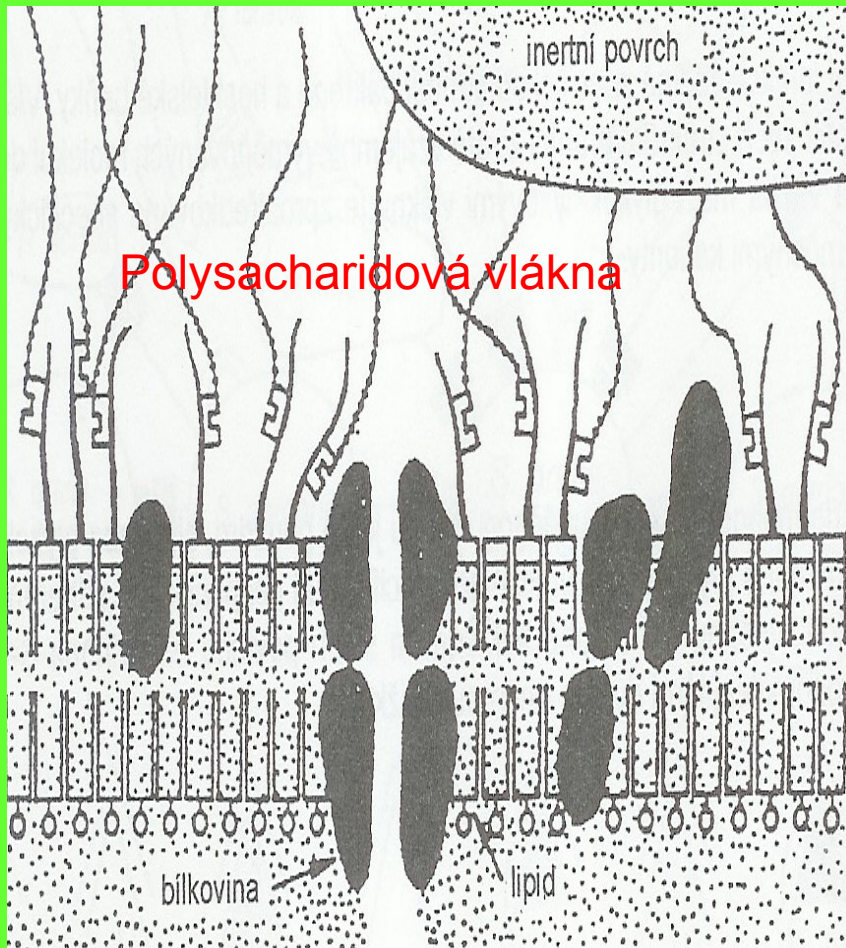
## pouzdro

### Chemické složení pouzdra některých bakterií

Bacterium	Name of Capsular Material	Structure of Repeating Unit
<i>Leuconostoc mesenteroides</i>	dextran	 <p><math>\alpha</math>-1,6-poly D-glucose</p>
<i>Streptococcus pneumoniae III</i>	polyglucose glucuronate	 <p>Glucuronic acid      Glucose</p>
<i>Streptococcus</i> spp.	hyaluronic acid	 <p>Glucuronic acid      N-acetyl glucosamine</p>
<i>Bacillus anthracis</i>	gamma poly D-glutamic acid	 <p><math>\gamma</math> D-glutamic acid</p>

# Obvyklé struktury bakteriální buňky

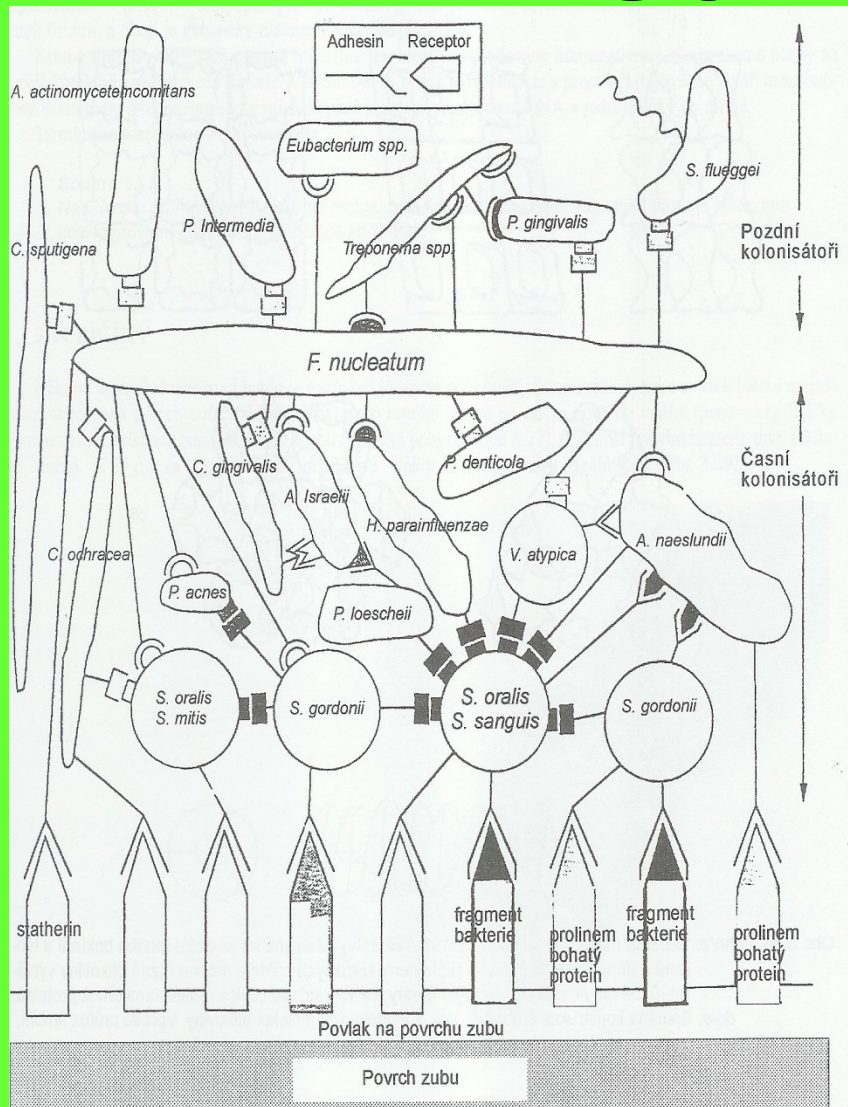
## glykokalyx



- Je tvořen dlouhými polysacharidovými vlákny
- Je zodpovědný za adherenci bakterií na povrchy (kamery v potoce, zubní sklovina, rostlinná buňka, buňka epitelu, ...)
- Vlákna mají funkci adhesinů
- Vazba na povrchy je málo (zubní sklovina) nebo hodně specifická (uretra)

# Obvyklé struktury bakteriální buňky

## glykokalyx



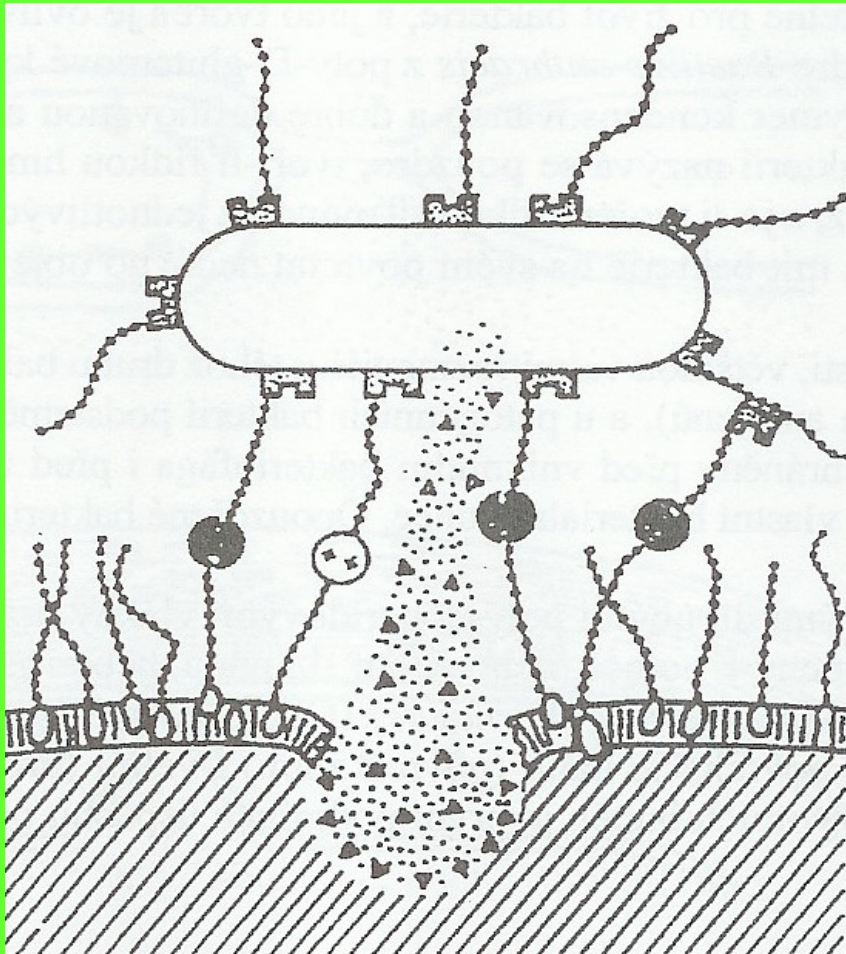
### \* Schema zubního plaku

- Zubní plak obsahuje více než 37 rodů a 300 druhů bakterií (cca 20 druhů streptokoků)
- Na buňky vázané na zubní sklovině se adheziny pevnějšími nebo slabšími vazbami váží další buňky
- Různé bakterie přednostně adherují a kolonizují různá místa dutiny ústní



# Obvyklé struktury bakteriální buňky

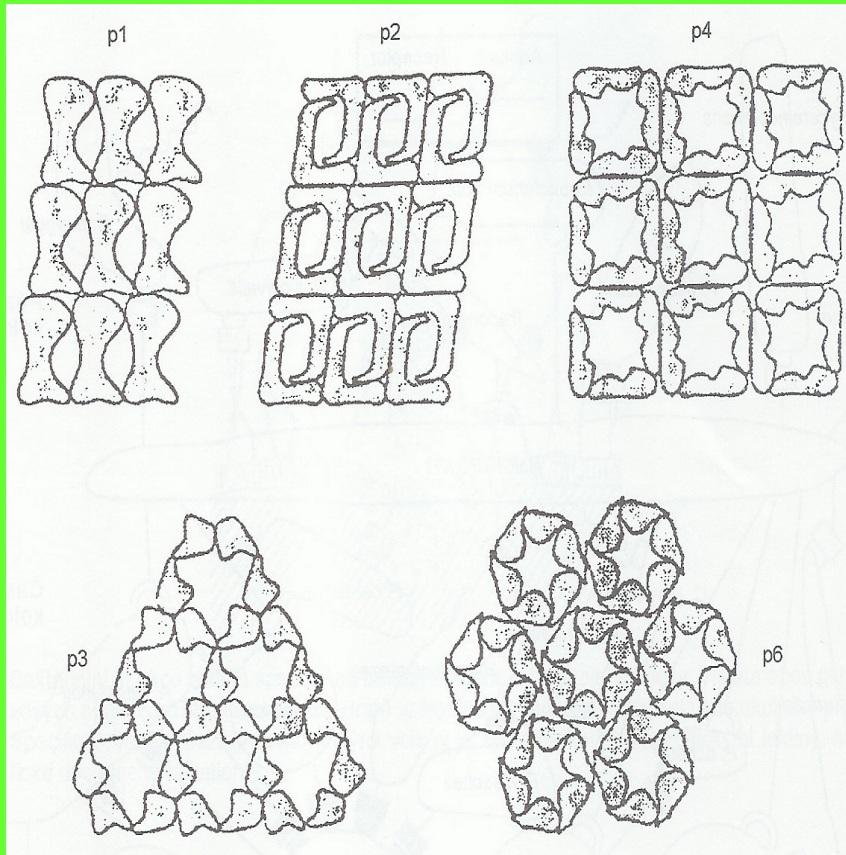
## glykokalyx



- \* **Schema bakteriální infekce**
- Adheze bakteriální buňky a hostitelské buňky (specifická adheze - lektiny, nespecifická – dvojmocnými ionty)
- Spojení vláken obou glykokalyxových obalů.
- Vytvoření struktury bránící ztrátě vzájemně vyměňovaných molekul do okolního prostředí

# Obvyklé struktury bakteriální buňky

## S - vrstva



- Plochá dvourozměrná vrstva z bílkovinných podjednotek, která vytváří "síťovinu" na povrchu  $G^+$  i  $G^-$  bakterií
- Je tvořena zpravidla jedním proteinem – druhově specifickým
- Počet bílkovinných jednotek v této "krystalické mřížce" je 1-6
- Na pevných podkladech vytváří monomolekulární vrstvy pravidelného tvaru – je možné jejich využití v biotechnologiích ("molekulární nanotechnologie")
- Ochrana před enzymy, jedy, pH, predátory
- Uchycení k povrchu ( $G^+$ ,  $G^-$ ), ochrana před imunitním systémem hostitele



# Obvyklé struktury bakteriální buňky

## **fimbrie (pili)**



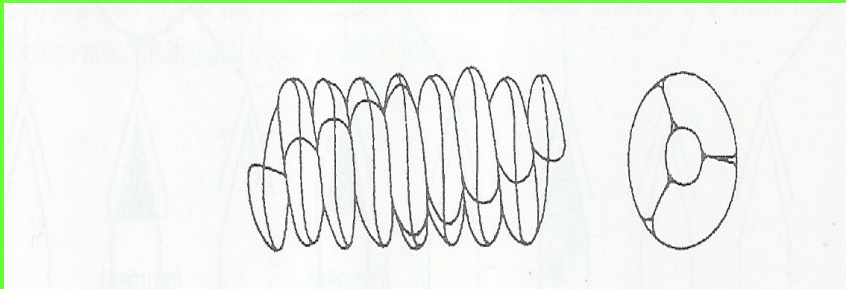
- Pili jsou četná, poměrně krátká rigidní rovná vlákna
- Jsou velmi křehká a snadno se ulamují
- Vyskytují se jen u G-bakterií
- Na jedné buňce jich může být i několik set



# Obvyklé struktury bakteriální buňky

## fimbrie (pili)

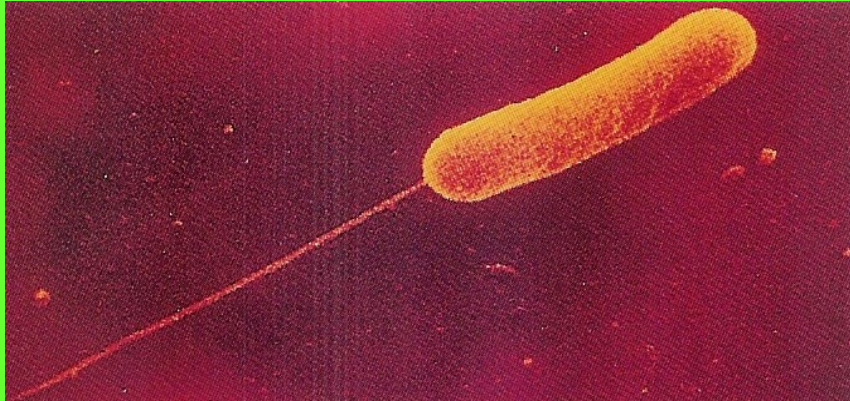
- Pilus je tvořen z bílkovinných podjednotek (pilinů), obvykle seřazených do tří řetězců stočených do spirály (vytvářejí bílkovinnou trubičku)



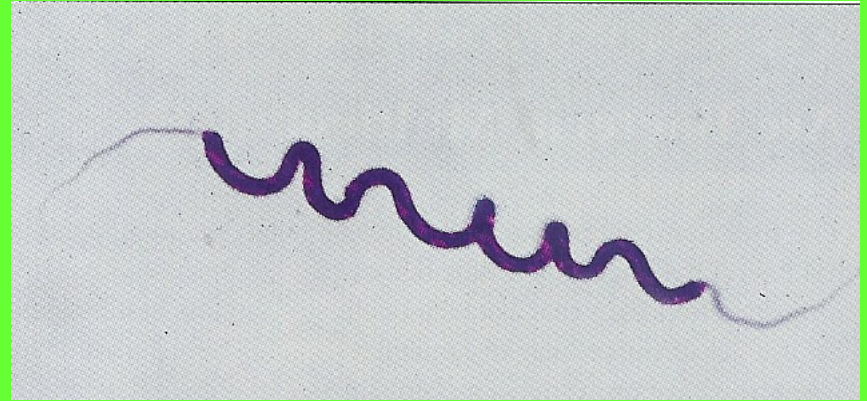
- Některé fimbrie mají funkci adhesinů
- Umožňují bakterii specifickou adhezenci
- U symbiotických, parazitických a patogenních bakterií navozují specifickou schopnost kolonizace pouze určitého hostitele
- U *Vibrio cholerae* 01 je tvorba toxinu spojena s přítomností adhezivního pilusu
- Uropatogenita *Escherichia coli* je spojena s přítomností specifického P pilusu
- Sex – pilusy jsou zodpovědné za vytvoření konjugačního můstku. Kodovány jsou F plazmidem

# Obvyklé struktury bakteriální buňky

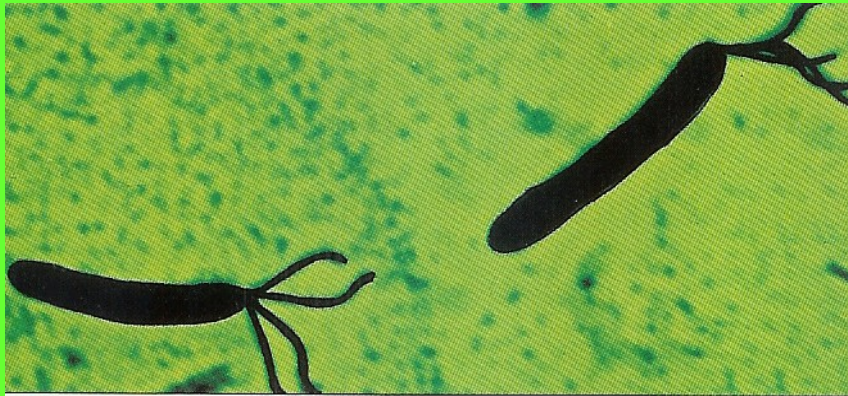
## bičík (flagela)



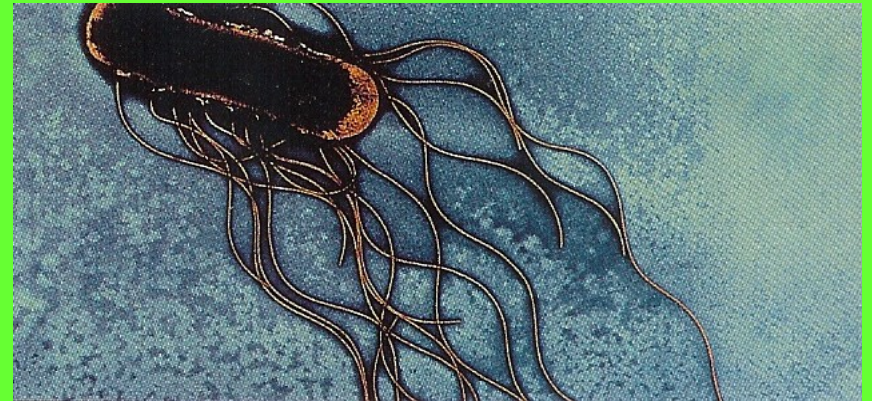
Monotricha



Amfitricha



Lofotricha



Peritricha

# Obvyklé struktury bakteriální buňky

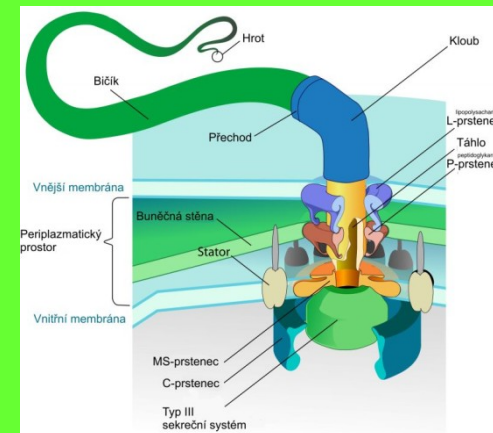
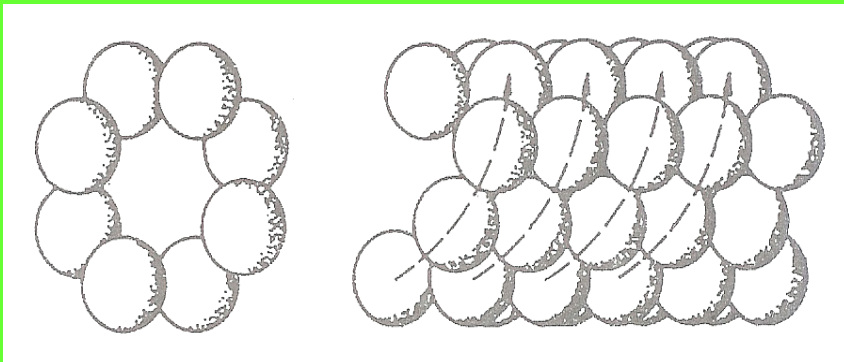
## bičíky - struktura

- **Hlavní části bičíku**

- \***Vlákno bičíku** tvořené z globulární bílkoviny – flagelinu, které jsou spojeny do několika vláken spirálovitě stočených

- Je dlouhé až 20  $\mu\text{m}$  a v průměru má 10-30nm
- V živném mediu doroste asi za 10-20 minut

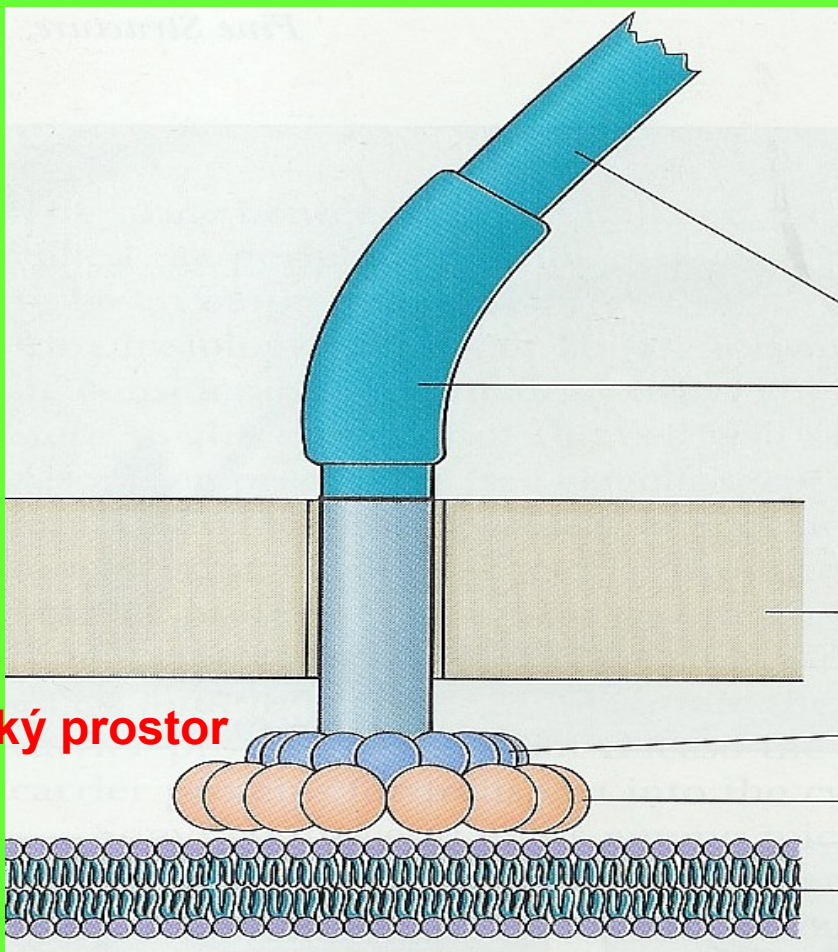
- **Háček** – je složen z identických globulárních bílkovin (jsou jiné než flagelin). Představuje asi spojení mezi vláknem a bazální částí bičíku
- **Bazální část** – kotví bičík do buněčné stěny a cytoplasmatické membrány. Je zodpovědná za pohyb bičíku. Jde o disky, tvořené 9 různými bílkoviny. Jejich počet a umístění je závislé na  $G^+$  nebo  $G^-$





# Obvyklé struktury bakteriální buňky

## bičík – struktura u $G^+$



Bičíkové vlákno

Háček

Buněčná stěna

S – kruh (stator)

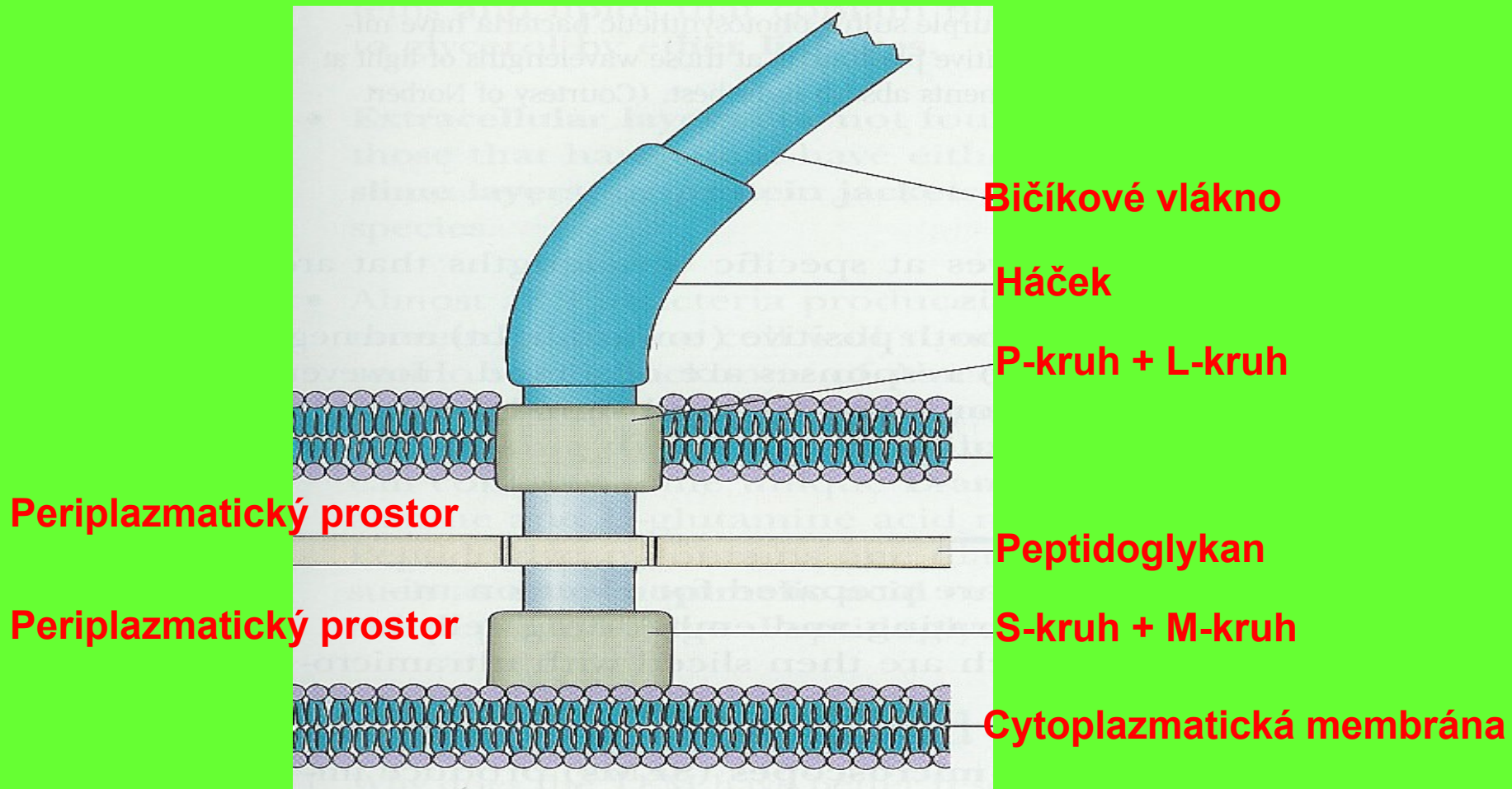
M – kruh (rotor)

Cytoplazmatická membrána

Periplazmatický prostor

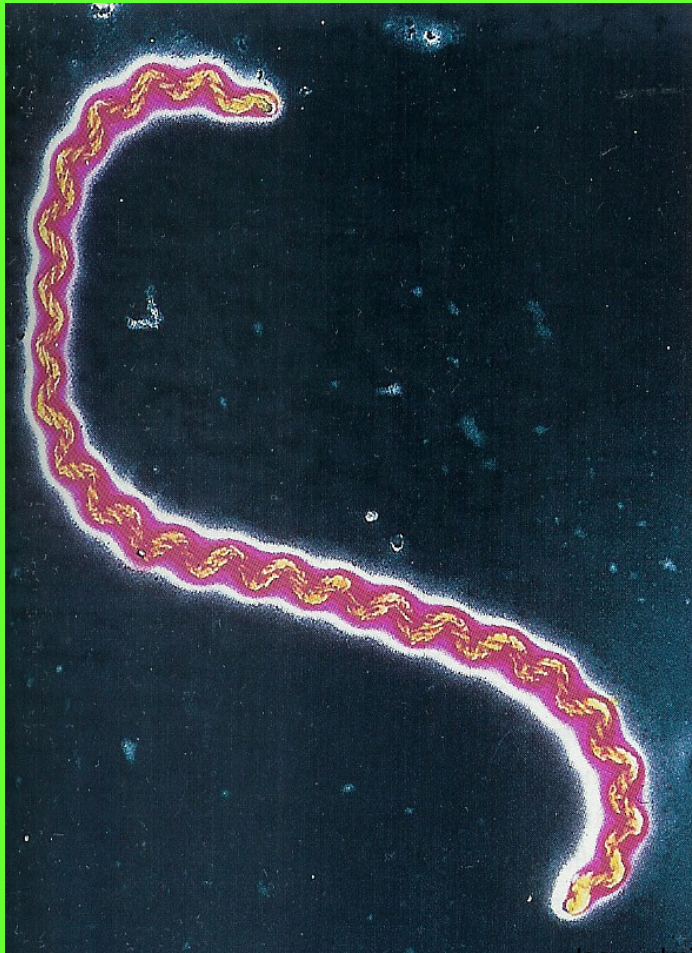
# Obvyklé struktury bakteriální buňky

## bičík – struktura u G<sup>-</sup>





# Obvyklé struktury bakteriální buňky axiálně uložený bičík



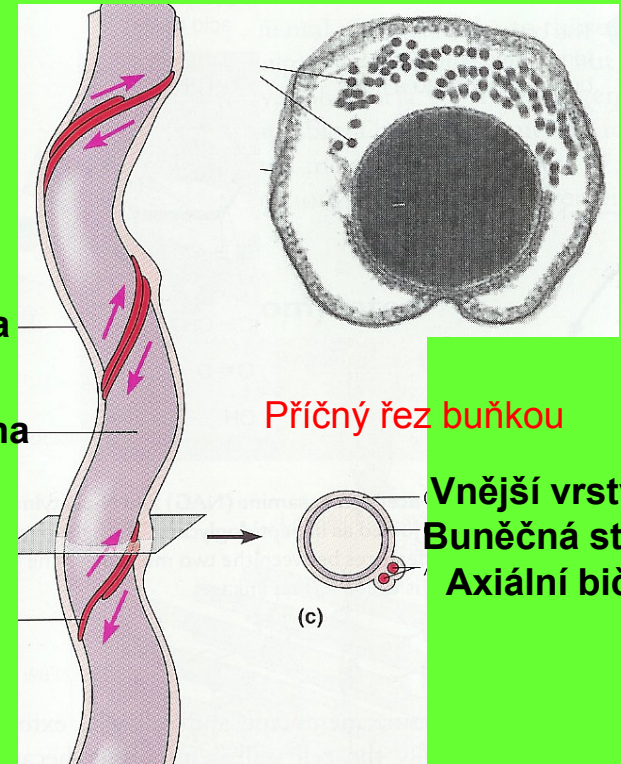
*Leptospira* sp.

## spirochety

Vnější vrstva

Buněčná stěna

Axiální bičík



Příčný řez buňkou

Vnější vrstva

Buněčná stěna

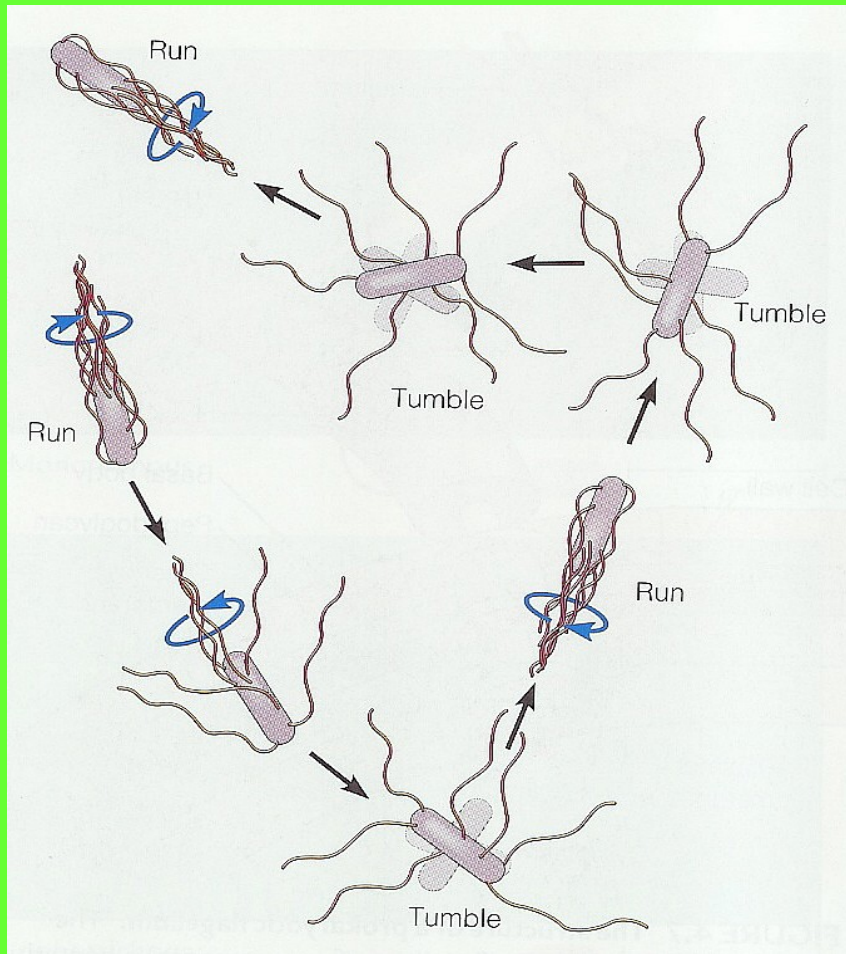
Axiální bičík

(c)

Jsou velmi pohyblivé, a to díky tzv. **osovému vlákn**u, což je kontraktilní struktura podobná bakteriálnímu bičíku, která je zabudovaná v buněčné stěně a spirálně se ovíjí kolem protoplastu. Osová vlákna vedou od pólů buňky k jejímu středu, kde se protilehlá vlákna více či méně přesahují. Díky tomu se spirochéty pohybují vývrtkovitým otáčením se kolem vlastní osy nebo smršťováním a natahováním celé buňky.



# Pohyb bakteriální buňky



- Bičík je rigidní a rotuje
- Rotační pohyb umožňují M-kruh (rotor) a S-kruh (stator)
- Zdrojem energie je protonový gradient. Na jednu otáčku se spotřebuje asi 250 protonů
- Pohyb bakterie je rotační, lokomoční, Brownův. Dopředu se pohybuje po zakřivené dráze, zastaví se, vrtí a točí. Nový směr pohybu je zcela náhodný.
- Otáčení buňky je proti směru hodinových ručiček
- Rychlost pohybu je asi 50  $\mu\text{m}$  za sekundu
- Pohyb bičíku usnadňuje také taxi – chemotaxi, fototaxi

# Obvyklé struktury bakteriální buňky

## **inkluze**

- **Inkluze obdané jednovrstevnou fosfolipidovou membránou**

- \* Glykogenová granula
- \* Granula kyseliny poly- $\beta$ -hydroxymáselné
- \* Granula síry
- \* Plynové vakuoly
- \* Karboxyzómy
- \* Chlorobiové váčky

- **Inkluze bez membrány**

- \* Glykogenová granula
- \* Polyfosfátová granula
- \* Krystaly
- \* Parasporální inkluze

# Obvyklé struktury bakteriální buňky

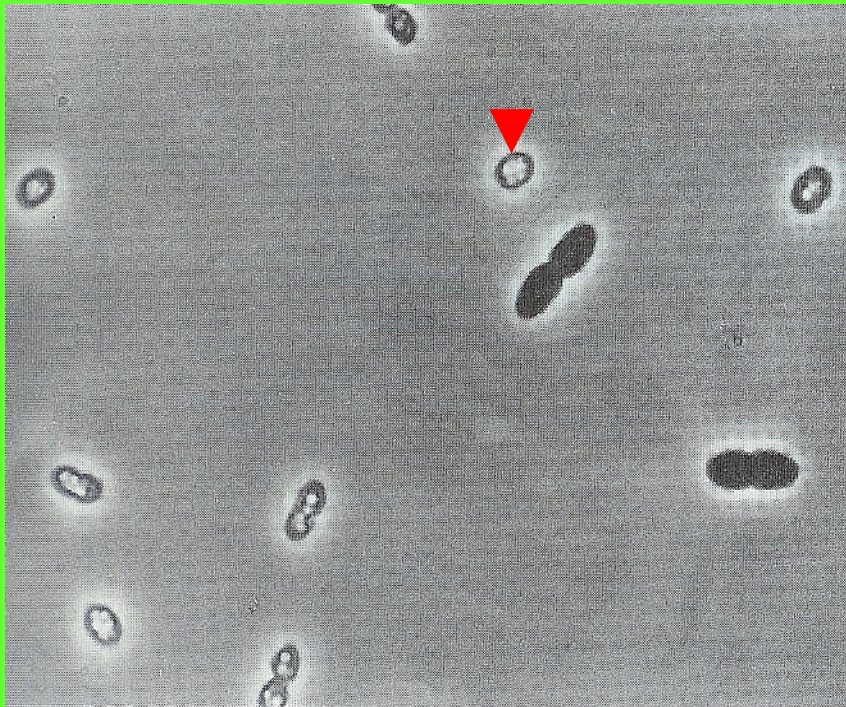
## inkluze obdané jednovrstevnou fosfolipidovou membránou - **glykogen**

- Glykogen je nerozpustný polymer glukózy,  $\alpha$ -1,4-glukan s četným větvením  $\alpha$ -1,6-vazbami
- Větvení nastává na každé 8. až 10. molekule glukózy
- Buňka může obsahovat glykogenu až do 50% suché hmotnosti
- Je náhodně distribuován v cytoplazmě ve formě tělísek viditelných ve světelném mikroskopu po obarvení
- Glykogen je rezervní látka a hromadí se v buňkách po kultivaci v prostředí s nadbytkem uhlíku nebo nedostatku dusíku



# Obvyklé struktury bakteriální buňky

inkluze obdané jednovrstevnou fosfolipidovou membránou – **granula kyseliny poly- $\beta$ -hydroxymáselné**

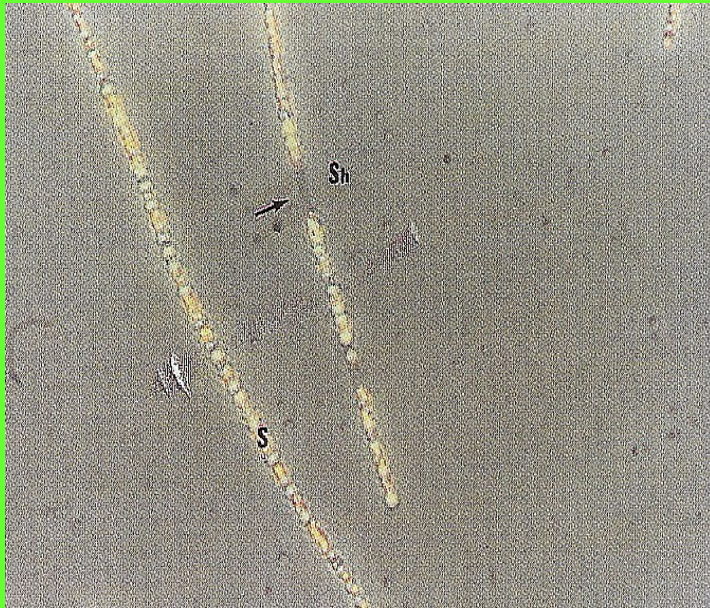


*Azotobacter* sp.

- Tvoří v cytoplazmě kapénky, viditelné ve světelném mikroskopu jako světlolomná tělíska
- Může tvořit až 60% sušiny bakterie
- Granula obsahují až 98% kyseliny poly- $\beta$ -hydroxymáselné a 2 % bílkovin (někdy i štěpy tuků)
- Granula jsou tvořena především u aerobních druhů bakterií (rod *Bacillus*, *Pseudomonas*, fototrofní bakterie)
- Zásobní látka

# Obvyklé struktury bakteriální buňky

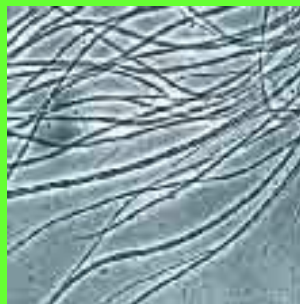
## inkluze obdané jednovrstevnou fosfolipidovou membránou – **granula síry**



*Thiothrix nivea*



S granulemi síry



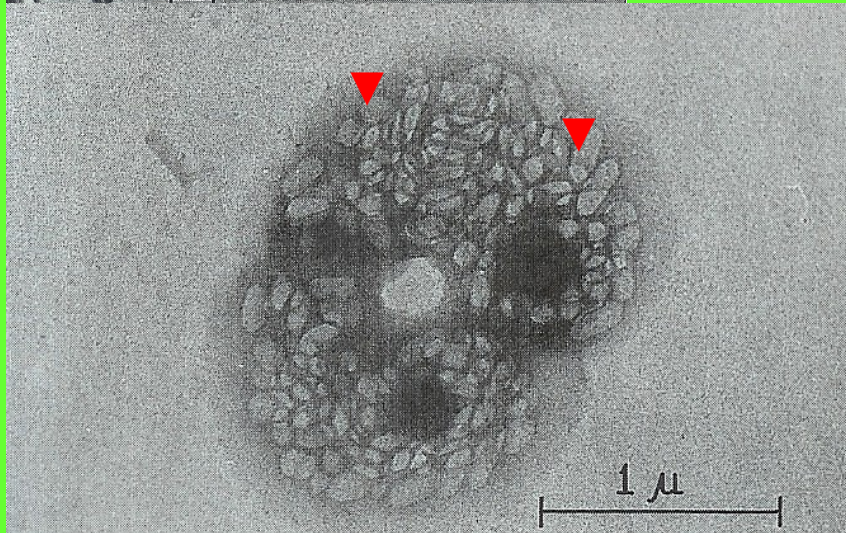
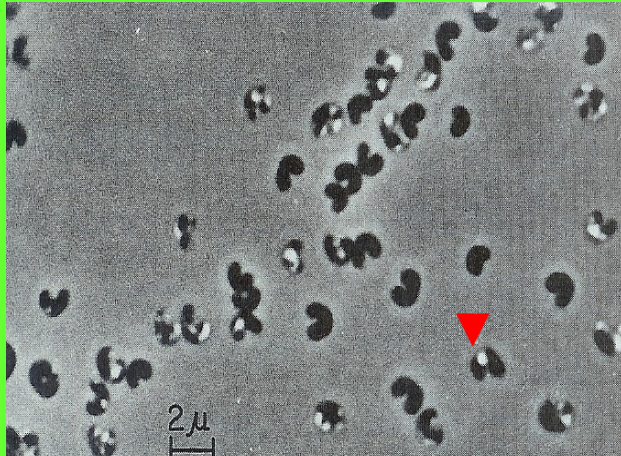
Bez granulí síry

- Jsou ukládána jako rezervní materiál u těch bakterií, které ji využívají jako zdroj energie (chemolitotrofní sírné bakterie)
- Nebo je ukládána v cytoplasmě jako  $S_0$  po využití sloučenin síry jako donorů protonů a elektronů u fototrofních bakterií (purpurové sírné nebo zelené sírné)
- Některé bakterie mohou také síru ukládat do váčků vzniklých inavaginací cytoplazmatické membrány. V tomto případě však nejde o inkluze



# Obvyklé struktury bakteriální buňky

## inkluze obdané jednovrstevnou membránou – **plynové vakuoly**



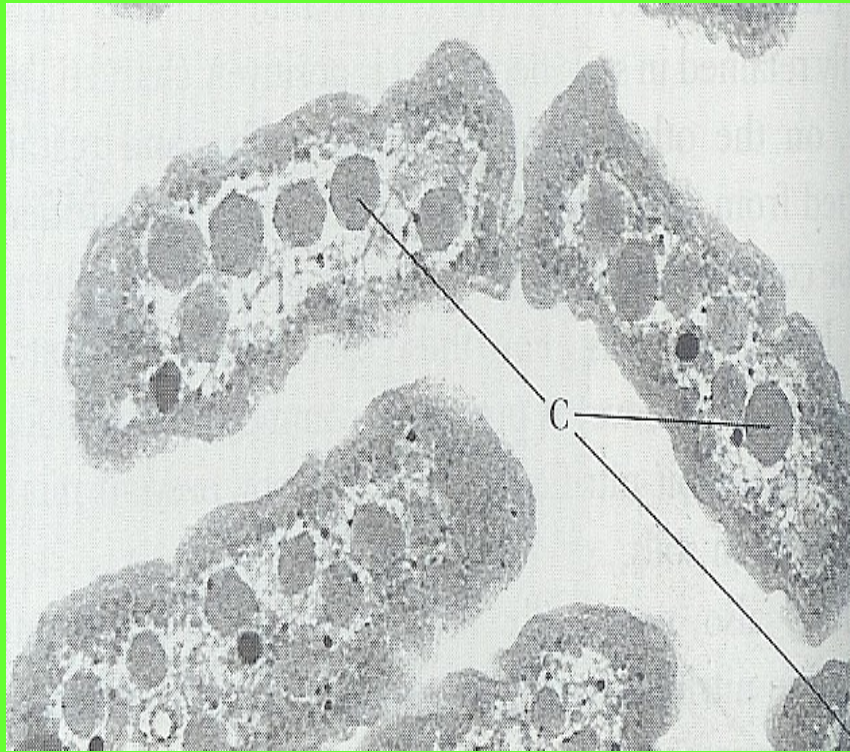
- Mají substrukturu tvořenou plynovými váčky cylindrického tvaru s kónickými konci
- Membrána je tvořena výhradně bílkovinami (je jednovrstevná)
- Membrána je plně propustná pro všechny plyny a vodu
- Plynové vakuoly se nacházejí především u fototrofních bakterií

*Ancylobacter aquaticus*



# Obvyklé struktury bakteriální buňky

## inkluze obdané jednovrstevnou fosfolipidovou membránou – **karboxyzómy**

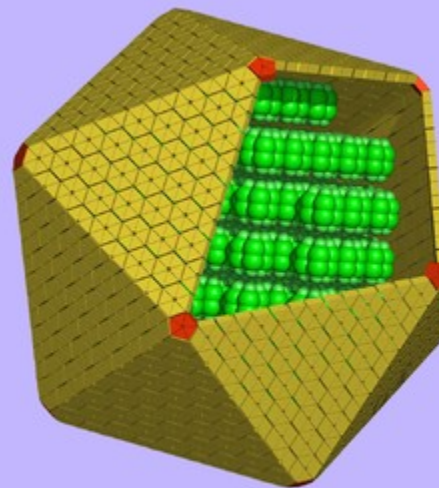
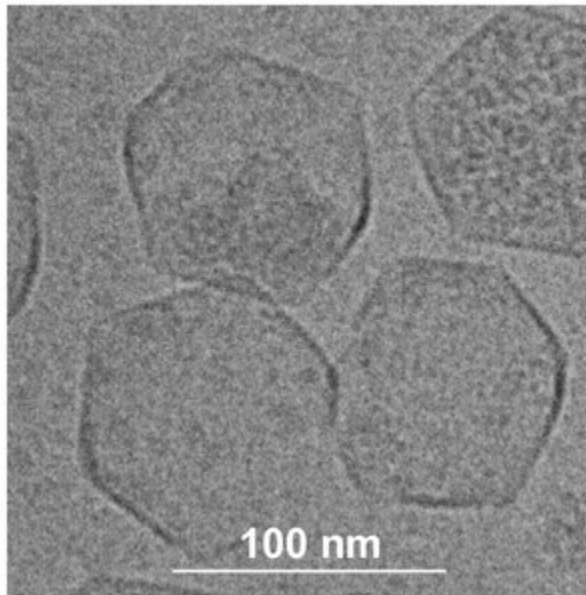


*Thiobacillus neapolitanus*

- Vyskytují se u bakterií využívajících  $\text{CO}_2$  jako zdroje uhlíku
- Karboxyzómy obsahují enzym ribulóza -1,5-bisfosfátkarboxylázu (fixace C)
- Obvykle se nacházejí v blízkosti nukleoidu
- Nejčastější je přítomnost karboxyzómů u nitrifikačních bakterií, sinic a thiobacilů

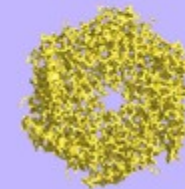
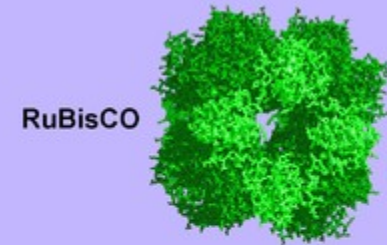
(C – karboxyzómy)

# Karboxyzómy – pokr.

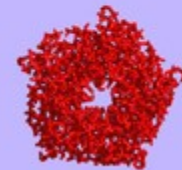


The carboxysome

## Enzymes and shell proteins



hexamers



pentamers

# Obvyklé struktury bakteriální buňky

## inkluze obdané jednovrstevnou fosfolipidovou membránou – chlorobiové váčky

- Obsahují bakteriochlorofyl **a**, **c**, **d** a karotenoidní pigmenty
- Vyskytují se u fototrofních bakterií
- Jejich šířka je 30-40 nm
- Jsou ohraničeny jednoduchou fosfolipidovou membránou
- Umístěny jsou v těsné blízkosti cytoplazmatické membrány, ale **nejsou** s ní spojeny
- Počet váčků je závislý na metabolické aktivitě



# Obvyklé struktury bakteriální buňky

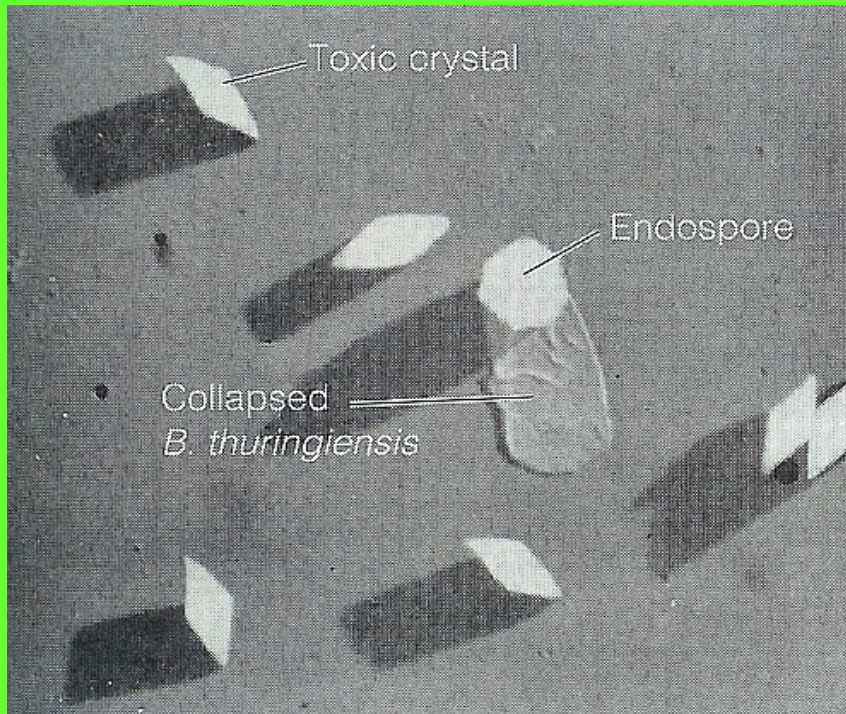
## inkluze bez membrány – polyfosfátová granula



- Volutin, metachromatická granula (snadno se barví),
- Volutin je polyfosfát, který se v buňce hromadí ve formě kulovitých tělísek o velikosti 45nm až 1 $\mu$ m
- Je zásobárnou molekul fosfátu
- Je tvořen řetízky až 500 molekul ortofosfátu a je proto ve vodě nerozpustný
- Vazba mezi molekulami je energeticky bohatá a vyžaduje dodání energie ve formě ATP
$$\text{ATP} + (\text{HPO}_3)_n \rightarrow \text{ADP} + (\text{HPO}_3)_{n+1}$$
- Reakce je katalyzována polyfosfát kinázou

# Obvyklé struktury bakteriální buňky

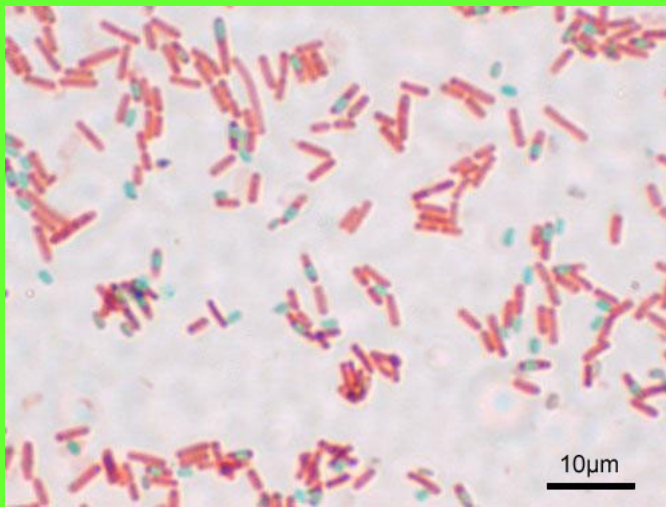
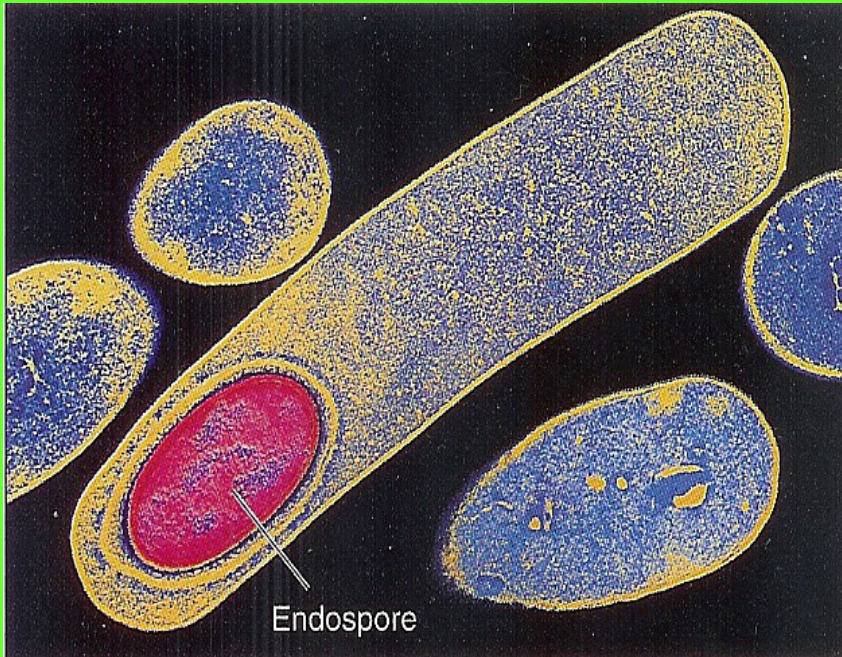
## inkluze bez membrány – **Parasporální inkluze**



- Parasporální inkluze jsou vytvářeny u některých zástupců rodu *Bacillus*
- Jsou bipiramidálně oktaedricky symetrické a jsou složeny polypeptidových podjednotek tyčinkovitého tvaru o rozměrech 4 x 12 nm
- Molekulová hmotnost těchto podjednotek je asi 230 000
- Vznikají jako důsledek nadprodukce bílkovin tvořících obaly endospory
- Parasporální inkluze *Bacillus thuringiensis* byly použity jako první bioinsekticid proti moučnému červu



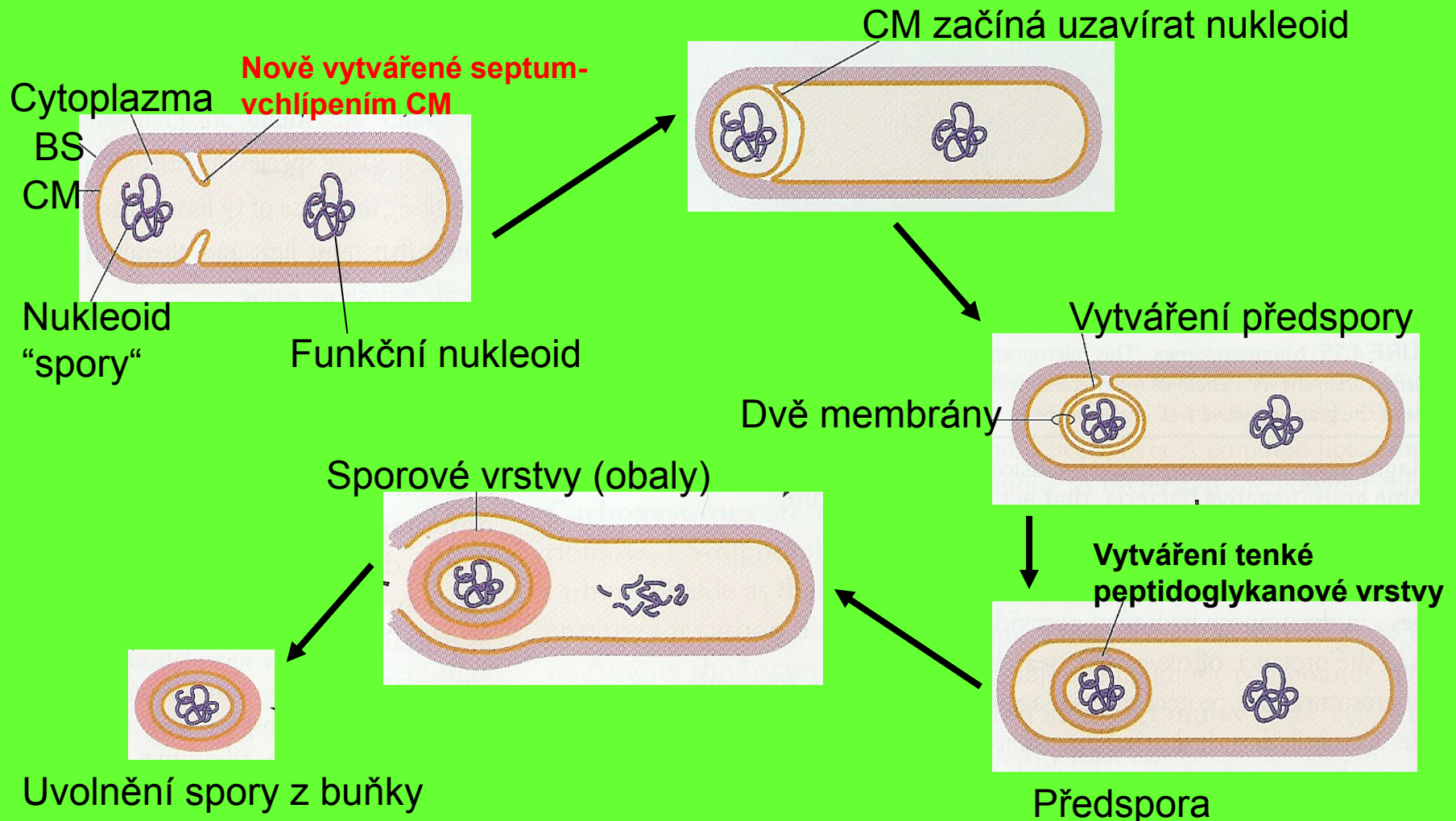
# Vytváření endospor u bakterií



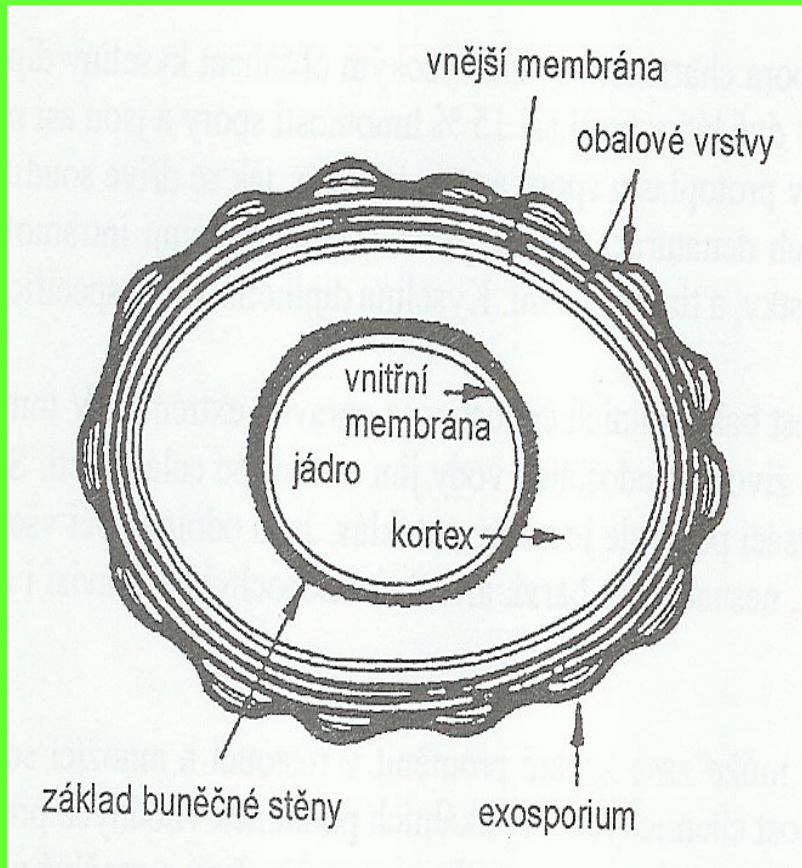
- Endospory u bakterií vznikají procesem sporulace
- **Endospora není reprodukční, ale klidové stadium** umožňující přežít nepříznivé vnější podmínky
- Na procesu sporulace se podílí asi 30 operonů zahrnujících více než 200 genů
- O tom, zda buňka bude sporulovat se rozhoduje ve fázi G1 buněčného cyklu a jde o proces nahodilý
- Spory se vytvářejí v prostředí s dostatkem živin (obvykle však ke konci exponenciální fáze růstu), ale nedostatek některé z živin je významným signálem ke sporulaci



# Vytváření endospor u bakterií – proces sporulace



# Vytváření endospor u bakterií – proces sporulace (struktura spory)



- Vnitřní membrána (intina – vzniká z CM)
- Tenká peptidoglykanová vrstva (základ “budoucí“ buněčné stěny)
- Kortex (peptidoglykan) – přítomný pouze v bakteriální spoře, je tvořený koncentrickými vrstvami specifického peptidoglykanu. Je zodpovědný za mechanickou ochranu spory
- Vnější membrána (extina - vzniká z CM)
- Obalové vrstvy tvořené bílkovinou – plášť spory (představuje asi 30-60% sušiny spory). Bílkoviny jsou bohaté na cystein
- Exosporium – jemná vrstvička, která se vytváří u některých sporulujících bakterií a je zodpovědná za vnější strukturu spory (bílkovina, polysacharid, lipid, fosfát)
- Přítomnost kyseliny dipikolinové udává termorezistenci spory

# Struktura spory

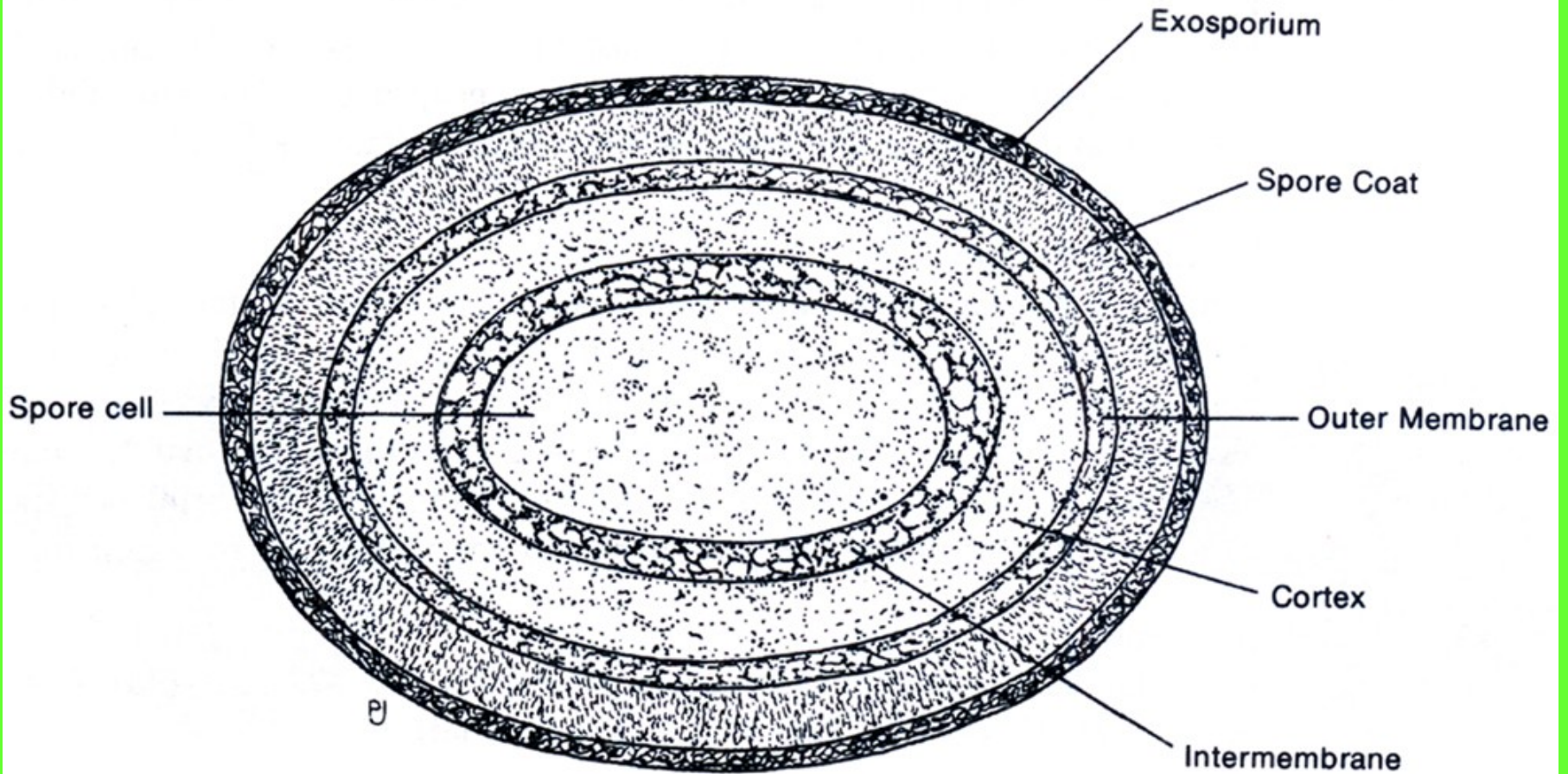
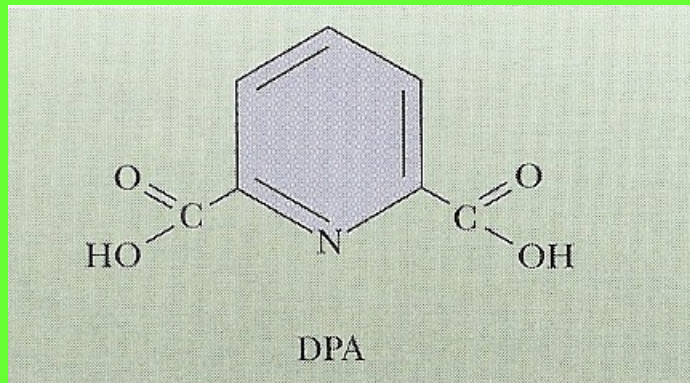


Fig. 8.1. Endospore

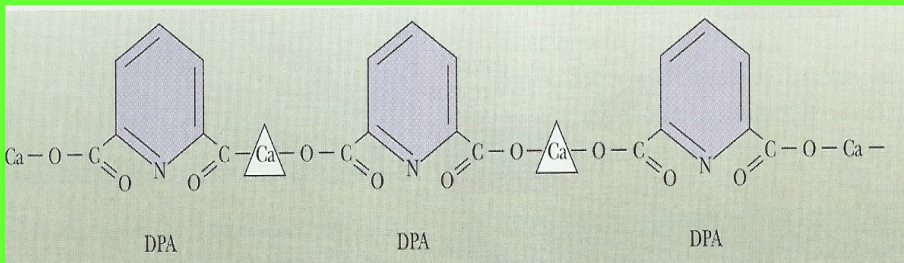


# Vytváření endospor u bakterií – proces sporulace (vlastnosti spory)

Kyselina dipikolinová



Chelát - kalciumdipikolinát

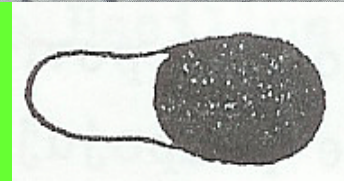
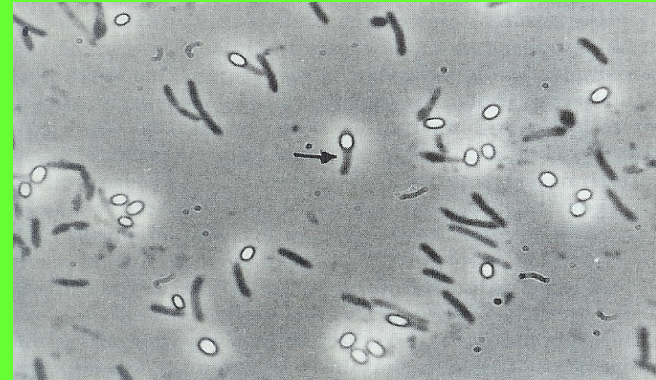


- Spora obsahuje minimální množství vody
- Je silně světlolomná
- Obsahuje kalciumdipikolinát (10 až 20% hmotnosti spory) – molární poměr 1:1
- Vysoká termorezistence
- Vysoká odolnost vůči extrémním faktorům vnějšího prostředí (záření, kyseliny, rozpouštědla, vysoký hydrostatický a osmotický tlak, ...)
- Neměřitelný metabolismus
- Dlouhá doba přežívání (několik desítek let)

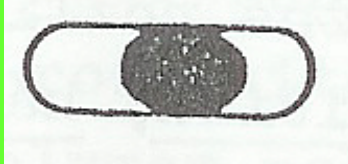
# Vytváření endospor u bakterií – proces sporulace (umístění spory)



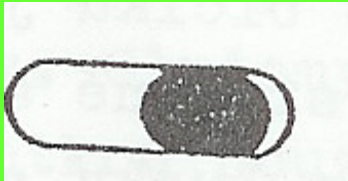
*Bacillus subtilis*



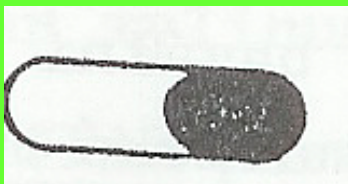
*Clostridium tetani*



centrální



subterminální



terminální

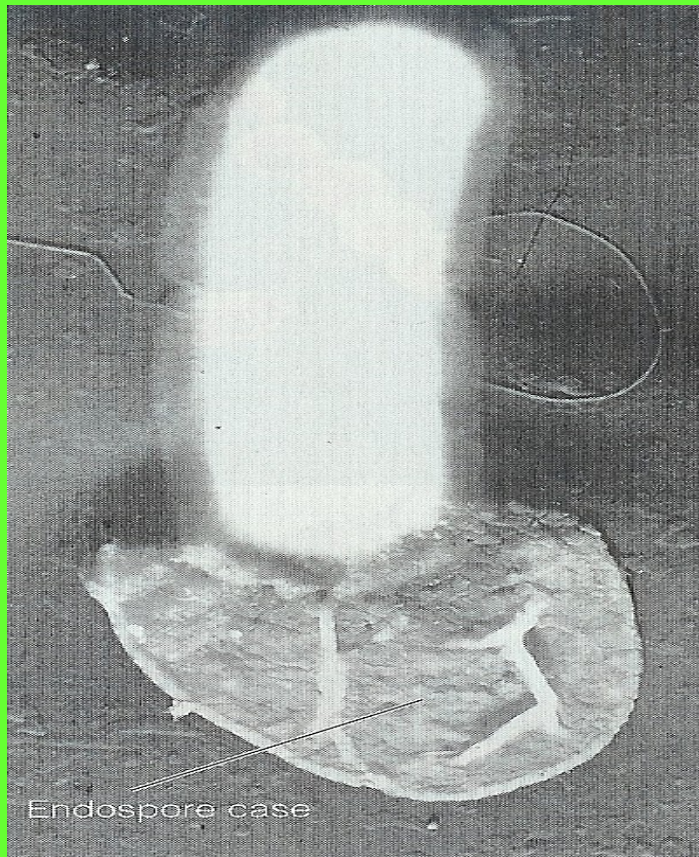


Plektridium

# Klíčení bakteriální endospory (germinace)

Proces germinace má **tři** fáze

- **1. Aktivace spory** – spočívá v narušení sporového pláště (mechanický oděr, zvýšená teplota, nízké pH, přítomnost malých molekul – zejména aminokyselin a vitaminů atd.)

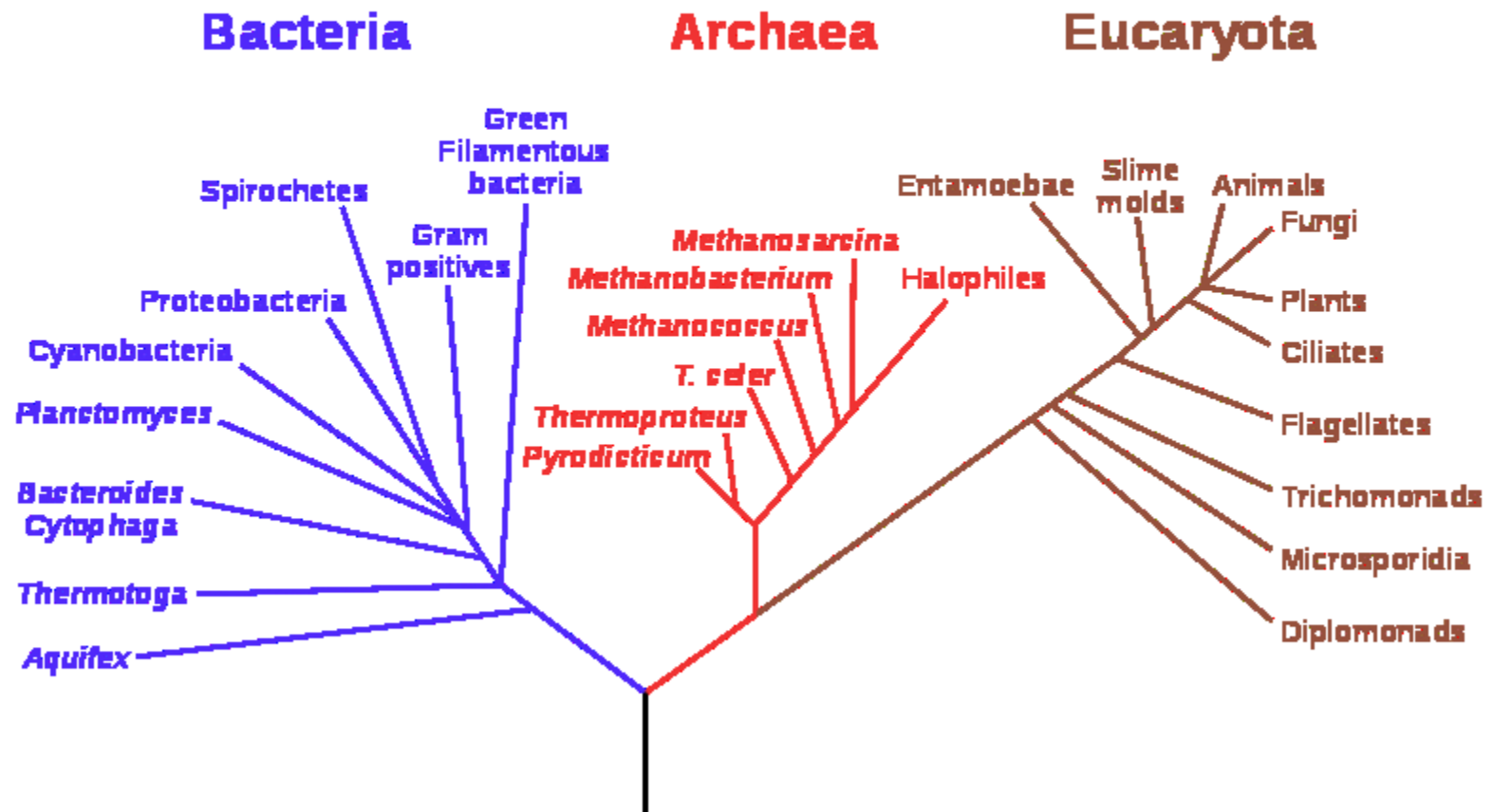




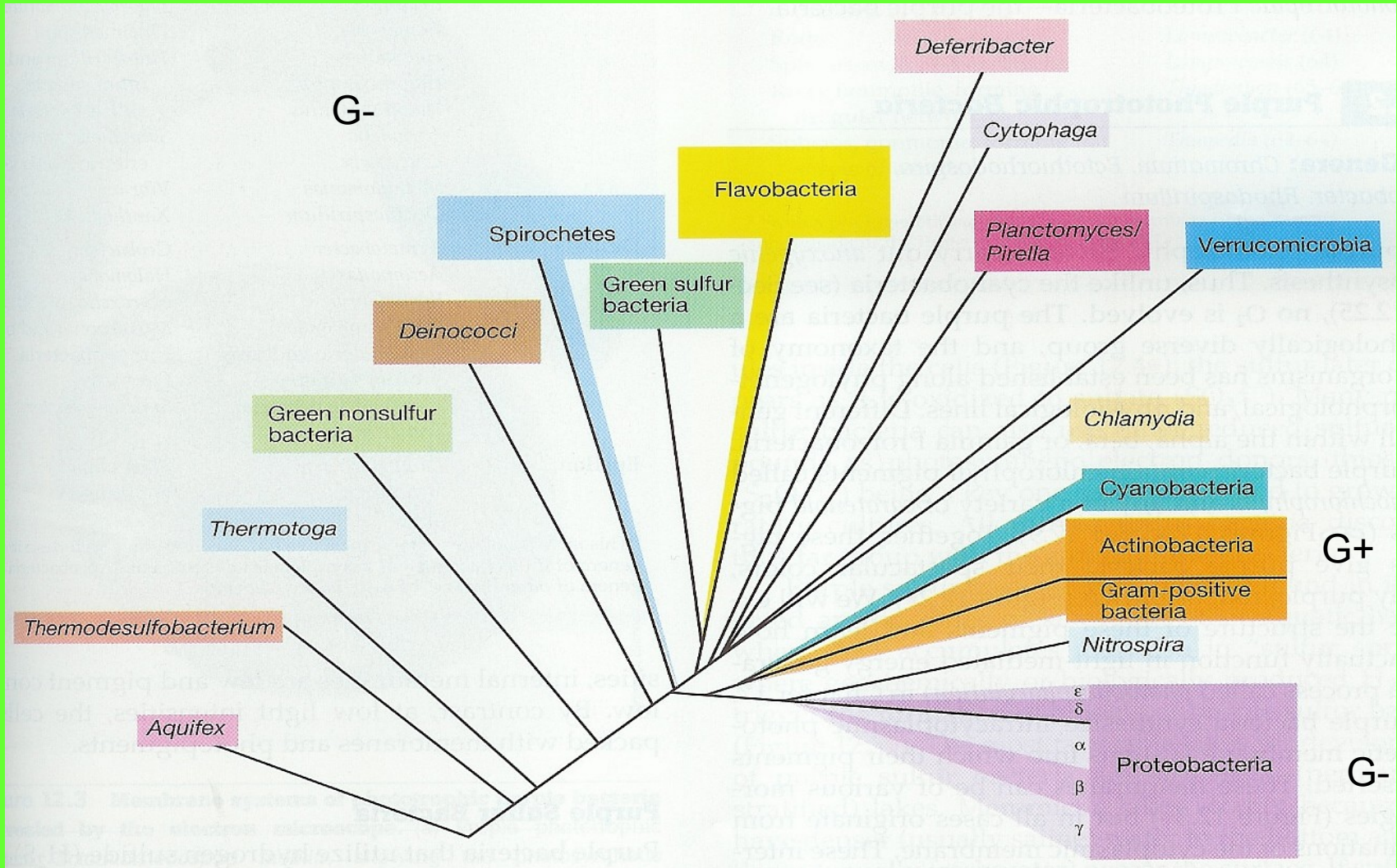
# Klíčení bakteriální endospory (germinace)

- **2. Vlastní klíčení spory** – vyžaduje přítomnost vody, spouští se chemické impulzy z prostředí, je hydrolyzován kortex, uvolňuje se sporový protoplast, do prostředí se uvolňuje Ca-dipikolinát, do buňky vstupuje voda,  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$  a jiné ionty a větší molekuly. Do media se uvolní více než 30% hmotnosti spory. V průběhu klíčení mizí termorezistence a světlolomnost. Procesy, které probíhají mají degradativní charakter a jsou výsledkem aktivity enzymů přítomných ve spoře. **Nové bílkoviny nevznikají. Celý proces klíčení u jednotlivé spory trvá asi 1 minutu.**
- **3. Diferenciační fáze** – při ní je sporový protoplast kvalitativně přeměněn ve vegetativní buňku. V určitém pořádku jsou přepisovány jednotlivé specifické geny, v určitém pořádku se objevují jednotlivé typy mRNA, probíhá tvorba příslušných bílkovin, probíhá replikace DNA atd. Germinace končí prvním dělením buňky – dceřinné buňky mají stejnou velikost, jako buňka, z níž vznikla spora.

# Phylogenetic Tree of Life



# Fylogenetický strom - BACTERIA



Strom je odvozen na základě sekvenční 16S ribozomální RNA (<http://rdp.cme.msu.edu>)



# Přehled systému bakterií

## Doména *Bacteria*

- Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu

Kmen		<b><i>Proteobacteria</i></b>
	Třída	<i>Alphaproteobacteria</i>
	Třída	<i>Betaproteobacteria</i>
	Třída	<i>Gammaproteobacteria</i>
	Třída	<i>Deltaproteobacteria</i>
	Třída	<i>Epsilonproteobacteria</i>
	Třída	<i>Zetaproteobacteria</i>
Kmen		<b><i>Chlamydiae</i></b>
	Třída	<i>Chlamydiae</i>
Kmen		<b><i>Spirochaetes</i></b>
	Třída	<i>Spirochaetes</i>
Kmen		<b><i>Bacteroidetes</i></b>
	Třída	<i>Bacteroidetes</i>
	Třída	<i>Flavobacteria</i>
Kmen		<b><i>Fusobacteria</i></b>
	Třída	<i>Fusobacteria</i>
Kmen		<b><i>Cyanobacteria</i></b>
	Třída	<i>Cyanobacteria</i>

# System bakterií

- **Bakterie s buněčnou stěnou grampozitivního typu**

Kmen		<b><i>Actinobacteria</i></b>
	Třída	<i>Actinobacteria</i>
Kmen		<b><i>Firmicutes</i></b>
	Třída	<i>Clostridia</i>
	Třída	<i>Bacilli</i>
	Třída	<i>Mollicutes</i>

# Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu

## Proteobacteria

- významná skupina bakterií
- mnoho různých patogenů (*Escherichia*, *Salmonella*, *Vibrio*, *Helicobacter*,...)
- ale i volně žijící – např. fixátoři N<sub>2</sub>
- název odvozen od řeckého boha Proteus - mohl měnit svůj tvar/podobu
- G-, vnější membrána převážně z LPS
- časté bičíky, ale některé nejsou pohyblivé
- různý metabolismus – fakultativně nebo obligátně anaerobní a heterotrofní, ale i výjimky
- purpurové bakterie - fotosyntéza



# Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu

## Proteobacteria

### Alphaproteobacteria

- obsahují většinu fototrofních rodů
- ale i rody metabolizující C1 sloučeniny
- symbionti rostlin (*Rhizobia*) a živočichů
- ale i patogeni (*Rickettsiaceae*)
- *Rickettsia* spp asi prekurzoři eukaryotických mitochondrií
- *Agrobacterium* – transfer cizí DNA do rostlin

# Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu

## *Rhodospirillum molischianum*



Lamelární typ fotosyntetické membrány



## *Rhodospirillum rubrum*

Kmen	<i>Proteobacteria</i>
Třída	<i>Alphaproteobacteria</i>
Řád	<i>Rhodospirillales</i>
Čeleď	<i>Rhodospirillaceae</i>
Rod	<i>Rhodospirillum</i>

Zahrnuje bakterie označované jako **purpurové nesírné bakterie** a reprezentují rozmanitou skupinu **fototrofních** bakterií. Velmi často se vyskytují ve stojatých vodách (jezera, odkalovací nádrže, pobřežní laguny), v sedimentech, ve vlhké půdě a v rýžových polích. Upřednostňují vodní prostředí – sladká i mořská voda – s dostatečným množstvím rozpustného organického materiálu a nízkou koncentrací kyslíku – jen tehdy fotosyntetizují

(bacteriochlorophylls /800 to 925 nm/ and [carotenoids](#) )

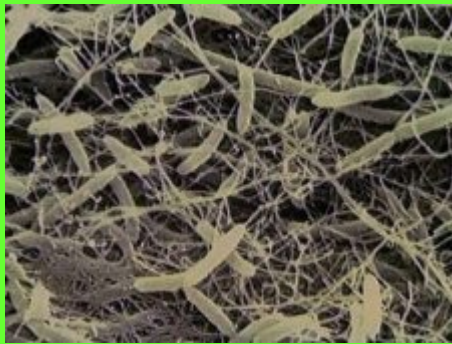
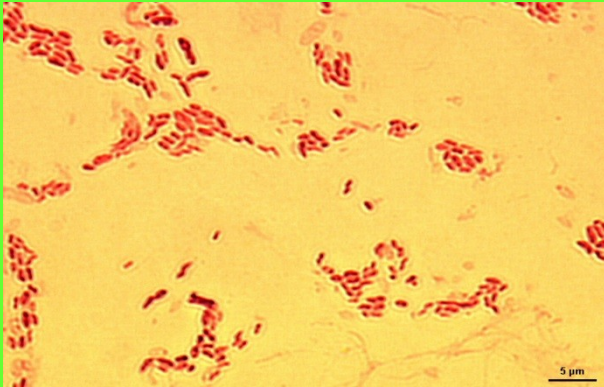
**Fixace** atmosférického dusíku!

Dle podmínek roste jako ftoheterotrof, fotoautotrof nebo chemoheterotrof

*R. rubrum* a biotechnologie:

- akumulace PHB (poly-hydroxy-butric-acid) – biologické plasty
- produkce biologického vodíku (energie)
- modelový systém pro
  - studium převodu světelné energie do chemické
  - studium regulace dráhy fixace dusíku

# Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu



## *Acetobacter aceti*

Využívá se při výrobě octa ze substrátů obsahujících etanol (např. vinný ocet, sladový ocet)

-také ale kažení vína

- výroba některých piv [Flemish](#) sour a [ales](#)

Kmen *Proteobacteria*

Třída *Alphaproteobacteria*

Řád *Rhodospirillales*

Čeď *Acetobacteraceae*

Rod *Acetobacter*

Buňky jsou elipsoidní, mírně zakřivené až rovné tyčky vyskytující se jednotlivě, po dvou nebo v řetízcích.

Buňky mohou být pohyblivé,

Obligátně aerobní. Jsou chemoorganotrofní a nejvhodnějším zdrojem uhlíku pro růst je etanol, glycerol a laktát.

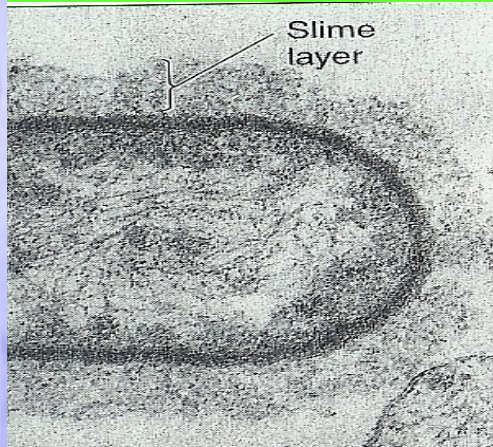
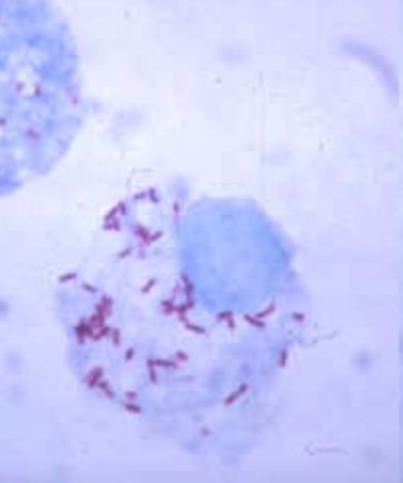
Acetobaktery se vyskytují na květech, ovocných plodech, v medu, v překvašených tekutinách a nápojích (saké, tequila, vína, mošty, pivo, kefir aj.), v zahradní půdě a ve vodě.

Některé acetobaktery mohou způsobit onemocnění plodů ananasu a hnití jablek a hrušek.



# Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu

*Rickettsia rickettsii*



*R. prowazeki*



Živočišná buňka infikovaná *R. prowazeki*

Kmen *Proteobacteria*

Třída

*Alphaproteobacteria*

Řád *Rickettsiales*

Čeď *Rickettsiaceae*

Rod *Rickettsia*

Krátké, gramnegativní, aerobní,  
nepohyblivé tyčky.

Nemohou být kultivovány při absenci  
hostitelských buněk v médiu  
(obligátní vnitrobuněční parazité).

*R. rickettsii* - původce horečky  
Skalistých hor. Mezi lidmi je  
přenášena klíšťaty rodu  
*Dermacentron*

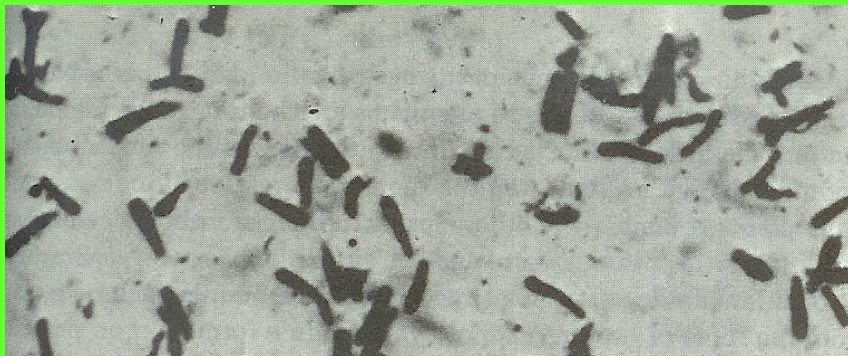
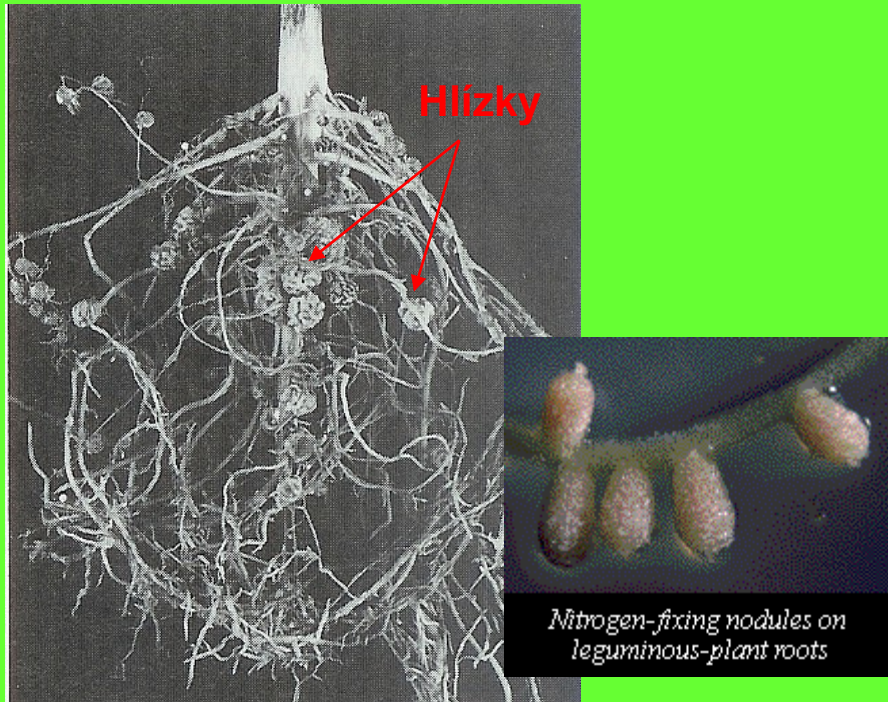
*R. prowazeki* – původce  
skvrnitého tyfu (skvrnivka,  
epidemický tyfus).

Nemoc přenáší veš šatní





# Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu



Rhizoidy – schopné fixace N<sub>2</sub>

Kmen	<i>Proteobacteria</i>
Třída	<i>Alphaproteobacteria</i>
Řád	<i>Rhizobiales</i>
Čeď	<i>Rhizobiaceae</i>
Rod	<i>Rhizobium</i>

G- pleomorfní tyčky, pohyblivé jedním polárním nebo subpolárním bičíkem nebo dvěma až šesti peritrichálními bičíky.

Napadají kořenné vlásky leguminos (v mírném a tropickém pásmu) a podněcují tvorbu kořenových hlízek, v nichž se bakterie vyskytují v modifikované formě – rhizoidy, bakteroidy - jako intracelulární symbionti, schopní fixace molekulového dusíku

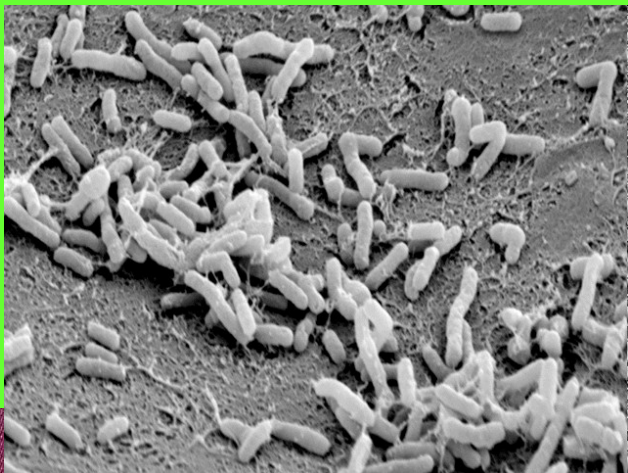
Všechny kmeny vykazují vysokou specificitu k hostiteli.

Čisté kultury se používají jako “očkovací preparát” - Rhizobin

*R. phaseoli* – výskyt jen na fazoli

*R. leguminosarum* – výskyt jen na hrachu

# Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu



Kmen *Proteobacteria*  
Třída *Alphaproteobacteria*  
Řád *Rhizobiales*  
Čeleď *Rhizobiaceae*  
Rod *Agrobacterium*

G- nesporující tyčky vyskytující jednotlivě a ve dvojicích, pohyblivé (peritrich).

Aerobní, s respiratorním typem metabolismu.

S výjimkou druhu *A. radiobacter* ostatní zástupci napadají poraněná rostlinná pletiva (kořenů, stonků) velkého množství dvouděložných i některých nahosemenných rostlin a způsobují přeměnu rostlinných buněk do autonomně se vytvářejících tumorových buněk.

Tvorba tumorů agrobakteriemi je vázána na přítomnost velkého tumor indukujícího plasmidu (Ti-plasmid).

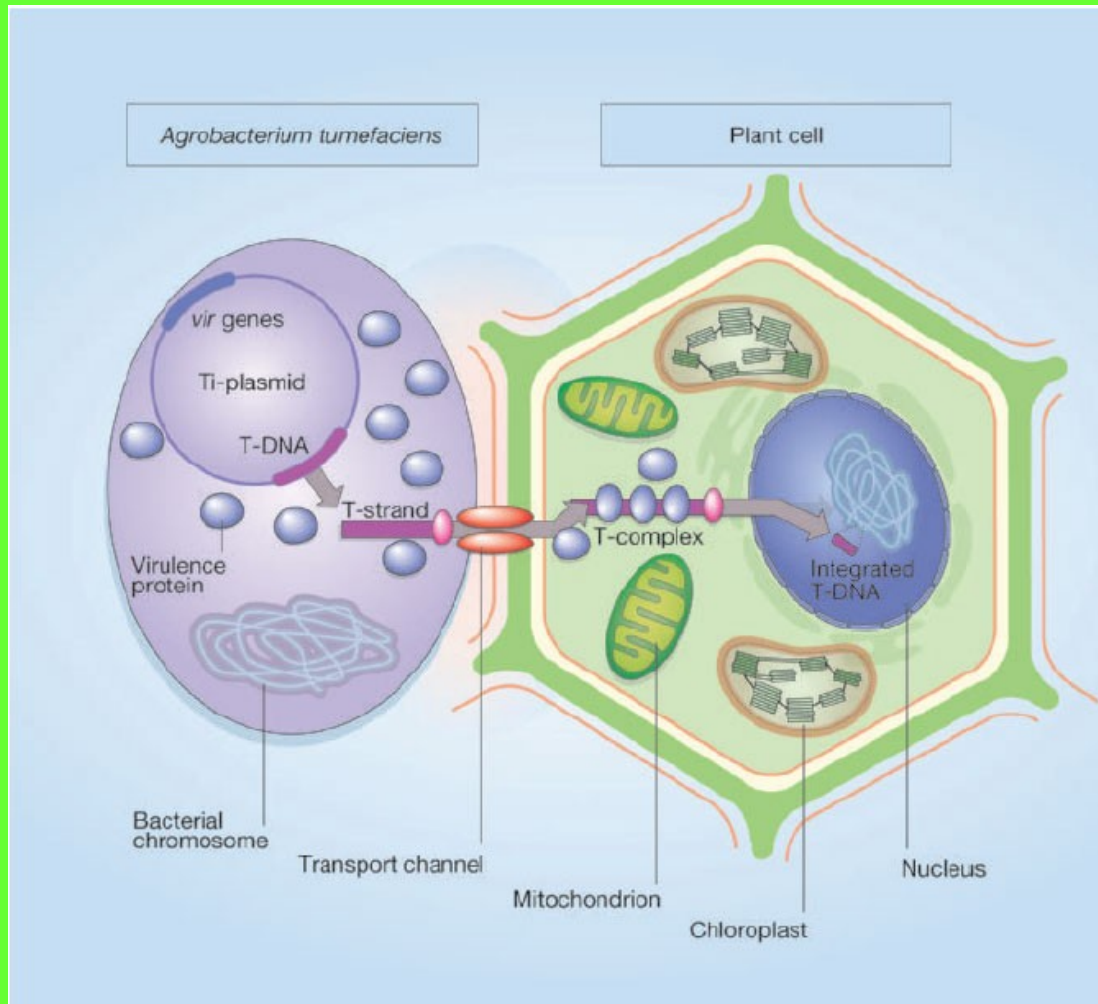
*A. tumefaciens* - Ti –plazmid se využívá jako vektor v genetickém inženýrství rostlin.



Tumor na stonku rajčete způsobený  
*A. tumefaciens*



# Agrobacterium - Ti plasmid



Geny na T-DNA:

- auxiny, cytokininy  
rostliny touto cestou syntézy  
auxinu nemají – žádná regulace,  
konstitutivní exprese
- geny pro syntézu opinů
  - speciální AK využitelné  
jen agrobakteriálními  
buňkami
  - zvláštní druh parazitismu



# ***Agrobacterium* -Infekce rostlin**

- k napadení je nezbytné mechanické poškození rostliny
- poškozená buňka uvolňuje do prostředí látky fenolické povahy
- většinu baterií usmrtí, ale *A. tumefaciens* přitahuje – bičíky
- poblíž poraněného místa se fimbriemi přichytí a vytvoří se zde kolonie
- DNA do rostliny – z plazmidu pAtC58 vyříznut úsek DNA – T-DNA
- jednovláknová DNA a speciální proteiny do rostlinné buňky (T-komplex)
- je vytvořen tunel spojující bakteriální buňku s rostlinou – T-pilus (pro doručení T-komplexu)
- v buňce T-komplex do jádra, kde se DNA začlení do genomu rostliny

# Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu



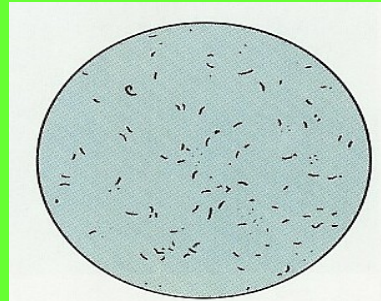
Kmen *Proteobacteria*  
Třída *Alphaproteobacteria*  
Řád *Rhizobiales*  
Čeď *Brucellaceae*  
Rod *Brucella*

**G<sup>-</sup> koky, kokotyčky až krátké tyčky,** vyskytující se převážně jednotlivě, méně často také ve dvojicích, krátkých řetězcích nebo malých shlucích. Buňky jsou nepohyblivé, chemoorganotrofní aerobní s respiratorním typem metabolismu. Jedná se o intracelulární parazity retikuloendoteliálního systému. Přežívají ve fagocytech.

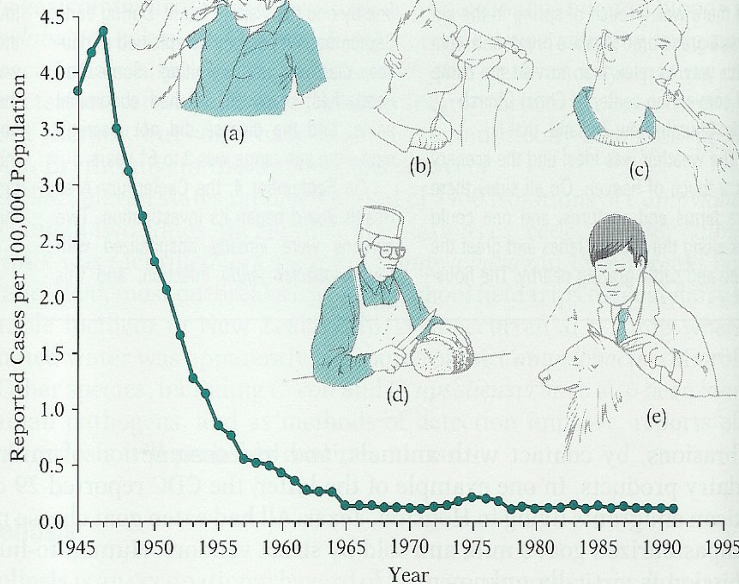
**Brucelóza je antropozoonóza, onemocnění přenosné ze zvířete (a mléka) na člověka. Hostitelem brucel jsou ovce a kozy (*B.melitensis*), prasata (*B.suis*), psi (*B.canis*) a krávy (*B.abortus*)**

**u zvířat potraty, záněty varlat, neplodnost**  
**u lidí multisystémové onemocnění**

**Česká republika je od roku 1964 prostá bovinní brucelózy, nyní zde jen brucelóza zajíců způsobená *B. suis***

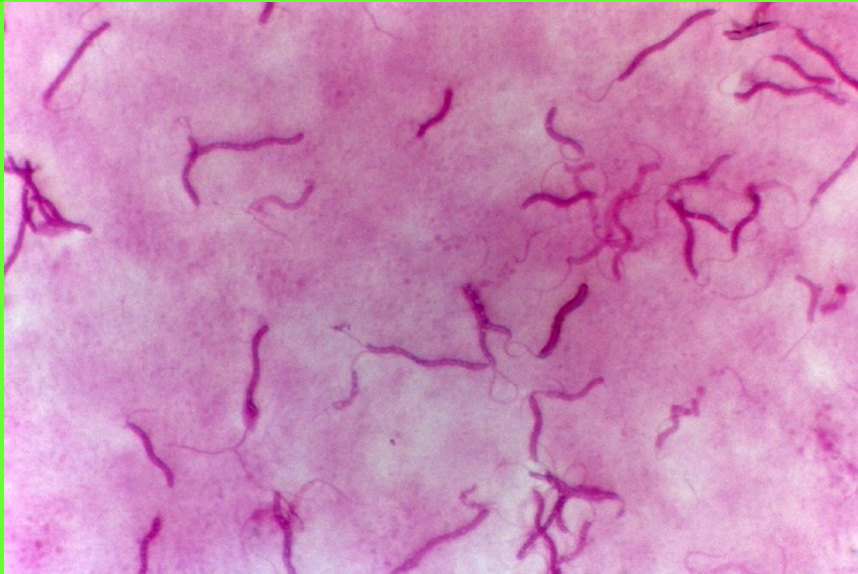


## ***Brucella abortus***





# Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu



Kmen	<i>Proteobacteria</i>
Třída	<i>Alphaproteobacteria</i>
Řád	<i>Nitrosomonadales</i>
Čeď	<i>Spirillaceae</i>
Rod	<i>Spirillum</i>

Helikální buňky (průměr 1,4 až 1,7  $\mu\text{m}$  a délka 14 až 60  $\mu\text{m}$ ), mají poly- $\beta$ -hydroxybutyrátová granula.

Pohyblivé jsou pomocí velkých svazků bipolárních bičíků viditelných v mikroskopu ve fázovém kontrastu.

Jsou mikroaerofilní s optimální teplotou 30°C.

Jako zdroj uhlíku slouží soli organických kyselin.

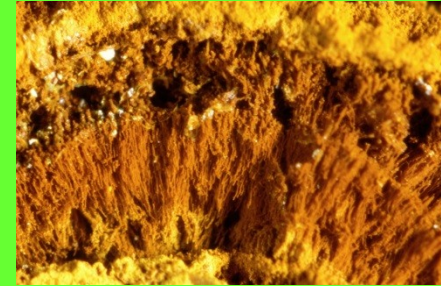
Vyskytují se ve stojatém sladkovodním prostředí.

*van Leeuwenhoek*

*S. volutans*

# Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu

Kmen	<i>Proteobacteria</i>
Třída	<i>Alphaproteobacteria</i>
Řád	<i>Nitrosomonadales</i>
Čeď	<i>Gallionellaceae</i>
Rod	<i>Gallionella</i>



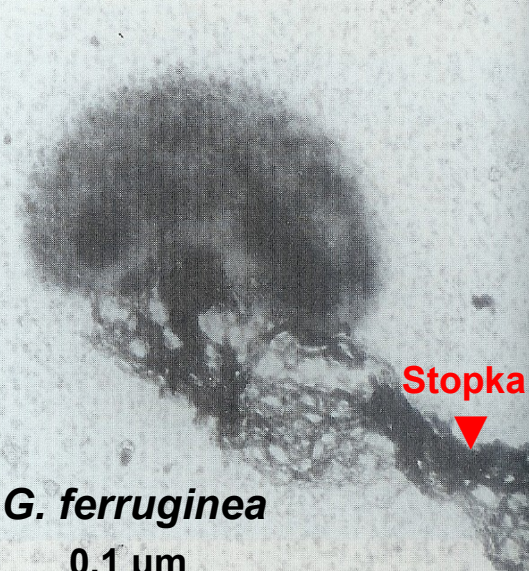
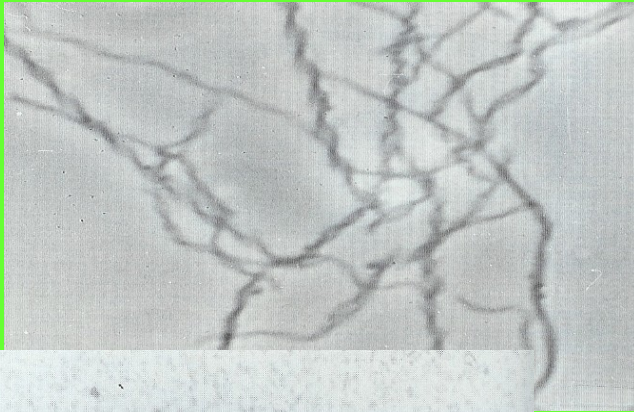
Buňky jsou ve tvaru ledvin

Vylučují koloidní hydroxid železitý z konkávní strany buňky a tvoří zakřivené nebo rovné, poměrně dlouhé stopky (extracelulární výběžky vyztužené kovy). Stopky se skládají ze svazku početných vláken. Tvar a struktura stopek jsou hlavními diagnostickými znaky galionel. Buňky jsou vždy usazeny na vrcholu stopky a kolmo k její ose. Bakterie může stopku odloučit a vytvářet znovu.

Pohyblivé pomocí jednoho polárního bičíku.

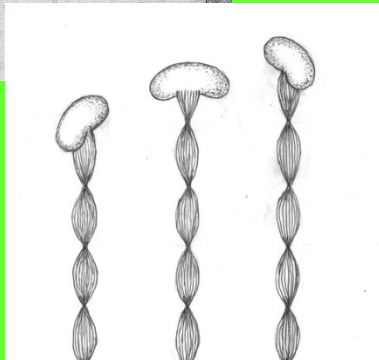
Striktně aerobní nebo mikroaerofilní. Jsou chemolitotrofní, energii získávají oxidací anorganických látek a jako zdroj uhlíku slouží  $\text{CO}_2$ ,

Typický je pro ně výskyt v oligotrofních železitých vodách. Galionely jsou jedny z nejdůležitějších železitých bakterií, tvořící velké masy hydroxidu železitého ve vodách a vodních rozvodech.



*G. ferruginea*

0,1  $\mu\text{m}$

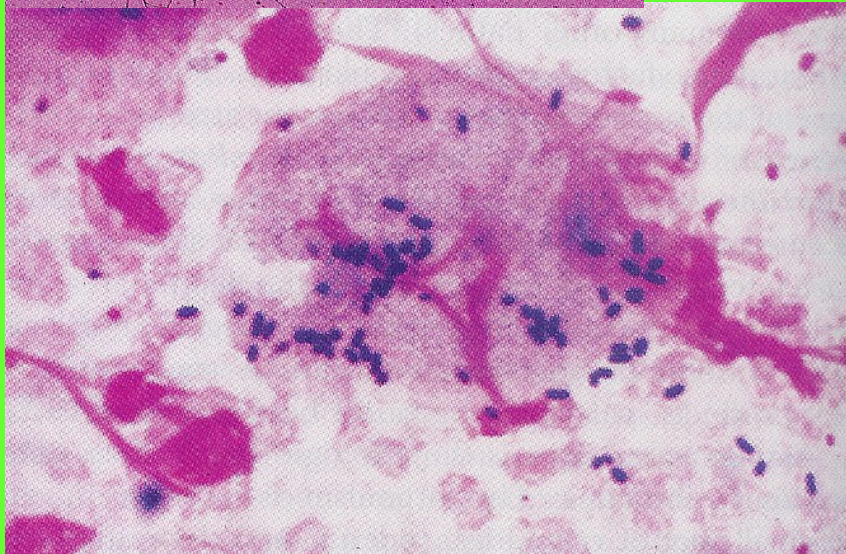
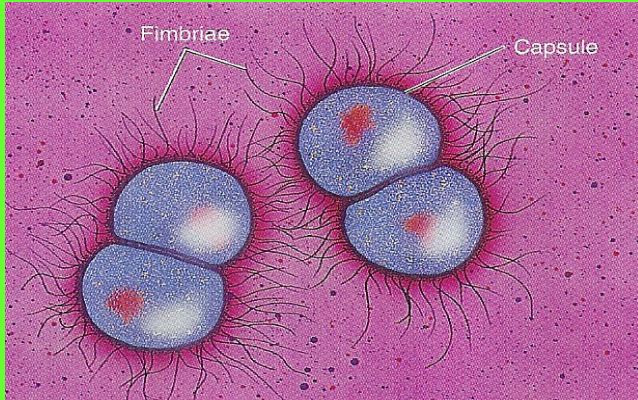


# *Betaproteobacteria*

- mnoho skupin aerobních nebo fakultativně aerobních bakterií
- často rozmanité degradační schopnosti
- ale i chemolitotrofní rody (amoniak oxidující *Nitrosomonas*)
- významná role ve fixaci dusíku – oxidují amoniak na nitráty důležité pro rostliny
- nebo fototrofní rody (*Rhodocyclus* and *Rubrivivax*)
- časté v půdách a odpadních vodách
- patogeni - Neisseriaceae (gonorrhea and meningitis), Burkholderia.



# Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu



Kmen	<i>Proteobacteria</i>
Třída	<i>Betaproteobacteria</i>
Řád	<i>Neisseriales</i>
Čeď	<i>Neisseriaceae</i>
Rod	<i>Neisseria</i>

Buňky se vyskytující jednotlivě, ale častěji přitisknuté po dvou navzájem sousedícími stranami, někdy též v tetrádách.

Chemoorganotrofní, aerobní. Některé druhy produkují žluto zelený karotenoidní pigment.

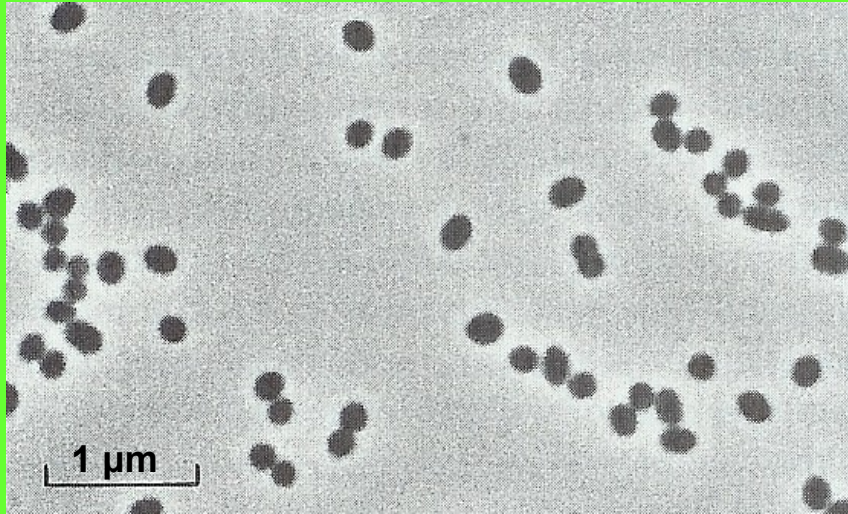
Osídlují sliznice savců a některé druhy jsou primárně patogenní pro člověka.

*N. gonorrhoeae* - u člověka vyvolávají kapavku - u muže probíhá obvykle jako [hnisavá uretritida](#) a u ženy jako [cervicitida](#).

*N. meningitis* – meningokoková meningitis je akutní onemocnění meningů s rychlou progresí (typ A – rozvojové země, B a C rozvinuté)

Přítomnost *N. gonorrhoeae*  
v poševním sekretu

# Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu



Kmen	<b><i>Proteobacteria</i></b>
Třída	<b><i>Betaproteobacteria</i></b>
Řád	<b><i>Nitrosomonadales</i></b>
Čeď	<b><i>Nitrosomonadaceae</i></b>
Rod	<b><i>Nitrosomonas</i></b>

Převážně se jedná o rovné tyčky, poměrně časté jsou i kokovité formy.

Některé druhy jsou pohyblivé pomocí polárních bičků.

Buněčná stěna u mořských druhů má dodatečnou vnější proteinovou vrstvu.

Jsou chemolitotrofní a jako zdroj energie využívají redukované sloučeniny dusíku. V omezeném rozsahu mohou využívat organické uhlíkaté látky.

Rozšířeny jsou v oceánech, brakickém prostředí, řekách, jezerech, čističkách odpadních vod a také v půdě. Druhy izolované z mořského prostředí jsou obvykle obligátně halofilní.

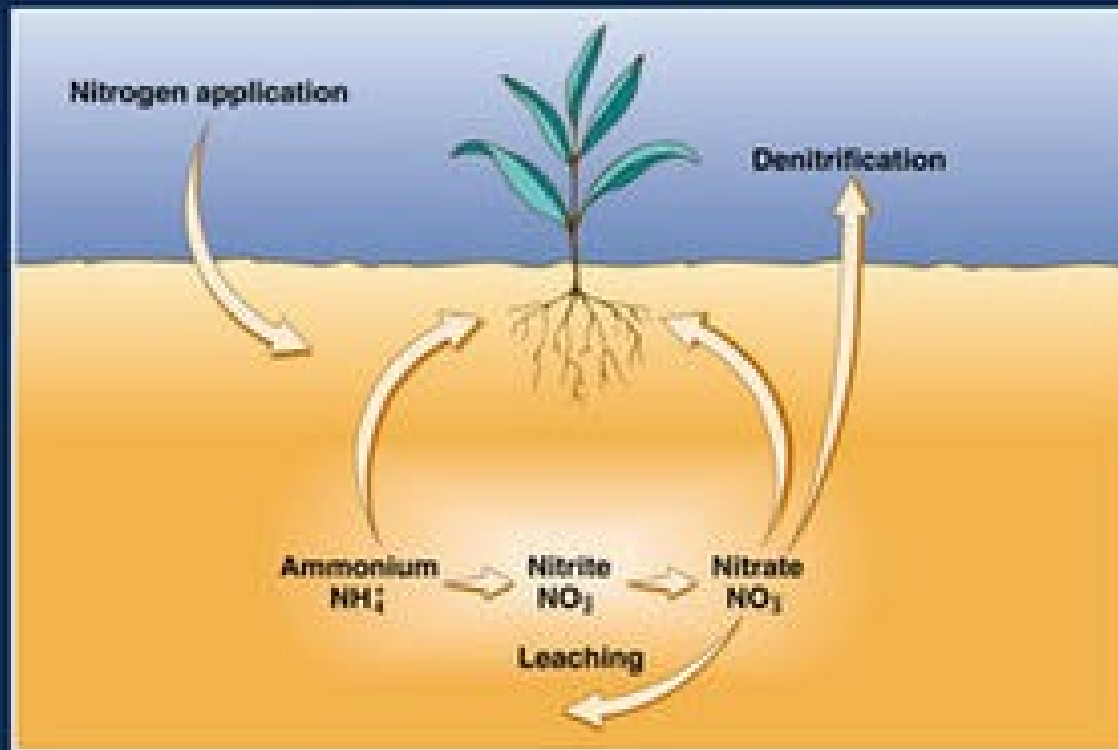
Nitrifikační (amonium oxidující) bakterie



*N. marina* (bílkovinné vrstvy nad BS)

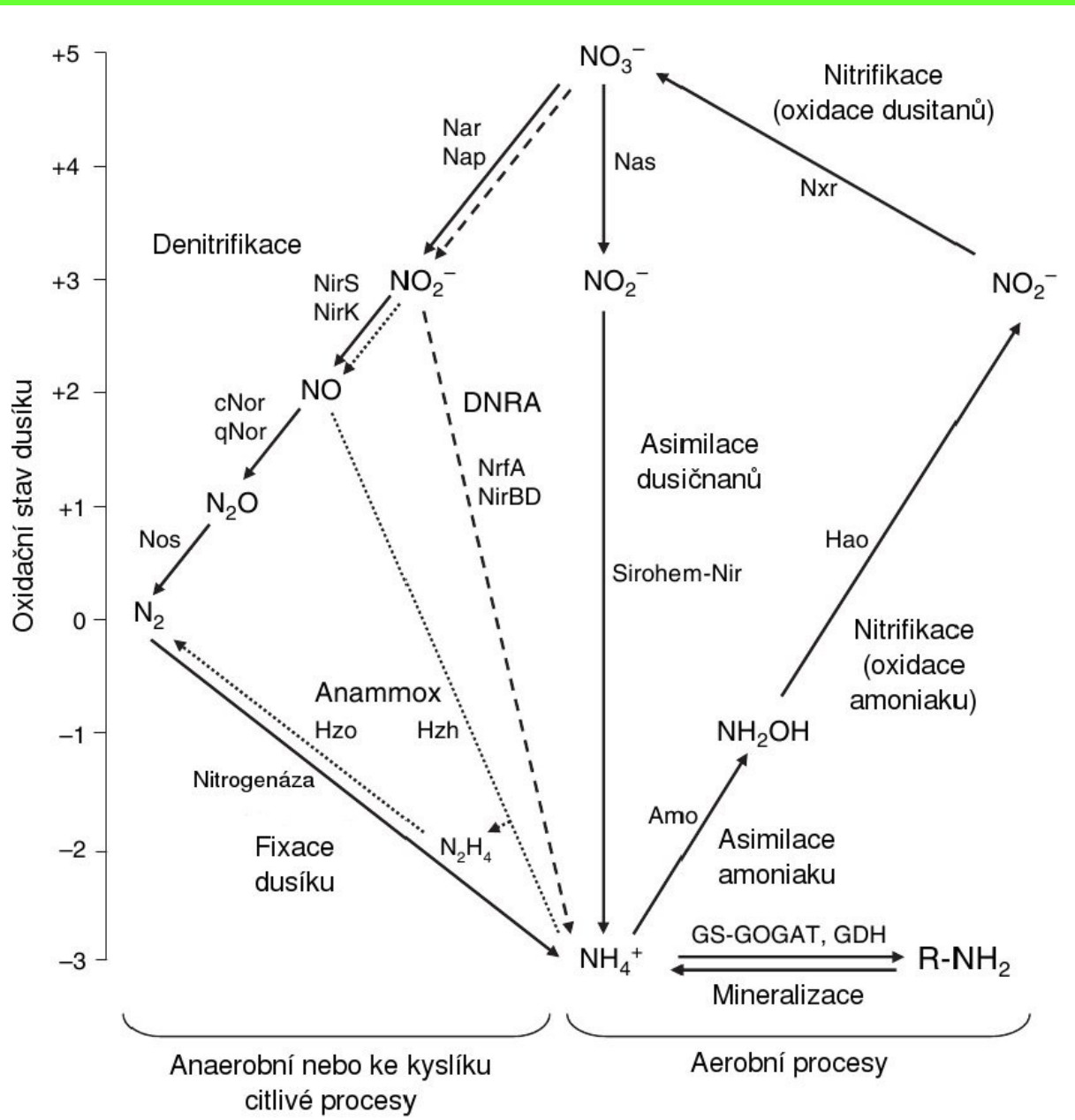
# Nitrifikace

## *Nitrification process*





# Biologický cyklus dusíku



# *Gammaproteobacteria*

- mnoho lékařsky a vědecky významných druhů (*Enterobacteriaceae*, *Vibrionaceae*, *Pseudomonadaceae*)
- důležití patogeni (*Salmonella* spp., *Yersinia pestis* , *Vibrio cholerae* , *Pseudomonas aeruginosa* (plicní infekce v nemocnicích a u pacientů s cystickou fibrózou), *Escherichia coli*)
- *Chromatium* - fotosyntetické a oxidují H<sub>2</sub>S
- některé oxidují metan
- mnoho v symbióze s faunou geotermálních mořských vývěrů

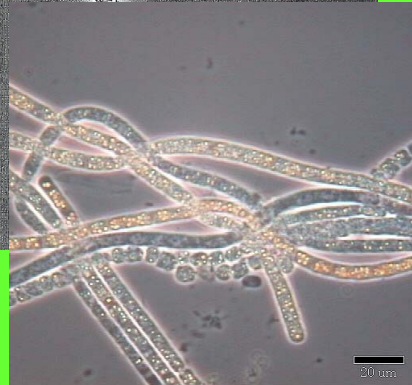
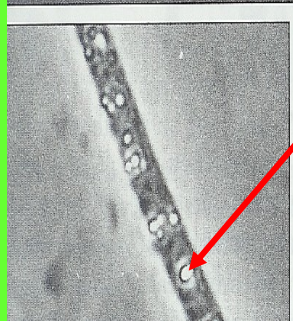
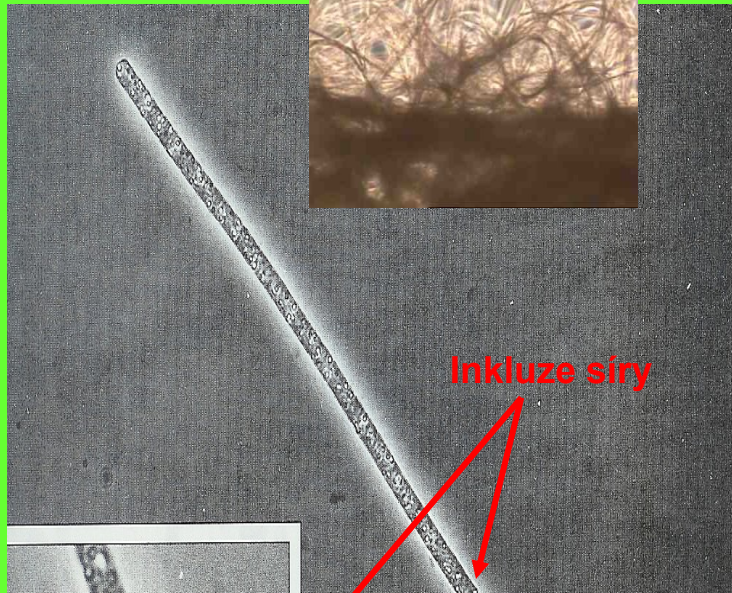
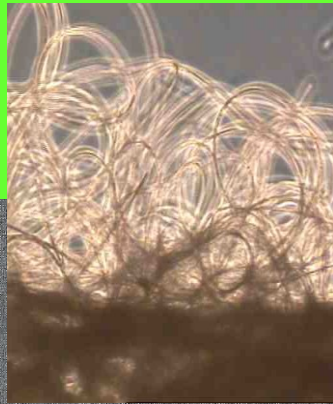
# Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu

Kmen	<i>Proteobacteria</i>
Třída	<i>Gammaproteobacteria</i>
Řád	<i>Thiotrichales</i>
Čeleď	<i>Thiotrichaceae</i>
Rod	<i>Beggiatoa</i>

Buňky tyčinkovité - jednotlivé nebo ve vláknech (vlákna jednotlivě nebo ve shlucích připomínajících chomáč bavlny). Průměr 12-160 μm – jedny z největších prokaryot. Vlákna i hormogonia jsou pohyblivé klouzáním, netvoří pochvu, nepigmentují. Mohou tvořit úchytky pro pevné připojení vlákna k ponořeným objektům v tekoucí vodě.

Chemoorganotrofní, metabolismus je respiratorní. Aerobní nebo mikroaerofilní. V přítomnosti H<sub>2</sub>S obsahují buňky inkluze síry.

Vyskytují se v mořském prostředí, kde patří ke gradientním organismům (v horizontálních vrstvách sedimentů na rozhraní mezi anoxigenní a oxigenní zónou).



*B. alba*



# Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu



Kmen	<i>Proteobacteria</i>
Třída	<i>Gammaproteobacteria</i>
Řád	<i>Legionellales</i>
Čeleď	<i>Legionellaceae</i>
Rod	<i>Legionella</i>

G- tyčky, netvoří endospóry, mikrocysty ani pouzdra.

Pohyblivé jedním, dvěma nebo více rovnými či zakřivenými bičíky.

Aerobní, chemoorganotrofní.

Izolovány z povrchové vody, bahna, z termálních jezer a říček (i znečištěných), chladicí věže, teplovodní rozvody, lázně

Hostitelem je améba – s ní v symbiotickém vztahu.

Jsou patogenní pro člověka, kdy způsobují pneumonie (Legionářská nemoc) nebo mírné horečnaté onemocnění (Pontiacká horečka).

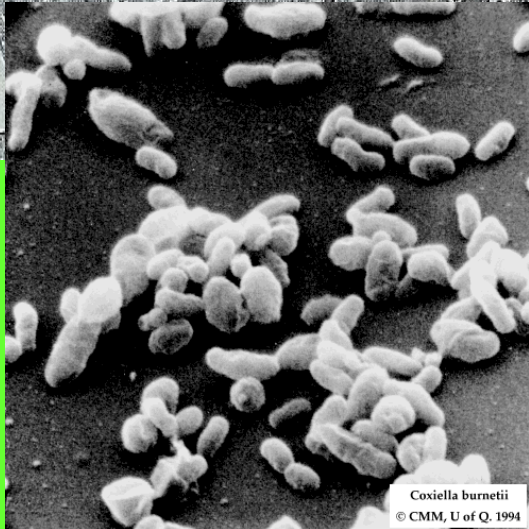
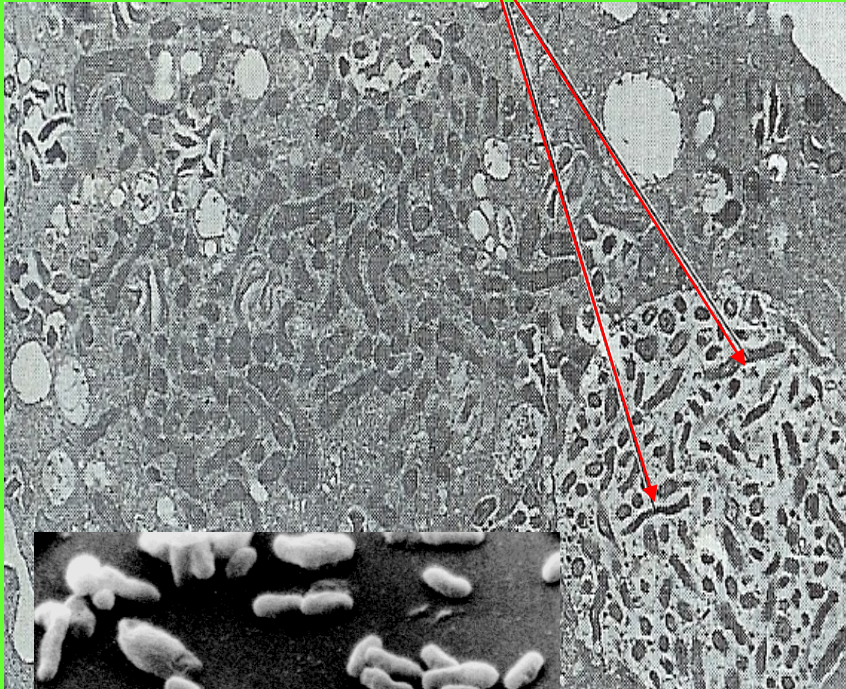
1976 Philadelphia - 221 nemocných, 34 úmrtí



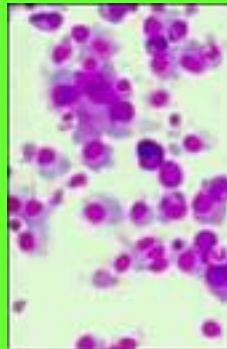
*L. pneumophila*

# Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu

*C. burnetii* ve vakuole hostitelské buňky



*Coxiella burnetii*  
© CMM, U of Q, 1994



Kmen	<i>Proteobacteria</i>
Třída	<i>Gammaproteobacteria</i>
Řád	<i>Legionellales</i>
Čeleď	<i>Coxiellaceae</i>
Rod	<i>Coxiella</i>

Krátké tyčky podobné rickettsiím.

Přednostní růst ve vakuolách hostitelské buňky (raději než v cytoplasmě nebo jádře, jako to dělají rickettsie). Velmi dobře roste ve žlutkovém vaku kuřecích embryí.

Jsou vysoce **rezistentní** k chemickým látkám a zvýšené teplotě, která obecně zabíjí rickettsie. Vysoce infekční (1-10 buněk stačí).

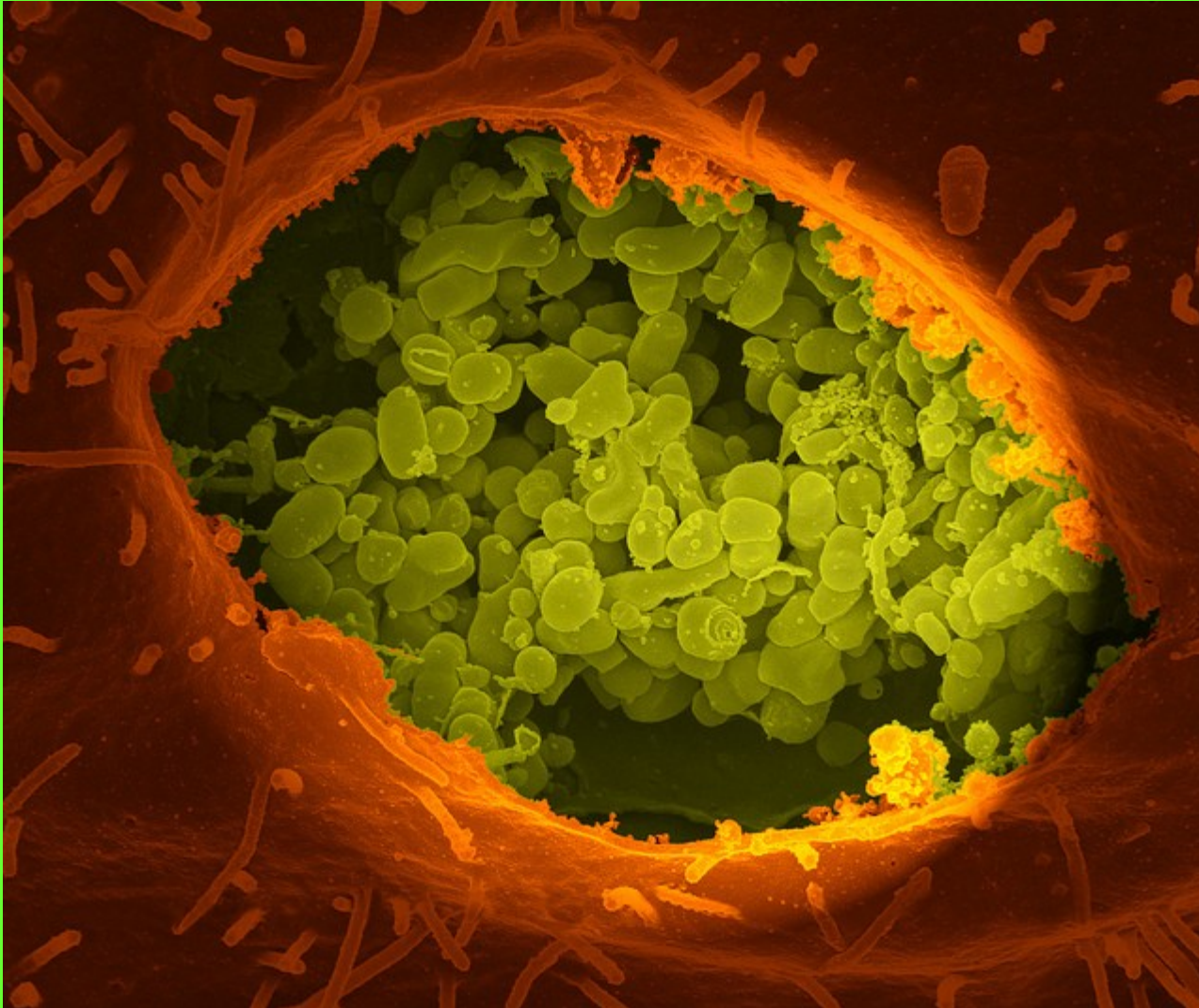
Celosvětově rozšířené u klíšťat a různých savců, kdy např. způsobují infekce hovězího dobytka, ovcí a koz.

Kontakt se zvířetem nebo jeho produkty způsobí lidské onemocnění, tzv. **Q horečky** - horečnaté onemocnění podobné chřipce, bolení hlavy s atypickou pneumonií, může dojít k poškození srdce – rychlé nasazení antibiotik.



# ***Coxiella burnetii***

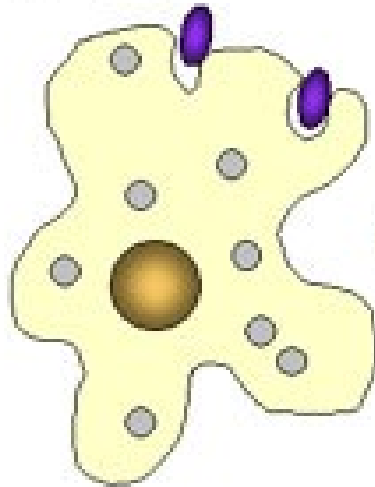
the bacteria that cause Q fever, hide inside a vacuole of a Vero cell.



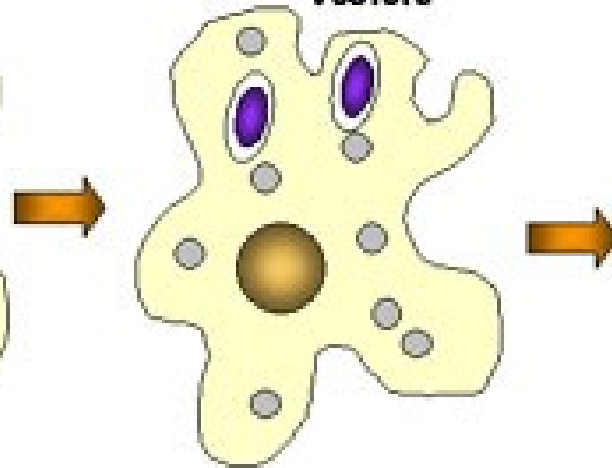


# Průběh infekce koxiely

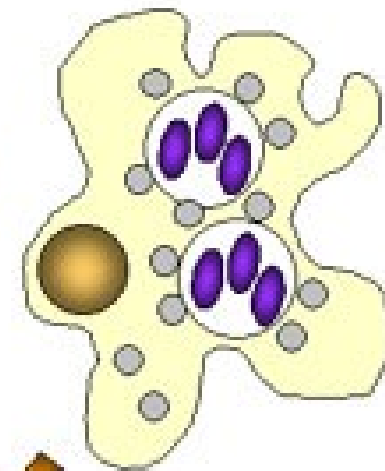
Coxiella infection of a macrophage by phagocytosis



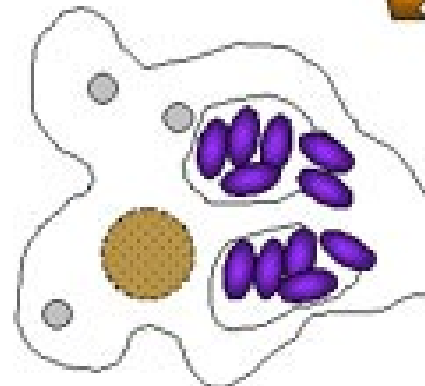
Formation of phagocytic vesicle



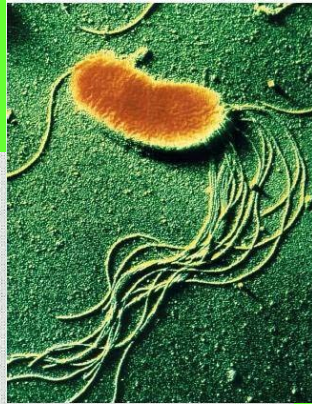
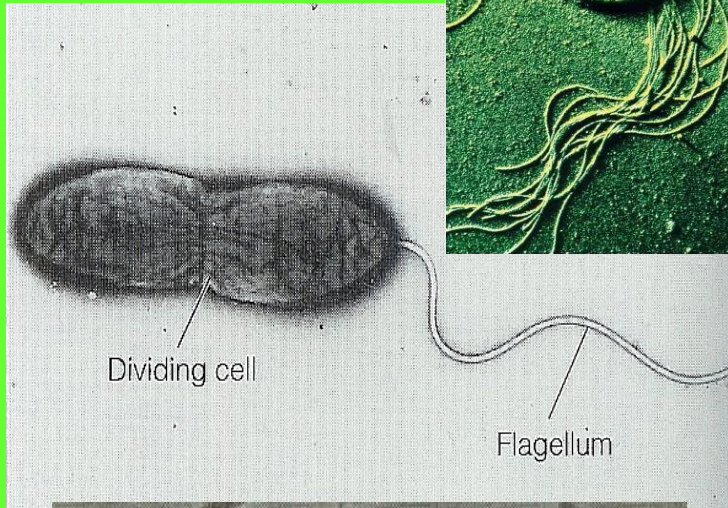
Phagosome-lysosome fusion  
Bacterium survives and multiplies



Cell and phagolysosome lyzes



# Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu

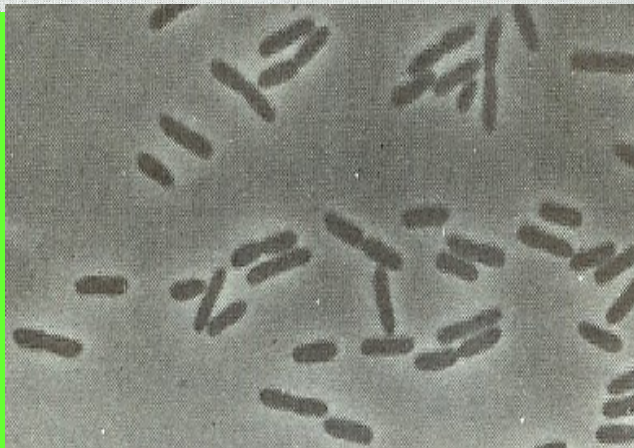


Kmen	<i>Proteobacteria</i>
Třída	<i>Gammaproteobacteria</i>
Řád	<i>Pseudomonadales</i>
Čeď	<i>Pseudomonadaceae</i>
Rod	<i>Pseudomonas</i>

Mnoho druhů akumuluje poly- $\beta$ -hydroxybutyrát. Pohyblivé jedním nebo několika polárními bičíky, pouze zřídka jsou nepohyblivé. Aerobní se striktně respiratorním typem metabolismu. Chemoorganotrofní, avšak některé druhy jsou fakultativně chemolitotrofní. Přítomné jsou v “jakémkoliv” prostředí. Některé druhy jsou patogenní pro člověka, zvířata nebo rostliny.

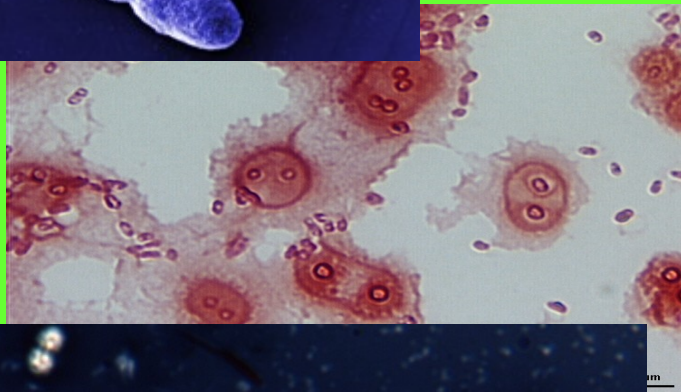
*P. aeruginosa* – půda, voda, příležitostně patogenní pro rostliny, produkuje pigmenty (modrozelený pyocyanin, žluto-zeleno fluorescentní pyoverdín, ojediněle i tmavě červený). Infekce u člověka patří mezi ta s nejhorší prognózou (infekty popálenin, sepse novorozenců, osteomyelitidy, devastující infekce oka,...)

*P. fluorescens* – půda, voda, potraviny, humánní klinický materiál, některé kmeny jsou patogenní pro rostliny. Produkuje pigment pyoverdín dříve zvaný fluorescein, antibiotika.



*P. aeruginosa*

# Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu



Kmen	<i>Proteobacteria</i>
Třída	<i>Gammaproteobacteria</i>
Řád	<i>Pseudomonadales</i>
Čeleď	<i>Pseudomonadaceae</i>
Rod	<i>Azotobacter</i>

Velké ovoidní a pleomorfní (tyčky až koky) buňky, vyskytující se jednotlivě, po dvou, nepravidelných shlucích nebo v řetězcích rozmanité délky.

Je nesporulující, ale vytváří cysty.

Pohyblivé peritrichálními bičíky nebo nepohyblivé.

Aerobní, ale mohou růst i za snížené koncentrace kyslíku.

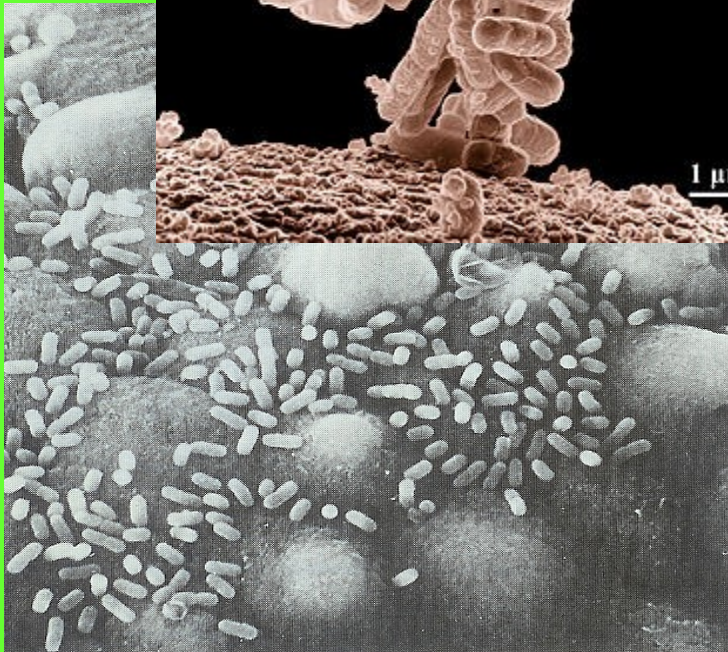
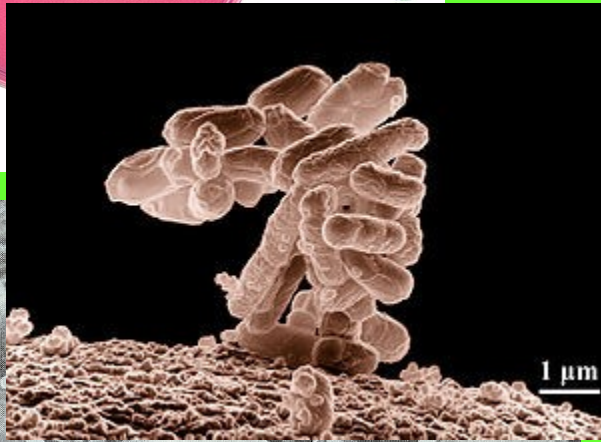
Chemoorganotrofní, k tvorbě energie využívá cukry, alkoholy a organické kyseliny.

Fixuje nesymbioticky molekulový dusík.

*A. vinelandii*



# Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu



Kmen	<i>Proteobacteria</i>
Třída	<i>Gammaproteobacteria</i>
Řád	<i>Enterobacteriales</i>
Čeď	<i>Enterobacteriaceae</i>
Rod	<i>Escherichia</i>

Buňky mají tvar rovné tyčky vyskytující se jednotlivě a ve dvojicích, některé kmeny z klinického materiálu tvoří pouzdra.

Pohyblivé peritrichálními bičíky nebo nepohyblivé.

Fakultativně anaerobní a chemoorganotrofní. Mají jak respiratorní, tak i fermentatorní typ metabolismu.

Vyskytují se jako normální flóra v koncové části střevního traktu teplokrevných živočichů (v případě *E. blattae* i švábů).

Kmeny *E. coli*, které obsahují enterotoxin nebo jiné faktory virulence, způsobují průjemovitá onemocnění. Tento druh je také hlavním původcem infekcí močových cest a nosokomiálních infekcí včetně septikémií a meningitid.

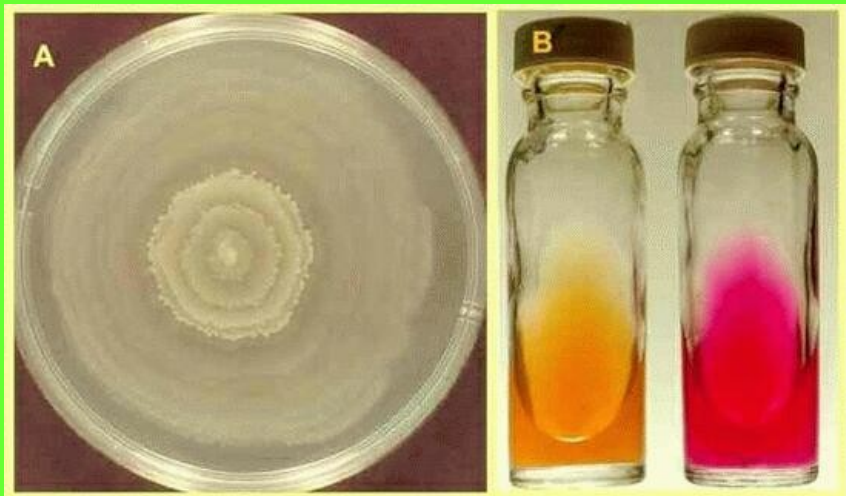
*Escherichia coli* O157:H7 – enterohemorragický (malé děti, starší lidé)

Je indikátorem fekálního znečištění.

*E.coli* na sliznici tenkého střeva

# Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu

*P. vulgaris*



Kmen	<i>Proteobacteria</i>
Třída	<i>Gammaproteobacteria</i>
Řád	<i>Enterobacteriales</i>
Čeď	<i>Enterobacteriaceae</i>
Rod	<i>Proteus</i>

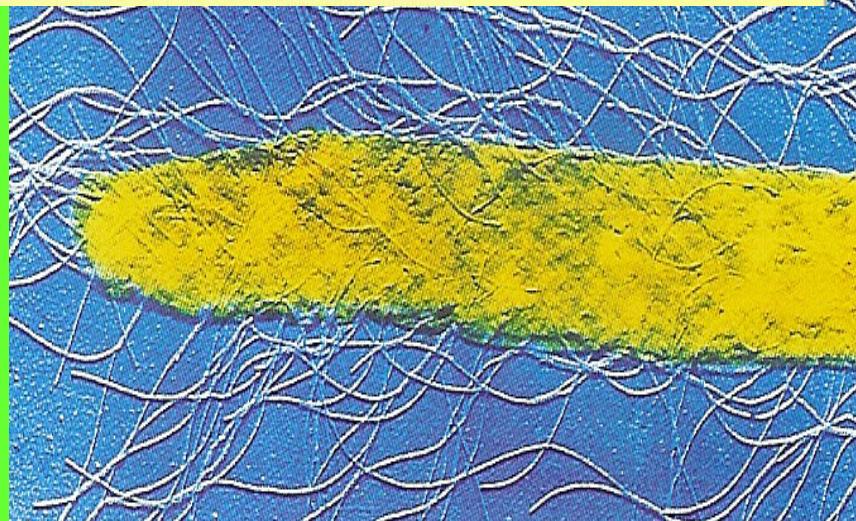
G- rovné tyčky, pohyblivé peritrichálními bičíky. Na agarových plotnách vytváří charakteristické kruhové zóny nebo jednotný film po celém povrchu.

Fakultativně anaerobní a chemoorganotrofni

Vyskytují se ve střevním traktu člověka a širokého rozmezí zvířat, dále jsou přítomné v hnoji, půdě a znečištěných vodách.

Patogenní pro člověka - způsobující především infekce močových cest, jsou příčinou druhotných infekcí (septické léze, časté u popálenin).

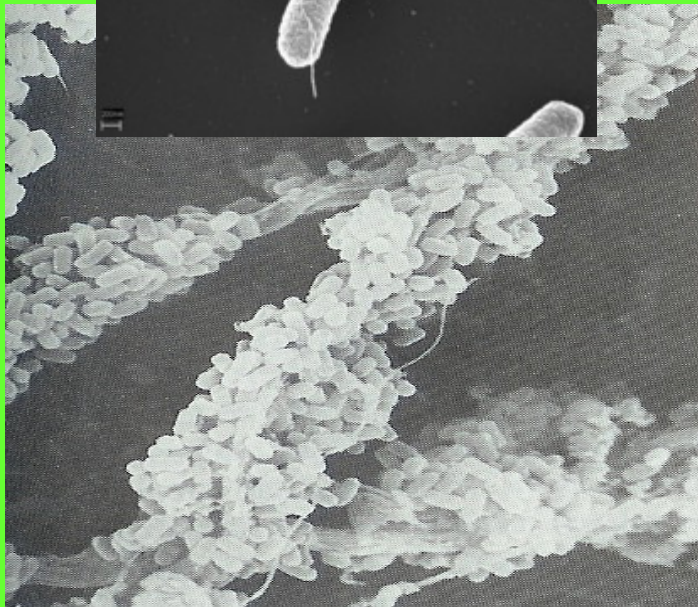
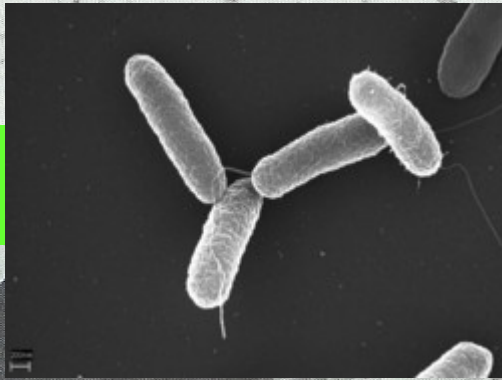
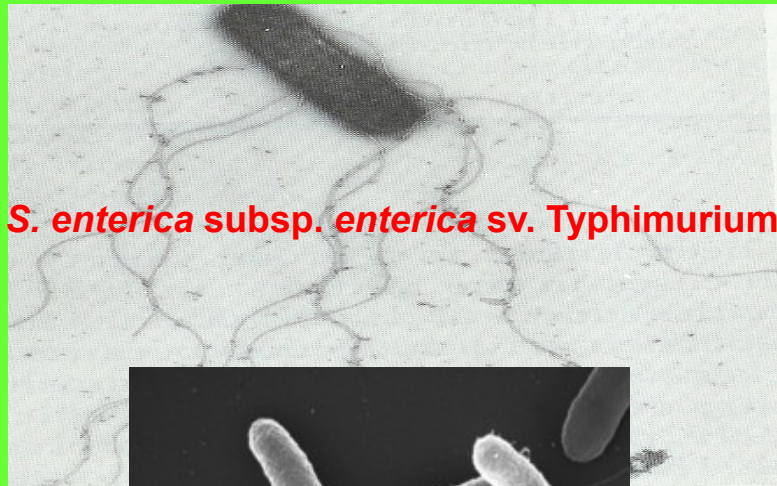
*P. myxofaciens* se nachází pouze u larev motýla bekyně velkohlavé.



*P. mirabilis* – 90% humánních infekcí



# Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu



(salmonela vázaná na svalová vlákna)

Kmen	<i>Proteobacteria</i>
Třída	<i>Gammaproteobacteria</i>
Řád	<i>Enterobacteriales</i>
Čeď	<i>Enterobacteriaceae</i>
Rod	<i>Salmonella</i>

Buňky mají tvar rovné tyčky, většinou pohyblivé peritrichálními bičíky.

Fakultativně anaerobní a chemoorganotrofní.

Vyskytují se u člověka, studenokrevných i teplokrevných živočichů, v potravinách i v prostředí.

Patogenní pro člověka a pro zvířata. Je to infekční agens tyfu (*Salmonella typhi*), střevních horeček, gastroenteritid a septikémií.

Salmonelóza - [\*Salmonella enteritidis\*](#)



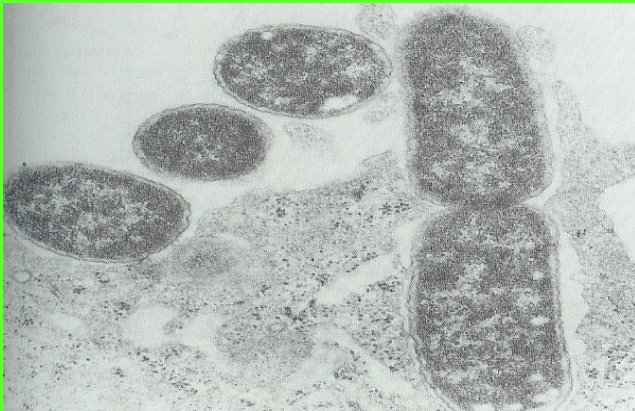
# Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu



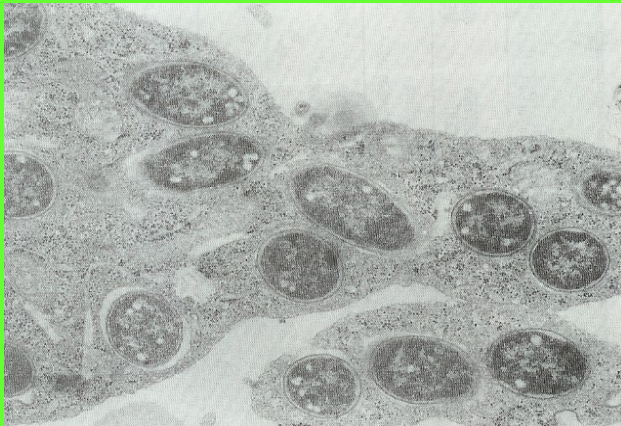
Kmen *Proteobacteria*  
Třída *Gammaproteobacteria*  
Řád *Enterobacteriales*  
Čeleď *Enterobacteriaceae*  
Rod *Shigella*

# Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu

## *Y. enterolitica*



Bakterie připojené na CM infikované buňky



*Y. enterolitica* v cytoplasmě  
hostitelské buňky

Kmen	<i>Proteobacteria</i>
Třída	<i>Gammaproteobacteria</i>
Řád	<i>Enterobacteriales</i>
Čeď	<i>Enterobacteriaceae</i>
Rod	<i>Yersinia</i>

G<sup>-</sup> rovné tyčky, občas vykazující kokovitý tvar, nepohyblivé při 37°C, ale pohyblivé peritrichálními bičíky, pokud rostou pod 30°C.

Fakultativně anaerobní a chemoorganotrofní.

Široké spektrum hostitelů, včetně člověka, zvířat (hlodavci a ptáci)

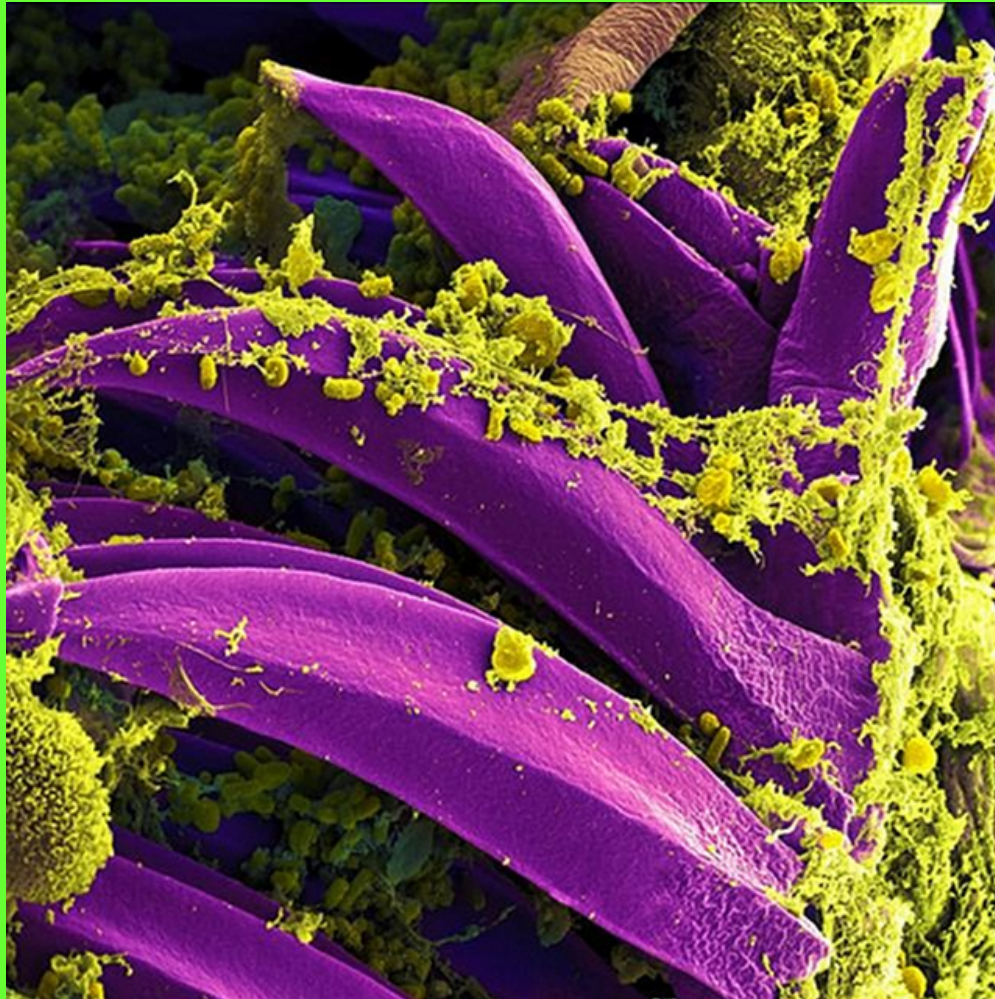
Nachází se v půdě, vodě a potravinách.

Jsou jak striktně patogenní tak příležitostně oportunně patogenní nebo nepatogenní druhy.

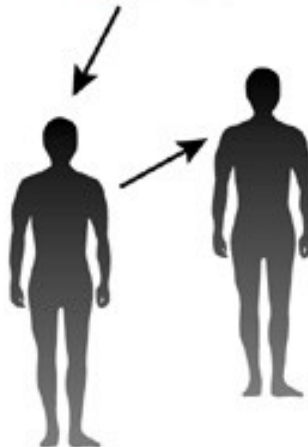
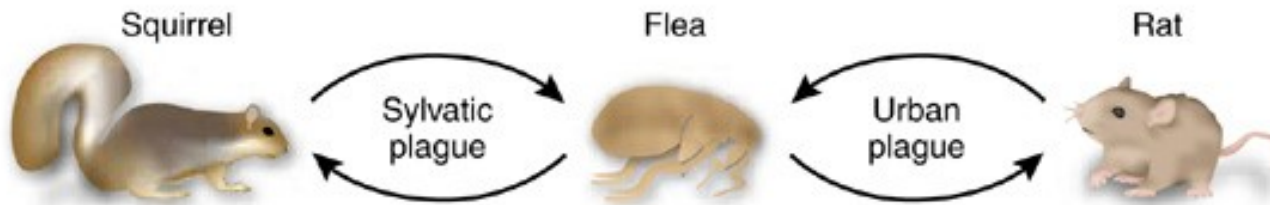
*Y. pestis* – původce dýmějového moru, primárně způsobuje onemocnění divokých hlodavců (přenos blechami, v nichž se bakterie množí)

*Y. pseudotuberculosis* – patogenní pro živočichy, příležitostně i člověka (chronický průjem, septikémie)

***Yersinia pestis* (žlutě) na „ostnech“ (purpurové)  
uvnitř zažívacího traktu blechy**







**Mortalita**  
dýmějový mor

**60%** Bubonic plague

**90%** (lěčený 50%)  
plicní mor

Wild-type *Y. pestis*

Modified *Y. pestis*

Antagonistic tetra-acylated LPS

Stimulatory hexa-acylated LPS



MyD88

MyD88

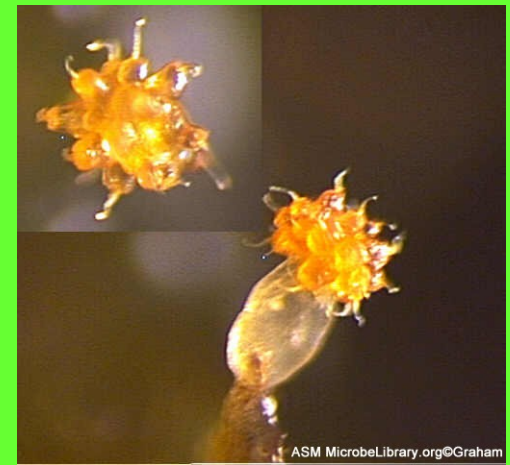
Macrophages and dendritic cells

NF-κB

NF-κB



# *Deltaproteobacteria*



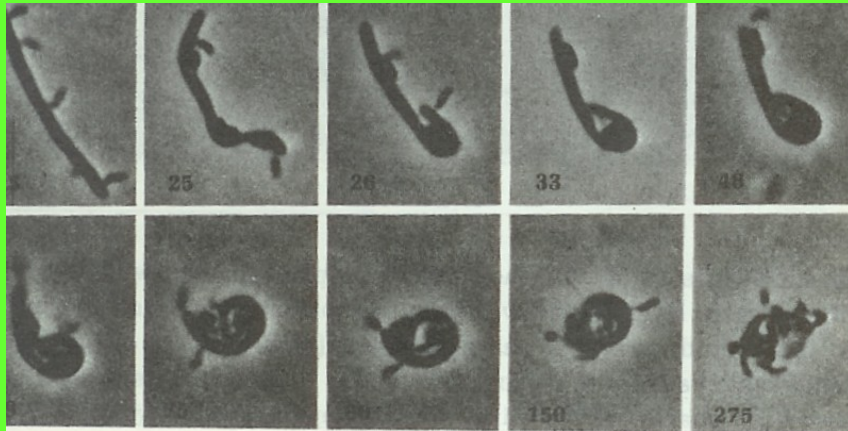
Dvě větve:

- převážně aerobní v nepříznivých podmínkách vytvářející plodnice *Myxobacteria*
- striktně anaerobní – většina známých sulfát redukujících (*Desulfovibrio*, *Desulfobacter*, *Desulfococcus*, *Desulfonema*, etc.) a síru redukujících (e.g. *Desulfuromonas* spp.) bakterií

A další anaerobní bakterie s různou fyziologií (Fe redukující *Geobacter* spp., syntropické *Pelobacter* a *Syntrophus* spp.)

# Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu

*B. bacteriovorus*



Kmen *Proteobacteria*  
Třída *Deltaproteobacteria*  
Řád *Bdellovibrionales*  
Čeleď *Bdellovibrionaceae*  
Rod *Bdellovibrio*

Buňky tvaru zakřivených tyček, pohyblivé jedním polárním bičíkem, obligátně aerobní

Napadají jiné G<sup>-</sup> bakterie.

Bdelovibria se projevují morfologicky a fyziologicky dvoufázovým životním cyklem, ve kterém se střídá nerůstová predátorská fáze a intracelulární reprodukční fáze.

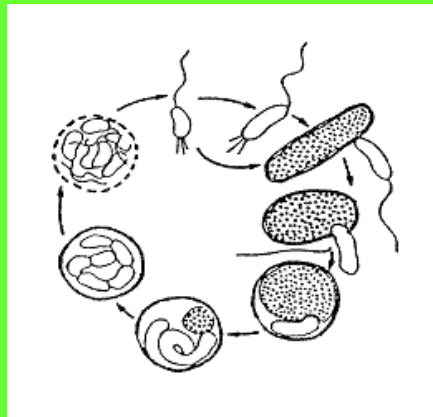
Bdelovibrio rychle pronikne do periplazmatického prostoru hostitelské buňky, která se zakulacuje a ztlušťuje do sférické formy (*bdeloplast*).

Hostitelská buňka slouží pouze jako "substrát" pro vývoj bdelovibrií, nevyužívá její metabolický potenciál.

Vyvíjející se bdelovibria se, na úkor hostitelského protoplastu, protahují do „hadovitého“ tvaru.

Spirální nepohyblivé buňky se potom rozpadají do pohyblivých vibroidních jednotek, jež jsou "dravou" formou.

Parazit a predátor



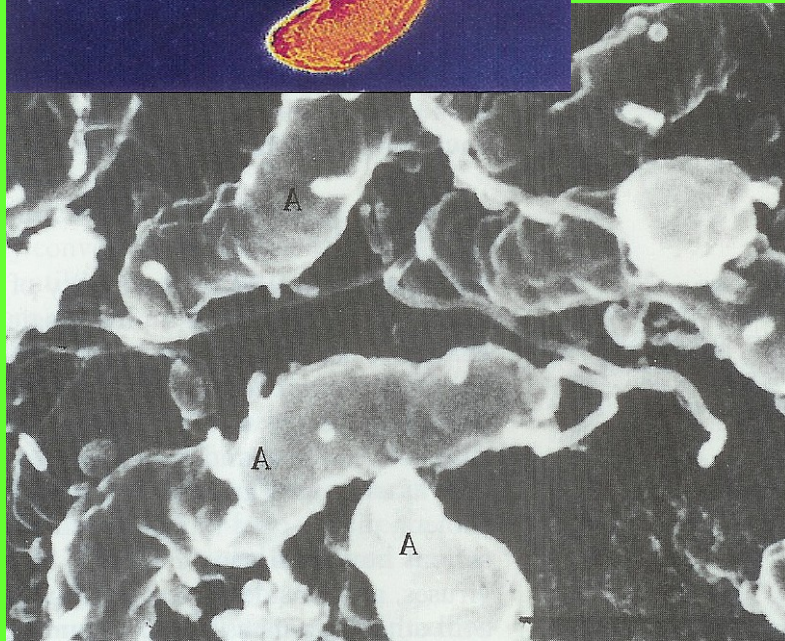
Atak *B. bacteriovorus* na *Pseudomonas tabaci* (k lyzi buňky dojde za 275 min)



# *Epsilonproteobacteria*

- obsahují jen pár známých rodů – hlavně zakřivené nebo spiriloidní (*Helicobacter* spp., *Campylobacter* spp. )
- většina v zažívacím traktu zvířat
  - symbionti (*Wolinella* spp. - krávy)
  - patogeni (*Helicobacter* spp. v žaludku, *Campylobacter* spp. v dvanácterníku)
- sekvence známy i z hydrotermálních pramenů a studených mořských habitatů

# Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu



Kmen *Proteobacteria*

Třída *Epsilonproteobacteria*

Řád *Campylobacterales*

Čeď *Helicobacteraceae*

Rod *Helicobacter*

Buňky jsou helikální, zkroucené nebo rovné tyčky se zaoblenými konci.

Pohyblivé pomocí polárních nebo bipolárních a laterálních bičíků.  
Mikroaerofilní.

Osídlují žaludeční sliznici primátů a fretek.

*H.pylori* (*Campylobacter pyloridis*) –  
prokázán podíl na vzniku  
duodenálních i žaludečních vředů,  
i rakovina žaludku

*H. pylori*

# Human-Pathogen Coevolution

*Helicobacter pylori* strains that share ancestry with their human hosts are less likely to cause severe disease.

By Jef Akst | January 13, 2014

Electron micrograph of *H. pylori* WIKIMEDIA, [YTAKA TSUTSUMI](#) *Helicobacter pylori* is a widespread bacterium that colonizes the gut mucosa in nearly half the human population, causing gastric inflammation and, in a small percentage of patients, stomach cancer—the second leading cause of cancer-related deaths worldwide.

But the prevalence of *H. pylori* infections do not correlate with cancer incidence, suggesting other factors are at play. In a study published today (January 13) in [PNAS](#), researchers provide evidence that those other factors include the ancestry of both the host and the pathogen: patients that are infected with *H. pylori* strains that have a distinct ancestry from their own are more likely to suffer severe disease.

“For the first time, [this study] suggests that we have to take the ancestry of both host and microbe into the equation,” said [Emad El-Omar](#), a gastroenterologist and cancer biologist at the University of Aberdeen, who was not involved in the work. “We can’t just look at one or the other.”

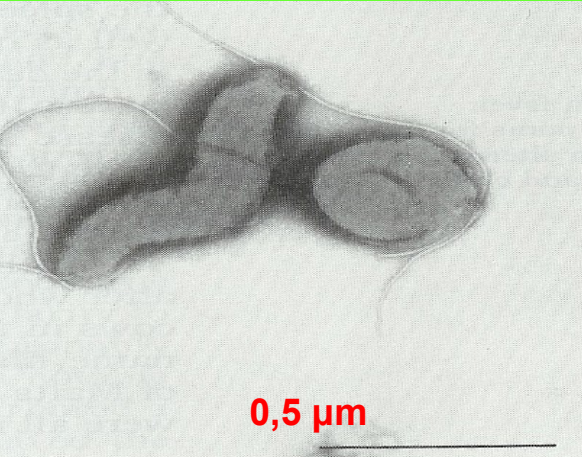
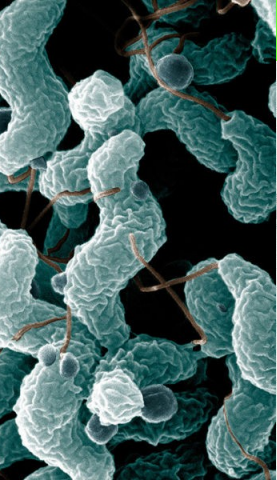
The research is the latest study of two Colombian populations that have served as poster children for the study of gastric cancer. A coastal population of primarily African ancestry has a relatively low incidence of the disease as compared with a population of largely Amerindian descent in the Andes Mountains just 200 kilometers away. For years, pathologist and native Colombian Pelayo Correa, a pioneer of gastric cancer research, has puzzled over this discrepancy.

Curious about the role of coevolution between these populations and their pathogens, Correa, along with molecular biologist [Barbara Schneider](#) of Vanderbilt University Medical Center and colleagues, decided to take a closer look at the *H. pylori* strains afflicting patients in these regions. As Colombian patients came into the local hospitals requiring endoscopies, the researchers would ask for volunteers to donate a tissue sample. The samples were then shipped on dry ice to Schneider’s Vanderbilt lab, where her team cultured and analyzed the bacteria within. In the end, the researchers found that while all *H. pylori* sampled showed evidence of multiple ancestries, those in African-ancestry hosts were more likely to cause severe disease. “[It’s] fascinating,” said El-Omar. “If you have African strains affecting African-ancestry hosts, it doesn’t cause too much trouble.” Looking more specifically at the relationship between individual patients and their *H. pylori* infections was even more revealing. The interaction between host and pathogen ancestry was strong, having an effect “five times higher than the effect of host ancestry alone.” Of course, El-Omar added, there are other relevant factors to consider, including the presence of harmless worm infections.

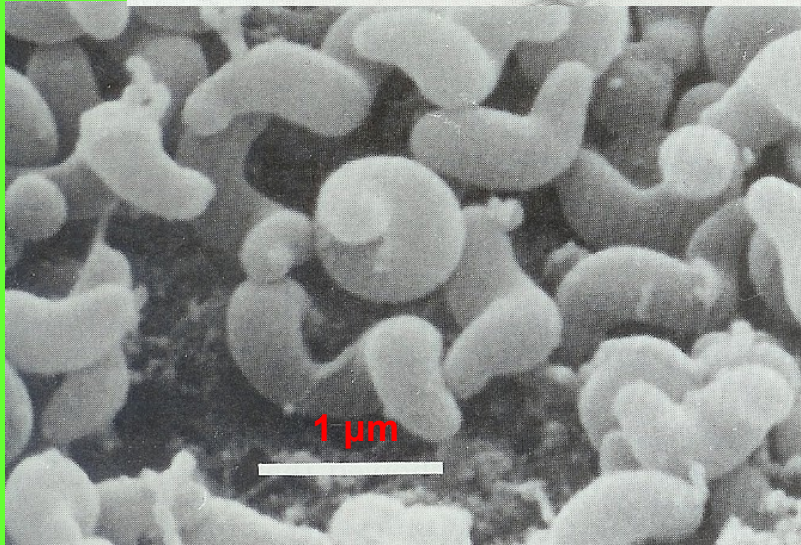
**N. Kodaman et al., “Human and *Helicobacter pylori* coevolution shapes the risk of gastric disease,” [PNAS](#)**



# Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu



0,5 μm



1 μm

Kmen	<i>Proteobacteria</i>
Třída	<i>Epsilonproteobacteria</i>
Řád	<i>Campylobacterales</i>
Čeď	<i>Campylobacteraceae</i>
Rod	<i>Campylobacter</i>

Buňky štíhlé, mírně spirálovitě zakřivené tyčky, ojedinelé i helikální.

Pohyblivé pomocí polárních bičků, jeden bičík na jednom nebo obou pólech buňky.

Charakteristický je rotační pohyb na způsob vývrtky.

Mikroaerofilní, chemoorganotrofní. Vyskytují se v pohlavních orgánech, střevním traktu a ústní dutině člověka a zvířat.

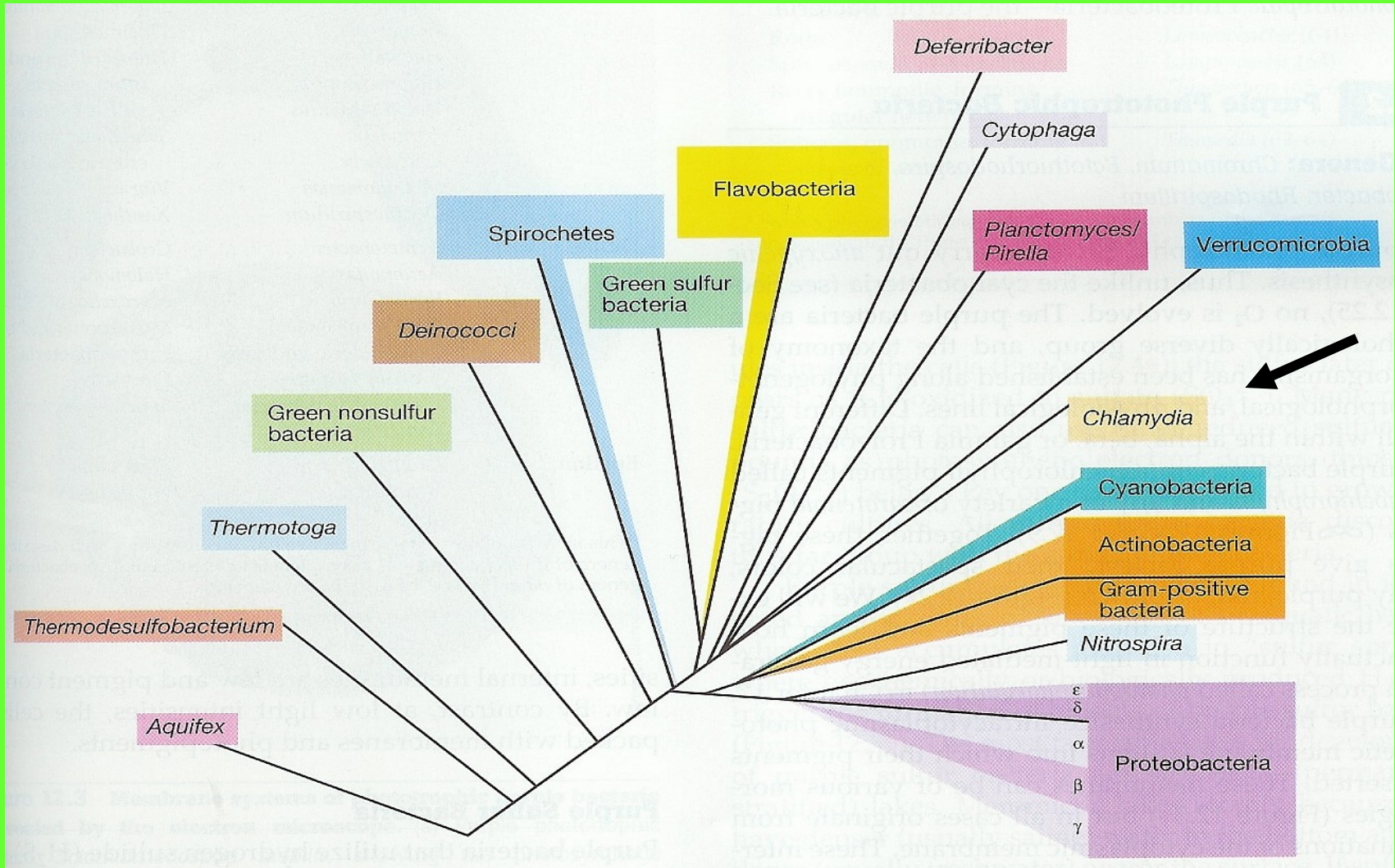
Některé druhy jsou patogenní.

*C.jejuni* – izolace ze stolice u 5-35% osob, u některých průjmy. Patrně je původcem přibližně dvojnásobného množství případů střevních onemocnění ve srovnání se známější salmonellou

*C.coli* – častý u prasat.

*C.jejuni*

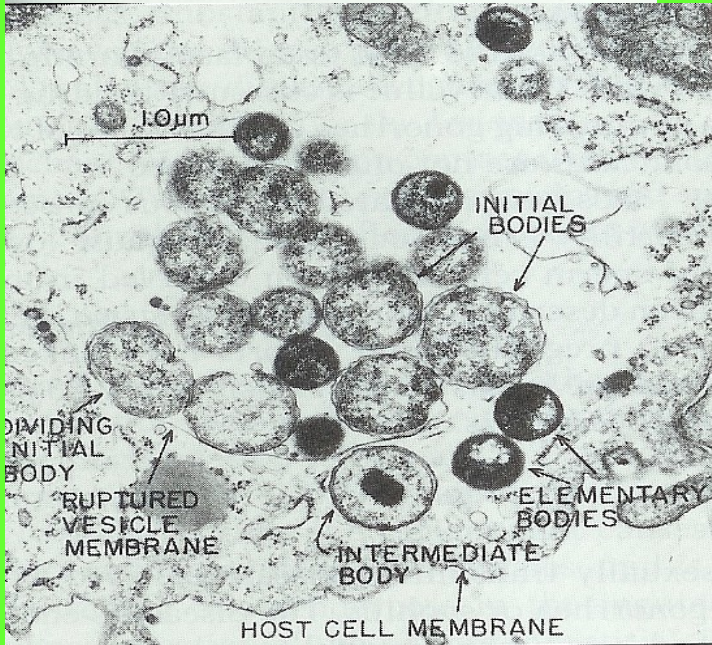
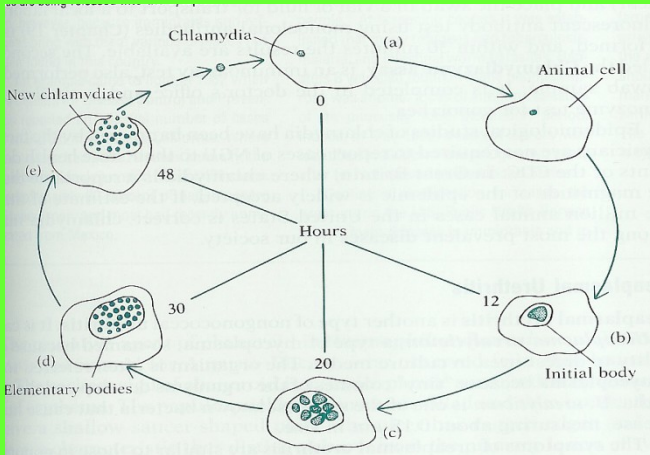
# Fylogenetický strom - BACTERIA



Strom je odvozen na základě sekvenční 16S ribozomální RNA (<http://rdp.cme.msu.edu>)



# Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu



*C. trachomatis*

Kmen	<b><i>Chlamydiae</i></b>
Třída	<b><i>Chlamydiae</i></b>
Řád	<b><i>Chlamydiales</i></b>
Čeleď	<b><i>Chlamydiaceae</i></b>
Rod	<b><i>Chlamydia</i></b>

Nepohyblivé drobné kokoidní organismy množící se pouze v membránou ohraničených vakuolách hostitelské buňky zvláštním **vývojovým cyklem**. Ten je charakterizován změnou malých elementárních tělísek (jen ty infekční) do větších retikulových tělísek, které se množí přehrádečným dělením. Cyklus je ukončen reorganizací retikulových tělísek do nové generace elementárních tělísek, které přežívají extracelulárně a infikují další hostitelské buňky.

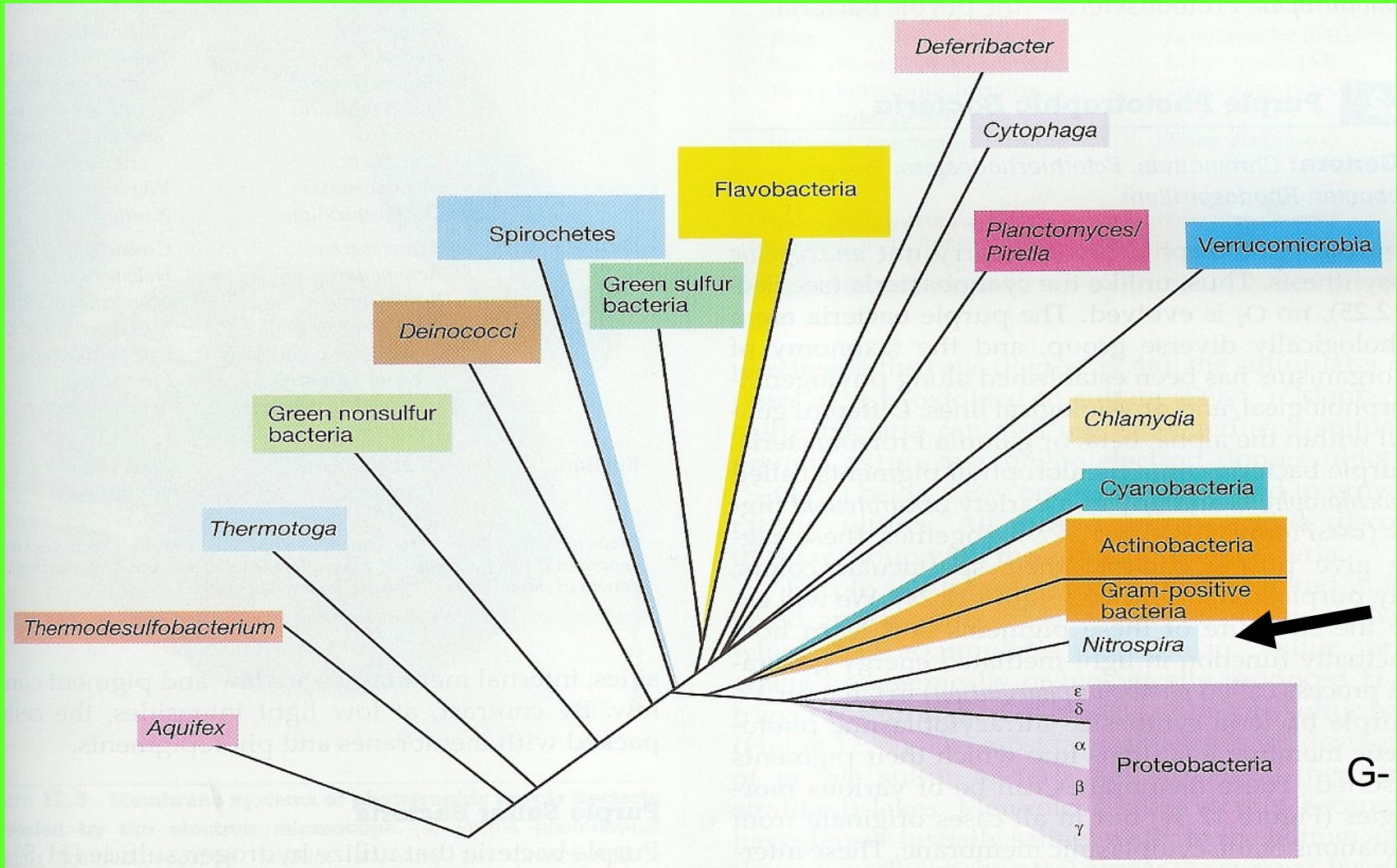
***Chlamidie nejsou schopné vytvářet ATP.*** Někdy jsou označováni jako energetičtí parazité.

*C. trachomatis* – patogenní, přirozeným hostitelem je člověk (urogenitální, sexuálně přenosné onemocnění)

*C. psittaci* – parazitická pro zvířata, původce psitakózy (papouščí nemoc – zánět plic). Některé kmeny infekční pro člověka. Před zavedením antibiotik bylo toto onemocnění ve 20 % smrtelné.



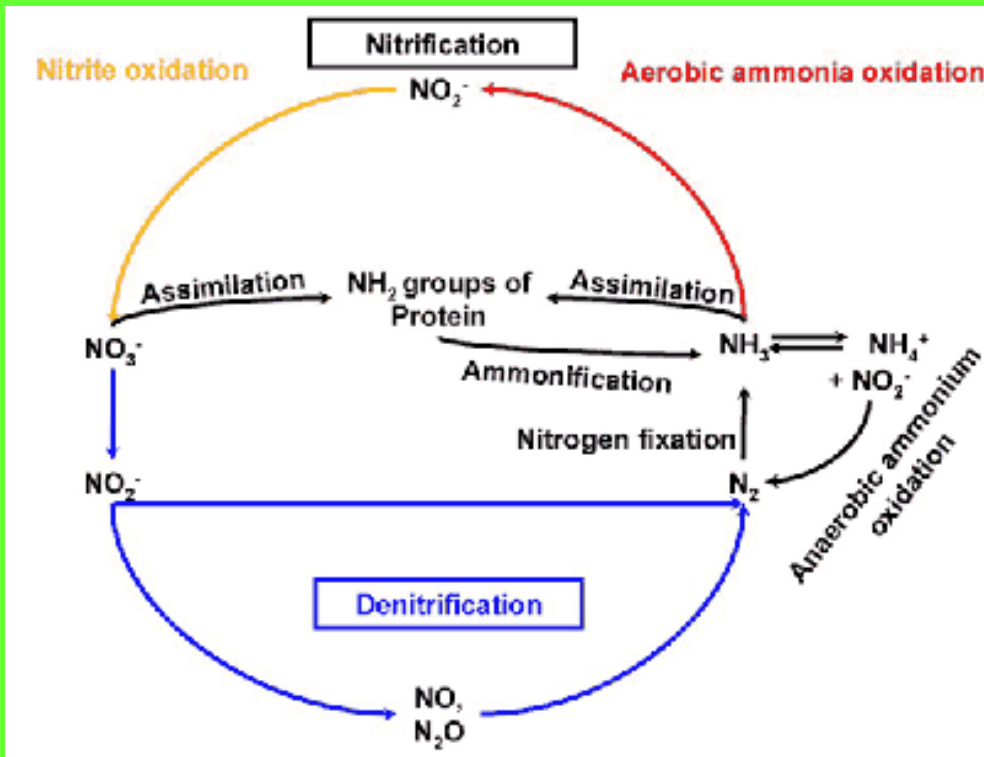
# Fylogenetický strom - BACTERIA



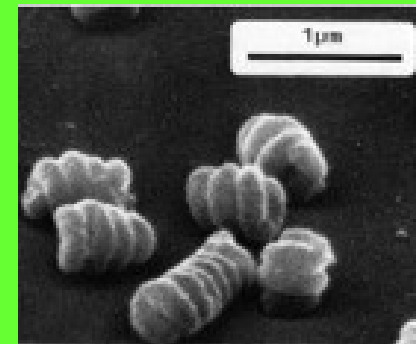
Strom je odvozen na základě sekvenční 16S ribozomální RNA (<http://rdp.cme.msu.edu>)

# Nitrospira

- izolován z mořské i sladké vody, sedimentů (i hlubokomořských), půdy, Fe trubek, topných systémů
- součást nitrifikačního systému
- nitrifikace - oxidace amoniaku na nitrity autotrofními bakteriemi rodu *Nitrosomonas* a oxidace nitritů na nitráty rody *Nitrobacter* a *Nitrospira*.



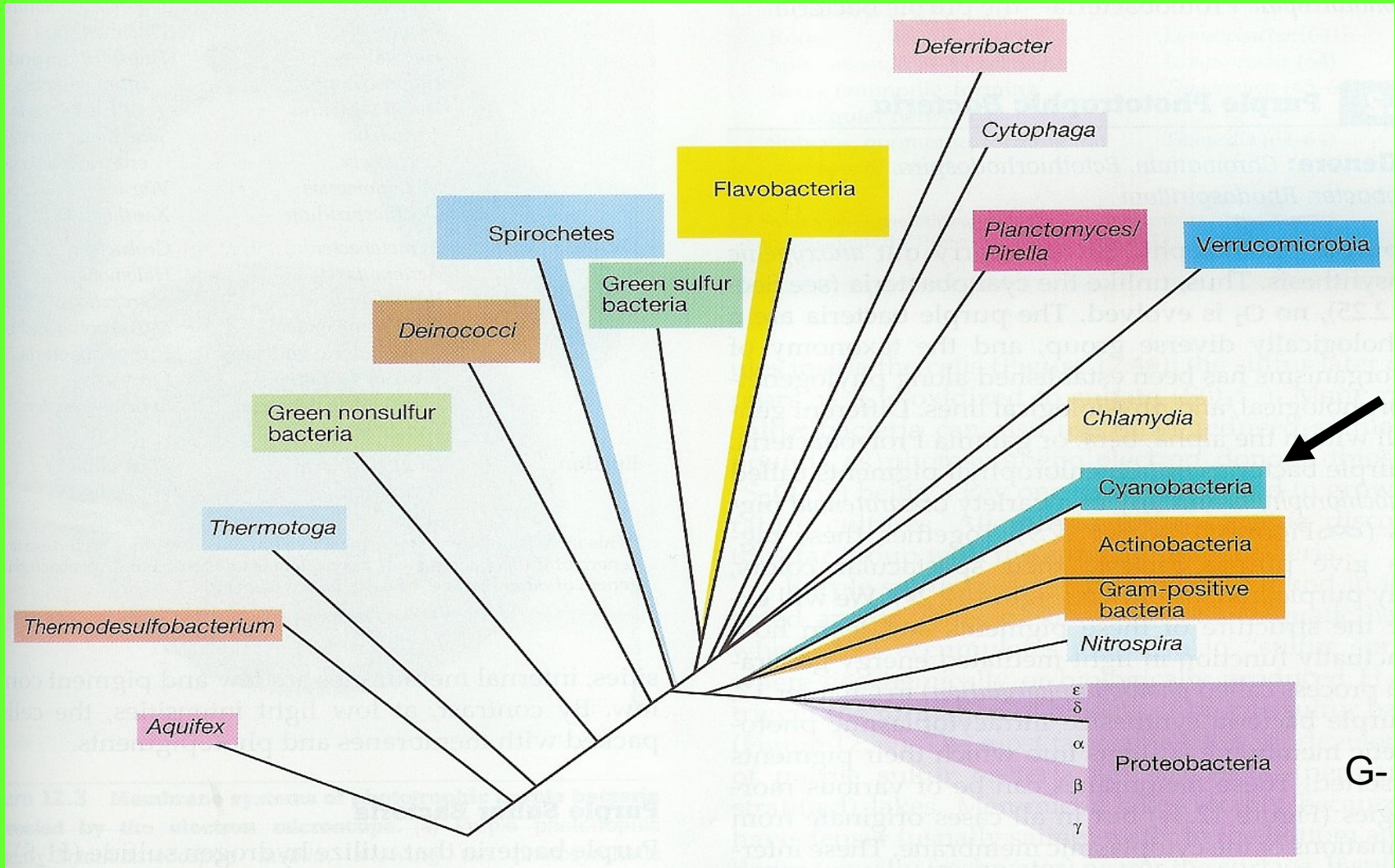
- důležité v mořském prostředí
- přebytek amoniaku nebo nitritů může způsobit úhyn ryb



*N. marina*



# Fylogenetický strom - BACTERIA



Strom je odvozen na základě sekvenční 16S ribozomální RNA (<http://rdp.cme.msu.edu>)



# *Cyanobacteria*

- energie získávána fotosyntézou
- název z řeckého kyanós – modrý
- důležitá součást cyklu dusíku v moři
- důležitý primární producent v mnoha oblastech oceánu

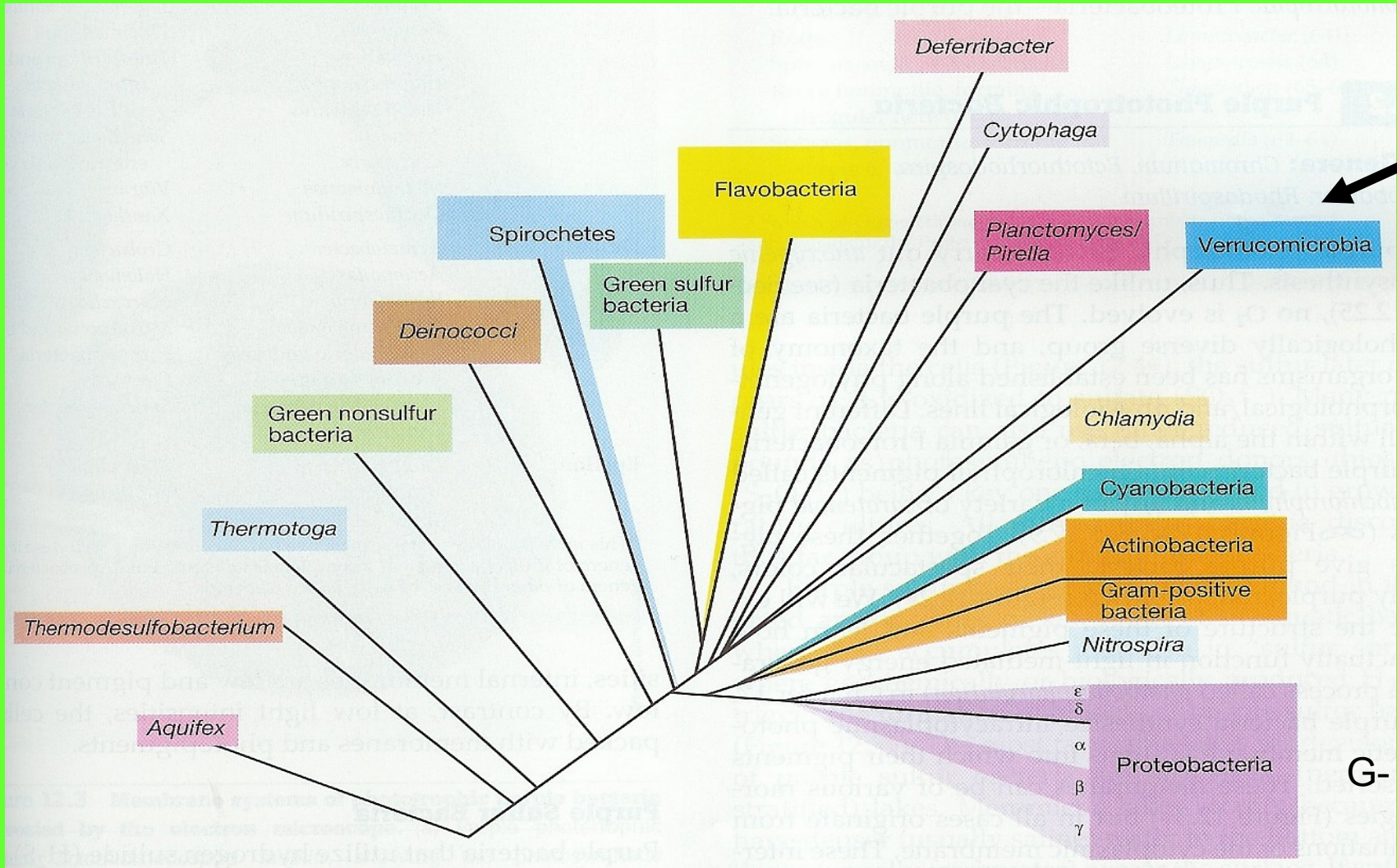


01.09.02, 1600x



- ale i ve sladkovodních systémech, slaných vnitrozemských jezerech
- stromatolity – 2,8 miliard let
- podíl na vzniku kyslíkové atmosféry
  - exploze biodiverzity, extinkce netolerantních anaerobů
- chloroplasty rostlin a eukaryotických řas

# Fylogenetický strom - BACTERIA



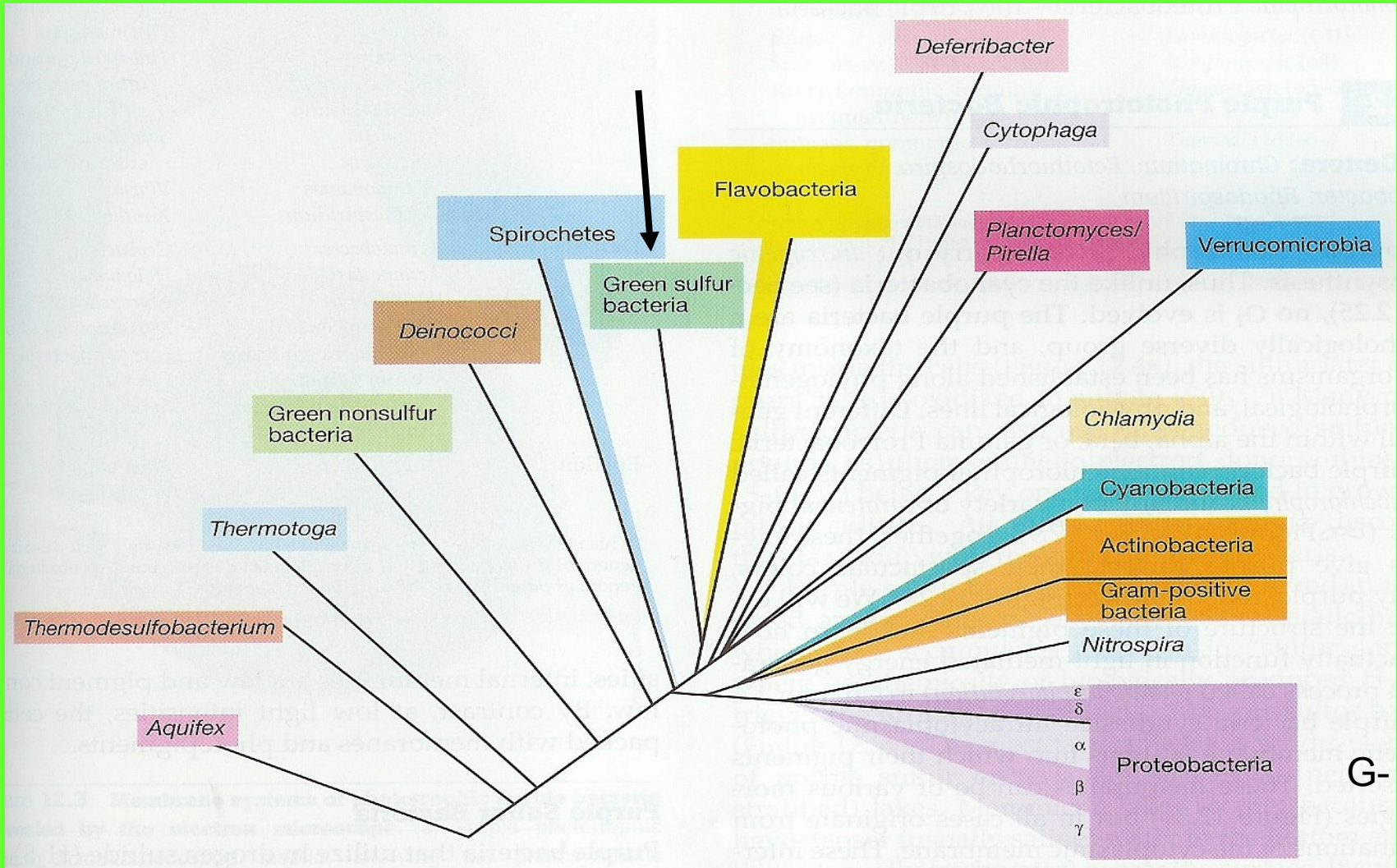
Strom je odvozen na základě sekvenční 16S ribozomální RNA (<http://rdp.cme.msu.edu>)

# *Verrucomicrobia*

- nedávno popsaná skupina bakterií
- obsahuje jen několik popsaných druhů
- izolován ze sladkovodních systémů, půdy, stolice
- mnoho nekultivovatelných (i ekto a endosymbionti)
- zřejmě časté a významné (zvl. v půdě)



# Fylogenetický strom - BACTERIA



Strom je odvozen na základě sekvenční 16S ribozomální RNA (<http://rdp.cme.msu.edu>)

# Green sulfur bacteria – zelené sirné bakterie

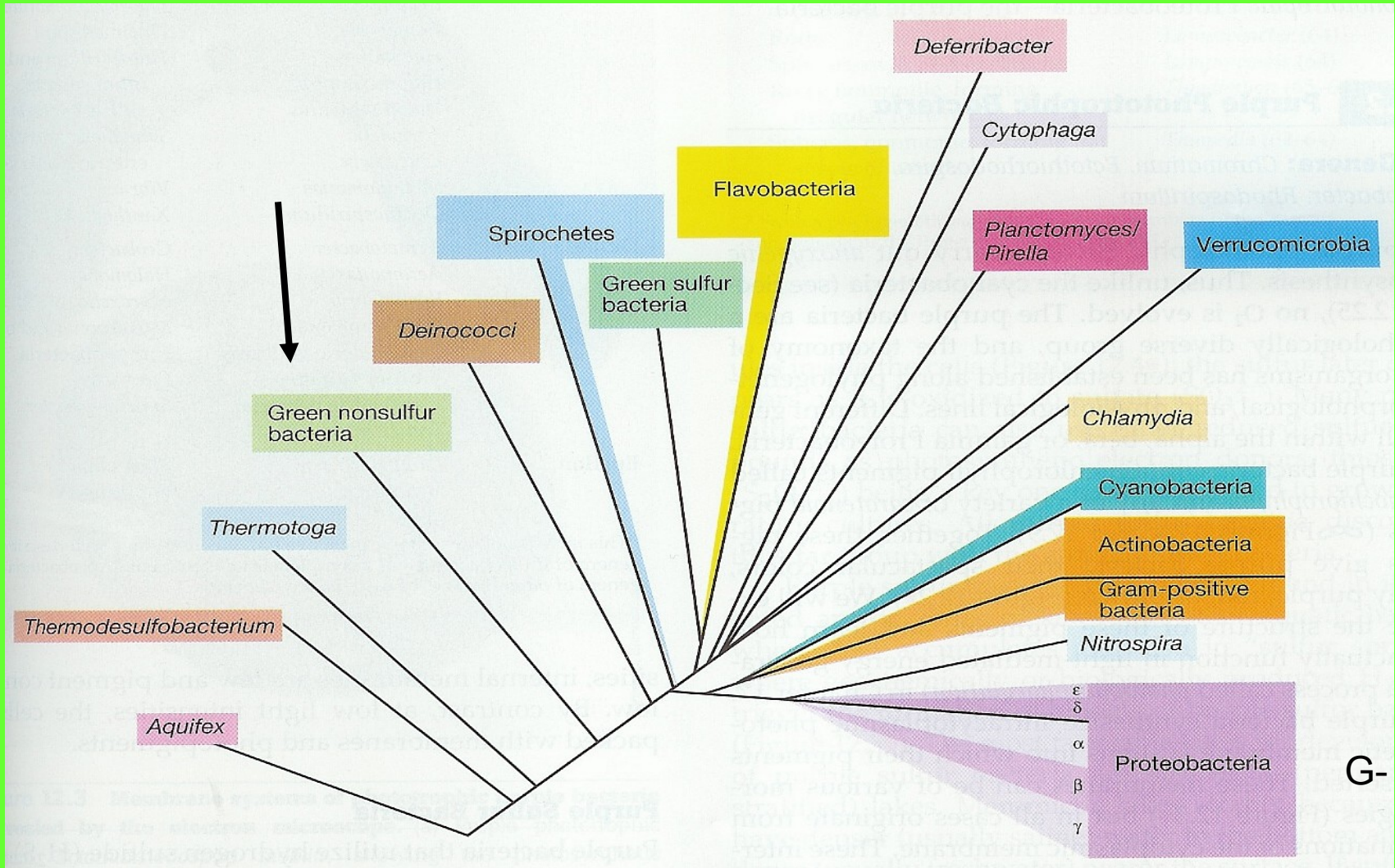
- čeled' obligátně anaerobních fototrofních bakterií
- nepohyblivé tyčky, spirály, ale i kokovité
- fotosyntéza – bakteriochlorofyl a,c,d, e a chlorofyl a v chlorosomech přiložených k membráně
- donor elektronů – sulfidy, vodík, Fe ionty
- elementární síra ukládána vně buňky (může být dále oxidována)
- nalezeny poblíže black smoker u pobřeží Mexika 2500 m pod mořem



Winogradského sloupec



# Fylogenetický strom - BACTERIA

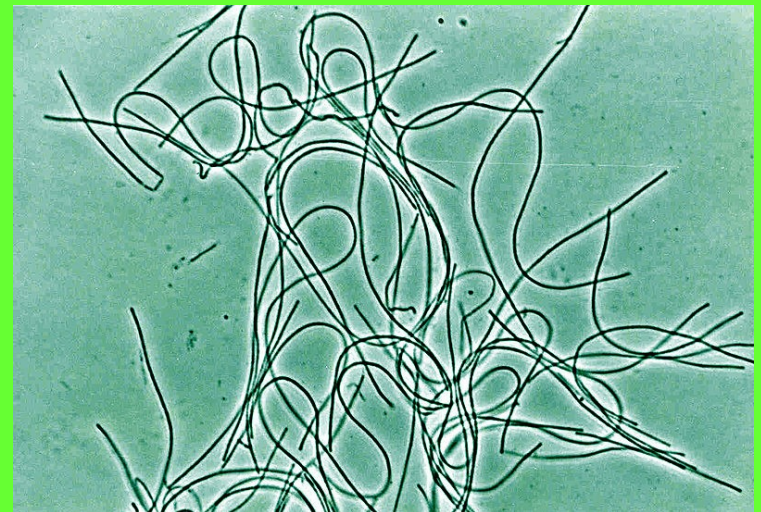


Strom je odvozen na základě sekvenční 16S ribozomální RNA (<http://rdp.cme.msu.edu>)

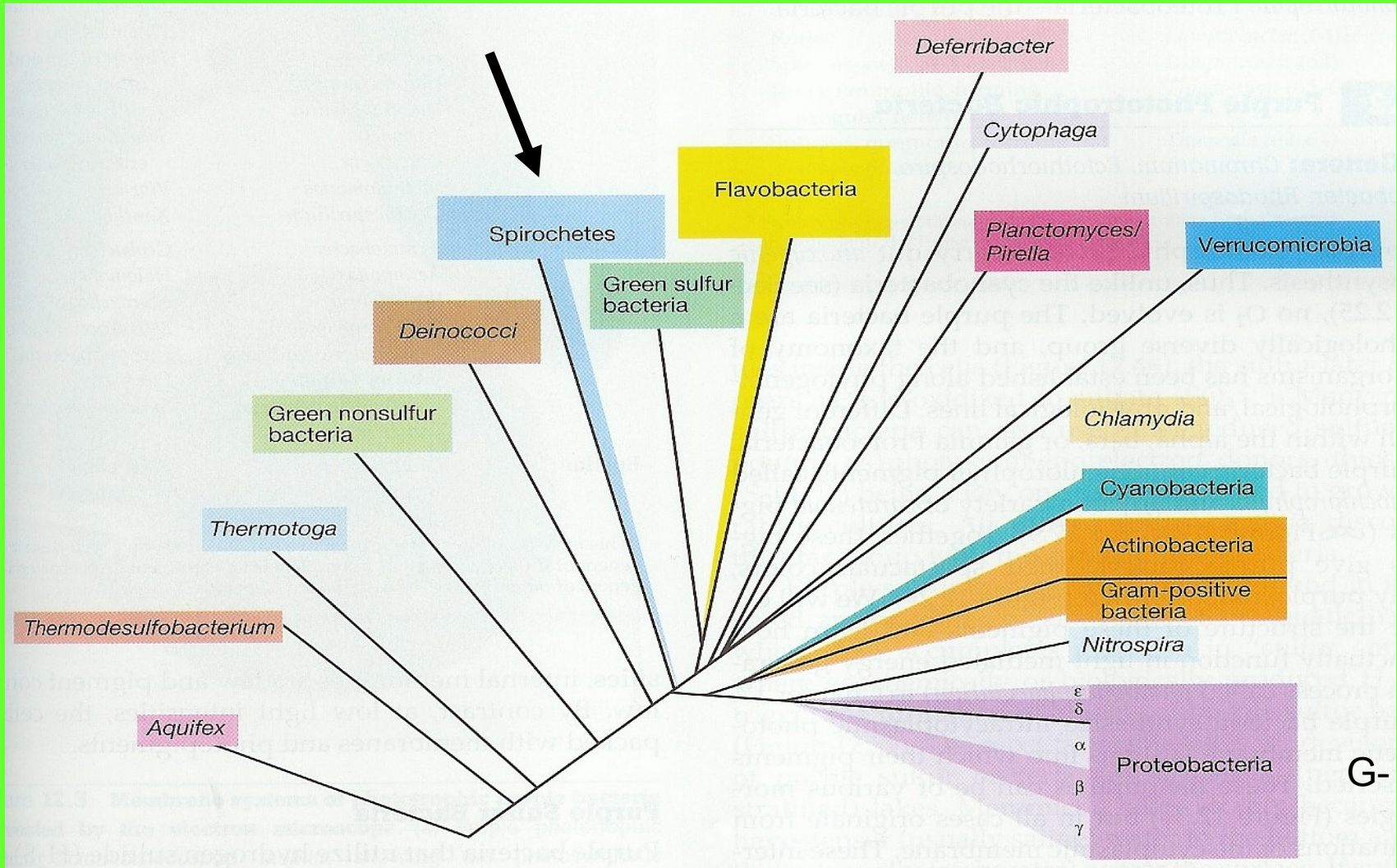


# Green nonsulfur bacteria - zelené nesírné bakterie

- čeleď *Chloroflexi*
- energii získávají fotosyntézou, ale neprodukují kyslík
- jméno odvozeno ze zeleného pigmentu v chlorosomech (chlorofyl a,c,d)
- vláknité bakterie pohybující se klouzáním
- fakultativně aerobní
- fotoheterotrofové (místo oxidu uhličitého získávají uhlík z organických sloučenin)



# Fylogenetický strom - BACTERIA

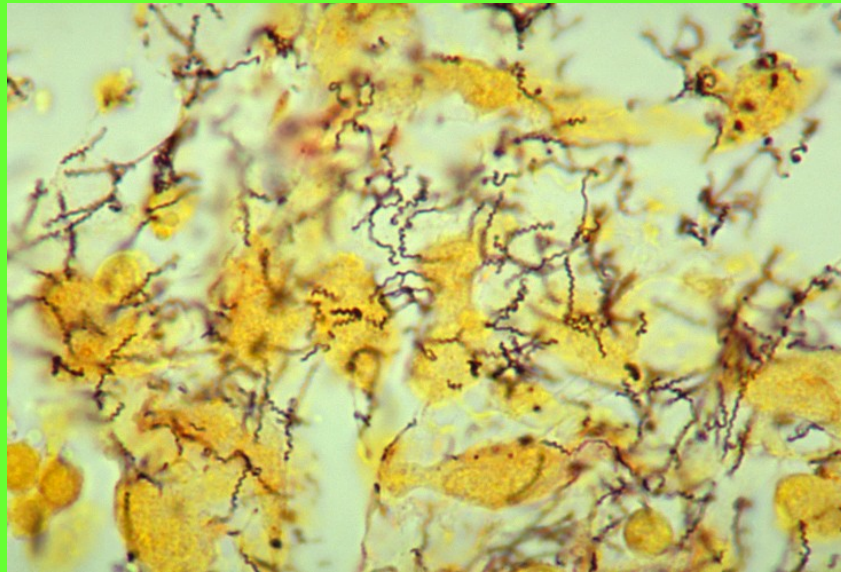
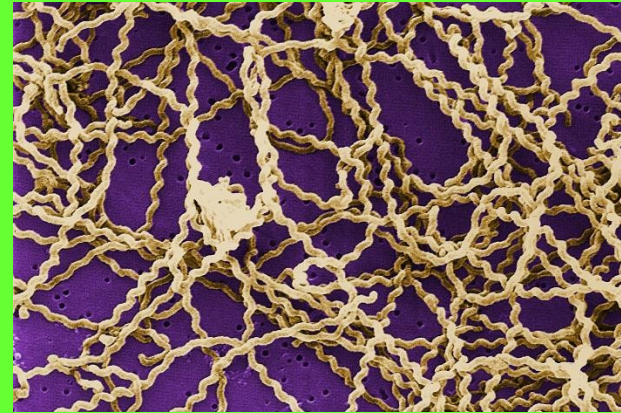


Strom je odvozen na základě sekvenční 16S ribozomální RNA (<http://rdp.cme.msu.edu>)



# Spirochaetes

- výrazný kmen G- bakterií se spirálovitými buňkami (5-250  $\mu\text{m}$ )
- chemoheterotrofní
- axiální bičík – mezi buněčnou a vnější membránou
  - způsobuje vývrtkovitý pohyb
- většina volně žijící anaerobní
- ale četné výjimky



Leptospira – leptospirosis - 7-day fever  
bakteriální zoonotickou nemoc

Borrelia burgdorferi - Lyme disease

Borrelia recurrentis - relapsing fever (recidivující)

Treponema pallidum - syphilis

Treponema pertenue - yaws

tropická infekce kůže, kostí a kloubů



# Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu

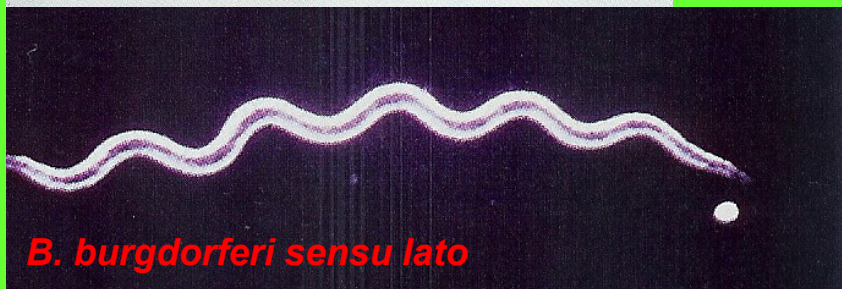
Kmen	<i>Spirochaetes</i>
Třída	<i>Spirochaetes</i>
Řád	<i>Spirochaetales</i>
Čeleď	<i>Spirochaetaceae</i>
Rod	<i>Borrelia</i>

Helikální buňky velikosti 0,2 až 0,5 x 3 až 20  $\mu\text{m}$  složené ze 3 až 10 volných smyček. Buňky jsou pohyblivé pomocí 7 až 30 axiálních bičíků. Chemoorganotrofní, mikroaerofilní. Borélie jsou patogenní pro člověka a jiné savce a ptáky, vektorem pro přenos jsou členovci (klíště, veš).

*B. burgdorferi sensu lato* - původce Lymeské boreliózy, jedna z nejčastějších antropozoonóz. Multiorgánové postižení.

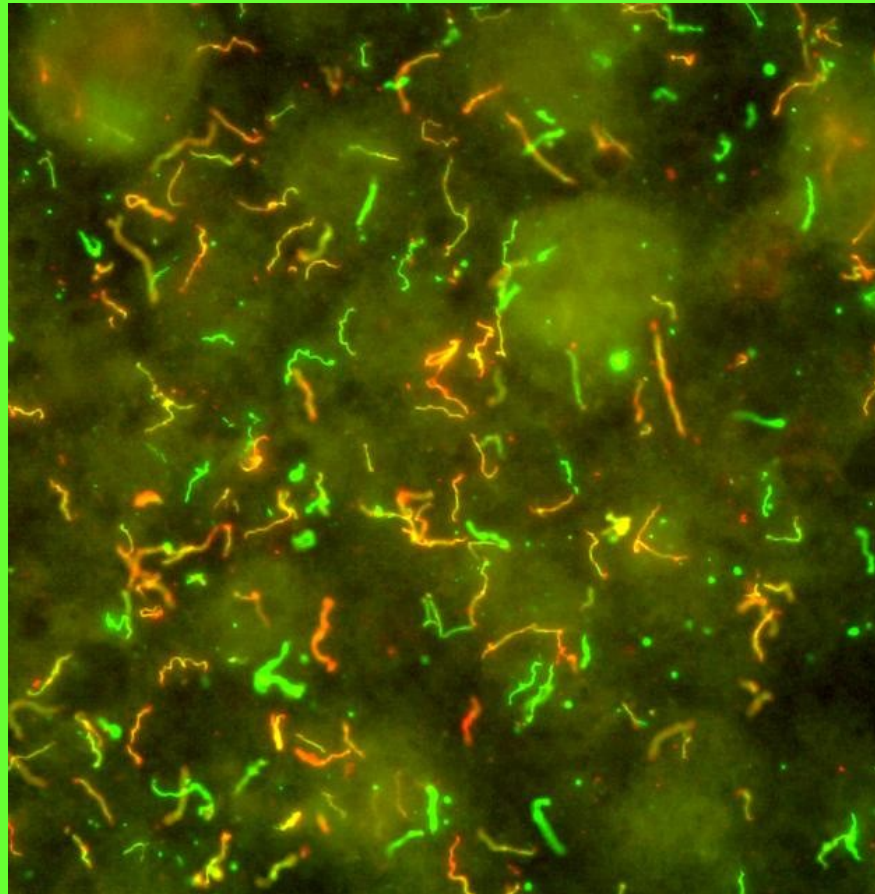
*B. burgdorferi sensu stricto* – nejvíce v USA a západní Evropě - postižení kloubů a myokardu

*B. garinii* – postižení nervového systému. Poprvé popsáno označení stavu jako *erythema migrans*



# *Borrelia burgdorferi*

spirochetes labeled green or orange depending on the expression of surface proteins, which they alter to adapt to their various hosts





# Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu



Kmen	<i>Spirochaetes</i>
Třída	<i>Spirochaetes</i>
Řád	<i>Spirochaetales</i>
Čeď	<i>Spirochaetaceae</i>
Rod	<i>Treponema</i>



Nepříliš dlouhé helikální tyčky o průměru 0,1 až 0,4  $\mu\text{m}$  a délce 5 až 20  $\mu\text{m}$ , mající jeden nebo více axiálních bičíků Striktně anaerobní nebo mikroaerofilní. Chemoorganotrofní. Treponemy osídlují ústní dutinu, střevní trakt a pohlavní ústrojí člověka a zvířat; některé druhy jsou patogenní.

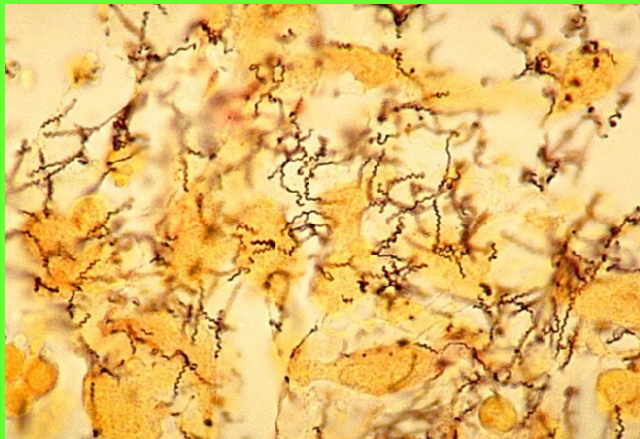
*T. pallidum* – původce syfilis (lues, příjice). Přenos pohlavním stykem. Onemocnění se může přenést přes placentu i na plod. Onemocnění probíhá v několika stádiích.



# *T. pallidum* – pokr.



Churchill, Albrecht z Valdštejna, Lenin, Gottwald,  
[Jaroslav Vrchlický](#), [Franz Schubert](#), [Gaetano Donizetti](#),  
[Heinrich Heine](#), K.H.Mácha,



## *T. pallidum* – pokr.





# *T. pallidum* – pokr.

## **Primární stádium**

Prvním projevem je tvrdý nebolestivý [vřed](#) (šankr) na místě průniku do organismu o velikosti někde mezi čočkou až pětikorunou. Stalo-li se tak v oblasti [genitálií](#), dochází zároveň k nebolestivému zduření tříselných [mízních uzlin](#) (zpravidla s několikadenním zpožděním). Došlo-li k průniku jinde (například v ústech), zduří se příslušné uzliny také (v tomto případě krční). Vřed se během 4-6 týdnů spontánně zhojí, čímž končí primární fáze nemoci.

## **Sekundární stádium**

V sekundárním stádiu se objevuje [vyrážka](#), která se nejvíce projevuje na trupu a v podobě bílých plošek. Poměrně často se objevuje i v ústech. Dochází ke zduření hlavních uzlin. Vyrážka i zduření časem mizí. Nějakou dobu se nic neděje, případně se opakovaně objevuje a mizí vyrážka a zduření uzlin.

## **Terciální stádium**

Období klidu (latentní stádium), během něhož se spirochety šíří organismem a nenápadně ho těžce poškozují, je nečekaně přerušeno terciární fází (tzv. pozdní syfilis, syphilis tarda), která přichází několik let po infekci (až 20 roků). Jsou postiženy [klouby](#), [srdce](#) a [cévní soustava](#) a [nervová soustava](#). Dochází k destrukci kožní [tkáně](#) v oblasti [obličeje](#), [nosní](#) přepážky a části patra. Objevují se těžké [poruchy osobnosti](#), [demence](#) a [progresivní paralýza](#). V rozvinutých zemích dorazí nemoc až do této fáze jen velmi výjimečně, v zemích chudých se ale ještě takové případy vyskytují častěji.

Penicilin, tetracyklin



# *T. pallidum* – pokr.

Léčba probíhá v nemocnici (zpravidla na dermatovenerologickém oddělení).

Spočívá v aplikaci antibiotik, obvykle penicilinu, nebo v případě alergie na penicilin nejčastěji tetracyklinu. Je-li syfilis diagnostikována v primární fázi, nebo časné sekundární fázi, nemoc se zpravidla obejde bez vážnějších následků.

V dalších fázích onemocnění je prognóza problematičtější, zejména pak ve fázi terciární, kdy léčba nedokáže napravit většinu již nastalých škod.

Albrecht z Valdštejna, Bedřich Smetana

Neexistuje vakcína

Syphilis is believed to have infected 12 million people in 1999 with greater than 90% of cases in the developing world.

Původ není znám, existují 3 teorie:

- byl rozšířen v Americe před Kolumbem
- ale přítomen asi i v Pompejích (zuby dvojčat – congenitální syf.)
- možná byl v Evropě před Kolumbem

- rtuť (1025 Persie – 1496 Verona)
- 1908 – Salvarsan (arzen) – ne pro pozdní stadium
- malárie (horečka - <http://cs.wikipedia.org/wiki/Malárie>)
- penicilín



Durer 1496

## Salvarsan

In 1910, Paul Ehrlich introduced the arsenic-based drug Salvarsan as a remedy for syphilis, a sexually transmitted disease that was exacting a toll on public health similar to that of HIV in recent decades. His methodical search for a specific drug to treat a specific disease marked the beginning of targeted chemotherapy.

As a medical student, Ehrlich was fascinated that aniline and other newly available synthetic dyes could be used to stain specific microbes. This early passion led him to predict that chemists would be able to create "magic bullets," agents that would "be able to exert their full action exclusively on the parasite harbored within the organism."

Ehrlich soon took aim at syphilis, a disease that was then endemic, incurable, and often deadly. Scientists had just fingered a tiny, parasitic bacterium known as *Treponema pallidum* as the root cause of syphilis. So Ehrlich assembled a multidisciplinary team of scientists—including chemist Alfred Bertheim and bacteriologist Sahachiro Hata—in hopes of finding a magic bullet capable of killing the syphilis-causing bacterium without harming its human host.

Ehrlich chose a known organic arsenic compound as a chemical starting point and, with Bertheim's help, synthesized hundreds of related organoarsenic compounds. Each of these compounds was tested for biological activity, toxicity, and distribution in rabbits infected with the syphilis-causing bacteria. Number 606 (Salvarsan) proved to be the best candidate. A single dose of the compound cured the rabbits.

The drug made its way to the clinic with speed unheard of in this day and age: Discovered in the fall of 1909, Salvarsan was in clinical use by 1910. Salvarsan proved to be amazingly effective, particularly when compared with the conventional therapy of mercury salts.

Manufactured by the German chemical company Hoechst, Salvarsan quickly became the most widely prescribed drug in the world.

It was the world's first blockbuster drug and remained the most effective drug for syphilis until penicillin became available in the 1940s.

Salvarsan's success represented the promise of modern medicine—that effective synthetic drugs could be devised to treat disease.

But it fell short of being a perfect magic bullet. Patients with later stages of syphilis didn't respond as well to the drug. And physicians found the drug difficult to handle and administer properly. Salvarsan was distributed in powdered form; doctors had to dissolve it in several hundred milliliters of pure, sterilized water and then inject it intravenously, taking care to minimize air exposure.

Some of the side effects attributed to Salvarsan turned out to be due to improper handling and administration of the drug, causing Ehrlich to observe that "the step from the laboratory to the patient's bedside ... is extraordinarily arduous and fraught with danger."

He poured himself into helping doctors standardize handling and administration of the drug and eventually developed an easier-to-handle derivative of Salvarsan with improved water solubility.

Despite the key role it played in medical and pharmaceutical history, the chemical structure of Salvarsan has remained controversial.

Ehrlich's synthesis involved reduction of 3-nitro-4-hydroxyphenylarsonic acid with dithionite, yielding a product with the empirical structure  $\text{RAs} \cdot \text{HCl} \cdot \text{H}_2\text{O}$  (where  $\text{R} = 3\text{-amino-4-hydroxyphenyl}$ ). By analogy with known azo compounds, Ehrlich postulated that Salvarsan contained an  $\text{As}=\text{As}$  double bond.

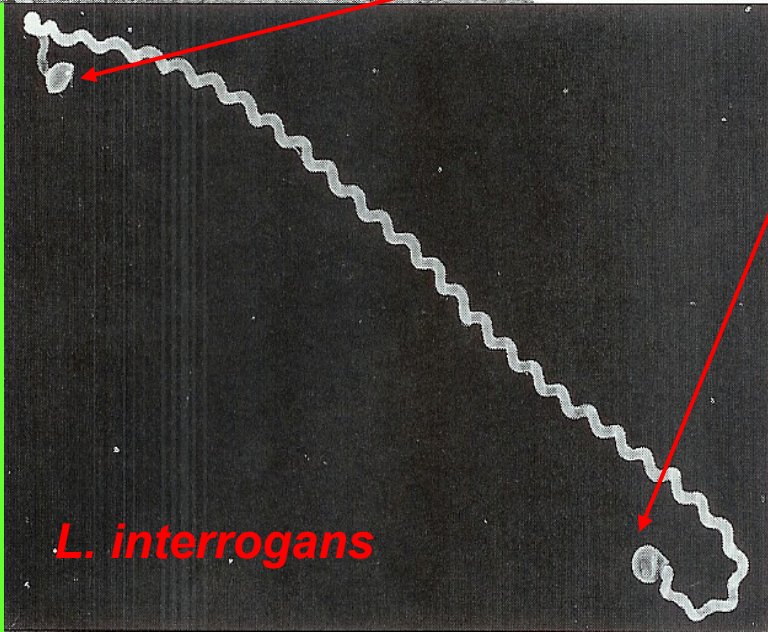
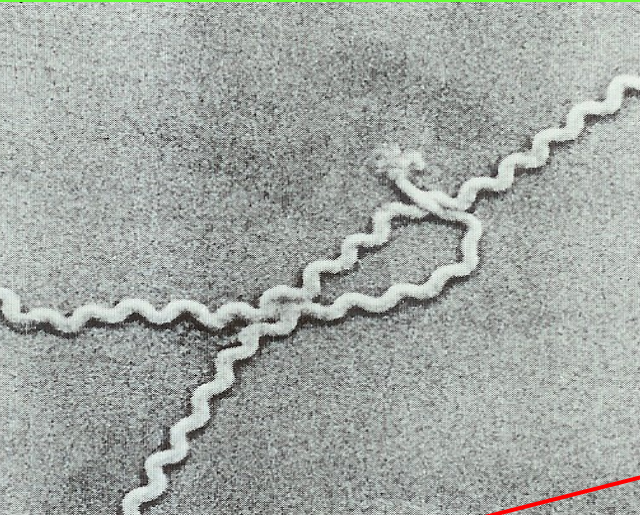
Although this assignment persists in textbooks and reference volumes even today, advances in inorganic chemistry called this structure into question in the late 1970s. Such  $\text{As}=\text{As}$  bonds are only stable in molecules with extensive steric protection, notes chemistry professor Brian K. Nicholson of the University of Waikato, Hamilton, New Zealand. It was suggested that the drug might have a polymeric or oligomeric structure instead, but full chemical characterization remained elusive.

That changed earlier this year, when Nicholson and colleagues reported that Salvarsan is in fact a mixture of cyclic  $\text{As}-\text{As}$  bonded species ([Angew. Chem. Int. Ed. 2005, 44, 941](#)). This mixture of  $(\text{RAs})_3$  and  $(\text{RAs})_5$  serves to slowly release  $\text{RAs}(\text{OH})_2$ , the oxidized species that likely gives rise to Salvarsan's antisyphilitic properties, he says. Now that Salvarsan's true chemical identity is known



# Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu

Kmen	<i>Spirochaetes</i>
Třída	<i>Spirochaetes</i>
Řád	<i>Spirochaetales</i>
Čeleď	<i>Leptospiraceae</i>
Rod	<i>Leptospira</i>



***L. interrogans***

Flexibilní helikální buňky (průměr 0,1  $\mu\text{m}$  a délka od 6 do 24  $\mu\text{m}$ ), pohyblivé. Jeden nebo oba konce buněk mají typické zahnutí; každá buňka obsahuje dva axiální bičíky (po jednom na každém konci). Obligátně aerobní, chemoorganotrofní. Leptospiry jsou rozšířené v půdě, sladké vodě nebo mořském prostředí odkud kolonizují zvířata včetně člověka. Způsobují leptospirózu, což je zoonóza primárně infikující divoká i domestikovaná zvířata, která jsou rezervoárem. Člověk se může nakazit leptospirózou jako náhodný hostitel (jako borelioza).

*L. interrogans* - způsobuje leptospirózu člověka – Weilova nemoc (třesavka, prudké bolesti hlavy, poškození jater, ledvin)

*L. biflexa* – saprofytická

Nejlehčí formy probíhají pod obrazem "chřipky" a často unikají pozornosti.

<http://nemoci.vitalion.cz/leptospiroza/>



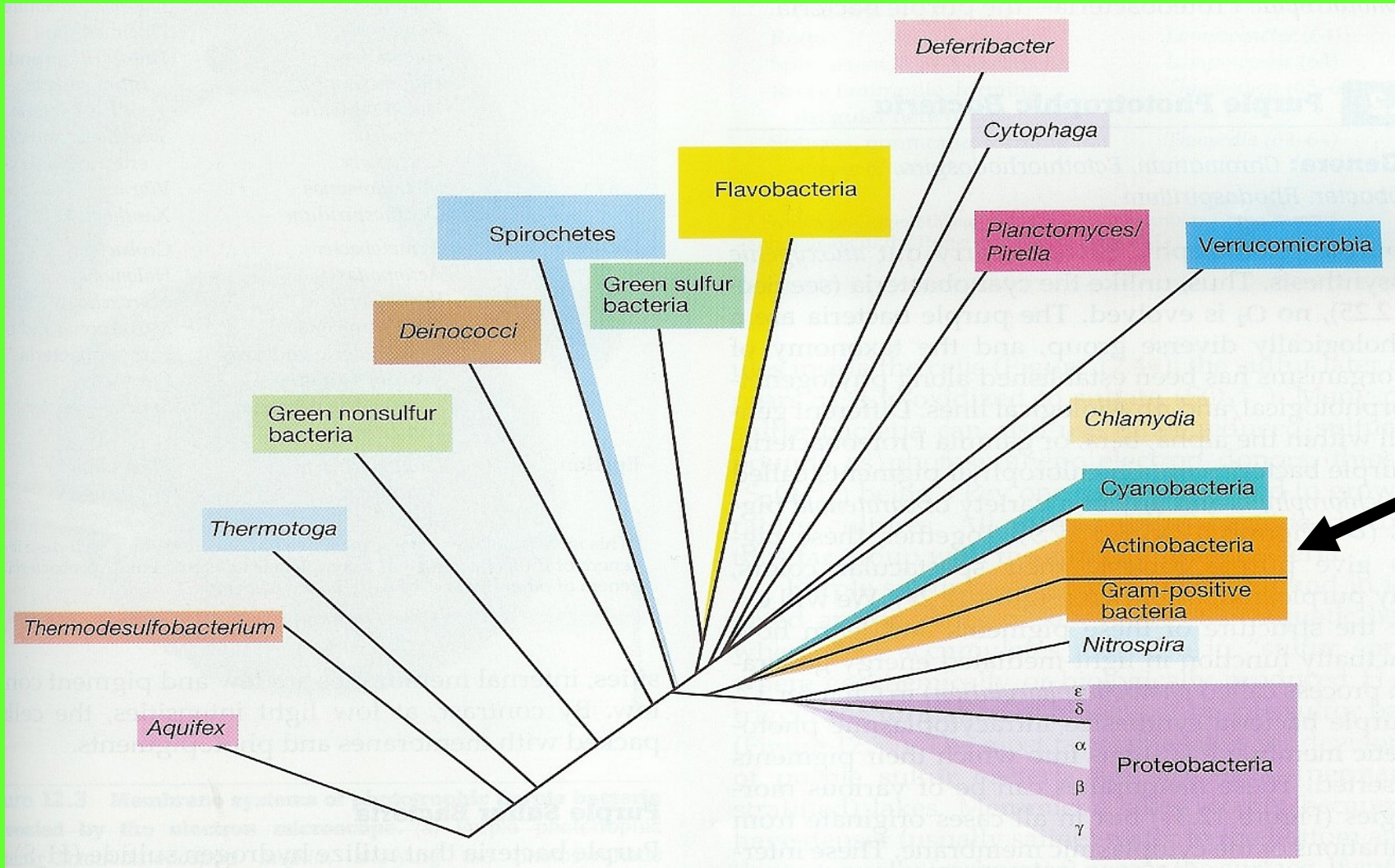
# Přehled systému bakterií

## Doména *Bacteria*

- Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu

Kmen		<b><i>Proteobacteria</i></b>
	Třída	<i>Alphaproteobacteria</i>
	Třída	<i>Gammaproteobacteria</i>
	Třída	<i>Deltaproteobacteria</i>
	Třída	<i>Epsilonproteobacteria</i>
Kmen		<b><i>Chlamydiae</i></b>
	Třída	<i>Chlamydiae</i>
Kmen		<b><i>Spirochaetes</i></b>
	Třída	<i>Spirochaetes</i>
Kmen		<b><i>Bacteroidetes</i></b>
	Třída	<i>Bacteroidetes</i>
	Třída	<i>Flavobacteria</i>
Kmen		<b><i>Fusobacteria</i></b>
	Třída	<i>Fusobacteria</i>
Kmen		<b><i>Cyanobacteria</i></b>
	Třída	<i>Cyanobacteria</i>

# Fylogenetický strom - BACTERIA



Strom je odvozen na základě sekvenční 16S ribozomální RNA (<http://rdp.cme.msu.edu>)

# System bakterií

- **Bakterie s buněčnou stěnou grampozitivního typu**

Kmen		<b><i>Actinobacteria</i></b>
	Třída	<i>Actinobacteria</i>
Kmen		<b><i>Firmicutes</i></b>
	Třída	<i>Clostridia</i>
	Třída	<i>Bacilli</i>
	Třída	<i>Mollicutes</i>



# *Actinobacteria*

- G+ bakterie s vysokým obsahem G+C
- jedny z nejčastějších půdních bakterií
- dekompozice org. materiálu – celulóza, chitin
- významná role v cyklu C, tvorbě humusu
- jiné žijí na rostlinách nebo živočišných včetně některých patogenů - *Mycobacterium*, *Corynebacterium*, *Nocardia*, *Rhodococcus*
- produkce sekundárních metabolitů
- 1940 Selman Waksman - streptomycin - Nobel Prize
- některé tvoří mycelium, spóry
- vůně půdy
- většina je aerobní

# Bakterie s buněčnou stěnou grampozitivního typu



*A. bovis*



Kmen	<i>Actinobacteria</i>
Třída	<i>Actinobacteria</i>
Řád	<i>Actinomycetales</i>
Čeleď	<i>Actinomycetaceae</i>
Rod	<i>Actinomyces</i>

Rovné, mírně zakřivené tyčky až štíhlá vlákna, která se větví. Krátké tyčky mohou mít ztlustělé konce nebo tvar “Y, V, T“, vyskytují se v palisádách, krátkých řetězcích nebo ve shlucích.

Nesporulující, nepohyblivé.

Tyčky se běžně větví.

Fakultativně anaerobní.

Většinou patogenní pro člověka a zvířata, vyskytují se převážně v ústní dutině a na sliznicích teplokrevných obratlovců. Průběh onemocnění je obvykle pomalý.

*A. bovis* – bovinní aktinomykózy

*A. israelii* – patogenní pro člověka i zvířata

*A. naeslundii* - patogenní pro člověka i zvířata

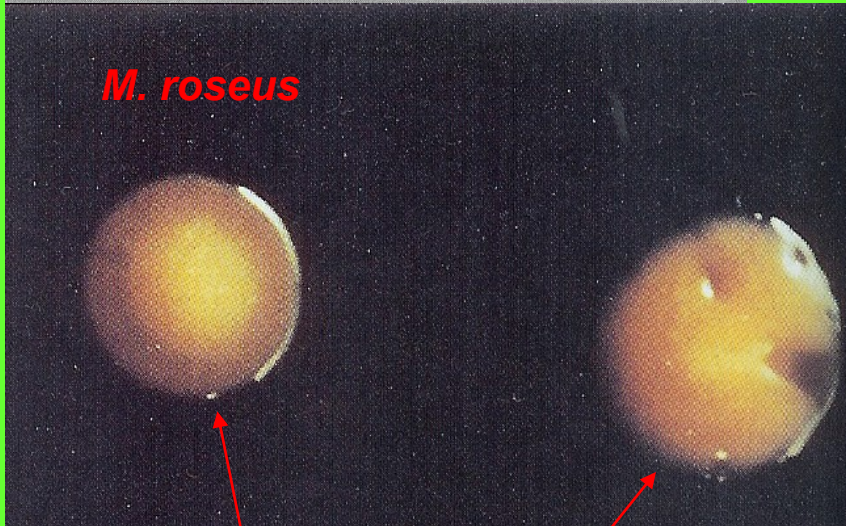
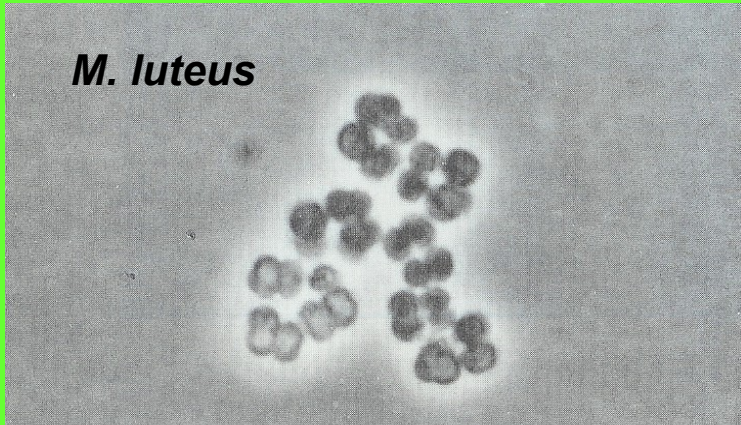
- penicilin

<http://en.wikipedia.org/wiki/Actinomycosis>

<http://www.dpi.nsw.gov.au/agriculture/livestock/health/specific/cattle/lumpy-jaw-wooden-tongue>



# Bakterie s buněčnou stěnou grampozitivního typu



Kolonie bez pouzdra a s pouzdrem

Kmen	<i>Actinobacteria</i>
Třída	<i>Actinobacteria</i>
Řád	<i>Actinomycetales</i>
Čeleď	<i>Micrococcaceae</i>
Rod	<i>Micrococcus</i>

Buňky sférické, vyskytující se po dvou, ve čtveřicích nebo v nepravidelných shlucích, ale ne v řetězcích.

Nepohyblivé, nesporulující, striktně aerobní.

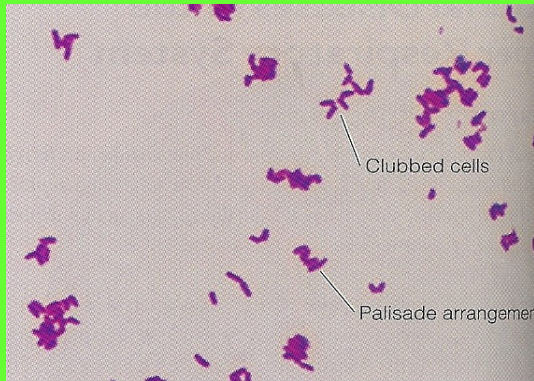
Mohou produkovat karotenoidní pigmenty (žlutý, světle oranžový).

Chemoorganotrofní s respiratorním metabolismem.

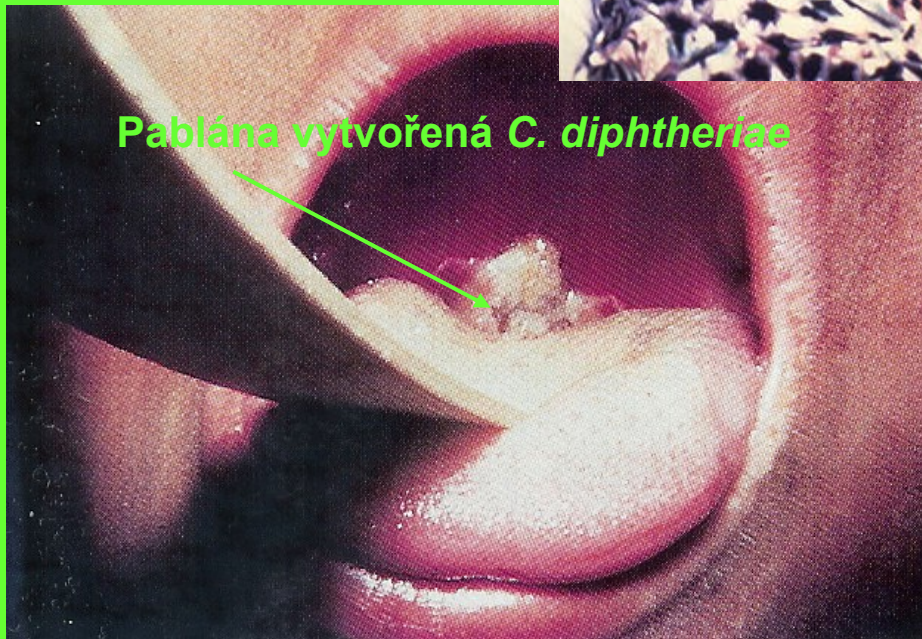
Primárně se vyskytují na kůži savců včetně člověka, dále se nacházejí v prostředí (půda, vzduch, voda) a v potravinách (maso); obecně jsou považovány za nepatogenní.



# Bakterie s buněčnou stěnou grampozitivního typu



***C. diphtheriae***



Kmen	<i>Actinobacteria</i>
Třída	<i>Actinobacteria</i>
Řád	<i>Actinomycetales</i>
Čeleď	<i>Corynebacteriaceae</i>
Rod	<i>Corynebacterium</i>

Rovné nebo mírně zakřivené štíhlé tyčky se zúženými nebo ztlustělými konci (kyjovité formy). Buňky obvykle uspořádané jednotlivě nebo ve dvojicích (formace písmene „V“) nebo v krátkých palisádách. Fakultativně anaerobní.

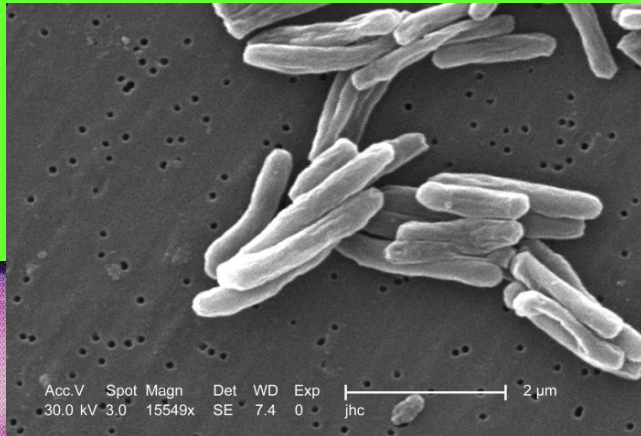
*C. diphtheriae* – původce záškrtu. Čistě lidský patogen. Vytvářejí se pablány, která pevně přilne k respirační sliznici. Produkuje toxin.

*C. pseudotuberculosis* – vyvolává záněty kůže a pneumonii. Patogenní pro zvířata, příležitostně i člověka

Záškrt se u nás jako na celém světě vyskytoval ve velkých epidemiích. V roce 1946 bylo zavedeno povinné očkování a onemocnění téměř vymizelo.

Zhoubný záškrt (při zanedbání prvotních fází) je vždy provázen komplikacemi a ty mohou vést k smrti. Pravidelně vzniká zánět srdečního svalu (myocarditis) a pozáškrtové obrny.

# Bakterie s buněčnou stěnou grampozitivního typu



Kmen *Actinobacteria*  
Třída *Actinobacteria*  
Řád *Actinomycetales*  
Čeď *Mycobacteriaceae*  
Rod *Mycobacterium*

Rovné nebo mírně zakřivené tyčky, občas se větvící. Mohou se vyskytnout vlákna nebo “mycélium“ připomínající struktury, které se snadno rozpadají do tyček a koků.

Aerobní a chemoorganotrofní. Mykobakterie jsou rozšířené v půdách a vodách, některé druhy jsou obligátní paraziti a patogeni obratlovců.

*M. tuberculosis* – původce tuberkulózy, projevuje se jako onemocnění jednotlivých orgánů nebo v generalizované formě; patogenní pro člověka, primáty a jiné živočichy.

*M. bovis* – čerstvé izoláty jsou mikroaerofilní; původně izolován z tuberkulózy skotu, ale obecně je tento druh patogenní pro většinu zvířat; pasterizace mléka v 1.pol. 20.st. největší ztráty na dobytku

*M. tuberculosis* ve sputu





# ***TBC***

- ***tuberculum*** - hrbolek, nádorek
- TBC, dříve souchotiny, či úbytě (oubytě)
- nejčastější příčinou smrti bakteriálního původu na světě
- 2005 zemřelo ve světě na tuberkulózu 1,6 miliónu lidí, což odpovídá 4400 úmrtí na den
- neléčený člověk s otevřenou formou tuberkulózy nakazí ročně v průměru dalších 10-15 lidí
- ***M. bovis*** – tuberkulóza u skotu - může nakazit lidi (pasterizace mléka)
- ve 30. letech minulého století 40% krav v UK nakažených – 50.000 lidí se ročně nakazilo
- přenos na skot - jezevci



# Bakterie s buněčnou stěnou grampozitivního typu



Neutrální lepróza



Progresivní lepróza

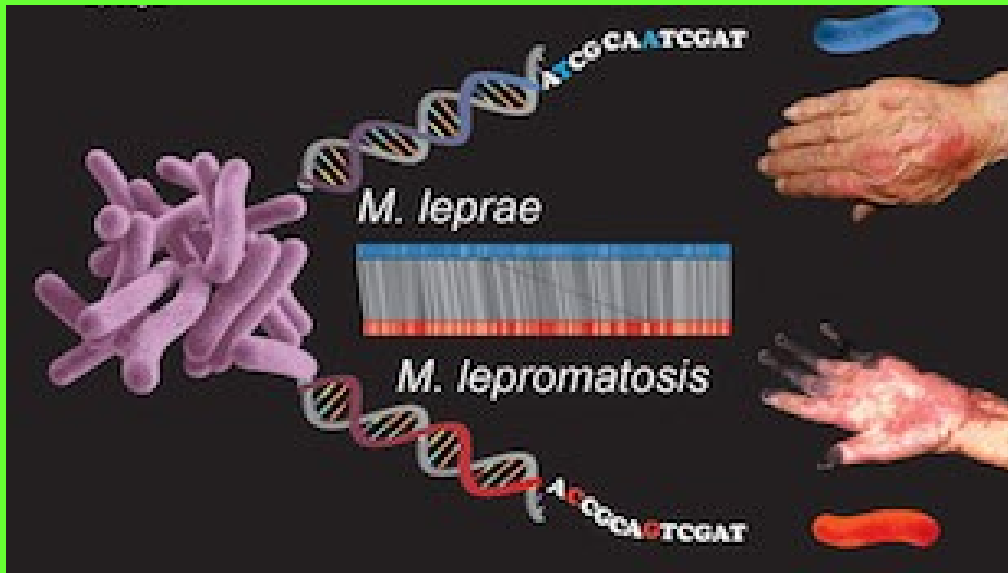
Kmen	<i>Actinobacteria</i>
Třída	<i>Actinobacteria</i>
Řád	<i>Actinomycetales</i>
Čeď	<i>Mycobacteriaceae</i>
Rod	<i>Mycobacterium</i>

*M. kansasii* – izolován z plicních lézí člověka, je patogenní a způsobuje onemocnění připomínající tuberkulózu

*M. leprae* – obligátně intracelulární parazit, způsobuje onemocnění kůže, varlat a periferního nervového systému známého pod jménem malomocenství neboli lepra

Ačkoli se zdá, že se jedná o onemocnění minulých staletí, ještě dnes se odhaduje, že celkový počet nemocných dosahuje až 11 miliónů.





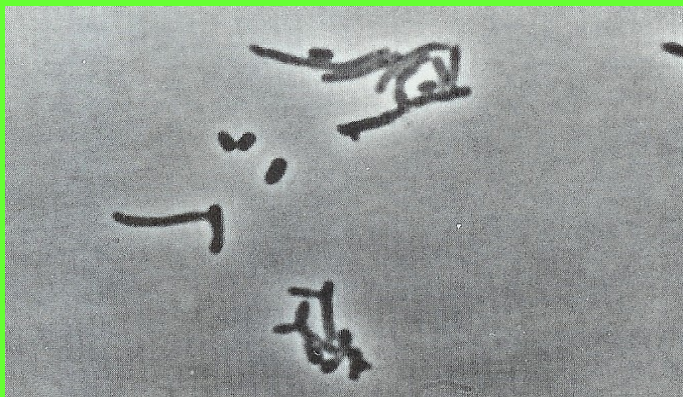
**P. Singh et al., “Insight into the evolution and origin of leprosy bacilli from the genome sequence of *Mycobacterium lepromatosis*,” *PNAS*, doi:10.1073/pnas.1421504112, 2015.**

Until recently, researchers believed that leprosy was caused by a single species of bacterium, *Mycobacterium leprae*. To the surprise of the leprosy research community, in 2008, a pathologist discovered an entirely new leprosy-causing species in the liver of a deceased man from Mexico. A new full genome sequence of the organism, *M. lepromatosis*, shows that despite having diverged 13.9 million years ago, the two leprosy-causing species are nevertheless remarkably similar, genetically.



# Bakterie s buněčnou stěnou grampozitivního typu

Kmen *Actinobacteria*  
Třída *Actinobacteria*  
Řád *Actinomycetales*  
Čeleď *Nocardiaceae*  
Rod *Nocardia*



Mírně či silně větvená vegetativní vlákna (hyfy) substrátového mycélia rostoucí na povrchu nebo pronikající do agaru, někdy tvoří i vzdušné mycélium.

Vlákna substrátového mycélia se rozpadají do tyčkovitých či kokovitých nepohyblivých částic.

Aerobní, mezofilní, chemoorganotrofní.  
Nokardie jsou hojné v půdě a ve vodě.

Dále byly zjištěny na rostlinách, hmyzu a i u zvířat. Některé kmeny jsou oportunně patogenní.

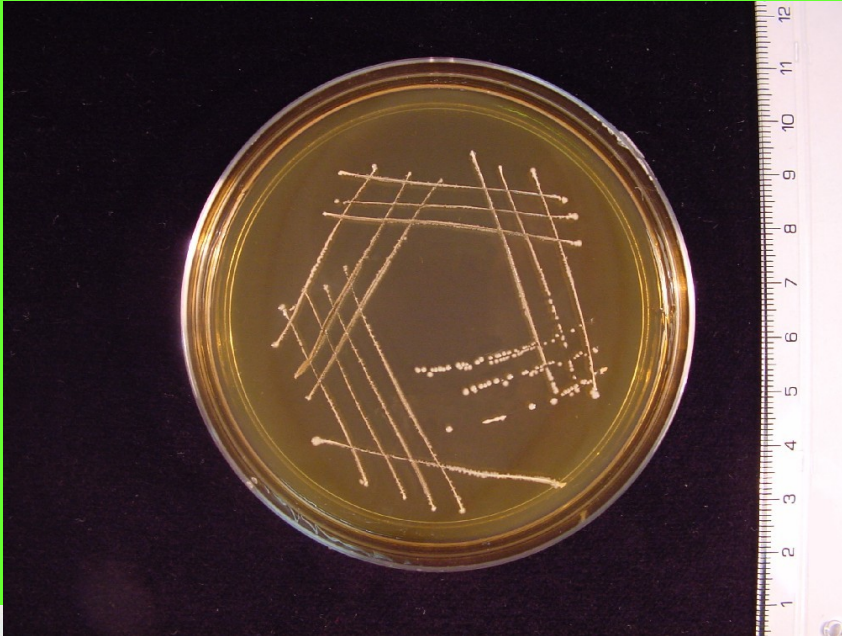
*N. asteroides* – vyskytuje se saprofytycky v půdě. U člověka a zvířat vyvolávají ohraničené infekce plic, mozku, kůže nebo oka (oslabení jedinci – děti, staří lidé, HIV).

*N. brasiliensis* – vyskytuje se v tropických oblastech.

Infekce mozku – 80% mortalita  
Ostatní – 50% (i léčená); 6 měsíců až trvale

# Bakterie s buněčnou stěnou grampozitivního typu

Kmen	<i>Actinobacteria</i>
Třída	<i>Actinobacteria</i>
Řád	<i>Actinomycetales</i>
Čeleď	<i>Propionibacteriaceae</i>
Rod	<i>Propionibacterium</i>



Velmi pleomorfní tyčky, často kyjovitěho tvaru (jeden konec zúžený a druhý zakulacený), některé buňky jsou kokoidní či se větví (tvar písmen “V” nebo “Y”), ale nikdy netvoří vlákna. Jsou nepohyblivé, nesporulující, fakultativně anaerobní s variabilní aereotolerancí. Chemoorganotrofní.

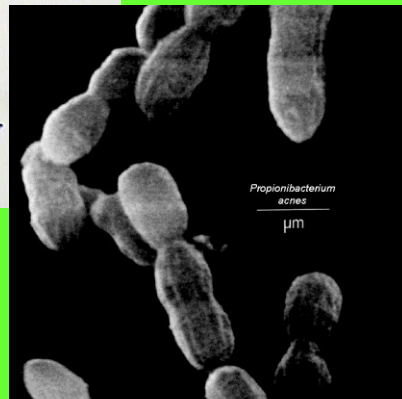
Druhy ze sýrů či jiných mléčných výrobků  
*P. freudenreichii* – izolován z mléka, sýrů, různých potravin

*P. freudenreichii*

Druhy typické pro kůži člověka (mohou být i jinde, např. střevní trakt)

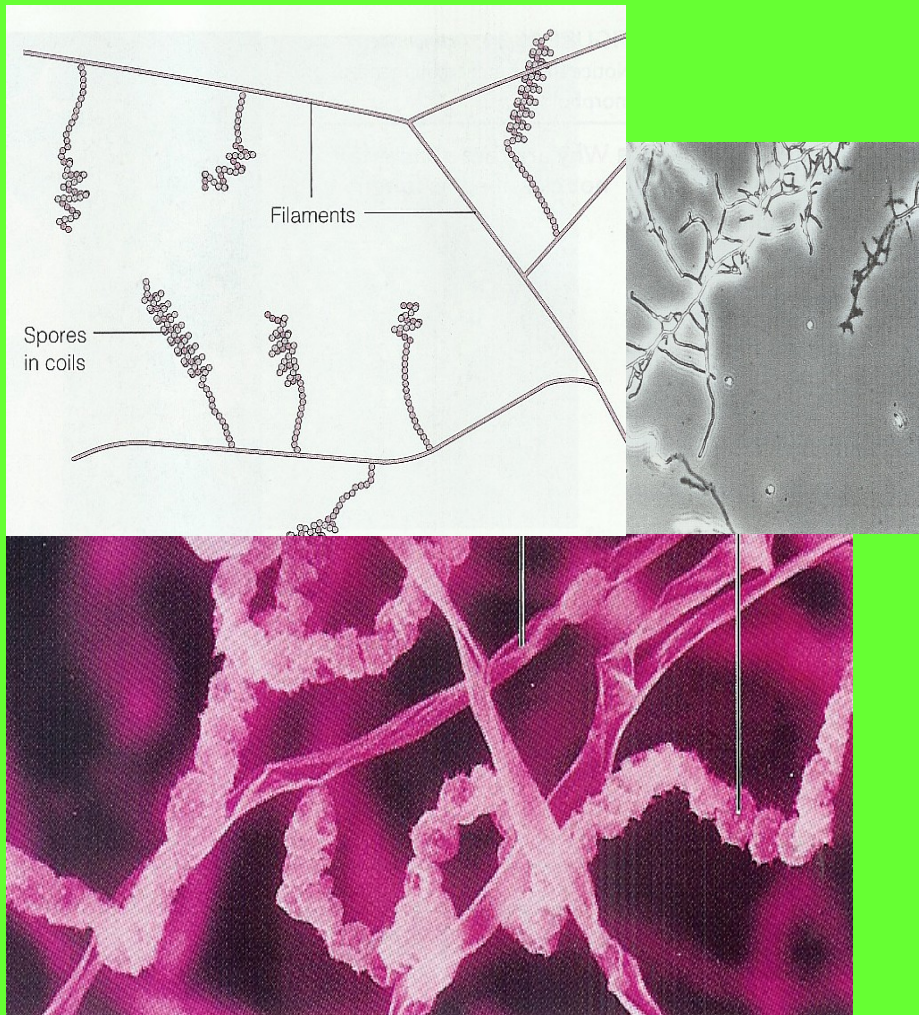
*P. acnes* – kůže člověka, původce akné, klinický materiál

*P. granulosum* – součást při endogenních infekcích různého typu





# Bakterie s buněčnou stěnou grampozitivního typu



Kmen	<i>Actinobacteria</i>
Třída	<i>Actinobacteria</i>
Řád	<i>Actinomycetales</i>
Čeď	<i>Streptomycetaceae</i>
Rod	<i>Streptomyces</i>

**Vegetativní vlákna tvoří větvené mycélium, které se jen zřídka rozpadá. Vzdušné mycélium v době zralosti tvoří řetízky ze tří i více spórami. Aerobní, chemoorganotrofní. Většinou mezofilní, některé druhy jsou psychofilní či termofilní. Většina zástupců produkuje jedno nebo více antibiotik a jiné látky. Streptomycety jsou rozšířené v půdě (geosmin), včetně kompostu, a dále ve vodním prostředí. Většinou jsou saprofytické, pouze několik druhů je patogenních pro člověka a zvířata, jiné jsou fytopatogenní. Je popsáno téměř 400 druhů.**

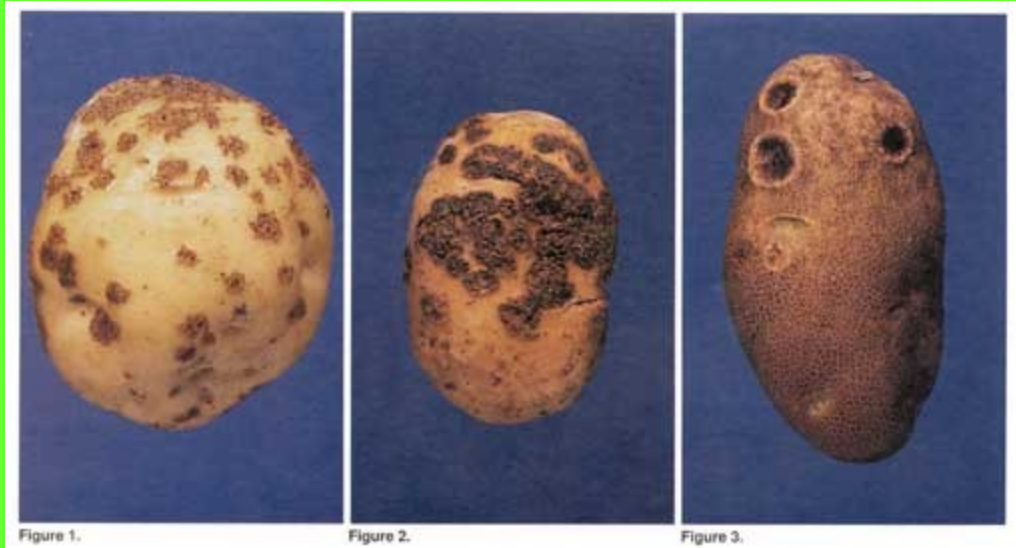
***S. somaliensis* – patogen člověka**

***S. scabies* - fytopatogenní (brambory)**

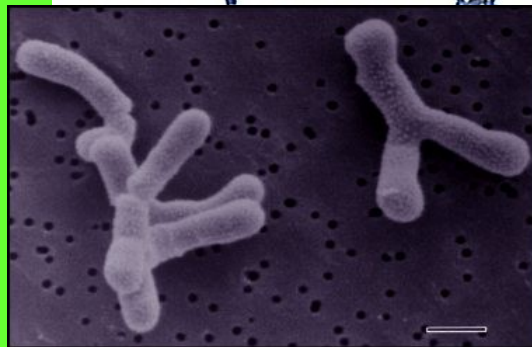
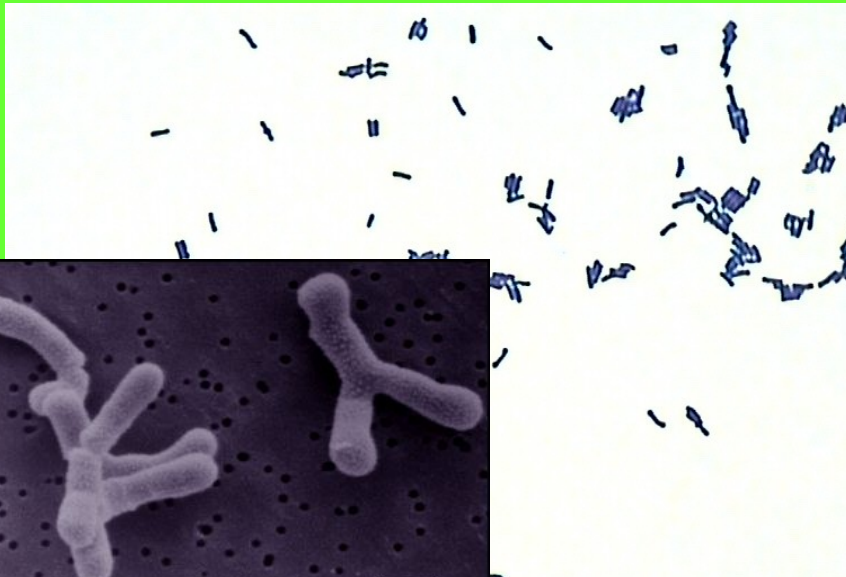
***S. somaliensis***



# ***S. scabies***



# Bakterie s buněčnou stěnou grampozitivního typu



Kmen *Actinobacteria*  
Třída *Actinobacteria*  
Řád *Bifidobacteriales*  
Čeď *Bifidobacteriaceae*  
Rod *Bifidobacterium*

Tyčky rozmanitého tvaru, obvykle mírně zakřivené a kyjovité a často ztlustělé nebo s náznaky větvení. Uspořádané jednotlivě, po dvou ve tvaru “V“, občas v řetízcích, palisádách nebo růžicích. Anaerobní, chemoorganotrofní. Nacházejí se v ústech a ve střevním traktu teplokrevných obratlovců včetně člověka, u hmyzu nebo v odpadních vodách. Druhově je to početný rod.

*B. bifidum* – potraviny, klinický materiál (tlusté střevo, pochva)

*B. longum* – nejistý patogen u člověka

*B. dentium* – humánní klinický materiál (zubní kaz, endokarditidy)

Tlusté střevo, vagína, ústa, probiotikum

# *Firmicutes*

- *firmus* - silný, *cutis* – skin – buněčná stěna
- některé vůbec nemají buněčnou stěnu (Mollicutes – mykoplazma) nebarví se podle Grama, ale nemají druhou membránu jako ostatní G-
- některé mají porézní vnější membránu – barví se G-
- dnes se jim říká G+ bakterie s nízkým obsahem G+C
- častá produkce endospor
- patří sem i významní patogeni
- patří sem i mnohé známé rody – *Bacillus*, *Listeria*, *Staphylococcus*, *Streptococcus*, *Enterococcus*, *Clostridium*



# Bakterie s buněčnou stěnou grampozitivního typu

Krystal toxinu

Spóra

Kmen *Firmicutes*  
Třída *Clostridia*  
Řád *Clostridiales*  
Čeleď *Clostridiaceae*  
Rod *Clostridium*

Buňky mají tvar pleomorfních tyček (rovné nebo mírně zakřivené) uspořádané po dvou nebo v krátkých řetězcích. Většinou pohyblivé peritrichálními bičíky. Většina druhů je chemoorganotrofních, některé jsou chemolitotrofní. Klostridia se běžně vyskytují v půdě, stokovém kalu, mořských sedimentech, rozkládajícím se rostlinném materiálu, živočišných a rostlinných produktech, ve střevním traktu živočichů, jícnu obratlovců, u hmyzu.

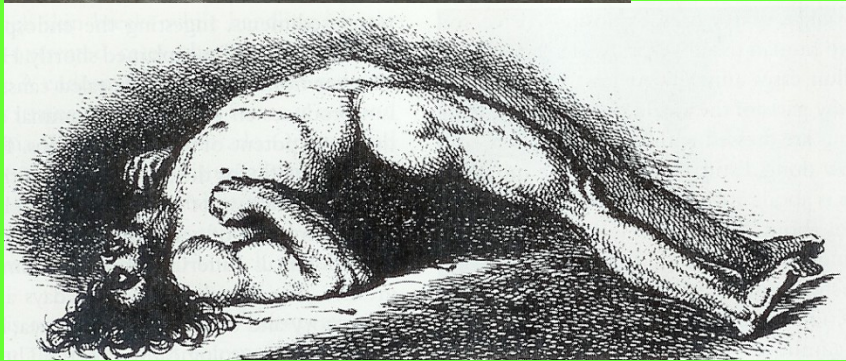
*C. botulinum* – produkuje 7 typů toxinů - původce botulismu. Je izolován z půdy, vody, sedimentů, potravin, střeva živočichů včetně člověka Jeho **smrtelná dávka** je 300 pg/kg (100g/lidstvo; biol. zbraň-rozpad na vzduchu-1 den;vrásky)

*C. perfringens* – produkuje řadu toxinů vyskytuje se v půdě, střevního traktu živočichů včetně člověka. Způsobuje asi 80% případů klostridiové myonekrózy (plynové gangrény- snět'). U člověka jsou infekce často polymikrobní (neléčená 100% umrtnost – 24h)

*C. septicum* – produkcí letálního hemolytického a nekrotizujícího alfa toxinu vyvolává smrtelné infekce člověka a zvířat

*C. butyricum* – izolováno z půdy, sladkovodních i mořských sedimentů, stolice člověka a zvířat. Využívá se i pro výrobu organických rozpouštědel.

*C. tetani*

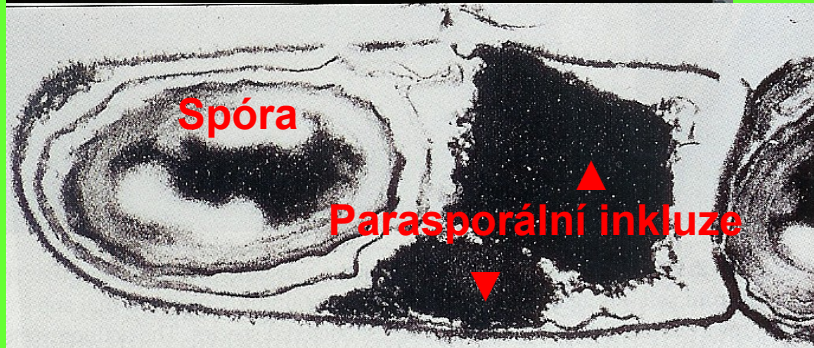
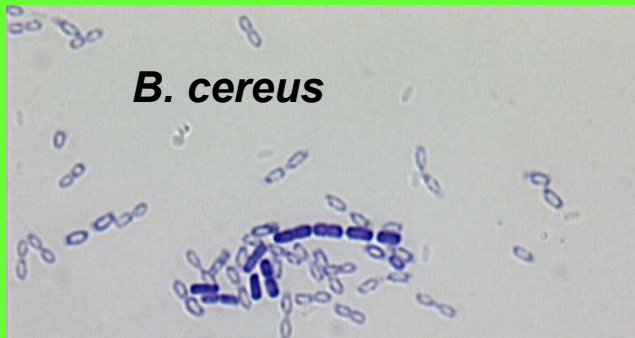


## ***C. tetani***

- vstup přes poraněnou kůži
- po rozvinutí infekce produkce 2 exotoxinů - tetanolysin a tetanospasmin.
- geny pro produkci toxinu na plazmidu
- tetanolysin – žádná známá funkce v *C. tetani*
- tetanospazmin – neurotoxin – klinické projevy tetanu
- toxin uvolňován při rozpadu bakterií (sporulace, vegetativní růst)
- jedním z nejsilnějších jedů – smrtelná dávka 2,5 ng/kg (175ng/70 kg)
- silnější je jen botulotoxin (*C. botulinum*)
- a difterický toxin (*Corynebacterium diphtheriae* – záškrt)



# Bakterie s buněčnou stěnou grampozitivního typu



Kmen *Firmicutes*  
Třída *Bacilli*  
Řád *Bacillales*  
Čeleď *Bacillaceae*  
Rod *Bacillus*

Buňky jsou tvaru rovných tyček uspořádaných ve dvojicích nebo v řetězcích a jsou pohyblivé peritrichálními bičíky. Aerobní nebo fakultativně anaerobní.

*B. cereus* rozšířený v půdě. U člověka je znám jako původce enterotoxikóz a devastujících infekcí oka.

*B. mycoides* – vyskytuje se hojně v půdě, kolonie mají typický rhizoidní růst.

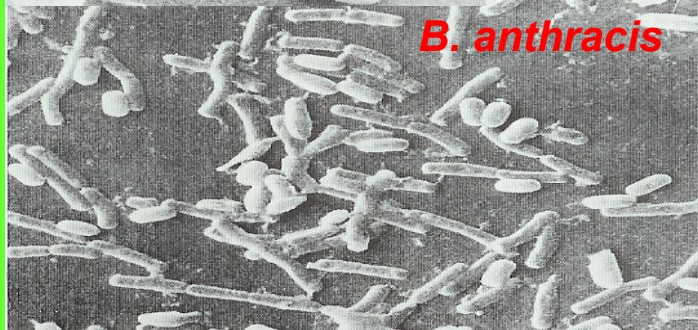
*B. thuringiensis* – výskyt v půdě, produkcí toxinů je patogenní pro hmyz. Toxiny a parasporální inkluze jsou používány jako bioinsekticid. Ojedinele je nacházen klinickém materiálu (infekce savců).

◀ *B. thuringiensis*



# Bakterie s buněčnou stěnou grampozitivního typu

Klíčící spóry *B. anthracis*



Kmen *Firmicutes*  
Třída *Bacilli*  
Řád *Bacillales*  
Čeď *Bacillaceae*  
Rod *Bacillus*

*B. anthracis* – původce antraxu (sněť slezinná, uhlák) je onemocnění rozšířené především u býložravců, u nichž je velmi těžký průběh a vysoká smrtnost. Hlavním faktorem virulence je produkce antraxového toxinu a tvorba pouzdra.

Plicní (úmrtnost 100%) -10-20 tis.spor -DL, střevní (25-60%) a kožní (20%) anthrax.

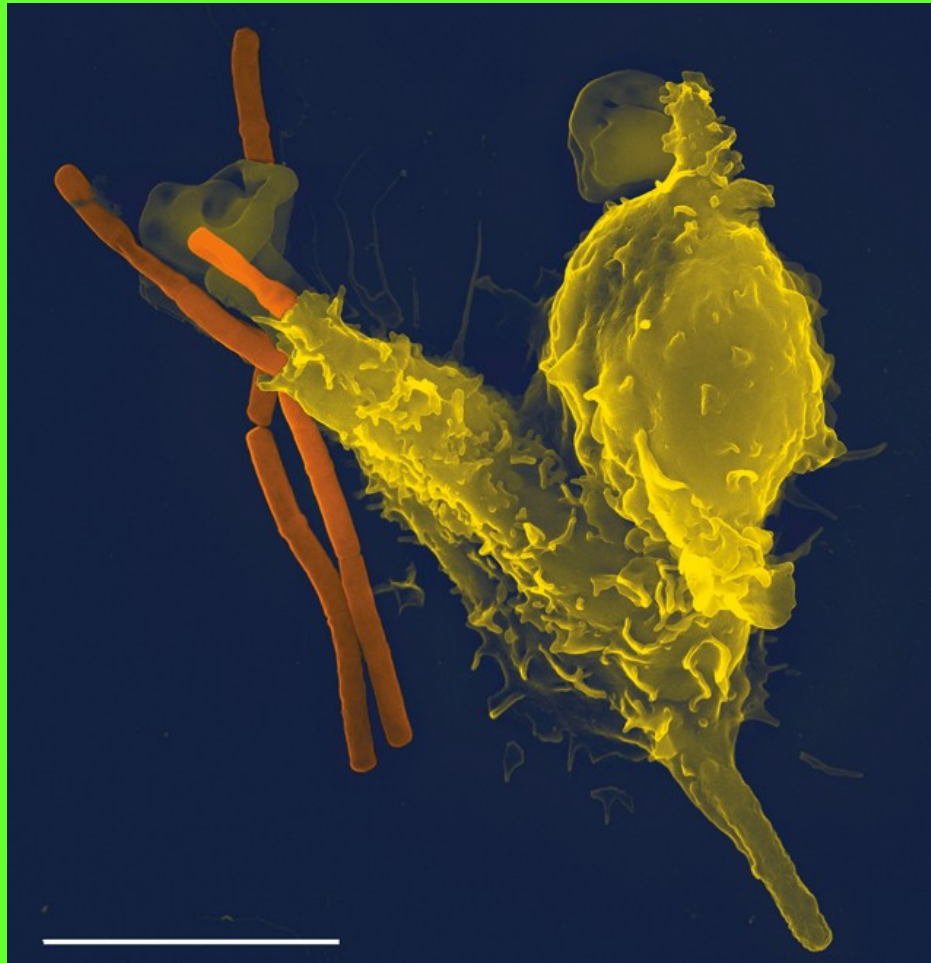
Koch –kultivuje; Pasteur – 1. očkování oslabenou kulturou - kuřata

Používán je jako vhodný agens pro vedení biologické války (Japonsko v Číně; stovky tun vyrobeny v SSSR; USA)

*B. licheniformis* – velmi častý výskyt v půdě a kompostech. Vegetativní buňky jsou termotolerantní (růst při 56°C). Vyskytuje se i v potravinách a je původcem otrav z potravin.

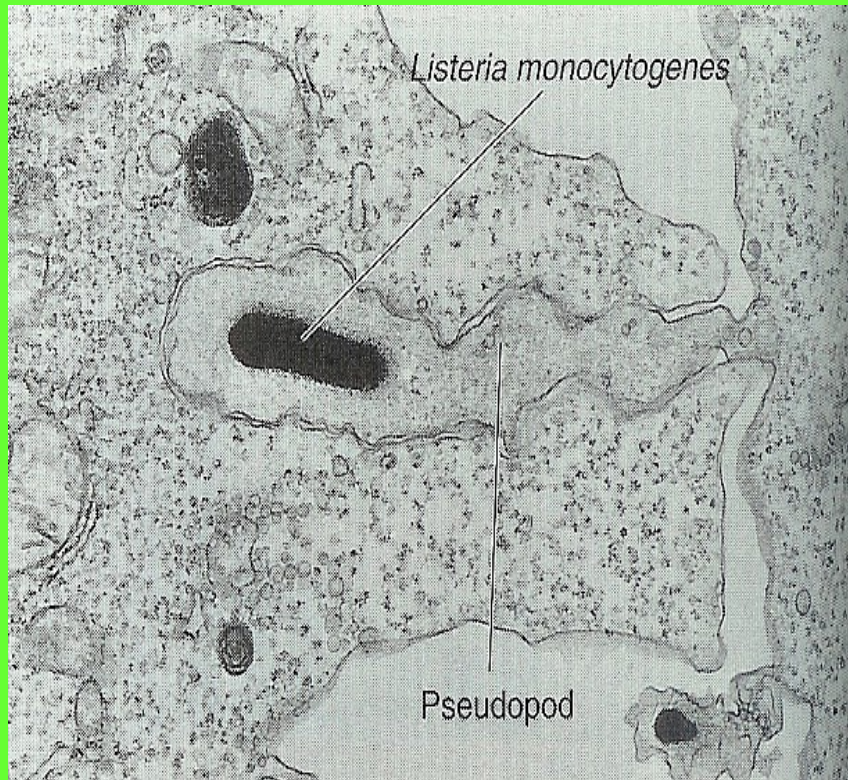
# Anthrax

Neutrophil (žlutě), typ bílých krvinek účinkujících v zánětu, atakuje *Bacillus anthracis* (oranžově)





# Bakterie s buněčnou stěnou grampozitivního typu



Kmen	<b>Firmicutes</b>
Třída	<b>Bacilli</b>
Řád	<b>Bacillales</b>
Čeleď	<b>Listeriaceae</b>
Rod	<b>Listeria</b>

**Pravidelné krátké tyčky se zakulacenými konci, vyskytují se jednotlivě nebo v krátkých řetězcích. Jsou pohyblivé několika peritrichálními bičíky. Fakultativně anaerobní, chemoorganotrofní s fermentačním metabolismem. V prostředí jsou velmi časté. Některé druhy jsou patogenní pro člověka a zvířata.**

***L. monocytogenes* -  $\beta$ -hemolytická (produkce hemolyzinu – *listeriolysin O*), izolována ze stočního kalu, půdy, siláže, stolice zdravých zvířat i člověka. U člověka způsobuje listeriózu – u zdravých lidí příznaky podobné chřipce, ale i potraty. Nejzávažnější průběh je u novorozenců – časně po porodu infekce meningů s následnou sepsí. U dospělých nejčastěji respirační onemocnění, infekce ran, močového ústrojí, někdy meningů.**

***L. innocua* – nehemolytická, izolována z půdy, rostlin, stolice člověka i zvířat, nepatogenní.**



# Bakterie s buněčnou stěnou grampozitivního typu

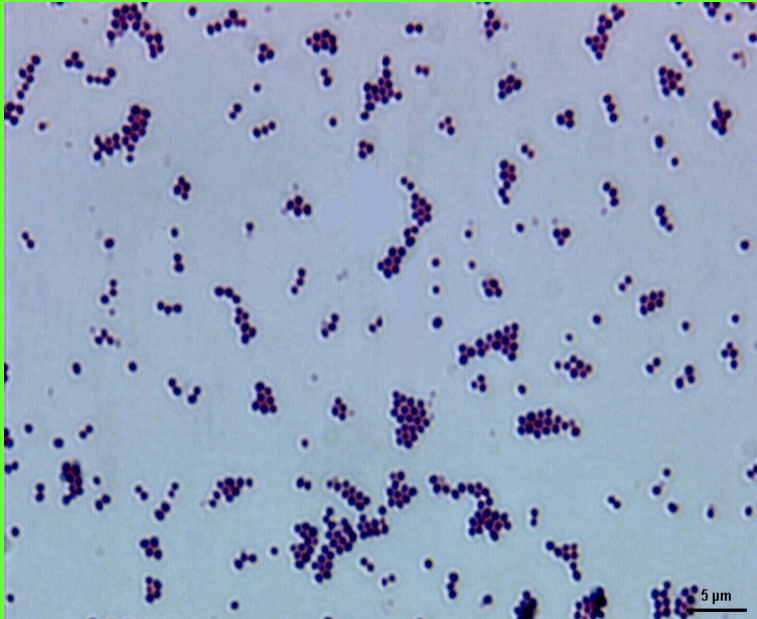
Kmen *Firmicutes*

Třída *Bacilli*

Řád *Bacillales*

Čeď *Staphylococcaceae*

Rod *Staphylococcus*



Buňky sférické, vyskytující se jednotlivě, po dvou nebo v nepravidelných shlucích. Fakultativně anaerobní, chemoorganotrofní.

Nejčastěji se vyskytuje na kůži, kožních žlázách a sliznicích širokého rozmezí teplotokrevných obratlovců.

Často jsou izolovány z různých potravin živočišného původu (maso, mléko, sýr) a z nejrůznějších zdrojů v prostředí, jako je půda, voda, písek a prach.

Některé druhy jsou oportunně patogenní až patogenní pro člověka i zvířata. Produkují extracelulární toxiny.

Koaguláza pozitivní, novobiocin citlivé stafylokoky:

*S. aureus* subsp. *aureus* – člověk a zvířata

Koaguláza negativní, novobiocin citlivé stafylokoky:

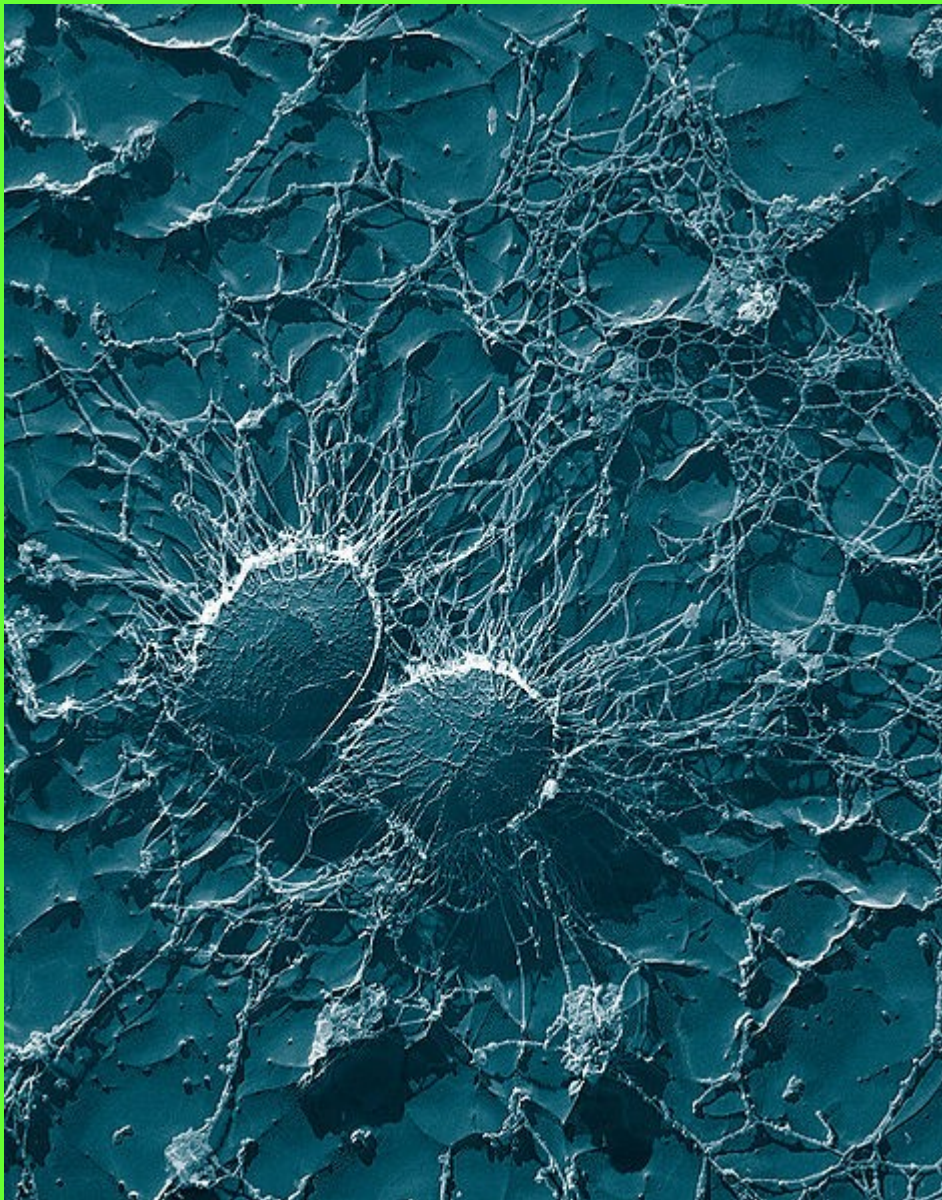
*S. epidermidis* – primárním zdrojem je lidská kůže

Koaguláza negativní, novobiocin rezistentní:

*S. saprophyticus* subsp. *saprophyticus* – nepříliš častý na kůži člověka a savců (infekce močových cest)

*S. aureus* subsp. *aureus*

## *Staphylococcus aureus*



*Staphylococcus aureus* produces an enzyme that causes blood to clot, which may shield the bacteria from host immune cells.

- zlatý stafylokok
- nejčastější příčina stafylokokových infekcí
- sférická bakterie častá v nose , na kůži 20% populace
  
- způsobuje mnoho nemocí počínaje impetigem, vřídky, folikulitidy, furunkly, karbunkuly, abscesy až po životu nebezpečné pneumonie, meningitidy, osteomyelitidy, endokarditidy, septikémie
  
- infikuje kůži, měkké tkáně, respirační trakt, klouby, poranění

**MRSA - "Methicillin Resistant Staphylococcus Aureus"**



# MRSA

Scanning electron micrograph of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*, or MRSA, (yellow) and a human neutrophil (red).

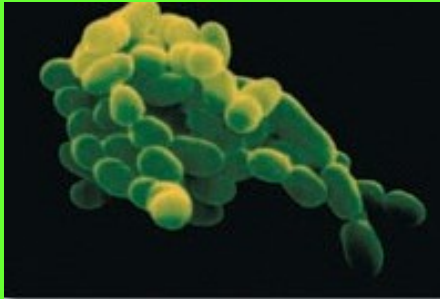




Bacterial pathogen methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*, or MRSA (pictured in red), destroys human immune cells (debris in yellow).



# Bakterie s buněčnou stěnou grampozitivního typu



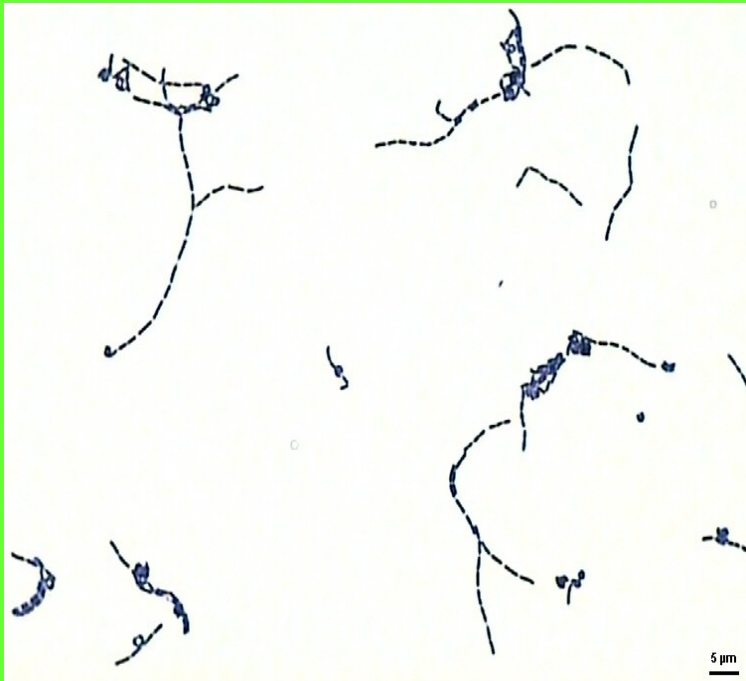
Kmen *Firmicutes*

Třída *Bacilli*

Řád *Lactobacillales*

Čeleď *Lactobacillaceae*

Rod *Lactobacillus*



*L. delbrueckii* subsp. *delbrueckii*

Buňky mají tvar pravidelných tyček, obvykle delší, občas také kokovité, uspořádané v palisádách nebo krátkých řetězcích.

Nesporulující. Fakultativně anaerobní, občas mikroaerofilní.

Laktobacily jsou přítomné v nejrůznějších potravinách živočišného nebo rostlinného původu v nápojích, kysaném zelí, silážích; běžně osídlují gastrointestinální trakt ptáků a savců a vaginu savců, tvoří část normální ústní flóry mnoha teplokrevných živočichů včetně člověka. Pouze vzácně jsou patogenní.

*L. delbrueckii* subsp. *delbrueckii* – fermentovaný rostlinný materiál

*L. delbrueckii* subsp. *lactis* – mléko, sýr, granulované krmivo

*L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* – jogurt (startér), sýr

*L. acidophilus* – střevní trakt člověka a zvířat, ústa a vagina



# Bakterie s buněčnou stěnou grampozitivního typu

Kmen *Firmicutes*  
Třída *Bacilli*  
Řád *Lactobacillales*  
Čeď *Leuconostocaceae*  
Rod *Leuconostoc*

Buňky sférické nebo ovoidní, uspořádané po dvou nebo v řetězcích. Fakultativně anaerobní, chemoorganotrofní.

Hojné na rostlinách a v mléčných produktech. Běžně se vyskytují i v jiných potravinách.

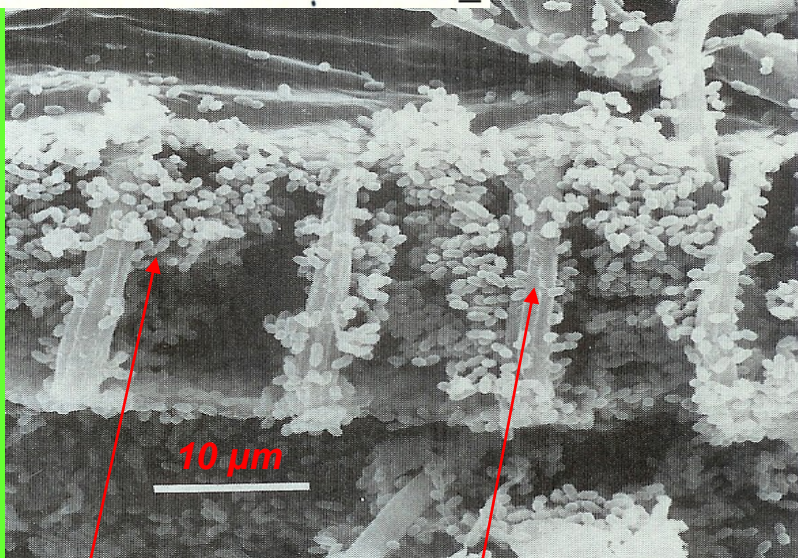
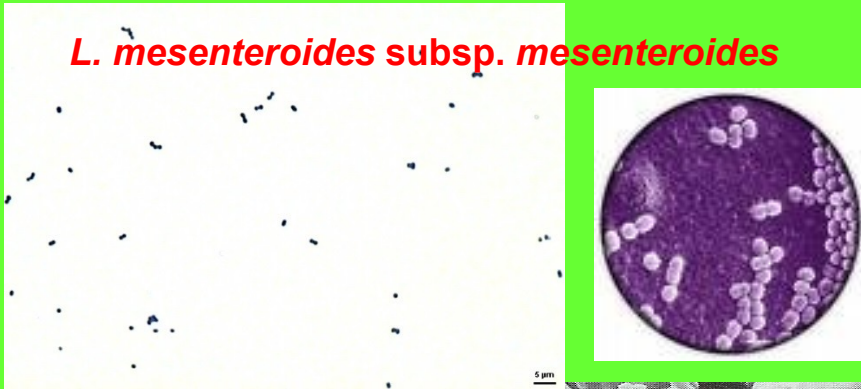
Obecně jsou považovány za nepatogenní pro rostliny i živočichy.

*L. mesenteroides* subsp. *mesenteroides* – fermentovaný rostlinný materiál, ojedinělý výskyt v klinickém materiálu

*L. mesenteroides* subsp. *dextranicum* – výskyt v mléce a mléčných výrobcích

*L. carnosum* – nejčastěji ve vakuově baleném mase skladovaném při nízké teplotě

*L. mesenteroides* subsp. *mesenteroides*



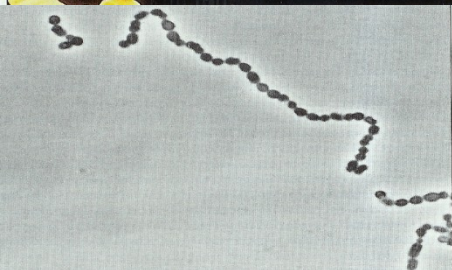
Leuconostok vázaný na tubulární stěnu okurky



# Bakterie s buněčnou stěnou grampozitivního typu

Kmen *Firmicutes*  
Třída *Bacilli*  
Řád *Lactobacillales*  
Čeleď *Streptococcaceae*  
Rod *Streptococcus*

*Streptococcus pyogenes*



Buňky sférické nebo ovoidní, vyskytující se ve dvojicích nebo v řetězcích, nepohyblivé. Fakultativně anaerobní. Některé druhy tvoří pouzdra. Chemoorganotrofní.

Streptokoky jsou komenzály nebo parazity obratlovců, osídlují převážně ústní dutinu a horní část respiračního traktu.

Některé druhy jsou vysoce patogenní pro člověka a zvířata. Pro průnik do plic, krevního oběhu, na meningy a do tkání využívají streptokoky **invaziny**.

Řada druhů se v prostředí vyskytuje jako saprofyti.

## Pyogenní $\beta$ -hemolytické streptokoky

*S. pyogenes* – u člověka vyvolává hnisavé infekce laryngu nebo kůže. Nejpatogennější druh rodu *Streptococcus*.

*S. agalactiae* - u skotu způsobují mastitidu. U člověka původci novorozeneckých meningitid a sepsí. U dospělých způsobují komplikace v šestinedělí nebo hnisavé artritidy, infekce ran atd.

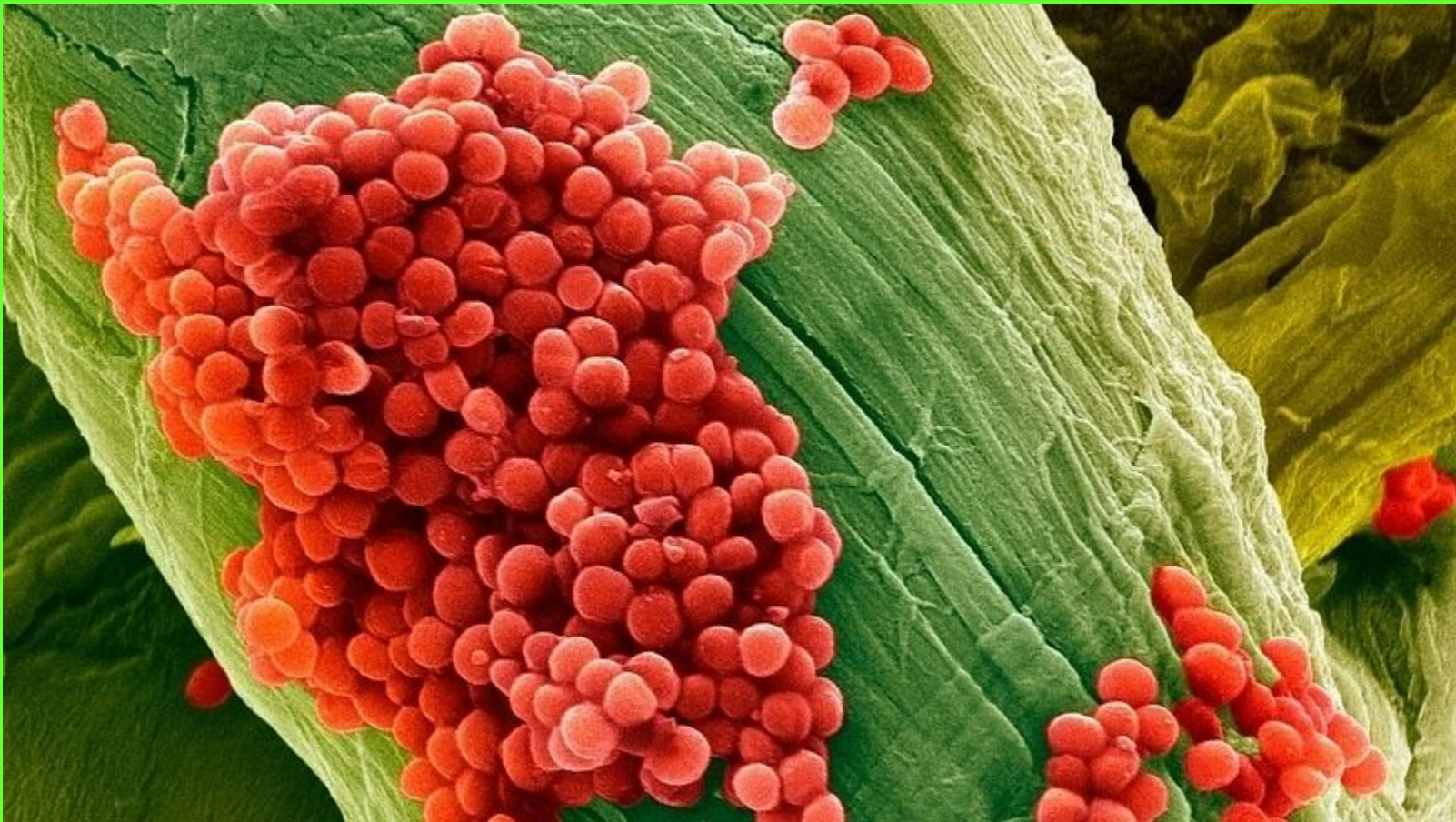
## Orální streptokoky (druhově nejpočetnější skupina)

*S. pneumoniae* – (pneumokok) hlavním původcem komunitního zánětu plic. Za virulenci je odpovědný pneumokokový povrchový adhezín A

$\beta$ -hemolýza



# *Streptococcus pneumoniae*



Podle dat Státního zdravotního ústavu se loni léčilo s invazivním pneumokokovým onemocněním 424 lidí, z nich 69 zemřelo. Je to nejvíce za poslední tři roky. „Ohroženy jsou hlavně děti do pěti let, loni jich onemocnělo 28, proti předchozímu roku téměř dvojnásobek,“ sdělila ve středu novinářům Zdeňka Jágrová z pražské hygienické stanice. Podle ní k tomu přispěl pokles proočkovanosti. Například v [Praze](#) klesla u dětí pod padesát procent. Už déle než čtyři roky přitom mohou rodiče dát očkovat dítě na účet zdravotní pojišťovny. Stále ale přibývá rodičů, kteří očkování svých dětí odmítají. Kromě nejmenších dětí jsou podle ní ohroženi i senioři. Zatímco však u nich se přínos očkování podceňuje už tradičně, v případě dětí jde podle Jágrové o nový znepokojivý trend.

## **Roste počet pacientů mezi senioři**

[Pneumokok](#) způsobuje záněty středouší, nosních dutin, plic či mozkových blan. U řady pacientů zanechá následky, jako jsou například neurologické poruchy a epilepsie.

Podle lékařky Lenky Petroušové z Fakultní nemocnice Ostrava narůstají ve srovnání s předchozími lety počty pacientů s invazivní pneumokokovou infekcí také mezi senioři. Loni onemocnělo 180 lidí starších 65 let, z nich 40 zemřelo. Očkování je přitom již běžně dostupné i pro ně.

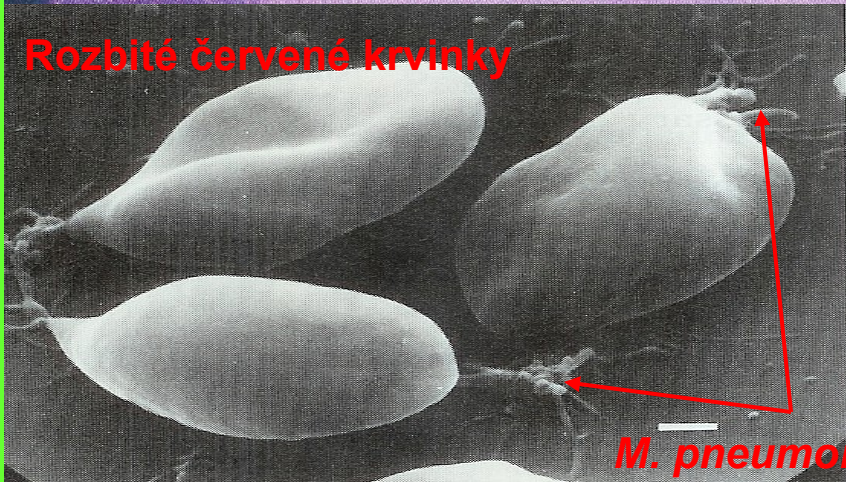


# Bakterie s buněčnou stěnou grampozitivního typu

## *M. pneumoniae*



Kolonie *M. pneumoniae*



Rozbité červené krvinky

*M. pneumoniae*

Kmen	<i>Firmicutes</i>
Třída	<i>Mollicutes</i>
Rád	<i>Mycoplasmatales</i>
Čeď	<i>Mycoplasmataceae</i>
Rod	<i>Mycoplasma</i>

Buňky mají velmi pleomorfní tvar od sférických buněk, mírně ovoidních nebo tvaru hrušky po štíhlá větvená vlákna jednotného průměru.

**Nemají buněčnou stěnu.** Jsou nepohyblivé, fakultativně anaerobní.

Kolonie mají typický vzhled smaženého „volského oka“.

Jsou parazity a patogeny širokého rozmezí savčích a ptačích hostitelů. Vyvolávají onemocnění respiračního a urogenitálního traktu. Některé druhy se vyskytují na povrchu rostlin a u hmyzu.

*M. hominis* – běžně na sliznicích urogenitálního traktu mužů i žen a izolována také u primátů.

*M. pneumoniae* – vyskytuje se v dutině ústní a v dýchacích cestách. Je původce pneumónií. Přírodním hostitelem je člověk.

Nejmenší známý genom – 0.58Mb