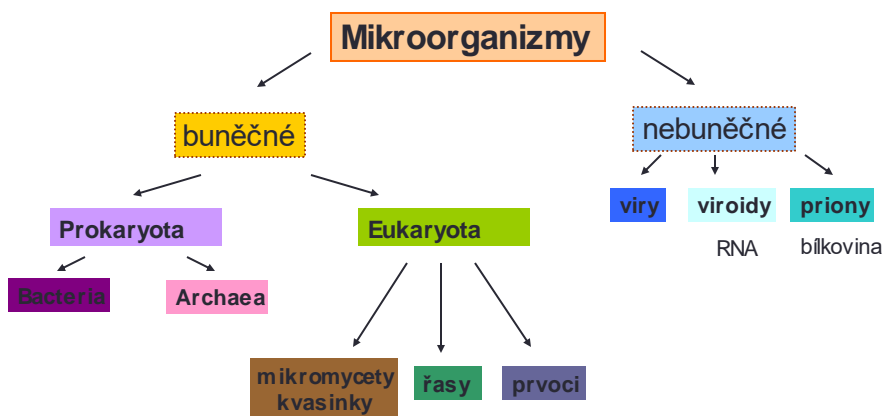
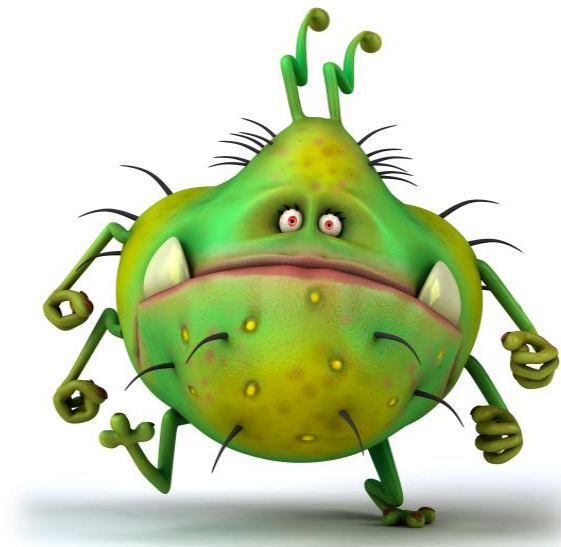


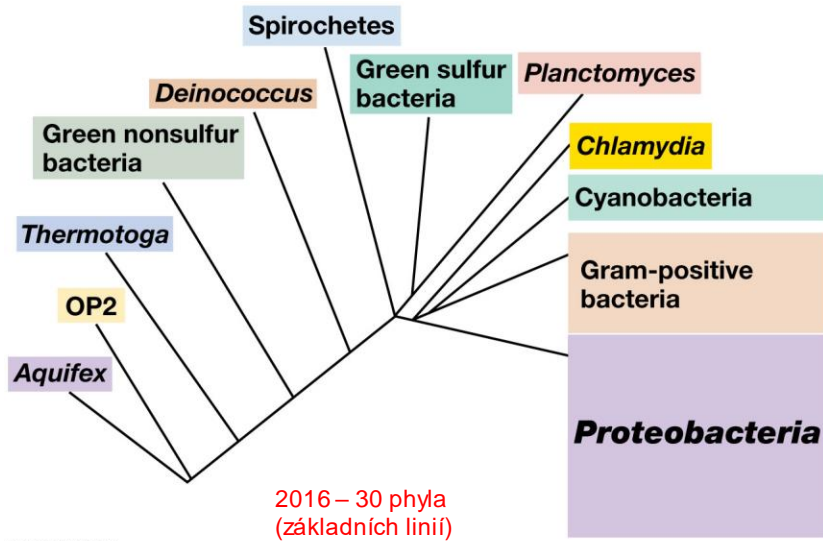
# Bakterie

Takhle tedy  
neeee!



Nester, 1998

## Zjednodušené schéma domény *Bacteria*



© 2012 Pearson Education, Inc.

Fylogenetický strom je odvozen na základě sekvence 16S ribozomální RNA

## 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

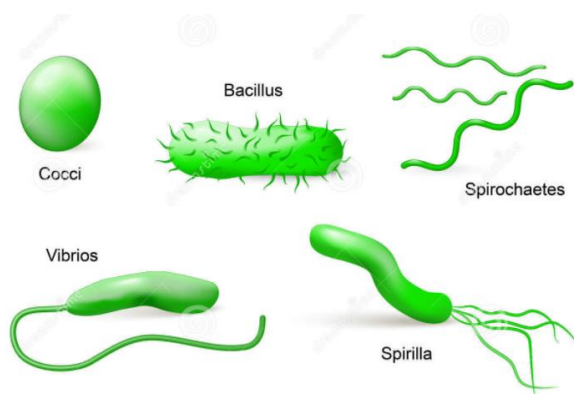
Pozn.:

Průměrná délka bakteriálního chromozómu – 4 000 000 bp

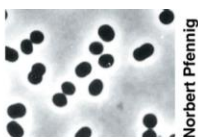
Průměrná délka virového genomu – 40 000 bp

# Základní tvary bakteriální buňky

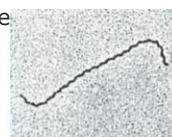
- kulovitý (kok, coccus, cocci)
- tyčinka (bakterie, bacillus)
- spirálovitý
- pleomorfní



Kok/coccus



Spirocheta/spirochete



Tyčinka/rod



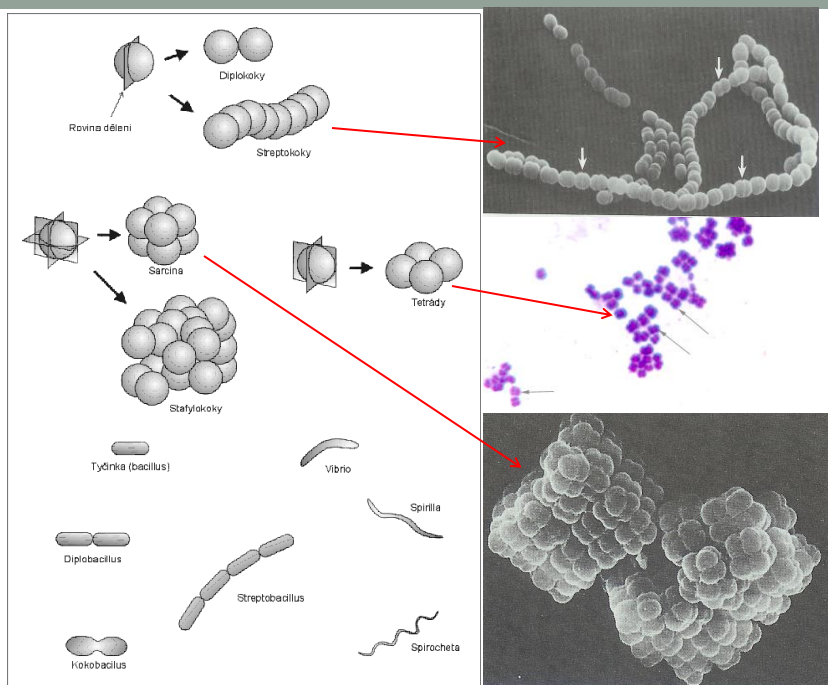
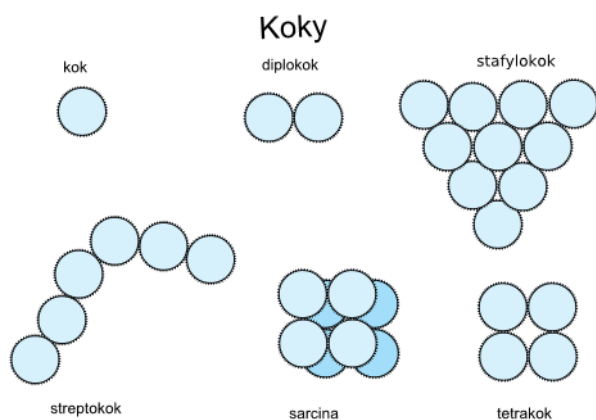
Spirillum/spirillum



Vláknité bakterie/filamentous bacteria

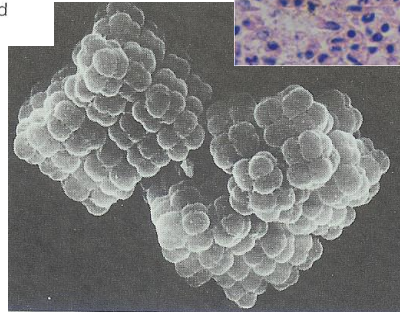
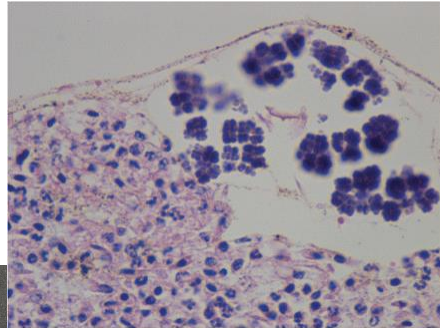
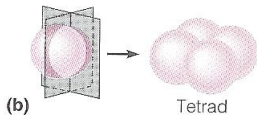


# Kulovité bakterie



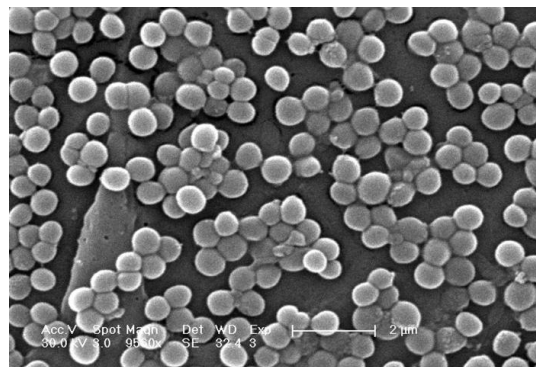
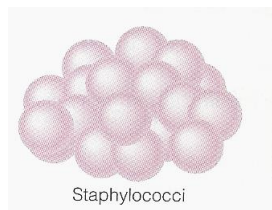
## Kulovitý tvar bakteriální buňky

- Dělení buňky ve dvou rovinách



## Kulovitý tvar bakteriální buňky

Dělení v různých rovinách

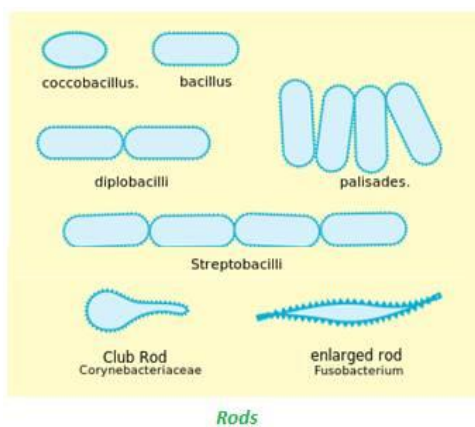


*Staphylococcus aureus*

## Základní tvary bakteriální buňky

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

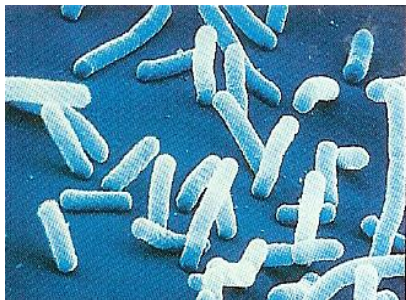
## Tyčinkovitý tvar bakteriální buňky



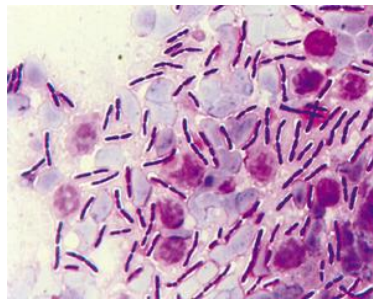
- Kokobacillus
- Bacillus
- Streptobacillus
- Diplobacillus
- Palisády

## Tyčinkovitý tvar bakteriální buňky- bacilus

- jednotlivé buňky



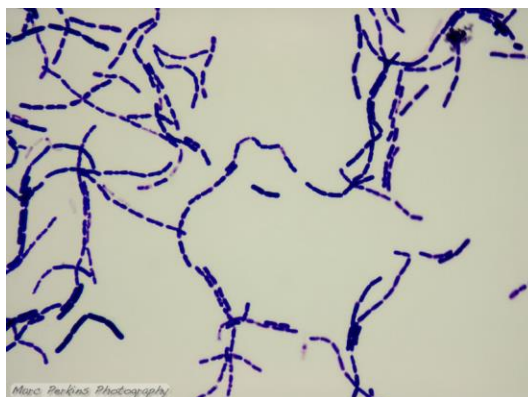
- diplobacilus



## Tyčinkovitý tvar bakteriální buňky- bacilus

- Streptobacillus

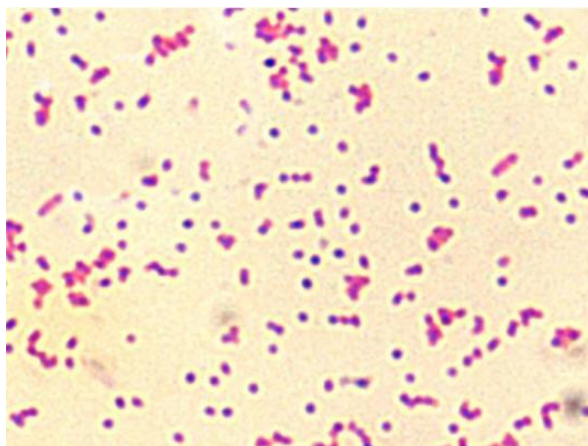
Tyčinky v řetězcích



*Bacillus  
megaterium*

## Tyčinkovitý tvar bakteriální buňky- bacilus

- Kokobacilus  
Zkrácené tyčinky



Lacasamoret.com. Copyright 2017

## Tyčinkovitý tvar bakteriální buňky - palisády

- palisády



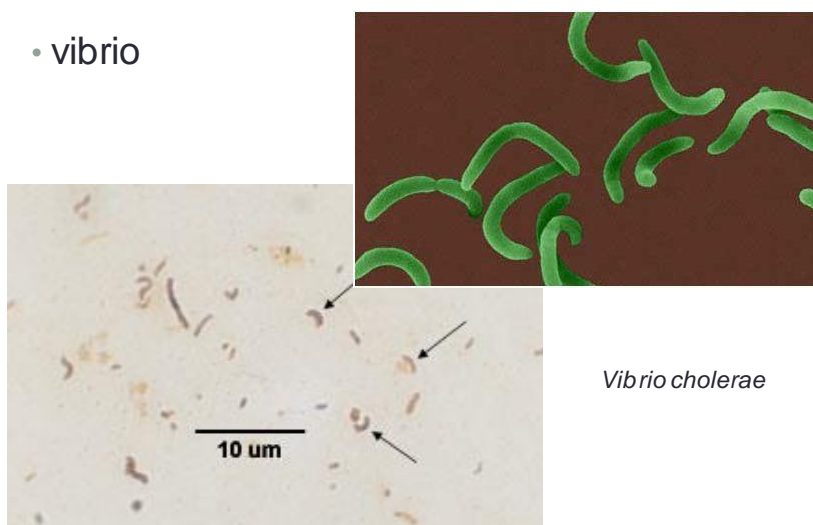


## Základní tvary bakteriální buňky

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

## Spirálovitý tvar bakteriální buňky

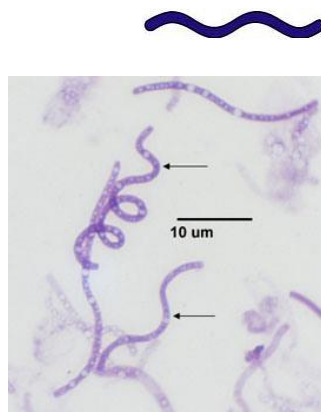
- vibrio



*Vibrio cholerae*

## Spirálovitý tvar bakteriální buňky

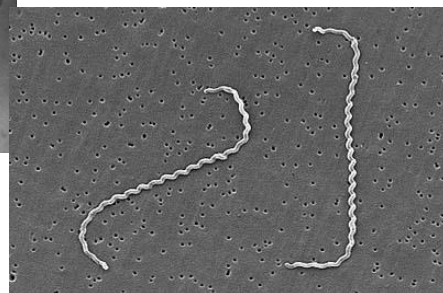
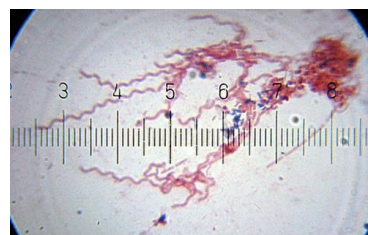
- spirillum



*Spirillum volutans*

## Spirálovitý tvar bakteriální buňky

- spirocheta

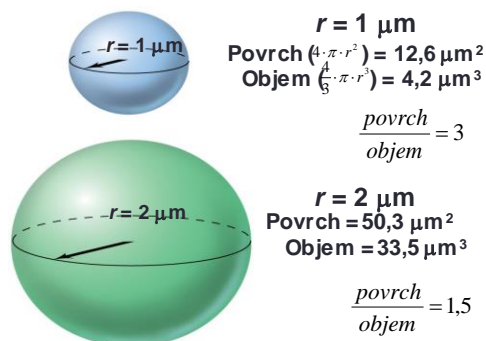


## Morfologie bakteriálních buněk

- Morfologie buněk neurčuje jejich fyziologii, ekologii atd.
- **Selektivní tlaky** prostředí upravují morfologii:
  1. Optimalizace možnosti příjmu živin (malé buňky s vysokým poměrem povrchu k objemu)
  2. Pohyb buněk ve viskózním prostředí nebo v blízkosti povrchů (helikální nebo spirálovité buňky)
  3. Klouzavý pohyb (vláknité bakterie)
- **Velikost buněk prokaryot:** od 0,2  $\mu\text{m}$  až přes 700  $\mu\text{m}$
- Většina kultivovatelných tyčinkovitých bakterií mají rozměr 0,5 až 4,0  $\mu\text{m}$  průměr a méně než 15  $\mu\text{m}$  délku
- **Velikost eukaryotických buněk:** 10  $\mu\text{m}$  až více než 200  $\mu\text{m}$  průměr

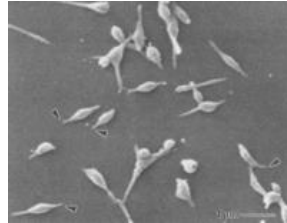
## Rozměr buňky – význam malého rozměru

- Poměr povrchu k objemu hraje významnou roli
- Malé buňky mají větší povrch relativně k jejich objemu než buňky větší (větší S/V)
- Účinnější příjem živin
- Rychlejší růst



## Rozměr bakteriální buňky - limity

- **Nejmenší bakteriální buňka** – rickettsie a mykoplasmata, *Nanobacterium*
- *Mycoplasma*
- nejmenší volně žijící bakterie 0,2 – 0,8  $\mu\text{m}$  bez buněčné stěny, amorfní



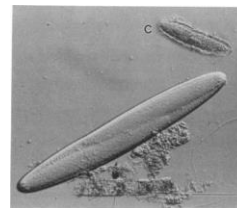
*Clin. Microbiol. Rev.*  
October 2004 vol. 17 no. 4  
697-728

- *Rickettsie sp.* – 0,3 – 0,8  $\mu\text{m}$  G<sup>-</sup> koky až tyčinky, nerostou mimo hostitelskou buňku!
- Menší rozměr buněk než 0,15  $\mu\text{m}$  je nepravděpodobný

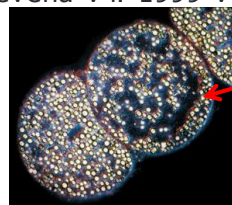
## Rozměr bakteriální buňky - limity

- Jedna z největších bakterií je *Epulopiscium fishelsoni*
- G<sup>+</sup> bakterie ze třídy *Clostridia*, symbióza s rybami (trávicí trakt)
- Velikost 200 – 700  $\mu\text{m}$  délka, průměr 80  $\mu\text{m}$

*Acanthurus lineatus*



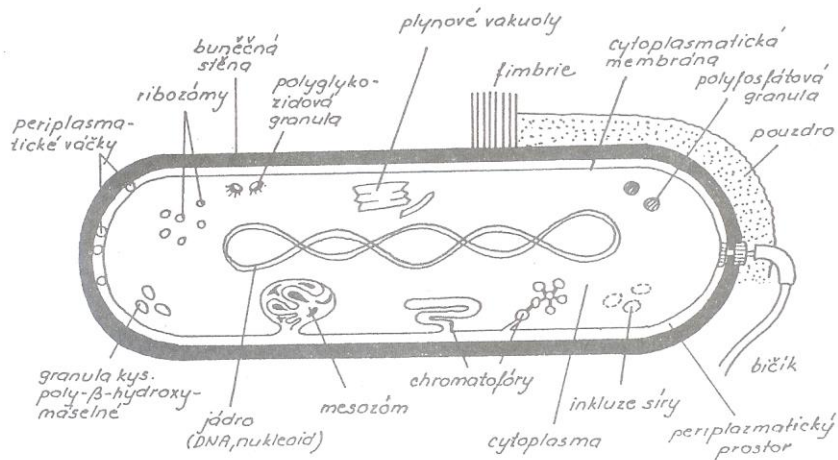
- *Thiomargarita namibiensis* objevená v r. 1999 v Namibii
- Největší bakterie!  
Průměr 1 mm  
Anaerobní  
Prostředí s vysokým obsahem S



Granula síry

Oceanus Online Magazine

## Základní struktury bakteriální buňky

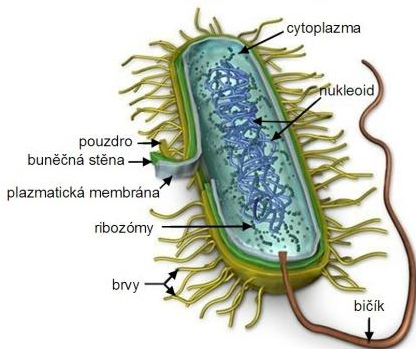


Autor: D. Horáková

## Základní struktury bakteriální buňky

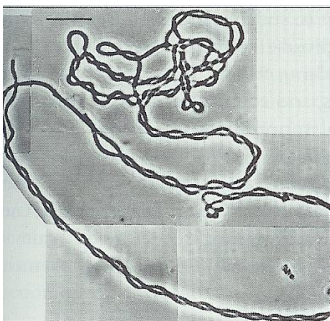
- Struktury esenciální
  - \* nukleoid
  - \* cytoplasmatická membrána
  - \* ribozomy
  - \* základní cytoplazma
- Struktury obvyklé
  - buněčná stěna
  - fimbrie
  - bičíky
  - pouzdro
  - inkluze
  - chlorobiové váčky
  - endospóry
  - pigmenty

## 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

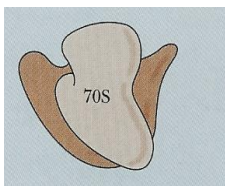
## Esenciální struktury bakteriální buňky **nukleoid**



DNA z *Bacillus subtilis*

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

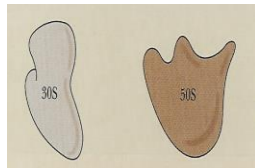
## Esenciální struktury bakteriální buňky **ribozom**



**Ribozom**  
( $2,52 \cdot 10^6$  D)

### Podjednotky

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



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

### RNA

16S RNA

23S RNA + 5S

### Bílkoviny

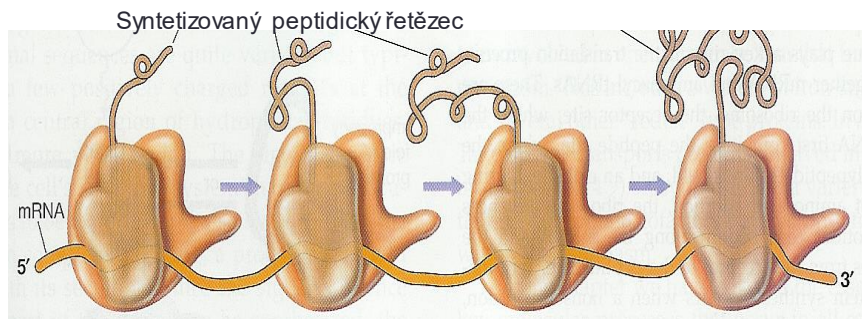
21 bílkovin

34 bílkovin

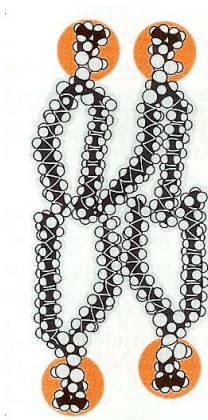
## Esenciální struktury bakteriální buňky **ribozom**

- 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  $4,4 \cdot 10^{-18}\text{ g}$
- Rychlost činnosti ribozomu není regulována, je téměř konstantní, činí asi 15 aminokyselin za sekundu.

## Esenciální struktury bakteriální buňky **polyribozom**

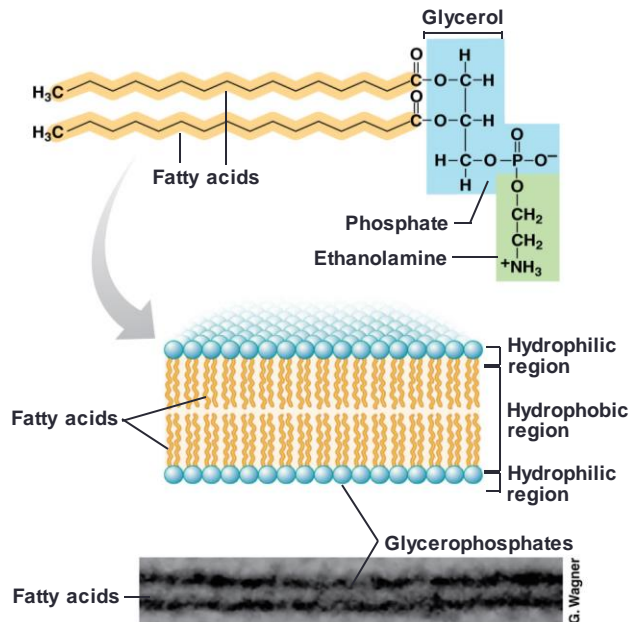


## Esenciální struktury bakteriální buňky **cytoplazmatická membrána**



- 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 silná 6 - 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





© 2012 Pearson Education, Inc.

## Esenciální struktury bakteriální buňky cytoplazmatická membrána

**Funkce** cytoplazmatické membrány

1. je místem transformace energie (je na ní lokalizován respirační řetězec, aparát fotosyntézy, ATPáza, ...)
2. je místem replikace bakteriální DNA
3. odehrávají se na ní poslední fáze syntézy buněčné stěny nebo se na ní syntetizují její některé složky
4. je semipermeabilní a zodpovědná za pasivní i aktivní transport látek do buňky a z buňky
5. je místem syntézy i hydrolýzy lipidů

\* **CM nemůže být "vyrobena" de novo**

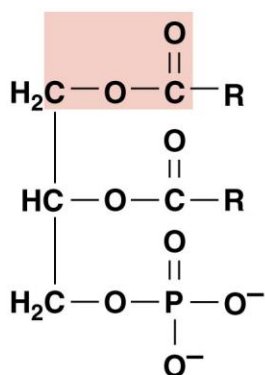
\* pro zvětšení aktivní plochy jsou velice časté invaginace

## Zvýšení stability CM

- **Steroly** – 5 – 25 % lipidů v CM u eukaryot, rigidní, málo flexibilní, vyskytují se pouze u eukaryot, ne prokaryot!
- **Hopanoidy** – sterolům podobná struktura, vyskytuje se u mnohých zástupců domény *Bacteria*, bez potřeby kyslíku (oxidační krok je nutný pro syntézu sterolů), proto se vyskytují také u anaerobů

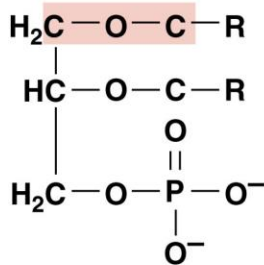
### Membrána *Archaea*

- Eterové vazby fosfolipidů (esterové vazby *Bacteria* a *Eukarya*)
- Archeální lipidy obsahují místo mastných kyselin isopreny
- Převaha glycerol dieterů a tetraeterů
- Vyskytuje se ve formě lipidových jednoduchých vrstev, dvojvrstev nebo směsi obou typů



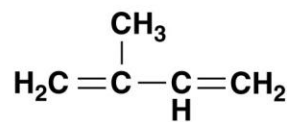
(a)

Esterové vazby  
*Bacteria* a *Eukarya*



(b)

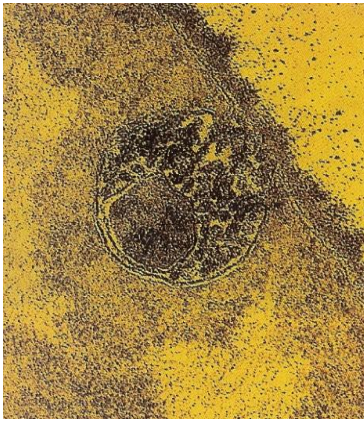
Eterové vazby lipidů  
*Archaea*



(c)

Isopren – základ  
hydrofobních  
postranních řetězců  
archeálních lipidů

## Esenciální struktury bakteriální buňky cytoplazmatická membrána

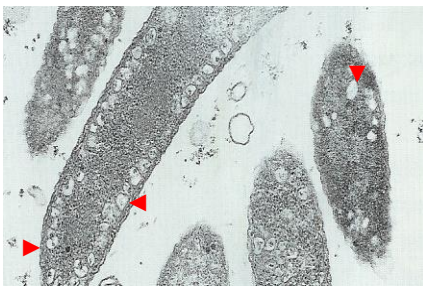


Mesozom *B.subtilis*

- 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



## Esenciální struktury bakteriální buňky cytoplazmatická membrána



Chromatofory *Rhodospirillum rubrum*

- 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

---

## Esenciální struktury bakteriální buňky

### **základní cytoplazma**

- Vyplňuje celý vnitřní prostor
- Koncentrovaný roztok mnoha biomolekul (malých, velkých i supramolekulových komplexů)
- Vysoce 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
- Nemá viditelnou strukturu

---

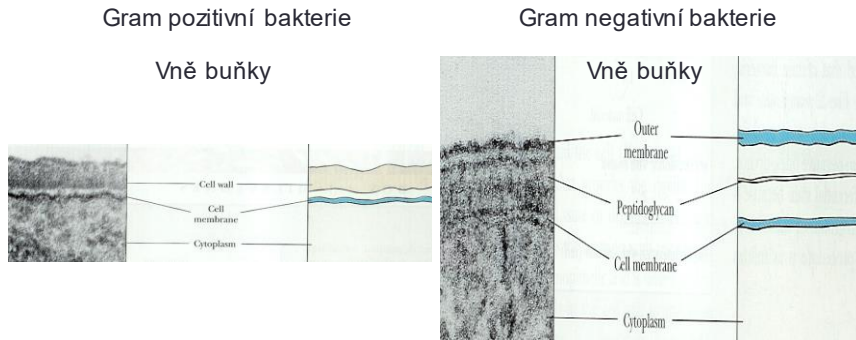
## Obvyklé struktury bakteriální buňky

### **Buněčná stěna - 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 periplazmatického prostoru a vnější části CM
- Je dvojího konstrukčního typu – grampozitivního a gramnegativního

## Obvyklé struktury bakteriální buňky

### Buněčná stěna

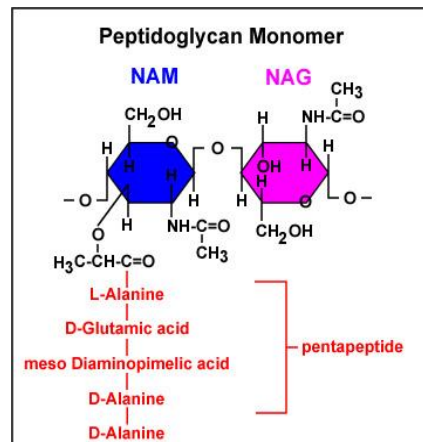


## Obvyklé struktury bakteriální buňky

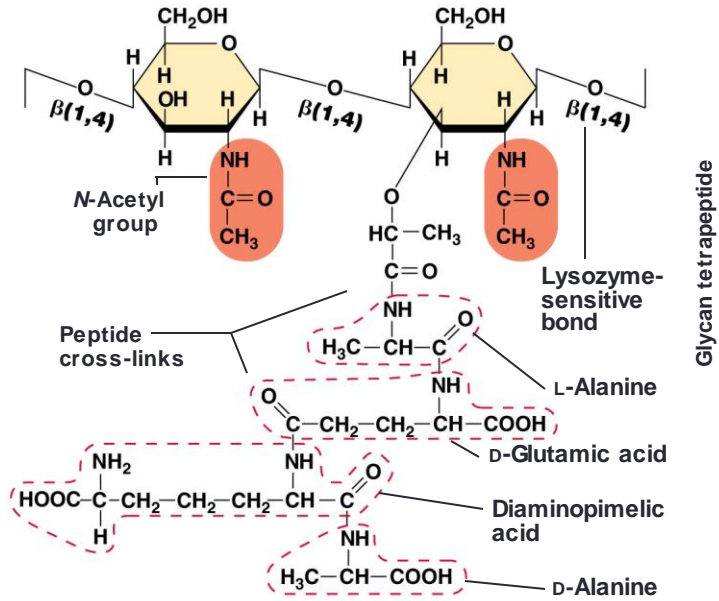
### Buněčná stěna

#### Peptidoglykan

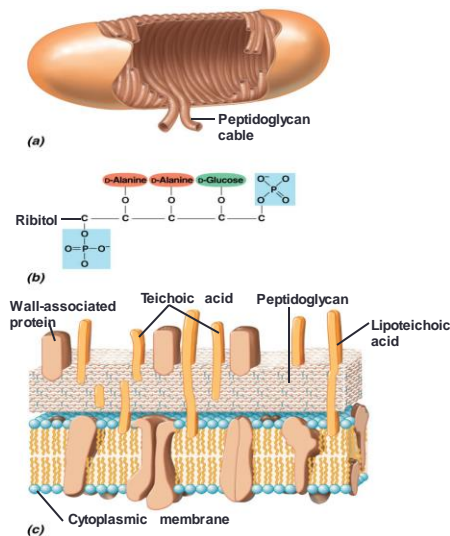
- Rigidní vrstva, která dodává buněčné stěně pevnost
- Je to polysacharid složený z:
  - *N*-acetylglukozaminu a *N*-acetylmuramové kyseliny
  - Aminokyselin
  - Lyzinu nebo kyseliny diaminopimelové (DAP)
  - Vazby jsou odlišné u Gram-pozitivních a Gram-negativních bakterií



N-Acetylglucosamine **G** N-Acetylmuramic acid **M**



## Obvyklé struktury bakteriální buňky Buněčná stěna G<sup>+</sup> bakterií



© 2012 Pearson Education, Inc.

BS obsahuje více než 90 %  
**peptidoglykanu**

Běžná je přítomnost  
**teichoových kyselin**  
zakotvených v buněčné stěně

- Kyseliny lipoteichoové:  
teichoové kyseliny  
kovalentně vázané  
k membránovým lipidům

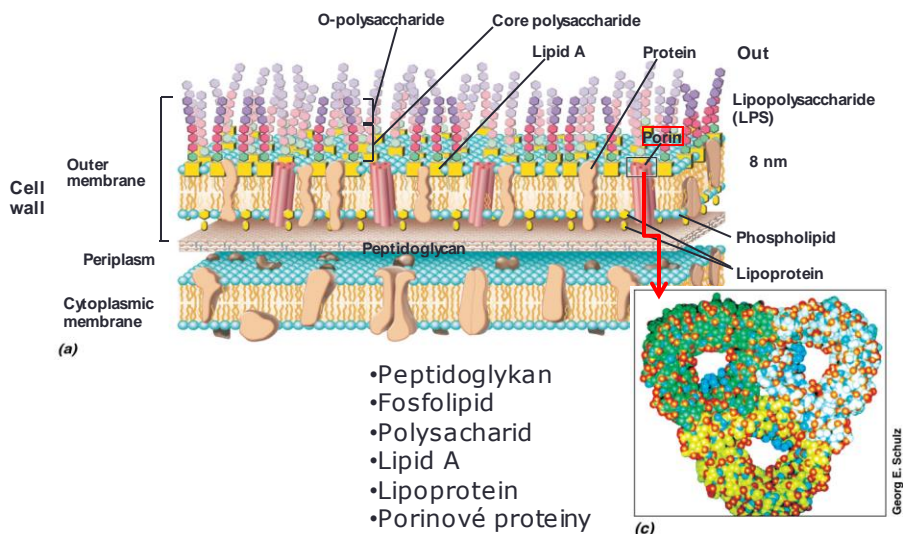
## Obvyklé struktury bakteriální buňky

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

- Buněčná stěna obsahuje ~10 % peptidoglykanu
- U G<sup>-</sup> bakterií převažuje vnější membrána s vrstvou lipopolysacharidů (**LPS vrstva**)
- LPS vrstva se skládá z :
  - povrchových polysacharidů
  - O-polysacharidu
- LPS nahrazuje většinu fosfolipidů ve vnější polovině vnější membrány
- **Endotoxin**: toxická složka LPS

## Obvyklé struktury bakteriální buňky

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



## Obvyklé struktury bakteriální buňky Buněčná stěna G<sup>-</sup> bakterií

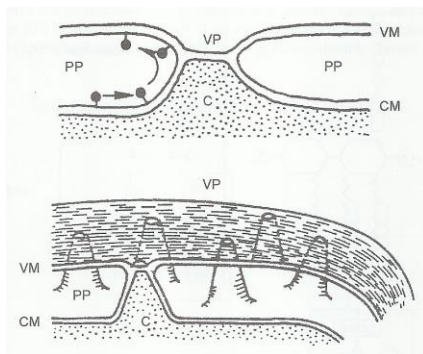
### Poriny

- Kanály umožňující pohyb hydrofilních nízkomolekulárních látek

### Periplazmatický prostor

- Prostor mezi cytoplazmatickou membránou a vnější membránou
- Přibližně 15 nm široký
- Gelová konzistence
- Obsahuje různé proteiny

## Obvyklé struktury bakteriální buňky Buněčná stěna

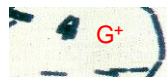


- VM – vnější membrána
- CM – cytoplazmatická membrána
- PP – periplazmatický prostor
- C – cytoplazma
- VP – vnější prostor

**Adhezivní místa** mezi vnější a cytoplazmatickou membránou  
(*Escherichia coli*)



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

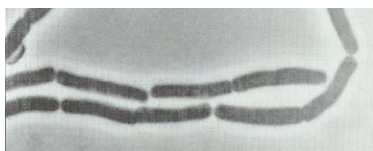


• Peptidoglykan	silný (mnohovrstvý)	tenký (jednovrstvný)
• Teichoové kyseliny	mnoho	nepřítomné
• Vnější membrána	nepřítomná	přítomná
• Obsah lipopolysacharidů	prakticky žádný	velký (vnější membrána)
• Lipidy a lipoproteiny	málo	hodně
• Produkce toxinů	převážně exotoxiny	převážně endotoxiny
• Mechanické 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

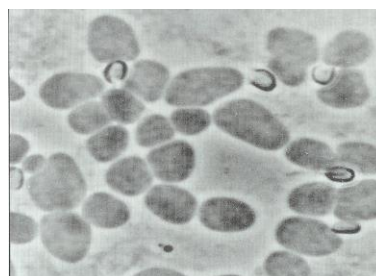
## Obvyklé struktury bakteriální buňky Bakterie bez buněčné stěny

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

### Protoplasty



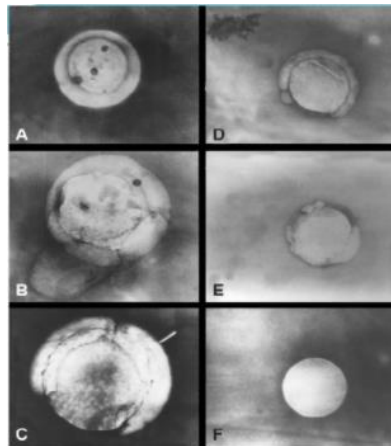
Normální buňka *Bacillus megaterium*



Protoplasty vzniklé po působení lysozymu (stabilizované v sacharóze)

Obvyklé struktury bakteriální buňky  
**Bakterie bez buněčné stěny**  
**Protoplasty**

- Vznikají u G<sup>+</sup> bakterií po působení **lysozymu** (štěpením 1,4-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**, ve vodě dochází k **lyzi** buněk
- Za určitých podmínek je možná reverze na normální buňku
- G<sup>-</sup> bakterie protoplasty netvoří



**Figure 2.** Transmission electron micrographs of protoplasts formation from *Streptomyces clavuligerus*. **A** – Intact cell (17000 X); **B** – Cell in initial process of enzymatic digestion (18000 X); **C, D and E** – Partially enzyme-digested cell (14400 X, 17000 X and 17000 X, respectively); **F** – Protoplast (17000 X).

Obvyklé struktury bakteriální buňky  
**Bakterie bez buněčné stěny**  
**Sféroplasty**

- 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
- Často obsahuje zbytky materiálu z buněčné stěny
- Po odstranění faktoru, který vyvolal tvorbu sféroplasty, je možná reverze na normální buňku
- Fixované L-formy → buňky ztratily schopnost reverze

## Obvyklé struktury bakteriální buňky

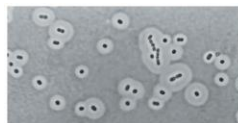
### Pouzdro (kapsula)

- silně hydratovaná vrstva
- 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 lipidů
- 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
- Chrání proti vysychání, proti fagocytóze
- Umožní přilnutí k povrchům

### Pouzdro (kapsula)

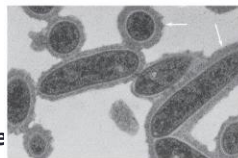


*Streptococcus pneumoniae*



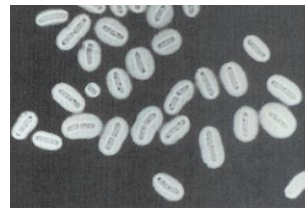
(a)

Elliot Juni

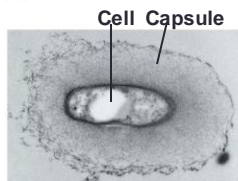


(b)

M.T. Madigan



*Bacillus sp.*

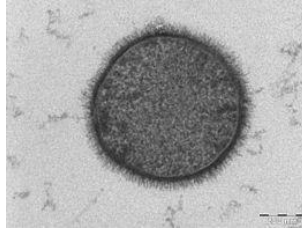


(c)

Frank Dazzo and  
Richard Heinszen

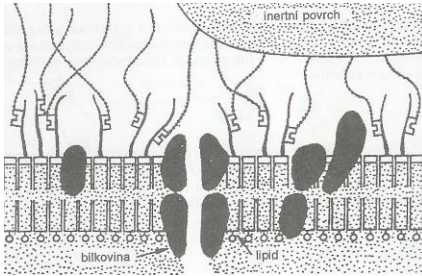
## Obvyklé struktury bakteriální buňky

### Glykokalyx



*Bacillus subtilis*

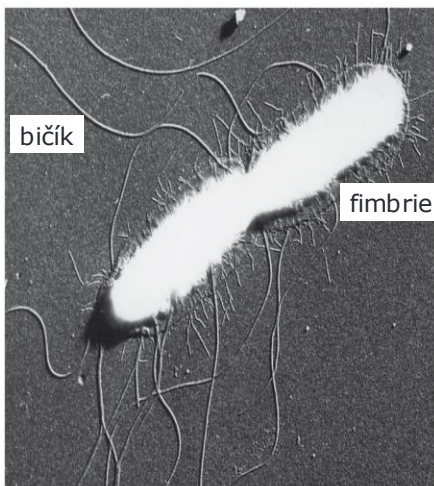
#### Polysacharidová vlákna



- Je tvořen dlouhými polysacharidovými vlákny
- Je zodpovědný za adhezenci bakterií na povrchy (kameny 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

### Fimbrie a pili



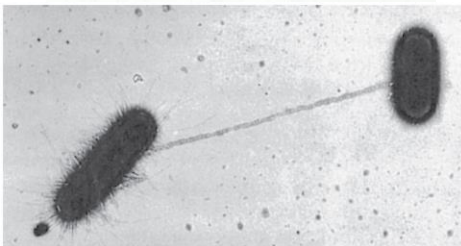
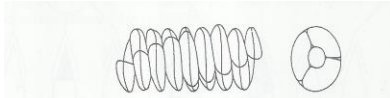
J. P. Duguid and J. F. Wilkinson

- Pili jsou četná, poměrně krátká rigidní rovná vlákna
- Fimbrie jsou kratší než pili
- Jsou tvořena bílkovinami
- Jsou velmi křehká a snadno se ulamují
- Vyskytují se jen u G<sup>-</sup> bakterií
- Na jedné buňce jich může být i několik set

## Obvyklé struktury bakteriální buňky

### Fimbrie a pili

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



Charles C. Brinton, Jr.

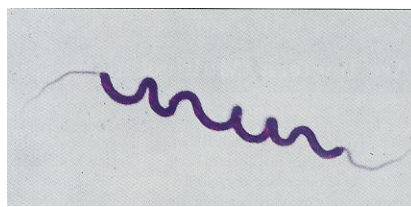
- Některé fimbrie mají funkci adhesinů
- Umožňují bakterii specifickou adherenci
- U symbiotických, parazitických a patogenních bakterií navozují specifickou schopnost kolonizace pouze určitého hostitele
- U *Vibrio cholerae* 01 je tvorba toxinu spojena s přítomností adhezivního pilusu
- Uropatogenita *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

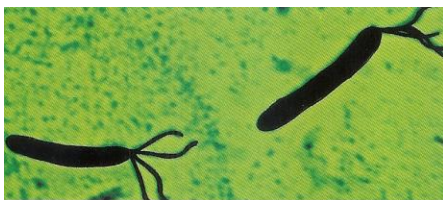
### Flagella - bičíky



Monotrich



Amfitrich



Lofotrich



Peritrich

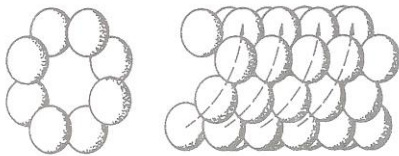
## Obvyklé struktury bakteriální buňky

### Bičiky - struktura

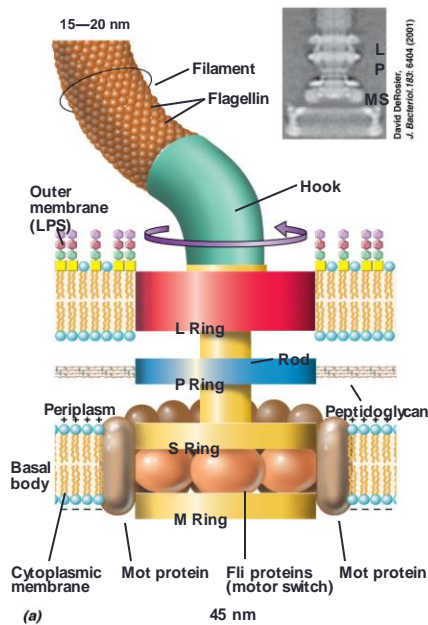
- **Hlavní části bičíku**

**Vláknko 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 médiu doroste asi za 10-20 minut

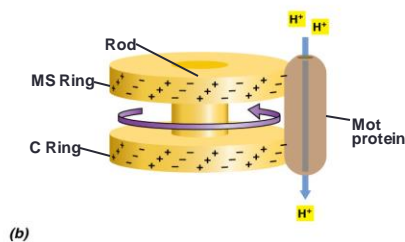


- **Háček** – je složen z identických globulárních bílkovin (jsou jiné než flagelin). Představuje spojení mezi vláknem a bazální částí bičíku
- **Bazální část** – kotví bičik do buněčné stěny a cytoplasmatické membrány. Je zodpovědná za pohyb bičíku. Jde o disky tvořené 9 různými bílkovinami. Jejich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



### Bičik - struktura

Zdrojem energie pro pohyb bičíku je protonový gradient



## Obvyklé struktury bakteriální buňky

### Inkluze

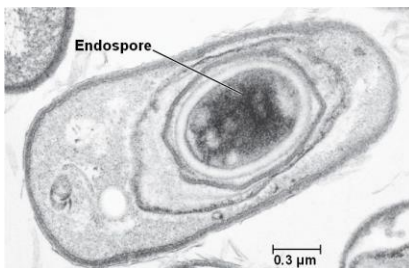
- **Inkluze obdané jednovrstevnou fosfolipidovou membránou**

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

- **Inkluze bez membrány**

- \* Glykogenová granula
- \* Polyfosfátová granula (volutin)
- \* Krystaly
- \* Parasporální inkluze

## Vytváření endospor u bakterií



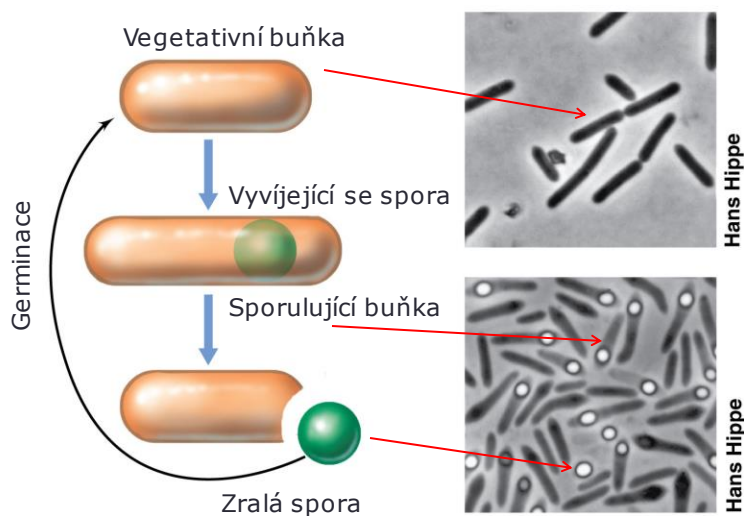
*Bacillus anthracis*



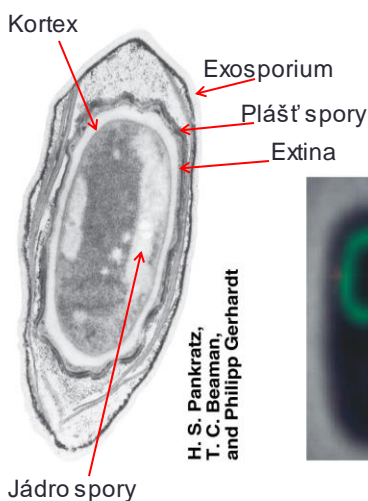
Zdroj: [www.bio1151.nicerweb.com](http://www.bio1151.nicerweb.com)

- Rezistence buněk k vysoké teplotě, chemikáliím a radiaci
- Ideální pro rozšiřování vzduchem, vodou nebo střevech zvířat
- 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
- Vyskytují se u některých G<sup>+</sup> bakterií

## Životní cyklus bakterie tvořící spory



## Struktura endospory



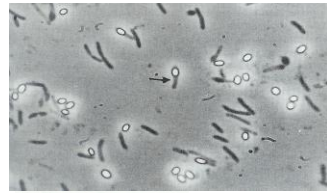
- Vnitřní membrána (intina – vzniká z CM)
- Tenká peptidoglykanová vrstva (základ "budoucí" buněčné stěny)
- Kortex (peptidoglykan) – přítomný pouze v bakteriální spoře, je tvořený koncentrickými vrstvami specifického peptidoglykanu. Je zodpovědný za mechanickou ochranu spory
- Vnější membrána (extina - 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)



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



*Bacillus subtilis*



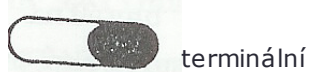
*Clostridium tetani*



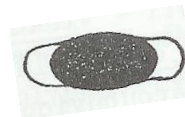
centrální



subterminální

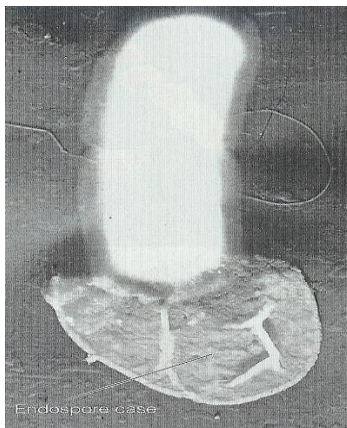


terminální



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 média 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. Diferenční 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.

## Jak dlouho může endospora přežít?



Gerhard Gottschalk

### Příklad 1:

- Tato suspenze spor *Clostridium acetivum* byla připravena **7. května 1947**
- V roce 1981 (**po 34 letech**) byly spory přeneseny do živného média
- Došlo ke germinaci, vegetativní buňky vytvořily po 12 hodinách kultivace hustou bakteriální kulturu

## Jak dlouho může endospora přežít?

### Příklad 2:

- Životaschopné endospory *Thermoactinomyces* sp. byly získány ze sedimentu Minnesota lake
- Jejich stáří se odhaduje na **7000 let**

### Příklad 3:

V roce 1995 zveřejnila skupina vědců publikaci: Cano, R.J., and M.K. Borucki. 1995. Revival and identification of bacterial spores in **25- to 40-million-year-old** Dominican amber. *Science* 268: 1060-1064.



**Závěr: Endospora může přežít stovky, tisíce...nebo i miliony let!?**