

Chapter 2 الفصل 2

Bacteria البكتيريا

- Introduction
- Shape and arrangement of bacteria
- Binary fission of bacterial cell
- Structures external to the cell wall of bacterial cells
- Structures internal to the cell wall of bacterial cells
- Bacterial nutrition
- Bacterial metabolism
- Bacterial growth
- Endospore
- Preparation bacterial slide for microscopic examination

INTRODUCTION

Bacteria are divided into two kingdoms: Archaeobacteria and Eubacteria. Archaeobacteria are found in extreme environments. They are thought to be the first organisms on earth. Eubacteria are found in almost everywhere else, and have a different chemical structure than archaeobacteria. All bacteria are unicellular organisms reproduce by binary fission. Bacteria have very small size. They have diameter ranged 0.4 - 1.5 μm .

General characters of bacteria

- Bacteria are unicellular organisms; their cell wall consists of peptedoglycan. They reproduce by binary fission.
- Some bacteria are motile by flagella. Bacteria may be photoautotrophs, or chemoautotrophs, others are heterotrophs.
- Bacteria are the causative agents for a wide range of diseases.
- Bacterial cells are extremely small. Their sizes are ranged from 0.4 to 1.5 microns.

مقدمة

تنقسم البكتيريا إلى مملكتين: أركيابتيريا والبكتيريا الحقيقية. توجد الأركيابتيريا في البيئات القاسية جدًا، ويُعتقد أنها أول الكائنات على الأرض. وتوجد البكتيريا الحقيقية في كل مكان، ولها تركيب كيميائي مختلف عن الأركيابتيريا. وكل البكتيريا كائنات وحيدة الخلية تتكاثر بالانقسام الثنائي. وللبكتيريا حجم صغير جدًا، يتراوح قطرها بين 0.4 - 1.5 ميكرومتر.

الخواص العامة للبكتيريا:

- البكتيريا هي كائنات وحيدة الخلية، تتكون جذرها الخلوية من بيبتيوجلليكان. وهي تتكاثر بالانقسام الثنائي البسيط.
- بعض البكتيريا متحركة بالأسواط، وقد تكون البكتيريا ذاتية التغذية الضوئية أو الكيميائية، وأخرى غير ذاتية التغذية.
- البكتيريا هي العامل المسبب لمدى واسع من الأمراض.
- الخلايا البكتيرية صغيرة جدًا. وحجمها تتراوح من 0.4 إلى 1.5 ميكرون.

Structure of bacterial cells

تركيب الخلية البكتيرية

Structures external to the cell wall of bacterial cells

التركيب الخارجية لجدار الخلية البكتيرية

The external structures of the bacterial cells are demonstrated in figure 2 - 5.

التركيب الخارجية للخلايا البكتيرية موضحة في شكل 2 - 5.

Bacterial cell wall:

جدار الخلية البكتيرية:

Most bacteria could be divided into two major groups based on their response to the differential Gram-staining procedure. Gram-positive bacteria are stained purple, whereas Gram-negative bacteria are stained pink or red.

تُقسَّم معظم البكتيريا إلى مجموعتين رئيسيتين اعتمادًا على طريقة صبغة الجرام المميزة. تُصبغ البكتيريا موجبة الجرام باللون الأرجواني (البنفسجي)، أما البكتيريا سالبة الجرام فتُصبغ باللون الوردي أو الأحمر.

Cell wall structure of the Gram-positive bacteria:

تركيب جدار خلية البكتيريا موجبة الجرام:

The cell walls of Gram-positive bacteria consist of a single, 20 - to 80 -nm-thick layer of peptidoglycan (murein) lying outside the plasma membrane.

تتكوّن جُدُر خلايا البكتيريا موجبة الجرام من طبقة واحدة سمكها 20 - 80 نانومتر من الببتيدوجليكان (ميورين) تقع خارج الغشاء البلازمي.

Most Gram-positive bacteria and Actinobacteria, have thick, rigid cell walls composed of peptidoglycan. Also, the cell walls contain certain substance called teichoic acid. Teichoic acid consists of sugar and glycerol joined together by phosphate groups.

معظم البكتيريا موجبة الجرام والأكتينوبكتيريا لها جُدُر سميكة، وقوية تتكوّن من ببتيدوجليكان. أيضًا تحتوي جُدُر الخلايا على مادة معينة تُسمّى حمض تياكويك. يتكوّن حمض التياكويك من سكر وجليسيرول مرتبطين معًا بواسطة مجموعات فوسفاتية.

The teichoic acids are covalently connected to peptidoglycan or to plasma membrane lipids. In the latter case, they are called lipoteichoic acids. Teichoic acids extend to the surface of the peptidoglycan. They have negative charges and give the cell wall negative charges. Teichoic acids are not present in Gram-negative bacteria.

The teichoic acids maintain the structure of the cell envelope and protect the cell from harmful substances in the environment such as antibiotics and host immune bodies. In addition, some teichoic acids may be involved in binding pathogenic bacteria to host tissues, thus initiating the infectious disease process. There is a narrow periplasmic space lies between the plasma membrane and peptidoglycan layer (Figure 2 - 6).

Cell walls structure of the Gram-negative bacteria:

Cell walls of the Gram-negative bacterial are structurally more complex than Gram-positive walls. There is no teichoic acid present in the Gram-negative cell walls.

The Gram-negative cell wall has an outer membrane. This membrane is separated from the cell plasma membrane by a gap called periplasm.

تتحد أحماض التياكويك تساهمياً مع البيبتيذوجليكان أو لبييدات الغشاء البلازمي. في الحالة الأخيرة تُسمّى بأحماض التياكويك الليبيدية. تمتد أحماض التياكويك إلى سطح البيبتيذوجليكان. وهي لها شحنات سالبة وتعطي جدار الخلية شحنات سالبة. أحماض التياكويك ليست موجودة في البكتيريا سالبة الجرام.

تحافظ أحماض التياكويك على تركيب غلاف الخلية، وتحمي الخلية من المواد الضارة في البيئة مثل المضادات الحيوية، والأجسام المناعية للعائل. بالإضافة لذلك، بعض أحماض التياكويك قد تُشارك في ارتباط البكتيريا المُمرضة بأنسجة العائل، بهذا تبدأ عملية الإصابة بالمرض. ويوجد فراغ ضيق بيريبلازمي بين الغشاء البلازمي وطبقة البيبتيذوجليكان (شكل 2 - 6).

تركيب جدر خلايا البكتيريا سالبة الجرام:

لجدر خلايا البكتيريا سالبة الجرام تركيب أكثر تعقيداً من جدر خلايا البكتيريا موجبة الجرام. ولا يوجد حمض التياكويك في جدر خلايا البكتيريا سالبة الجرام.

جدار خلية البكتيريا سالبة الجرام له غشاء خارجي، هذا الغشاء مُنفصل عن غشاء الخلية البلازمي بواسطة فجوة تُسمّى بيريبلازم.

The periplasmic space is 30 to 70 nm wide. In periplasm, there are many kinds of proteins. Most of them are enzymes and binding proteins. The main function of periplasm is preventing these proteins and enzymes from leaving the bacterial cell (Figure 2 - 7).

There is a thin peptidoglycan layer (2 - 7 nm). This layer is located within the periplasmic space and attached to the cell outer membrane by Braun's lipoprotein. This lipoprotein is covalently joined to the underlying peptidoglycan and is embedded in the outer membrane (Figure 2 - 7).

The inner half of the outer membrane contains phospholipids. While the outer half is composed lipopolysaccharide (LPSs). These lipopolysaccharides consist of three parts: lipid-A, the core polysaccharide, and the O-polysaccharide side chain (Figure 2 - 7).

The outer membrane contains unique proteins called porins. These proteins form pores in the outer membrane. For this reason, the outer membrane is more permeable than the plasma membrane and permits the passage of small molecules such as monosaccharides. Porin proteins blocks passage of antibiotics to inside the bacterial cells. Most porin proteins cluster together to form a trimer in the outer membrane (Figure 2 - 7).

الفراغ البيريلازمي له اتساع يتراوح من 30 إلى 70 نانومتر. ويوجد في البيريلازم أنواع عديدة من البروتينات؛ معظمها إنزيمات وبروتينات ارتباطية. وإنَّ الوظيفة الرئيسة للبيريلازم هي منع هذه البروتينات والإنزيمات من مغادرة الخلية البكتيرية (شكل 2 - 7).

يوجد طبقة بيبتيذوجليكان رقيقة (2 - 7 نانومتر). هذه الطبقة موضوعة داخل الفراغ البيريلازمي، ومُلتصقة بالغشاء الخلية الخارجي بواسطة ليوبروتين Braun's. هذا الليوبروتين يتحدُّ تساهمياً مع طبقة البيبتيذوجليكان الموجودة تحته وينغمد في الغشاء الخارجي (شكل 2 - 7).

النصف الداخلي للغشاء الخارجي يحتوي على فوسفوليبيد. أما النصف الخارجي فيتكوّن من ليبيد عديد السكريات (LPSs). تتكوّن الليبيدات عديدة السكريات من ثلاثة أجزاء: ليبيد - A، قلب عديد السكريات وسلاسل جانبية O- عديد السكريات (شكل 2 - 7).

يحتوي الغشاء الخارجي على بروتينات متفردة تُسمّى بورين. تُكوّن هذه البروتينات ثقباً في الغشاء الخارجي. لهذا السبب، الغشاء الخارجي أكثر نفاذية من الغشاء البلازمي، ويسمح بمرور الجزيئات الصغيرة مثل السكريات الأحادية. تمنع بروتينات البورين مرور المضادات الحيوية إلى داخل الخلايا البكتيرية. تتجمع معظم بروتينات البورين معاً لتكوّن تراكيباً ثلاثية في الغشاء الخارجي (شكل 2 - 7).

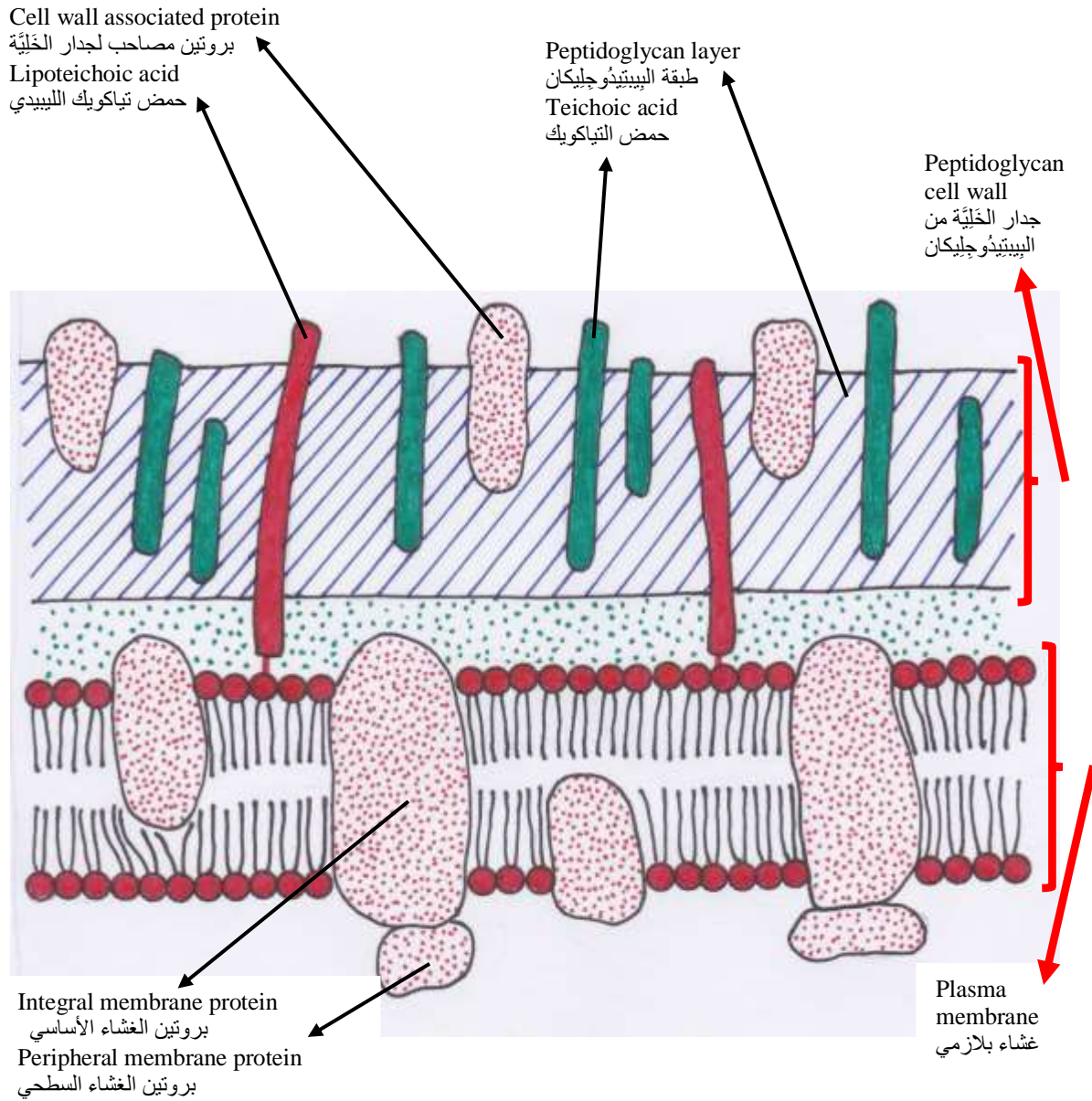


Figure 2 - 6 : Cell wall structure of Gram positive bacteria.
شكل 2 - 6 : تركيب جدار الخلية البكتيرية موجبة الجرام

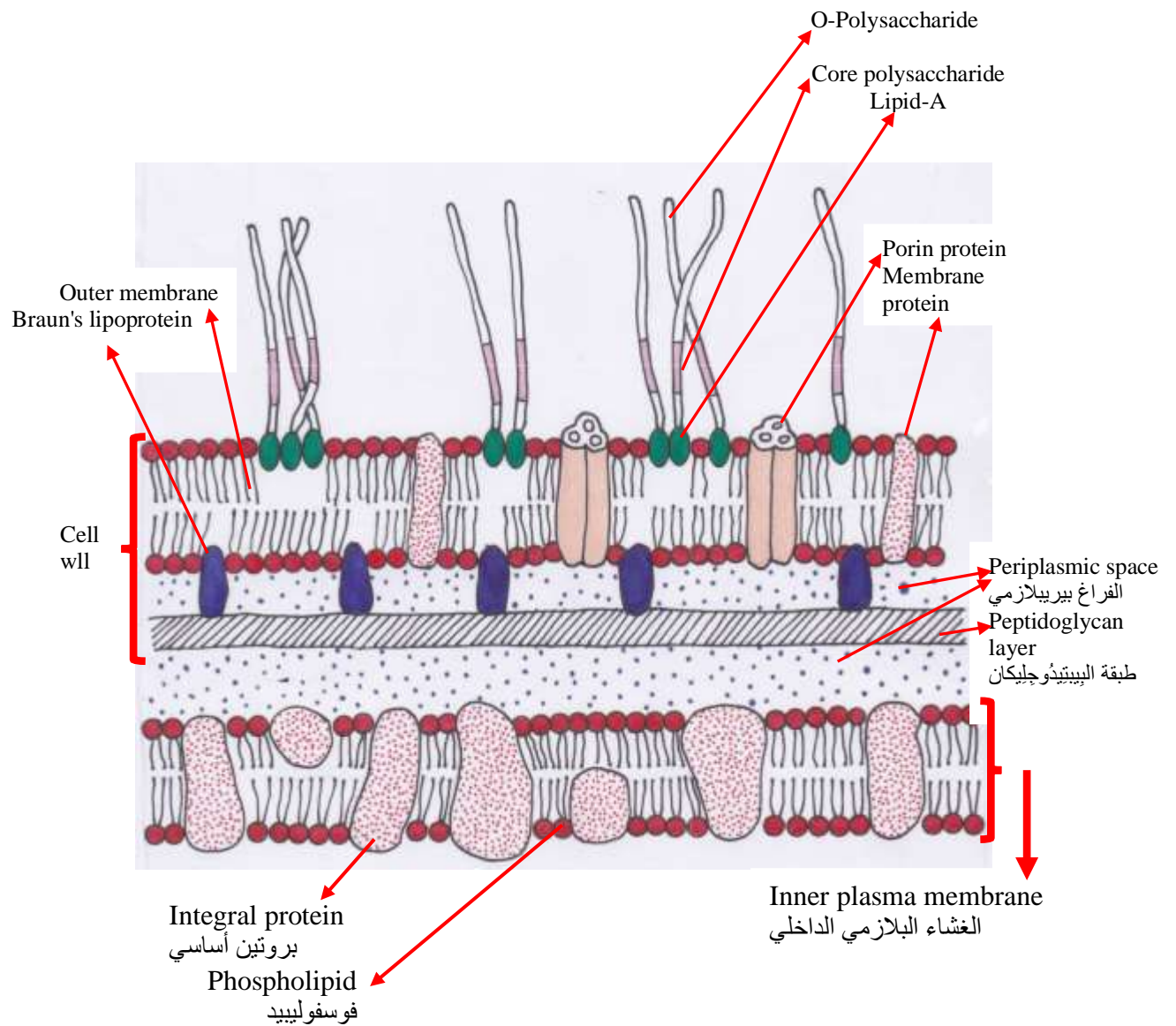


Figure 2 - 7 : Cell wall structure of Gram negative bacteria

شكل 2 - 7 : تركيب جدار الخلية البكتيرية سالبة الجرام

الكبسولة:

Capsule:

Many species of bacteria have outer gelatinous layer. This layer called glycocalyx. The glycocalyx is called capsule if it is thick and strongly bound to the cell wall, and called slime layer if it is thinner and loosely attached to the cell wall (Figure 2 - 8).

العديد من الأنواع البكتيرية لها طبقة جيلاتينية خارجية. تُسمّى هذه الطبقة الكأس الجليكوولي. ويُسمّى الكأس الجليكوولي بالكبسولة إذا كان سميكًا ومُرتبطًا بشدة بجدار الخلية، ويُسمّى سليماً إذا كان أرقّ ومُرتبطًا بضعف بجدار الخلية (شكل 2 - 8).

Streptococcus mutans uses slime layer to adhere to teeth. They form the plaque layer on the teeth. Once adhered, bacteria metabolize sugars in the diet and produce acids which decay teeth.

تستخدم *Streptococcus mutans* طبقة السليم للالتصاق بالأسنان. وهي التي تُكوّن طبقة البلاك على الأسنان. بمجرد التصاقها تتغذى البكتيريا على السُكّريات في الغذاء، وتنتج الأحماض التي تحلل الأسنان.

Most bacterial capsules are composed of polysaccharides. In other bacterial species for example *Bacillus anthracis*, the capsule is composed of a polypeptide (polyglutamic acid). Capsules are not required for bacterial growth and reproduction. Capsules help bacteria against phagocytosis by host phagocytic cells. For example, *streptococcus* when it loses capsule, it is destroyed easily and does not cause disease, whereas the capsulated cells quickly kill mice. Capsules contain much water and can protect bacteria from dryness. Also, they protect bacteria against bacteriophages and detergents.

تتكوّن معظم الكبسولات البكتيرية من عديد السكريات. في أنواع البكتيرية أخرى مثل *Bacillus anthracis* أنسراكس، تتكوّن الكبسولة من عديد البيبتيدات (عديد حمض الجلوتاميك). لا يحتاج إلى الكبسولات لنمو البكتيريا وتكاثرها. الكبسولة تتحمي البكتيريا ضد البلع بواسطة خلايا العائل البالغة. كمثال: عندما تفقد *Streptococcus* كبسولتها، فإنها تُدمّر بسهولة ولا تُسبب مرضاً، أما الخلايا ذات الكبسولة فتقتل الفئران بسرعة. تحتوي الكبسولات ماءً كثيراً ويمكنها حماية البكتيريا من الجفاف. هي أيضاً تحمي البكتيريا ضد الفيروسات البكتيرية والمنظفات. أيضاً، يُساعد الكبسولات على التصاق البكتيريا بأسطح أنسجة العوائل النباتية والحيوانية.

The capsules also aid bacterial attachment to tissue surfaces in plant and animal hosts. Mutant bacterial strains lacking capsule are avirulent while bacterial strains that have capsules are virulent. Capsules are used as a source of nutrients and energy to microbes.

Bacteria with capsules form smooth (S) colonies while those without capsules form rough (R) colonies.

Many gram-positive and gram-negative bacteria as well as Archaea have an outer layer called S-layer. In gram negative bacteria, the S-layer adheres directly to the outer plasma membrane. While in gram-positive bacteria, S-layer adheres to the peptidoglycan layer (Figure 2 - 8). In gram negative bacteria the S-layer protects the cell against change in pH, osmotic stress and lysozyme. It also protects some pathogenic bacteria against phagocytosis.

The presence of capsules on bacteria may be used in bacterial identification. Capsules cannot be stained. They can be demonstrated by negative staining technique. In Gram stain, capsules may appear as a clear halo around the bacteria. Also, they are best demonstrated by the negative stain using India ink.

إن السلالات البكتيرية الطافرة عديمة الكبسولة تكون غير مُمرضة، بينما الأنواع البكتيرية التي لها كبسولات فتكون مُمرضة. وتُستخدم الكبسولات كمصدر للمغذيات والطاقة للميكروبات.

تُكوّن البكتيريا ذات الكبسولات مُستعمراتٍ ناعمة (S)، أما التي بدون كبسولات فتكوّن مستعمرات خشنة (R).

العديد من بكتيريا موجبة وسالبة الجرام وكذلك الأركيا لها طبقة خارجية تُسمى الطبقة-S. في البكتيريا سالبة الجرام تكون الطبقة-S ملتصقة التصاقاً مباشراً بالغشاء البلازمي الخارجي. بينما في البكتيريا موجبة الجرام، تكون طبقة-S ملتصقة بطبقة البيبتيدوجليكان (شكل 2 - 8). في البكتيريا سالبة الجرام تحمي الطبقة-S الخلايا ضد كلٍ من تُغيّر ال-pH، والإجهاد الأسموزي والليزوزيم. وهي أيضاً تحمي بعض البكتيريا المُمرضة ضد البلع.

يُمكن استخدام وجود الكبسولات على البكتيريا للتعرف على نوع البكتيريا. ولا يمكن صبغ الكبسولات، ويمكن التحقق منها بواسطة تقنية الصبغة السالبة. في صبغة الجرام قد تظهر الكبسولات كهالة واضحة حول البكتيريا. أيضاً، هي تظهر أفضل بواسطة الصبغة السالبة باستخدام الحبر الهندي.

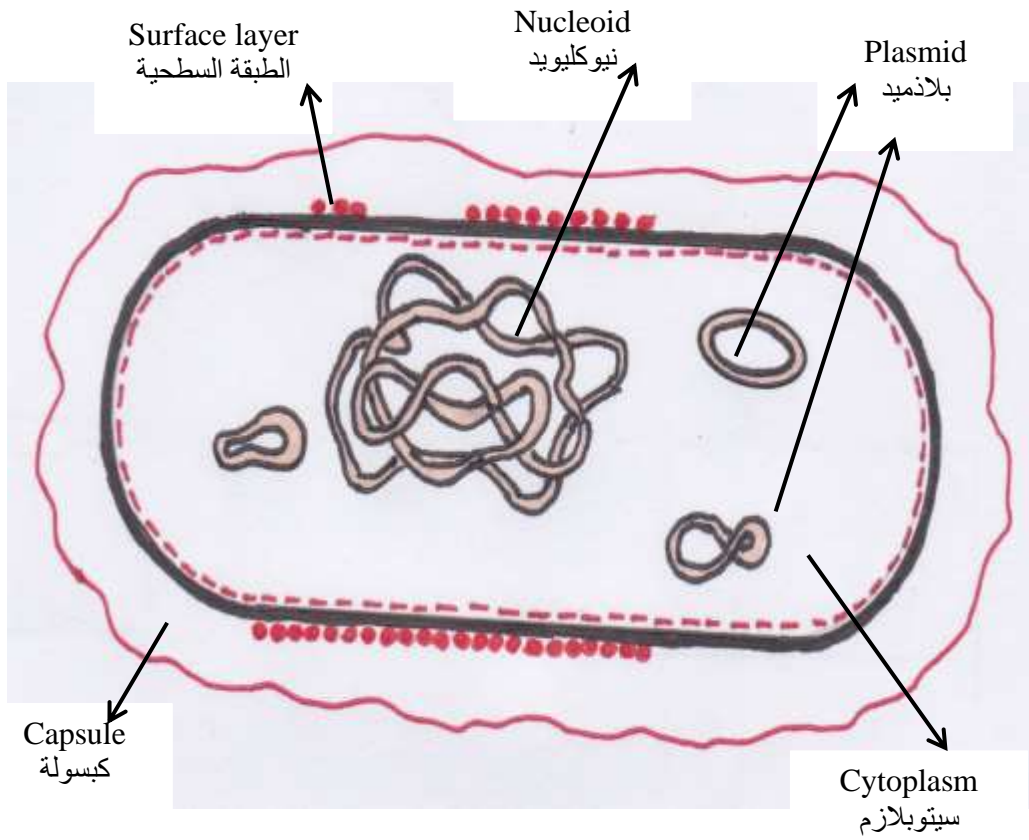


Figure 2 - 8 : plasmid and surface layer of bacterial cell

شكل 2 - 8 : البلازميد والطبقة السطحية للخلية البكتيرية

الأسواط:

Flagella:

Some bacteria are motile, and some are non-motile. Almost all motile bacteria possess flagella (plural: flagella -singular: flagellum) as the organ of locomotion. Such bacteria tend to move towards or away from the source of stimulus. These stimuli can be chemicals (chemotaxis), light (phototaxis), air (aerotaxis) or magnetism (magnetotaxis).

بعض البكتيريا مُتحرِّكة والبعض غير مُتحرِّك. مُعظم البكتيريا المُتحرِّكة لها أسواط (الجمع أسواط - المفرد سوط) كعضو للحركة. هذه البكتيريا تميل للتحرك نحو مصدر المؤثر أو بعيداً عنه. هذه المؤثرات قد تكون: مواد كيميائية (مؤثر كيميائي)، ضوئية (مؤثر ضوئي)، هوائية (مؤثر هوائي) أو مغناطيسية (مؤثر مغناطيسي).

Chemotaxis is the movement towards a chemical attractant (positive chemotaxis) or away from a chemical repellent (negative chemotaxis). The bacterial cell detects chemicals by chemo-receptors on their cell surfaces. Flagella propel bacteria toward nutrient sources (chemotaxis).

المؤثر الكيميائي هو الحركة نحو مادة كيميائية جاذبة (مؤثر كيميائي موجب) أو بعيداً عن مادة كيميائية منفرة (مؤثر كيميائي سالب). تتعرف الخلية البكتيرية على المواد الكيميائية بواسطة مستقبلات كيميائية على أسطح الخلية. تجذب الأسواط البكتيريا نحو مصادر الغذاء (انجذاب كيميائي).

تركيب السوط:

Flagellum structure:

Prokaryotic flagella are much thinner than eukaryotic. They lack the typical 9 + 2 arrangement of microtubules. Over 40 genes are involved in flagellum assembly and function.

أسواط الكائنات غير مُمَيَّزة النواة أكثر رقة من أسواط الكائنات ذات النواة المُمَيَّزة. وهي ينقصها الترتيب المُميز 9 + 2 للأنايب الدقيقة. يشارك أكثر من 40 جيناً في تكوين ووظيفة السوط.

The flagellum consists of three parts: filament, basal body and hook. The hook links filament to the basal body. Basal body consists of rings that drive flagellar motor (Figure 2 - 9).

يتكوّن السوط من ثلاثة أجزاء: الخيط والخطاف والجسم القاعدي. يربط الخطاف الخيط مع الجسم القاعدي. ويتكوّن الجسم القاعدي من حلقات تقود موتور السوط (شكل 2 - 9).

The gram-negative bacteria have four rings S, M, P and L connected to a central axis. The two rings P and L are located at the outer side. The L ring is connected to the lipopolysaccharide layer while the P ring is connected to the peptidoglycan layer. On the other hand, Gram positive bacteria have two rings, an inner M ring connected to the plasma membrane and an outer S ring attached to the peptidoglycan layer (Figure 2 - 9).

The filament is a hollow rigid cylinder. It is composed of protein flagellin. Some prokaryotes have a sheath around filament. The hook and basal body are embedded in the cell envelope while the filament is free. Growth of the filament is from the tip, not from the base (Figure 2 - 9). If a flagellum is cut off it will regenerate until reaches a maximum length.

Prokaryotic flagella are approximately 15 - 20 µm long and 20 - 30 nm in diameter. Since flagella are very thin, they cannot be seen with microscope.

Flagella arrangements: examples of flagella arrangement are demonstrated in Figure 2 - 10. these examples are:

- Atrichous bacteria are without flagella.

البكتيريًا سالبة الجرام لها أربع حلقات S، M، P و L مرتبطة جميعًا بمحور مركزي. الطبقتان P و L توجدان من جهة الخارج. والحلقة L مُرتبطة بطبقة عديدة السكريات الليبيدية، بينما طبقة P مُرتبطة بطبقة الببتيدوجليكان. من ناحية أخرى، البكتيريًا موجبة الجرام لها حلقتان، حلقة داخلية M متصلة بالغشاء البلازمي وحلقة خارجية S ملتصقة بطبقة الببتيدوجليكان (شكل 2 - 9).

الخيوط هو أسطوانة صلبة مُجوّفة. ويتكوّن من بروتين فلاجلين، وبعض الكائنات ذات النواة غير المُميّزة لها غلاف حول الخيط، ينغمد الخطاف والجسم القاعدي في غلاف الخلية بينما يكون الخيط حُرًا. نمو الخيط يكون من القمة وليس من القاعدة (شكل 2 - 9). إذا قُطع الخيط فإنه يتجدّد حتى يصل إلى أقصى طول.

طول الأسواط في الكائنات غير مُميّزة النواة تقريبًا 15 - 20 ميكرومترًا بينما القطر 20 - 30 نانومتر. ولأن الأسواط رفيعة جدًا، فلا يمكن رؤيتها تحت المجهر.

ترتيب الأسواط: أمثلة لترتيب الأسواط موضحة في شكل 2 - 10. هذه الأمثلة هي:

- البكتيريًا عديمة الأسواط وهي بدون أسواط.

- Monotrichous bacteria (trichous means hair) have one flagellum. If the flagellum is located at one pole it is called polar monotrichous e.g. *Vibrio cholerae*.
• بكتيريا أحاديّة الأسواط (تريكس تعني شعرة) لها سوط واحد. إذا كان السوط موضوعاً عند أحد الأقطاب تُسمّى قُطْبِيَّة أحاديّة السوط مثال فيبريو كوليرا.
- Amphitrichous bacteria (amphi means on both sides) have a single flagellum at each pole e.g. *Spirilla*.
• بكتيريا أمفيتريكس (أمفي تعني على الجانبين) لها سوط واحد عند كل قطب مثال سبيريلا.
- Lophotrichous bacteria (lopho means tuft) have a cluster of flagella at one pole of the cell e.g. *Spirillum undula*. Some bacterial types have two clusters of flagella at their two poles. They called amphi lophotrichous.
• بكتيريا لوفوتريكس (لوفو تعني خصلة) لها مجموعة من الأسواط عند أحد أقطاب الخلية أو كلاهما مثال *Spirillum undula*. بعض الأنواع البكتيرية لها مجموعتان من الأسواط عند قطبيها. هي تُسمّى أمفي لوفوتريكس.
- Peritrichous bacteria have flagella spread over the whole cell surface (the bacterial cell is completely surrounded by flagella e.g. *E. coli*). Flagella patterns are used in bacterial identification.
• بكتيريا بيريتريكس لها أسواط مُنتشرة على كل سطح الخلية (الخلية البكتيرية مُحاطة بالأسواط بالكامل مثل: بكتيريا القولون). تُستخدَم أنماط الأسواط في تعريف البكتيريا.
- Spirochetes have endoflagella, while other bacterial species undergo gliding motility.
• سبيريوكيت لها أسواط داخلية، بينما أنواع بكتيرية أخرى تعمل حركة زاحفة.

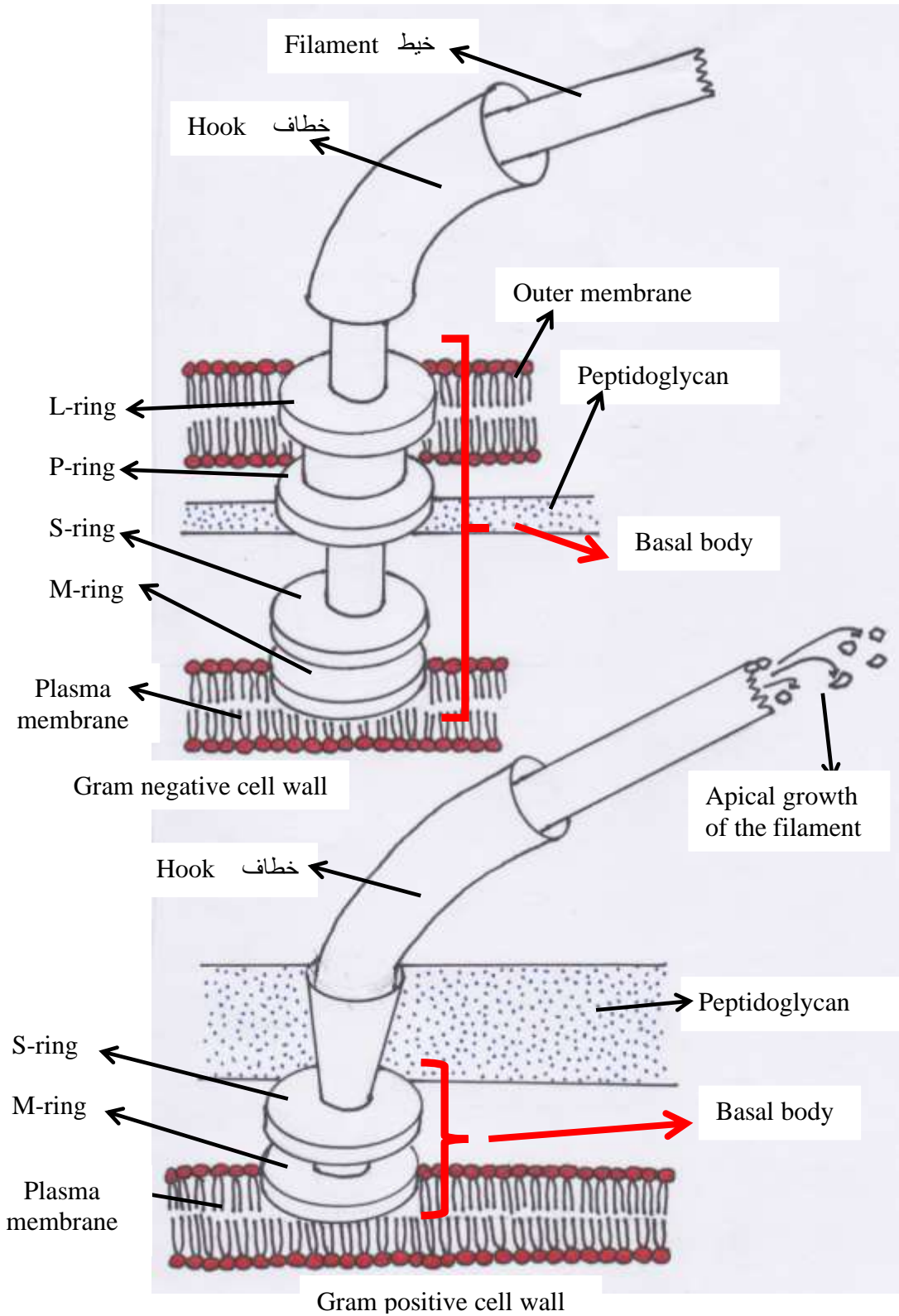


Figure 2 – 9 : Ultra structure of bacterial flagellum

شكل 2 - 9 : تركيب للسوط البكتيري

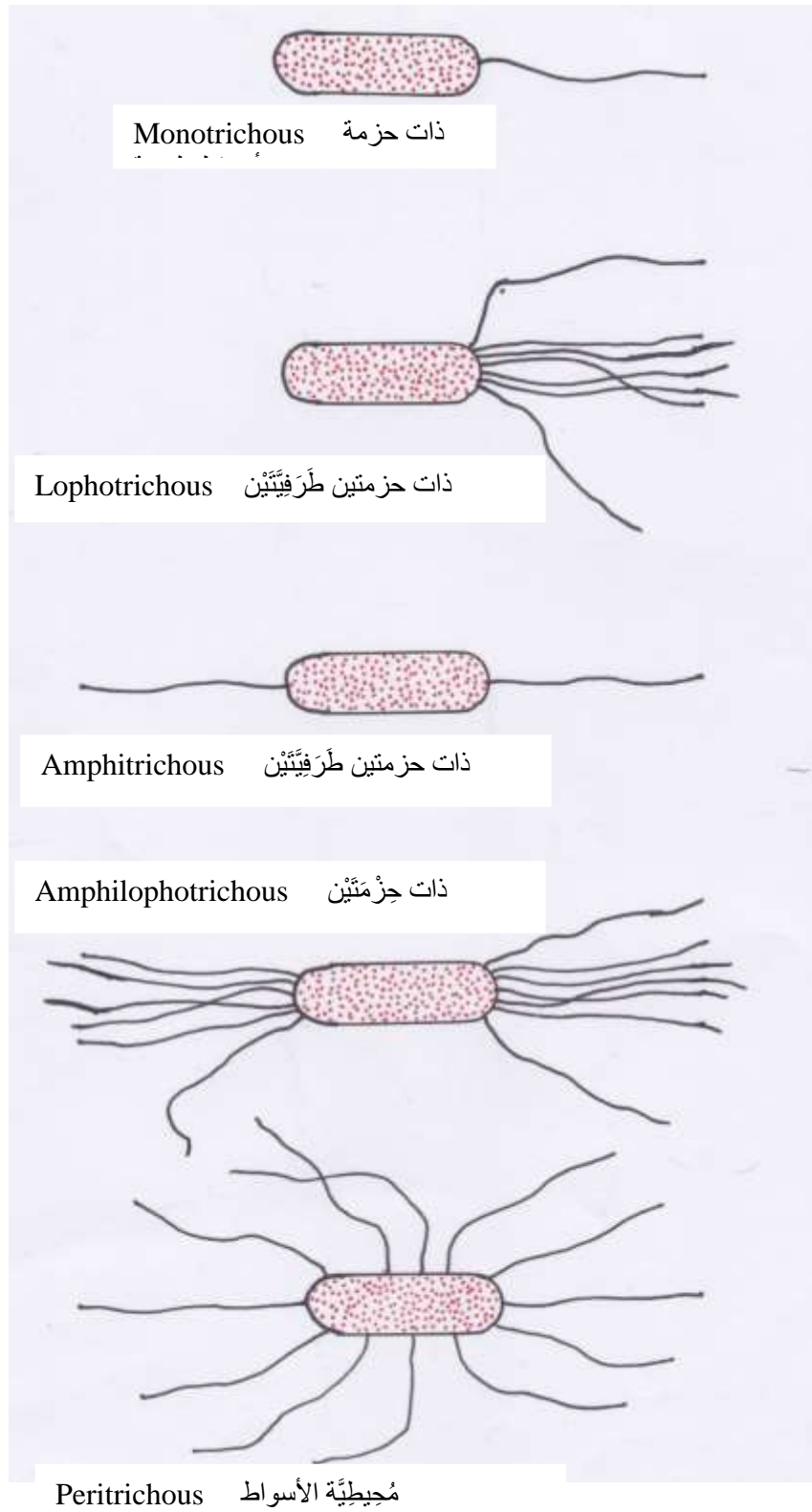


Figure 2 - 10 : Types of bacterial flagella.

شكل 2 - 10 : أنواع الأسواط البكتيرية.

فِيمْبْرِيَا أَوْ بَيْلِس:

Fimbriae or pili:

Some bacterial types have hair-like surface appendages called fimbriae (singular fimbria). There are other appendages called pili (singular pilus). These structures are not used for locomotion. They are appendages used for attachment.

بعض أنواع البكتيريا لها زوائد سطحية تُشبه الشعيرات تُسمى فيمبريا (مفرد: فيمبيري). هناك زوائد أخرى تُسمى ببلي (مفرد بيلس). هذه الزوائد لا تُستخدم للحركة. هي زوائد تُستخدم للتصاق.

الببلي:

Pilli:

Pili are longer than fimbriae but shorter than flagella. Pilli are long, tubular structures made of protein called pillin. Pilli are found only in Gram negative bacteria. The number of pilli are about 3-5 per cell. Bacteria use pili to attach themselves to their hosts. Also, pili involved in cell to cell attachment during bacterial conjugation. These pili are called sex-pili or F-pili. These sex pili are important in transferring DNA between bacterial cells (Figure 2 - 11).

الببلي أطول من فيمبريا ولكنها أقصر من الأسواط. الببلي هي تراكيب أنبوبية طويلة مكوّنة من بروتين يُسمى بيلين. توجد الببلي فقط في الخلايا البكتيرية سالبة الجرام. عدد الببلي حوالي 3-5 لكل خلية. تُستخدم البكتيريا الببلي في التصاق نفسها بعوائلها. أيضا، تشارك الببلي في التصاق خلية بخلية أثناء الاقتران البكتيري. تُسمى هذه الببلي بالببلي الجنسية أو F- ببلي. هذه الببلي الجنسية مهمة في نقل الـ DNA بين الخلايا البكتيرية (شكل 2 - 11).

فيمبريي:

Fimbriae:

Fimbriae are thinner and shorter than pilli. (singular, fimbria). They are made from protein. Fimbriae are found in both Gram-positive and Gram-negative bacteria. The number of fimbriae is 300 - 400 per cell. Fimbriae are involved in cell to cell attachment (Figure 2 - 11).

فيمبريي أرفع وأقصر من الببلي (مفرد فيمبريا). هي مصنوعة من البروتين. توجد الفيمبريا في كل من البكتيريا موجبة الجرام وسالبة الجرام. عدد الفيمبريا هو 300 - 400 لكل خلية. تُشارك الفيمبريي في التصاق خلية بخلية (شكل 2 - 11).

