تركيب الخلية البكتيرية Structure of Bacterial Cell

ان الكائنات الحية البسيطة مثل البكتريا تُظهر سلوكيات او اليات معقدة ولفهم هذه السلوكيات والاليات يجب اولاً معرفة التركيب الخلوي cell structure. وسنبدأ اعتباراً من هذه المحاضرة وعلى مدى فصلين دراسيين بشرح تفصيلي لتراكيب الخلية البكتيرية الداخلية والخارجية وتغذيتها ونموها والعمليات الايضية . . . تتكون الخلية البكتيرية المثالية من الأجزاء التالية :-

1- **المادة الوراثية النووية Nuclear Region or Nucleoid** : تحتوي على المعلومات الوراثية DNA، وغير محاطة بغشاء و إنما موزعة في السائل البلازمي Cytosol.

2- **السيتوبلازم cytoplasm** : ويضم السائل البلازمي **Cytosol** والذي يحتوي على الرايبوسومات ribosomes والمواد العضوية وغير العضوية ، ويحوي ايضاً حبيبات لتخزين المواد الغذائية تسمى بالـ inclusion bodies، بالإضافة إلى فراغات لتجميع الفضلات.

3- **الجدار الخلوي Cell Wall** : يعطي الخلية شكلها المعروف وهو رقيق لكنة صلب ويسمح بمرور السوائل والمواد الغذائية إلى داخل الخلية وخروج الفضلات خارجها.

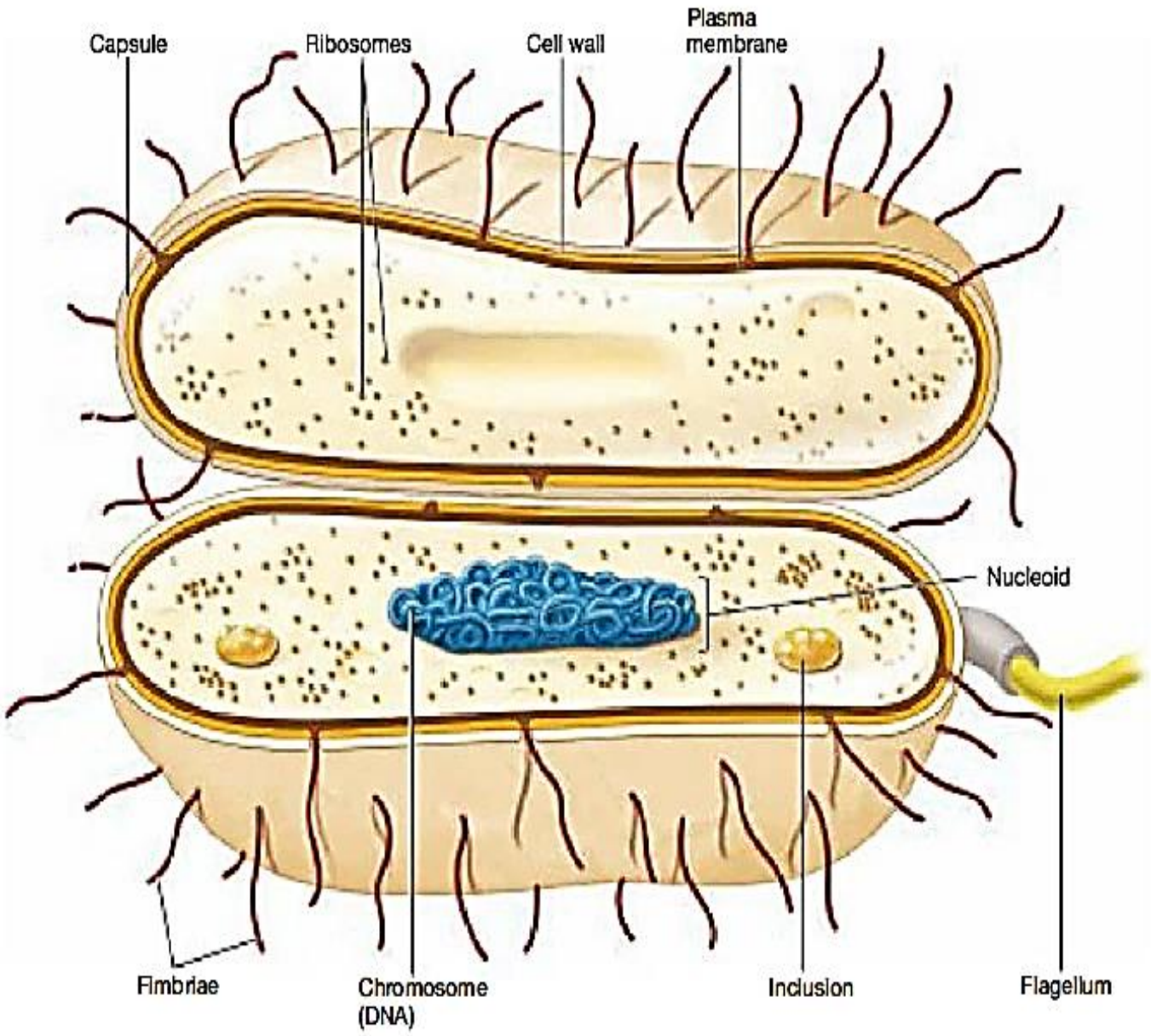
4- **الغشاء البلازمي Cytoplasmic Membrane** : هو غشاء شبه نفاذ ويحتوي على إنزيمات التنفس وبه تركيب يدعى بالـ **Mesosome** والذي يلعب دورا هاما في تكوين الجدار الخلوي خلال انقسام الخلية او قد يكون مكان لعملية الفسفرة التأكسدية oxidative phosphorylation.

5- **المحفظة Capsule او** طبقات **Slime layers** : توجد في بعض البكتيريا وتغطي جدار الخلية من الخارج وتعمل كغلاف واقي للبكتيريا.

6- **الأسواط Flagella** : بعض البكتيريا لها أسواط وتستخدم في الحركة وقد تكون وحيدة أو متعددة.

7- **الأهداب او الاهلاب Pili** : استطالات دقيقة تقع حول الخلية ، وتستخدم في الالتصاق بالأجسام.

ليس من المفترض ان تمتلك جميع انواع البكتريا هذه التراكيب المذكورة اعلاه في جميع الاوقات. فبعضها يتواجد في الخلية البكتيرية تحت ظروف معينة او عند طور معين من دورة حياة الخلية او قد يكون غير موجود اساساً. وسيتم شرح كل هذه التراكيب تباعاً.



❖ جدار الخلية البكتيرية Bacterial Cell Wall

الجدار الخلوي هو الطبقة الواقعة خارج الغشاء البلازمي للخلية البكتيرية وهو ذو طبيعة صلبة ويعتبر من التراكيب المهمة للخلية البكتيرية وتكمن اهميته كونه يقوم بوظائف مهمة وفاعلة للخلية البكتيرية وهي:-

1- اعطاء الشكل المحدد للخلية.

2- حمايتها من التحلل الازموزي osmoticlysis

3- يحمي الخلية من المؤثرات الخارجية والجسيمات السامة.

4- يلعب دور مهم في الامراضية pathogenicity

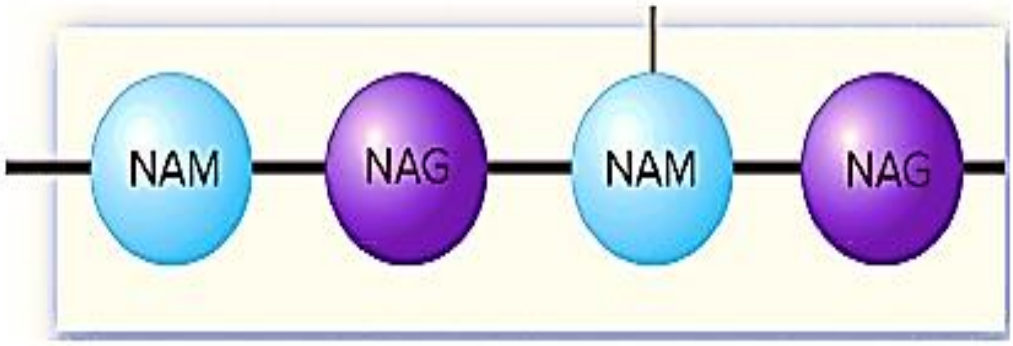
لكنه لا يقوم بتنظيم دخول وخروج المواد من والى الخلية. ونظراً لأهمية هذا التركيب للخلية البكتيرية ولكونه يعتبر هدف لعدد كبير من المضادات الحيوية Antibiotics فقد فتح افاق عديدة في محاربة الانواع البكتيرية الممرضة.

أن الجدار يحتوى على مكونات لا توجد في أي مكان بالطبيعة ولذلك فهو ذو اهمية تقسيمية وتصنيفية , وان الخصائص المميزة للجدار الخلوي تُنتج اختلافاً في تقبل او التفاعل مع الصبغات وعلى اساس هذه التفاعلات تُقسم البكتريا الى : البكتريا الموجبة لصبغة كرام Gram positive bacteria , البكتريا السالبة لصبغة كرام Gram negative bacteria والبكتريا الصامدة للحامض Acid fast bacteria . ويعود هذا الاختلاف الى الطبيعة الفيزيائية للجدار الخلوي cell wall. ففي حال تم ازالة الجدار الخلوي فأن الخلية Gram-positive bacteria ستصطبغ بصبغة Gram negative. بالإضافة الى ذلك فأن البكتريا التي لا تمتلك جدار خلوي اطلاقاً مثل بكتريا الـ mycoplasma (حيث يحيطها غشاء بلازمي فقط) هي ايضاً تصطبغ بصبغة Gram negative. في عام 1884 قام الباحث Christian Gram بتطوير صبغة سميت بأسمه - صبغة كرام Gram stain. حيث يمكن من خلال هذه الصبغة تقسيم البكتريا الى مجموعتين كبيرتين استناداً الى تقبلها لهذه الصبغة. ان البكتريا الموجبة لصبغة كرام تصطبغ باللون البنفسجي او الارجواني purple , بينما البكتريا السالبة لصبغة كرام تصطبغ باللون الزهري او الاحمر pink to red.

❖ الجدار الخلوي للبكتريا الموجبة لصبغة كرام Cell Wall of Gram positive bacteria

يعتبر الجدار الخلوي للبكتريا الموجبة اقل تعقيداً وابسط بكثير من جدار البكتريا السالبة ولكن كلاهما يحتويان على وحدة اساسية هي مركب الببتيدوكلايكان **peptidoglycan** والذي يطلق علية اسم (**murein**). حيث يتألف الجدار الخلوي للبكتريا الموجبة لصبغة كرام من طبقة سميكة ومتجانسة من peptidoglycan ويكون بسمك 20 - 80 نانوميتر والذي يكون بدوره بتماس مباشر مع السطح الخارجي للغشاء الخلوي plasma membrane ومن الجهة الاخرى يكون بتماس مباشر مع البيئة الخارجية التي تعيش فيها الخلية. ويؤلف الـ peptidoglycan حوالي 60-90% من جدار الخلية البكتيرية الموجبة لصبغة كرام.

1- peptidoglycan - يتكون هذا المركب من جزأين رئيسيين هما السكريات الامينية Glycan strands وهي عبارة عن سلاسل خطية من سكريات حامضية تتألف من نوعين من الوحدات الثنائية هما N-acetylglucosamine ويرمز له (NAG) , و N-acetylmuramicacid ويرمز له (NAM) , مرتبطة مع بعضها بالتناوب بواسطة اواصر كلايكوسيدية glycoside bonds , ويعتمد طول السلسلة على نوع البكتريا وعلى الظروف البيئية المحيطة بالخلية. هذه السلاسل تكون مترتبة بشكل حلزوني helical وتمتد منها الى الخارج سلاسل الببتايد **Tetrapeptide** باتجاهات مختلفة.



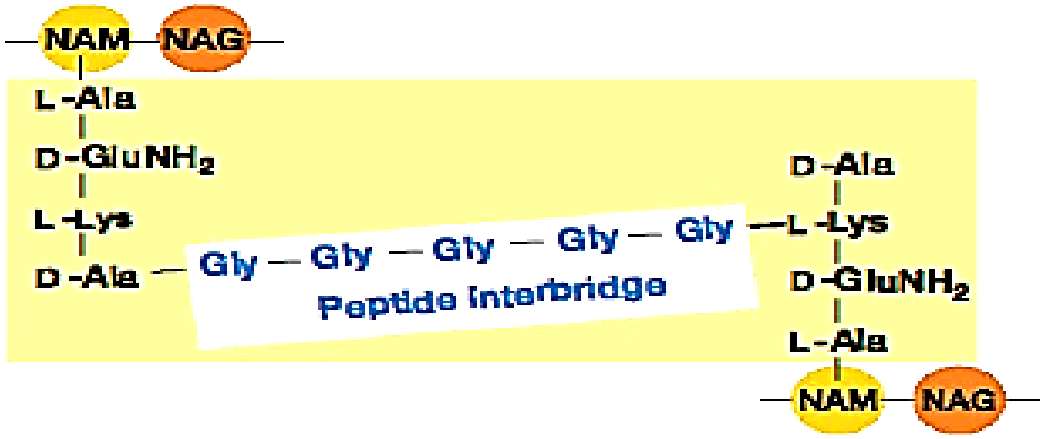
Glycan strands structure (1)

والجزء الاخر هو الببتيدات الرباعية **Tetrapeptide** وهي عبارة عن سلسلة رباعية من الاحماض الامينية amino acid التالية :-

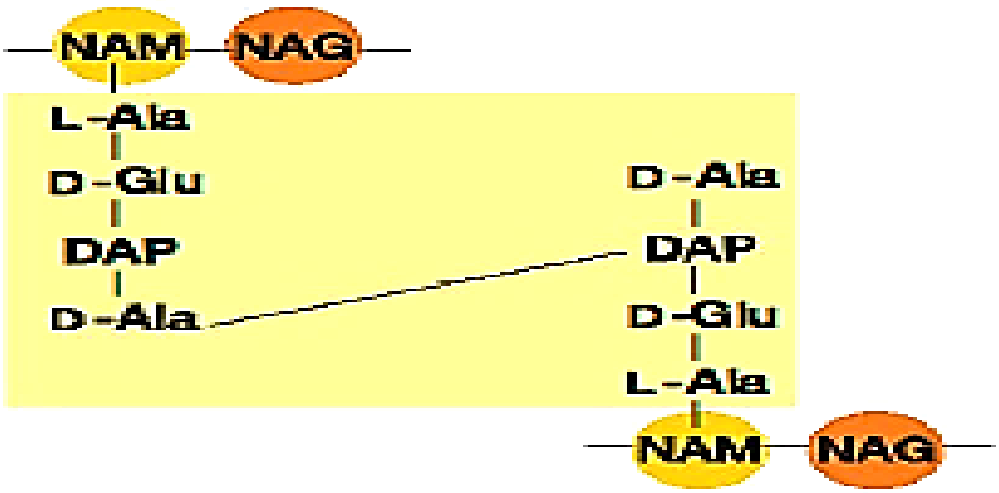
1. L-alanin
2. D- glutamate
3. L-lysin (**in Gram positive**) or *meso*-diaminopimelic acid "DAP" (**in Gram negative**)
4. D-alanine

ترتبط سلاسل Glycan strands مع بعضها من خلال اواصر تساهمية ممتدة من tetrapeptide المرتبطة تساهمياً مع (NAM) من خلال مجموعة الكاربوكسيل , اي ان الـ tetrapeptide لسلسلة Glycan strands ترتبط مع tetrapeptide لسلسلة اخرى. هذا الارتباط يسمى Transpeptidation ويتم بطريقتين : ففي الجدار الخلوي لـ Gram positive تتم عملية الربط من خلال interpeptide bridge مكون من خمسة ببتيدات قصيرة من الحامض الاميني الـ glycine وقد يسمى هذا الربط بـ pentaglycine bridge.

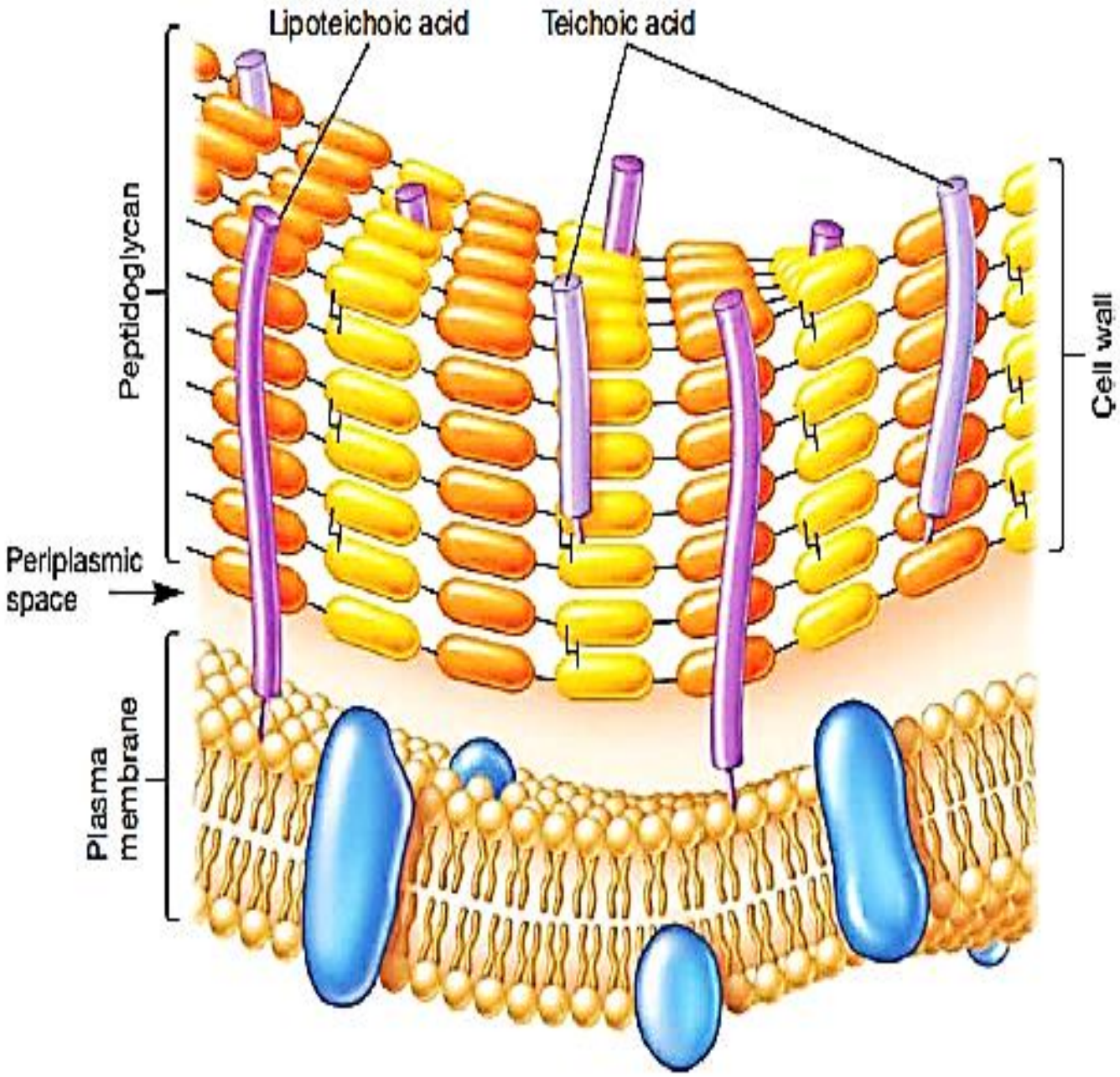
حيث يرتبط الـ D-alanine في سلسلة tetrapeptide في المركب (NAM) مع L-lysin في سلسلة tetrapeptide من مركب اخر من (NAM), مما يساعد على ارتباط طبقات عديدة من الـ peptidoglycan مع الطبقة التي تليها فيبدو أكثر تجانساً من جدار البكتريا السالبة لصبغة كرام والذي يكون أقل سماكةَ لأنه يحتوي على طبقات قليلة من مركب الـ peptidoglycan.



وفي الجدار الخلوي لـ Gram negative تكون عملية الارتباط بشكل مباشر ما بين D-alanine في سلسلة tetrapeptide في المركب (NAM) مع *meso*-diaminino pimelic acid في سلسلة tetrapeptide من مركب اخر من (NAM). ان الاحماض الامينية الثلاثة في مركب peptidoglycan وهي D-glutamic acid, D-alanine, and *meso*-diaminopimelic acid غير موجودة في البروتين. حيث انها تتواجد بهيئة D-amino acids والتي لا يمكن لأنزيمات الـ peptidases هضمها حيث ان هذه الانزيمات يمكنها تمييز الاحماض الامينية من نوع L-isomers فقط.



هذه التراكيب تتشّكل بهيئة الياف ثابتة لحد ما وهي المسؤولة بصورة عامة عن صلابة الجدار الخلوي , وينشأ منها تركيب ثلاثي الابعاد مشابه للشبكة الاختيارية النفاذية بحيث تسمح للماء والمواد الغذائية من خارج الخلية بالدخول ,كما يسمح بخروج فضلات الخلية من الداخل الى الخارج. لكن الجدار الخلوي cell wall بشكل عام لا يقوم بوظيفة تنظيم دخول وخروج المواد الغذائية وغيرها من والى الخلية. وتجدر الاشارة الى ان الجدار الخلوي لجميع انواع البكتريا يتكون من مركب peptidoglycan ما عدا بكتريا الـ Archaea.



2- **حامض التكويك Teichoic acid** - هو عبارة عن وحدات متكررة polymer مكون من glycerol and ribitol مرتبطة مع بعضها بأصرة فوسفاتية phosphate ومنتظمة بطول اكثر من 30 وحدة. يرتبط teichoic acid مع مركب الـ peptidoglycan بواسطة اصرة تساهمية. وعندما يرتبط مع دهون الغشاء البلازمي plasma membrane يطلق علية اسم **Lipoteichoic acid**. هذا المركب يمتد خارج الجدار الخلوي او خارج المحفظة capsule في البكتريا المغلفة بالمحفظة (سيأتي ذكرها لاحقاً). ويكون ذو شحنة سالبة ويعطي الجدار الخلوي صفة او ميزة الشحنة السالبة. وعلى الرغم من ان وظيفة هذا المركب غير واضحة , الا انه يشكل 50% من كتلة الجدار الخلوي ويحافظ على تركيبة الجدار ويحمي الخلية من المواد الضارة (كالمضادات الحيوية والجزيئات الدفاعية للجسم المضيف كالـ antibodies). وقد يقوم teichoic acid بوظيفة ارتباط الخلية البكتيرية المرضية بأنسجة المضيف , بالإضافة الى ذلك يعتبر موقع لارتباط الفيروسات التي تصيب البكتريا Bacteriophage , وكذلك ربما يعمل كممر لحركة الايونات من والى الخلية.

3- **Periplasmic Space** - تعرف بأنها الفسحة او الفضاء الموجود بين الغشاء البلازمي plasma membrane وبقية الطبقات المحيطة به (سيأتي ذكره في المحاضرة القادمة). توجد هذه الفسحة periplasmic space بشكل مثالي في جدار البكتريا Gram negative , واغلب المصادر تشير الى عدم وجودها في جدار البكتريا Gram positive لكن تطور المجاهر الالكترونية وتقنياتها كشفت عن وجود هذه الفسحة في البكتريا الموجبة لصبغة كرام لكنها تشغل مساحة صغيرة جداً مقارنةً بالفسحة الموجودة في البكتريا السالبة.