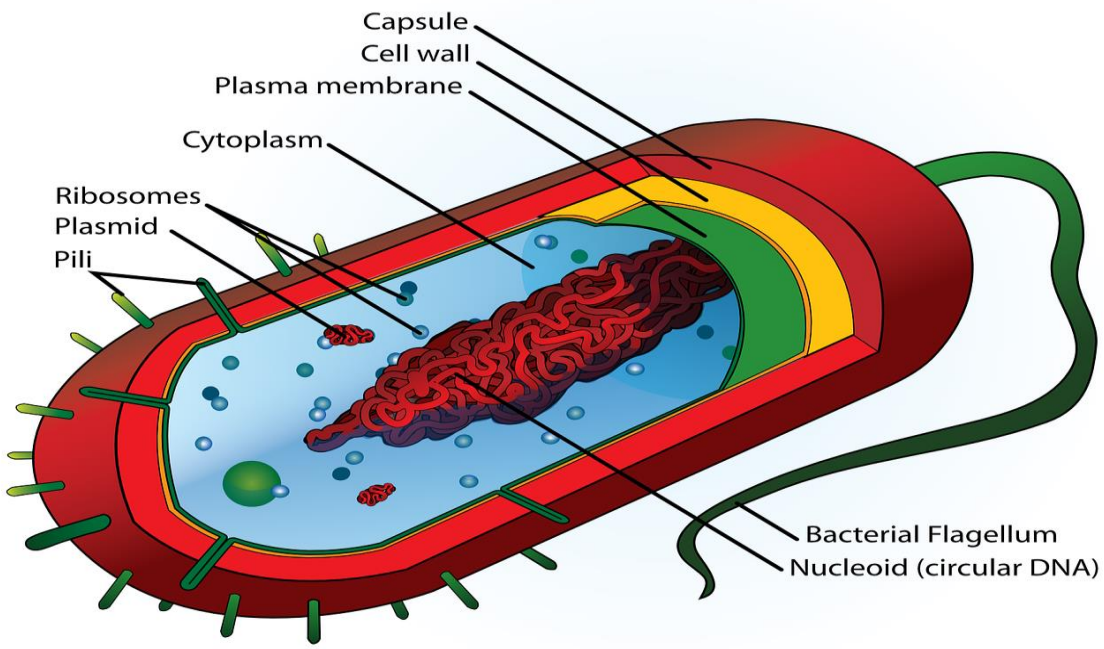
الجدار الخلوي Cell wall

ان التراكيب الخلوية الخارجية مهمة جدا"، اذ أنها تمثل الأجزاء الخلوية التي تواجه بها الخلية المؤثرات البيئية الخارجية، والخلية البكتيرية تحفظ محتوياتها داخل الجدار الخلوي، الا ان هذا التركيب لا يقتصر على الخلايا البكتيرية فقط ، بل ان الجدار الخلوي موجود في الأحياء حقيقية النواة التابعة لمملكة الابتدائيات Protista فضلا" عن ان الخلايا النباتية محاطة ايضا بجدران خلوية، والجدار الخلوي هو تركيب معقد من الناحية الكيميائية حيث يتكون من عدد من الجزيئات الكبيرة macromolecules ، وهذه الجزيئات تكون مسؤولة عن قوة الجدار الخلوي ومقاومة لقوة ضغط البروتوبلاست الموجود داخل الخلية وبهذا فهو يمنع تحلل الخلية عند وضعها في محلول واطئ الشد.



مخطط لتركيب الخلية البكتيرية

ان الجدار الخلوي في الكائنات بدائية النواة Prokaryotic هو الذي يمنح الخلية شكلها الخارجي ويتكون الجدار من نوع فريد من مادة عضوية متعددة organic polymer تدعى الببتيدوكلايكان Peptidoglycan او الميورين Murein ، وهذه المادة عبارة عن مكررات متباينة Heteropolymers وتتكون من عدة انواع من الوحدات الفرعية مثل الكربوهيدرات وبعض الاحماض الأمينية، وتوجد الكربوهيدرات على شكل سكريات أمينية Amino sugars وهي على نوعين:

1- خلات الكلوكوز الأمينية N-acetylglucoseamine NAG وتوجد ضمن مكررات حيوية Biological polymers كثيرة اخرى مثل الكايتين.
2- خلات حامض الميوراميك N-acetylmuramic acid NAM ويوجد في الميورين فقط لذا يعتبر صفة تصنيفية للكائنات بدائية النواة وخاصة فيما يتعلق بتركيب طبقة الببتيدوكلايكان.

وترتبط هذه السكريات مع بعضها بواسطة الاواصر الكلايكوسيدية.

أما الأحماض الأمينية فهي وحدات فرعية تقع ضمن تركيب طبقة الميورين وتشمل ثلاثة أنواع رئيسية هي الالنين alanine (D و L) والكلوتاميك glutamic وحامض meso-diaminopimelic acid الذي يوجد في البكتريا السالبة لصبغة كرام ويستعاض عنه بحامض اللايسين lysine في البكتريا الموجبة لصبغة كرام.

من الجدير بالذكر ان الشكل D من الاحماض الأمينية يعتبر من الصفات المميزة للجدار حيث ان الأحماض الأمينية بالشكل D لا تدخل في صناعة البروتينات وبالتالي فهي لا تتأثر بأنزيمات Peptidase المحللة للبروتينات وهذا يمنح طبقة الببتيدوكلايكان حماية من أي عملية تحلل بواسطة الأنزيمات المحللة للبروتينات، كما يمتاز الحامض الأميني meso-diaminopimelic acid بأنه لا يوجد أبدا" في البروتينات وبالتالي فهو يعد علامة تصنيفية ثانية لطبقة الببتيدوكلايكان المكون لجدار الخلية البكتيرية.

ترتبط الأحماض الأمينية الداخلة في تركيب طبقة الببتيدوكلايكان مع بعضها بواسطة أواصر ببتيدية لتكون ما يسمى stem ، حيث يتكون stem في البكتريا الموجبة لصبغة كرام من الاحماض الأمينية التالية:

1- L-alanine

2- D-glutamic

3- L-lysine

4- D-alanine

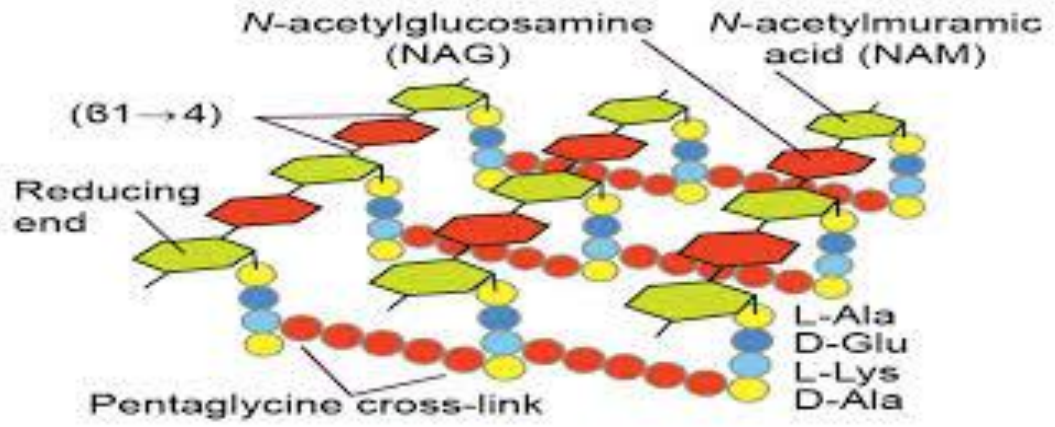
بينما يتكون stem في البكتريا السالبة لصبغة كرام من الاحماض الأمينية التالية:

1- L-alanine

2- D-glutamic

3- Meso-diaminopimelic acid

4- D-alanine

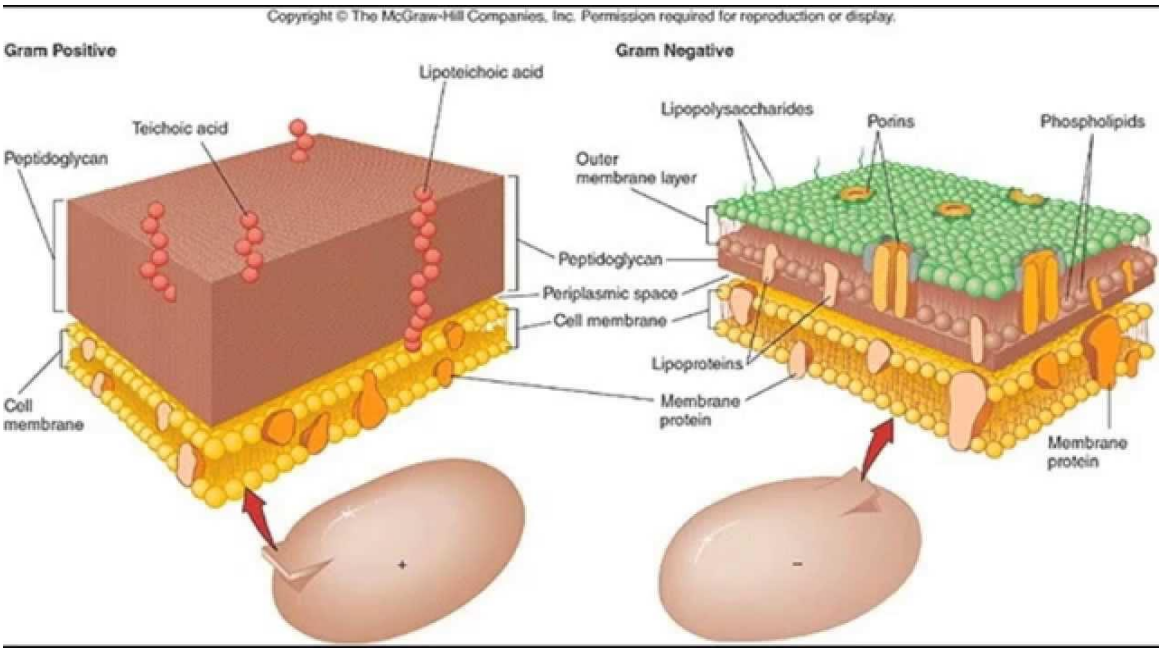


التركيب الكيميائي الدقيق للببتيدوكلايكان

يرتبط stem مع مجموعة الكاربوكسيل في السكر الأميني NAM التي بدورها تكون مرتبطة مع السكر الأميني NAG لتكون ما يسمى بالشريط strand ، لذا فان طبقة الببتيدوكلايكان تعتبر سلسلة متعددة من الأشرطة المرتبطة مع بعضها بواسطة الأواصر الببتيدية العرضية cross-linked ، ويوجد نوعان من الاواصر العرضية هما:

1- الاواصر العرضية المباشرة direct cross-link والتي تربط الشريط في البكتريا السالبة لصبغة كرام ويكون موقعها بين مجموعة الكاربوكسيل للحامض الاميني D-alanine مع مجموعة الأمين للحامض الأميني meso-diaminopimelic acid .

2- الاواصر العرضية غير المباشرة Indirect cross- link والتي يكون موقعها بين مجموعة الكاربوكسيل للحامض الأميني D-alanine مع مجموعة الأمين للحامض الأميني L-lysine . تتكون الاواصر العرضية غير المباشرة من خمسة أحماض أمينية من نوع Glycine وتسمى الاواصر في هذه الحالة بالأواصر الببتيدية الداخل عرضية peptide interbridge .



تركيب الجدار الخلوي في البكتريا الموجبة والسالبة لصبغة كرام

من صفات طبقة الببتيدوكلايكان المكونة للجدار الخلوي في البكتريا هي:

1- تمتاز طبقة الببتيدوكلايكان ايضا بأنها تركيب قوي ولكنه بنفس الوقت يكون مطاطي مما يساعده على التقلص والانبساط استجابة للتغيرات في الضغط الاوزموزي حيث ان صلابة الببتيدوكلايكان ناتجة عن السكريات الامينية الداخلة في تركيب الجدار الخلوي والتي تعتبر العمود الفقري للجدار

الخلوي، أما صفة المطاطية أو المرونة فهي ناتجة عن الاواصر العرضية الرابطة بين شريط وشريط اخر.

2- تمتاز طبقة الببتيدوكلايكان بأنها مؤشر تصنيفي Taxonomic marker لجميع الخلايا بدائية النواة، حيث توجد مادة الببتيدوكلايكان في جدران جميع الخلايا بدائية النواة وبدون استثناء، بالمقابل فان هذه المادة غير موجودة على الاطلاق في الخلايا حقيقية النواة.

3- ان مادة الببتيدوكلايكان تكون مجسمة، اي لها ثلاثة أبعاد ومن هنا تأتي صفة القوة للجدار الخلوي، ومع ذلك فهي لا تعترض دخول الماء والمواد المغذية مثل المعادن والكلوكوز والاحماض الامينية والمواد العضوية الاخرى ذات الجزيئات الكبيرة نسبيا"، فضلا عن المواد التالفة تخرج من الخلية من خلال ممرات الدخول نفسها. ان صلابة تركيب الببتيدوكلايكان تأتي من الأواصر العرضية التي تربط الأشرطة مع بعضها البعض، ففي جدران البكتريا الموجبة لصبغة كرام يكون عدد الاواصر العرضية اكثر مما هي عليه في جدران البكتريا السالبة لصبغة كرام.

وعلى العموم فان مادة الببتيدوكلايكان ليست المادة الوحيدة الموجودة في جدران الخلايا البكتيرية، فهناك مواد معقدة أخرى تشكل معها مجمل هيكل هذه الجدران، ففي البكتريا السالبة لصبغة كرام يكون الجدار رقيقا" جدا" اذ يبلغ سمكه بحدود 10-15 نانومتر وهو يشكل 10-20% من وزن الخلية الجاف ويتكون من 5-15% من مادة الببتيدوكلايكان و 35% من الدهون المفسفرة Phospholipids و 15% من البروتين و 35% من الدهون المتعددة السكريات Lipopolysaccharides ، وبسبب احتواء البكتريا السالبة لصبغة كرام على نسبة عالية من الدهون مما يجعلها تفقد صبغة البنفسج البلوري Crystal violet عند قصرها او معاملتها بالكحول. أما البكتريا الموجبة لصبغة كرام فيكون جدارها أكثر سمكا" مما هو عليه في البكتريا السالبة لصبغة كرام، حيث يبلغ سمك طبقة الببتيدوكلايكان بحدود 25-35 نانومتر وتشكل بحدود 30-40% من وزن الخلية الجاف ويحتوي الجدار على 20-80% من مادة الببتيدوكلايكان اضافة الى مواد أخرى مثل البروتينات والسكريات المتعددة وحامض التيكويك Teichoic acid والذي يعتبر من المكونات المميزة لطبقة الببتيدوكلايكان، وحامض التيكويك هو تركيب معقد من الفوسفات المرتبط بالكليسيرول او سكر الرابيتول المرتبط مع مجموعة جانبية (R) وهذه المجموعة الجانبية قد تكون الحامض

الأميني D-alanine او سكر الكلوكوز أو أي جزيئة سكر أخرى، وان مجموعة الفوسفيت هي المسؤولة عن الشحنة السالبة في البكتريا.

يتكون الجدار الخلوي في البكتريا السالبة لصبغة كرام من طبقة الغشاء الخارجي outer membrane التي تتكون من جزء اساسي هي السكريات المتعددة الدهنية lipopolysaccharides (LPS) والتي تتكون من ثلاثة أجزاء أساسية هي:

1- Lipid A : ويتكون من نوعين من السكريات الامينية ويرتبط مع كل سكر أميني ثلاثة أحماض دهنية ومجموعة فوسفات.
2- Core polysaccharide : وتتكون من عشرة أنواع من السكريات غير الشائعة والتي ترتبط معها مجموعة فوسفات وهي المسؤولة عن الشحنة السالبة للبكتريا.
3- O side chain او O antigen :وتتكون أيضا من سكريات غير شائعة وتختلف هذه السكريات باختلاف النوع البكتيري.

تلعب طبقة LPS دورا كبيرا في العديد من الوظائف المهمة للبكتريا السالبة لصبغة كرام أهمها:

1- تساعد على استقرار الغشاء الخارجي لأن lipid A يمنحها الاستقرار.
2- يساهم LPS بكونه حاجز للنفاذية، حيث ان التركيب الهندسي لمكونات LPS وتداخلها مع بعضها مما يجعلها تمنع دخول بعض المواد الضارة مثل أملاح الصفراء والمضادات الحيوية والمنظفات وغيرها من المواد السامة.
3- يساهم LPS في حماية البكتريا المرضية من دفاعات المضيف.
4- الجزء O antigen هو المسؤول عن تحفيز الجهاز المناعي لخلية المضيف وبالتالي تكوين الاستجابة المناعية المتخصصة وتحفيز انتاج الأجسام المضادة antibodies ، وهناك العديد من أنواع البكتريا التي لها القدرة على التغيير السريع لطبيعة تركيب O antigen وبالتالي تقل الاستجابة المناعية وتحبط دفاعات المضيف تجاه البكتريا لعدم انتاج اجسام مضادة تجاهها.

بعض انواع البكتريا تكون فاقدة للجدار الخلوي مثل المايكوبلازما Mycplasmas وتمتاز بأن الغشاء الخلوي يحتوي في تركيبه على الكليسيرول الذي يمنحه القوة والصلابة وبالتالي يكون الغشاء الخلوي بمثابة جدار الخلية. أما الكلاميديا Chlamydia و Planctomycetes فتمتاز بأنها فاقدة لطبقة الببتيدوكلايكان لكنها تحتوي على الغشاء الخلوي.

الفسحة البيربلازمية **Periplasmic space**

وهي فسحة صغيرة تقع أسفل الجدار الخلوي وتتباين في حجمها حسب نوع البكتريا فتكون اكبر في البكتريا السالبة لصبغة كرام، فهي تتكون في البكتريا السالبة لصبغة كرام من منطقتين احدهما تقع بين طبقة outer membrane وطبقة الببتيدوكلايكان والثانية تقع بين طبقة الببتيدوكلايكان والغشاء البلازمي plasma membrane اما في البكتريا الموجبة لصبغة كرام فتكون صغيرة جدا" او معدومة وذلك بسبب سمك طبقة الببتيدوكلايكان والتي قد تشغل جميع المساحة التي تفصل الجدار الخلوي عن الغشاء البلازمي.

البروتوبلاست **Protoplast**

يوجد الجدار الخلوي في الاحياء بدائية النواة وبعض الخلايا حقيقية النواة مثل الخمائر والأعفان وبعض النباتات، ويمكن ازالة الجدار الخلوي للبكتريا مختبريا" دون أن تفقد هذه الخلايا حيويتها اذا ما حفظت في وسط ذا ضغط تنافذي مناسب، وتدعى الخلية في هذه الحالة بالبروتوبلاست protoplast ، وهو عبارة عن جسم مكور دائما" بسبب غياب الجدار الخلوي ويبقى البروتوبلاست كما هو لبضعة ساعات في محلول ذا ضغط تنافذي عال نسبيا" مثل 5% كلوريد الصوديوم أو 20% سكر الكلوكوز أو 20% مصل الدم لكي يعادل الضغط التنافذي الذي يسلط على الغشاء السايتوبلازمي من داخل السايتوبلازم.

يمكن الحصول على البروتوبلاست عن طريق اضافة المضاد الحيوي البنسلين، اذ ان هذا المضاد يعمل على منع التأصر العرضي في مادة الببتيدوكلايكان، ولا يتم التاصر الا في الخلايا النامية او المنقسمة وبهذا فان الخلايا الفتية للبكتريا الموجبة لصبغة كرام تكون أكثر حساسية للبنسلين من البكتريا السالبة لصبغة كرام. عندما تفقد البكتريا الجدار الخلوي ينفجر البروتوبلاست نتيجة حساسيته للضغط التنافذي بسبب ضآلة

كمية مادة الببتيدوكلايكان في البكتريا السالبة لصبغة كرام، اذ أن هذا النوع من البكتريا لا يتأثر بفعالية البنسلين، حيث أن هناك مواد أخرى في جدران هذه البكتريا تحميها من الانفجار، بينما لا تتأثر الخلايا الحيوانية وبضمنها خلايا الانسان بفعالية البنسلين.

يمكن الحصول على البروتوبلاست أيضا" بإضافة مادة الانزيم الحال lysozyme وهو مادة توجد في جميع السوائل الجسمية ماعدا سائل النخاع الشوكي وكذلك يوجد في زلال البيض وافرازات البشرة، اذ يهاجم اللايسوزايم بصورة خاصة الاواصر الكلايكوسيدية Glycosidal linkage التي تربط السكريات المتعددة ضمن تركيب الببتيدوكلايكان وبذلك يذوب الجدار الخلوي. لذا فان البكتريا الموجبة لصبغة كرام تكون حساسة جدا" للايسوزايم بحيث تتحول الخلية بصورة سريعة الى حالة البروتوبلاست عند تعرضها للايسوزايم على عكس البكتريا السالبة لصبغة كرام التي تحتوي على كميات بسيطة جدا" من الببتيدوكلايكان، وتكون عادة مغطاة بطبقات دهنية معقدة، والجدير بالذكر ان الجدار لا يزاح تماما" من البكتريا السالبة لصبغة كرام حيث يبقى outer membrane لكونه لا يتأثر بالبنسلين أو اللايسوزايم والبكتريا في هذه الحالة تدعى Spheroplast .