



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة تكريت
كلية التربية للعلوم الصرفة
المرحلة الاولى (صباحي , مسائي)

((محاضرات علم الخلية النظري))

م.د. شذى حازم شاكر

١٤٤٥ هـ

٢٠٢٣ م

الفصل الثالث

تركيب ووظيفة جدار الخلية وغشاء البلازما Structure and function of cell wall and plasma membrane

يعد غشاء البلازما الحدود الحية لساييتوبلازم الخلية حيث يكون رقيقاً جداً وشفيفاً ، لذلك فإن قسماً من الخلايا الحيوانية وجميع الخلايا النباتية لها غلاف واحد أو غلافان غير حيين ، تكون هذه الاغلفة غير ضرورية لحماية الخلية ولكن على الرغم من ذلك قد تعمل سداً للخلية تحت ظروف غير طبيعية.

Plant Cell Wall

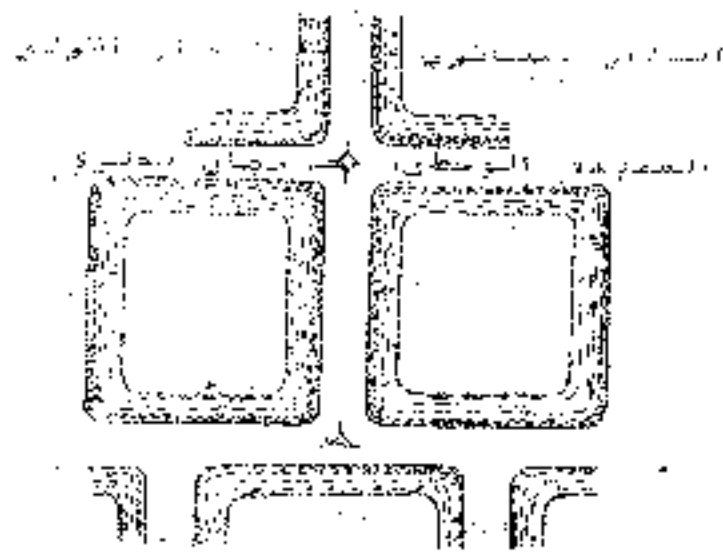
جدار الخلية النباتية :

تكون جميع خلايا افراد المملكة النباتية مغطاة باغلفة او جدران غير حية ، ويتحدد شكل الخلية وحجمها وتركيب انسجتها على وجود هذه الجدران. إن تشنخ الجدران يتباين بين خلية وأخرى ، حيث يعد نظام التشنخ هذا صفة مميزة لخلايا مختلفة ، فعلى سبيل المثال خلايا النسيج المشوي Parenchyma تكون لها جدران خلوية رقيقة ، أما في الخلايا التي تسيطر على توزيع الماء water conducting cells في أنسجة الجزء الخشبي فيكون لها جدار أكثر سمكاً .

المظهر الخارجي لجدار الخلية النباتية :

الجدار الأولي :

وهو الجدار الموجود في الطبقة الخارجية للخلية. ولايكون الجدار الأولي للخلية المجاورة في حالة ملاصقة تماماً مع مثيله في الخلية الأخرى بل توجد هناك صفيحة وسطى middle lamella تفصل فيما بينها (شكل ٢ - ١).



الشكل ٧-٦ : مقطع عرضي لجدار الخلية النباتية.

الجدار الثانوي :

وهو جدار اضافي موجود في خلايا متخصصة وبمحاذاة السطح الداخلي للجدار الاول، إن تلتصق جدار الخلية النباتية في بعض الانسجة عند تقيحة وجود هذا الجدار.

عندما تتم عملية تكوين الصفیحة الوسطی والجدار الاولي تبقی فتحات في جدار الصفیحة الوسطی تسمى بالحفر او الثقوب (pits) وهي تسمح لمرور المواد بين الخلايا المتجاورة. ومن الممكن ملاحظة مواد سييتوبلازمية او سخيوط البلازما (plasmodesmata) تمر من خلالها.

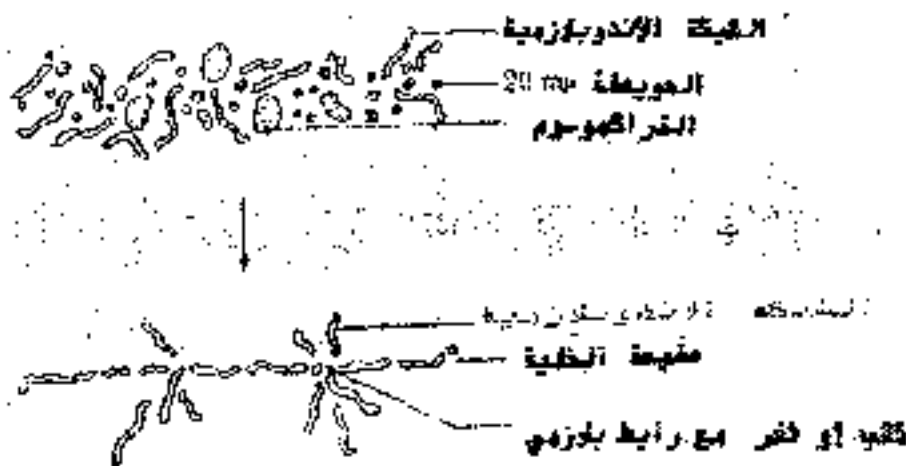
منشأ الجدار في الخلية النباتية :

من دراسة قلنسوة البصل وباستخدام المجهر الالكتروني تم الحصول على معلومات مباشرة حول تكوين الصفیحة الوسطی. إن صفیحة الخلية تتكون على شكل منتصف الخلية المنقسمة لتفصل السايثوبلازم للخلايا الشقيقة، ثم تشترك تدريجياً في عملية تكوين الصفیحة الوسطی في كل من الخليتين الشقيقتين.

بعد انفصال المجموعتين الكروموسوميتين كل الى قطب من اقطاب الخلية بعد عملية الانقسام ، تظهر ثلاثة انواع من التراكيب متجمعة في منتصف الخلية هي :

١- وحدات صغيرة مزدوجة النشاء ، لشبكة الاندوبلازمية endoplasmic reticulum التي قد انتقلت من السطح الخارجي للخلية.

٢- فجوات صغيرة يصل حجمها حوالي ٧٠ مليمكرون في ابعادها التي تصطف على طول المركز ابتداء من منتصف الخلية ومتجهة تدريجيا الى الخارج لكي تقسم الساييتوبلازم الى قسمين ، ثم تلتحم هذه الفجوات مع بعضها بعضا لتكون تركيبا مشابها لنشاء متكامل قاطعا للخلية مع فتحات تتخللها تراكيب البلازمودسماتا plasmodesmata . كما ان اجزاء من الشبكة الاندوبلازمية تظهر بانها تصاحب هذه التراكيب (شكل ٣ - ٢).



الشكل ٣ - ٢ : تكوين صفحة الخلية النابتة .

٣- الفراغوسوم : Phragmosome

وهي النوع الثالث من التراكيب التي وجدت في المنطقة الوسطى للخلية قبل تكون صفحة الخلية وتقع على جانبي الفجوات الصغيرة وملازمة ايضا مع اجزاء الشبكة الاندوبلازمية . لها ابعادها فتصل الى مايقرب من ٢٥٠ مايكروميتر .

تختفي الفراغوسومات من الوسط في المرحلة النهائية لعملية الانقسام والانفصال النهائي لسيتوبلازم الخلايا الشقيقة ، ولهذا فقد افترض انهم يشتركون بصيغة او بأخرى في تكوين الصفحة الوسطى .

هناك اعتقاد ان معقد كولجي Colgi Complex يكون مسؤولا عن تكوين الفجوات الصغيرة ، اما التراكيب الثلاثة التي تشترك في تكوين جدار الخلية والصفحة فيطلق عليها بالفراكموبلاست phragmoplast الذي يعد خاصية اغلب الخلايا النباتية.

غشاء البلازما Plasma Membrane

يعد غشاء البلازما تلك الجزء من غشاء الخلية الذي يغلف السيتوبلازم وهو يقع بين جدار الخلية والسيتوبلازم في حالة الخلايا النباتية ، اما الخلايا الحيوانية فيعتبر الغلاف الخارجي لاجلها.

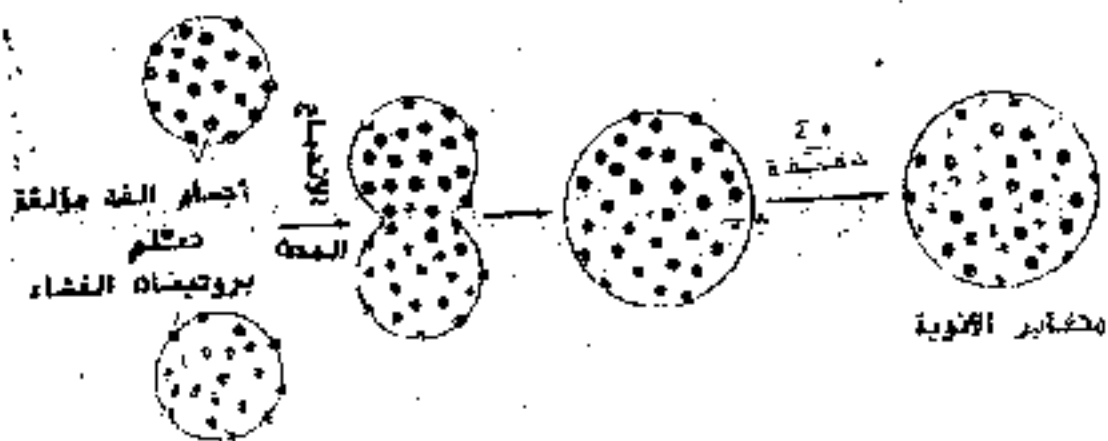
ويكون هذا الغشاء في اغلب الخلايا غير واضح تحت المجهر الضوئي لكن باستعمال المجهر الإلكتروني تمكن العلماء من دراسة التركيب الدقيق لهذا الغشاء. وقد جهزت الدراسات لخلايا الدم الحمراء وغلاف الغمد النخاعي للألياف العصبية myelin sheath معلومات قيمة ضمن تركيب ومكونات غشاء البلازما.

البرهان على ان مكونات الغشاء البلازمي تكون حرة في حركتها :

عندما تنمو الخلايا مع بعضها في عزلة سوف يكون هناك اندماج عرضي ، فثلاثين لتشكل خلية واحدة ، ويطلق النفاثوبلازم المزيج غشاء مشترك وتكرار هذه الحالة من الاندماج يمكن زيادة حدوثه بصورة كبيرة باضافة راسح حامل (من جنس سندي) Sendai virus التي تتصق بقوة على سطح الخلية ، وهذه الطبيعة اللاصقة تعمل على تجميع الخليلتين مع بعض مجهزة فرص متزايدة للاتحام.

في عام ١٩٧٠ استعان فري والبيدين Frye and Edidin بحالة اندماج الخلايا لتحديد فيما إذا كانت مكونات الغشائين المختلفين ستبقى معزولة في الخلايا المدمجة ، او انه تمزج لتشكيل غشاء حقيقيا حول السيتوبلازم الهجين hybrid cytoplasm. وقد واصلوا العمل باضافة الراسح سندي Sendai virus للمزعة التسيجية نضو خلايا الفأر والانسان، وقد نظرو سطح الخلايا الفأر في تجريتهم بأجسام مفردة بروتينية التي ترتبط بصورة قوية بجزئيات معينة منتنة protruding من سطح الغشاء. أما موضع هذه الأجسام المضادة فهو واضح بسبب الصبغة الخضراء

المستخدماً التي تتعلق بها. أما خلايا الإنسان فقد موصلت في هذه التجربة بنفس الطريقة لكن الأجسام المضادة تتعلق بالصبغة الحمراء المستعملة. وقد لاحظ الباحثان مباشرة بعد الاندماج بين الخليتين أن نصف الخلايا الهجينة يكون أحمرًا والآخر أخضر كما كان متوقعاً ولكن بعد مرور ٤٠ دقيقة على التجربة لاحظوا اندماجاً كاملاً وخطاً بين اللونين وبذلك استنتجوا أن مكونات الغشاء تكون حرة في حركتها على مستوى الغشاء وبمعنى آخر يظهر أن الاغشية مرنة على عكس ما كان الاعتقاد السابق أن الاغشية هي تراكيب شبه صلبة. ولذلك فإن من الضروري أن نفهم أن الاغشية البيولوجية هي "بحر من الليبيدات" "Sea of lipids" التي من الممكن أن تختلف في الأنواع الأخرى من الجزيئات. (شكل ٣ - ٣).



الشكل ٣ - ٣ : تجربة فري وإلدين لإثبات حركة البروتين في الغشاء البلازمي.

التكوين الكيميائي لغشاء البلازما :

Chemical Structure of Plasma Membrane

يتألف غشاء البلازما من البروتينات والليبيدات والكاربوهيدرات. وهناك الكثير من المعلومات حول المكونات الكيميائية للغشاء التي تم الحصول عليها بالأخص من دراسة خلايا كريات الدم الحمراء للإنسان، ويوضح الجدول ٣ - ١ نسبة كل من البروتين والليبيد في أنواع مختلفة لمجموعة من الكائنات.

أما السكريات المضافة oligosaccharides فتترتبط بالليبيدات لتكون ما يسمى بالليبيدات السكرية glycolipids وترتبط بصورة رئيسية بالبروتينات مكونة البروتينات السكرية glycoproteins.

الجدول رقم (٣ - ١)
 بين النسبة المئوية للبروتين والليبيد في غشاء البلازما لخلايا مختلفة.

النسبة المئوية لليبيدات	النسبة المئوية للبروتينات	الكائن والنسيج
٧٩	٣٠	الإنسان (نخاع الخلية العصبية)
٧٦	٢٣	الخلايا العصبية المهيمنة للـ Bovine
٣٥	٦٥	عضلات الجرذان
٤٠	٦٠	كبد الجرذان
٤٠	٦٠	كريات الدم الحمراء للإنسان
٧٠	٢٧ - ٢١	غشية مايتوكوندريا كبد الجرذان

توزيع الليبيدات غير المتماثل في الطبقة اللغنية : Lipids are Asymmetrically Distributed Within the Bilayer

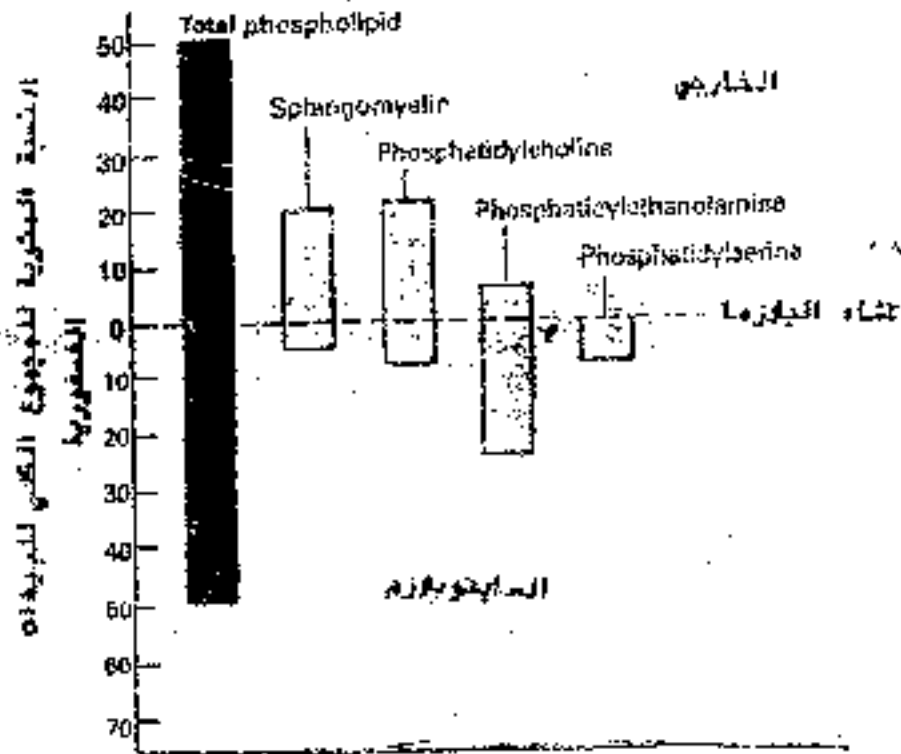
ان المكونات الرئيسية من الليبيدات في غشاء البلازما هي :

- ١- الليبيدات الفسفورية Phospholipids
- ٢- الكوليسترول Cholesterol
- ٣- الليبيدات السكرية Galactolipids

وتختلف نسب هذه المواد باختلاف غشية البلازما حيث ان ٥-٢٠ % من الليبيدات الفسفورية حامضية والليبيدات الفسفورية الحامضية تكون سالبة الشحنة ومتلازمة في الغشاء مع البروتينات بطريقة التفاعلات المتداخلة لليبيد والبروتين Lipid-protein interactions.

بعد التوزيع غير المتجانس للمكونات الكيميائية بين سطحي الغشاء البلازمي من الصفات الاساسية في التنظيم الجزيئي لغشاء البلازما ، فباستعمال العوامل غير الثابتة ومختلف الليبيدات الفسفورية (بمعنى اخر الايزيمات التي تحلل اجزاء مختلفة من جزيئة الليبيد الفسفورية) فقد تبين ان انتشار الليبيدات الفسفورية يكون غير

متجانس بصورة كبيرة (شكل ٣ - ٤) ، حيث وجد كل من السستين والسفونوميدين
 Lecithin & Sphingomyelin في الطبقة الخارجية التي تكون باتصال مع السائل
 المحيط للخلية ، بينما وجد كل من الـ phosphatidylethanolamine والـ
 phosphatidylserine في الطبقة الداخلية أي التي تواجه ارضية الساقوبلازم .
 وكذلك وجد أن الليبيدات السكرية glycolipids تكون في النصف الخارجي للغشاء ،
 الموزع على الاغشية لقد افترض ان هذه الظاهرة في التوزيع غير المتجانس تعد
 ثابتة وانه لا يوجد هناك تباين بين الليبيدات عبر الطبقة الغشائية .



الشكل ٣ - ٤ . التوزيع غير المتجانس لليبيدات الفسفورية بين الطبقة الداخلية والخارجية في غشاء انغلايا الحمراء للإنسان

كاربوهيدرات الغشاء : Membrane Carbohydrates

وتكون على أشكال لبسييدات سكرية glycolipids وبروتينات سكرية
 glycoproteins . ويكون انتشار السكريات المتعددة غير متجانس أيضاً حيث أن
 جميع الليبيدات السكرية والبروتينات السكرية وجدا بصورة مقتصرة في سطح الغشاء
 الخارجي

أما في الغشية كريات الدم الحمراء، فقد وجد كل من الهكسوز (hexose) والهكسوز أمين (hexosamine) والفيكوز (Fucose) وحامض السيليك (Sialic acid) بحالة ارتباط مع البروتينات، وفي الحقيقة يمكن القول أن جميع البروتينات الموجودة عند السطح الخارجي هي من نوع الكلايكوسيلاتيد glycosylated.

Membrane Proteins

بروتينات الغشاء

تحتل البروتينات المكونات الأساسية لأغلب الأغشية البيولوجية، فهي تلعب دوراً مهماً ليس فقط في التركيب الميكانيكي للغشاء، ولكن أيضاً كناقلات carriers أو قنوات للنقل، فضلاً عن وجود العديد من الإنزيمات والمستضدات antigens وأنواع عدة من الجزيئات المستقبلية في غشاء البلازما.

وقد صنفت بروتينات الغشاء إلى نوعين رئيسيين الأول البروتينات المتداخلة integral proteins وتسمى intrinsic والثاني البروتينات المحيطة peripheral proteins وتسمى extrinsic نسبة إلى درجة مصاحبتهم للغشاء والطرائق التي تتويج بها هذه البروتينات.

Integral Proteins

١- البروتينات المتداخلة : مكارنة

وهي تمثل أكثر من ٧٠٪ من أنواع البروتينات وتتطلب طريقة معقدة لعزلها، وهي لا تذوب عادة في الماء وتحتاج إلى وجود المنظفات لكي تبقى بحالة غير متجمعة non-aggregated form. لقد بينت الدراسات لهذا النوع في عدة أغشية، أن تغير متجانس من ناحية الوزن الجزيئي، ومن الأمثلة على هذا النوع أغلب الإنزيمات المرتبطة بالغشاء، والمستضدات ومستقبلي الهرمون، تقترن أغلب هذه البروتينات بالسكريات مكونة بروتينات سكرية، أو بالدهنيات مكونة بروتينات دهنية.

Peripheral Proteins

٢- البروتينات المحيطة بمكارنة

ويمكن عزل هذا النوع من البروتينات بسهولة، وهي تذوب في محاليل مائية aqueous solution ويكون خالياً من الليندات عادةً. ومن الأمثلة على هذا النوع الساييتوكروم C في الميتوكوندريا والسبكتازين في كريات الدم الحمراء.

دراسة النظام الجزيئي لغشاء البلازما :

Study of Molecular Organization of the Plasma Membrane

إن الخطوة الأولى لدراسة النظام الجزيئي لغشاء البلازما هي عزله عن بقية مكونات المسابتوبلازم بصورة نقية قدر الامكان ثم درس الغشاء المعزول بعد ذلك بطرائق الكيمياء والفيزياء الحيوية.

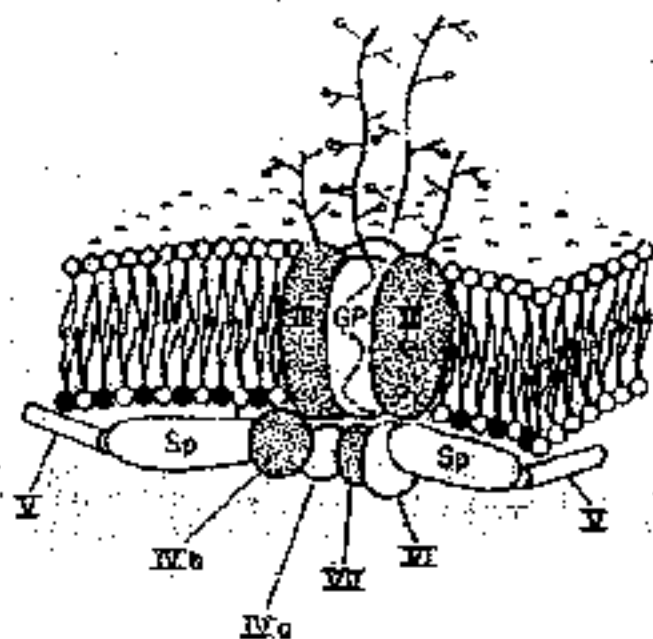
ويمكن الحصول على غشاء البلازما بسهولة من خلايا كريات الدم الحمراء المعرضة الى التخلل حيث تعطل الخلايا بالمحاليل الناقصة التوتر hypotonic solution التي تؤدي الى انتفاخها وبعد ذلك فقدان محتوياتها من الهيموكلوبين (أي ان تحدث عملية التخلل hemolysis) والغشاء الناتج يدعى بشكل عام بشبح الخلية الحمراء red cell ghost وهناك نوعان رئيسيان من الاشباح: الأول الاشباح التي يعادلتها resealed ghosts والثاني الاشباح البيضاء white ghosts.

يتكون الفرع الأول عندما يكون الانحلال معتدلاً، والاشباح يمكن معالجتها بالمواد التي تسبب ارجاع الوظائف النفاذية (معنى ذلك اعادة الغشاء) ، بينما تتكون للاشباح البيضاء عندما يكون الانحلال اكثر شدة ، فهنا ستحصل إزالة كاملة للهيموكلوبين. وبذلك لا يمكن ارجاع الوظائف مرة ثانية أي انه لا يمكن اعادة النظام الخلية ، وتستخدم الاشباح البيضاء في دراسة الكيمياء الحيوية ولكن ليس في الدراسات الفسيولوجية.

التوزيع غير المتجانس لبروتينات غشاء البلازما :

يكون التنظيم الجزيئي لبروتينات غير متجانس بدرجة كبيرة ويمكن توضيح هذه الخاصية باستعمال الكواشف reagents غير القادرة على عبور الغشاء. وقد استخدمت الكواشف أولاً في كريات الدم الحمراء السليمة ثم بعد ذلك في الشبح الابيض white ghost. ان الاختلاف بين التحضيرين ربما يعطي معلومات عن ترتيب او تنظيم جزيئات البروتين بتعلقها بالسطح الخارجي والداخلي للغشاء. ويمكن الكشف عن تاشيرات خاصة على كل جهة من الغشاء المعروفة مكونات البروتينات باستعمال طرائق الكيمياء الضوئية او تقنيات الجهر الالكتروني.

ويمكن القول بثقة كاملة ان كل بروتين يولف توزيعاً غير متجانس في غشاء الخلية الحمراء، فكل متعدد الببتيدات الذاتية يكون موضعها عند السطح الساييتوبلازمي، أما تلك التي تكون عند السطح الخارجي فتكون مرتبطة بقوة بالتركيب الليبيدي للغشاء (شكل ٣ - ٥).



GI = انكلايكوفيرين V = اكينين (الحزمة رقم 5) RI = الحزمة رقم 3 GPI (الحزمة رقم 6) SP = الببتوزين (الحزمة رقم 1) VII = الحزمة رقم 7 IVa, IVb = مكونات 4, 2, 4, 1
glyceraldehyde-3-P dehydrogenase = GPI

الشكل ٣ - ٥ : نموذج افتراضي يوضح طبقة الليبيد الغشائية لخلاية الدم الحمراء.

النماذج الجزيئية لغشاء البلازما :

Molecular Models of the Plasma Membrane :

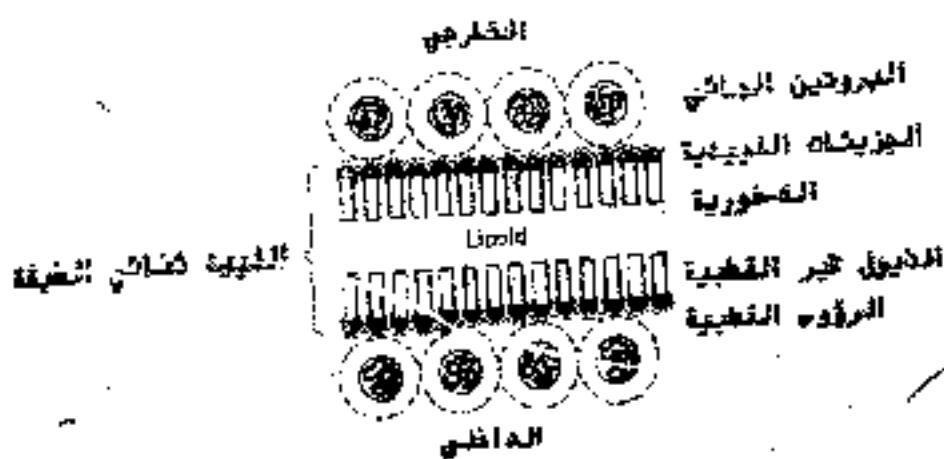
اعتمدت اغلب النظريات عن التركيب الجزيئي للغشاء على المعلومات المباشرة قبل عملية عزل أغشية البلازما. بما ان المواد التي تنوي في الذئبات الليبية تفر عبر غشاء البلازما بسهولة فقد افترض أوفرتون Overton عام ١٩٠٢ بأن غشاء البلازما

يتكون من طبقة رقيقة من الليبيد. وفي عام ١٩٢٦ وجد كل من جورتو وجوانكندل Gorter & Grendell ان محتوى الليبيد لكريات الدم الحمراء المطلة كافية لتكوين طبقة مزدوجة من جزيئات الليبيد حول سطح الخلية بكاملها. وقد دعمت هذه النظرية بالقياسات الكهربائية التي اشرت المقاومة الظاهرية العالية عند غشاء البلازما وهذا يعود الى صعوبة نفوذ الايونات الى طبقة الليبيد.

ولتفسير كل هذه الخصائص فقد وضع عدة نماذج تبين توزيع مكونات الغشاء، وسوف نتناول قسماً منها فقط.

١- نموذج ثنائي الطبقة الدهنية غير المتصخرة : كارن

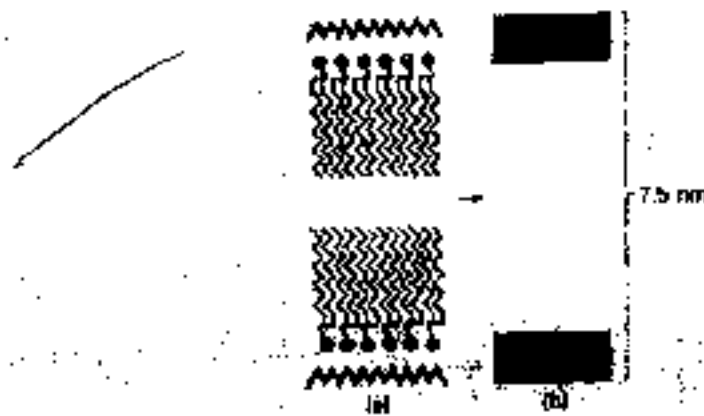
وقد افترض هذا النموذج من دانيسال و دانسون عام ١٩٣٥ Danielli & Davson حيث يبين وجود طبقة بروتينية تحيط طبقة ليبيدية ثنائية، وأن هناك طبقتين من جزيئات ليبيدية مفسفرة منتظمة بشكل بحيث تكون نهايات سلاسل الحامض الدهني الكارهة للماء hydrophobic tails مقابلة بعضها بعضاً نحو داخل الغشاء، أما الجزء المحب للماء hydrophilic head فيكون مواجهاً للسطح الخارجي للغشاء، ومحاذاة بروتين من النوع الكروي globular protein (شكل ٢-٦).



الشكل ٢-٦. نموذج غشاء الخلية المقترح من دانيسال و دانسون عام ١٩٣٥.

٢- نموذج ثنائي الطبقة الدهنية المستمرة : ^{كارل}

وقد افترض هذا النموذج من روبرتسون عام ١٩٥٩ Robertson حيث بين من دراسته لأمشية أنبلازما تحت المجهر الإلكتروني أنه هناك ثلاث طبقات يحددها سبعمها إلى حوالي ٧.٥ نانوميتر. فقد اقترح وجود جزيئات بروتينية بشحن طبقة واحدة مفردة مبطنة السطح الداخلي والخارجي للطبقة اللدوجة الليبية مع بروتين مستمر نوع ال B-sheet بدلاً من النوع الكروي globular protein (شكل ٢ - ٧).



الشكل ٢ - ٧ : نموذج وحدة الغشاء المقترح من روبرتسون معتمداً على مشاهدات المجهر الإلكتروني.

Fluid Mosaic Model

٢- نموذج الموزايك السائل :

وهو يعد من أهم النماذج وأكثرها قبولا، حيث اقترح من سنكر ونكلسون ~~بهم~~ Singer & Nicolson عام ١٩٧٢، وقد شملت اقتراحاتهم الأمور التالية :

- أ- أن الليبيد والبروتينات الداخلية تترتب على شكل تنظيم موزايكي.
- ب- أن الأغشية البايولوجية شبه سائلة في تركيبها التي فيها كل من الليبيدات والبروتينات الداخلية قادرة على إنجاز الحركة الانتقالية داخلها ضمن الطبقة الثنائية. ومفهوم السيولة يجعلنا نعتقد أن المكونات الرئيسية للغشاء، معجزة في مكان واحد بطريقة التفاعلات المتداخلة لكون الأضرة التساهمية.

في نموذج الميرقش السائل تكون البروتينات الداخلة للغشاء متصلة بمسافة كبيرة او صغيرة فقط بشكل افضل في سبقتي التبيد المستمرة ويعتمد هذا التنظيم على اساس ان هذه البروتينات الداخلة امفوتيرية ايضا (رأى مصطلح الامفوتيري يعود الى وجود الجامع الحبة والكارهة للماء داخل نفس الجزيئات ، وأن هذه الجزيئات الامفوتيرية تنشأ من النجوع اليائوي السائل التي فيها الجامع القطبية تنسب مباشرة الى جهة الماء والجامع غير القطبية تقع داخل الطبقة الثنائية) مع المواقع القطبية التي تكون بارزة من السطح ومع المواقع غير القطبية المغمورة في الجامع غير الحبة ثماء داخل الغشاء .

ويوضح لنا هذا النوع من التنظيم سبب وجود مواقع فعالة للألزيمات المختلفة والمضادات antigens والبروتينات السكرية glycoproteins مكشوفة للسطح الخارجي من الغشاء . وقد ادركنا جيداً أن البروتين ذو الصجم المناسب او ان مجموعة من الوحدات الذاتية البروتينية تفر عبر الغشاء السليم (وتسمى بالبروتينات عابرة الغشاء trans-membrane proteins) مثل هذه الحواجز البروتينية يجب ان تكون في تلامس مع المذيبات المائية على جانبي الغشاء .

لقد دعم نموذج الميرقش السائل عن طريق استعمال تقنيات الاجزاء المجهدة في خلايا كريات الدم الحمراء وملايا اخرى كاشباح الخلايا الحمراء حيث تظهر اعداد كبيرة من الجزيئات بقطر حوالي 1 نانوميتر التي تفسر كبروتينات مضمورة داخل خطوط منقسمة او منشقة التي تعبر خلال طبقة القيد الثنائية الموجودة في الوسط . ان نموذج الميرقش يسمح بخصوصية للاتصال للغشاء التي فيها مكونات خاصة سائدة في النصف الخارجي او في النصف الداخلي من الغشاء (الشكل 3 - 8).

الاعشية المتشعبة - المجهدة : Freeze-Fractured membranes

دعم تركيب غشاء نموذج الميرقش السائل بدلائل مرتبة ناتجة من تصيد قطع من الاعشية ثم فحصها بالمجهر الالكتروني النفاذ transmission electron microscope . وقد بين برانتون Branton ان الاعشية تتجمد بسرعة عند درجة والتبروجين السائل ثم تقص بشفرة المايكروموم بسهولة على طول مستويات معينة . وعندما يشطر مستوى القطع مستوى الغشاء فإن الاخير يطلق من الوسط للطبقة الثانية من اللييد منتجة نصف الغشاء يدعى بالنصف الامامي E (exterior) والنصف الخلفي (posterior).

في
الجزء

النصف الامامي (E) هو ذلك الجزء من الغشاء الذي يواجه خارج الخلية ، بينما النصف الخلفي (P) يتوافق مع ذلك القسم أو الجزء الذي يواجه البروتوبلازم ويُدعى بالسيمبول (cystol). وفن جهة واحدة من كل نصف غشائي هو عبارة عن سطح الغشاء الاساسي. وتُدعى بالوجه E ، بينما يتعرض الجهة الاخرى اولى لجهة انقطع Fracture face وتُدعى بالوجه المتشخصي E fracture face وتختصر E F أما وجه القطعة P فتُدعى وجه المتشخصي P fracture face وتختصر PF. إن جهات القطع غالباً ما تكون رقيقة ولا يمكن فحصها مباشرة ولذلك تُرش بطبقة رقيقة من البلاستيك والكاريون التي تتلاشى على سطح اوجه القطع لانتاج نسخة مطابقة للاصل تفحص بعد ذلك بالمجهر الالكتروني النفاذ (شكل ٣ - ٦). في بعض الاحيان وقبل ان تتكون النسخة المطابقة للاصل يحصل تجمع للماء فضلاً عن بعض المواد المتطايرة الاخرى بالقرب من سطح القطع ويمكن ازالة هذه المواد بالتسامي sublimation (أي ان يتم رفع درجة الحرارة النموذج بعناية كافية) ، وتُدعى هذه الخطوة بال Freeze etching التي تسبب في تكون سطح اصغاف من جهة القطع.

لقد اظهرت عبور المجهر الالكتروني للخلايا المقطوعة بالتجميد ان الاغشية تكون مغطاة بعدد كبير جداً من الجزيئات الصغيرة وهناك براهين مقنعة على ان هذه الجزيئات هي عبارة عن بروتينات الغشاء (ومثال ذلك ان هذه الجزيئات تتلاشى عندما تعامل الاغشية اولى بانزيمات مطلة للبروتين Proteolytic enzyme وهذا يجعل الاعتقاد ان مستوى القطع يمر بحول جزيئات البروتين اكثر من مروره من خلالها وقد وضحت هذه العلاقة في الشكل ٣ - ٦.

التحويرات المختلفة لغشاء البلازما :

Various Modification of Plasma Membrane

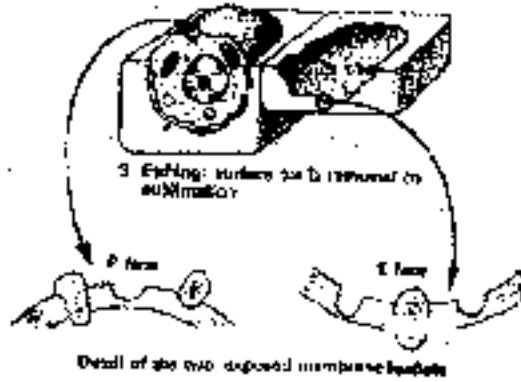
يظهر غشاء البلازما عدداً كبيراً من التحويرات في مختلف الانسجة ، وبالاخص خلايا الانسجة الطلائية epithelial cell حيث تظهر اغلب هذه التحويرات متقاربة بخلايا النسيج الضام connective tissue الذي يظهر تحويرات أقل. وسوف نتناول في هذا الفصل بعضاً من اهم هذه التحويرات .



1. Cell is fixed in nitrogen



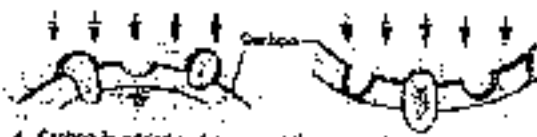
2. Plasma is peeled the plasma membrane



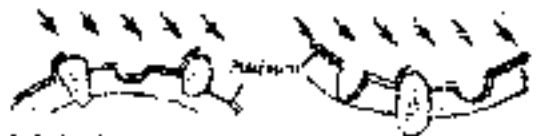
3. Plasma membrane is removed by suction



Detail of the two exposed membrane surfaces



4. Carbon is added to form a continuous layer

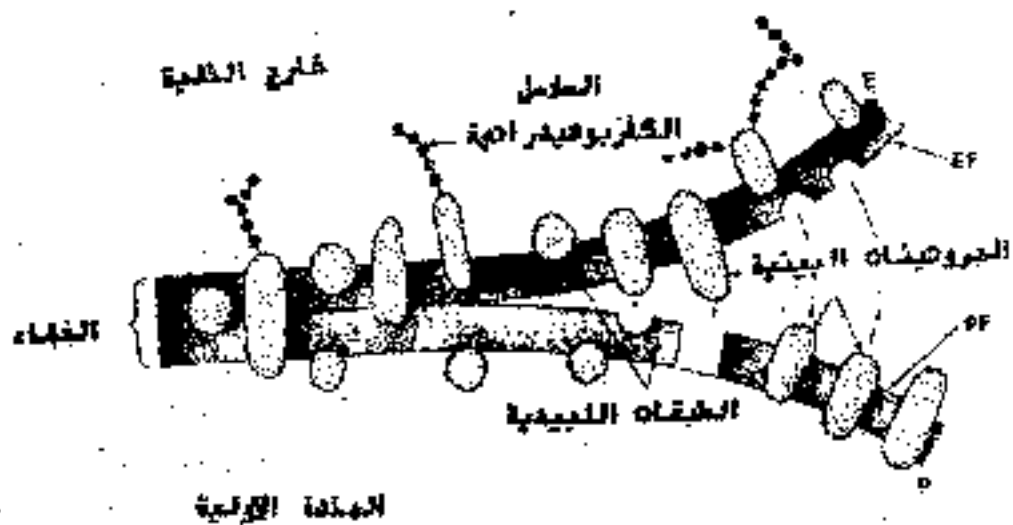


5. Carbon is shaped with a thin layer of platinum



6. Tissue is dissection with acid, carbon-coated replica can be viewed under the electron microscope

- ١ - تجسيد الخلية في النيتروجين
 - ٢ - نسيج غشاء البلازما بالتشخيصية
 - ٣ - الحفر : الطبقة الجليدية تزال بالتساوي
 - ٤ - يكسب الكربون ليكون سطحاً مستتراً
 - ٥ - يضاف السطح بواسطة طبقة رقيقة من البلاتينوم
 - ٦ - يذاب النسيج بواسطة حامض ، ثم تفحص نسخة عنصر - انكاريون تحت الجهر الالكتروني
- شكل ٣ - ١ : خطوات إنتاج نسخة غشاء الخلية بطريقة التشظي الانجمادي .



الشكل ٣ - ١ : نموذج مبسط يوضح مستوى التماس الانضمامي للغشاء .

Adhesion Complex

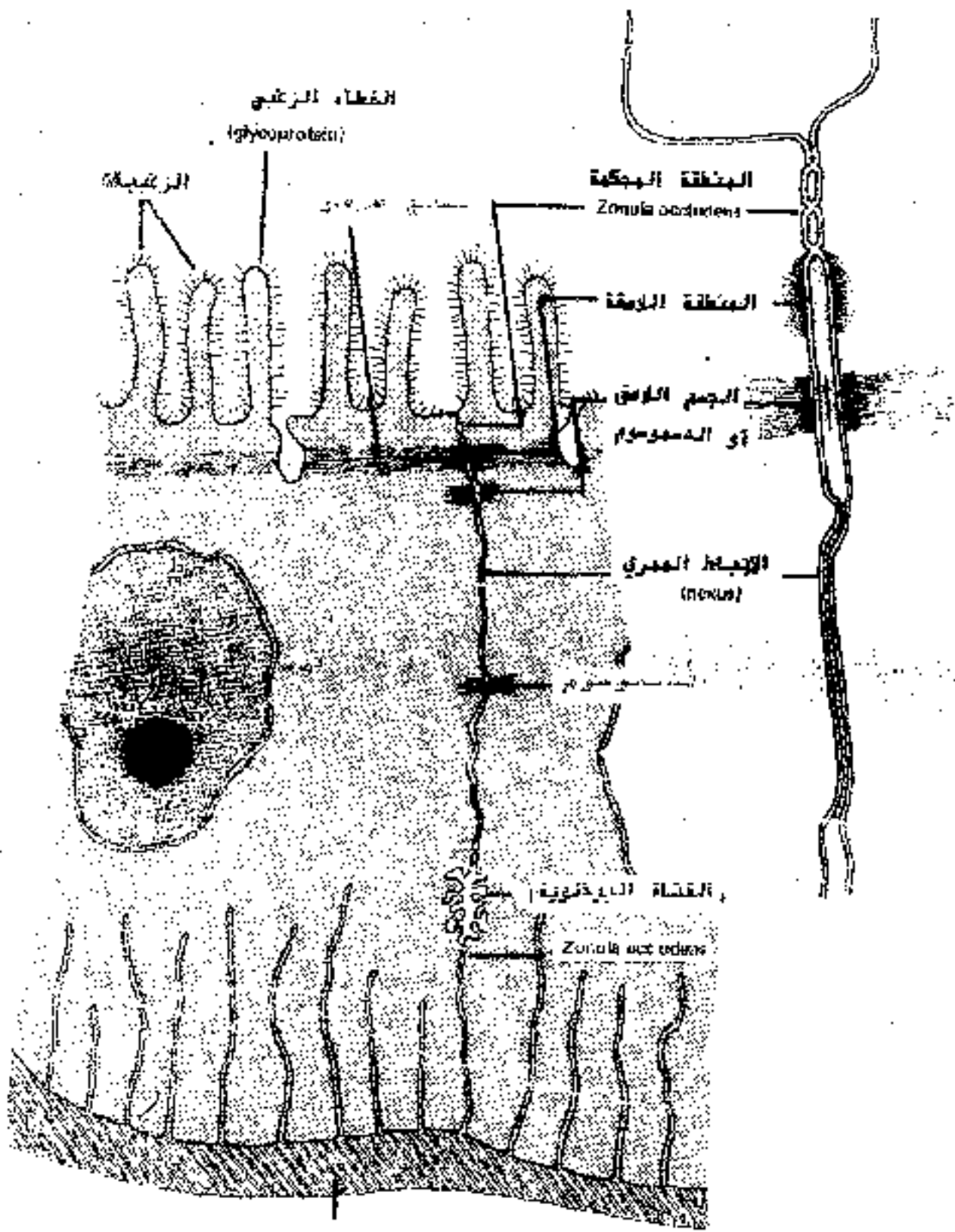
١ - عقد التصاق :

يوجد هذا العقد بصورة عامة في نهايات القمة للخلايا المتجاورة وعامة في الخلايا الطلائية لكثير من الثدييات. ويتألف هذا العقد من ثلاثة اجزاء بالاجزاء فهي قاعدية (شكل ٣ - ١) وهي :

- أ - المنطقة المحكمة (منطقة متلفة Zonula Occludens)
- ب - المنطقة اللاصقة (منطقة لاصقة Zonula adhaerens)
- ج - الجسم اللاصق (بقعة لاصقة Macula adhaerens)

٣ - المنطقة المحكمة :

تبدأ عند منطقة اتصال قمة الخلية مع الحدود الجانبية لها ، ويتراوح طولها بين ٢٠٠٠ - ٥٠٠٠ أنغستروم . وتبدو المنطقة كما لو انها تشكل اتصالاً مستمراً شديداً بالعظام . تتميز المنطقة المتلفة بالتماس الغشائين البلازميين المتجاورين مؤدية بذلك الى تماس معالم الفسحة البينخوية Intercellular space .



الشكل ٣ - ١١ : مقطع لعقد اتصال بين التلافيف الشجيرية

ب- المنطقة اللاصقة :

وهي عبارة عن استمرارية للمنطقة المحكمة ، ويتراوح طولها بين ٢٠٠٠ - ٥٠٠٠ أنكستروم. يكون الغشاء، إن التقابلان مقصولين نوعاً بمنطقة بينظوية يبلغ عرضها حوالي ٢٠٠ أنكستروم.

ج - الجسم اللاصق أو التسموسوم :

يلي المنطقة اللاصقة ، ويقع عادةً على بعد ٢٠٠٠ أنكستروم عن النهاية القاعدية للرباط المتوسط. والجسم اللاصق هو عبارة عن باحة بيضوية أو دائرية يبلغ طولها ٢٠٠٠ - ٢٠٠٠ أنكستروم ويقابلها تماماً جسم لاصق آخر يقع موازياً لها في الخلية الجاورة.

يُكوّن الساييتوبلازم الذي يجاور الجسم اللاصق مباشرة محوراً ويتألف من جزء داخلي وآخر خارجي ، ويكون الجزء الداخلي كثيفاً جداً يتراوح عرضه ما يقرب من ٢٠٠ - ٨٠٠ أنكستروم ويفصل عن الغشاء بمنطقة شفافة تدعى صفيحة الرباط attachment plaque أما الجزء الخارجي الأقل كثافة فيتمدد إلى داخل الساييتوبلازم. ويتألف من ليفان اللصق يبلغ قطر كل منها ما يقرب من ٧٠ أنكستروم (شكل ٣-١١).

٤- الرباط أو الارتباط الفاصلي : Nexus or Gap Junction

يعرف التصور الآخر الحاصل في الأغشية البلازمية الجانبية التي لوحظت بصفة رئيسية في الأنسجة الخلوية الكتلية ، كما في الكبد وهي التمسلات النساء والقلبية وفي شلاها بعض اللاهقريات كما في الحار ويغوث الماء ، بالرباط nexus أو الارتباط الفاصلي gap junction. ففي الاتصال الفجوي تكون الأغشية المتقابلة متقاربة جداً من بعضها ولكنها في الواقع ليست متلامسة إذ تحتفظ بفجوة يبلغ ٢٠ أنكستروم.

Microvilli

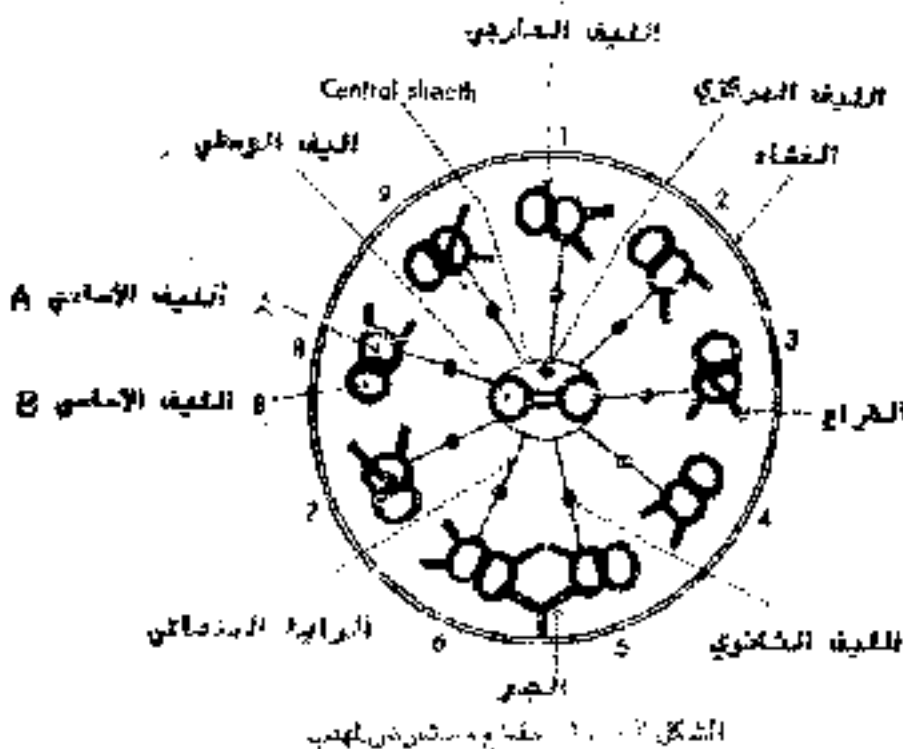
٣- الزغبيات (أو الضلالت الدقيقة)

وهي تعد من التحدوات الرئيسية في غشاء البلازما لسطح الخلية القمي ، وتكون على شكل تنوء أصبمي ويعرف بالزغبية *Microvillus* وهي بروزات لها جوانب متوازية ونهايات مستديرة عادة تتباين في طولها من بضعة نانوميترات إلى ١٠ مايكروميتر وفي قطرها بين ٨ - ١٤٠ نانوميتر. أما المسافات بين خملة وأخرى فتتباين من ١٠٠ نانوميتر إلى بضعة ميكرومترات، تغطي الضلالت الدقيقة بوحدة غشاء ذات تركيب مشابه للتركيب العام للغشاء البلازمي باستثناء كون وحدة الغشاء أكثر سمكاً إذ يتراوح سمكها بين ١٢ - ١٩ نانوميتر (شكل ٣-١١).

Cilia

٤- الأهداب

يتألف الهدب من محور يبرز فوق سطح الخلية ، وجسم قاعدي ضمضي *intracellular* هو المركز الحركي ، منشأ الجزء المر من الهدب يغطي المحور بغشاء يبلغ سمكه ٩ نانوميتر ويستمر مع الغشاء البلازمي حيثما وجد ، وتوجد مادة بينية معتدلة الكثافة تحوي على عقد الخيط المحوري *axoemes* وهو متجزئة من أحد عشر لبفاً طولها تمتد متجهة نحو الأسفل بصورة مستقيمة نون أن تلتف (شكل ٣-١٢).



النشاط الوظيفي لغشاء البلازما :

Functional Activity of Plasma Membrane

ان وظيفة غشاء الخلية لتنظيم مجرى المواد الى داخل وخارج الخلية ، ويعتمد هذا التنظيم على تفاضلية الغشاء . ان هذا الغشاء يسمح بحركة الاجسام الصغيرة خاصة ، لذلك نرى ان الماء يمر بسهولة الى داخل وخارج الخلية ، بينما لا يسمح بمرور جزيئات كبيرة من خلاله . ومع ذلك نرى ان بعض الجزيئات الكبيرة لها القابلية على اختراق الغشاء في وقت محدد من عمر الخلية . وعلى هذا الاساس فانه يمكن وصف غشاء البلازما بأنه ذلك الغشاء الذي يفتقر الاجسام لتنفذ خلاله وايضا يكون غير ثابت من الناحية الفيزيائية .

ومن الجزيئات التي يكون لها وزن جزيئي عال وتدخل الخلية من خلال غشاء البلازما هي الريبونوكلياز ribonuclease (الوزن الجزيئي ١٣٠٠٠) والبروتامين والهستونات (الوزن الجزيئي بين ٢٠٠٠ - ١٠٠٠٠٠) .

هناك ثلاثة طرائق عامة تعبر بواسطتها المواد الحواجز الغشائية :

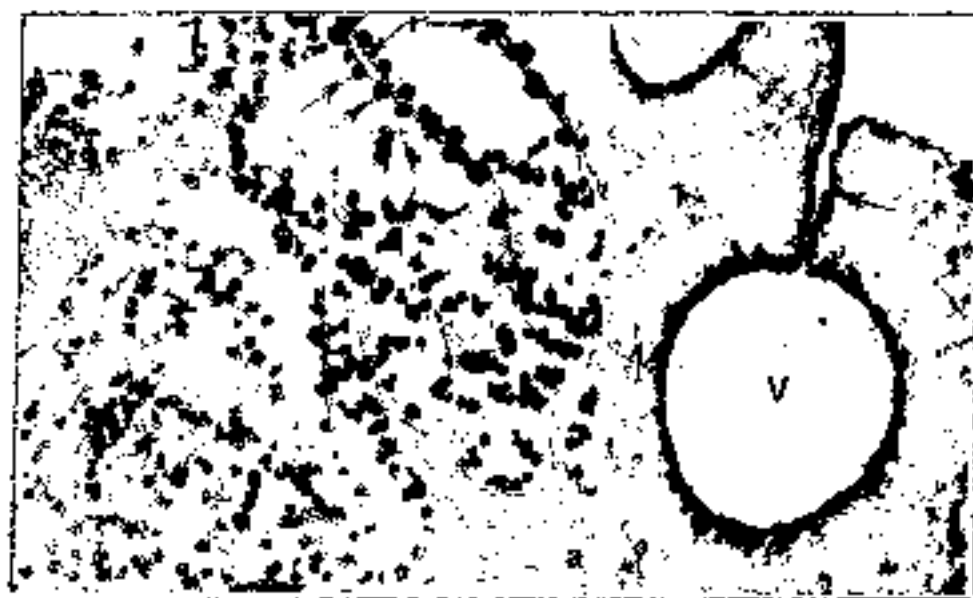
اولاً : طريقة هضم الاجسام الكبيرة والمذابة التي تحدث بواسطة تكوين الكياس مختلفة ويمكن تصنيفها من الناحية السايولوجية الى :

١- الإدخال الخلوي : Encytosis

يتم اخذ الاجسام الى داخل الخلية عن طريق غشاء البلازما بعدة طرائق وهي :

١- الإلتهاام الخلوي : (او البلعمة) Phagocytosis

ويعرف انه هضم الاجسام الصلبة من الخلية بواسطة الفعالية الطبيعية لغشاء البلازما . هذه الظاهرة يمكن تبسيطها كما هي الاميبيا ، حيث تعمل على حد اقدام كائنية حول الدقائق المطلوب هضمها ثم تحصر هذه الدقائق في داخل الخلية (شكل ٢ - ١٣) . وتتكون فجوة كبيرة نسبياً كمنطلق الى داخل الخلية . وهناك مثال اخر هو عمل بعض خلايا الدم البيضاء حيث يكون مشابهاً لعمل الاميبيا . وهم جداً بالنسبة لتويف الجسم ضد المواد الغريبة . ان كريات الدم البيضاء Leucocytes لها القابلية لهضم البكتريا بواسطة الاكياس الملتصمة ، وكذلك فضلات انشيطية واجسام كبيرة اخرى .



شكل ٢ - ١٣ : صورة بالمجهر الإلكتروني لعملية التهام الغذاء في الإنبيا بواسطة مادة الفم الكاثية وتكوين فجوة كبيرة (قوة التكبير ١٠٠٠٠ ر.م) .

ب - الشرب الخلوي : Pinocytosis

وهو احتواء المواد السائلة التي داخل الخلية بطريقة شبيهة بالطريقة الأولى الباعمة. وقد يدخل البروتين بهذه الطريقة أيضاً ، حيث تمتزج المواد *adsorbent* عند سطح البلازما ، ثم يحدث نفث داخلي *infolding* للغشاء ناتجاً في تكوين كيس يستوي على دقيقة ، وبعدها فإن المواد تتحرر بطريقة ما من الكيس إلى داخل الخلية وأن الغشاء الذي كان محيطاً للدقيقة قد أصبح جزءاً من الشبكة الانسويلازمية. ويمكن تلخيص العملية وذلك بتكوين أصابع غشائية خارجية تنحني بعدها إلى الخلف لتلتصق في النهاية بغشاء الخلية مرة ثانية مكونة بذلك فجوة غذائية تحتوي بداخلها على المادة الغذائية كما في الشكل ٣ - ١٤ .



الشكل ٣ - ١١ : صورة بالمجهر الإلكتروني أثناء تكوين الأصابع القشائية في عملية انشرب الظوي

Eccytosis

٢ - **النبت الظوي** : يمكن تقسيم هذه العملية شأنها بذلك شأن عملية الإدخال الظوي إلى عدة أقسام وهي :

Holocrine Secretion

٣ - **الإفراز الكلي** : حيث يتضمن هذه العملية بالنتيجة الإفرازي ، وأخيراً تحرير الخلية برممتها كجسم الإفرازي ، ثم تضغط الخلية صخرة محتوياتها ، ثم يتم فحص مثل هذا النوع من الإفراز بالمجهر الإلكتروني ، إلا أن الغدد الدهنية لجلد النبات تظهر نموذجاً لهذا النوع من الإفراز .

Eccrine Secretion

٤ - **الإفراز الجزئي** : يكون على العكس من سابقه ، حيث تبدأ العملية ببناء البروتينات السكرية بواسطة الشبكة الاندولازمية الحبيبية (granular endoplasmic reticulum) ، ثم تترجم بهيئة أجسام محددة بأغشية ثم تحرر محتوياتها داخل تجويف بواسطة التناح

الغشاء الموجود حول الجسم بالغطاء الخلوي . وتنتج عن هذه العملية انضغاطات مؤقتة تنشأ عند سطح الخلية ، وهي حالة الإفراز الشديد بنشأ خيط من شعيرات مرتبطة مع بعضها بعضاً ، وهذه الوسائل ينفذ الإفراز الى الخارج . ويقع ضمن هذه المجموعة كثير من الغدد ذات الإفراز الخارجي والداخلي كالبنكرياس والخلايا الأمامية للغدة النخامية والخلايا الدرقية .

إن للتمام لغشاء الجسم الإفرازي بالغطاء البلازمي يؤدي الى أن يصبح الغشاء الأول جزءاً من الغشاء الثاني (X) ، وعند Y (شكل ٢ - ١٥) ، فإن مناطق الخزن وجدت في المجال البينخولي Intercellular space .

Apocrine Secretion

٣ - الإفراز القمي :

يحدث مثل هذا الإفراز في الغدد اللعابية للأرنب submandibular sweet gland ، وقد لوحظت عمليات مختلفة من الإفراز حيث يتمج التجويف السطحي للخلية الى الخارج ليكون بروزات ثابتة وأشكالاً كروية متمصلة بالخلية بواسطة سويق رفيع ؛ بعدها تتكون طبقة كثيفة من الساييتوبلازم على عرض الساق تفصل للبروجيا الجسم المخزون ويصبح طليقاً في التجويف .

تحدث مثل هذه العملية في الغدد اللعابية أيضاً حيث يكون الإنتاج الأولي من العليب من نوع الإفراز الجزئي ، وفصلاً عن ذلك يفرز الدهن بواسطة آلية الإفراز القمي (شكل ٢ - ١٥) .

Diocrine Secretion

٤ - الإفراز الثاني :

في الإفراز الثاني (ويدعى أحياناً بالنفوذ عبر الغشائي أيضاً) . تتكون أجساماً إفرازية سحابة بأغشية كما في الإفراز الجزئي ولكن بدلاً من تسربها بالتساوي بالغطاء البلازمي فإن الناتج الإفرازي إما أن ينتشر أولاً عبر غشاء الجسم الإفرازي ثم عبر الغشاء البلازمي أو تنتشر أجزاء غشاء الجسم الإفرازي والإفراز لتحرر عبر الساييتوبلازم القمي وغطاء البلازما ، ولا تتضمن هذه العملية زيادة أو نقصاً في باحة سطح الخلية وتعتبر نافذة الصبغ نسبياً .



الشكل ٢ - ١٥ (١ - ب) صورة بالمجهر الالكتروني متناظرة في تدوير حبيبات ايرازية من الجزء
 الامامي من الغدة الخمامية لجنين جرد ، يكون الغشاء المحدد للمهبة عند X
 ملتصقا بالغشاء اليكزيمي ، وعند Y تتحدد محتويات المهبة داخل الفسحة خارج
 خلوية . يشير السهم في (هـ) الى بقايا المهيبة المحصورة (قوة التكبير
 ٢٧٠٠٠ X) .

(د - هـ) انزاع قسبي في الغدة تحت الفكية للارانب . عند (X) يبدأ الغشاء
 البلازمي القمي بالانفتاح والبروز الى الخارج وعند Y يتفصل الجسم الملتصق
 نتيجة للانزاع القمي بصورة تامة تقريبا . S اجسام ايرازية . صة في التجريف
 (٢ - قوة التكبير ٢٩٠٠٠ X) .

الانتشار

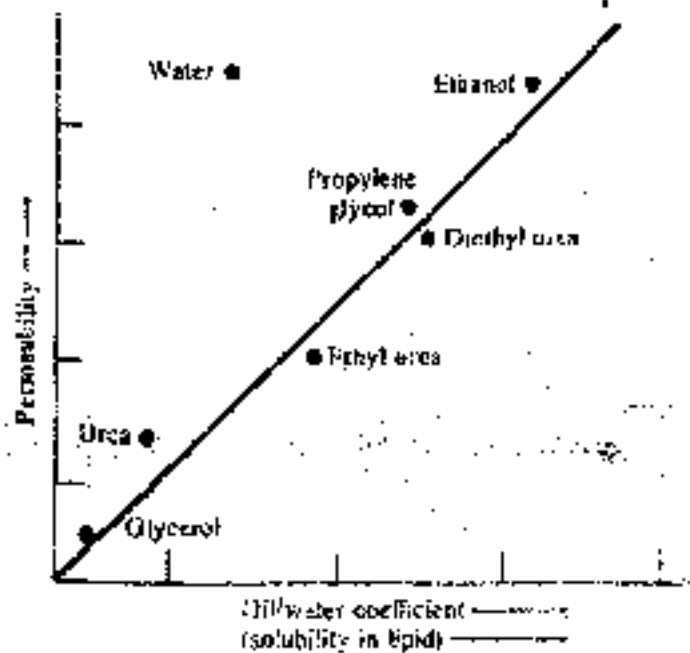
تأثيره

ثابتة : الطرائق الفسلجية لمرور المواد خلال الأغشية

Free Diffusion

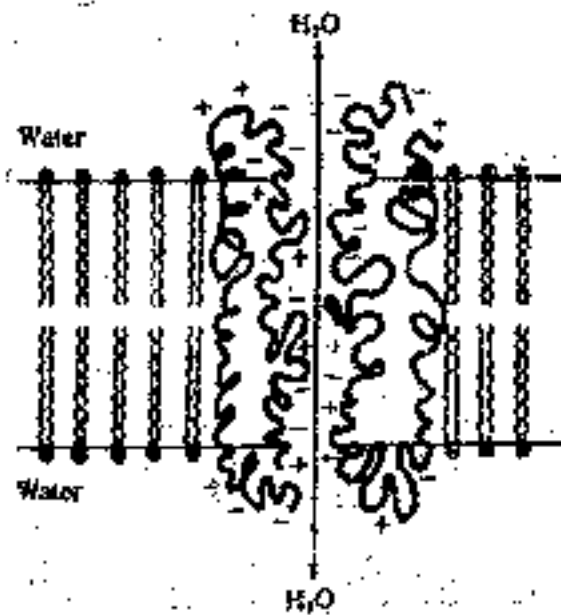
١ - الانتشار الحر

طبقاً للبراهين والأدلة الكثيرة تتحرك عدة مواد خلال الأغشية بأسلوب الانتشار الحر ، حيث تتناسب نسبة هذا الانتشار مع نسبة ذوبان تلك المواد في الليبيد (شكل ٣-١٦) .



الشكل ٣-١٦ : موضح بوضوح بأن نسبة الانتشار الحر للمواد الكيميائية خلال الغشاء البلازمي تتناسب عكسياً مع سرعة ذوبانها بالليبيد . تكون جزيئات الماء مستثناة من هذه القاعدة .

يستثنى الماء من هذه القاعدة وذلك لأن الجزيئات تنتشر بحرية خلال الغشاء بانتظام وبسرعة ، حيث اقترح بأن الأغشية تحتوي على ثقوب بسعة ٨ - ١٠ أنغستروم تبطن بجزيئات محبة للماء (شكل ٣-١٧) . إن مثل هذه الفتحات تكون ذات سعة كافية لدخول جزيئات الماء ولكن تلتقي جزيئات أخرى صعبة للدخول من خلالها .



الشكل ٢ - ١٧ : نموذج لانتشار الماء خلال الغشاء البلازمي عن طريق ثقب ضيق مبطنة بجذور حبة اللباد.

٢ - الانتشار الميسر واليات النقل : Facilitated Diffusion and Carrier Mechanismes

تدخل وتخرج الأيضيات الأساسية التي لا تذوب بالليبد (كالكربوهيدرات والاحماض الامينية) الخلية او عضياتها خلال عمليات تتطلب ارتباطات معكوسة مع بروتينات الغشاء . وتتم هذه العملية بواسطة تراكيب تدعى بالنواقل carriers . وهي بروتينات في طبيعتها حيث تكون جزءا من تركيب الغشاء وتعد متخصصة . لقد افترض وجود مواقع ارتباط خاص في كل ناقل الذي يكون مسئولاً عن ربط نوع معين من الجزيئات ، فيبعد أن تنقل الجزيئة المرتبطة بالناقل الى الجانب الثاني من الغشاء فأن الناقل يتحرر وقد يعيد الكرة لمساعدة جزيئات أخرى لهذه المادة على العبور .

إن الذوبان النسبي للأيضيات في الليبد غير معنوي ولهذا فإن تفاعلها يكون مع البروتين وليس مع جزيئات الليبد الموجودة في الغشاء . كما ويدعى قسم من هذه النواقل بالـ permeases وذلك لتشابهها بالانزيمات في بعض الصفات وبصورة خاصة تعجل الـ permeases النقل وتفتح الخصوصية الاختيارية للنقل او التردد . وتكون هذه الخواص متشابهة مع الانزيم ولكن الـ permeases والنواقل الأخرى

تختلف في جانب مهم جداً عن الإنزيمات ، فال permeases لا تغير نقطة التعادل للتفاعل الكيميائي وفي بعض الأوقات إلى حد كبير ، بينما الإنزيمات تغير فقط النسبة التي عندها يصل التعادل ولكن لا تغير نقطة التعادل نفسها .

تساعد ال permeases الجزيئات على عبور الغشاء بطريقتين :

١ - بالاتجاه الأعتيادي للانحدار التركيزي : أي من التركيز العالي إلى التركيز الواطي ، بالنسبة للمواد الأيضية أو

٢ - ضد الاتجاه الأعتيادي : وهذا يتطلب وجود ناقلين يساعدان على موازنة أو تنظيم آليات النقل .

١ - الأول والذي يساعد في عملية النقل الفعال الذي يحتاج طاقة بعكس الانحدار التصريحي .

ب - والناقل الثاني يساعد الانتشار الميسر .

تسهل عملية الانتشار وذلك بسبب كون الجزيئات لا تستطيع اختراق الأغشية النامجة اختيارياً بحركة الانتشار الحرة . أما في النقل الفعال فتستطيع المادة بالاستمرار بالتجمع في الناطق التي توجد فيها عادة بتركيز عال فقط إذا كانت الطاقة الناتجة من العمليات الأيضية تجهز باستمرار لجهاز النقل .

توجد هنا دلائل بأن تنظيم النقل في الأغشية بواسطة ال permeases تعتمد على كمية بروتين الناقل وأنواع الفوقن الناتجة ومعدل فاعلية الناقل . في هذه الناحية يشبه تنظيم النقل تنظيم العمليات الأيضية بواسطة الإنزيمات .

ثالثاً : النقل الفعال والضخ الأيوني :

Active Transport and Ion Pump

تستطيع الخلايا تجميع المواد بكميات زيادة عن المتوقعة بثلاث طرائق على

الأحرى

١ - طريقة ترسيب المواد من المحلول حالماً تكون في داخل الخلية حيث تختزل بفاعلية تركيز المذاب في الماء .

٢ - طريقة تغيير الجزيئة كيميائياً بعد أن تدخل خلال الغشاء ، وهكذا يكون لخفض تركيز الجزيئة الخاصة المطلوب في الانحدار التركيزي .

٣ - طريقة النقل للأضواء التي يمكن أن تزوج مباشرة بتفاعل ثانٍ الذي يكون مميزاً من ناحية الطاقة لتسير تفاعل النقل بعكس الانحدار التركيبي Uphill. إن النقل الفعّال يقود إلى التجمع المستمر للمواد في المنطقة التي يحدث فيها تركيز عالي لهذه المواد .

أحد الأفكار الموحدة التي بدأت تظهر في السنوات الأخيرة توضح عملية النقل الفعّال على أساس عمل المضخة pumping actions. ويجهز الضخ الفعّال لاجتذاب المواد خارج الخلية لفترة التسيرة للنقل الفعّال للمواد الأخرى إلى الداخل . إن عملية الضخ تكون اقتصادية أو عملية كما أنها تكون نظاماً بسيطاً ولهذا فإن حركة المواد إلى الخارج لنوع واحد من المواد تساعد لتسيير كثير من أنواع المواد (الايضيات) إلى الداخل . إن المواد المذابة التي تضخ إلى داخل الخلية هي أيونات اليونات سيرم والسكريات والأحماض الأمينية .

إن القوة الدافعة (التسيرة) للنقل إلى الداخل يعتقد أنها التدرج لأيون الصوديوم Na^+ عبر الغشاء الظوي . وهذه تخلق (أي القوة الدافعة) بواسطة النقل الفعّال لأيون الصوديوم الذي يضخ خارج الخلية. إن التركيز الخارجي لأيون الصوديوم Na^+ يبقى عالياً والتركيز الداخلي في الداخل يبقى واطناً كلما استمر أيون الصوديوم بالانتقال خارج الخلية. إن الطاقة الخلوية لضخ أيونات الصوديوم خارج الخلية تجهز بواسطة ATP (adenosine triphosphate) التي تحلل بواسطة إنزيم ATPase (adenosine triphosphatase) المحفز بأيون المغنسيوم ويعتقد أن هذا الإنزيم يقع في الغشاء الظوي .

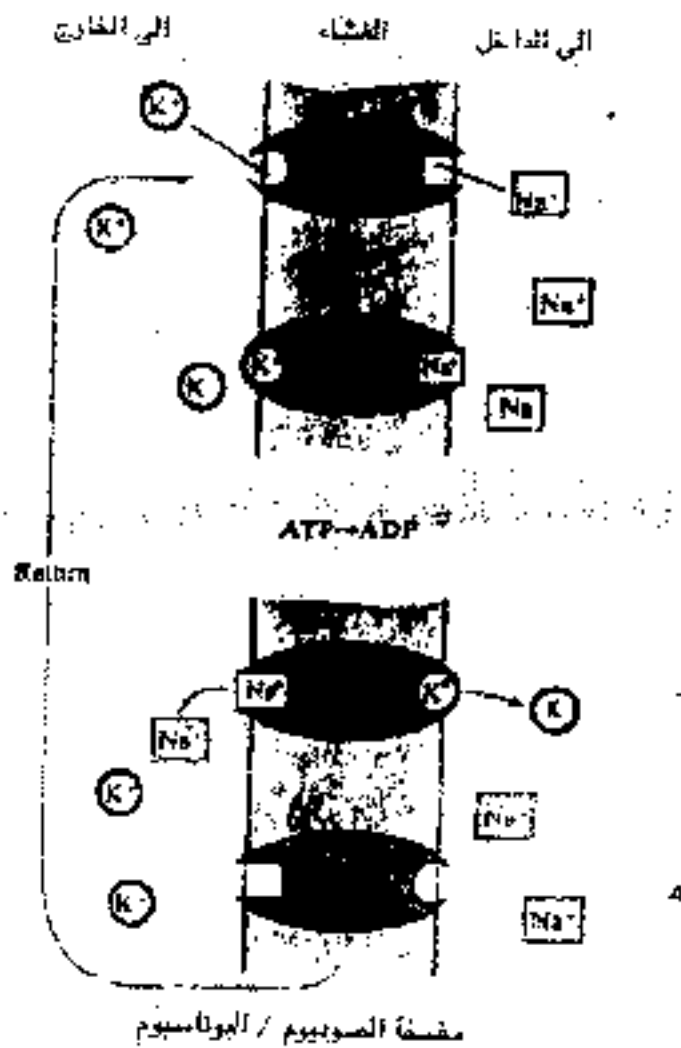
إن هذا الضخ يعمل في الخلايا الحيوانية ولكن لا يبدو أنه صفة للخلايا النباتية أو البكتيرية ، حيث أن كلا النوعين من الخلايا لا يحتاجان إلى أيونات الصوديوم للقيام بالعمليات الأيضية .

إن ضخ أيون الهيدروجين يكون نوعاً لآخر في الخلايا البكتيرية وأما عملية الضخ في الخلايا النباتية فهي ليست مفهومة بشكل كامل لحد الآن .

هناك فهان مبهتان من ضخ أيون الصوديوم Na^+ وضخها بالنسبة للخلايا الحيوانية . فالنوع الأول يبين أن ضخ أيون الصوديوم إلى الخارج مرتبط بقوة مع

عربي

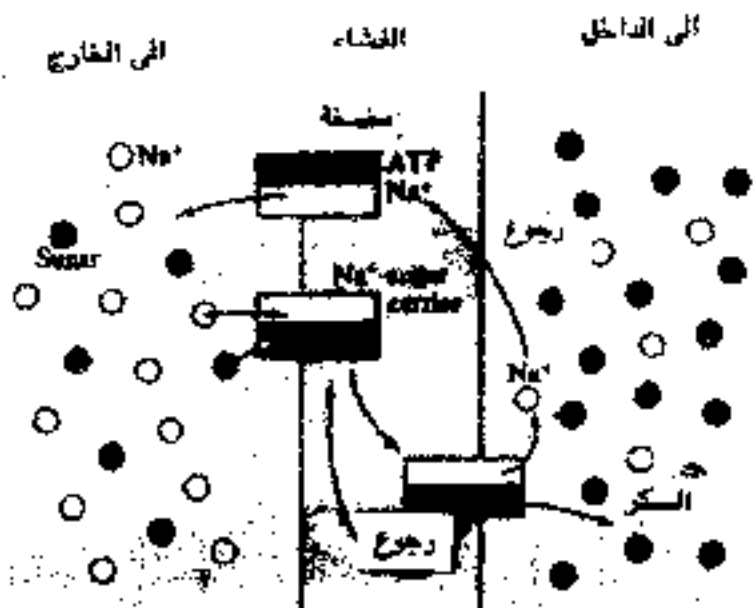
انتقال أيونات البوتاسيوم K^+ إلى الداخل، وهكذا فإن أيون الصوديوم وأيون البوتاسيوم تتبادل بطريقة إجبارية *compulsory way*.
 ويدعى هذا النوع من ضخ أيون الصوديوم بالضخ المتبادل للصوديوم / البوتاسيوم أو الضخ المتبادل الزوج *Sodium/potassium exchange pump* or the *coupled neutral pump* (شكل ٢ - ١٨).



الشكل ٢ - ١٨. مخطط يوضح عمل مضخة الصوديوم / البوتاسيوم في غشاء الخلية المتبادل للزوج

إن الانتقال إلى داخل الخلية لأيون البوتاسيوم K^+ لا يرفقة بالضرورة خروج أيونات الصوديوم Na^+ وإنما هي عملية ضخ الصوديوم انوكدة للإلكترونات الشكل ٢ - ١٨ وهذا هو النوع الثاني والذي يسمى بضخ التولد الألكتروني *electrogenic sodium*

pump وذلك بسبب انخفاض الجهد الكيميائي الكهربائي عندما لا يهوى خروج أيون
 الصوديوم بواسطة Na^+ من دخول أيون البوتاسيوم في أغلب الخلايا ويحصل نتيجة
 ذلك تجمع من K^+ الذي يعرض Na^+ في Na^+ أو H^+ في البكتيريا، وهم واحد
 من الآلية العملية لضخ التردد الكهربائي أكثر من الضخ الطبيعي.



الشكل ٢ - ١٩ : مخطط يوضح عمل مضخة الصوديوم المولدة للكهرباء.

ملاحظة

هناك عمليتان حيويتان تتطلبان تركيزاً عالياً من أيون البوتاسيوم ، الأولى عملية
 تطبيق البروتين على الرايبوسومات ، والثانية هي إحدى الخطوات الأنيضية المهمة
 خلال عملية تحلل الكربوهيدرات.

وغالباً ما يتوازن التركيز الداخلي العالي من أيون البوتاسيوم بفقدان بعض
 الأيونات الموجبة مثل الصوديوم أو الهيدروجين ، أو أن تكون هناك زيادة في الابتلاع
 التي سرف تسبب انفجار الخلية وذلك بأحداث حالة من الضغط الأزموزي الداخلي
 العالي.

وينقل الفعال للأحماض الأمينية إلى داخل الخلايا هو نتيجة أخرى لفعل الضخ
 الأيوني للصوديوم. إن خروج الصوديوم من الخلية يولد جهداً داخلياً وإثباتاً وخارجياً
 عالية تركيز الصوديوم. والطاقة اللازمة لهذا الجهد يعتقد أنها تدعم القوة الدافعة
 لانتقال الأحماض الأمينية إلى الخلية هي Na^+ ضد التركيز دافعة التي تجمع هذه

المركبات الضرورية ، أما جهد الصوديوم نفسه فيتكون على حساب الـ ATP. إن
انظمة بروتينية انزيمية متخصصة تساعد الامعاء على الامتصاص من عبور الغشاء الخلوي
في خطوات النقل الفعال.