تركيب وفسلجة الخلية. Structure & Physiology of the cell

تركيب وفسلجة الخلية:

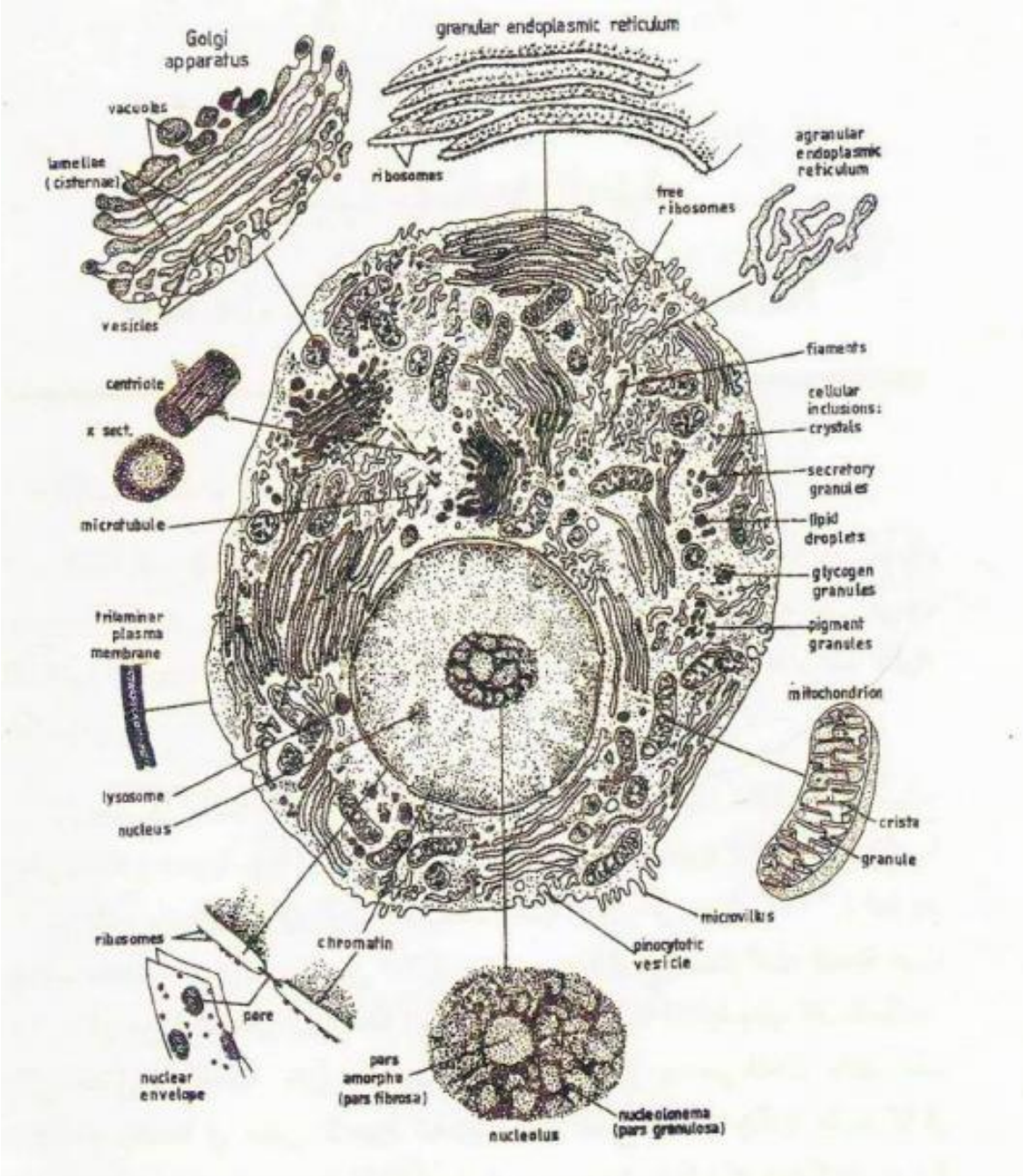
منذ ان وضع العالم تيودور شوان نظريته حول الخلية عام 1930 التي افترض بها بأن جميع الحيوانات تتألف اجسامها من خلايا، اصبح معروفاً ان الخلية هي الوحدة الاساسية للاجهزة البايولوجية تماماً مثل الذرات التي هي الوحدات الاساسية للمواد الكيمياوية.

ولم يكن في المستطاع آنذاك رؤية الخلية لحين اكتشاف المجاهر خلال القرن السابع عشر فالخلايا صغيرة جداً لا يمكن رؤيتها بالعين المجردة لكنها كبيرة اذا ماقورنت بالنسبة حجم الذرة من وجهة الكيمياوي. حيث ان الخلية تحتوي على حوالي **(10 ^{14})** ذرة وهو يقارب ما يحتويه جسم الانسان من خلايا ... وليس هنالك من حجم ثابت للخلية حيث تغير ذلك من وقت لاخر تبعا للحالة البايولوجية والفسيولوجية للخلية وعليه ان الفعاليات التي تحصل في الخلية غالباً ما تلازمها تغيرات في شكل وحجم الخلية وتظهر تلك لتغيرات واضحة في بعض الاجهزة كخلايا الجهاز اللمفي والغدي ولكنها طفيفة كما في خلايا العظام .. ويتراوح قطر الخلايا من **(10 - 100 مايكرون) (1 مايكرون = 1/ 1000 ملم)** .. باستثناء المح في بيض الطيور الذي يعتبر خلية فردة ويرتبط حجم الخلية مع كمية حامض الدي اوكسي رايبوز النووي (DNA) في النواة وكمية البروتين المصنع . (الشكل 1) .

تركيب الخلية

(1) غشاء الخلية (cell membrane)

ويسمى ايضا Plasma membrane ان غشاء الخلية يكون حوالي **40 - 90 %** من مجموع كتلة الخلية وله دور كبير في التأثير على الفعاليات البايولوجية للخلية والاجهزة الموجودة في جسم الكائن الحي وهو ضروري لتن خلاله يتم تنظيم عملية النفوذية المنتخبة Selective permeability. من والى الخلية وهو رقيق جدا ومن دراسة بنيان غشاء الخلية باستخدام المجهر الالكتروني تأكد بانه يتكون من طبقتين من مادة دهنية فوسفاتية Phospolipids ذات سمك **حوالي 100 انكستروم (1انكسترون = 1 / 000 / 000 /10) ملم** وهي مغطاة بالبروتين من كلا الجانبين اضافة الى انه يشكل جزءاً من مكونات الغشاء البلازمي. ويوضح الشكل (2) تنظيم الفوسفولبدز في جدار الخلية. فجزيئة الفوسفات الدهنية تكون على شكل دبوس يتكون رأسه من فوسفات قابلة للذوبان بالماء وذات شحنة موجبة تنتظم للخارج ، وساق غير ذائب بالماء خالي من الشحنة non - charged. الى الخارج.



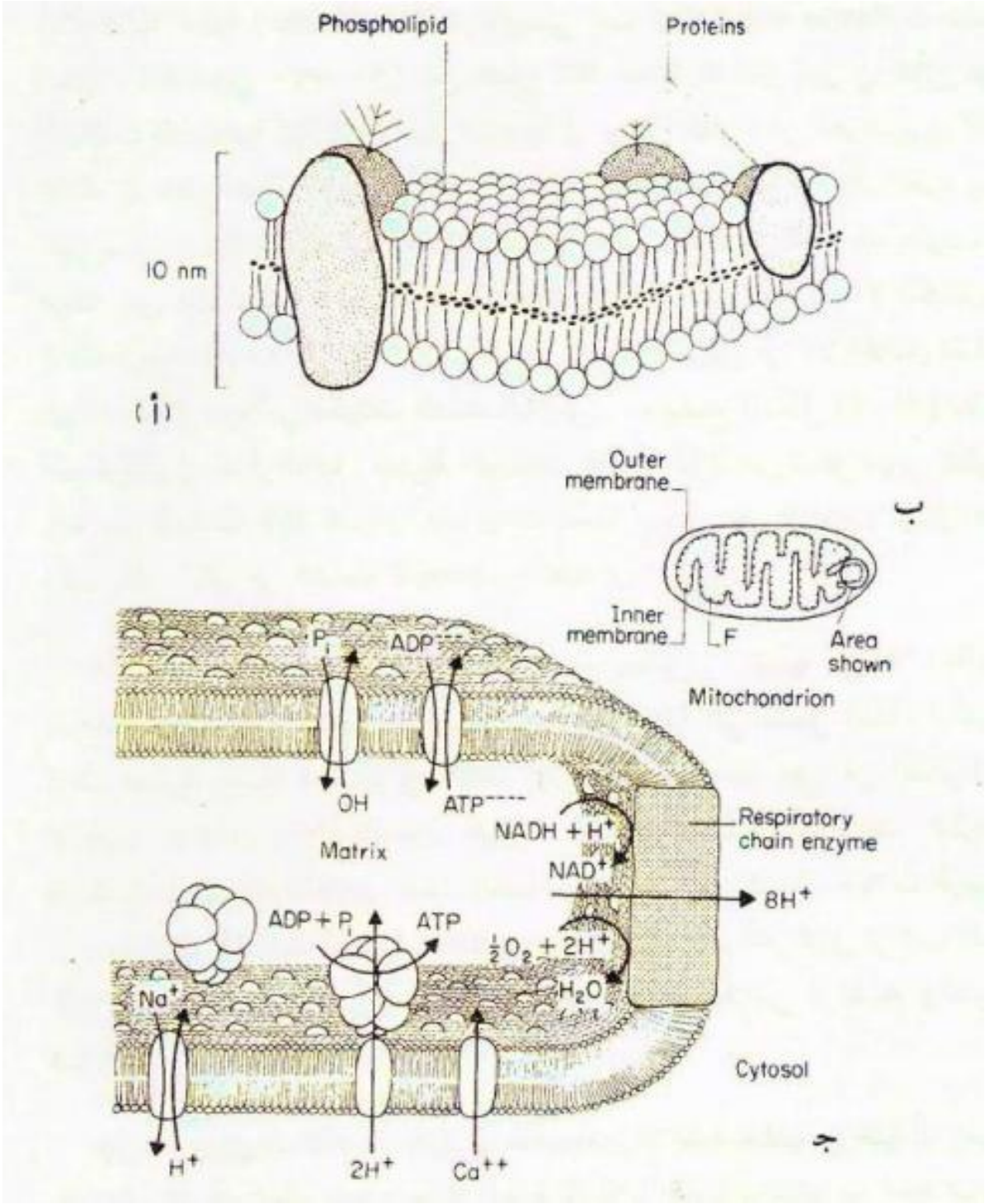
الشكل 1 : رسم توضيحي لخلية حيوانية كما تظهر تحت المجهر الالكتروني

ان هذه التراكيب الدهنية الفوسفاتية منسقة بطبقتين رؤوسها من كلا الجانبين وسيقانها الى الداخل. وتتخلل تراكيب الدهون الفوسفاتية التي تشمل الغشاء الخلوي مرات صغيرة بروتينية مطمورة في الطبقة الداخلية او الخارجية وهي من السكريات البروتينيةglyco Protein. والدهون البروتينة Lipo protien رقد تبرز هذه الكرات البروتينية على السطح الخارجي لغشاء الخلية حيث يعتقد انها تكون

مستقبلات الهرمونية او مستقبلات للناقلات العصبية Neuro transmitter وقسم اخر يحمل تراكيب تشبه القنوات Channels لغرض التبادل الايوني عبر الغشاء البلازمي او المسام (الثغور) pores.

ومن الضروري ان نتذكر ان التركيب الكيمياوي للاغشية يختلف من خلية الى النوية ومن عضو الى آخر وعليه تتحدد علاقة الخلية بالخلايا المجاورة ومايتبعها من اختزال النووي الوظيفة كما وان غشاء الخلية له دور مهم في المناعة البايولوجية حيث ان مولدات RNA بصورة خاصة في خلايا معينة وأخيرا فان مكونات غشاء الخلية تتجدد باستمرار طول عمر الخلية.

نجد ان انتشار الماء بين خلية ووعاء دموي شعري مجاور يحدث بصورة سريعة جدا ولكن لو كانت المسافة اطول كأن تكون **10 سم** لحدث الانتشار بصورة بطيئة جدا والانتشار ملائم للمسافات القصيرة ولكنه غير ملائم للمسافات الطويلة ولهذا فان قطر الخلايا بحدود **10 مايكرومتر** يكون ملائما لحصول الانتشار بينها وبين الاوعية الدموية الشعرية الكثيفة الموجودة في الانسحة.. وتبعاً لذلك نجد ان سرع الانتشار لها اهمية كبيرة في تصميم الاجهزة البايولوجية .. ان انتشار الغازات يكون اسرع مما هو عليه في انتشار السوائل (فرائحة العطر في غرفة مثلا تنتشر بسرعة اعلى من انتشار صبغة معينة في ماء مثلا) وسبب ذلك يعود الى ان جزيئات الغاز تكون اقل تماسكا من حزيئات السائل لذا نجد ان الحجم الذي تتحرك فيه الجزيئات عشوائيا يكون اكبر من المسافة ما بين جزيئات الغاز نفسها بينما في السوائل نجد ان الجزيئات تتحرك في فراغ اقل مسافة ما بين الجزيئات نفسها - لذا فأن مجال الحركة لحزيئات الغازات يكون اكبر ما هو عليه في السوائل.



الشكل 2 :- يوضح بناء غشاء الخلية (أ) تنظيسم الفوسفات الدهنية (ب) المتقدرة (ج) مقطع من غشاء المتقدرة يبين كيفية تكوين ثالث فوسفات الادنوسين .

(2) النواة The Nucleus

وهي كروية كما في الخلايا المكعبة او بيضوية كما في الخلايا العمودية او قد تتخذ اشكالا اخرى كالكلوية او حدة الفرس او مفصصة كما في الكريات الدموية البيضاء وغالبا ما نجد النواة في الخلية غير انه من الممكن ان نجد نواتين او اكثر كما في بعض خلايا الكبد او بعض خلايا العظم وهي اكبر اجزاء الخلية حجما محاطة بغشاء نووي Nuclear envelope تخترفه مسام لها دور في تبادل المواد بين النواة والسايتوبلازم وتحتوي على الجينات الوراثية التي تكون مرتبطة فيما بينها على تراكيب خيطية الشكل تدعى الكروماسومات. ان الجينات تحتوي على كافة التفاصيل والمعلومات التي تحتاجها الخلية لغرض التكاثر. وهي تتكون من سلسلة كبيرة من جزيئات حامض الدي اوكسي رايبوز النووي DNA منتظمة في شكل يشبه السلم (الجذيلة) ذو التواء شبه حلزوني) .. ويتكون جانبي السلم من وحدات متعاقبة من الكاربوهيدرات الفوسفاتية خماسية الكاربون Carbon 5- sugar +phosphate groups

اما تدراج السلم التي ترتبط مع وحدة كاربوهيدرات من كل جانب فتحتوي على ازواج احماض امينية اما ادنين مرتبط مع الثايمين Adenine + thymine او كوانين مرتبط مع السايتوسين guanine +cytoine وتقوم هذه المركبات بنقل الصفات الخاصة بالوراثة.. اما بالنسبة لوحدات الكاربوهيدرات. الفوسفاتية فلها علاقة بتقرير جزيئات البروتين ... واثناء التحولات الوراثية لتخليق البروتينات فان DNA يتحول الى جزيئات اخرى متعددة مشابهة لجزيئة تدعى حامض الرايبوز النووي المرسل Messanger RNA الذي يحتوي ازواج من احماض امينية من الادنين .. المرتبطة مع الكوانين او السايتوسين مرتبط مع اليوراسين بدلا من الثايمين وتغادر هذه الاخيرة النواة الى داخل هيولي الخلية عندها تقوم الجسيمات الرايبوزية Ribosomes. بتصنيع البروتين المناسب الاحماض الامينية المتعددة Polypeptide ... وتحتوي النواة في اغلب الخلايا على النوية. Neucleolus وهي حجم كروي الشكل يحتوي على كمية كبيرة من الرايبوز النووي RNA وتتعدد بعض الخلايا التي تمر بدور النمو وتكون النوية مصدراً للRNA الخاص بالرايبوزمات ويغلف النواة غشاء نووي مزدوج بينما فراغ يسمى صهريج (مخزن) حول النواة Perinuclear cistern. وهو غشاء ذو نفاذية جيدة يسمح بمرور جزيئات الـ RNA من النواة الى السايتوبلازم وتتخلل الغشاء مسامات او ثغور تكون مغلفة بغشاء هلامي رقيق يعتقد انها تلعب دورا في تبادل المواد بين النواة والهيولي ... وقد يرصع الغشاء النووي احيانا بالجسيمات الرايبوزية او قد يكون ممتداً الى اغشية الشبكة البلازمية الداخلية كما تحتوي النواة على جبلة النواة التي ينتشر فيها الصبغين الكروماتين Chromatin وهو عبارة عن

حامض ديوكسي رايبوز النووي DNA متحد مع هستونات وتراكيب بروتينية اخرى وتقع بصورة كثيفة على السطح الداخلي لغلاف النواة

(3) الشبكة البلازمية endoplasmic erticulum

وهي عبارة عن شبكة من النبيبات الغشائية في هيولي الخلية، وهي اما ان تكون خشنة او ناعمة المظهر. وقد سميت بالخشنة بسبب وجود الرايبوزمات Ribodimes. التي هي عبارة عن كريات صغيرة يبلغ قطرها **100 انكستروم** وقد توجد الرايبوزمات ايضا حرة او طليقة على شكل فرد او مجاميع تتكون من **3 – 5 رايبوزومات** في هيولي الخلية وهي تتالف من **60 %** حامض الرايبوز النووي و **4 %** من بروتين. ومن الوظائف الاساسية للرايبوزومات تخليق البروتين مستخدمه الاحماض الامينية الموجودة في الهيولي.. ان الرايبوزومات المحمولة على الشبكة البلازمية الداخلية تكون خاصة لتخليق البروتينات المفرزة خارج الخلية الى خلايا اخرى في الجسم. اما الرايبوزومات الطليقة او الحرة في الهيولي فتكون خاصة لانتاج بروتين لنفس الخلية لتعويضها مما استهلك اثناء افعالها البايولوجية المختلفة. وتترتب الرايبوزومات بشكل زوجي على الشبكة البلازمية الداخلية الخشنة ... اما بالنسبة للشبكة البلازمية الناعمة والتي غالبا ما تكون في انسجة العضلات Sarco plamic reticulum فتكون ضرورية لاحداث تقلصات العضلة وكذلك مهمة لانتاج الهرمونات الستيرويدية Steroid hormones. في الخلايا الخلالية للخصية . وخلايا الجسم الاصفر وقشرة الكظر.

(4) جهاز كولجي Golgi Apparatus

عبارة عن مجموعة من الشعيرات او الخيوط الناعمة تشكل شكلا شبيها بالشبكة او بالصفائح او الاغشية داخل هيولي جميع الخلايت الحية لكنها غالبا ما تكون اكثر حجما ومملؤة بالمواد الافرازية في الخلايا التي تفرز مواد بروتينية الى انحاء الجسم الاخرى كالغدد .حيث تقوم هذه الاغشية بتغليف افرازات الخلايا وتكوين حويصلات تتخرك الى سطح الخلية ثم تفرز الى الاعضاء الاخرى وقد لوحظ وجود بعض الانزيمات التي تساعد على تكوين رابطة بين جزيئات السكر والبروتين لتكوين البروتينات السكرية glycoprotein في هذه الاغشية. كما ويقوم جهاز كولجي بتركيز الانزيمات الحالة التي تطرح الى الهيولي وعليه فانه يعتبر منشأ لتكوين الجسيمات الحالة (اللايسوسومات)

(5) الجسيمات الحالة Lysosms

وهي تراكيب غشائية غير منتظمة يتراوح قطرها بين **100 – 800 نانومتر (1نانومتر = 10 انكستروم)** وتتكون في جهاز كولجي وتحتوي على انزيمات حالة متعددة لها القابلية على تحليل البروتينات والكاربوهيدرات والفوسفات العضوية والاحماض النووية DNA, RNA ومتعدد السكريات المخاطية mucopoly Saccharide. ويعتقد انها جهاز تنظيم الخلية وذلك لقابليتها على تحليل المواد اعلاه وتحليل بعض الاجزاء الخلوية التي لا تحتاجها الخلية اضافه الى قابليتها على تحرير الهرمونات من الحويصلات التي تحتويها كما في الغدة الدرقية. كما وان التخلص من البكتريا المبلعمة Phagocyte ومن قبل الخلية يعتبر من الوظائف المهمة للجسيمات الحالة ويتم التخلص من نتائج التحلل بواسطة ابرازها خارج الخلية او امتصاصها من قبل الخلية.

(6) الخيوط والنبيبات الدقيقة Micro filaments & Micro tubules

وهي تراكيب خلوية دقيقة موجودة في اغلب الخلايا الجسمية. وتكون الخيوط الدقيقة على شكل عصيات قطرها **4 – 6 نانومتر** بينما النبيبات الدقيقة تكون اسطوانية الشكل مجوفة يبلغ قطرها حوالي **25 نانو متر** وسمكها **5 نانومتر** .. تتكون الخيوط الدقيقة من مادتي الاكتين والمايوسين Actin - myosin التي تكسب العضلة خاصية التقلص اما بالنسبة للنبيبات فتتكون من بروتينات اخرى اهمها التبوبيولين Tubulin وتكثر الخيوط الدقيقة في الخلايا المكعبة والعمودية كما في الامعاء وكذلك في الخلايا العصبية حيث تدعى الليفات العصبية neurofibrils وكذلك في العضلات الملساء والمخططة حيث يطلق على الخيوط الرفيعة thin filaments .. وكذلك الخيوط الغليظة course filaments وهما مسؤولان عن خواص التقلص في الخلايا ومذلك في المحافظة على شكل الخلية اما بالنسبة للنبيبات فانها توحد في خلايا عديدة ولكنها تتمركز اثناء الانقسام الخلوي، حيث تكون مايسمى بالمغزل الانشطاري mitetic Spindle وهي موجودة ايضا في الخلايا العصبية وفي كبيبات الكلية وعدسة العين والاهدتب وذيل النطف ومن المحتمل ان تكون لها القابلية على التقلص او تشترك في نقل بعض المواد من منطقة الى اخرى ولكن ذلك لا زال مثار جدل. ان هذه التراكيب لها القدرة على تنظيم بعض فعاليات الخلايا كالحركة، وتناول الطعام وتكوين المغزل الانشطاري ، والمحافظة على شكل الخلية، ونقل المؤثرات العصبية وربما تنظيم كمية البروتين في جدار الخلية ولحد الآن لم تتوضح كيفية حدوث هذه الفعليات لكن من الممكن ان نعتبر الخيوط الدقيقة على انها عضلات الخلية اما النبيبات الدقيقة فيعتقد انها تقوم بتنظيم وتنسيق القوة الناتجة من الخيوط الدقيقة.

(7) المتقدرات Mitochondria

وهي تراكيب اصبعية الشكل او بيضوية يتراوح حجمها بين **0.2 – 12 مايكرمتر** كما في الشكل (1) تدعلى الاعراف المتقدرية Mitochondria cristae ويتناسب عدد الاعراف المتقدرية لكل متقدرة مع كمية الطاقة اللازمة لتلك الخلية ويختلف عدد المتقدرات ايضا من خلية الى اخرى ومن نسيج الى اخر ولكنها تكون كثيرة العدد في تلك الخلايا التي تحتاج الى نشاط ايضي كخلايا الكبد والكلية. ذلك لانها تعتبر وحدة توليد الطاقة الرئيسية للخلية حيث تقرم بتكوين ثالث فوسفات الادينوزين ATP بطريقة تدعى الفسفر التأكسدية Oxidative phosphorylation. لثاني فوسفات الادينوزين ADP وبالعكس. فان تحويل ثالث فوسفات الادينوزين الى ثاني فوسفات الادينوزين يولد طاقة ضرورية للفعاليات الداخلية للخلية مثل التقلص وتركيب البروتين والنقل الفاعل. ان الفمرة السائدة حاليا وانتاج ATP هي من خلال تفاعل تنافذي كيمياوي Chemi- Osmtic حيث تعمل اكسدة الـ ADP.الى وضع الكترونات وبروتونات من الكاربوهيدرات والدهون تعمل بواسطة جزيئات هيدوجين ناقلة NADR الى خمائر السلسلة التنفسية Respiratory -chain enzyme. الموجودة في غشاء المتقدرات التي تقوم بنقل البروتونات الى جبلة الخلية عبر غشاء المتقدرات .. ان فرق جهد البروتونات والالكترونات المتكونة يقوم بارجاع بروتونات عبر الغشاء الى داخل المتقدرات ومن خلال هذه العملية يتم تصنيع الـ ATP. وبعتقد البعض ان ابمتقدرات تحتوي على الاحماض النووية الخاصة بها DNA تختلف عن الاحماض النووية الموجودة في النواة من حيث الاصرة الكيمياوية ويمكن للمتقدرات ان تصنع البروتين

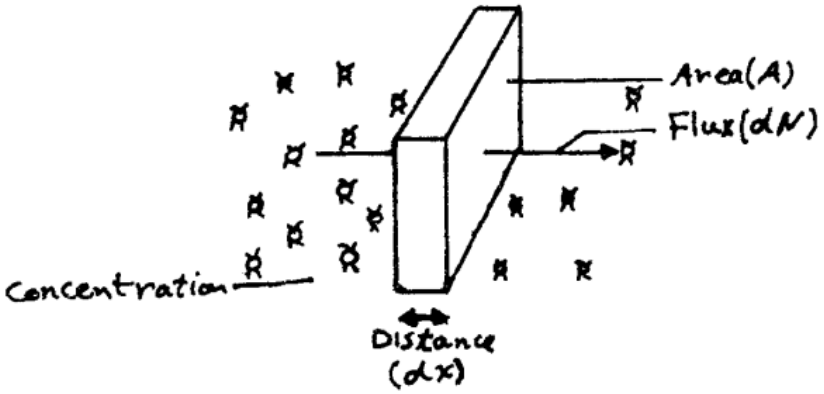
(8) الهيولي (السايتوبلازم) Cytoplasm

ان كافة الاجزاء والتراكيب الحيوية المحاطة بغشاء الخلية تكون مغمورة بهيولي الخلية او البلازما الزجاجي hyaloplasm وهو جزء مهم في الخلية، عديم اللون، يتكون من متعدد الببتيدات Polypeotide والبروتينات والانزيمات والماء بنسبة كبيرة كما وتحتوي الخلية على محتويات اخرى غير ثابتة في الخلية وتسمى المشتملات البلازمية paraplasmic inclusion وهي اما من انتاج الايض الخلوي Cellular metabolism او خارجية المنشأ وتشمل على انواع مختلفة من الحويصلات الغنية بالكلايكوجين والدهون والاصباغ endogenous pigment inclusion. او الحويصلان التي تحتوي على مواد غذائية او مخلفات انتاج الخلية.

الانتشار Diffusion

هو حركة دقائق او جزيئات مادة غازية كانت او سائلة او صلبة في وسط اخر مثل انتشار جزيئات مادة مذابة كالملح بين جزيئات مادة مذيبة كالماء مثلا .. ويتم ذلك من خلال حركة جزيئات المواد التي تنتقل من مناطق التركيز العالى الى مناطق التركيز الواطئ الى ان يتجانس المحلول.

وقد وضع معدل انتشار المواد حسب قانون فك للانتشار Ficks low of diffusion. كما في الشكل (3)



الشكل 3 :- يوضح قانون فك للانتشار

ان كمية المادة المنتشرة في وقت معين تزداد مع فرق التراكيز والمساحة السطحية للانتشار وتتناقض مع المسافة او البعد اللازم للانتشار:

$$dn/dt = -DA \times dc/dx$$

حيث ان dn/dt هي كمية المادة التي تعبر خلال وحدة زمنية معينة (تعني السرعة) من خلال مساحة معينة (A)تحت درجة انحدار متساوية dc/dx. اما Dفيمثل معامل الانتشار، ويعتبر سالبا لان حركة الجزيئات من التركيز العالي الى التركيز الواطئ، الذي يعتمد على حجم الجزيئة والوسط الذي تتحرك به ودرجة الحرارة. ولنأخذ حركة الماء على سبيل المثال فتن سرعة انتقال جزيئاته تزداد كلما زادت القوة المحركة (في ارتفاعه مثلا) ولكنها تنخفض مع زيادة. المساحة كذلك تزداد السرعة مع زيادة المساحة بين منطقتي الانتقال.

ان جميع هذه العوامل قد اخذت بتظر الاعتبار في قانون فك وقد اصيف لها معامل الانتشار (D) ليكمل المعادلة وهو ثابت لاي مادة في ظروف معينة خاصة كحجم الجزيئات ولزوجة المادة المذيبة

وكذلك درجة الحرارة وتنتقل جزيئات المواد اثناء الانتشار في حركة عشوائية لجميع الجهات يطلق عليها الحركة البروانية

الحركة البراونية. Brownian mevement

ان الحدث الاساسي والمهم في عملية انتشار المواد هو القفز العشوائي للجزيئات (حركة براون) وان معدل طول القفزة يعتمد على الظروف المحيطة فاذا كان هنالك فرق في التراكيز بين المنطقتين نجد ان الجزيئات تنتقل من منطقة التركيز العالي الى التركيز الواطئ لغرض حصول الموازنة بين المنطقتين. وقد عالج هذا الم قف العالم انشتاين نظريا حيث اعتبر حركة كل جزيئة على انفراد هي حركة عشوائية random walk من نقطة البدء اخذا بنظر الاعتبار السرعة التي يتم بها الانتشار واستنتج ان الوقت اللازم للانتشار يتناسب مع مربع المسافة لذا فان مضاعفة المسافة تعني ان الوقت اللازم للانتشار سيزداد بمقدار اربع مرات، في حين ان اختصار المسافة الى النصف سنقلل من الوقت بمقدار اربع مرات ولو تم تقدير الوقت اللازم لمعدل الانتشار الحقيقي في مسافات معينة محددة

الشكل ( )

الشكل 4 :- يوضح وقت الانتشار في الماء

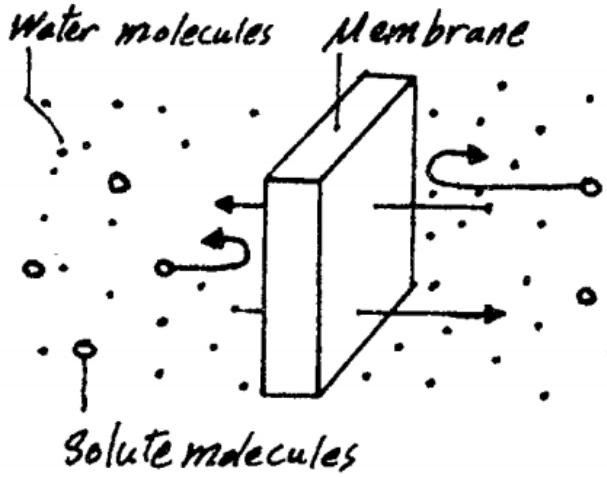
التنافذ Osmosis

ويطلق عليه **بالتناضح** ايضا **وهو حركة جزيئات المذيب الى المنطقة التي فيها تركيز المذاب عاليا عبر غشاء غير ناضح للمذاب.**

وتتميز اجهزة الكائنات الحية بوجود الاغشية التي غالبا تقلل من عملية انتقال جزيئات المذاب بصورة امثر مما تؤثر على انتقال جزيئات المذيب (الماء عادة) ان هذه الحالة تؤدي الى زيادة كبيرة

في تركيز جزيئات المذاب على جهة واحدة من الغشاء اكثر من الثانية بمعنى آخر نستطيع اعتبار ان الماء على جهة معينة من الغشاء وقد خفف الى درجة كبيرة بجزيئات المذاب اكثر. مما عليه في الجهة الثانية ان ذلك سيؤدي الى انتقال الماء عبر الغشاء من جهة الى اخرى ليتعادل تركيزه في جهتي الغشاء.

ان الضغط الذي تولد سبب هذا الانتقال هو الضغط التنافذي او (الازموزي) Osmotic pressure. لو اخترنا غشاء شبه نفاذ (الشكل 5) كان يكون نفاذ للماء فقط ولا يسمح لجزيؤات المذاب بالمرور، نجد ان التغير في الضغط التنافذي المتكون عبره ممكن ان يستعمل لحستب تركيز جزيئات المذاب (المواد الغريبة) ويحدث الضغط التنافذي لوجود اغشية نصف ناضحة تسمع بنفاذ جزيئات المذيب ولا تسمح لجزيئات المذاب.



الشكل 5 :- يوضح الضغط التنافذي عبر الغشاء نصف الناضح

ويمكن ان نتصور تحول الماء الى ثلج او الى بخار غشاء مثالياً فوجود جزيئات غريبة في الماء كالملح مثلا يقلل من درجة الحرارة اللازمة التي يتكون فيها الثلج وذلك لنقصان تركيز جزيئات الماء في الماء السائل وهذا يعد اقصل طريقة لحساب درجة النفاذية Osmolarity لاي مادة في الماء ... ان اضافة مادة مانعة للتجمد مثل Ethlene glycol الى جهاز تبريد السيارة هي دليل على الاستفادة التطبيقية في خفض درجة الانجماد .. كما وأن الوحدات المستخدمة في قياس الضغط التنافذي هي (ازمول / كغم) ... ان كل ازمول / كغم. من الماء يخفض من درجة الانجماد بمقدار **1.86 .**

جدار وعاء الدم الشعري

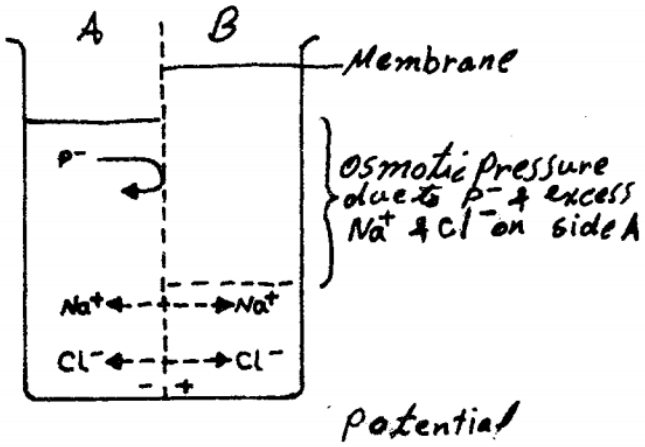
ان المواد ذات الاوزان الجزيئية التي تصل الى حد 70000 يمكن ان تعبر جدار الوعاء الدموي الشعري عن طريق قنوات ما بين خلايا شبيهة بالمسامات تكون مملوءة بالماء يبلغ قطرها حوالي 10 نانيومتر. وتشكل حوالي 0.1 % من المادة التي تشغلها، فالجزيئات الصغيرة كالصوديوم والكلور، والكلوكوز والاحماض الامنية، والهرمونات يمكن ان تعبر خلال جدار الوعاء الشعري بصورة سريعة ولكن سبب تباطؤها يعود الى أن المساحة السطحية المتوفرة للانتشار تكون محدودة. اما الحزيئات الكبيرة وبصورة رئيسية الالبومين وهو احد بروتينات بلازم الدم فلا يسمح له بالمرور عبر جدار الاوعية الشعرية ولهذا يؤدي الى حدوث فرق في الضغط التنافذي بين البلازما والسائل ما بين الخلايا. ان كمية هذا الضغط التنافذي الكلية للبروتينات والمسمى بالضغط الجرمي. Oncontic pressure. حوالي 1.5 ملم اوزمول / كغم وهذا يكافئ الضغط الهايدروستاتيكي (ضغط السائل) وهو حوالي 25 مليمتر زئبق. ان هذا الضغط المهم جدا، صغير قياساً بالضغط التنافذي الذي قد ينشأ لو أن جدار الوعاء الشعري شبه نفاذ بصورة قياسية (مثلا غير نفاذ للأيونات بحدود 300 ملم اوزمول /كغم.

ان العالم سترلنك Starling بين ان هذا الضغط الجرمي هو العامل المسؤول عن موارنة ضغط الدم في الاوعية الدموية الشعرية وبهذا يحدد عملية توزيع الماء بين جهاز الدوران والسائل ما بين الخلايا. لقد بينت القياسات ان حوالي 16 ملم زئبق ضغط من مجموع الضغط التنافذي للبروتينات (البالغ 25 ملم زئبق) أتية من وجود البروتينات والبلازما اما المتبقي منها فيعود الى التوزيع غير المتعادل للآيونات النفاذة (خاصة الصوديوم والكلور) عبر جدار الوعاء الشعري والذي يعود الى وجود الشحنات السالبة على بروتينات البلازما الذي يعرف بتوازن. او انتشار جبس دونان - Gibbs .Donan distribution

توازن جبس دونان Gibbs -Donnan distribution

وهو ينشأ (في عالم الاحياء) بين محلول يحتوي على جزيئات بروتين مشحونة واملاح ومحلول آخر يحتوي على املاح فقك يفصلهما غشاء ويسمح للاملاح بالمرور بسهولة ولا يسمح لحزيؤات البروتين بذلك الشكل (6) . ان ما يترتب على ذلك نجده في توزيع الآيونات التي لها القابلية على النفاذ عبر الغشاء وبصورة معينة لينتج عنها ما يأتي.

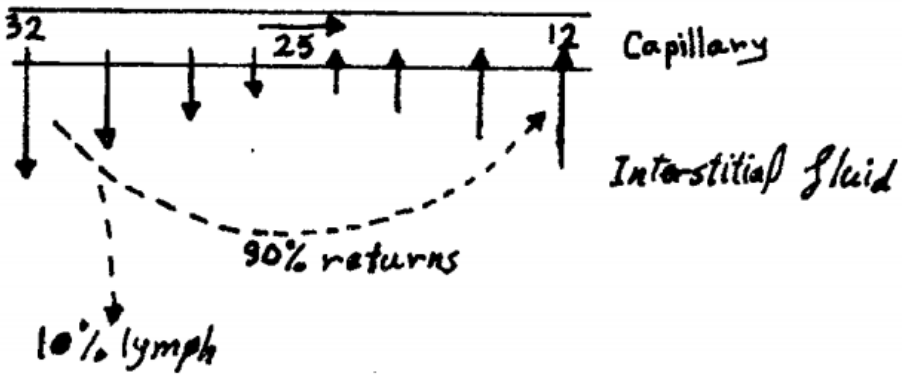
1. حدوث فرق جهد كهربائي عبر الغشاء حيث الجانب الذي توجد فيه حزيئات البروتين يصبح سالباً
2. هناك عدد كبير من الأيونات النافذة على جهة الغشاء المتجمعة عليه جزيئات البروتين مقارنة بالجهة الاخرى من الغشاء ولهذا نجد ان الفرق في الضغط بين جهتي الغشاء يعود جزئياً الى البروتين وكذلك الى زيادة عدد الآيونات النافذة في جهة الغشاء ذات الجزيئات العديدة من البروتين.
3. ان مستوى الآيونات النافذة على كل جهة من الغشاء متساوية.



شكل (٢-٦) يوضح انتشار جبس دونان (Lamb et al 1980)

التبادل عبر جدار الوعاء للشعري

تمتلك الاوعية الدموية ضغطاً في داخلها يسمح بدفع الدم الى الامام باتجاه الاوردة كذلك فأنها نافذة للسماح بالتبادل مع ما يحيط بها. وتتم المحافظة على سائل البلازما الموجود فيها من خلال ضغط البروتينات Oncotic pressre. الذي يوازن ضغط الدم وبهذا يعمل على توقف اي فقدان في بلازما الاوعية الشعرية غير ان ضغط الدم غير متساوي على طول الوعاء الدموي الشعري وكما موضح في شكل (7) .



شكل (٢- ٧) يوضح التبادل عبر جدار الوعاء الشعري (Lamb et al 1980)

وهو يتراوح من 32 ملم زئبق في البداية الشريانية الى حوالي 25 ملم زئبق في الوسط والى حوالي 12 ملم زئبق عن النهاية الوريدية في حين يبقى ضغط بروتينات البلازما ثابتا على طول الوعاء الدموي الشعري وهو حوالي 15 ملم زئبق. على هذا الاساس نجد ان الماء يترك الوعاء عند البداية الشريانية ويرجع الى الوعاء عند النهاية الوريدية كما في الشكل السابق ويدور حوالي 20 لتر من الماء في اجسامنا يوميا بهذه الطريقة عبر جدران الاوعية الدموية الشعرية. ان هذا الجريان الهائل من الماء مع ما يحتويه من جزيئات المواد المذابة ينظم حجم الدم وبقية السوائل خارج الخلايا. اضافة الى حزيئات الماء والمواد المذابة بسبب الانتشار الذي يعمل تنظيم توزيع المواد وهو اسرع من الجريان الذي سبقه فيتم تبادل السائل ما بين الخلايا مع السائل الموجود بالدم مرة واحدة يوميا بالطريقة الاولى (فرق ضغط الدم) في حين يتم التبادل بسبب الانتشار بين الماء الموجود في الدم والسائل ما بيت الخلايا خلال 4 ثوان فقط. والكلوكوز كل 20 ثانية تقريبا وثاني اوكسيد الكاربون خلال ثوان قليلة. ان جريان الماء الاعتيادي بسبب فرق الضغط يؤدي الى السيطرة على حجم الماء في حين ان الجريان بسبب الانتشار يعمل على تسوية الفرق في تراكيز المواد المذابة بالماء. ان الشكل السابق يوضح ببساطة العوامل ذات العلاقة بجريان الماء والمواد المذابة به بسبب فرق الضغط والحالة الطبيعية في الاوعية الدموية الشعرية وكما يلي:

1. من العوامل الاخرى ذات الاهمية هي حفظ النسيج فاذا كان عاليا سبب عودة الماء الى الوعاء الشعري. ان البروتينات تترك الاوعية الشعرية ببطء حوابي ثلثها / يوم، وبهذا سيكون هنالك ضغط بروتينات في النسيج واخر في الوعاء الدموي. في الرئة هنالك ايضا شد سطحي بسبب التماس بين الهواء والسائل. ان هذه العوامل لها من الاهمية في توزيع السوائل في مناطق معينة من الجسم (كالرئة والكلى) كذلك غان وضع الجسم له تأثير في توزيع السوائل في الجسم فنجد ان الاقدام تتورم خلال النهار عند الوقوف لفترات طويلة ذلك بسبب زيادة ضغط الدم بها لكننا نجد عكس ذلك في المساء.
2. هنالك تنافذ آخر يحصل بسبب ضغط العضلات القابضة الموجودة في جدران الاوعية الدموية وهذا يحدث بفترات متقطعة وعليه فأن لكل وعاء شعري فترات من التنافذ يعقبها فترات اعادة امتصاص وبالتناوب من ذلك نجد ان الجهاز الدوران القابلية على تنظيم ضغطه ذاتيا ففي حالة حدوث فقدان لكمية من الدم نجد ان ضغط الدم ينخفض في الاوعية الشعرية وبهذا يتم اعادة. امتصاص السوائل من بين الخلايا النسيجية الى الدم لغرض زيادة حجم الدم في الاوعية الدموية.

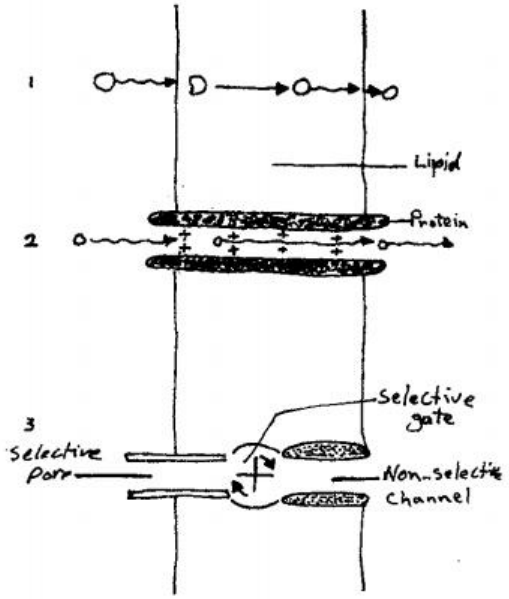
التبادل الغازي عبر غشاء الخلية Cell Membrane exchange

تتميز اغشية الخلايا الحيوانية بخاصية انتقاء المواد التي تمر من خلالها اكثر جدران الاوعية الدموية الشعرية ولكن تختلف الاغشية فيما بينها حيث لكل منها مواصفاته وتعتمد درجة نفاذيتها على طبيعة وظيفتها وعملها. فكريات الدم الحمر مثلا لها درجة نفاذية عالية للماء من الكلور ولكنها واطئة للصوديوم والبوتاسيوم في حيت ان الاعصاب والعضلات لها درجة نفاذية عالية بالنسبة للصوديوم.

ميكانيكية انتقال المواد عبر غشاء الخلية. :-

يتكون غشاء الخلايا من صفائح تتخللها مسامات ضيقة مملوءة بالماء وكذلك يحتوي على جزيئات ناقلة Transport Moleculs متخصصة .. وان المواد التي تدخل الخلايا او تتركها باحدى الطرق التالية او جميعها الشكل(8) :

1. **الذوبان في مكونات غشاء الخلية.**
2. **خلال المسامات المملوءة بالماء**
3. **التداخل او التفاعل مع جزيئات متخصصة في غشاء الخلية.**



شكل (٢– ٨) يمثل الطرق الثلاث التي تستطيع من خلالها المواد الدخول عبر غشاء الخلية (lamb et al(1980

1- الذوبان في غشاء الخلية:

ان الجزيئات التي لها القابلية على الذوبان بالدهن (ذات معامل دهن / ماء عالي) ممكن ان تدخل الخلية بعد ان تذوب في مادة غشاء الخلية ثم تنتشر خلال الغشاء وبعدها تعبر وتدخل السائل البيني Intra Celluler fluid ان معدل سرعة دخول هذه المواد تعتمد على معدل دهن / ماء.

وهناك علاقة موجبة ايضا بين الوزن الجزيئي للمواد والدخول عبر هذه الطريقة ومثال على بعض المواد التي تستخدم هذا المسالك هي الغازات التنفسية CO_2،O_2 بعض مواد التخدير وكذلك بعض الادوية.

2- الانتشار خلال المسامات المملؤة بالماء

ان الجزيئات الصغيرة التي لا تمتلك القدرة على الذوبان في الدهون تدخل الخلية عن طريق مسامات ضيقة مملؤة بالماء موجودة في غشاء الخلية الخارجي.

ويعتقد ان هذه المسامات تتخلل جزيئات البروتين الموجودة في اغشية الخلايا وتحمل شحنات موجبة وعلى هذا الاساس تسمح بمرور الجزيئات الصغيرة ذات الشحنات السالبة anions. اكثر من الكاربونات ذات الشحنة الموجبة Cations بسبب التجاذب ان اهم العوامل التي تقرر سرعة دخول الحزيئات بهذا السبيل هي حجم الحزيئة المتهدرجة وكذلك شحنها ومثال على المواد التي تدخل بهذه الطريقة الماء، الكلور، اليوريا، الصوديوم، البوتاسيوم، وبعض الحزيئات الصغيرة الاخرى ... ان هذه المسامات تكون طويلة نسبيا يبلغ عرضها حوالي 10 انكستروم وطولها حوالي 70 - 100 انكستروم وهي تحتل حيزا قليلا من الغشاء ولا يمكن رؤيتها بالمجهر الالكتروني ولانها ضيقة جدا فلا يتحول المسار في داخلها وهو متحد مع البروتين الموجود باواصر هيدروجينية

3- الارتباط المؤقت مع بعض مكونات غشاء الخلايا (الوسيط - الحامل) Carrier -Mediated :

هنالك جزيئات تدخل الى داخل الخلايا عن طريق الارتباطط المؤقت معزبعض مكونات غشاء الخلية او مايعرف بالوسيط الحامل ... ان هذا المعقد بطئ نسبيا ولكنه ذو خصوثية عالية فالمواد التي تدخل الخلية من هذا الطريق يمكن تشخيصها والتعرف عليها بسهولة ذلك لان عملية نقلها الى داخل الخلايا تصحبها بعض الظواهر التي تكون مغايرة لتلك التي تحصل في الطريقتين السابقتي الذكر (ومثال على ذلك الانتقال السريع لبعض الحزيئات الكبيوة كالسكر والاحماض الامينية غير القابلة للذوبان في الدهن) ان الجزيؤات الوسيكة الناقلة لا زالت قيد الدراسة حيث ان عددها قليل (عدة مئات او الاف)وهي موجودة في جدار الخلية الامر الذي يتوجب عزلها وتحليلها كيميائيا وقد تم التعرف عليها من خلال بعض الظواهر الفسلجية لامن تركيبها الكيمياوي ولقد افترض انها جزيئات كبيرة معقدة من البروتين الدهتي Lipo proteins مغروسة في جداو الخلية لها القابلية على ان تتحد بخصوصية مع جزيئات اصغر منها بكثير لغرض ادخالها الى الخلية.

بعض مواصفات الجزيئات الناقلة :

أ- التشبع Saturation.

ان زيادة كمية المادة المنقولة يؤدي الى تشبع الجزيئات الناقلة نظرا لان عددها محدود نسبيا في جدار الخلية مما يجعلها تعمل في سرعة محددة.

ب- التخصص العالي High Specifity.

كثير من الجزيئات الناقلة ذات تخصص عالي بالنسبة للمواد التني تنقلها فمثلا هناك جزيئات ناقلة فقط للبوتاسيوم وليس للصوديوم واخرى تنقل حامض اميني واحد دون غيره ... الخ.

جـ - التنافس والاعاقة Inhibition. & Competition.

ان الجزيئات المتشابهة تتنافس فيما بينها على الارتباط المؤقت مع الجزيئات المنقولة ولو قدرها ان ترتبط ولم تنقلها عندئذ تحدث حالة اعاقة متخصصة Specific inhibion. مثال على ذلك الاوبين auabain.

د - التحسس لدرجة الحرارة Sensitive to temperature

ان مثل هذا النقل يكون حساسا للتغيرات الحاصلة في درجة الحرارة حيث ان تغير درجة الحرارة بمعدل 10 درجات مئوية يعمل على تغير سرعة الانتقال بمعدل مرتين او ثلاث مرات قياسا بالطريقتين السابقتين وهذا يعني ان النقل بهذه الطريقة يحتاج الى طاقة عالية والى اشتراك انزيمات ايضا.

ان الانتقال عن طريق الجزيئات الوسطية الناقلة **يمكن ان يقسم الى قسمين رئيسيين: -**

1. **الانتقال الموجب او غير الفعال Passive Transport**
2. **والانتقال الفعال Active Transport.**

1 - الانتقال غير الفعال: Passive Transport.

وهو الانتقال الطوعي للمواد حيث تنقل المادة من المناطق التي يتواجد فيها تركيز عالي الى المناطق ذات التركيز الاقل لذا فان هذه الطريقة في الانتقال تعتمد على الضغط الازموزي وكذلك على تركيزها في ذلك الوسط ومثال على انتقال المواد بهذه الطريقة الانتقال عبر التنافذ والتناضح.

2 - الانتقال الفعال: Active Transport.

هناك العديد من المواد التي تتجمع داخل الخلايا او خارجها والتي تتطلب ان تتحرك من والى الخلية عبر غشائها بغض النظر عن تركيز الوسط ضد ضغط التوازن المائي او الازموزي لها وكذلك ضد درجة التأين. ان مثل هذه الحركة تتطلب طاقة تنتج بواسطة الخلية تدعى العملية بالانتقال الفعال. لقد عرف منذ عشرات السنين ان تركيز البوتاسيوم K^+ فد داخل الخلية اعلى هو عليه خارجها ... ان ادامة هذه الحالة تعتمد على الطاقة الناتجة من عملية الايض، لذا فان اول ما تعتمد عليه عملية الانتقال الفعال هو الطاقة المستمرة التي توفرها عملية الايض من الادنوسين ثلاثي الفوسفات ATR او من مصادر اخرى،اما اذا توقف مصدر الطاقة هذا فان عملية النقل الفعال تتوقف ..وعموما فان الانتقال يصبح بصورة معاكسة. كذلك فان الصفة الاخرى للانتقال هو انه يحدث بصورة مغايرة لذلك الذي كان سيحصل تلقائيا بفعل العوامل الاخرى المؤثرة عليه. ان الانتقال الفعال للحزيئات غير المشحونة يكون ضد تركيز المادة، اما انتقال الجزيئات المشحونة فأن ذلك يكون اكثر صعوبة لان الايونات سوف تتاثر وكذلك بفرق الشحنة الكهربائية عبر الغشاء فالخلايا ذات الفرق في الجهد الكهربائي العالي

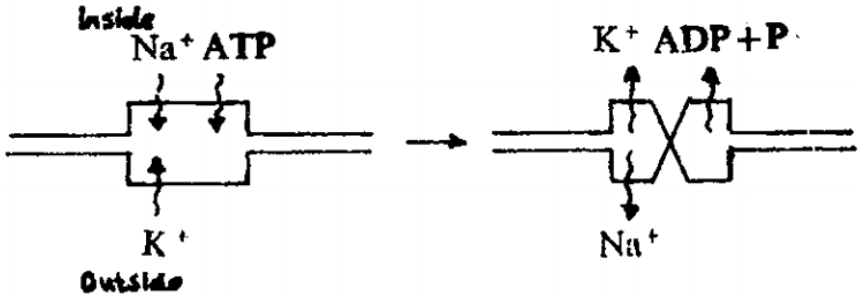
(كالاعصاب والعضلات) نجد ان عدد ايونات الصوديوم +Na الداخلة اليها يكون عاليا مقارنة بايونات البوتاسيوم +K الخارجة منها التي يكون عددها منخفضا

اما بالنسبة للخلايا ذات فرق جهد كهربائي قليل ككريات الدم الحمر ومعظم خلايا الجسم الاخرى فان دخول الصوديوم +Na يكون اقل واما خروج البوتاسيوم عبر غشاء الخلية فيكون اكثر مما هو عليه في العضلات والاعصاب. رلاجل موازنة تركيز كل من الصوديوم والبوتاسيوم داخل الخلية فان مضخة الصوديوم تعمل لادامة تركيزهما بصورة مستقرة.

مضخة الصوديوم: Sodium Pump

ان خاصية انتقال الصوديوم المستمر عبر جدار الخلية الى داخلها يقابلها وجود مايعرف بمضخة الصوديوم التي تعمل على اخراج الصوديوم الى خارج الخلية والمحافظة على الشحنة الايونية للخلية. وتشترك جزيئات الفوسفات الدهنية Phospho- lipids الكبيرة الموجودة على السطح الخارجي لغشاء الخلية دورا مهما في عمل مضخة الصوديوم نظراً لاحتوائها على انزيم الادنوسين ثلاثي الفوسفات الذي له القابلية على تحليل الادنوسين ثلاثي الفوسفات.

تمتلك جزيئات الفوسفات الدهنية عند الراحة على ثلاثة مواضع احدها لاتحاد الصوديوم واخر لاتحاد الادنوسين ثلاثي الفوسفات مواجه لداخل الخلية والثالث لاتحاد البوتاسيوم مواجه لخارج الخلية الشكل (9) .



شكل (٢-٩) مخطط يوضح عمل مضخة الصوديوم Lanb et al (1980)

وعندما يتم اشغال هذه الاطراف كل حسب الايون الذي يرتبط به يحصل تغير في شكل الجزيئة ينتج عنه انشطارSplit في الادنوسين ثلاثي الفوسفات الى ادنوسين ثنائي الفوسفات ADP وفوسفات P داخل الخلية ويتم طرح ايون الصوديوم الى خارج الخلية. وادخال ايوم البوتاسيوم الى داخل الخلية عندئذ تهدأ الجزيئة وترجع الى شكلها الطبيعي. ويعتقد ان الجزيئة الخاصة بالمضخة هي مزدوجة يتكون كل نصف منها جزئين كبيرين يبلغ الوزن الجزئي لاحدهما حوالي 40000. والآخر حوالي 90000 ... في كريات الدم الحمر وتحت الظروف الطبيعية نجد ان ايونات البوتاسبوم تدخل الى داخل الخلية مقابل كل ثلاث ايونات صوديوم خارجه منها ومذلك تنشطر جزيئة واحدة من الادنوسين ثلاثي الفوسفات. وقد تتغير هذه النسبة احيان تحت ظروف اخرى. ونتيجة لهذه المكننة في النقل نجد ان جهداً

كهربائياً electrogenic Potential مباشرا يحدث احيانا لعدم تجانس انتقال الشحنات وكذلك حدوث جهد غير مباشر نتيجة للتغير الحاصل في التركيز الآيوني.

أن طرف اتحاد آيون البوتاسيوم له الفة كيمياوية للبوتاسيوم (K^+ - Km) بمقدار حوالي واحد ملي مول، وهو عموما مشبع في الظروف الاعتيادية حيث ان تركيز البوتاسيوم الموجود في السائل بين الخلايا يكون بمقداره ملي مول اما طرف اتحاد ايون الصوديوم الموجود داخل الخلية فلديه الفه كيمياوية للصوديوم Km- +Na بمقدار 20 ملم مول وهو مشبع بدرجة اقل من النصف لان تركيز الصوديوم داخل الخلية في الظروف الطبيعية يكون بحدود 10ملي مول. وهذا يعني ان زيادة ايون الصوديوم. وتحتوي الخلية الطبيعية التس يبلغ قطرها حوالي 10 مايكرون بحدود مليون مضخة صوديوم وكل منها يعمل حوالي 30 مرة في الثانية وقد يتغير عدد مضخات الصوديوم او عدد مرات عمل كل مضخة ليلائم الظروف الغير الطبيعية التي قد تتعرض لها الخلية. وتستهلك الخلايا كمية كبيرة من الطاقة لادامة عمل مضخات الصوديوم الموجودة فيها والذي يصل احيانا الى حوالي 30 % من كمية الطاقة التي نتناولها.

العوامل الناجمة عن وجود مضخات الصوديوم:

تحتوي جميع الخلايا على مضخات صوديوم في غشائها الخارجي تعمل على بقاء تركيز ايون الصوديوم داخل الخلايا واطئ المستوى وبقاء تركيز ايون البوتاسيوم اعلى مما هو عليه في الخارج الامر الذي يؤدي الى استمرار عدة فعاليات منها:

1 - ان الخلايا تحتوي تركيز عالي من البروتين وجزيئات كبيرة اخرى اكثر من السائل البيني الامر الذي يجعلها بحاجة الى ماء باستمرار وذلك فان الماء يستمر بدخول الخلية. ان عمل مضخة الصوديوم المستمر يؤدي الى التخلص من التركيز العالي لايون الصوديوم وبذلك التخلص من كمية الماء الفائضة التي قد تؤدي الى انتفاخ الخلية وبالتالي انفجارها في حالة توقف مضخة الصوديوم.
2 - تحتاج الانزيمات الموجودة داخل الخلايا الى وجود آيون البوتاسيوم لادامة عملها والذي يتوقف بزيادة تركيز ايون الصوديوم.
3 - ان ارتفاع تركيز ايون البوتاسيوم داخل الخلية وانخفاض ايون الصوديوم يوفر الاساس لخواص الانشطة الكهربائية للخلايا المتهيجة كالخلايا العصبية.
4 - ان دخول ايون الصوديوم الى داخل الخلية يعتبر مصدر للطاقة ايضا ويستخدم لادامة عمليات النقل الفعال الاخرى. كما يحدث في نقل الحوامض الامينية الى داخل الخلية وطرد آيون الكالسيوم الى خارج الخلية.