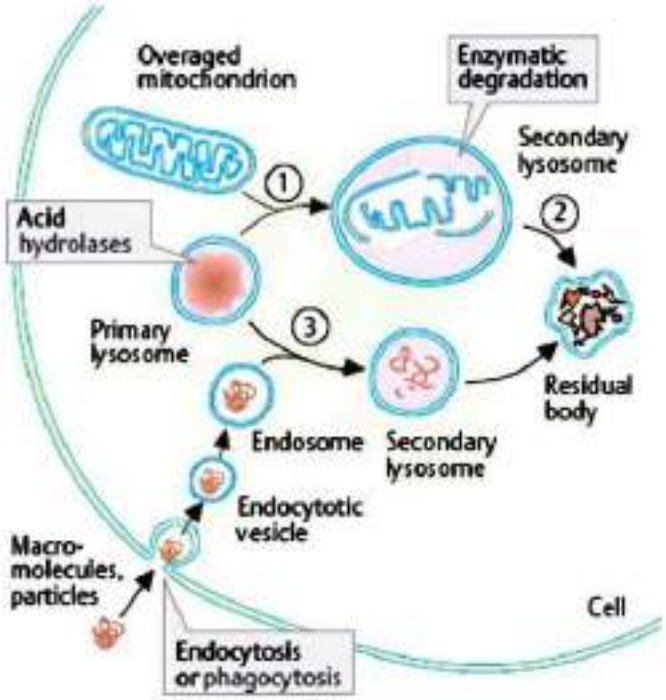
داخل حويصلات تنتقل عبر الخلية لترتبط مع الغشاء البلازمي وبذلك يتم تفريغ المواد الإفرازية (**الشكل 7-2**). ولقد وجد ان وظيفة جهاز كولجي مرتبطة بتركيب الجسيمات الحالة (اللايسوزومات) Lysosomes. كذلك تكون الفوسفوليبيدات نشطة جداً في هذا الجهاز.

5- الجسيمات الحالة (اللايسوزومات) Lysosomes

الجسيمات الحالة او اللايسوزومات عبارة عن تراكيب غشائية صغيرة على شكل أكياس تعمل بوصفها حويصلات لتخزين إنزيمات ومواد معقدة هاضمة تستطيع هضم مختلف المواد الغذائية النشوية والبروتينية والدهنية والأحماض النووية. وتساعد هذه الأجسام في هضم ما يصعب تحلله وذلك عن طريق البلعمة Phagocytosis، ثم طرد المواد المحللة. كما تعمل محللاً ذاتياً للخلية Autolysis حال موتها ولذلك تدعى بأكياس الانتحار الخلوي Cellular suicide bags(**الشكل 8-2**).

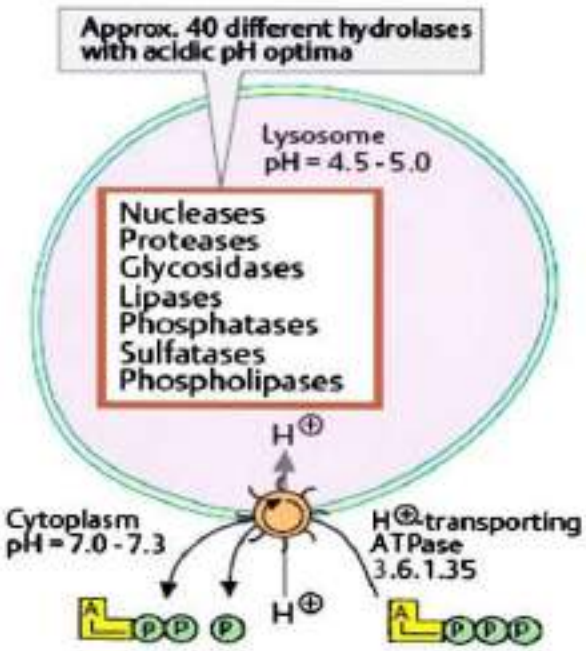


الشكل(8-2): دور اللايسوزومات في عملية هضم الاجسام الغريبة .

وتختلف أعداد اللايسوزومات من خلية لأخرى حسب وظيفتها، إذ تكثر في خلايا الدم البيض لتساعد في هضم الأجسام الغريبة كالميكروبات المختلفة، وتوجد اللايسوزومات في جميع الخلايا الحيوانية بأعداد وأشكال مختلفة.

تتكون اللايسوزومات من حشوه كثيفة تحاط بغشاء اللايسوزومات على إنزيمات محللة مثل الرايبونيوكليز Ribonuclease، دي اوكسي رايبونيوكليز Deoxyribonuclease، فوسفاتيز Phosphatase، كلايكوسايديز Glycosidase، اللايبيز Lipase، سلفاتيز Sulphatase، البروتينيز Proteinase، فوسفولايبيز Phospholipase وغيرها (**الشكل9-2**)، ومن المعلوم إن هذه الإنزيمات تبقى غير فعّالة ما دامت موجودة داخل اللايسوزومات. أما عند تمزق جدار اللايسوزومات تنطلق هذه الإنزيمات الى الخارج

مؤدية الى هضم الخلية نفسها Autolysis. وتهضم البكتيريا بوساطة خلايا الدم البيض وذلك بان تقوم بتطويق البكتيريا وتطلق الإنزيمات المحللة الموجودة داخل اللايسوزومات.



الشكل (9-2): تركيب ومحتويات اللايسوزوم.

6- المايتوكوندريا Mitochondria

المايتوكوندريا (المفرد: المايتوكوندريوم Mitochondrium) عبارة عن تراكيب خلوية بيضوية الشكل محاطة بغشاء خارجي أملس يحتوي على مسامات Pores يطلق عليها اسم بورن porin وهي قنوات (بروتينية) غير تخصصية تسمح بمرور المركبات ذات الأوزان الجزيئية التي تقل عن 10 كيلو دالتون بآلية الانتشار Diffusion، وإنزيم بالموتيل مرافق الإنزيم A (Palomityl CoA) وغشاء داخلي يبرز منه طيات (انثناءات) تدعى Cristae والتجويف الداخلي الذي يدعى بالحشوة Matrix (**الشكل 10-2**) وتحتوي الأخيرة على البروتينات والإنزيمات اللازمة لعملية أيض المواد الغذائية لإنتاج الطاقة ولذلك تعرّف المايتوكوندريا بمركز أنتاج الطاقة، وعليه فهي تكثر في الخلايا والأنسجة ذات النشاط الحيوي الكبير مثل الخلايا الداخلية وخلايا عضلة القلب. ويحتوي **الغلاف الداخلي للمايتوكوندريا على المكونات الآتية:**

أ- سلسلة نقل الالكترونات Electrons transport chain.

ب- الإنزيم المسؤول عن تكوين ATP والذي يسمى ATPase المعقد.

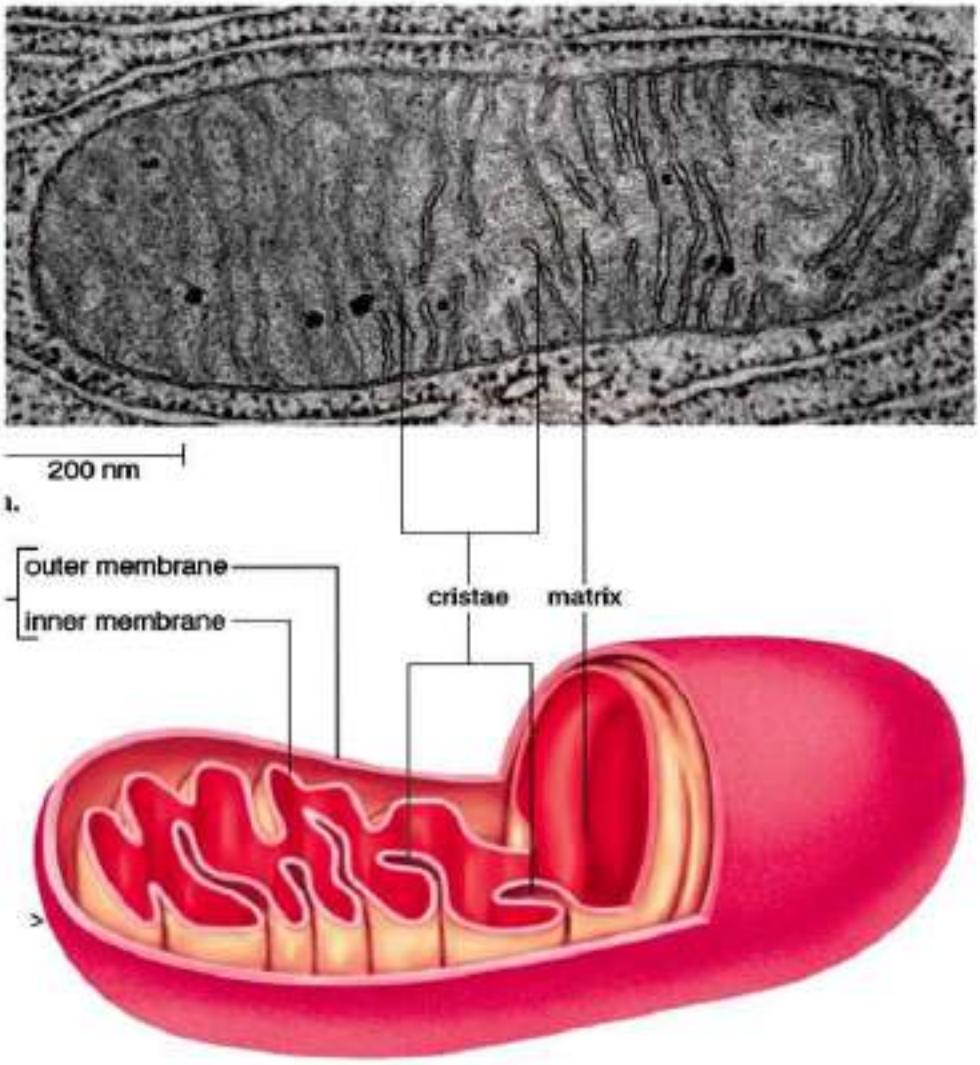
جـ- مجموعة من البروتينات الناقلة التي تقوم بنقل ATP/ADP، Pi، Ca، بعض المركبات الوسطية لدورة كربس.

أما حشوة المايتوكوندريا فتحتوي على المكونات الآتية:

أ- إنزيمات دورة الحامض الثلاثي الكاربوكسيل(دورة كربس).

ب- إنزيمات أكسدة الأحماض الدهنية.

جـ- الحامض النووي الديوكسي رايبوزي DNA، والحامض النووي الرايبوزيي RNA، ومكونات بنـاء البروتين.

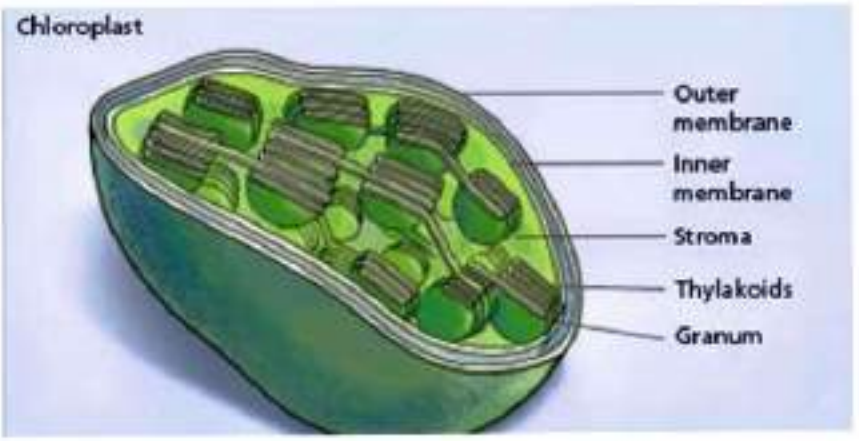


الشكل(10-2): المايتوكونـدريوم Mitochondrium وتركيبـه الـداخلي(الجـدار الخـارجي Outer membrane والجـدار الـداخليInner membrane والطيـات Cristae والحـشوة الداخلية Matrix).

7- البلاستيدات Plastids

البلاستيدات تراكيب خلوية أهمها البلاستيدات الخضراء (كلوروبلاست)Chloroplasts (الـشكل11-2) وهي مستقلة في مادتها الوراثية وإنزيماتها وبروتيناتها، كما هو الحال في المايتوكوندريا. وتمثل مركز البناء في الخلية وإنتاج المركبات الغذائية وبذلك تعمل عكس عمـل المايتوكونـدريا وظيفيـاً. ويقتـصر وجـود

البلاستيدات على النباتات الراقية والبسيطة والطحالب الدقيقة وتتفاوت في أعدادها وأنواعها بين نوع وآخر، وتقسم البلاستيدات من حيث أنواعها الى بلاستيدات خضراء Chloroplasts تقوم بعملية التمثيل الضوئي Photosynthesis وبلاستيدات ملونة Chromoplasts تحتوي على أصباغ ملونة تعطي الألوان كما في بعض الأزهار والثمار الناضجة بالإضافة للبلاستيدات عديمة اللون Leucoplasts التي تعمل على تخزين المواد الغذائية النشوية والدهنية والبروتين كما هو الحال في الجذور الخازنة (الجزر) والسيقان (البطاطا) والبذور (الباقلاء والفاصوليا).



الشكل(11-2): البلاستيدات الخضراء (كلوروبلاست Chloroplast).

8- الأجسام الدقيقة (المجهرية) Peroxisomes or Microbodies

الأجسام الدقيقة تراكيب صغيرة الحجم تنتشر على شكل حويصلات في السايتوبلازم وتحتوي على إنزيمات أكسدة متخصصة تقوم بتحويل المواد الزائدة عن الحاجة او المواد السامة ومثال ذلك الإنزيمات المسؤولة عن تحويل الدهون المخزونة في بعض البذور الى سكريات أثناء عملية الإنبات Germination، وكذلك إنزيم البيروكسيديز Peroxidase (ومن هنا جاءت التسمية) الذي يحلل مادة بيروكسيد الهيدروجين H_2O_2 السامة الى الماء والأوكسجين.

9- الهيكل الدعامي للسايتوبلازم Cytoskeleton

أ- الخيوط والانابيب الدقيقة Microfilaments and microtubules

الخيوط عبارة عن ألياف اسطوانية طويلة جوفاء تتركب من مادة بروتينية تدعى أكتين Actin tublin ولها القدرة على الانقباض والحركة وبالتالي تساعد في دعامة السايتوبلازم والحركة السايتوبلازمية، اذ تساعد في حركة الكروموسومات أثناء انقسام الخلية ونقل المواد داخلها وفي المحافظة على شكلها العام وتوجد في الخلايا الحيوانية والنباتية.

ب- الشبكة الخلوية الداخلية Micro trabecular lattice

تتركب الشبكة من خيوط بروتينية رفيعة، تنتشر في أنحاء السايتوبلازم وتتصل بالغشاء البلازمي مع بعض التراكيب الداخلية وبالإضافة لوظيفة الدعامة التي تقدمها هذه الشبكة فان الدراسات الحديثة تشير الى أن الشبكة تلعب دوراً في الاستجابات الحركية داخل الخلية مثل حركة الحبيبات الصبغية في جلود بعض الحيوانات سريعة التغيير في اللون مثل حيوان الحرباء.

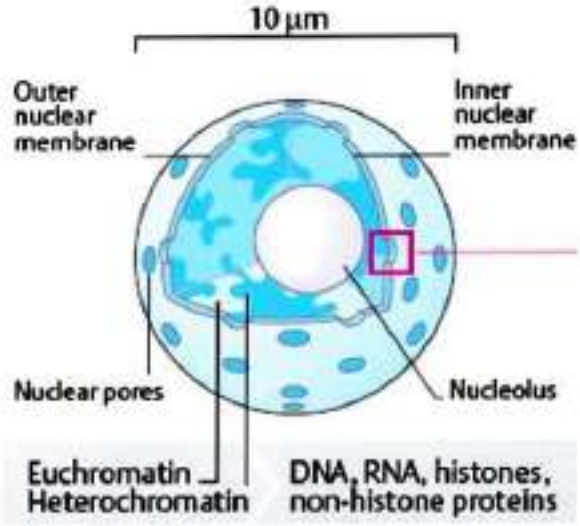
10- الفجوات العصارية Vacuoles

الفجوات العصارية تراكيب غشائية على شكل أكياس وحويصلات تحتوي على سائل او عصارة تتكون من مواد عضوية ولاعضوية، وأما أن تكون فجوة منقبضة Contractile vacuole تعمل على التخلص من الفضلات الزائدة او فجوة غذائية Food vacuole تعمل على تخزين الغذاء. وتحتوي الخلايا الحيوانية على عدد قليل جداً وصغير من هذه الفجوات او لا تحتويها إطلاقاً في حين تحتوي الخلايا النباتية على فجوة كبيرة يزداد حجمها بازدياد نضوج الخلية، حيث تشكل بين 80- 90% من حجم الخلية النباتية المحاطة بقليل من السايتوبلازم وهي بذلك تساعد في تنظيم الضغط الأزموزي Osmatic pressure إذ تحتوي على مواد عضوية ولاعضوية تساعد في الاتزان الأزموزي للخلية.

11- النواة Nucleus

النواة تركيب خلوي دائري الشكل يتوسط الخلية ويبلغ قطرها تقريباً 5 مايكرون. وتقوم النواة بمجمل محتوياتها بالسيطرة على مختلف النشاطات الحيوية. ومن الناحية التركيبية تتكون من الغشاء النووي والسائل النووي والشبكة الكروماتينية. **والغشاء النووي** يكون عادةً مزدوجاً ويعمل على حماية الأجزاء الداخلية وتتخلله عدة فتحات Pores تساعد على مرور المواد من والى النواة بالإضافة لقيامها بوظائف الشبكة الاندوبلازمية في حالة قلة أعداد الشبكة في بعض أنواع الفطريات. كما وتحتوي النواة على جسم النوية Nucleolus التي بدورها تتكون من بروتين وحامض نووي RNA وهي بذلك تتواجد حول منطقة من الجينات مسئولة عن صنع الحامض الرايبوسومي rRNA ولذلك تعرف هذه المنطقة بالمركز المنظم للنوية وبالتالي لها علاقة في صنع rRNA **(الشكل 12-2)**.

أما **السائل النووي** Nuclear plasma فهو سائل شفاف وكثيف القوام يوفر الظروف الحيوية اللازمة (الكيميائية والفيزيائية والبيولوجية) للتراكيب النووية ونشاطاتها. واما **الشبكة الكروماتينية** Chromatin net فهي شبكة من الخيوط الرفيعة في حالة عدم الانقسام والتي لا تلبث ان تتميز وتتضح الى كروموسومات Chromosomes حال بدء الانقسام.



الشكل (12-2): النواة ومحتوياتها.

12- السايتوسول Cytosol

السايتوسول عبارة عن جميع المواد الذائبة في السايتوبلازم، إذ أن السايتوبلازم عبارة عن جميع محتويات الخلية من المواد الذائبة وغير الذائبة، **ويجري في السايتوسول المسارات الرئيسية المهمة وهي:**

أ- تقويض الكلوكوز (مسار الكلايكولسيس) Glycolysis pathway .

ب- عدد كبير من تفاعلات بناء الكلوكوز (مسار كلوكونيوجنسيس) Gluconeogenesis pathway .

جـ- مسار الفوسفوكلوكونيت Phosphogluconate pathway

د- بناء الأحماض الدهنية Fatty acids synthesis.

عمليات النقل Transport process

أن الوظيفة الأساسية لغشاء الخلية هو السماح لحركة المركبات الضرورية التي تحتاجها الخلية وعبورها إلى داخل الخلية. **وهناك عدة طرائق لذلك:**

1- النفاذ البسيط أو الحر Free or simple diffusion

تتمكن المواد الغذائية ذات الوزن الجزيئي الواطئ من النفاذ الى داخل الخلية. وتعتمد هذه العملية على تركيز المادة على جانبي الغشاء. إذ تتجه المادة من المحيط الأعلى تركيزاً إلى الاوطأ. أن هذا النوع من النفاذ لا يظهر أي تخصص مجسمي Stereo specific فمثلاً ان الأحماض الأمينية من نوع D و L تنفذ عبر الغشاء بنفس السرعة. ولا يعتقد أن لهذا النوع من النفاذية ميكانيكية وذلك بسبب بطء هذا النوع من النفاذ وعدم وجود أي نوع من الاختيار ينظم عبور المواد المختلفة خلال الغشاء.

2- النفاذ المسهل Facilitated diffusion

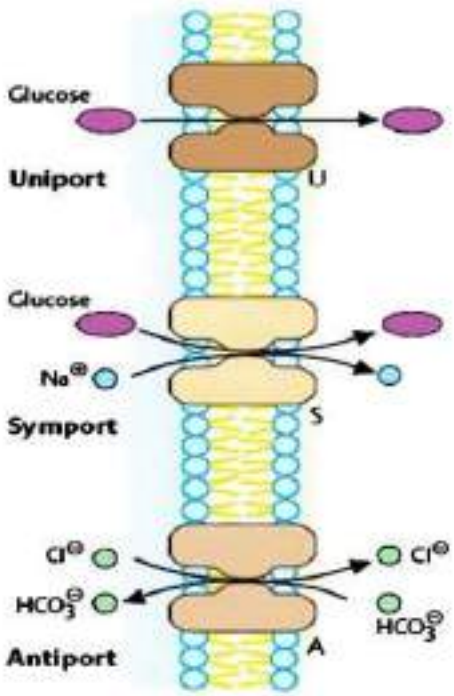
أن هذا النفاذ يشابه نوعاً ما النفاذ البسيط او الحر في وجوب اختلاف تراكيز المواد التي تعبر الغشاء على جانبيه ولا تحتاج عملية النفاذ هذه لصرف أي طاقة. **أما نقاط اختلاف النفاذ المسهل عن النفاذ الحر او البسيط فهي:**

I- وجود بروتين خاص يسمى الحامل Carrier الذي يساعد ويسرع في العملية.

II- وجود تخصص مجسمي في هذا النوع من النفاذ، أي يفرق بين الأحماض الأمينية من نوع D و L .

أن ميكانيكية النفاذ المسهل تتم بقيام البروتين الخاص المذكور أعلاه والموجود في الغشاء بتكوين مركب معقد مع المادة التي سوف تنفذ الى داخل الخلية. بعد ذلك تنفصل هذه المادة عن المركب المعقد وتنفذ الى داخل الخلية. أن البروتين الحامل Carrier متخصص بنقل مواد معينة، ولقد تم فصل العديد من هذه البروتينات الحاملة متخصصة للكالاكتوز والكلوكوز والليوسين والفنيل الانين والارجنين والهستيدين والتايروسين والفوسفات والكالسيوم والصوديوم والبوتاسيوم.

وهناك عدة طرائق في عملية نفاذ المواد بهذه الطريقة متبعةً أما أسلوب الإدخال المباشر (الأحادي) Uniport او الأسلوب التناظري Symport بارتباطه مع مواد أخرى او متبعةً أسلوب المضاد Antiport بإدخال مادة وطرح مادة أخرى (**الشكل 13-2**):



الشكل(13-2): طرائق إدخال المواد بالنفاذ المسهل (الأحادي Uniport والتناظري Symport والمضاد Antiport).

3- النقل الفعال Active transport

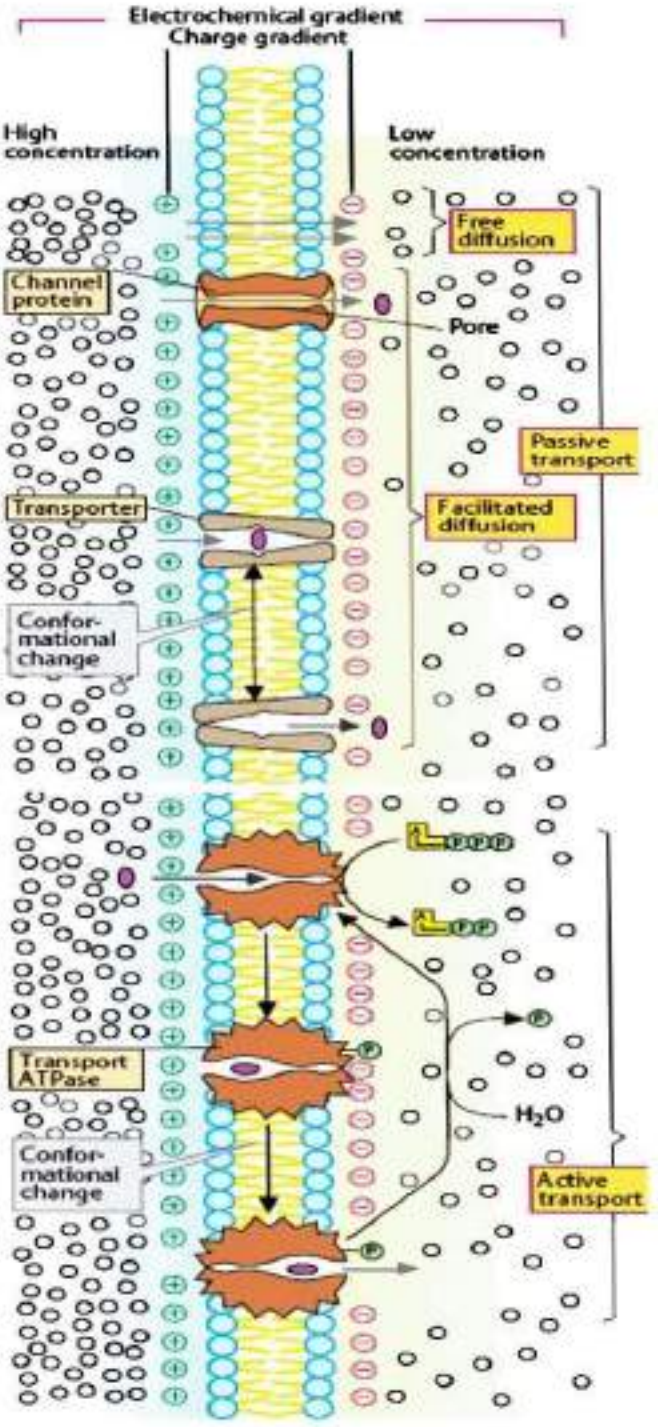
إن النقل بهذه الطريقة يشابه النفاذ المسهل عدا أن المادة التي تعبر خلال غشاء الخلية تمر من محيط ذي تركيز واطئ إلى محيط ذي تركيز عالٍ. واستناداً على ذلك فان العملية تحتاج لصرف طاقة. ولقد وجد أن بعض الخلايا تصرف أكثر من 50% من جزيئة الـ ATP الموجودة فيها للقيام بعملية تراكم الحامض الأميني الكلايسين داخلها(**الشكل 14-2**).

4- الشرب الخلوي (الرشف) Pinocytosis

في هذه الطريقة يتم انتقال الجزيئات الكبيرة مثل البروتين او الدهن عندما تكون سائلة من خلال جدار الخلية عن طريق احتضان هذه المكونات بالغشاء الخلوي وإحاطتها وإدخالها الى داخل الخلية ويطلق على هذه العملية اسم عملية شرب الخلية Cell drinking وعادة تمتص بعض البروتينات من خلال الخلايا المبطنة للأمعاء بهذه الطريقة.

5- الالتهام الخلوي (البلع) Phagocytosis

يتم انتقال الجزئيات الكبيرة من البروتينات او الدهون أو غيرها من المواد بهذه الطريقة من خلال أحاطتها واحتضانها بوساطة الغشاء الخلوي ثم إدخالها الى داخل الخلية.



الشكل(14-2): عمليات النقل من خلال غشاء الخلية.

الفروقات بين الخلايا بدائية النواة وحقيقية النواة

يوضح **الجدول (1-2)** المقارنة التركيبية بين الخلايا بدائية النواة Prokaryotes من جهة والخلايا النباتية والحيوانية الحقيقية النواة Eukaryotes من جهة أخرى.

جدول (1-2) : المقارنة التركيبية بين الخلايا بدائية النواة وحقيقية النواة.

التركيب	الخلية بدائية النواة	الخلايا حقيقية النواة	
		الخلية الحيوانية	الخلية النباتية
1- الغشاء الخلوي	موجود	موجود	موجود
2- الجدار الخلوي	موجود يحتوي على ببتيدوكلايكان*	غير موجود	موجود ويحتوي على السليلوز
3- الغشاء النووي	غير موجود	موجود	موجود
4-الكروموسومات	تتكون من DNA وتكون حلقية الشكل	تتكون من DNA وبروتين وتكون خيطية الشكل	تتكون من DNA وبروتين وتكون خيطية الشكل
5- المايتوكوندريا	غير موجودة	موجودة	موجودة
6-الشبكة الاندوبلازمية	غير موجودة	موجودة	موجودة
7- أجسام كولجي	غير موجودة	موجودة	موجودة
8- البلاستيدات	غير موجودة	غير موجودة	موجودة
9- الرايبوسومات	موجودة	موجودة	موجودة
10-الفجوات العصارية	غير موجودة	صغيرة الحجم او غير موجودة	توجد عادة وتكون كبيرة الحجم
11-اللايسوزومات	غير موجودة	غالباً موجودة	غالبا غير موجودة

* الببتيدوكلايكان Peptidoglycan عبارة عن مادة كاربوهيدراتية تتكون من عدة سلاسل من السكريات المتعددة Polysaccharides مربوطة ببعضها بوساطة سلاسل من الأحماض الأمينية.