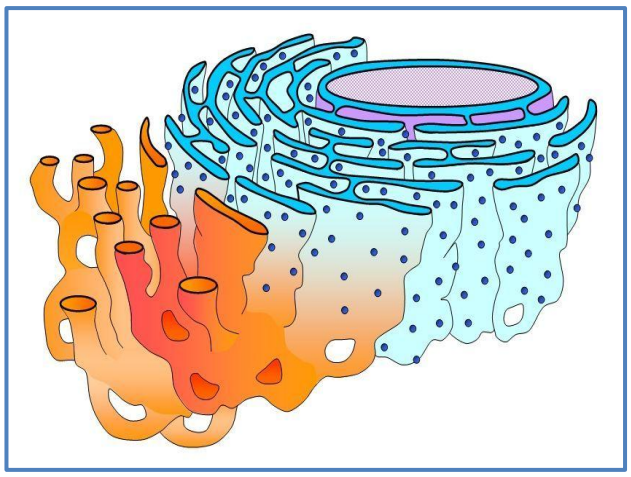
## الشبكة الاندوبلازمية Endoplasmic Reticulum

تعرف الشبكة الاندوبلازمية بانها عبارة عن شبكة ثنائية الجدار موجودة في السايتوبلازم ومنتشرة بصورة كبيرة وتعد الشبكة الاندروبلازمية جهازاً معقداً بحد ذاته حيث يتكون من فجوات منقسمة بدقة وهذه الشبكة ممتدة من الغلاف النووي الى الغشاء البلازمي. تعد الشبكة الاندوبلازمية المكون الاساسي (الرئيسي) للنظام الغشائي الداخليEndomembrane System والذي يعرف كذلك بالنظام الفجوي السايتوبلازمي او الشبكة الفجوية السايتوبلازمية Cytoplasmic Vacules Net حيث يتألف هذا النظام من المكونات التالية:-



1- الغلاف النووي Nuclear Envelope.

2- معقد كولجيGolgi Complex.

3- الشبكة الاندوبلازمية Endoplasmic Reticulum .

تكون الشبكة الاندوبلازمية مظهرياً بثلاثة اشكال هي:

### 1- الشكل الصفائحي (Cisternae) lamellar Form

هي عبارة عن اكياس مسطحة طويلة تشبه الانابيب غير المتفرعة قطرها حوالي (40-50) مايكروميتر وتكون مرتبة بشكل حزم متوازية او على شكل اكداس وتوجد الشبكة الاندوبلازمية الخشنة RER عادةً بهذا الشكل والتي تقع في الخلايا التي لها دور بنائي مثل خلايا البنكرياس والحبل الظهري والدماغ.

### 2- الشكل الحويصيلي Vesicular Form

حيث تكون الحويصلات بيضوية او بشكل تركيب فجوي محدد بغشاء قطرها حوالي (25-500) مايكروميتر والتي تبقى منفصلة في السايتوبلازم ويقع هذا الشكل في اغلب الخلايا الا انه موجودة بغزارة في الشبكة الاندوبلازمية الناعمة SER.

### 3- الشكل الانبوبي Tubular Form

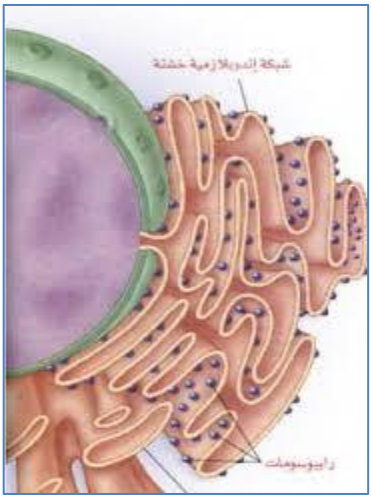
هي تراكيب متفرعة تكون بالاشتراك مع الحويصلات والاكياس المسطحة الجهاز الشبكي في الخلية وقطرها حوالي (50-190) مايكروميتر وهي تشاهد في جميع الخلايا ولكنها غالباً ما تكون موجودة في SER ويكون هذا الشكل حركياً Dynamic حيث يشترك مثلاً مع حركة الاغشية او في انفصال او التحام الاغشية للنظام الفجوي السايتوبلازمي.

## مكونات الشبكة الاندوبلازمية

توجد الشبكة الاندوبلازمية في مختلف الخلايا في النباتات والخلايا حقيقة النواة وتمتد من الغشاء الخلوي وتحيط بالنواة والمايتوكوندريا وترتبط بجهاز كولجي مباشرة وهناك تشابه كبير بين غشاء البلازما وغشاء الشبكة الاندوبلازمية من حيث التركيب حيث ان كليهما يكون من نموذج المبرقش السائل Fluid Mosaic Model ويختلفان فيما بينهما في السمك والنسبة بين البروتينات والدهون حيث يكون غشاء البلازما اكثر سمكاً من غشاء الشبكة الاندوبلازمية ويحتوي غشاء الشبكة الاندوبلازمية على نسبة من البروتينات اعلى من الدهون مقارنة بغشاء البلازما لذلك يكون اكثر استقراراً من حيث التركيب اذا ما قورن بغشاء البلازما.

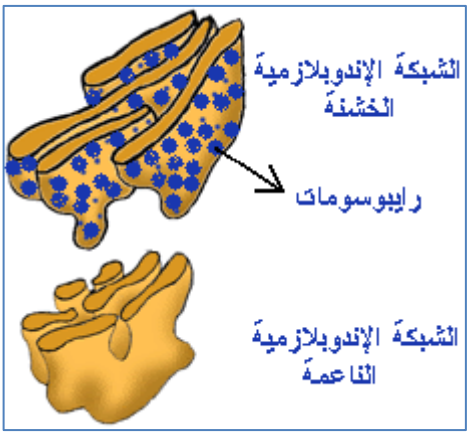
## انواع الشبكة الاندوبلازمية Types of Endoplasmic Reticulum

يمكن تقسيم الشبكة الاندوبلازمية الى نوعين هما:



### 1-الشبكة الاندوبلازمية الخشنة: Rough Endoplasmic Reticulum

تسمى ايضا بالشبكة الاندوبلازمية الخشنة أو المحببة (Granular) نتيجة لكون سطحها الخارجي مرصع بحبيبات من الرايبوسومات (او حبيبات بالاد نسبة الى مكتشفها Palade سنة 1955) والرايبوسومات تعرف بانها عبارة عن دقائق يمكن رؤيتها بالمجهر الالكتروني حيث تتألف من 60% من البروتين و 40% من الحامض النووي الرايبوزي RNA ويتكون الرايبوسوم من وحدتين فرعيتين Subunits احدها وحدة فرعية حجمها كبيراً وتدعى الوحدة الكبيرة Large subunit والاخرى صغيرة تدعى الوحدة الصغيرة Small Subunit تكون الرايبوسومات مرتبطة بخيط او ظفيرة Strand او جزيئة واحدة من RNA المراسل mRNA ومكونة من سلسلة شبيهة بالخرز المتصل بالخيط وتسمى هذه الحالة الرايبوسومات المتعددة Polysomes وان اهمية هذا الرايبوسوم المرتبط بالشبكة الاندوبلازمية انها تسهم في عملية بناء البروتين Protein Synthesis. تصطبغ الشبكة الاندوبلازمية الخشنة بالصبغات القاعدية وان السبب في ذلك يعود الى وجود RNA في الرايبوسومات.




### 2-الشبكة الاندوبلازمية الملساء Smooth Endoplasmic Reticulum

وهي الشبكة التي يفتقر سطحها الخارجي الى حبيبات الرايبوسوم وبذلك تظهر سطوحها ملساء او غير محببة وتكثر عناصر السطح الاملس في المادة الاولية لبعض الخلايا مثل الخلايا البيضاء الناضجة والسبيرماتوسايت Spermatocyte والخلايا الدهنية Adipose Cells والخلايا البينية

Interstitial Cells والخلايا الخازنة للكلايكوجين في الكبد والياف التوصيل للقلب. ان الخلايا العضلية غنية بها لذا تعرف بـ Sarcoplasmic Reticulum. ويمكن ان نلاحظ نوعي الشبكة الاندوبلازمية في الخلية نفسها وفي وقت واحد او في اوقات متفاوتة خلال دورة حياة هذه الخلية ويلاحظ غالباً النوعان نظاماً واحداً مستمراً بحيث لا تكون الفروق اساسية الى الحد الذي يمنع احد الشكلين من تحوله الى الشكل الاخر هذا بالإضافة الى ان الشبكة الاندوبلازمية الملساء تختلف في نوع الانزيمات الموجودة والوظائف التي تقوم بها .

### التركيب الدقيق للشبكة الاندوبلازمية

ان تجاويف Cisternae والحويصلات والنبيبات للشبكة الاندوبلازمية محددة بغشاء رقيق سمكه (50-60) انكستروم وان اغشية الشبكة الاندوبلازمية كما اسلفنا هي من نوع المبرقش السائل Fluid Mosaic Model تشابه وحدة الغشاء Membrane Unit لغلاف النواة وجهاز كولجي ويتألف الغشاء من طبقة ثنائية الجزيئة من الدهون المفسفرة والتي ضمنها توجد البروتينات بأنواعها المختلفة. وغشاء الشبكة الاندوبلازمية مستمراً مع الغشاء البلازمي وغلاف النواة وجهاز كولجي وان تجويف الشبكة الاندوبلازمية نامياً بشكل جيد ويعمل كممر للمواد المفرزة وقد لاحظ الباحث Palade عام 1956 ان هنالك حبيبات افرازية موجودة في تجويف الشبكة الاندوبلازمية وفي بعض الاحيان يكون هذا التجويف ضيقاً جداً مع ملاحظة غشائين قريبين من بعضهما وقد يمتدان في بعض الخلايا التي تكون فعالة في بناء البروتين مثل الخلايا البلازمية Plasma cells والخلايا الكأسية Goblet Cells وقد قدر الباحث Weibel وجماعته في العام 1969 ان السطوح الكلية للشبكة الاندوبلازمية الموجودة في (1) مل من نسيج الكبد تساوي تقريباً (10) م$^2$ وان ثلثي هذا المقدار هو من نوع الشبكة الاندوبلازمية الخشنة RER.

## الكلايكوسوم Glycosomes

ان الشبكة الاندوبلازمية الملساء SER على الرغم من انها تكون نظاماً مستمراً مع الشبكة الاندوبلازمية الخشنة RER فهناك اختلافات شكلية بينهما فعلى سبيل المثال في خلايا الكبد والتي تحتوي الشكل الانبوبي Tubular form والمنتشر في اجزاء كبيرة من الارضية السايتوبلازمية وهي النبيبات الدقيقة موجودة في مناطق غنية بالكلايكوجين ويمكن ملاحظتها كجسيمات كثيفة تعرف بالكلايوكوسوم Glycosomes موجودة في الارضية السايتوبلازمية واقطارها تتراوح بين (50-200) نانومتر حيث تحتوي على الكلايكوجين وانزيمات تتحكم في تخليق الكلايكوجين، وهناك العديد من الكلايكوسومات تلاحظ ملتصقة بأغشية الشبكة الاندوبلازمية الملساء حيث شوهدت بواسطة المجهر الالكتروني EM في خلايا الكبد.

## وظائف الشبكة الاندوبلازمية

1- الاسناد الميكانيكي: يقسم السايتوبلازم الى غرف او مخادع بواسطة الشبكة الاندوبلازمية ويعتقد بانه يعمل كسند اضافي للحالة الغروية للسايتوبلازم.

2- التبادل: يزود السطح الداخلي الواسع جداً من قبل الشبكة الاندوبلازمية حوالي 11 م$^2$ /مل في خلايا الكبد ويلعب دوراً مهماً في التبادل بين ارضية السايتوبلازم والمخدع الداخلي للشبكة ويعتقد ان هناك

ضغط اوزموزي داخل الشبكة او خاص بها وهو سبب انكماش او انفجار المايكروسومات عند عزلها ووضعها في محلول عالي التركيز Hypertonic او واطئ التركيز Hypotonic ويعتقد بان غشاء الشبكة الاندوبلازمية مثل الغشاء البلازمي ويشترك في النقل الفعال او الانتشار الميسر .

3- خزن المواد المفرزة او المصدرة: لا يوجد هناك شك بان تخليق او بناء البروتين هو وظيفة الرايبوسومات الملتصقة بالشبكة الاندوبلازمية وعند اكتمال تكوينها تطلق في العادة الى ارضية السايتوبلازم ومثال على ذلك البروتينات التي تفرزها Serum Protein – Tropocollagen Secretion Granules تتكون هذه البروتينات بواسطة Polysomes وتخترق الشبكة الاندوبلازمية حيث تخزن فيها وعند ذلك تنتقل بواسطة القنوات المختلفة للشبكة الى جهاز كولجي في الغالب ثم الى غشاء الخلية وبعدها الى الخارج ويعتقد ان الشبكة الاندوبلازمية الملساء مشتركة في تخليق وخزن الدهون حيث لوحظ انها واسعة ومعقدة في الخلايا الخاصة بتخليق الدهون وخزنها وان الشبكة الملساء والخشنة لها علاقة وثيقة في تخزين الكلايكوجين او تشترك في تكوين الجدار السليلوزي في النباتات.

4- ازالة السموم: يعتقد ان خلايا الكبد وعند تعرض الجسم لمواد سامة فأن ذلك يؤدي الى زيادة الشبكة الاندوبلازمية داخل الخلايا وخاصة الشبكة الاندوبلازمية الملساء منها بالاضافة الى تحفيزها لعمل الانزيم المعادل للسمية الموجود في الكبد لازالة التأثير السام.

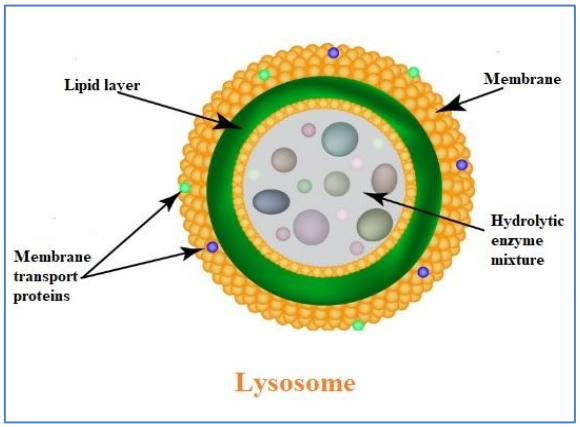
5- توصيل الحوافز: يعتقد ان الشبكة الاندوبلازمية في الخلايا العضلية والتي تسمى Sarcoplasmic Reticulum تعمل على نقل الحوافز من غشاء الخلية العضلية وايصالها الى الالياف في الداخل. كما تعمل على اعادة ايونات الكالسيوم عند توقف الحوافز ولها دوراً مهماً في تحرير ايونات الكالسيوم عند تحفيز العضلة.

6- ان احتواء اغشية الشبكة الاندوبلازمية للعديد من الانزيمات ذات الانشطة الايضية والتخليقية يعني انها توفر سطوح واسعة للتفاعلات الانزيمية.

7- تعمل اغشية الشبكة الاندوبلازمية على تكوين الغلاف النووي الجديد بعد كل انقسام.

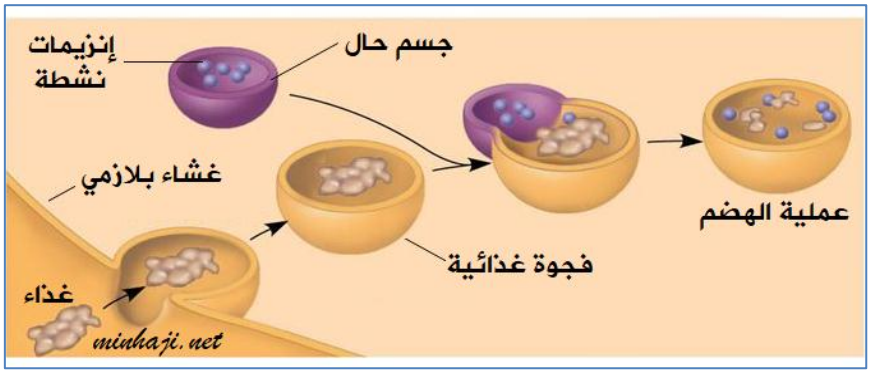
8- تعمل الشبكة الاندوبلازمية الملساء على تخليق الدهون مثل الدهون المفسفرة والكوليسترول والبروتينات الدهنية.

## الاجسام الحالة Lysosome




تمثل الاجسام الحالة احدى العضيات السايتوبلازمية المهمة حيث وجدت في العديد من الخلايا الحيوانية كالخلايا الحشوية للكبد وقسم من الخلايا النباتية وهي تمثل مواقع معينة لأنزيمات التحلل المائي في الخلية وهذه الانزيمات محاطة بغشاء محكم وتعمل في وسط حامضي من الـ pH و تتميز تحت المجهر الالكتروني

باستعمال مختلف التفاعلات الكيميائية الخلوية مثل استخدام انزيم الفوسفاتيس الحامضي Acid Phosphatase حيث تظهر الاجسام الحالة متعددة الاشكال.




ويمكن تصنيف الاجسام الحالة الى اربعة انواع اعتمادا على البنية الداخلية لهذه العضيات وهي:

- الاجسام الحالة الاولية Primary Lysosome
- الاجسام الحالة الثانوية Secondary Lysosome
- الاجسام المتبقية Residual Bodies
- الاجسام الحالة الذاتية Autolysosome

## 1- الاجسام الحالة الاولية أو الحبيبات المخزونة Storage Granule

هي عبارة عن اجسام كثيفة واصغر اشكال الاجسام الحالة يصل قطرها الى ما يقارب من 0.4 مايكرومتر ومحاطة بغشاء مفرد اما المحتوى الأنزيمي لهذه الاجسام فانه يصنع بواسطة الرايبوسومات الموجودة في الشبكة الاندوبلازمية ثم تظهر في منطقة اجسام كولجي ويمكن احباط عملية تكوين الاجسام الحالة الاولية بواسطة البيورومايسين Puromycin.

## 2- الاجسام الحالة الثانوية أو الفجوات الهاضمة Digestive vacuole

وتنتج من التحام الاجسام الحالة الاولية مع الفجوات الحاوية على مواد ملتهمة تسمى الجسم الملتهم Phagosome الذي يلتحم بدوره مع الاجسام الحالة المغايرة Heterolysosome ويهضم بواسطة انزيمات التحلل المائي .

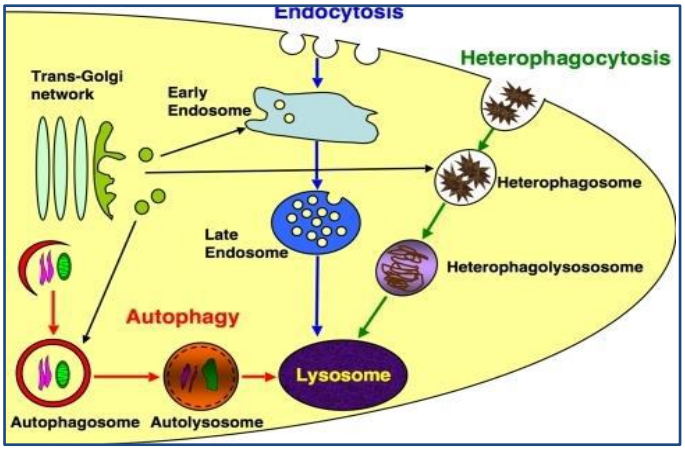
## 3- الاجسام المتبقية Residual bodies

ان هذه الاجسام هي المراحل النهائية للاجسام الحالة المغايرة والاجسام الحالة الذاتية معا فبعد عملية هضم المحتوى ذات المنشأ الخارجي أو الداخلي تترك في الاجسام الحالة الثانوية متبقيات غير قابلة للهضم ولما كانت

الاجسام الحالة الثانوية تستطيع القيام بعدد من الاعمال الهضمية المتعاقبة مستخدمة الانزيمات نفسها ينتج عن الاجسام الحالة الثانوية تجمع المتبقيات.

## 4- الاجسام الحالة الذاتية Autolysosomes

تتخصص الاجسام الحالة الثانوية للالتهام الذاتي و الاجسام الحالة الذاتية عموما تتميز بوضوح عن الاجسام الحالة المغايرة و ذلك بسبب وجود عضيات الخلية في مختلف مراحل الاضمحلال وتكتسب بعض الاجسام الملتهمة الذاتية انزيماتها المحللة في اثناء تكوينها وذلك من الشبكة الاندوبلازمية الخشنة او معقد كولجي، اما الاجسام الملتهمة الذاتية الاخرى فتكون بدون انزيمات محللة و عليه يجب ان يحصل التحام بينها و بين الاجسام الحالة الاولية.




## الوظيفة Function

هنالك العديد من الوظائف التي تقوم بها الاجسام الحالة وهي :-

1- تهضم انزيمات الاجسام الحالة البروتينات وتحولها الى ثنائي الببتيد والكاربوهيدرات الى سكريات احادية Monosaccharaides بينما لا تهضم بعض السكريات الثنائية (السكروز) والسكريات المتعددة (الدكسترين) والانسولين وتبقى في داخل الاجسام الحالة فخلال عملية الالتهام الذاتي Autophagy تكون الاجسام الحالة ضرورية لعملية تجديد وقلب مكونات الخلية حيث يزال عدد من مكونات الخلية بصورة متواصلة من الخلية بواسطة جهاز الاجسام الحالة تكون العضيات السايتوبلازمية محاطة بغشاء الشبكة الاندوبلازمية الملساء ثم تفرز الانزيمات الحالة في الفجوات ذاتية الهضم واخيرا تهضم هذه العضيات.

2- خلال النمو تكون الاجسام الحالة فعالة في اعادة تنظيم الانسجة فعلى سبيل المثال خلال دورة الاستحالة Metamorphosis للبرمائيات هنالك اعادة تنظيم الانسجة وذلك بإتلاف العديد من الخلايا و يتم ذلك بواسطة انزيم الاجسام الحالة .

3- تعد الاجسام الحالة ذات اهمية خاصة في الطب فمثلا لها فعل في التهاب المفاصل الروماتيزي Rheumatoid Arthritis وفي التسمم السليكي Silicosis وداء النقرس Gout

4- تكون الاجسام الحالة لكريات الدم البيضاء والمونوسايت Monocyte اساسية في الحماية والوقاية ضد البكتريا و الراشح .

5- كما وجدت الاجسام الحالة في خلايا النبات حيث تشترك في تحلل وازالة البروتين والنشأ في البادرات Seedling خلال عملية الانبات Germination

6- كما ان بعض الانسجة النباتية تعاني ارتداد بعد فترة النشاط بواسطة فعالية الاجسام الحالة ومثال ذلك انسجة الرحم حيث يكون وزنها بعد الولادة مباشرة 2 كغم ولكن يعود بعد 9 ايام الى حجمه الطبيعي ويزن 50 غم وقد لوحظ خلال هذه الفترة ان عددا كبيرا من الخلايا ذاتية الهضم تقوم بهضم جميع المخلفات والمواد خارج الخلية و جزء من البطانة الداخلية للرحم .

7- هضم المح خلال النمو الجنيني.

8- تحطيم كريات الدم الحمراء القديمة والميتة.

9- تحلل الجلطات الدموية.

10- تقرين الجلد.

11- تلعب دوراً في التغذية في الحيوانات الابتدائية.