العضيات الخلوية
CELL ORGANELLES

يحيط غشاء الخلية بالسيتوبلازم Cytoplasm الذي يمكن تعريفه على أنه محلول شبه سائل (لزج) وشفاف تسبح فيه جميع مكونات الخلية الحية (عضيات الخلية) وغير الحية (مثل الحبيبات الإفرازية والصبغيات). لا يشمل تعريف السيتوبلازم النواة ضمن العضيات الخلوية بعكس مصطلح البروتوبلازم Protoplasm الذي يشمل جميع العضيات بما فيها النواة. أما السائل الخلوي (السيتوسول Cytosol) فهو سائل عديم التركيب الخلوي (لا يشمل عضيات الخلية)، يحوي الكثير من الإنزيمات المساهمة في العمليات الحيوية للخلية. تسبح عضيات الخلية جميعها في السيتوبلازم. ويعتبر وجود العضيات الخلوية صفة من صفات خلايا الكائنات الحية حقيقية النواة، ودليلاً عل تعقيدها الغشائي وتوزيع العمل داخل الخلية وفصل الإنزيمات المتخصصة في أماكن تسمح لها بالقيام بوظائفها الحيوية، مما يضمن عدم التداخل غير المرغوب فيه بين تلك التفاعلات الحيوية؛ فكل عضية تناط بها وظائف خاصة تختلف عن العضية الأخرى. وفيما يلي العضيات الخلوية:

النواة
Nucleus

النواة عضيه كبيرة نسبيًا مقارنة بالعضيات الخلوية الأخرى، لذا استطاع عالم النبات الإنجليزي روبرت براون Robert Brown اكتشافها عام ١٨٣٣م، بواسطة

المجهر الضوئي خلال المرحلة البينية Interphase . تحتوي الخلية حقيقية النواة غالبًا على نواة واحدة Mononucleate، أو نواتين Binucleate كما في البراميسيوم، أو أكثر من نواة Polynucleate كما في خلايا الكبد وبعض الفطريات.

يرتبط شكل النواة بشكل الخلية، فكما أن للخلايا أشكالاً مختلفة فإن للأنوية أشكالاً مختلفة، إلا أن الشكل الكروي أو البيضاوي هو السائد، كما أن هناك بعض الأشكال الأخرى، كالشكل المتطاول والحلزوني والمغزلي والكلوي ...إلخ. أما بالنسبة لموقع النواة فهي تقع بشكل عام في وسط الخلية، إلا أنها قد تحتل مواقع أخرى، كأن تكون قرب الغشاء الخلوي كما في خلايا النسيج الدهني، أو قريبًا من الغشاء القاعدي كما في خلايا النسيج الطلائي العمودي في الأمعاء. يحتفظ حجم الخلية وحجم نواتها بشيء من التوازن. وتعرف هذه العلاقة بين الحجمين بالمعامل النووي السيتوبلازمي Nucleo-cytoplasmic Index (NP).

المعامل النووي السيتوبلازمي (NP) = حجم النواة (Vn) / حجم الخلية (Vc) – حجم النواة (Vn).

أهمية النواة Importance of Nucleus

للنواة أهمية بالغة؛ فهي مركز المعلومات الوراثية، والسيطرة على كافة العمليات الحيوية داخل الخلية. ولقد أثبتت التجارب صحة ذلك، فعلى سبيل المثال إذا جزئت خلية الأميبا تحت المجهر إلى جزأين متماثلين أحدهما يحتوي على النواة فإن الجزء الذي يحتوي على النواة سوف ينمو ويكبر إلى الحجم الطبيعي ويبقى على قيد الحياة، أما الجزء الذي ليس به نواة فسوف يضمحل ويموت. ومما هو جدير بالذكر أن النواة قد تختفي في بعض خلايا كريات الدم الحمراء Erythrocytes الناضجة في الثدييات.

تمر النواة خلال فترة حياتها بطورين مميزين، هما:

أولاً: الطور البيني Interphase

تمر الخلية في أثناء فترة حياتها بمرحلتين، إحداهما المرحلة الانقسامية، والأخرى المرحلة غير الانقسامية. ويمثل الطور البيني النواة في حالتها غير الانقسامية، علما

أن هناك بعض الخلايا تبقى طيلة فترة حياتها في الطور البيني ولا تنقسم، ومنها الخلايا العصبية.

ثانيًا: طور الانقسام Division Phase

وهو الطور الذي تكون فيه النواة في حالة انقسام ونشاط عالٍ. وسوف نصف هذين الطورين عند الحديث عن الدورة الخلوية Cell Cycle.

تتكون نواة الطور البيني من حيث التركيب كما في الشكلين رقمي (٢٣) و(٢٤) من:

١- الغلاف النووي.

٢- بلازما النواة.

٣- الكروماتين.

٤- النوية.

١- **الغلاف النووي Nuclear Envelope**: تظهر النواة تحت المجهر الإلكتروني محاطة بغشاءين (غلافين) Double Membrane رقيقين متوازيين، سمك كل منهما حوالي ٧ نانوميتر، وتبلغ المسافة بينهما حوالي ١٠-٣٠ نانومتر، أحدهما خارجي Outer Nuclear Membrane يحيط بالنواة من الخارج ويعزلها عن السيتوبلازم المحيط بها، والآخر داخلي Inner Nuclear Membrane مقابل البلازما النووية، يفصل بين الغشاءين فراغ Inter-membrane Space. يشبه غلاف النواة غشاء الخلية من حيث التركيب الكيميائي. ويلتصق بسطح الغشاء الخارجي للنواة - في معظم الخلايا - عدد كبير من الرايبوسومات، كما يتصل الغشاء الخارجي للنواة بأغشية الشبكة الإندوبلازمية في مناطق معينة، ويلتحم الغشاءان الخارجي والداخلي في مناطق الثقوب النووية Nuclear Pores، ولكنهما ينفصلان في المناطق الأخرى.

تختلف الثقوب النووية عن غيرها من الثقوب الموجودة في الغشاء البلازمي والشبكة الإندوبلازمية بتعقيد تركيبها، ويقدرعدد الثقوب بحوالي٦٠ ثقبًا نوويًا/ ١ميكرومتر مربع من الغلاف النووي، وكلما كان عدد الثقوب أكثر دل ذلك على نشاط الخلية. ويبلغ قطر فتحة كل ثقب نحو ١٥ نانوميتر، ويحيط بكل ثقب ثماني وحدات ثانوية على كل غشاء

مُؤلفة ١٦ وحدة من بروتينات متعددة حول دائرة حلقية الشكل تكون مع الثقب معقد الثقب Complex Pore (الشكل رقم ٢٥). يتراوح قطر كل منها بين ٥٠-٨٠ نانوميتر، مما يؤدي إلى تكوين ما يشبه القنوات الجزيئية التي تسمح بتنظيم مرور جزيئات معينة من النواة وإليها مثل RNA أو البروتين. كما يحوي الغلاف النووي عددًا من آليات النقل مشابهه لتلك الموجودة في الغشاء البلازمي، كآلية النقل النشط وغير النشط Active & Passive Transport وغيرهما.

يوجد تحت الغشاء النووي الداخلي مباشرة تركيب بروتيني شبكي ليفي يسمى الصفيحة النووية (اللامينا) Nuclear Lamina، هذا البروتين يحتوي على مواقع متخصصة للارتباط بالغشاء النووي والكروماتين المتغاير Heterochromatin أو البروتين التركيبي (المحيطي). وعندما تتم فسفسرة Phosphorylation هذا البروتين في نهاية الفترة G2 من دورة الخلية يتحلل ويضمحل مع نهاية الدور التمهيدي Prophase Stage من الانقسام غير المباشر أو الاختزالي، مما يؤدي إلى تكوين حويصلات من غشاء النواة منفصلة ومنتشرة في سيتوبلازم الخلية يصعب تمييزها من أغشية وحويصلات الشبكة الإندوبلازمية. ويتكون الغلاف النووي الجديد من انتقال أجزاء من الشبكة الإندوبلازمية التي تبدأ بالإحاطة بالكروموسومات، ثم يتحد بعضها مع بعض لتكوين الغلاف النووي مزدوج الغشاء، ولا يتكون الغلاف النووي الجديد من الحويصلات الغشائية الناتجة عن الغلاف القديم، وإنما يتم تجميع الحويصلات وأجزاء من الشبكة الإندوبلازمية بصورة عشوائية لتكوين الغلاف النووي الجديد، ثم تتكون الصفيحة النووية بعد إزالة فسفرتها.

تقوم الصفيحة النووية بدعم الغشاء النووي، وتحديد شكل النواة، كما تقوم -وبمساعدة الغشاء الداخلي بمحتواه من الإنزيمات- بتنظيم تضاعف الكروموسومات ومساعدتها على الانتظام في مواقعها المتميزة خلال الأطوار اللاحقة.

٢- **بلازما النواة Nucleoplasm**: عبارة عن محلول غروي نصف شفاف ذي طبيعة حُبيبية يكون وسطًا لمواد التفاعلات الحيوية في النواة، ويوجد بداخله النوية

والكروماتين (كروموسوم الطور البيني)، ويتكون هذا المحلول من مواد عضوية وغير عضوية أهمها الأحماض النووية والبروتينات وبعض العناصر المعدنية.

يمكن تقسيم البروتينات النووية إلى نوعين، هما:

أ) بروتينات هستونية (قاعدية): وهي غنية بالأحماض الأمينية القاعدية كالأرجنين واللايسين، حيث يحتوي كل منهما على مجموعة أمين (NH_3).

ب) بروتينات لاهستونية (حامضية): وهي غنية بالأحماض الأمينية الحامضية كالأسبارتيك والجلوتاميك، حيث يحتوي كل منهما على مجموعة كاربوكسيل(COOH).

٣- **الكروماتين Chromatin**: يتكون الكروماتين من الحمض النووي DNA (دنا) مرتبط مع بروتينات هستونية وهو على شكل خيوط ملتفة Coiled ومتداخلة. يوجد الكروماتين داخل النواة بشكل غير متجانس، وهو المسئول عن حمل الصفات الوراثية، وينقسم الكروماتين إلى نوعين، هما:

أ) الكروماتين المتغاير Heterochromatin: هذا النوع شديد التحلزن والالتفاف، ويسمى من حيث الوظيفة كروماتين تركيبي Structural Chromatin، ومن حيث الموقع كروماتين محيطي Peripheral Chromatin، وهو غير نشط (خامل) وراثيًا، ويشكل ٨٠-٩٠٪ من الكروماتين داخل النواة، ويسمى الـ DNA، الذي يوجد في هذا النوع من الكروماتين Junk DNA. يوجد هذا النوع تحت الصفيحة النووية (اللامينا)، ويوجد بشكل كثيف ومتصل على المحيط الداخلي للنواة ما عدا المناطق المقابلة للثقوب النووية، فتكون خالية من الكروماتين المتغاير؛ حتى لا يعيق دخول وخروج المواد من النواة وإليها.

ب) الكروماتين الحقيقي Euchromatin: الكروماتين الحقيقي يوجد بشكل شبكة من الخيوط المفككة والمنتشرة وسط النواة، وهو كروماتين وظيفي Functional Chromatin ونشط وراثيًا ويشكل ١٠-٢٠٪ من الكروماتين داخل النواة.

٤- **النوية Nucleolus**: يوجد داخل النواة جسيم كثيف، داكن اللون، صغير الحجم، كروي الشكل، يقع داخل البلازما النووي، يسمى النوية. وقد اكتشفت عام ١٧٧٤م على يد العالم فونتانا Fontana. والنوية محبة للصبغات بسبب محتواها

العالي من الأحماض النووية والبروتينات القاعدية لذا يمكن ملاحظتها بوضوح في خلية الطور البيني. كما أن النوية غير محاطة بغشاء يفصلها عن بلازما النواة. تحتوي النواة على نوية واحدة أو أكثر، ويقل حجم النويات مع زيادة عددها في النواة الواحدة. وتدل زيادة حجم النويات وعددها على نشاط الخلية في تمثيل البروتينات. تعد النوية المصدر الأساسي لتكوين الرايبوسومات لاحتوائها على rRNA والبروتين الرايبوزي Ribonucleoprotein. وهناك عدد من الأدلة التي تؤيد ذلك، ومنها:

١- وجود تراكيز كبيرة من RNA (رنا) في النوية.

٢- استعمال مضادات حيوية لمنع تكون RNA في الخلية يؤدي إلى إيقاف تكون الرايبوسومات.

٣- وجود علاقة طردية بين زيادة تركيز RNA في النوية وزيادة تركيزه في السيتوبلازم.

أظهرت صور المجهر الإلكتروني أن النوية تنقسم إلى أربع مناطق، هي:

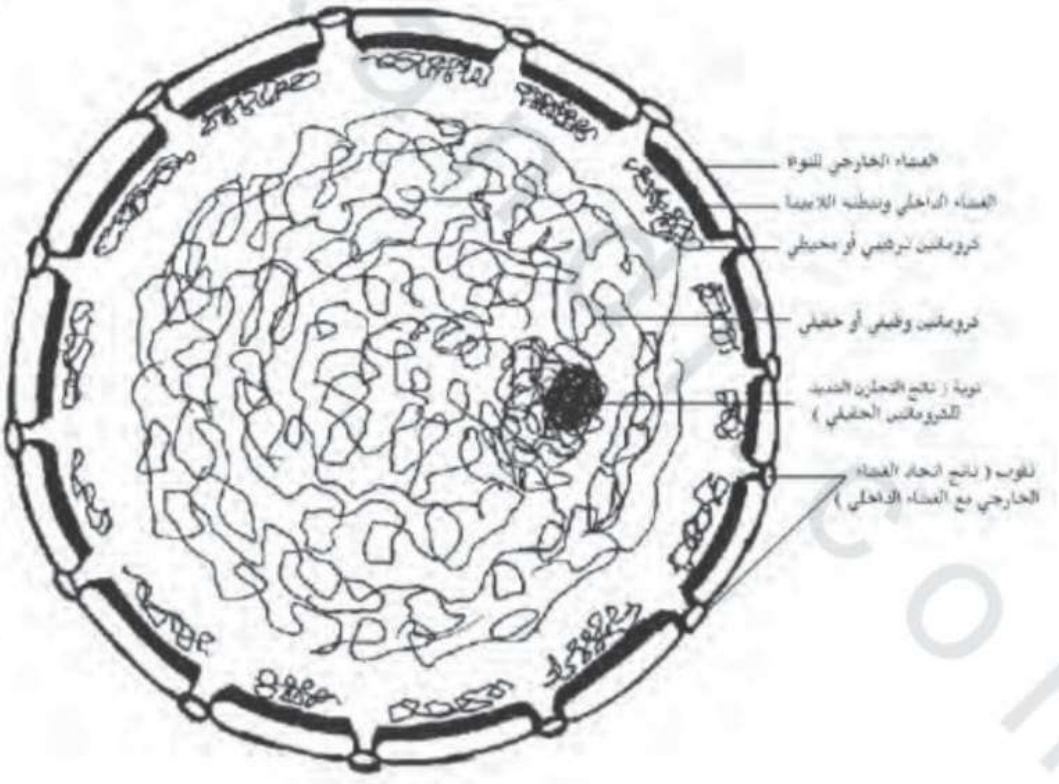
أ) المنطقة الحبيبية Granular Zone: منطقة صغيرة معتمة غنية بحبيبات دقيقة يبلغ قطرها نحو ١٥-٢٠ نانومتر، وغالبًا ما تكون هذه الحبيبات أصغر من الرايبوسومات، وتتركز في المناطق المحيطية للنوية، وتكون حساسة لتغير درجات الحرارة.

ب) المنطقة الليفية Fibrillar Zone: هي منطقة صغيرة جدًا تتكون من ليفات صغيرة غير مميزة يبلغ قطرها حوالي ٧-١٠ نانومتر، وتتركز في وسط النوية.

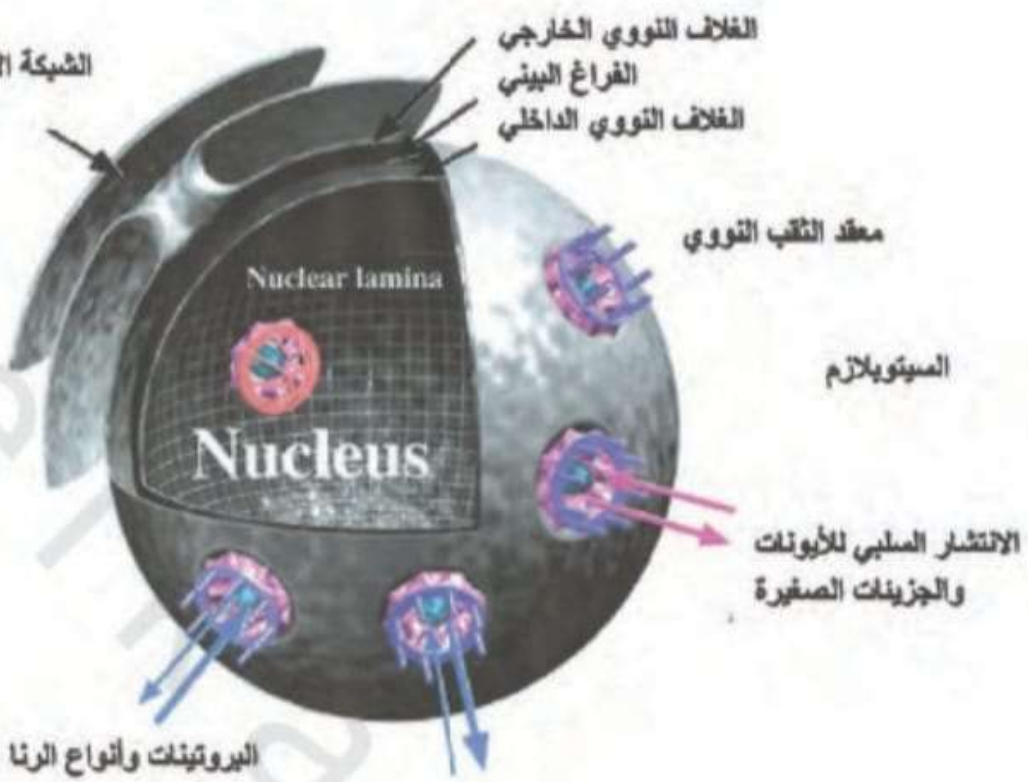
ج) المنطقة المتجانسة Amorphous Zone: منطقة ذات مظهر متجانس تتعلق بها المواد الليفية والحبيبية.

د) المنطقة الكروماتينية Chromatin Zone: تحتوي على الكروماتين النويوي Nucleolus Chromatin الذي قد يوجد حول النوية Perinucleolar Chromatin، أو قد يمتد داخلها Intranucleolar Chromatin، وهذا الكروماتين هو في الأساس كروماتين نووي.

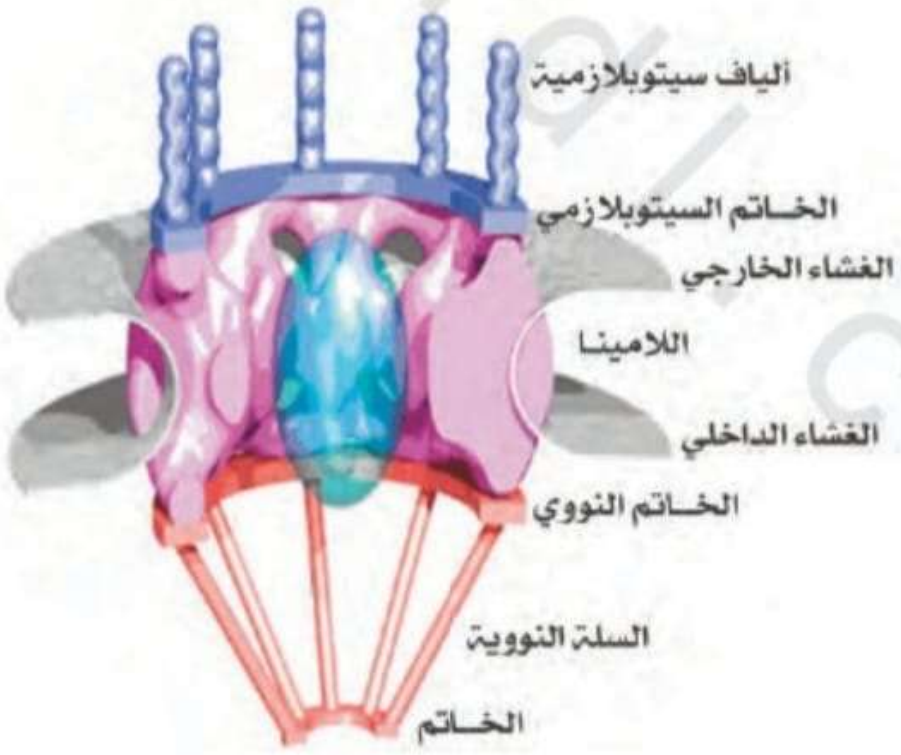
تختفي النوية وتتحلل في بداية الطور التمهيدي لانقسام الخلية، ويتحد كروماتين النوية – وهو كما يعتقد الجزء الذي يحمل الشفرة الوراثية لتكوين النوية من جديد – مع أحد الكروموسومات في منطقه تدعى الموقع المنظم للنوية Nucleolar Organizing Region (NOR)، وعند قطع المنطقة المنظمة للنوية من الكروموسوم نتيجة طفرة وراثية – طبيعية أو صناعية – فإن عملية تكوين النوية تتوقف، ثم تتوقف عمليه بناء الرايبوسومات. يزداد عدد المناطق المنظمة للنوية على الكروموسومات مع زيادة عدد النويات في الخلية. فمثلا لو كان هناك خمس نويات في النواة فسيكون هناك خمس (NORs) على خمس كروموسومات، ولهذا فإن عدد النويات لا يمكن أن يكون أكثر من العدد الزوجي لكروموسومات الخلية.



الشكل رقم (٢٣). رسم تخطيطي يوضح مكونات النواة.



الشكل رقم (٢٤). النواة ومكوناتها.



الشكل رقم (٢٥). مكونات معقد الثقب النووي.

الشبكة الإندوبلازمية والرايبوسومات

Endoplasmic Reticulum (ER) and Ribosomes

بينت الدراسات التي أجريت باستخدام المجهر الإلكتروني أن الشبكة الإندوبلازمية عبارة عن شبكة من الحويصلات والأنيبيبات والأكياس الغشائية المتصلة ببعضها البعض مكونة نظامًا مغلقًا مرنًا من التجاويف داخل سيتوبلازم الخلايا حقيقية النواة، وذلك عام ١٩٥٤م، على يد العالم بورتر Porter. تعد الشبكة الإندوبلازمية والغلاف النووي وأجسام جولجي امتدادًا طبيعيًا للغشاء البلازمي المحيط بالخلية. ولقد اختلف العلماء في أصل ونشأة الشبكة الإندويلازمية؛ فاعتقد البعض أنها امتداد للغشاء البلازمي، بينما اعتقد البعض الآخر أنها امتدادٌ للغلاف النووي. تحاط أوعية الشبكة الإندوبلازمية بغشاء يشبه الغشاء البلازمي من حيث التركيب الطبقي والكيميائي، وينتشر إلى مسافات كبيرة داخل السيتوبلازم، حيث تصل المسافة السطحية التي يشغلها غشاء الشبكة الإندوبلازمية أكثر من عشرة أضعاف المساحة التي يشغلها الغشاء البلازمي، ويعتقد أنه يتصل بالغشاء البلازمي من جهة، وبالغشاء الخارجي للنواة من جهة أخرى، مما يقسم السيتوبلازم إلى حيزين رئيسين، أحدهما محصور داخل تجاويف الشبكة الإندوبلازمية ويسمى السيتوبلازم الداخلي Interacisternal Phase أو Lumenal ، والثاني خارج تجاويف الشبكة الإندوبلازمية ويسمى السيتوبلازم الشفاف أو الزجاجي أو السيتوسول Hyaloplasmic أو Cytosol (الشكل رقم ٢٦). يحتوي السيتوبلازم الزجاجي على جسيمات صغيرة دائرية لا يزيد قطرها على ٢٠٠ أنجستروم تسمى الرايبوسومات التي توجد على صورتين هما:

أولاً: الرايبوسومات الطليقة أو الحرة Free Ribosomes

تكون متناثرة داخل السيتوبلازم الزجاجي بشكل مؤقت، وقد تكون معلقة في السيتوبلازم الزجاجي على هيئة صفوف أو تجمعات كتلية تعرف بالرايبوسومات المتعددة (Polyribosomes) التي ترتبط معًا بالحامض النووي الرايبوزي mRNA، وتقوم ببناء البروتين الذي يستخدم داخل السيتوبلازم (كبناء الإنزيمات أو زيادة المادة

السيتوبلازمية في الخلايا السرطانية المنقسمة، أو زيادة البروتين في الهيموجلوبين الخاص بالخلايا المولدة لكريات الدم خلال مرحلة نموها قبل النضج...إلخ). والرايبوسوم كمثري الشكل، يتكون من وُحيدتين Two Subunits إحداهما كبيرة، والأخرى صغيرة، ولكل منهما معامل ترسيب Sedimentation Coefficient مختلف، ويقاس بوحدة السيفدبيرج Svedberg. أما من حيث التركيب الكيميائي فإن الرايبوسوم يتركب من بروتين وحمض نووي رايبوزي هو الحمض النووي الرايبوسومي Ribosomal RNA (rRNA). إن التركيب الفريد للرايبوسوم يجعله يتحرك بمرونة عالية على الرنا RNA المرسال Messenger RNA (mRNA) بفضل وجود قناة صغيرة بين الوُحيدتين الصغيرة والكبيرة يمر من خلالها rRNA.

ثانيًا: الرايبوسومات المرتبطة Attached Ribosomes

توجد على شكل تجمعات أو تكتلات مرتبطة بالسطح الخارجي لأغشية الشبكة الإندوبلازمية، وكذلك الغشاء الخارجي للنواة. والرايبوسوم المرتبط هو المسؤول عن بناء البروتينات المستخدمة خارج الخلية. ورغم أن الرايبوسوم المفرد يستطيع ربط الأحماض الأمينية معًا وتكوين البروتين إلا أن تكون البروتينات يحدث غالبًا على الرايبوسومات المتجمعة التي ترتبط بالحامض النووي الرايبوزي mRNA الموجود في السيتوبلازم الزجاجي الذي يحمل المعلومات اللازمة لبناء البروتين. وتقوم الرايبوسومات بالتدحرج على طول الحامض الرايبوزي mRNA لربط الأحماض الأمينية بناء على تتابع الشفرات الوراثية وتكوين جزيء البروتين الذي يتناسب طوله مع عدد الرايبوسومات المتجمعة، كما هو موضح بالتفصيل في الفصل الثاني عشر.

تم تقسيم الشبكة الإندوبلازمية إلى نوعين اعتماداً على وجود الرايبوسومات على سطحها أو غيابها، كما يلي:

١ – الشبكة الإندوبلازمية الخشنة (المحببة) Granular (Rough) E.R

وتشمل عناصر الشبكة الإندوبلازمية التي تحتوي أغشيتها على أجسام حبيبية الشكل ترتبط بها وتكسبها المظهر الحبيبي، هذه الأجسام الحبيبية هي الرايبوسومات.

تنفرد الشبكة الإندوبلازمية الخشنة باحتوائها على بروتين مميز وخاص بها، ويوجد على نمطين هما بروتينا الرايبوفورينز ١ و٢ Ribophorins I&II اللذان يساهمان في عملية ربط الرايبوسوم مع الشبكة الإندوبلازمية. تقوم الرايبوسومات بربط الأحماض الأمينية الموجودة في السيتوبلازم وتكوّن جزيئات البروتين، لذا تمتاز الخلية التي بها شبكة إندوبلازمية خشنة بأنها خلية نشيطة في تمثيل البروتينات. تتواجد الشبكة الإندوبلازمية الخشنة بكثرة في الخلايا الإفرازية كخلايا البنكرياس وقشرة الغدة فوق الكلوية.

٢- الشبكة الإندوبلازمية غير المحببة أو الملساء (الناعمة) Agranular (Smooth) E.R

وتشمل عناصر الشبكة الإندوبلازمية ذات الأغشية الخالية من الرايبوسومات الملتصقة، وتحتوي أغشيتها على كثير من الإنزيمات المطمورة بداخلها التي لا تعمل عندما تتواجد حرة أو طليقة داخل السيتوبلازم. وتعمل هذه الإنزيمات على المساعدة في بناء نوع من الكربوهيدرات والدهون. ويعتقد أن منشأ الشبكة الإندوبلازمية الملساء هو الشبكة الإندوبلازمية الخشنة، ويعتمد وجود الشبكة الإندوبلازمية الملساء على نوع الخلايا وعمرها ووظائفها، فمثلاً تكون عناصر الشبكة الإندوبلازمية الملساء، واسعة ومتطورة في الخلايا الغدية التي تعمل على تكوين الهرمونات الستيرويدية Steroid Hormones، كذلك تكون الشبكة الملساء واسعة في الخلايا التي تقوم ببناء الدهون Lipids كخلايا الخصي، وكذلك في خلايا الكبد التي تنهك في عمليات التخلص من السموم Detoxification.

وظائف الشبكة الإندوبلازمية Functions of E.R

تقوم الشبكة الإندوبلازمية بالعديد من الوظائف التي من أهمها:

١- تجزئ السيتوبلازم إلى أجزاء مستقلة، مما يوفر الدعم الميكانيكي للسيتوبلازم الهلامي.

٢- تقوم الشبكة الإندوبلازمية في الخلايا العصبية بنقل التغييرات الكهربائية والأوامر العصبية.

٣- تعد الشبكة الإندوبلازمية "جهاز دوران الخلية"؛ إذ يتم عن طريقها تبادل المواد داخل الخلية في اتجاهات مختلفة.

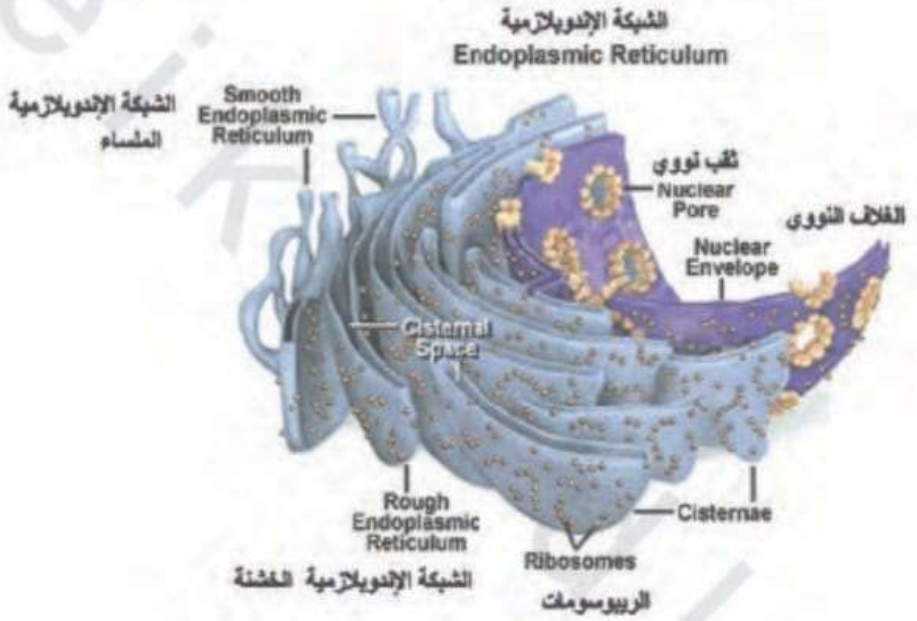
٤- تقوم بإزالة السمية Detoxify لبعض العقاقير ومخلفات الأيض.

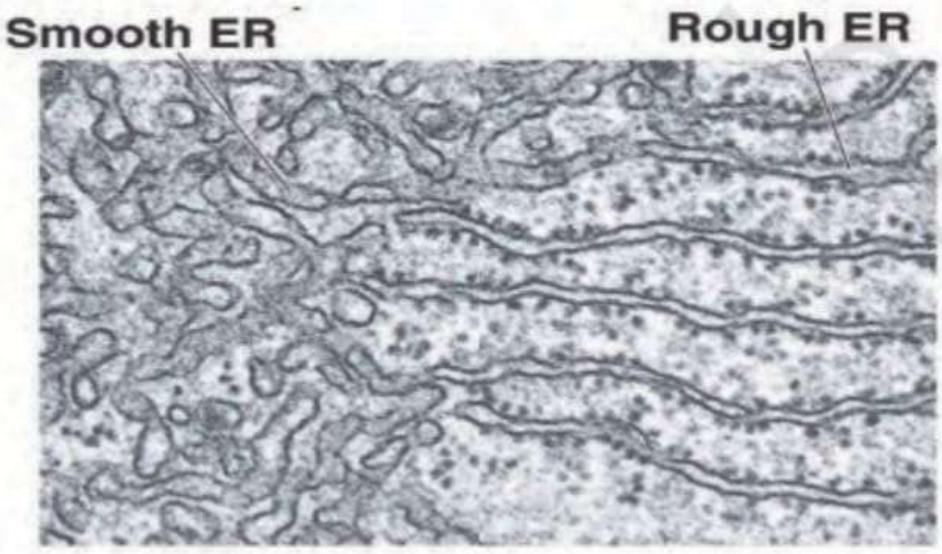
٥- تساهم بشكل مباشر في عملية تمثيل البروتين.

٦- تلعب دورًا أساسيًا في أيض الدهون والبروتينات الدهنية Lipoproteins.

٧- تساهم في تحرير سكر الجلوكوز من خلال عملية تحلل الجليكوجين.

٨- للشبكة الإندوبلازمية دور في تكوين الهرمونات الستيرويدية Steriod Hormones.





الشكل رقم (٢٦). الشبكة الإندوبلازمية الخشنة والملساء.