Histochemistry

ا.د./عبدالباسط عارف محمد

أستاذ بيولوجيا الخليةوكيمياءالأتسجة

2023-2024

الخليـــة الحيـوانيـة
Animal Cell

الخلية هى الوحدة التركيبية والوظيفية للكائنات الحية. فلايمكن ان توجد حياة فى غياب الخلايا. وتتكون الخلية من غشاء خلوى وسيتوبلازم ومادة وراثية.

وهناك نوعان من الخلايا :

- **الخلايا الأولية** Prokaryotic cells وفيها توجد المادة الوراثية على هيئة حمض الـ DNA الموجود سائبا فى السيتوبلازم كما هو الحال فى البكتيريا والبكتيريا الزرقاء.
- **والخلايا الحقيقية** Eukaryotic cells وفيها تكون المادة الوراثية موجودة داخل نواة ويفصلها عن السيتوبلازم غشاءان يمثلان الغلاف النووى. وتتكون أجسام الكائنات الحية (فيما عدا الأوليات) من خلايا منفردة أو متجمعة.

ولقد كان العالم الانجليزى هوك (R. Hooke) هو أول من أطلق اسم «خلايـا Cells » على مكونات الفلين لانه رآها تشبه الحجرات الصغيرة (Cellulae باللاتينية). وفى العشرينات من القرن التاسع عشر اتضح للعالمين Schwann, Schleiden ان جميع الكائنات الحية نباتية كانت أو حيوانية تتكون أجسامها من خلية أو أكثر، وأن الخلية هى الوحدة الأساسية لبناء أجسام الكائنات الحية. ولقد سُمّي هذا التعميم «نظرية الخلية».

وبالرغم من أن خلايا الجسم تختلف من نسيج الى آخر، الا ان هناك صفاتاً عامة وتركيباً جامعاً لكل خلايا الجسم. فأية خلية تتكون من غشاء خلوى وسيتوبلازم ونواة. واذا ما فقدت الخلية أى من هذه المكونات الثلاث لايصح أن تسمى «خلية». فكريات الدم الحمر فى الثدييات، والصفائح الدموية لذلك لاتسمى خلايا.

شـــكل الخليـــة Cell shape

تتخذ الخلايا عادة شكلاً كروياً مادامت لا تقع تحت تأثير مؤثرات خارجية أو داخلية. وذلك لان الشكل الكـروى هو أنسب الأشكال لاحتواء قدر معين من السيتوبلازم. الا أن شكل الخلايا يمكن ان يتغير فى حالات معينة كمايلى :

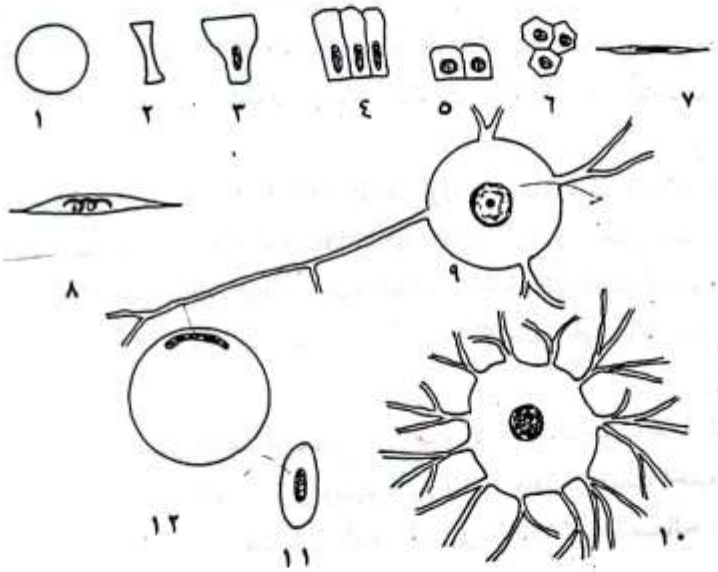
١ - عنـدمـا تتزاحم الخلايا تتخذ أشكالا مختلفة حسب اتجاه الضغط عليها؛ فاذا كان الضغط من جميع الجهـات أصبحت الخلايا متعددة الجوانب Polygonal أما اذا كان الضغط فى اتجاه واحد أصبحت الخلية مسطحة (عندما يكون الضغط من أعلى الى أسفل) أو عمودية (اذا كان الضغط عليها من الأجناب).

٢ ـ عندما تتعرض الخلايا للشد أثناء نموها وتميزها فانها تستطيل فى اتجاه الشد كما يحدث فى الخلايا العضلية وفى بطانة الأوعية الدموية.

٣ ـ تتحور الخلايا فتتخذ أشكالا تتناسب مع وظائفها، فكرية الدم الحمراء تصبح مقعرة السطحين، والليفة العضلية تصير طويلة جدا بينما تتفرع الخلية العصبية والخلية الصبغية.. وهكذا.

٤ ـ يتحكم التوتر السطحى للغشاء الخلوى ودرجة لزوجة السيتوبلازم فى شكل بعض الخلايا.

٥ ـ تؤثر كمية الهيكل الخلوى Cytoskeleton وطريقة توزيع مكوناته فى السيتوبلازم على شكل معظم الخلايا المتميزة (شكل ١١).



شكل (١١) أشكال مختلفة للخلايا

١، ٢ ـ قرصية مقعرة الوجهين (كريات الدم الحمر في الثدييات)
٣ ـ كأسية
٤ ـ عمودية
٥ ـ مكعبة
٦ ـ عديدة الجوانب
٧ ـ مسطحة
٨ ـ مغزلية
٩، ١٠ ـ متفرعة
١١ ـ بيضية
١٢ ـ مكوّرة.

حجـــم الخـلايـا Cell size

الخلية الحيوانية صغيرة بوجه عام، يتراوح قطرها بين ١٠، ٢٠ ميكروناً ومع ذلك فهناك القليل من الخلايا الكبيرة جدا، فبويضة الثدييات قد يصل قطرها الى ١٠٠ ميكرون بينما يصل قطر البويضة فى الطيور والزواحف بما تحويه من مح ومواد غذائية أخرى الى عدة سنتيمترات، وقد تكون الخلايا صغيرة جدا، فبعض خلايا الدم البيض يصل قطرها الى ٦ ميكرونات فقط.

قانون ثبات الحجم (للخلايا) Low of constant cell volume

لخلايا النسيج الواحد حجم ثابت فى جميع الحيوانات مادامت تقوم بأداء نفس الوظائف. فالخلية الكبدية فى الانسان لها نفس حجم الخلية الكبدية فى الفأر أو الحوت. أما حجم الكبد كعضو فى الكائنات المختلفة فانه يختلف باختلاف عدد الخلايا الموجودة فيه وليس باختلاف حجم هذه الخلايا.

العوامل المؤثرة على حجم الخلايا:

هناك أربعة عوامل تؤثر على حجم أى نوع من الخلايا هى :

١ ـ نسبة حجم النواة الى حجم السيتوبلازم Nucleo-cytoplasmic ratio فلكل نوع من الخلايا نسبة ثابتة بين حجم نواته وحجم سيتوبلازمه ويعبر عنها بالمعادلة :

$$\frac{ح_{ن}}{ح_{غ} - ح_{ن}}$$ حيث $ح_{ن}$ هو حجم النواة، $ح_{غ}$ هو حجم الخلية الكلّي.

وتعتبر هذه النسبة مؤشرا لنشاط الخلية. فكلما زاد نشاطها زادت هذه النسبة. فنسبة حجم النواة الى حجم السيتوبلازم فى الخلية الكبدية عالية النشاط يصل الى ١ : ١ تقريبا بينما تكون هذه النسبة فى الخلية الدهنية التى تعتبر عديمة النشاط تقريبا حوالى ١ : ٢٠. وذلك لان النواة هى المهيمنة والموجهة لنشاط السيتوبلازم. وتبقى هذه النسبة ثابتة فى ظروف الخلية العادية، فاذا اختلت النسبة بنمو السيتوبلازم فان النواة تنقسم لاستعادة النسبة مرة أخرى وقد تستعاد النسبة بأن تصبح الخلية ذات نواتين أو أكثر Binucleated, Multinucleated وقد تتخذ النواة أشكالا مختلفة لتزيد من سطحها الذى يتم تبادل المواد من خلاله مع السيتوبلازم فتصبح مفصصة أو كلوية أو شريطية كما هو الحال فى خلايا الدم البيض.

٢ ـ نسبة مساحة سطح الخلية الى حجمها أو س/ح فكلما كانت الخلية صغيرة الحجم كلما كانت هذه النسبة كبيرة.

فالخلية المكعبة التى طول ضلعها ١ تكون النسبة ٦ : ١ والتى ضلعها ٢ تكون فيها النسبة ٣ : ١، والتى ضلعها ٤ تصبح ١,٥ : ١ كما هو مبين فى الحسابات التالية :

طول الضلع ١ ∴ $\frac{س}{ح} = \frac{٦ \times ١ \times ١}{١ \times ١ \times ١} = \frac{٦}{١}$ أى ٦ : ١

طول الضلع ٢ ∴ $\frac{س}{ح} = \frac{٦ \times ٢ \times ٢}{٢ \times ٢ \times ٢} = \frac{٢٤}{٨} = ٣ : ١$

طول الضلع ٤ ∴ $\frac{س}{ح} = \frac{٦ \times ٤ \times ٤}{٤ \times ٤ \times ٤} = \frac{٩٦}{٦٤} = ١,٥ : ١$

وحيث أن الخلية تحصل على احتياجاتها من الغذاء والاكسيجين عن طريق سطحها فان الخلية التى يزداد حجمها الى الضعف تحتاج الى ضعف كمية المواد اللازمة لها وخاصة من الاكسيجين وحيث أن كمية الاكسيجين فى السائل المحيط بالخلايا ثابتة، فلابد من أن يزيد السطح الى الضعف حتى يمكنه ان يسد حاجة الخلية من الاكسيجين ويتم ذلك عن طريق الانقسام أو التفرع.

٣ ـ معدل نشاط الخلية يحدد حجمها: فالخلية النشطة تكون صغيرة الحجم. حتى تكون النسبتان في الفقرتين ١، ٢ كبيرتين. بينما تكون هاتان النسبتان أقل فى الخلايا الأقل نشاطا. لانها لاتحتاج الى نشاط نووى أو معدل عال من التبادل مع محيطها بنفس القدر الذى تحتاجه الخلايا النشطة.

٤ ـ تحمل الغشاء الخلوى : إن لكل نوع من الخلايا غشاء خلوياً يمكنه ان يتحمل شدا معينا نتيجة ازدياد حجم الخلية ثم يتمزق.

عـدد الخـلايا Cell number

تتحكم العوامل الوراثية فى المقام الأول فى عدد الخلايا التى يحتويها جسم الكائن الحى. فأجسام بعض الكائنات تتكون من خلية واحدة فى حين تكون أجسام البعض الآخر عديدة الخلايا وفى الكائنات عديدة الخلايا يحتوى كل نسيج وكل عضو على عدد ثابت من الخلايا عند تمام نضجها.

ففى الانسان الكامل النضج يكون عدد الخلايا الكبدية أو الكلوية أو الرئوية ثابتاً فى الحالات العادية. فاذا تحطمت بعض خلايا هذه الأعضاء تم احلال خلايا جديدة محلها. وتمثل هذه الأعضاء نظاما خلويا محدود التجدد Limited renewal cell system.

وهناك نوع آخر من الأنظمة الخلوية تتجدد خلاياه بصفة دائمة حيث تموت الخلايا القديمة ليحل محلها خلايا جديدة عن طريق الانقسام الخلوى ليبقى عدد الخلايا فى هذه النظم ثابتا، ويسمى هذا بالنظام دائم التجدد Continuous renewal system ومن أمثلة هذا النظام بشرة الجلد وبطانة القناة الهضمية ومكونات الدم.

وهناك أنظمة أخرى بالجسم لاتتجدد خلاياها بعد أن يتم تكونها كالنسيج العصبى والنسيج العضلى الهيكلى. فاذا ماتت احدى الخلايا العصبية أو الخلايا العضلية الهيكلية لايمكن احلالها بخلايا من نفس

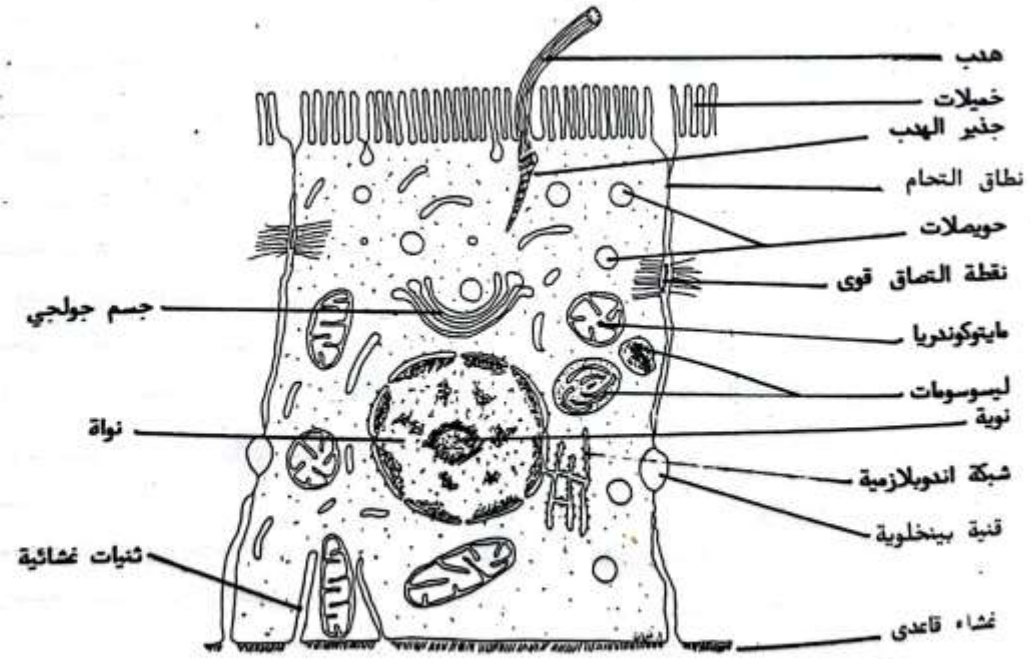
نوعها. ومثل هذه الأنسجة تسمى بالنظم الخلوية الثابتة Fixed cell systems .

وفى النهاية يبقى عدد الخلايا ثابتا فى الجسم الكامل النمو وهذا العدد يصل الى حوالى 10^{14} خلية فى جسم الانسان متوسط الوزن.

التركيب العـام للخليـة General Cell Structure

تشبه الخلية فى بنائها العام وفى ادائها لوظائفها المختلفة مصنعا متكاملا. فكما ان المصنع يحتاج الى طاقة تسيّر نشاطه، فالخلية فى كل أنشطتها الحيوية من تنفس وحركة وانقسام وحتى فى مجرد بقائها حية تحتاج الى طاقة. وتأتى الطاقة فى الخلية من عمليات كيميائية تسمى الأكسدة الحيوية. وهى تقابل عملية توليد الطاقة الكهربية فى المصنع.

وكما ان هناك مصانع متعددة الانتاج ومصانع أخرى متخصصة فى انتاج مواد محددة، فالخلايا كذلك منها النوع غير المتخصص الذى يقوم بمعظم العمليات الحيوية، كما ان منها المتخصص جدا الذى يقوم بعملية حيوية أساسية محددة مثل التقلص أو الافراز أو التوصيل.



شكل (١٢) الشكل العام للخلية الحيوانية كما يظهر بالمجهر الالكترونى

ومهما كان اختلاف المصانع فى أهدافها ووظائفها فان لكل مصنع هيكلاً بنائياً عاماً بصرف النظر عن الانتاج الذى يتم فيه، وكذلك فان الخلايا المختلفة تتميز بتركيب عام لايتغير من خلية الى أخرى بصرف النظر عن وظائفها.

ويتلخص هذا التركيب فى أن لكل خلية غشاءً خلوياً يحيط بها كما أن لها نواة تحتوى على مادتها الوراثية التى تهيمن على نشاطها وتدير شئونها، وبها سيتوبلازم يحتوى على عضيات تقوم بالوظائف الحيوية الأساسية. وتختلف الخلايا عن بعضها فى كم هذه المكونات وطريقة تنظيمها وليس فى كيفها (شكل ١٢).

الغشـــاء الخـــلوى Cell membrane

يحيط الغشاء الخلوى بسيتوبلازم الخلية ويفصل بينه وبين ماحوله من محيط. ومن خلال هذا الغشاء يتم تبادل المواد (غازية وسائلة وصلبة) ويبلغ سمك الغشاء الخلوى من ٧,٥ الى ١٠ نانومتر. وهو أقل بكثير من حد توضيح المجهر الضوئى (٢٥٠ نانومتر) ولذلك فانه يرى فقط بالمجهر الالكترونى.

ويتكون الغشاء الخلوى من بروتين (٧٥٪) ودهون فوسفاتية (٢٠٪) وكربوهيدرات قليلة التسكر (٥٪).

الدهـون الفوسـفاتية :

تتركب جميع الاغشية الحيوية من جزيئات الدهون الفوسفاتية المرتبة فى طبقتين حيث تكون أطرف جزيئاتها المحبة للماء Hydrophilic الى خارج الغشـاء بينما تكون اجزاؤها الكارهة للماء Hydrophobic مواجهة لبعضها عند الخط الوسطى للغشاء. وتحضّر العينات البيولوجية للفحص بالمجهر الالكترونى بتثبيتها فى رابع أكسيد الأزميوم (Os O4) . فيترسب معدن الأزميوم عند المناطق المحبة للماء فى الغشاء. وحيث ان الأزميوم من المعادن الثقيلة، فان الالكترونات لاتنفذ منه، ولذلك فان الغشاء الخلوى يظهر على هيئة خطين داكنين بينهما خط مضىء. ويمثل الخطان الداكنان سطحَىْ الغشاء الخارجى والداخلى، بينما يمثل الخط المضىء المنطقة الوسطى من الغشاء التى لايترسب فيها الأزميوم.

وعندما يُجمّد الغشاء الخلوى ويتم شرخه Freeze fractured كما يحدث فى بعض التحضيرات الخاصة بالمجهر الالكترونى فانه ينفلق الى نصفين عند الخط الفاصل بين أذيال الدهون الفوسفاتية لانها ترتبط ببعضها بروابط ضعيفة (شكل ١٣).

ويوجـد فى الغشـاء الخلوى بعض الأنواع الأخرى من الدهون مثل الكولسترول Cholesterol ولكن بنسب تختلف من مكـان الى آخـر بالخلية ومن خلية الى أخـرى. وعند درجة حرارة الجسم يكون الدهن الفوسفاتى سائلا بينما يكون الكولسترول شبه متجمد. ولذلك فان درجة سيولة وصلابة الغشاء الخلوى تعتمد على نسبة الكولسترول الى الدهن الفوسفاتى فيه.

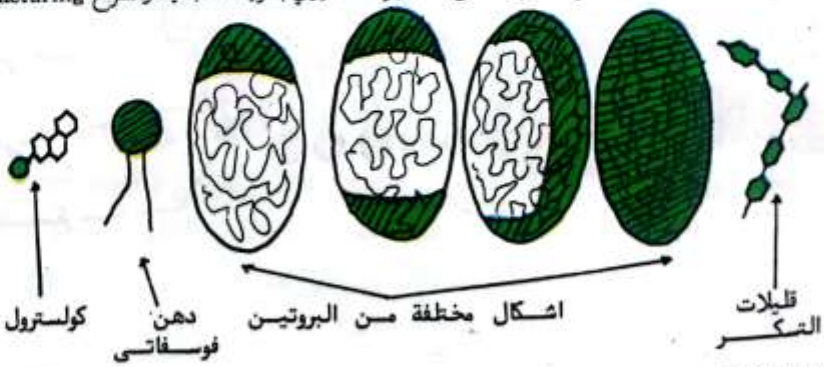
بروتينات الغشاء الخلوى :

يوجد فى الغشاء الخلوى نوعان من البروتينات :

بروتينـات داخلية Integral proteins وبـروتينات حافية Peripheral proteins وهذه البروتينات ذات

أشكال مختلفة حيث تلتف جزيئاتها على نفسها مكونة جسيمات لها أسطح ولها دواخل. وقد تظهر الأجزاء المتأينة من كل جسيم بروتينى على جميع سطحه أو على جزء منه، وقد تكون الأجزاء المتأينة للجسيم موجودة كلها بداخله. ويعتبر الجزء المتأين لسطح جسيم البروتين منطقة محبة للماء بينما تبقى المناطق غير المتأينة كارهة للماء وعلى هذا الأساس يتحدد موقع جزيئات البروتين فى الغشاء الخلوى الذى يوجد الماء عند سطحيه الخارجى والداخلى بينما يتكون وسطه من أجزاء الدهن الفوسفاتى الكارهة للماء (شكل ١٤).

شكل (١٣) خليتان متجاورتان في تحضير خاص للمجهر الالكتروني بطريقة التجميد والشرخ Freeze fracturing



شكل (١٤) أشكال مختلفة لجزيئات البروتينات الموجودة في الغشاء الخلوي.
الاجزاء المخططة من الجزيئات تحمل شحنات وهي لذلك محبة للماء، بينما الاجزاء المنقطة لا تحمل شحنات ولذلك فهي طاردة للماء

وتتخذ البروتينات الداخلية المواقع التالية من الغشاء الخلوى :

أ - بعض الجسيمات يكون طرفاها محبين للماء، فتكون أجزاؤها الكارهة للماء مغمورة فى الغشاء بينما يبرز طرفاها الى الخارج والى الداخل. وتسمى هذه البروتينات بالعابرة للغشاء Transmembranous proteins .

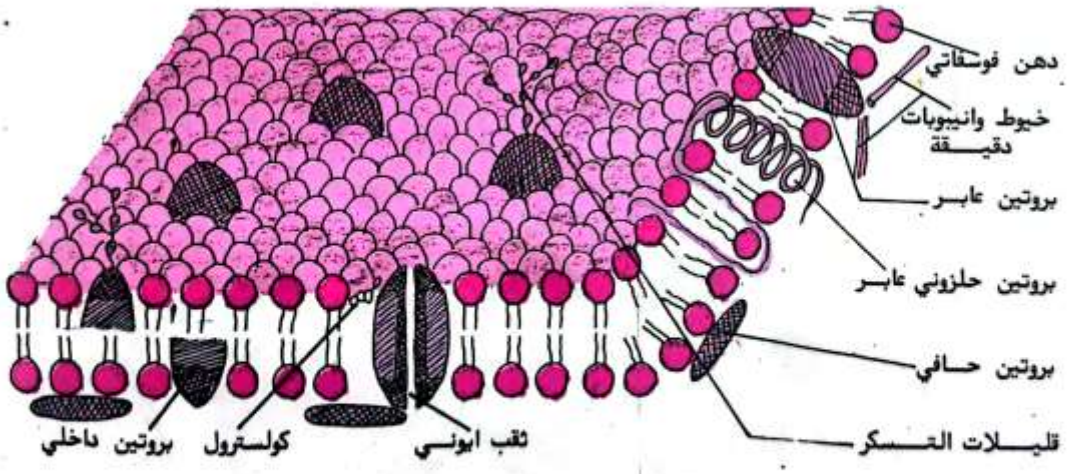
ب - وهناك أنواع اخرى من الجسيمات البروتينية التى يكون أحد أطرافها فقط محبا للماء ولذلك يكون هذا الطرف بارزا على سطح الغشاء الخارجى أو الداخل بينما ينغمس باقى الجسيم الكاره للماء فى الغشاء.

جـ - ويوجد نوع ثالث من الجسيمات البروتينية التى تتميز بأن أحد جوانبها الطولية يكون محبا للماء، وتتجمع مجموعات من هذه الجسيمات متوازية بحيث تكون أسطحها المحبة للماء متقابلة، وينتج من هذا التقابل اسطوانة من الجزيئات البروتينية فى وسطها ثقب محاط بالمناطق المحبة للماء من الجسيمات. ويصل هذا الثقب بين داخل الغشاء وخارجه ويسمى بالثقب الأيونى أو الثابت Ionic (Fixed) pore .

وترتبط جزيئات البروتين الداخلى مع الدهون الفوسفاتية عن طريق روابط ضعيفة ولذلك فهى قادرة على الانتقال داخل الغشاء من مكان الى مكان، وبالرغم من ذلك فان استخلاصها من الغشاء يكون أصعب من استخلاص البروتينات الحافية.

البروتينات الحافية : وتوجد عادة على السطح الداخلى للغشاء الخلوى وذلك لان كل أسطحها تكون محبة للماء.

وترتبط بعض البروتينات الحافية بالبروتينات الداخلية فتحد من حركتها داخل الغشاء ونتيجة لذلك تظهر مناطق متخصصة على سطح الغشاء الخلوى (شكل ١٥).



شكل (١٥) البناء الكيميائي للغشاء الخلوي

وللبروتينات التى تبرز على السطح الخارج للغشاء الخلوى أهمية كبيرة للأسباب التالية :

١ ـ يرتبط بعضها بقليلات التسكر مكونة جليكوبروتينات Glycoproteins وهى التى تكوّن زغب الخلايا أو غطاءها Glycocalyx or Cell coat

٢ ـ يكوّن بعضها مايسمى بالمستقبلات الغشائية Membrane receptors وهى التى تشكل أهمية خاصة فى الكثير من أنشطة الخلية مثل استقبال الهرمونات، والتعرف بين الخلايا، وتكوين الارتباطات بين الخلوية Intercellular junctions وتعطى الخلية صفتها المناعية Antigenicity كما تدخل فى تكوين المزدوجات الكهربية. وسوف يتم تفصيل الكلام عن العلاقات بين الخلوية فى مكان لاحق.

كربوهيدرات الغشاء الخلوى :

وهى من النوع قليل التسكر، وتوجد عادة مرتبطة مع البروتينات والدهون الفوسفاتية، ويحمل الجزء الذى يبرز من جزىء الكربوهيدرات على سطح الخلية أيونات سالبة مما يجعل الغطاء الخلوى قاعدى الاصطباغ.

والجدير بالذكر أن الغشاء الخلوى بتكوينه الكيميائى الذى ذكر آنفا يعتبر مهيئا لأداء وظائف هامة بالنسبة للخلية وذلك نتيجة لصفاته التالية :

١ ـ يتميز الغشاء بخاصية «السيولة والتبرقش» Fluid-Mozaic حيث يكون سائلا عند درجة حرارة الجسم، أما تبرقشه فناتج عن وجود مناطق دهنية متبادلة مع مناطق بروتينية. وسيولة الغشاء الخلوى هامة جدا حيث تيسر حركة جزيئات البروتين فى داخله، كما تيسر حركة جزيئات الغشاء ذاته أثناء التحرك الأميبى أو أثناء نقل المواد عبره فى عمليات الاخراج والادخال الخلوى Exo- Endocytosis هذا واذا قطع الغشاء لسبب أو لآخر التأم فى سهولة ويسر، ويمكن أيضا أن تضاف اليه وتؤخذ منه أجزاء بسهوله. فهو بحق غشاء ديناميكى.

٢ ـ تعتبر المجموعات البروتينية التى تكون الثقوب الأيونية ممرات لانتقال الأيونات عبر الغشاء الخلوى. وعند التقاء خليتين بحيث يتقابل من سطحيهما ثقبان أيونان، يتكون المزدوج الكهربى أو معبر أيونى بين الخليتين.

٣ ـ اذا تم تجميد وكسر الغشاء الخلوى انفصلت طبقتا الدهن عند اجزائها الكارهة للماء وتأخذ كل فلقة البروتين الأكثر تثبيتا فيها تاركاً تجويفاً فى الفلقة المقابلة، وبدراسة مثل هذه التحضيرات أمكن التعرف على الكثير من خصائص الغشاء الخلوى.

٤ ـ يظهر الغشاء الخلوى عند دراسته بالمجهر الالكترونى على هيئة ثلاث صفائح، اثنتين داكنتين والثالثة مضيئة. ولذلك فقد سمى الغشاء الخلوى «الغشاء الثلاثى التكوين Tripartite membrane».

وقد وجد أن جميع أغشية الخلية تشبه الغشاء الخلوى فى أنها ثلاثية التكوين مما جعل العلماء يخلُصون الى «نظرية الغشاء الموحد» Unit membrane Theory والتى تقضى بأن جميع أغشية الخلايا لها تركيب واحد، وقد تكون متصلة مع بعضها ويتحول أحدها الى الآخر.

تميز الغشاء الخلوى Differentiation of the cell membrane

يكون الغشاء الخلوى أملسا دون أن تظهر عليه أية تميزات (تحورات) اذا كانت الوظيفة التى يؤديها هى

مجرد التمرير السلبى للمواد من خلاله كما هو الحال فى أغشية كريات الدم الحمر. ولكن فى أغلب الخلايا تحدث تميزات أو تحورات خاصة للغشاء الخلوى ليصبح قادرا على أداء بعض الوظائف. فهو يكوّن خمّيلات أو أهداب على سطحه فى حالة تخصصه فى الامتصاص أو النقل، كما تحدث تحورات على الأغشية فى أماكن التقاء الخلايا مع بعضها وسوف يذكر ذلك بالتفصيل عند الكلام عن الأنسجة المختلفة.

نفاذية الغشاء الخلوى Permeability of the cell membrane

يمثل الغشاء الخلوى حاجزاً يفصل سيتوبلازم الخلية عن المحيط الذى تعيش فيه، مثل سائل الأنسجة Tissue fluids أو بلازما الدم أو السائل اللمفى.

ويتم دخول وخروج جزيئات وأيونات المواد المختلفة عبر الغشاء الخلوى بمعدلات مختلفة، فهناك بعض الجزيئات التى تمر بحرية تامة، بينما يمر البعض الآخر بصعوبة، وهناك بعض الجزيئات التى لايُسمح لها بالمرور على الاطلاق. وتسمى هذه الخاصية بالنفاذية الاختيارية Selective permeability ويقوم الغشاء الخلوي بناء على هذه الخاصية بأداء وظيفتين أساسيتين هما :

١ ـ التعرف على جزيئات وأيونات المواد المختلفة والتمييز بينها.

٢ ـ القدرة على تمرير بعض الجزيئات والأيونات فى اتجاه معاكس لدرجة تركيزها اما الى داخل الخلية كما فى عملية التراكم Accumulation أو الى خارجها كما فى حالة الاخراج Excretion والافراز Secretion

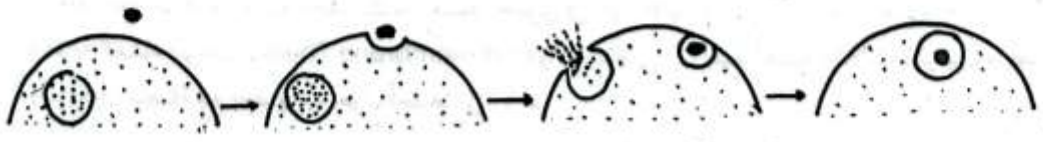
وهناك عدة طرق لنقل المواد عبر غشاء الخلية هى :

١ ـ النقل السلبى Passive transport وبواسطة هذه الطريقة تمر المواد من والى الخلية بمعدلات واتجاهات تعتمد فى المقام الأول على الفرق بين تركيزها فى السيتوبلازم من جهة وفى الوسط المحيط بالخلايا من جهة أخرى، حيث تنتقل المواد من الوسط الأكثر تركيزا الى الوسط الأقل تركيزا.

٢ ـ النقل الايجابى Active transport وبواسطة هذه الطريقة تنتقل المواد فى اتجاه معاكس لفرق التركيز، أى من الوسط الأقل تركيزا الى الوسط الأكثر تركيزا ويتم ذلك باستهلاك الطاقة، ويمكن تلخيص عملية النقل الايجابى فى الخطوات التالية :

أ ـ الارتبـاط Binding وهـو ارتبـاط المـادة المنقولة بحامل Carrier هو فى الواقع عبارة عن أحد الانزيمات الموجودة فى الغشاء الخلوى ويسمى بيرميز Permease .

ب ـ النقـل Translocation ينتقل الحامل ومعه المادة المنقولة فى غشاء الخلية بحيث يدور ١٨٠° فتصبح بذلك المادة المنقولة مواجهة للسيتوبلازم.



شكل (١٦) النقل الكتلي عبر الغشاء الخلوي ـ الادخال والاخراج الخلوي.

جـ - الانفصـــال Release حيث يتخلص الحـامـل من المادة المنقولة بواسطة أنزيم خاص وبذلك تدخل المادة إلى السيتوبلازم .

وفى جميع هذه الخطوات تستخدم الطاقة الناتجة من تكسير جزيئات ثلاثى فوسفات الأدينين ATP حيث يتحول الى ثنائى فوسفات الأدينين ADP .

ويوجد فى غشاء الخلية الكثير من الانزيمات التى تعمل كحوامل تكفى لنقل جميع المواد التى يمكن أن تدخل أو تخرج منها عبر الغشاء الخلوى وذلك لتسهيل عملية النقل واسراعها .

٣ - النقل خلال الثقوب الأيونية : كما يحدث عند انتقال الأيونات من والى السيتوبلازم . وتؤثر فى معدل مرور الأيونات عوامل منها طبيعة شحنتها ووجود بعض العناصر فى محيط الخلية .

٤ - النقل الكتلى Bulk transport يمكن للسوائل والمواد الصلبة أن تنتقل عبر غشاء الخلية الى الخارج فيما يسمى بالاخراج الخلوى Exocytosis (شكل ١٦) أو الى الداخل فيما يسمى بالادخـال الخلـوى Endocytosis ويعرف ادخال المواد الصلبة الى الخلية بالالتهام (الأكل) الخلوي Phagocytosis بينما يعـرف ادخـال السـوائـل بالاحتساء (الشرب) الخلوى Pinocytosis وتتم هذه العمليات نتيجـة لحركـة غشـــاء الخلـية، تســـاعـده فى ذلـك الأنيبـوبـات الـدقيقـة Microtubules والخيوط الدقيقـة Microfilaments .

السيتوبلازم Cytoplasm

يتركب السيتوبلازم من مادة غروانية متجانسة غير مُشبّكلة تعمل كوسط تعلق فيها جسيمات وتراكيب ذات أحجام وأشكال مختلفة، ويتميز السيتوبلازم فى بعض الخلايا - وخاصة الخلايا ذات الحركة الحرة - الى منطقة خارجية ضيقة رائقة جيلاتينية القوام تسمى الاكتوبلازم Ectoplasm ، ومنطقة داخلية أكثر سيولة تحتوى على باقى مكونات السيتوبلازم وتسمى الاندوبلازم Endoplasm وفى ظروف معينة تصبح بعض مناطق الاكتوبلازم سائلة فيندفع منها السيتوبلازم حيث تتكون الأقدام الكاذبة والتى تعتبر احدى وسائل الحركة الأميبية .

والسيتوبلازم متعادل تقريبا حيث يتراوح الأس الهيدروجينى (pH) فيه من ٦ - ٨ الا أن بعض مناطقه قد تكون حامضية أو قاعدية .

وقد أوضح المجهر الالكترونى ان السيتوبلازم ليس متجانسا كما قد يظهر بالمجهر الضوئى ولكنه يحتوى على شبكـة من الأغشية Endomembranes التى تقسّمه الى منطقتين احداهما داخل الغشاء والأخرى خارجـه . وتسمى المنطقة الموجودة خارج الأغشية بأرضية السيتوبلازم Cytoplasmic matrix وتمثل هذه الأرضية الوسط الذى توجد فيه باقى محتويات السيتوبلازم من عضيات حية ومكونات غير حية . كما تحتوى على هيكل الخلية Cytoskeleton الذى يتكون من الانيبوبات والخيوط الدقيقة والحواجز بين الغشائية Intermembranous trabeculae .

الأنيبوبات الدقيقة :

ويبلغ قطر الواحدة منها ٢٥ نانومترا ولها تجويف يحاط بجدار يتكون من حبيبات بروتينية مستطيلة تسمى الأنيبوبين Tubulin ويوجد فى المقطع العرضى للأنيبوبة ١٣ حبيبة من الانيبوبين .

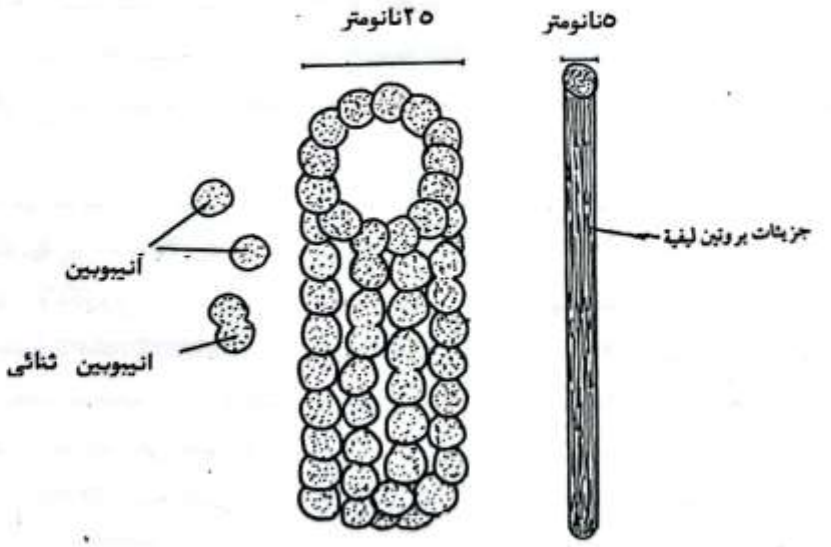
ويحتوى السيتوبلازم على جزيئات الأنيبوبين الحر الذى يكوّن مع الانيبوبين الموجود فى جدران الانيبوبات توازناً دائماً. فاذا زاد عدد الجزيئات الحرة، اضيفت الجزيئات الزائدة الى الانيبوبات الموجودة فيزداد طولها، أو تكون أنيبوبات جديدة، أما اذا قل عدد جزيئات الانيبوبين الحرة فانه يحدث تفكك فى الانيبوبات الى ان يعود التعادل، فاذا استمر الانيبوبين الحر فى الاختفاء فان الانيبوبات تتكسر جميعها وتنهار الخلية أو تفقد المقدرة على أداء العمليات الحيوية التى تعتمد على الأنيبوبات مثل الحركة الاميبية وعمليات الالتهام والانقسام (شكل ١٧ب).

ومن المواد التى تتحد بالجزيئات الحرة من الأنيبوبين، مادة الكولشيسين Colchicine فاذا اضيفت هذه المادة الى مزرعة نسيجية Tissue culture نشطة، أو حقنت فى حيوان حى، فان الخلايا التى تكون قد بدأت فى عملية الانقسام تتوقف عند المرحلة الاستوائية Metaphase لان الانيبوبات المكونة لمغزل الانقسام Mitotic spindle لاتتكون وتبقى الكروموسومات فى منتصف الخلية دون أن تجد مايجذبها الى طرفى الخلية.

ولقد تم استغلال هذه الظاهرة فى دراسة الكروموسومات لانها تكون فى المرحلة الاستوائية من الانقسام قصيرة وسميكة، فيمكن عدها ودراسة أشكالها، كما يمكن تمييز المناطق المرتبطة بالجينات المختلفة باستعمال طرق صبغية خاصة مما أفاد كثيرا فى مجال علم الوراثة.

ومن وظائف الأنيبوبات الدقيقة تكوين بعض مكونات الخلية مثل الجسيمات المركزية Centrioles التى تقوم بتكوين المغزل الانقسامى، كما انها تساهم فى تحريك الغشاء الخلوى، وكذلك تعتبر من المكونات الأساسية لهيكل الخلية. وتكوّن الأنيبوبات ايضا هيكل الهدب وجسمه القاعدى كما سيذكر تفصيلا فيما بعد.

ومن الجدير بالذكر ان أنيبوبات الجسيم المركزى والجسم القاعدى للهدب والهيكل الهدبى لا تتأثر بمادة الكولشيسين.



ب أ

شكل (١٧)

أ ـ خيط دقيق
ب ـ أنيبوبة دقيقة

الخيوط الدقيقة :

وكما يتضح من اسمها فان الخيوط ليس لها تجويف حيث انها تتكون من جزيئات بروتينية طويلة تلتف لولبيا على بعضها، ويبلغ قطر الواحدة من هذه الخيوط حوالى ٥ ـ ١٠ نانومتر. وتنتشر الخيوط فى السيتوبلازم بشكل غير منتظم لتساهم فى تكوين الهيكل الخلوى، الا ان بعضها يتجمع فى منطقة الاكتوبلازم تحت غشاء الخلية مع بعض الانيبوبات لترتبط بالبروتينات الحافية للغشاء مكونة شريطا ضيقا فى الاكتوبلازم (شكل ١٧أ).

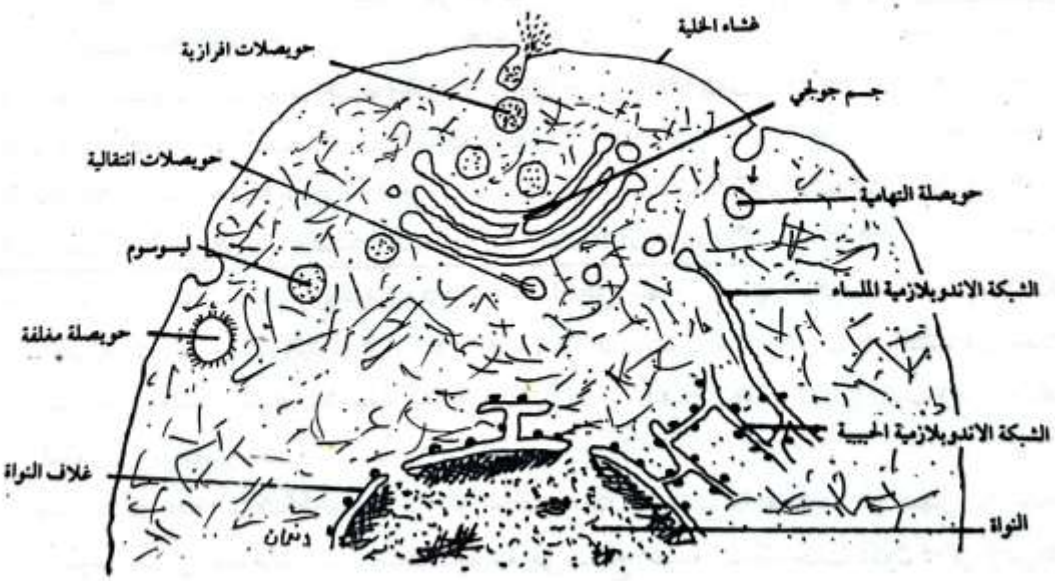
وفى بعض الخلايا تتجمع الخيوط لتكون لييفات Fibrils يمكن رؤيتها بالمجهر الضوئى كما هو الحال فى اللييفات المقوّية Tonofibrils الموجودة فى الخلايا الطلائية، واللييفات العضلية Myofibrils الموجودة فى الخلايا العضلية، واللييفات العصبية Neurofibrils الموجودة فى الخلايا العصبية.

وتتكسر الخيوط الدقيقة عند تعرضها لبعض العقاقير مثل السيتوكالازين ب Cytokalazin B .

عضيات الخلية Cell Organelles

العضى هو أحد محتويات سيتوبلازم الخلية، الذي يتميز بأنه ثابت التواجد بها ويدخل ايجابيا فى انشطتها الحيوية. وقد توجد فى الخلية بعض المحتويات بصفة مؤقتة أو بصفة دائمة ولكنها لاتدخل ايجابيا فى العمليات الحيوية وتسمى بالمحتويات غير الحية Nonliving inclusions للخلية.

وقد لوحظ أن هناك مجموعة من العضيات التى تتركب من أغشية تشبه غشاء الخلية، وتتضافر فى اتمام وظائف معينة (خاصة تصنيع وافراز البروتين). وتسمى هذه المجموعة بالجهاز الشبكى (الفراغى) السيتوبلازمى Cytoplasmic reticular (vacuolar) system وعضيات هذا الجهاز هي :



شكل (١٨) الجهاز الشبكي السيتوبلازمي

أولا : الشبكة الاندوبلازمية Endoplasmic reticulum (ER)

وهى شبكة من التجاويف المحاطة بالأغشية والتى تتخذ أشكالا مختلفة فقد تكون أنيبوبية Tubular (ولايجوز أن تختلط هذه الأنيبوبات المحاطة بالغشاء مع الأنيبوبات الدقيقة). أو كروية Spherical ، أو صهريجية Cisternal . وقد تنتشر الشبكة فى الاندوبلازم أو تتركز فى أماكن محددة منه، ولكنها لاتوجد فى منطقة الاكتوبلازم ومن هنا جاءت تسميتها.

ويوجد فى تجاويف الشبكة الاندوبلازمية المواد المصنعة التى تنتقل داخل الشبكة الى ان تصل الى مصيرها.

وتعمل أغشية الشبكة الاندوبلازمية على اسراع العمليات الكيميائية وذلك بسبب ماتحتويه من انزيمات، كما تقوم بحجز المواد المصنعة داخلها حتى لاتتأثر أو تؤثر على باقى السيتوبلازم. فقد تكون هذه المواد المصنعة مثلا انزيمات هاضمة، وهناك نوعان من الشبكة الاندوبلازمية هما :

١ ـ الشبكة الاندوبلازمية الملساء Smooth endoplasmic reticulum (SER)

وتكون عادة على شكل تجاويف انيبوبية أو كروية وتتحلل سريعا بعد موت الخلية. وعندما توجد الشبكة الملساء بكميات كبيرة فى خلية ما، أو فى جزء من خلية، فان هذه الخلية أو هذا الجزء يتميز بأنه حمضى الاصطباغ Acidophilic وذلك لوجود البروتينات الغشائية التى تكون عادة ذات طبيعة قاعدية.

وتقوم الشبكة الاندوبلازمية الملساء بالعديد من الوظائف الخلوية منها مايلى :

أ ـ تصنيع الليبيدات وخاصة الستيرويدات Steroids كما فى الخلايا البينية الصم فى الخصية وكما فى خلايا الغدد الدهنية الجلدية.

ب ـ تكوين الاملاح أو الأحماض المعدنية، كما فى خلايا الغدد الدمعية والخلايا الحمضية فى الغدد المعدية والتى تقوم بتصنيع حمض الهيدروكلوريك HCl .

جـ ـ تخليص الخلية من السموم وذلك بربط السموم مع البروتينات الموجودة فى اغشيتها كما يحدث فى خلايا الكبد التى تخلّص الدم من السموم التى قد تصل اليه من الخارج Exogenous أو التى تتكون داخل الجسم Endogenous .

د ـ نقل السيالات العصبية من غشاء الخلية الى داخلها كما فى الخلايا العضلية.

هـ ـ دوران المواد داخل السيتوبلازم كما فى الخلايا الفارزة.

و ـ تكوين وتكسير الجليكوجين، حيث يوجد الانزيم الخاص بهذه العملية فى أغشية الشبكة الملساء.

٢ ـ الشبكة الاندوبلازمية الخشنة (الحبيبية) Rough (Granular) E.R.

وهى خشنة لوجود الريبوسومات Ribosomes على سطح أغشيتها. والوظيفة الأساسية للشبكة الحبيبية هى تصنيع البروتينات التى تقوم الخلية بافرازها (وتكون عادة انزيمات). ولذلك فان الخلايا المصنعة للبروتينات تكون مليئة بالشبكة الخشنة التى تضفى عليها اصطباغا قاعديا بسبب وجود الحمض النووى فى الريبوسومات.

وتتخذ تجاويف الشبكة الخشنة أشكالا مختلفة، فتكون انيبوبية أوكروية أو صهريجية، وتوجد الريبوسومات فى مجموعات تتخذ أشكالا عديدة على سطح أغشية الشبكة حيث تكوّن دوائر أو دوامات أو تجمعات صغيرة وذلك لان ريبوسومات كل مجموعة ترتبط مع بعضها عن طريق جزىء من الحمض النووى الرسول Messenger RNA الذى ينقل ويحمل الشفرة الخاصة بتصنيع البروتينات فى وجود الأحماض النووية الناقلة Transfer RNA .

ويرتبط حمض نووى ناقل خاص بحمض أمينى خاص يقوم بحمله ونقله الى الريبوسومات. ويقوم الريبوسوم بقراءة الشفرة أثناء مروره على شريط الحمض النووى الرسول ويربط الأحماض الأمينية الواحد تلو الآخر فى ترتيب خاضع للشفرة التى أملاها حمض الـ DNA (الموجود فى العوامل الوراثية فى الكروموسومات) اثناء تكوّن الحمض النووى الرسول عليه. وبذلك تظهر الدقة المتناهية فى نقل خصوصية العامل الوراثى ليتكون انزيم خاص يتحكم فى ظهور صفة وراثية خاصة.

وبعد أن تتكون جزيئات البروتينات فى الريبوسومات تسقط فى تجويف الشبكة الاندوبلازمية الحبيبية وتمر داخلها الى أن تصل الى أجسام جولجى حيث يتم تركيزها وتعبئتها فى أغشية على هيئة الحبيبات أو الحويصلات الافرازية التى تتحرك نحو غشاء الخلية لتصب محتوياتها خارجها.

الريبوسـومات :

هى حبيبات يصل قطر الواحدة منها الى حوالى «١٥ نانومتر» وتتميز الى جزء صغير (٥ نانومتر) وآخر كبير (١٠ نانومتر) يرتبطان مع بعضهما فقط فى وجود الحمض النووى الرسول. ويتكون الجزءان فى نوية الخلية.

والريبوسومات هى قارئات الشفرة الوراثية. وقد توجد ملتصقة بغشاء الشبكة الاندوبلازمية (كما ذكر من قبل) فتقوم حينئذ بتخليق البروتينات التى ستُصدّر خارج الخلية أو التى ستبقى داخل الخلية مغلفة بالغشاء (كما فى الليسوسومات Lysosomes) وقد توجد الريبوسومات حرة بعد ان ترتبط بالحمض النووى الرسول، وتقوم حينئذٍ بتخليق البروتينات اللازمة لسيتوبلازم الخلية خاصة تلك التى تدخل فى تكوين وتعويض التالف من الأغشية الخلوية وأرضية السيتوبلازم وعضيات الخلية، ولذلك فليس هناك خلية تخلو من قدر ما من الريبوسومات الحرة.

ثانيا : أجسـام جولجى Golgi bodies

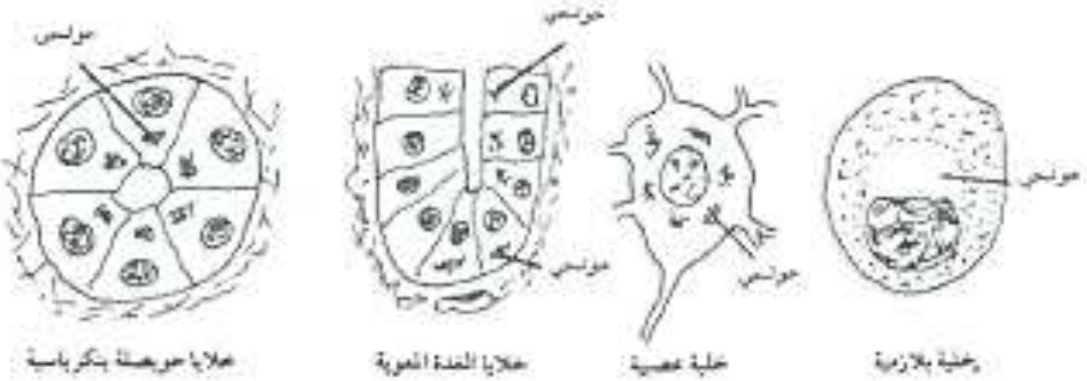
وتسمى باسم العالم جولجى Golgi الذى اكتشفها فى أواخر القرن الماضى فى الخلايا العصبية لطائر البوم، وأجسام جولجى عبارة عن مجموعة من الأغشية الخلوية التى تظهر بالمجهر الضوئى على شكل شبكة تتميز بأنها ترسب الفضة من أملاحها لتكون حبيبات داكنة تظهر فى منطقة جولجى بالخلية (شكل ١٩جـ).

وقد اتضح ان لأجسام جولجى علاقة وطيدة بعملية افراز البروتينات. ولذلك فهى توجد عادة جهة سطح الخلية الذى يفرز منه البروتين. أما اذا كان البروتين الذى تصنعه الخلية يبقى بها فان أجسام جولجى تكون مبعثرة فى السيتوبلازم. ولذلك فان هذه الاجسام فى الخلايا الفارزة تتخذ مكانا ثابتاً بين النواة والسطح الخلوى المطل على تجويف الغدة بينما فى الخلايا العصبية تكون أجسام جولجى منتشرة حول النواة (شكل ١٩أ).

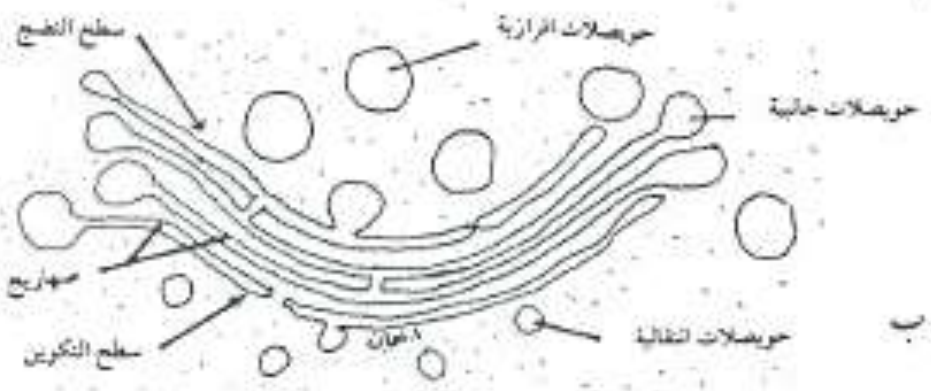
وعند فحص أجسام جولجى بواسطة المجهر الالكترونى يتضح ان كلا منها يتكون من صفوف متوازية من التجاويف المفلطحة أو الصهاريج Cisternae المحاطة بأغشية ملس.

وتكون تجاويف هذه الصهاريج أضيق من تجاويف الشبكة الاندوبلازمية مما يجعل منطقة جولجى فى الخلية متميزة بتقارب الأغشية فيها.

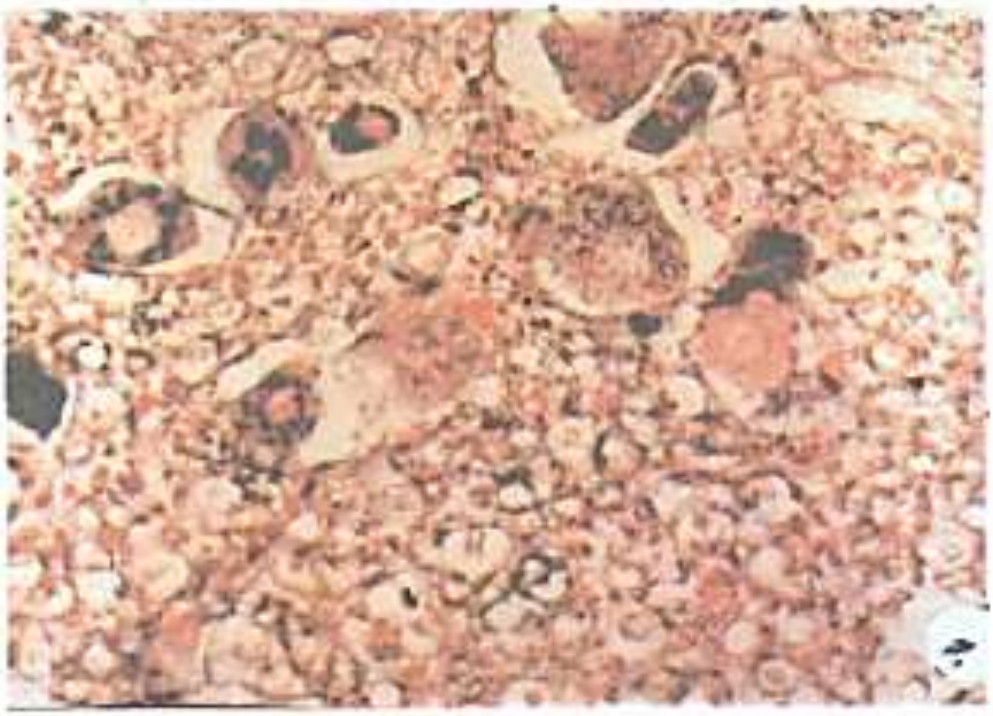
ولجسم جولجى سطحان، أحدهما محدب ويستقبل الحويصلات الناقلة Transfer vesicles التى تنقل اليه محتوياتها من المواد التى تم تخليقها فى منطقة الشبكة الاندوبلازمية الخشنة. ويسمى هذا السطح من



أ



ب



جـ

شكل (١٩) أجسام جولجي

أ ـ مكان تواجد أجسام جولجي في أنواع الخلايا المختلفة

ب ـ رسم تخطيطي لجسم جولجي كما يظهر بالمجهر الالكتروني

جـ ـ أجسام جولجي (الحبيبات البنية الداكنة) في الخلايا العصبية بالعقدة الشوكية ـ طريقة ترسيب الفضة من املاح نترات الفضة

جسم جولجى سطح التكوين Formation surface أما السطح الأخر فهو مقعر ويسمى سطح النضج Maturation surface ، وتخرج منه الحويصلات الافرازية Secretory vesicles والتى تحتوى على المواد الافرازية بعد أن يكون قد قام جسم جولجى بتركيزها واضافة بعض المواد اليها وخاصة المواد الكربوهيدراتية . وتنتفخ حواف صهاريج أجسام جولجى لتكون حويصلات جانبية (شكل ١٩ب).

ويختلف عدد صفوف صهاريج جولجى حسب نشاط الخلية الافرازى؛ ففى الخلايا النشطة تكون الأغشية التى تضاف الى سطح التكوين عن طريق الحويصلات الناقلة أكثر من الأغشية التى تنفصل من سطح النضج فى الحويصلات الافرازية . وبذلك يزداد عدد الصهاريج لتصل الى عشرة صهاريج . أما اذا قل النشاط الافرازى يقل ورود الحويصلات الناقلة ويقل بذلك عدد صهاريج جسم جولجى لتصل فى بعض الأحيان الى ثلاثة صهاريج فقط .

وتوضح عملية الافراز الخلوى ديناميكية الأغشية الخلوية بجلاء . فهناك تحرك دائم للأغشية من الشبكة الاندوبلازمية الى الحويصلات الناقلة ثم الى صهاريج جولجى ومن ثم الى الحويصلات الافرازية التى تضيف غشاءها الى غشاء الخلية اثناء عملية الاخراج الخلوى Exocytosis ويقتطع من غشاء الخلية جزء أثناء عملية الادخال الخلوى Endocytosis ليكون الأجسام الالتهامية Phagosomes وحويصلات الاحتساء Pinocytotic vesicles ويضاف غشاء هذه الأجسام التى دخلت الى السيتوبلازم الى الشبكة الاندوبلازمية لتبدأ الدورة من جديد . ولكن هذه الدورة تحتاج الى كمية من الأغشية الاضافية المتجددة والتى تنشأ مكوناتها فى مثل هذه الأنواع من الخلايا على الشبكة الاندوبلازمية .

وظائف أجسام جولجى :

١ - تقوم بتجميع وتركيز البروتينات ثم تعبيئتها فى أغشية لتكون الحويصلات الافرازية .

٢ - تقوم باضافة جزيئات الكربوهيدرات الى البروتينات فى الخلايا الفارزة للجليكوبروتينات (الخلايا المخاطية) .

٣ - تقوم بتعبئة الانزيمات المحللة داخل أغشية لتكون الليسوسومات .

ثالثا : الليسوسومات Lysosomes أو الأجسام المحللة

هى تجاويف كروية يحاط كل منها بغشاء أملس ، وتحتوى على العديد من الانزيمات المحللة اللازمة لتحليل معظم المواد العضوية . ومن أهم أنزيمات الليسوسومات انزيم الفوسفاتيز الحمضى Acid phosphatase وتستعمل طرق الكيمياء النسيجية لتحديد مكان هذا الانزيم الذى بدوره يدل على مكان الليسوسومات فى الخلية . وهذه هى الطريقة التى يمكن بها رؤية الليسوسومات بالمجهر الضوئى .

ويظهر الليسوسوم بالمجهر الالكترونى كجسم كروى يحتوى على مادة معتمة غير متجانسة ويكون محاطاً بغشاء واحد واضح مما يميزه عن حبيبات الدهن التى لاتحاط بغشاء .

وتبقى انزيمات الليسوسوم غير نشطة طالما بقى غشاؤه سليماً . أما اذا تمزق هذا الغشاء فان الانزيمات تصبح نشطة وتبدأ فى هضم وتحليل المواد التى تختلط بها . ومن المواد التى تحافظ على سلامة أغشية الليسوسومات هورمون قشرة الغدة الكظرية (الكورتيزون) . وتتمزق أغشية الليسوسومات عند نقص الاكسيجين فى

السيتوبلازم أو عند وجود بعض السموم الناتجة من الميكروبات. وعندئذ تقوم الانزيمات الهاضمة المنطلقة من الليسوسومات المحطمة بتحليل مكونات الخلية فيما يعرف بالتحلل الذاتى Autolysis كما يحدث بعد الموت أو عندما تحرم الخلايا من الدم الشريانى المحمّل بالاكسيجين بسبب الجلطات الداخلية أو بسبب التقلص المفاجىء فى جدران الشرايين المغذية لبعض الأنسجة كما يحدث فى بطانة الرحم أثناء الطمث.

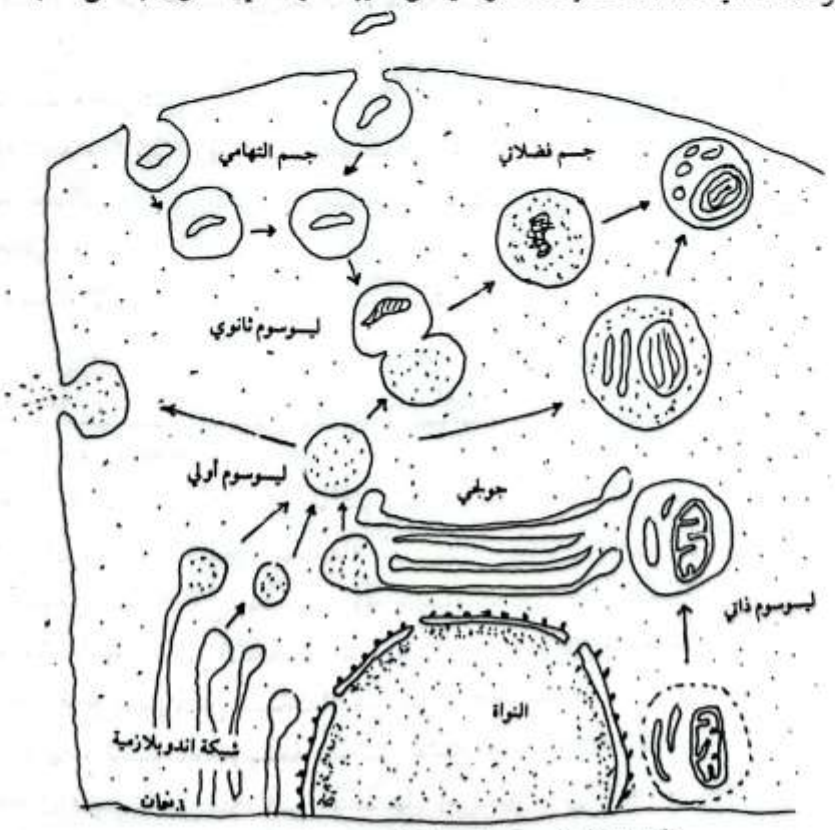
منشأ الليسوسومات وأنواعها

١ ـ قد ينشأ الليسوسوم مباشرة من الشبكة الاندوبلازمية الخشنة أو من أجسام جولجى ويسمى الليسوسوم الابتدائى Primary lysosome .

٢ ـ يتحد الليسوسوم الابتدائى مع الأجسام الالتهامية أو الحويصلات الاحتسائية وتقوم انزيماته بهضم محتوياتها. تنفذ بعض المواد المهضومة الى السيتوبلازم ويبقى البعض الآخر (كفضلات) مختلطا بالانزيمات داخل الليسوسوم الذى يسمى حينئذ الليسوسوم الثانوى Secondary lysosome .

٣ ـ يعيد الليسوسوم الثانوى الكرّة مرة بعد مرة الى ان تنفّد انزيماته ويصبح ممتلئا بالفضلات. ويسمى حينئذ الجسم الفضلاتى Residual body .

٤ ـ فى بعض الخلايا المعمرة ـ مثل الخلايا العصبية ـ تقوم ليسوسومات كبيرة الحجم بالاتحاد مع بعض عضيات الخلية (كالمايتوكوندريا مثلا التى تكون قد هرمت وأصبحت غير نشطة) وتحللها وبذلك تخلص الخلية منها ليحل محلها عضيات جديدة أكثر حيوية ونشاطا. وتسمى هذه الليسوسومات الكبيرة الليسوسومات الذاتية Autolysosomes وقد يطلق عليها اسماء كثيرة أخرى (شكل ٢٠).



شكل (٢٠) الليسوسومات وعلاقاتها بباقي مكونات الخلية

وظـائف الليسـوسـومات :

١ - تقوم بهضم مايدخل الى الخلية من مواد. فاذا كانت هذه المواد ضارة تخلصت منها الخلايا والا فان الخلية تستفيد من نواتج هضمها وتأخذها كمصدر لغذائها.

٢ - تقوم بتخليص الخلية من المواد غير النافعة والتى اذا تراكمت فى السيتوبلازم أعاقت وظائفه. كما أنها تخلص الخلية من العضيات الهرمة.

٣ - تخلص الخلية من المواد الافرازية التى لا تنطلق خارجها وبذلك تتحكم فى النشاط الافرازى للغدد الصم.

٤ - تقوم بتحليل مكونات العظم فى مناطق معينة أثناء عملية نموه وتشكيله.

٥ - الجسم الطرفى (الامامى) Acrosome فى الحيوان المنوى هو عبارة عن ليسوسوم كبير تساعد محتوياته من انزيمات على هضم الغشاء المحيط بالبويضة فى منطقة دخوله أثناء عملية التلقيح.

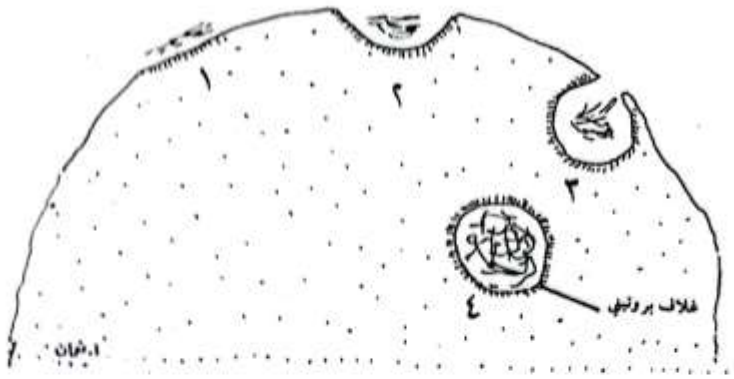
٦ - يسبب انفجار الليسوسومات فى بعض الحالات المرضية ألما حادا وشديدا (كما يحدث فى الذبحة الصدرية ونوبات مرض النقرس) وذلك لان الانزيمات التى تنطلق من الليسوسومات المنفجرة تقوم بتحليل الجلوكوز الموجود فى سائل الأنسجة أو سائل المفاصل، ولأن كمية الاكسيجين تكون قليلة، فان ناتج تحلل الجلوكوز يكون حامض اللبنيك Lactic acid الذى يلسع النهايات العصبية محدثا الالآم الحادة والتى تعتبر فى واقع الأمر انذارا ضروريا لتفادى مايمكن ان يسبب تلفا بالغا للمفصل أو حتى للموت المحقق. «وعسى ان تكرهوا شيئا وهو خير لكم».

٧ - تقوم بهضم وازالة بعض الأنسجة أو الأعضاء التى لم يعد لها فائدة كذيل أبوذنيمة عندما يتحول الى الضفدع اليافع. وكالغدة التيموسية بعد البلوغ. ولازالة بطانة الرحم أثناء الطمث اذا لم يحدث الحمل.

الأجسـام الدقيقة Microbodies : هى كريات تشبه كثيرا فى شكلها وتركيبها الليسوسومات الا انها تختلف عنها فى أنها تظهر اكثر دكانة بالمجهر الالكترونى كما انها لاتحتوى على أنزيم الفوسفاتيز الحمضى ولكنها تحتوى على أحد الانزيمات الخاصة المساعدة Catalases (والتى تسمى الأجسام الدقيقة باسمها) فهناك مثلا البيروكسيسومات Peroxisomes والتى تحتوى على انزيم البيروكسيديز الذى يساعد على تخليص الخلايا من مادة بيروكسيد الهيدروجين Hydrogen peroxide السامة. وتوجد البيروكسيسومات بكثرة فى الخلايا الكبدية.

رابعـا : الحويصلات المغلفة Coated vesicles :

وهى حويصلات صغيرة تحاط بغشاء يوجد على سطحه طبقة من البروتينات على هيئة خيوط دقيقة زغبية تكوّن الغطاء أو الغلاف المميز لهذه الحويصلات. وينشأ هذا النوع من الحويصلات من الغشاء الخلوى أو من أجسام جولجى أو من الشبكة الاندوبلازمية وفى جميع الحالات يتكون الغطاء على سطح الحويصلات قبل ان تنفصل من أصلها. ومن الوظائف الهامة التى تؤديها هذه الحويصلات نقل المواد (البروتينات على وجه الخصوص) من خارج الخلية أو بداخلها عبر السيتوبلازم. ووجود الغلاف يمنع الليسوسومات من الاتحاد بهذه الحويصلات ولذلك فان محتوياتها تمر داخل الخلية دون أن تهضم (شكل ٢١).



شكل (٢١) مراحل تكوّن الحويصلات المغلفة من غشاء الخلية

خامسا: الحويصلات الافرازية Secretory vesicles :

وهى حويصلات مختلفة الأحجام تحتوى على المواد المفرّزة، وتقوم بنقلها من أجسام جولجى الى سطح الخلية الفارز وأثناء مرور الحويصلات فى السيتوبلازم يتم تركيز المواد الموجودة بداخلها فتصبح اكثر دكانة كلما اقتربت من سطح الخلية. وهناك اختلاف فى وجهات النظر حول ما اذا كانت الحويصلات الافرازية من العضيات أو من محتويات الخلية غير الحية. وحيث انها تؤدى وظيفة ايجابية بتركيزها للمواد المفرزة وباعتبارها احدى مكونات الجهاز الفجوى فانها بذلك تكون أقرب الى العضيات منها الى المحتويات غير الحية.

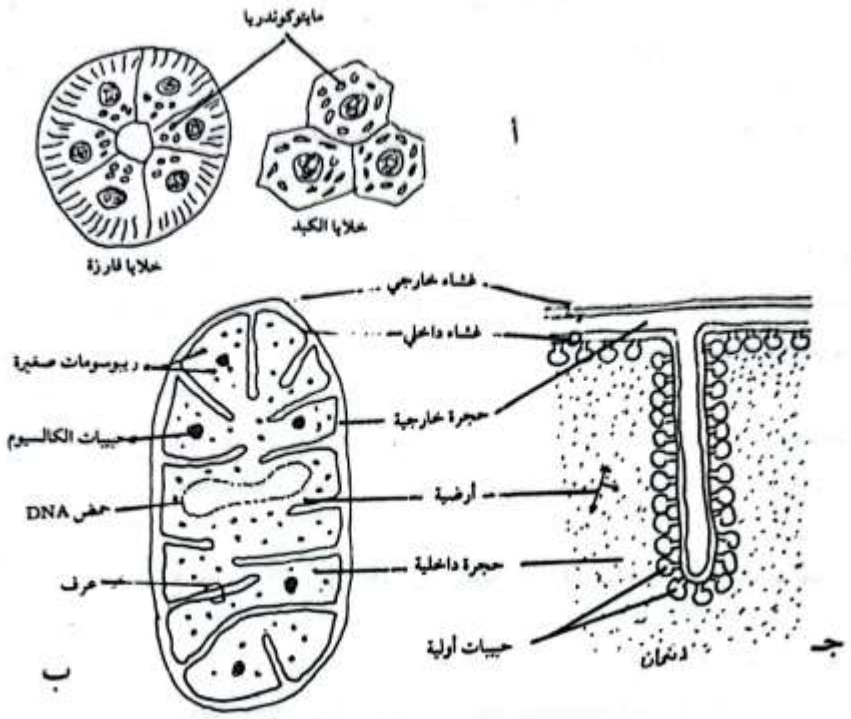
تلك هى العضيات التى تكون الجهاز الفجوى للخلية وهى ترتبط بشكل مباشر أو غير مباشر بعمليات تصنيع وتحريك ونقل وتركيز المواد البروتينية.

المايتوكوندريا Mitochondria

لقد اكتشف احد العلماء قرب نهاية القرن التاسع عشر جسيمات عصوية وخيطية الشكل فى سيتوبلازم الخلايا سماها بالأجسام الحبيبية Chondrosomes ثم سميت بالمايتوكوندريا فيما بعد. ومن العجيب ان العالم الذى شاهدها لأول مرة ظن أنها بعض الكائنات الدقيقة الموجودة فى سيتوبلازم الخلية. وقد رجّحت بعض النظريات الحديثة ان تكون المايتوكوندريا بالفعل كائنات دقيقة متعايشة مع الخلايا منذ بدء ظهور الخلايا الحقيقية كما سيأتى ذكره فيما بعد.

ويمكن اظهار المايتوكوندريا باستعمال صبغات خاصة أو بالكشف عن انزيم السيتوكروم اكسيديز Cytochrome oxidase . الذى يساعد فى عمليات أكسدة الغذاء فى داخل المايتوكوندريا.

وباستعمال المجهر الالكترونى اتضح ان المايتوكوندريا تتخذ أشكالا دائرية أو مستطيلة، وقد تقصر أو تطول، وتكثر أو تقل فى الخلايا حسب متطلباتها من الطاقة فالمايتوكوندريا هى مراكز اطلاق الطاقة فى الخلية اذ بها يتحلل الغذاء فى وجود الأكسيجين لتنتج الطاقة التى تخزن فى جزيئات ATP ويتكون ثانى اكسيد الكربون والماء.



شكل (٢٢) رسوم تخطيطية للمايتوكوندريا
أ ـ كما تظهر بالمجهر الضوئي في بعض الخلايا.
ب ـ كما تظهر بالمجهر الالكتروني
جـ ـ أحد الأعراف بالتفصيل

وتتركب المايتوكوندريا (شكل ٢٢) من غشاء خارجي يشبه فى تكوينه الكيميائى وسمكه الغشاء الخلوى، وغشاء داخلى يختلف كثيرا عن غشاء الخلية حيث يحتوى على نسبة أكبر من البروتينات الانزيمية ويخرج من الغشاء الداخلى أعراف Crests على شكل رفوف أو أنابيب. ويسمى التجويف الذى يقع بين غشائى المايتوكوندريا بالحجرة الخارجية أما التجويف الموجود داخل الغشاء الداخلى فيسمى الحجرة الداخلية ويحتوى على أرضية Matrix المايتوكوندريا. ويوجد فى الأرضية العديد من الانزيمات والريبوسومات (أصغر من تلك الموجودة فى السيتوبلازم) وبعض المواد (خاصة الكالسيوم) كما يوجد بها جزىء من الـ DNA الحلقى الشكل. ومن هذا التركيب يظهر أن للمايتوكوندريا القدرة على تصنيع المواد الخلوية المختلفة. ولذا فإنها تنمو وتتكاثر عن طريق الانقسام كما يحدث فى البكتيريا.

ان تركيب الغشاء الداخلى وماعليه من انزيمات التنفس ووجود الأحماض النووية والانزيمات جعل البعض يعتقد أن المايتوكوندريا هى بكتيريا قد التهمتها الخلايا فى بدء تكونها لتساعدها على انتاج الطاقة وتستفيد هى بالغذاء، لذا أسمّوها بالتكافليات Symbions نسبة للحياة التكافلية التى نشأت بينها وبين الخلية.

وتتم عملية التنفس الخلوى (التأكسد الحيوى) على ثلاثة مراحل هى :

- تحلل الجلوكوز الى حامض البيروفيك وتتم هذه المرحلة فى السيتوبلازم خارج المايتوكوندريا .
- تحلل حامض البيروفيك الى ثانى اكسيد الكربون والكترونات محمولة على ذرات الهيدروجين وتتم هذه المرحلة فى أرضية المايتوكوندريا فى دورة كربس Krebs cycle وتوجد الانزيمات التى تساعد خطوات التفاعل فى دورة كربس فى أرضية الميتوكوندريا .
- مرحلة نقل الالكترونات على مواد خاصة تسمى مستقبلات وناقلات الالكترونات فى وجود أنزيمات خاصة وفى هذه الأثناء تستخدم طاقة الالكترونات فى تصنيع جزيئات ATP وتوجد مستقبلات وناقلات الالكترونات والانزيمات المساعدة لعملية النقل فى الغشاء الداخلى بينما يوجد الانزيم الذى يساعد على تصنيع الـ ATP فى شكل حبيبات تبرز من الغشاء فى الحجرة الداخلية وتسمى الحبيبات الأولية Elementary particles .

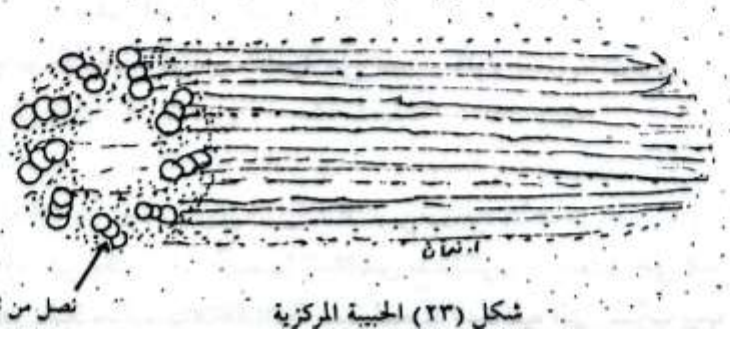
والمايتوكوندريا حساسة جدا للتغيرات التى تطرأ على السيتوبلازم وخاصة من ناحية الحموضة (pH) ودرجة الملوحة . فقد تتضخم الغرفة الخارجية تحت تأثير بعض الظروف وقد تتضخم الغرفة الداخلية فى ظروف أخرى .

وعند انقسام الخلية تتوزع المايتوكوندريا على الخليتين الناتجتين من الانقسام ثم تنمو وتنقسم بعد ذلك أثناء نمو الخلايا الجديدة .

الجسم المركزى Centrosome

توجد فى معظم الخلايا منطقة على أحد جوانب النواة تتميز بأنها اقل كثافة من باقى السيتوبلازم وفى كثير من الأحيان تكون محاطة بجسم جولجى ، وتسمى الجسم المركزى Centrosome أو مركز الخلية . ويتكون الجسم المركزى من منطقة دائرية باهتة الاصطباغ تسمى الدائرة المركزية Centrosphere تحتوى على جسمين عصويين صغيرين يسمى كل منهما بالحبيبة المركزية Centriole التى يبلغ طولها نصف ميكرون وقطرها حوالى ١٥ر٠ من الميكرون وتتعامد كل منهما على الأخرى .

وباستعمال المجهر الالكترونى وجد أن الحبيبة المركزية عبارة عن منطقة كثيفة من السيتوبلازم اسطوانية الشكل توجد على حافتها تسع مجموعات من الأنيبوبات الدقيقة المتوازية والممتدة بطول الحبيبة . تسمى كل مجموعة بالنصل Blade ويتكون النصل من ثلاث أنيبوبات متحدة حيث تكون مع محيط الحبيبة زاوية قدرها ٣٠° (شكل ٢٣) .



شكل (٢٣) الحبيبة المركزية

وتعتبر الحبيبات المركزية مركزا لتكوين الأنيبوبات الدقيقة فى الخلية مثل أنيبوبات مغزل الانقسام والانيبوبات التى تكون هيكل الأهداب والأسواط.

مكونات السيتوبلازم غير الحية Cytoplasmic Inclusions

هى مكونات عادة ماتكون غير دائمة ولاتدخل فى العمليات الحيوية للخلية بشكل ايجابى وهناك نوعان من هذه المكونات هما :

١ ـ الغذاء المختزن : يمكن للخلايا ان تختزن النشا الحيوانى والدهون ولكنها لاتختزن البروتينات حيث ان الاخيرة اذا زادت عن حاجة الخلايا تحولت الى كربوهيدرات أو دهون.

أ ـ النشا الحيوانى Glycogen : يخزن بكميات كبيرة فقط فى الخلايا الكبدية والخلايا العضلية. ويمكن تحديد مكانه فى الخلايا باستعمال صبغات خاصة مثل صبغة PAS (Periodic Acid-Schiff) وصبغة كارمن بست Best's carmine . وباستعمال المجهر الالكترونى تظهر حبيبات النشا الحيوانى على شكل تجمعات داكنة عادة فى منطقة الشبكة الاندوبلازمية الملساء.

ب ـ الدهن : ويخزن بكميات كبيرة فى خلايا خاصة تسمى الخلايا الدهنية Adipocytes حيث تتكون حبيبات صغيرة من الدهن تكبر وتتجمع حتى تملأ الخلية تماما تاركة حيزا ضيقا من السيتوبلازم على حافة الخلية يحتوى عند احد جوانبه على النواة التى قد أصبحت مفلطحة جدا. ويمكن ان يصطبغ الدهن بصبغات خاصة مثل صبغات سودان Sudan stains أما فى التحضيرات المجهرية العادية فان الدهن يذوب فى محاليل التحضير تاركا الخلية الدهنية على شكل فراغ دائرى تقع النواة على أحد جوانبه، ولذلك تسمى الخلية فى هذه الحالة بالخاتم Signet ring .

وليست الخلايا الدهنية دائمة الوجود، فاذا صام الحيوان لمدة طويلة يبدأ الدهن فى الاحتراق تدريجيا الى ان يختفى وتصبح الخلايا صغيرة وتتخذ شكل الخلايا الليفية.

٢ ـ المواد الصبغية Pigments : قد تتكون المواد الصبغية داخل الخلايا وتسمى صبغات داخلية المنشأ Endogenous pigments وقد تأتى الى الخلية من خارجها وتسمى صبغات خارجية المنشأ Exogenous pigments ومن امثلة المواد الصبغية التى تنشأ فى الخلايا الهيموجلوبين أما الصبغات التى تأتى للخلية من الخارج فقد تأتى مع الطعام مثل المواد الجزرية Carotenoids والتى تذوب فى الدهون لتضفى عليها لونها الأصفر وتوجد فى الجزر والطماطم على وجه الخصوص. وبعض الجزرين Carotene يتحول الى فيتامين «د» فى الجلد ويعتبر من أهم مصادر هذا الفيتامين فى الجسم. وقد تدخل المواد الصبغية الى الجسم عن طريق الوشم.

بعض أنواع الصبغات التى تكونها الخلايا الحيوانية :

١ ـ الهيموجلوبين وتكونه خلايا الدم الحمر أثناء نموها ووظيفته الأساسية نقل الغازات، ويضفى على الجلد لونه الأحمر ـ وتوجد فى الخلايا العضلية مادة قريبة الشبه من الهيموجلوبين تسمى المايوجلوبين

Myoglobin وتعطى اللحم لونه الأحمر المميز.

٢ ـ الهيموزدرين Haemosiderin وينتج بعد تكسر كريات الدم الحمر ويمثل الجزء الذى يحتوى على عنصر الحديد من جزىء الهيموجلوبين ولونه ذهبى ويوجد فى الخلايا الملتهمة فى الطحال.

٣ ـ البيليروبين Bilirubin (أحمر الصفراء) : وهو يمثل الجزء البروتينى من الهيموجلوبين ويبقى ذائبا فى بلازما الدم الى ان تقوم الخلايا الكبدية باستخلاصه وافرازه مع الصفراء وهو الذى يعطيها لونها الأصفر المخضر.

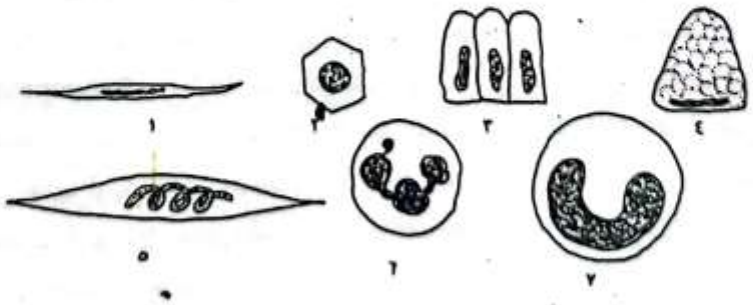
٤ ـ الميلانين Melanin ويتكون فى خلايا خاصة تسمى الخلايا الميلانينية Melanocytes على شكل حبيبات لاترى الا بالمجهر الالكترونى تسمى أجسام ميلانينية Melanosomes ويتكون الميلانين من الحمض الأمينى تيروسين فى وجود انزيم تيروسينيز Tyrosinase .

٥ ـ الصبغة الدهنية البنية Lipofuscin pigment وهى صبغة بنية اللون تحاط بغشاء وتتراكم فى الخلايا المعمرة نتيجة لنشاط الليسوسومات بها.

النـــــواة Nucleus

تحتوى جميع الخلايا الحقيقية على أنوية. ولأن الكريات الدموية الحمر فى الثدييات لاتحتوى على أنوية فهى لذلك لاتسمى خلايا. ولكى تبقى الخلية قادرة على أداء وظائفها فان العلاقة بين السيتوبلازم والنواة يجب ان تستمر بصورة فعالة. واذا ازيلت النواة من خلية ما فانها تتحلل بعد ان تستهلك محتوياتها من انزيمات وبروتينات غشائية لأن تعويض هذه المواد يحدث عن طريق العوامل الوراثية الموجودة فى النواة.

وتحتوى الخلية عادة على نواة واحدة الا أنه توجد بعض الخلايا ثنائية الأنوية كالخلايا الكبدية، ومتعددة الأنوية كخلايا العضلات الهيكلية. وتصبح الخلية متعددة الأنوية حين تنقسم النواة عدة انقسامات دون ان ينقسم السيتوبلازم، أو عندما يتلاحم عدد من الخلايا ثم تتلاشى الأغشية الفاصلة بينها ليتكون مدمج خلوى أو خلية متعددة الأنوية.



شكل (٢٤) أشكال الانوية في الخلايا المختلفة

١ ـ مفلطحة في الخلايا الحرشفية ٢ ـ كروية في خلايا الكبد ٣ ـ بيضية في الخلايا الطلائية العمودية
٤ ـ مفلطحة في الخلايا المخاطية ٥ ـ حلزونية في الألياف العضلية الملس ٦ ـ مفصصة في خلايا الدم البيض الحبيبية
٧ ـ كلوية في خلايا الدم الكبيرة

وتوجد النواة فى أوسع جزء من سيتوبلازم الخلية مالم يوجد فى السيتوبلازم مايزيحها جانبا كما يحدث فى الخلايا الدهنية والخلايا المخاطية. وفى بعض الخلايا يكون جسم جولجى ضخما جدا لدرجة أنه يزيح النواة الى أحد جوانب الخلية كما فى الخلية البلازمية.

ولكل نوع من الخلايا نسبة ثابتة بين حجم النواة وحجم السيتوبلازم فاذا اختلت هذه النسبة لسبب أو لآخر فان النواة تنقسم لاستعادة النسبة المقررة مرة أخرى.

وتتخذ الأنوية اشكالاً متعددة، فهى تكون مستديرة فى الخلايا الكبيرة، وبيضية فى الخلايا العمودية، وكلوية عندما يضغط على أحد جوانبها جسم جولجى كما فى الخلايا الدموية الكبيرة، وحلزونية فى الخلايا العضلية الملس، ومفصصة كما فى خلايا الدم البيض الحبيبية، وخيطية كما فى الألياف العضلية الهيكلية (شكل ٢٤).

والنواة قاعدية الاصطباغ وذلك لغلبة مانحتويه من أحماض نووية على باقى محتوياتها من بروتينات قاعدية والتى قد تخفف من صبغة الحمض النووى اذا كانت موجودة بكميات كبيرة مما يجعل النواة بنفسجية الاصطباغ فى التحضيرات المصبوغة بالهيماتوكسلين والايوسين.

وتحتوى النواة على بعض الدهون والمعادن ولكن بكميات قليلة.

وتتكون النواة من الغلاف النووى، والكروماتين والنوية.

الغلاف النووى Nuclear envelope :

يتكون من غشائين يشبه كل منهما الغشاء الخلوى، يفصلهما تجويف منتظم يبلغ اتساعه حوالى ١٥ نانومتراً. ويوجد على الغشاء الداخلى كمية من الكروماتين الكثيف تختلف فى سمكها من نواة الى أخرى، أما الغشاء الخارجى فتوجد على سطحه الخارجى ريبوسومات، ويتصل فى بعض الأحيان بالشبكة الاندوبلازمية مما يجعل البعض يميل الى اعتبار غلاف النواة ضمن الجهاز الفجوى السيتوبلازمى الذى سبق ذكره.

ويوجد على غلاف النواة ثقوب مستديرة على كل منها حجاب رقيق يتحكم فى المواد الخارجة والداخلة من والى النواة.

الكروماتين Chromatin :

وهو مادة الكروموسومات. ويتكون من الحمض النووى الديؤكس ريبوزى DNA والبروتين القاعدى هستون Histone . ويمكن تمييز نوعين من الكروماتين فى النواة وهما :

أ - الكروماتين الحقيقى Euchromatin وهو الجزء النشط من الكروموسومات ويكون على هيئة خيط دقيق جدا عليه حبيبات صغيرة متفرقة ولذلك فهو ضعيف الاصطباغ. ويقوم الكروماتين الحقيقى بتوجيه نشاط السيتوبلازم عن طريق RNA الرسول الذى يتكون على جزيئات الـ DNA . وفى الخلايا النشطة فى تصنيع البروتينات يكون الكروماتين الحقيقى هو الغالب فى النواة.

ب - الكروماتين غير الحقيقى Heterochromatin وهو يمثل الجزء الذى يبقى ملتفاً على نفسه من الكروموسومات أى الجينات غير العاملة. ولان الـ DNA فيه يكون مركزا فانه يكون داكن الاصطباغ.

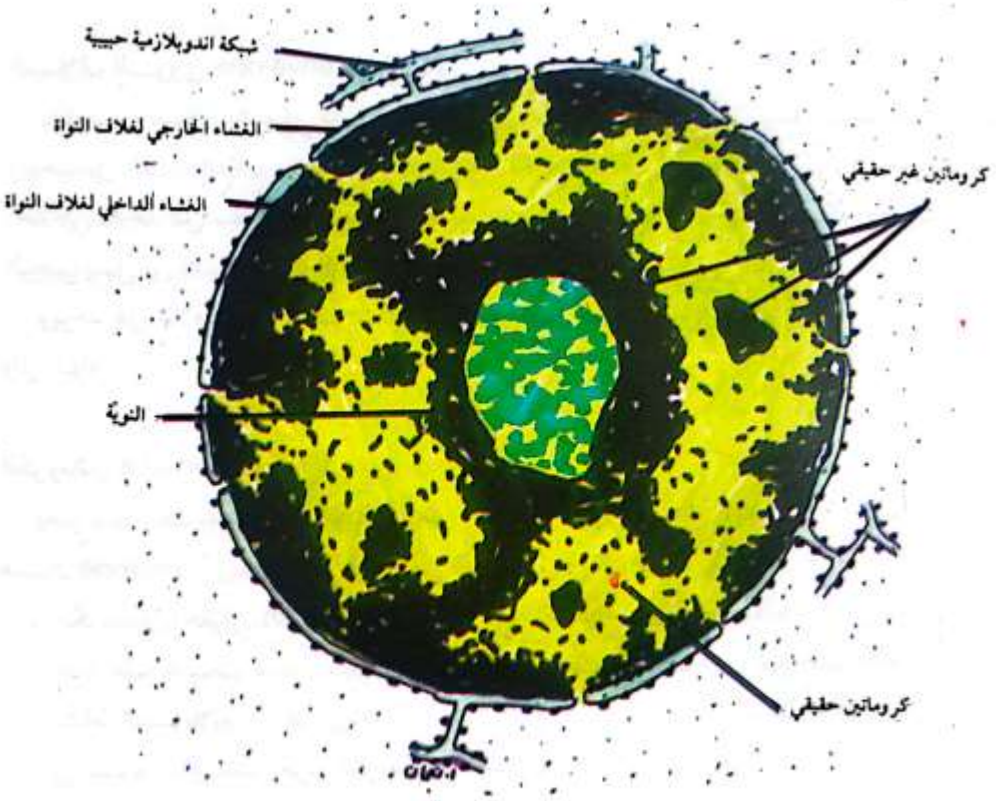
وهناك أنواع من الكروماتين غير الحقيقى هى :

١ ـ الكروماتين الحافى Peripheral chromatin ويلتصق بالغشاء الداخلى لغلاف النواة وهو السبب فى دكانة الغلاف فى التحضيرات المجهرية الضوئية. وهذا الكروماتين عبارة عن أجزاء ملتفة من الكروموسومات يتصل كل منها من خلالها بالغلاف النووى. وعند انقسام الخلية يصحب كل كروموسوم جزءاً صغيراً من الغلاف النووى معه ليكون مع الأجزاء الاخرى بداية تكوين الغلاف النووى الجديد.

٢ ـ الكروماتين الملاصق للنوية Nucleolar associated chromatin ويكوّن قشرة داكنة حول النوية ويمثل الجزء الملتف من الكروموسومات المختصة بتكوين النوية بعد الانقسام الخلوى والتى تسمى منظمات النوية Nucleolar organizers .

٣ ـ جزر الكروماتين Chromatin islands وهى كتل من الكروماتين الداكن الاصطباغ الذى يظهر واضحا بالمقارنة مع الكروماتين الحقيقى الباهت.

٤ ـ الكروماتين الجنسي (أجسام بار) Sex chromatin (Barr bodies) وتوجد واضحة فى أنوية خلايا الاناث حيث تمثل واحدا من الكروموسومات الجنسية الأنثوية (×) الذى يلتف على نفسه ليكون كتلة ملاصقة للغلاف النووى (شكل ٢٥).



شكل (٢٥) رسم تخطيطي للنواة كما ترى بالمجهر الالكتروني

النـــوية Nucleolus :

توجد نوية واحدة على الأقل فى معظم أنوية الخلايا. ولاتحاط النوية بغشاء ولكنها تحد بالكروماتين المحيط بها. وتتحلل النوية أثناء انقسام الخلية ثم تعود مرة أخرى للظهور فى الخلايا الجديدة. ويُصنّع فى النوية جزئى الريبوسومات.

وتظهر النوية تحت المجهر الالكترونى متكونة من :

أ ـ جزء وسطى ليفى متشابك يتكون من الأجزاء المنبسطة من كروموسومات النوية علاوة على بعض خيوط RNA.

ب ـ جزء حافى حبيبى يتكون من الحبيبات التى سوف تكون الريبوسومات.

الكروموســومات (الصبغيــات) Chromosomes

عندما تستعد الخلية للانقسام تبدأ الخيوط الكروماتينية للكروموسومات فى الالتفاف عدة مرات حتى يكون كل منهـا جسما قصيرا يمكن رؤيته بالمجهر الضوئى، وفى هذه الحالة فقط يمكن ان تسمى هذه الأجسام بالكروموسومات. وفى كل خلية من خلايا الجسم عدد ثابت من الكروموسومات لكل جنس من الكائنات. فخلايا جسم الانسان العادية يحتوى كل منها على ٤٦ كروموسوماً هى فى الواقع مجموعتان متماثلتان احداهما أتت من البــويضــة والأخــرى أتت من الحيوان المنـوى. وتسمى أى خلية تحتـوى على مجمـوعتـين من الكروموسومات خلية ثنائية Diploid cell أما الخلايا الجنسية فتحتوى على مجموعة واحدة نتيجة للانقسام الاختزالى ولذلك فهى تسمى خلايا أحادية Haploid cells .

ويزداد الاهتمام بدراسة تركيب الكروموسومات لأهميتها القصوى كحاملات للعوامل الوراثية وهى المهيمنة على جميع العمليات الحيوية للخلية. وتتخـذ الكـروموسومات أشكالا مختلفة فى مراحل الانقسام الخلوى المختلفة. فتكون خيطية فى المرحلة التمهيدية Prophase ثم تصبح سميكة فى المرحلة الاستوائية Metaph-ase ويظهر كل منها مكونا من كروماتيدين ملتصقين عند الحبيبة المركزية Centromere . وعندما تنفصل الكروماتيدات متجهة الى قطبى الخلية المتقابلين أثناء المرحلة الانفصالية Anaphase يكون الكروموسوم (الذى أصبح مفردا) ملتويا ويتخذ أشكالا تعتمد على وضع الحبيبة المركزية فيه والتى يتم شد الكروسوم منها. وتعود أخيرا الى الحالة الخيطية فى المرحلة النهائية Telophase للانقسام.

شكل (٢٦) اشكال الكروموسومات

ويتم دراسة الكروموسومات وهى فى المرحلة الاستوائية حيث تكون فى أوج وضوحها. ويمكن تقسيمها الى أربعة أنواع حسب مكان الحبيبة المركزية أو نقطة الشد هى :

١ ـ كروموسومات منتصفية Metacentric ch وتوجد نقطة الشد فى المنتصف تقريبا ويكون ذراعى الكروموسوم متساويين تقريبا ويظهر الكروموسوم على شكل (V) اثناء شده فى المرحلة الانفصالية.

٢ ـ كروموسومات قبل منتصفية .Submetacentric ch حيث توجد نقطة الشد أقرب الى أحد طرفى الكروسوم ويظهر الكروسوم على شكل (L) اثناء شده فى المرحلة الانفصالية.

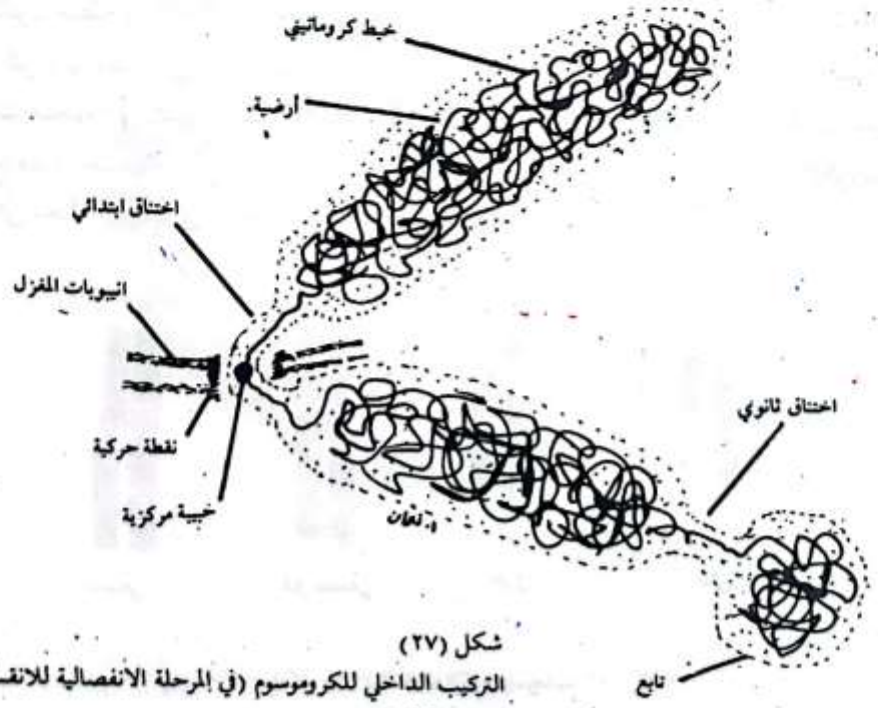
٣ ـ كروموسومات طرفية .Acrocentric ch وتوجد نقطة الشد عند أحد الأطراف حيث يكون شكل الكروموسوم المسحوب مستقيما مع وجود جزء طرفى صغير مستدير.

٤ ـ كروموسومات نهائية .Telocentric ch وتقع نقطة الشد فى آخرها (شكل ٢٢٦).

بعض صفات الكروموسومات :

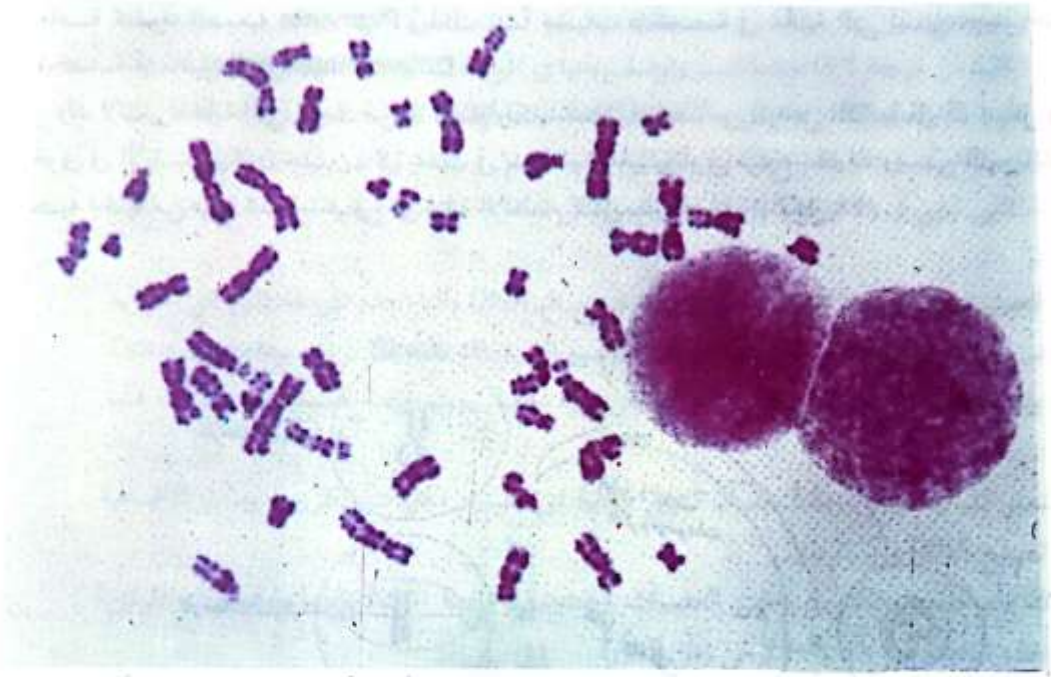
قد يكون من السهل وصف شكل الكروموسوم وتركيبه فى المرحلة الانفصالية لانه فى هذه الاثناء يكون فرديا. يوجد على الكروموسوم اختناق توجد فيه حبيبة مركزية على جانبيها منطقة داكنة هى نقطة الشد. وهذا هو الاختناق الابتدائى Primary constriction ، ويوجد فى نهايته جزء مستدير يسمى التابع Satellite الذى قد يكون ذا قطر مماثل أو غير مماثل لباقى أجزاء الكروموسوم. ويوجد اختناق ثانوي بين الكروموسوم والتابع.

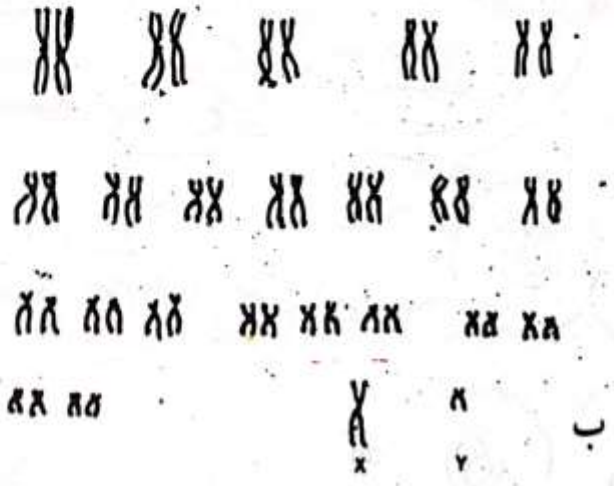
وتحيط بالكروموسوم وتخلله مادة كثيفة تسمى الأرضية Matrix ويوجد فيها الخيط الكروماتينى الملتف على نفسه والذى أصبح داكن الاصطباغ. وفى الاختناقين الابتدائى والثانوى يكون الخيط غير ملتف ولذلك فهذه المناطق لاتصطبغ وتكون لذلك باهتة (شكل ٢٧).



شكل (٢٧)
التركيب الداخلي للكروموسوم (في المرحلة الانفصالية للانقسام الخلوي)

والطريقة المثلى حتى الآن لدراسة الكروموسومات تسمى طباعة الكروموسومات Karyotyping ويكون ذلك بزراعة بعض الخلايا فى وسط مناسب واتاحة الفرصة لها حتى تبدأ فى الانقسام . ثم يضاف الى وسط المزرعة محلول مخفف من مادة الكولشيسين Colchicine التى تتسبب فى تحطيم مغزل الانقسام وتبقى الكروموسومات فى وسط الخلية دون أن تكمل الانقسام . يوضع على المزرعة ماء مقطر فتنتفخ الخلايا وتنفجر وتتبعثر الكروموسومات التى يتم تصويرها وطباعتها مكبرة ويقص كل منها ثم ترتب حسب أنواعها ثم تدرس . وهناك طرق عديدة لصباغة المناطق الوراثية المختلفة على طول الكروموسومات مما أضاف الكثير لعلم الخلية (شكل ٢٨) .





شكل (٢٨)

أ ـ طرز كروموسومي للانسان .

ب ـ رسم توضيحي لطرز كروموسومي لرجل، تظهر فيه ٢٢ زوجاً من الكروموسومات الجسمية علاوة على كروموسوم "Y" وآخر "X" .

دورة الخليـة Cell cycle

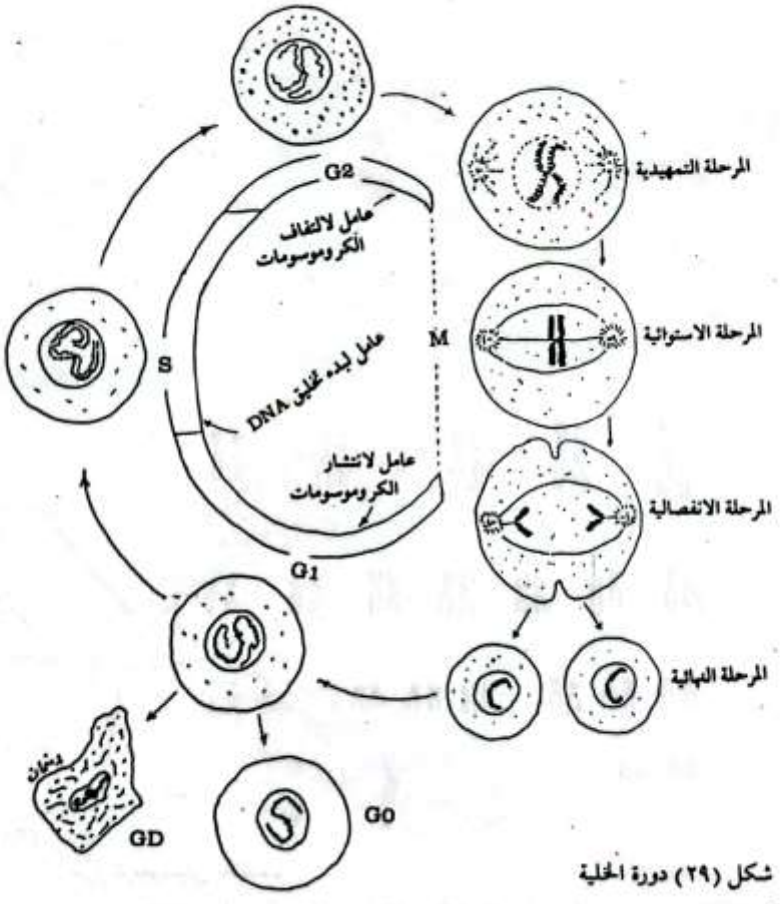
يوجد فى الجسم نوعان من الخلايا هما :

١ ـ خلايا جسمية Somatic cells وتكوّن جميع أنسجة الجسم ماعدا بعض خلايا المناسل Gonads .

٢ ـ النطف Gametes وهى البويضات وتوجد فى المبيض، والحيوانات المنوية وتوجد فى الخصية.

وتبدأ الخلايا الجسمية مشوار حياتها بعد الانقسام الخيطى Mitotic division وذلك بان تقوم بتكوين بروتينات خاصة متميزة عن تلك التى كانت موجودة فى الخلية الأم. وتتحول هذه البروتينات الى تراكيب خاصة (كالخيوط والحبيبات والانيبوبات والأغشية) أو تكون انزيمات تنشط تفاعلات معينة ينتج عنها مواد خاصـة كالمواد الصبغية Pigments وبذلك تنشأ عضيات متخصصة فى الخلية التى تسمى حينئذ خلية متخصصة أو متميزة Differentiated cell .

وقد لاتتميز الخلية التى نتجت من الانقسام ولكنها تدخل فى عدد من المراحل المتتابعة الى أن تدخل مرة أخرى فى الانقسام لتكون خليتين، كما يحدث فى بدء الحياة الجنينية أو فى مزارع الخلية. ويسمى الزمن الذى تقضيه الخلية من نهاية انقسام خيطى الى نهاية الانقسام التالى بدورة الخلية (شكل ٢٩).



شكل (٢٩) دورة الخلية

G1 مرحلة النمو الاولى، G0 مرحلة الانتظار، GD مرحلة التميز، S مرحلة التحليق، G2 مرحلة النمو الثانية، M مرحلة الانقسام

مراحل دورة الخلية :

١ ـ مرحلة النمو الأولى (G1) وهى المرحلة التى تلى الانقسام مباشرة. وقد أطلق عليها فى الماضى مرحلة الخمول الأولى Gap 1 اعتقادا بأن الخلية لاتقوم أثناءها بأى نشاط يذكر الا أنه تبين ان الخلية تقوم فى هذه المرحلة بتصنيع مواد سيتوبلازمية جديدة وخاصة المواد البروتينية ليزداد حجم الخلية ولذلك فان الاسم المعبر لهذه المرحلة هو مرحلة النمو Growth . وقد تطول هذه المرحلة أو تقصر حسب ظروف الخلية وقد تقف بعض الخلايا عند هذه المرحلة وتخرج من دورة الخلية وتبقى دون أى تغير. (وقد وصفت مثل هذه الخلايا بأنها فى مرحلة الانتظار Go) ولكن عند الحاجة تدخل هذه الخلايا مرة اخرى فى الدورة لتكمل باقى المراحل.

وقد تخرج الخلية من مرحلة G 1 عندما تتميز وتوصف بأنها فى المرحلة المتميزة G D وتبقى متميزة لفترات قد تطول حتى نهاية عمر الكائن (كما فى حالة الخلايا العصبية والخلايا العضلية الهيكلية) وقد تدخل الى دورة الخلية مرة أخرى فى ظروف خاصة لتكمل المراحل وتنقسم.

والخلية التى تبقى فى الدورة تكمل مرحلة النمو التى عادة ماتستغرق من ٣٠ الى ٤٠٪ من زمن الدورة.

٢ ـ مرحلة التصنيع Synthesis (S) ويقصد هنا تصنيع الـ DNA وأثناء هذه المرحلة يقوم كل جزىء DNA بتصنيع جزىء مماثل له وبذلك يصبح الكروموسوم المنفرد .Single ch كروموسوما مزدوجا Dou-ble ch. وتستغرق هذه المرحلة من ٣٠ الى ٥٠٪ من دورة الخلية . ويتم أيضا تصنيع الهستون أثناء هذه المرحلة.

٣ ـ مرحلة النمو الثانية (G2) وتبدأ بعد أن تنتهى الخلية من تصنيع مكونات الكروموسومات الاضافية (أى بعد تصنيع DNA والهستون).

وأثناء هذه المرحلة يتم تكوين بعض العضيات الجديدة وخاصة المايتوكوندريا والجسيمات المركزية وتستغرق هذه المرحلة من ١٠ ـ ٢٠٪ من زمن الدورة.

٤ ـ مرحلة الانقسام Mitosis (M) وفيها تقصر الكروموسومات وتسمك لتصبح واضحة وتترتب فى المنطقة الاستوائية للخلية، ثم ينشطر كل كروموسوم عند نقطة الشد الى نصفين متماثلين تماماً يذهب كل منهما إلى قطب من أقطاب السيتوبلازم مشدودا بواسطة أنيبوبات المغزل. وينقسم السيتوبلازم بعد ذلك ليتكون خليتين جديديتن بكل منهما نفس عدد الكروموسومات المفردة.

ويلاحظ أنه اثناء المراحل G1 , Go , GD تكون الكروموسومات مفردة بينما تكون فى المرحلتين S , G2 مزدوجة.

كما يلاحظ ان الخلية اذا بلغت نقطة معينة فى المرحلة G1 فانها تتم هذه المرحلة ويتحتم عليها بالضرورة اتمام دورة الخلية. واذا خرجت خلية من الدورة فانها تخرج قبل هذه النقطة.

الى مرحلة اكتمال النمو. وأطوار النمو الثلاثة هى :

١ ـ التكاثر الخلوى : Cell growth وهو الزيادة العددية للخلايا، وتكون فى المراحل الأولى دون زيادة فى الحجم وتنتج عن عملية الانقسام التفتتى ثم تزداد الخلايا فى الحجم. وإذا استمرت الخلايا فى الانقسام دون ضابط ودون أن تتشابك وترتبط مع بعضها يؤدى هذا التكاثر الى النمو السرطانى. ولذلك فعند حد معين يقل معدل انقسام بعض الخلايا ويرتبط بعضها مع بعض وتدخل فى الطور التالى.

٢ ـ التميز الخلوى Cell differentiation وهى العملية التى من خلالها تصبح الخلايا مختلفة عن سابقاتها وذلك بتكوين تراكيب ومواد خاصة دائمة فى الخلية تميزها تركيبيا ووظيفيا عن غيرها فتصبح مثلا خلية عصبية أو عضلية أو دموية . . . الخ. وهناك عاملان اساسيان يسببان هذا التميز هما :

أ ـ عامل داخلى يبدأ من تأثير السيتوبلازم على العوامل الوراثية فى النواة فتحوّل بعض أجزاء من الكروموسومات من الحالة الخاملة Heterochromatin الى الحالة النشطة Euchromatin وينشأ عن ذلك تكون بروتينات تركيبية وأنزيمات جديدة تغير من الخلية وتحولها الى خلية ذات تكوين ووظائف متميزة.

ب ـ عامل خارجى يحدث بفعل اختلاف الخلايا المحيطة وكمية الاكسيجين والغذاء المتاح لخلية ما مما ينتج عنه تأثير على السيتوبلازم ثم الكروماتين لينشط ويحدث التميز. وفى مراحل معينة من مراحل النمو الخلوى يكون للهرمونات تأثير مباشر على أنواع معينة من الخلايا وذلك عن طريق مستقبلات خاصة لهذه الهرمونات يكون بعضها على الغشاء الخلوى والبعض الآخر فى السيتوبلازم.

٣ ـ التكامل الخلوى Cell integration : إذا استمر التميز الخلوى بدون ضوابط نتج عن ذلك مسخا Monster غير متكامل الأنسجة والأعضاء. والتكامل هو العملية التى بها يحدث التجانس بين أعضاء وأجهزة الجسم فينمو كل منها الى حد معين ثم يقف وبذلك يتكون الكائن المتناسق المتجانس.

موت الخلايا Cell Death

الموت مصير كل شىء حى. والموت يفسح الطريق لاستمرار الحياة. فالله سبحانه وتعالى جعل الموت والحياة معا. ولو تصورنا الكرة الأرضية (عندما أوجد الله الحياة عليها) قد حُرمت من نعمة الموت، لما أمكن أن تستمر الحياة سوى لوقت قصير. ولكن الموت دائما يهيىء فرصا أفضل لاستمرار الحياة المتجددة الشباب والقوة.

وحياة الخلايا مثل حياة الأفراد محددة بزمن. ويتحكم فى طول وقصر عمر الخلايا عوامل عديدة، فلكل نوع من الخلايا فى الجسم عمر محدد فاذا جاء أجلها لاتتأخر وتموت. فالكرة الدموية الحمراء تعيش حوالى أربعة أشهر بينما تعيش زميلتها البيضاء أسبوعا أو أسبوعين فقط فى الوقت الذى تطول فيه حياة الخلايا العصبية والخلايا القلبية مادام الكائن حيا.

وتدخل الخلية فى مرحلة من الهَرَم Senescence قبل أن تموت لأسباب عديدة منها :

١ ـ أسباب داخلية : فى السيتوبلازم حيث تتغير خاصيته الغروانية لفقده بعض مائه وأيوناته، فتترسب البروتينات على هيئة خيوط تعطل وظائف السيتوبلازم وكذلك تتجمع مخلفات نشاط الخلية مما يعوق النشاط الأيضى والاحلالى للخلية فتموت.

٢ ـ أسباب خارجية : تنشأ فى الوسط الذى توجد فيه الخلية ، حيث يتغيرمحتوى السائل النسيجى نتيجة لتغير فى الدم . هذا وان قلة بعض الهرمونات الحافزة للنمو وكذلك الهرمونات الجنسية تؤثر على غشاء الخلية وعلى نفاذيته .

٣ ـ أسباب وراثية : فالجينات التى كانت نشطة فى تصنيع المواد الاحلالية اللازمة لتجديد شباب الخلية ، يقل نشاطها وبذلك تبطىء عملية التجديد والاحلال الى أن تتوقف وأول مايتأثر بذلك هو الغشاء الخارجى للخلية ثم العضيات الغشائية .

تبدأ الشيخوخة اذاً فى النواة ثم تنعكس على السيتوبلازم ، وتموت الخلية بعد أن تكون قد أدت وظائفها لتفسح المجال لخلايا جديدة نشطة تحل محلها فى مسيرة الحياة .