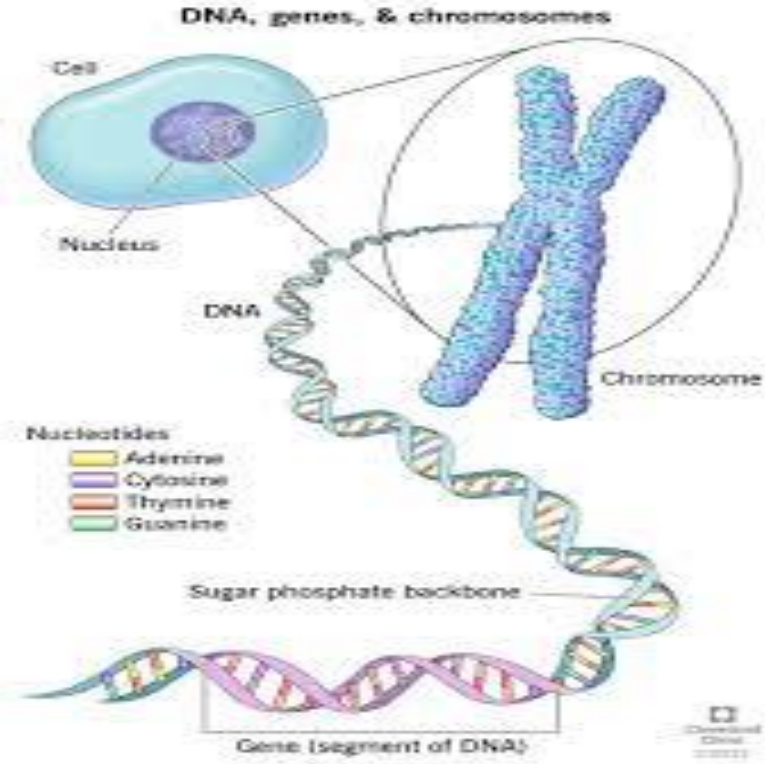
خلية و بيولوجيا جزيئية



للفرقة الأولي تربية عـــــام بيـــولـــوجي

كلية التربية بالغردقة(2023/2024)

إعداد/أ.م. د. زينـــب عبدالخالق أستاذ مساعد تخصص وراثـــة

رؤية الكلية

تسعي الكلية الي مساعدة الجامعة في تحقيق أهدافها الاستراتيجية من خلال أن تكون واحدة من الكليات المتميزة و المنافسة داخليا و خارجيا في التعليم و خدمة المجتمع و البحث العلمي من خلال تحقيق مستوي رفيع من الأداء و تقديم خريج متميز يقابل الاحتياجات المتعددة لسوق العمل المحلي و الخارجي.

رسالة الكلية

تهدف كلية التربية بالغردقة الي التميز من خلال :

- **اعداد المربين و المعلمين المتخصصين و القادة في مختلف التخصصات التربوية.**
- **تنمية القدرات المهنية و العلمية للعاملين في ميدان التربية و التعليم بتعريفهم بالاتجاهات التربوية الحديثة.**
- **اجراء البحوث و الدراسات في التخصصات التربوية المختلفة بالكلية.**
- **نشرالفكر التربوي الحديث و اسهاماته لحل مشكلات البيئة و المجتمع.**
- **تبادل الخبرات و المعلومات مع الهيئات و المؤسسات التعليمية و الثقافية.**
- **تنمية جوانب شخصية الطلاب و رعاية الموهوبين و المبدعين.**

الفهرس

الموضوع	الصفحـــة
مقدمـــة	1
نبذة تاريخية عن الخلية	2
الأجهزة المستخدمة في دراسة الخلايا	6
المجهر الضوئي المركب	9
المجهر الالكتروني	11
أشكال و أحجام الخلايا	16
الخلايا حقيقية النواة و بدائية النواة	20
التركيب الكيميائي للخلية	28
تركيب الخلية	35
الغشاء البلازمي	35
انتقال المواد خلال أغشية الخلايا	39
عضيات الخلية	45
النـــواه	84
الكروموسومات	90
تضاعف الجزئ النووي ال DNA	93
استنساخ ال RNA	102
الانقسام الخلوي	108
المراجع	118

الخـــليـــــة

THE CELL

مقدمة :

تعتبر الخلية هي الوحدة التركيبيه والوظيفية في الانظمة الحية . وقد تم البحث عن ماهية الخلايا وتركيبها منذ مدة طويلة حتى نشأ فرع علم الخلية Cytology . يعود الفضل في نشوء هذا العلم الى عدد من فروع المعرفة الاخرى وعلى الاخص علوم الكيمياء والفيزياء البصرية والفسلجة والاجنة والتشريح وغيرها .. وأدى ذلك إلى وجود علاقات وطيده لهذا الفرع مع هذه العلوم وعلوم أخرى حتى أصبح اليوم أحد أعمدة البيولوجيا الجزيئية التي ظهرت حديثاً والتي ساهم علم الخلية كثيراً في ظهوره كفرع من فروع علوم الحياة.

كما أن لعلم الخلية علاقة وثيقة جداً بعلم الوراثة وعلم الفسلجة ذلك أن الاول يهتم بالآليات وما اليها من أنزيمات التي لها علاقة في أنقسام الخلايا وكيفية أنتقال المواد الوراثية إلى الأجيال الجديده من الخلايا فيما يهتم العلم الثاني بالفعاليات الحيوية التي تتم داخل الخلايا ويوضح من خلالها الاهميه الوظيفية لأجزاء الخلية والآليات التي تتم لقيام الخلايا بالتغذية والتكاثر والنمو وغيرها .ولا يزال يعتبر علم الخلية الركن الرئيسي في أبحاث السرطان ومحاولة معرفة الأسباب التي تعمل على تحويل الخلايا الطبيعية إلى خلايا سرطانية واكتشاف اليات التسرطن وربما العلاج.

لذلك فان لهذا العلم أهمية كبيره في نواحي الحياة الطبيعية والصناعية والزراعية .

نبذة تاريخية عن ظهور علم الخلية :

يعتبر علم الخلية من الفروع الاصيلة في علوم الحياة وظهر كفرع مميز ومستقل في نهاية القرن التاسع عشر . ويعود الفضل في ظهوره كعلم الى اكتشاف العدسات وتطويرها لبناء المجاهر المختلفة.

استخدم مصطلح خلية Cell أول مرة من قبل روبرت هوك عندما وصف التركيبات المضلعة التي تشكل نسيج الفلين عام 1665 ميلادية بأستخدام عدسات مكبره قام بصنعها بنفسه. لم يستطع هوك رؤية خلايا حية بل أن ما رأه هو حجيرات مضلعه محاطه بجدران سميكة . وقد أعيد وصف الملاحظات السابقه التي وضعها هوك من قبل جرو ومالبيجي بعد عدة سنوات عندما فحصوا خلايا نباتية مختلفة وقد وجدو بأن ما تم وصفه سابقاً لم يكن سوى الفراغ المحاط بالسليلوز الخلايا نباتية وأطلقوا على هذه الفراغات بالحويصلات Vesicles أو Utricles وخلال نفس القرن قام ليفنهوك (1674) بفحص قطرات من الماء أضافة الخلايا دموية ووجد بأن الفرغ الذي تم وصفه سابقاً لصورة الخلايا غير مطابق للحقيقه حيث وصف خلايا حره تحتوي بداخلها على عدد من الاجسام المختلفة. وخلال قرن من ذلك الزمان تقدمت المعلومات حول الخلية كثيراً . ففي عام 1839 وضعت نظرية الخلية التي نصت على أن جميع الكائنات الحية مؤلفة من خلايا ومنتجاتها وذلك من قبل عالم النبات شلايدن Schleiden وشوان Schwann عالم الحيوان . استندت نظرية الخلية الى العديد من الملاحظات العلمية التي وردت قبل ذلك من ضمنها

ملاحظات العلماء ميربل Mirbel 1802 وأوكين , Oken 1805 ولا مارك Lamrk 1809 و دتروثت Dutrochet. 1824 وتورين 1826 Turpin, وبروان Brown.1831 وغيرهم

كان لنظرية الخلية تأثير واسع على عدد كبير من فروع المعرفة الحياتية حيث تضمنت هذه النظرية أن كل خلية تنشأ من أنقسام خلية سابقة لها . لقد دفعت الحقائق التي تضمنتها نظرية الخلية العلماء لتكثيف دراساتهم وأبحاثهم ففي عام 1846 قام الباحثون دور جاردن و شولتز و بركنجي وقوت مول ، Van Mohl Dujardin, Schulteae. Purkinji بوصف احد مكونات الخليه وسمي بالبروتوبلازم وهو الجزء الذي يحيط بالنواة التي وصفها براون عام 1831.

في عام 1855 قام عالم الانسجه المرضيه فيرشو Virchow وعالم الاجنة Kolliker بتوضيح أن الكائن يتطور من التحام خليتين هما الحيوان المنوي والبويضة من خلال عملية سميت بالأخصاب.

وخلال الفترة الممتده من 1855 حتى 1875 تمكن ريماك Remak وفلمنك Flemming وسترسبورغ Strasburger من وصف الانقسام المباشر Amitosis في الحيوان والنبات وخلال سنتين بعد ذلك قام شيلشر [1878] Schleicher وفلمنك (1880) يوصف الانقسام غير المباشر Mitosis أو Karyokinesis . وفي عام 1890 وصف ولدور Waldeyer الكروموسومات وشرح أهميتها في الانقسام وتوزيعها فيه

بشكل متساوي على الخلايا الناتجه عنه . ثم تلى ذلك اكتشاف الاشعة المغزليه من قبل فان بندن Van Benden وبوفيري Boveri والمايتوكوندريا من قبل التمان Altmann وبندا Benda عام 1890

و بظهور علم الخليه بشكل واضح ومع تطور الادوات والاجهزه وطرق البحث تمكن العلماء من وصف العديد من مظاهر الحياة داخل الخلية . ففي عام 1895 قام أوفرتون Overton بوصف الغشاء البلازمي للخلايا ووضع تصورا بدائيا عن تركيبه المفترض . كما اكتشفت أجسام كولجي عام 1898 ووضعت عدة تصاميم مفترضة للغشاء البلازمي اعتماداً على التحليل الكيميائي لهذا الغشاء من قبل كولتدر وبارلوند عام 1933 وجورتنر وجريندل عام 1925 ودانيللي وهار في عام 1935 . وفي عام 1943 عزلت العضيات السايتوبلازمية بأستخدام الطرد المركزي وقدم المجهر الالكتروني الكثير من العون في التعرف ووصف تركيب الكثير من الأجزاء الخلويه . وأعتبر قدوم المجهر الالكتروني ثوره في المعلومات الجزيئيه عن الخلايا وعن دورها في الانسجة والاعضاء واكتشاف الكثير من الوظائف الخلويه التي تقوم بها ..

ومن خلال العمل الدؤوب لعدد كبير من علماء وباحثي العالم أصبح معروفاً لدينا الان كيف تنقسم الخلايا وتوفرت لدينا جميع التفاصيل التي يتم خلالها توزيع الكروموسومات وانفصال أزواجها كما توفرت المعلومات الكامله عن الانقسام الاختزالي الذي يحصل للخلايا الجنسية . كما تمكن علماء الكيمياء من عزل المكونات الكيمياء لمعظم أجزاء

الخلية ودرست بشكل واسع ومتطور كما قدمت المعلومات التي وفروها من خلال هذه الابحاث العون الكبير في معرفة آليات الايض في العديد من أجزاء الخليه كوظائف الاغشيه الخلويه والميتوكوندريا والبلاستيدات والاجسام الحاله وغيرها . وكذلك توفرت لدينا معرفه شبه كامله عن دور الانزيمات في أيض الخليه وبناء البروتينات وتضاعف المادة الوراثيه DNA وغير ذلك الكثير.

الأجهزة المستخدمة في دراسة الخلية
Instruments (Microscopes)

مقدمـــــة :

لقد ظهر وتطور علم الخلية نتيجة لتطور فروع أخرى من العلوم وخصوصاً الكيمياء والفيزياء البصرية فقد ساهم علم الفيزياء البصرية في تطوير المجاهر وأصبح ندينا الآن يفضل هذا التطور أنواع مختلفة من المجاهر وصلت قوة تكبير بعضها إلى حد أشبه بالخيال لمقد وفرت هذه المجاهر صوراً لمكونات الخلية بغاية الدقة والوضوح ساهمت كثيراً في مساعدتنا على فهم تركيب ووظائف هذه المكونات وأضافة للفيزياء البصرية فأن علم الكيمياء وخصوصاً الكيمياء العضويه والتحليليه والحياتية ساعدت على معرفة التركيب الكيميائي الدقيق لمؤلفات التراكيب الخلوية كما ساهمت كثيراً في الكشف عن وظائفها وأهميتها البايولوجية ويعود الفضل في معرفة نسب المواد العضوية وتفاصيل ترتيبها وأهميتها البايولوجية في الخلايا وكذلك تحديد دورة العناصر في الخليه وفهم الانقسامات ودور الكروموسومات وغيرها إلى علم الكيمياء ولولا هذا الترابط بين علم الخلية وهذه العلوم وغيرها لما تقدمت المعرفة لتصل إلى ما وصلت اليه الآن .

المجاهر Microscopes

ان العين البشرية لا تمتلك كفاءة كبيره في رؤية الأشياء الدقيقة وهناك من العيون الحيوانية ما هو أفضل وأقوى بكثير منها أن حدود رؤية الاجسام بالنسبة للعين البشرية محدود جداً حتى أننا لا تستطيع رؤية الكثير من الاشياء التي نعرف بوجودها وتقع أغلب أحجام الخلايا خارج قدرة بصرنا على مشاهدتها كما أننا لا نستطيع تمييز جسمين منفصلين عن بعضهما بمسافة أقل من 5.1 ملليميتر (100) مايكروميتر) وتراهما على أنهما جسماً واحداً .

لذلك فأنه أصبح من الضروري وجود المعدات اللازمة لمساعدة العين في رؤية الاشياء الدقيقه، ويعتبر ظهور المجاهر ثورة لانها سمحت لنا في رؤية عالم لم تستطع أن تراه سابقاً ، ويتوفر لدى الباحثين الان عدة أنواع من المجاهر منها ما هو بسيط ومنها ما هو معقد جداً حتى أننا اليوم نستطيع من خلالها تمييز ذرات تفصل بينها مسافات لا تزيد عن 0.2 نانوميتر ، تختلف القدرة التمييزية للمجاهر ويعتمد ذلك في جميع الاحوال على الطول الموجي لمصدر الضوء المستخدم في المجهر وعلى النفاذية العددية للعدسات الشيئية وتتناسب القدره التمييزيه للمجهر عكسياً مع الطول الموجي لمصدر الاضاءة حيث تزداد القوة باستخدام مصادر أضاءة ذات طول موجي أقصر ، لذلك فأن القدرة التمييزيه للمجهر الضوئي الاعتيادي تصل الى حوالي 0.2 مايكروميتر (200

نانوميتر) بينما تصل الى 0.1 مايكروميتر عند استخدام الاشعة فوق البنفسجية .

ان أستخدام مصادر ضوئية بأطوال موجية قصيرة يؤدي الى عدد من المشاكل أهمها عتامة العدسات الزجاجية لذلك فأنه تستخدم أنواع أخرى من العدسات مثل عدسات الكوارتز وغيرها، وفي جميع الاحوال فأن هذه المجاهر تعمل على تكبير الاجسام الى حوالي 500 مره اكثر مما تراه العين البشرية ، ويمكن من خلالها مشاهدة النواة والنويه والمايتوكوندريا .

ومع ذلك فأن هناك بعض التراكيب خلويه لا يمكن رؤيتها تحت هذه المجاهر بوضوح كما هو الحال في الريبوسومات . كما لا يمكن معرفة التراكيب الجزيئيه لمعظم مكونات الخلايا لذلك فأن المجهر الالكتروني الذي يعمل على تكبير الاجسام الى اكثر من 100,000 مرة أكثر مما تراه العين يعتبر مناسباً لدراسة مثل هذه التفاصيل .

أن المبادئ الاساسية الجميع أنواع المجاهر واحدة سوى كان مصدر الاضاءة ضوء أو أشعه أو الكترونات فالنموذج أو العينه تضاء بمصدر الاضاءه وباستخدام عدسه مكثفة تعمل على تسليط أضاءة متجانسة على النموذج . كما أن جميع المجاهر ذات عدسات شيئيه لتكبير صورة العينة وعدسات عينية تعمل على تكبير صورة النموذج أو العينه المتكونه من العدسات الشيئية وتفحص بالعين أو يتم التقاطها على لوح حساس فوتوغرافي أو شاشة اليكترونية .

وسترد هنا أنواع المجاهر التي تستخدم في دراسة الخليه ومكوناتها ..

المجهر الضوئي المركب Light Compound Microscope

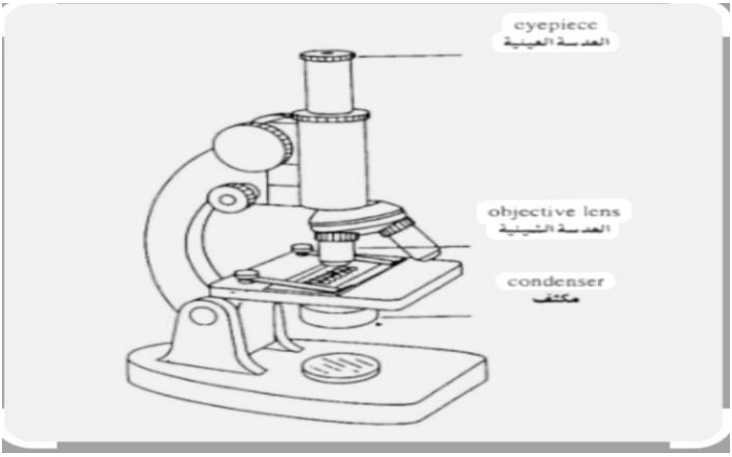
يتألف هذا المجهر من أنبوبة تستقر فيها العدسة العينية Ocular وترتبط من الاسفل مع قرص دائري متحرك يحمل عدداً من العدسات الشيئية Objectives تختلف في قوة تكبيرها وتتراوح بين 2 - 100x. يوجد في هذا المجهر مسرح stage لتثبيت شريحة النماذج ويرتبط هذا مع نوابض تعمل على تنظيم المسافة بين النموذج والعدسات الشيئية ويضاء النموذج عن طريق مصباح كهربائي يقع أسفل المسرح ويعلوه مكثف يعمل على اسقاط الاشعة الضوئية على هيئه حزمه على العينة.

لقد تم تطوير هذا المجهر مراراً وتمتلك الآن عددا من المجاهر المحوره من المجهر الضوئي منها مجهر الحقل المظلم . Darkfield الذي يتم فيه اسقاط الاضاءه بشكل مائل على النموذج بحيث تظهر العينه مضيئة ومحاطه بحقل مظلم والمجهر متباين الاطوار Phase contrast الذي يميز أجزاء العينه من خلال الاختلاف في طور الاشعاع المخترق أو المنكسر من أجزاء العينة. يتميز هذا النوع من المجاهر بوجود صفيحة انكسار مركبة للاشعة تقع في العدسة الشيئية لزيادة التباين بحيث تظهر أجزاء العينه متباينة الأضاءة .

كما تم تطوير أنواع أخرى من المجاهر مثل مجهر الاستقطاب Polarization M الذي يعتمد على الضوء المستقطب مع وجود

مناشير لتحليل الاشعاعات المنعكسه من العينه وتوجيهها نحو العدسات الشيئيه والمجهر الفلورسيتي Fluorescence M الذي يعتمد على أسقاط الاشعه فوق البنفسجيه من الاعلى على العينه وتحليل التألق الطبقي للاجزاء المتألقه من العينة.

أن الكثير من التفاصيل الدقيقة لمكونات الخليه مثل الريبوسومات وتركيب. الاغشية وتركيب العضيات وغيرها لا يمكن رؤيتها بالمجهر الضوئي المركب أو المجاهر المطورة عنه لان هذه الاجزاء تقع خارج قدره هذه المجاهر بسبب صغرها المتناهي لذلك فأن المجهر الالكتروني الذي يعمل على تكبير الأشياء إلى ما بين 100,000 250,000 مره هو أفضل المجاهر التي تساعدنا في دراسة الاشياء المتناهية الدقة..



المجهر الالكتروني Electronic Microscope :

يتمييز المجهر الالكتروني بقوه تمييزيه عاليه جداً تصل الى حوالي 0.002 نانوميتر نتيجة لاستخدام مصدر أضاءة يعتمد على الالكترونات التي لها طول موجي قصير جداً (0.004 نانوميتر) .

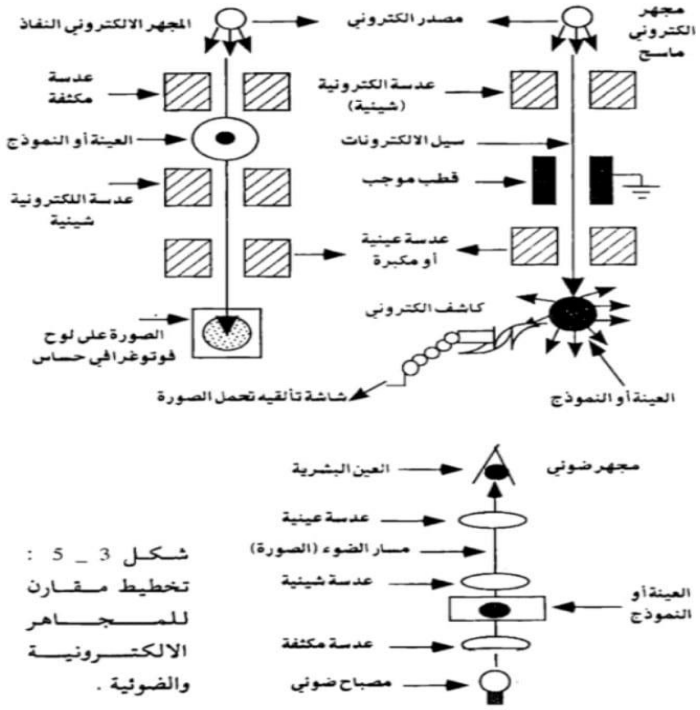
يترتب المجهر الالكتروني بطريقه معاكسة لترتيب أجزاء المجهر الضوئي حيث يكون مصدر الأضاءة فيه الى الاعلى تليها العدسات وقد يقع موضع النموذج بين العدسات كما هو الحال في المجهر الالكتروني النفاذ . Transmission E، M أو في الاسفل كما هو الحال في المجهر الالكتروني الماسح .Scanning

يتألف مصدر الاضاءة في المجهر الالكتروني أما من خيط تنكستن أو قطب سالب (كاثود) مرتبط بمصدر فائق للفولتيه تصل الى حوالي 100 كيلو فولت (100,000 فولت) يعمل التيار الكهربائي العالي على تهيج مصدر الاضاءة بشده كبيره مما يؤدي الى قذف سيل مستمر من الالكترونات يمر عبر أسطوانه عمودية يبلغ طولها حوالي 2 متر تترتب فيها العدسات أضافة لاجزاء أخرى أن الطول الموجي للالكترونات قصير جداً لذلك فأنها لا تستطيع قطع مسافات طويلة خصوصاً بوجود الهواء لهذا فأنه يتم تفريغ الأسطوانه العمودية من الهواء للسماح للالكترونات بالهجره بحرية دون الاصطدام بجزيئات الهواء ولأجل زيادة تسريع الالكترونات عبر الاسطوانه فأنه يوضع قطب موجب داخل الاسطوانه ذو فتحه دقيقه تسمح لسيل الإلكترونات بالنفاذ نحو الاسفل بأتجاه العدسات

الكهرومغناطيسية مصطدماً أو مخترقاً العينة . أن العدسات المستخدمة في المجهر الالكتروني هي ليست عدسات زجاجيه أو مصنوعه من الكوارتز بل أنها ملفات كهربائية ذات صفيحه مثقبه من المعدن ويتم

ترتبط الملفات الكهربائيه (العدسة الالكترونيه) بتيار كهربائي وعندما يسري التيار فأنه يتولد مجال مغناطيسي يكون عمودياً على مسار سيل الالكترونات المار عبر لقب العدسة الالكترونيه . وعن طريق تنظيم ضابط العدسه فأنه يتم تكوين صوره مكبره للعينه تمرر الى العدسة العينية في الاسفل لتقوم بزيادة تكبيرها وأسقاطها على لوح فوتوغرافي أو شاشة متألقة .

ويذكر بأن للمجاهر الالكترونيه عادة عدستان شيئيتان لزيادة قوة التكبير أضافة للعدسة العينية أو ما تدعى بالعدسه المكبره Projector



شكل 3 _ 5 : تخطيط مقارن للمجاهر الالكترونية والضوئية .

يتم تنظيم وضوح الصوره في المجهر الالكتروني عن طريق ضبط العدسة عينيه (وهي العدسه المتحركه الوحيده في المجهر الالكتروني) أضافة لضبط بعد البؤري للعدسات الشيئية الالكترونيه الثابته . ينظم البعد البؤري للعدسة العينية للمجهر الالكتروني عن طريق ضابط خاص مشابه لضابط العدسات في المجهر الضوئي . أما تنظيم البعد سؤري للعدسات الشيئيه الالكترونيه فيتم عن طريق تغيير قوة التيارالكهربائي المار في ملفات العدسات .

ونظراً لصعوبة ضبط هذه العدسات فأنه يرتبط مع المجهر الالكتروني مجهر ذو عدستين عينية يتم من خلاله تبشير العدسات بشكل دقيق عن طريق مشاهده الصوره على الشاشه المتألقة للمجهر الالكتروني .

تنشأ الصوره في المجهر الالكتروني نتيجة لتبعثر الالكترونات بعد أصطدامها بجزيئات العينه. فأذا كانت جزيئات موقع معين من العينه ذات كثافة عاليه فأن الالكترونات المصطدمه بها ستتشتت بقوه بحيث لا تمر خلال فتحه العدسه ونتيجة لفقدان هذه الالكترونات فأن هذا الموقع يظهر داكنا على الشاشة المتألقه . أما الاجزاء الشفافة أو الاقل كثافة في العينه فأنها تشتت الالكترونات بطريقة مرتبه تسمح بمرورها عبر العدسه مما يشكل لها موقعاً فاتحاً على الشاشة. ويمكن زيادة التباين في الصوره الناتجه عن طريق معاملة العينه بأملاح المعادن الثقيله (الاصباغ الالكترونيه) .

الفروق بين المجهر الضوئي والمجهر الالكتروني : هناك عدة فروق بين هذين النوعين من المجاهر وسنتطرق هنا أهم الاختلافات الجوهرية بينهما وهي : أولاً : . مصدر الاضاءة في المجهر الضوئي هو الضوء الاعتيادي لذلك فأن قوته التمييزيه منخفضه ولا تستطيع رؤية الاشياء التي يقل حجمها عن 100 نانومتر كالفايروسات والاجزاء الدقيقه لمكونات الخلايا بينما يعتمد المجهر الالكتروني على مصدر أضاءة الكتروني (بندقية الألكترون Electron gun) يعمل على قذف سيل من الالكترونات بعد أمرار تيار كهربائي فيه عالي الفولتية ونظراً لكون الطول الموجي للالكترونات قصير جداً لذلك فأن القدره التمييزيه للمجهر

الالكتروني تكون عالية بحيث تتمكن من تمييز الاجزاء الدقيقه التي يزيد حجمها قليلاً عن واحد مايكرون .

ثانياً : يتم تكبير صورة العينية في المجهر الضوئي عن طريق عدسات زجاجيه أو كوارتزيه بينما تستخدم العدسات الالكترونية المؤلفه من ملف كهربائي وقرص أو أقراص ذات فتحات دقيقه مختلفة الحجم (25 - 100 مايكروميتر في القطر) مرتبطه مع تيار كهربائي ونتيجة لكفاءة العدسات الالكترونيه العاليه فأنها قادرة على تكبير صورة العينه الى حوالي 250.000 مرة مقارنة مع 500 مره في عدسات المجهر الضوئي .

ثالثاً : تفحص الصور الناشئة عن المجهر الضوئي بالعين المجردة عن طريق النظر خلال العدسات العينيه العلوية ، الا أن العين البشرية ليست حساسة للالكترونات لذلك فأن الصوره المتكونه للنموذج يتم اسقاطها على لوح فوتوغرافي حساس للالكترونات أو شاشه متألقة . يعتمد وضوح الصوره في المجهر الالكتروني على عدد الالكترونات الساقطه على اللوح أو الشاشه في كل موقع من مواقع العينه فيما يعتمد وضوح الصوره في المجهر الضوئي على كثافة الضوء المخترق أو المنكسر عن العينة .

رابعاً : لا يمثل وجود الهواء في أنابيب عدسات المجهر الضوئي أية مشكلة بينما يعمل وجوده على أعاقة حركة الالكترونات في اسطوانه المجهر الالكتروني مما يوجب تفريغها من الهواء أولاً قبل فحص العينة .

أشكال وأحجام الخلايا :

يختلف حجم وشكل الخلايا في الاحياء كثيراً ، ويصل الاختلاف إلى أعمقه عندما نجد أن هناك الالاف من أشكال وأنواع واحجام الخلايا في الكائن الواحد الناشي أصلاً من خلية واحده .

ويبدو بأن هذا الاختلاف في حجم وشكل الخلايا يعود لاسباب مهمه مثل الوظيفه والعمر وموقع الخلايا وتطورها الجنيني بشكل عام يتراوح حجم الخلايا ما بين 10 الى 1000 مايكروميتر ويزيد عن ذلك كثيراً في بيوض الطيور وغيرها .

تعتبر الوظيفه ذات أهمية كبيره في تحديد حجم وشكل الخليه وقد وجد بأن الخلايا المتشابهة وظيفيا لها نفس الحجم ولكنها تختلف في الشكل فالخلايا الجلديه السطحيه تكون مسطحه لتخدم الخليه في أداء وظيفتها في حماية الاجزاء الداخلية ويزداد تبعاً لذلك مساحتها السطحيه على حساب الحجم العميق لها ، كما تتميز الخلايا الكأسيه في بطانه الامعاء الدقيقه وبطانه القصبة الهوائيه بشكلها الخاص وحجمها الخاص الذي يساعدها على افراز المواد المخاطيه لتسهيل الانزلاق وترطيب الاجزاء الموجوده فيها اضافة للمساعده في تخمر بعض المواد.

أما كريات الدم الحمراء فتتميز بشكلها القرصي او البيضوي الخاص الذي يساعدها في المرور حتى عبر الاوعيه الدمويه الضيقه جداً والتي يصبح قطرها حتى أقل من قطر كريات الدم نفسها . لقد وجدت الدراسات

الكيميائية لكريات الدم الحمراء بأن وجودها في هذا الشكل والحجم يساهم كثيراً في زيادة كفاءة نقل الغازات بحيث يساعدها شكلها الخاص وحجمها على نقل أكبر ما يمكن نقله من الغازات ويعود ذلك في طبيعة الحال الى التنظيم الخاص لبروتين الهيموغلوبين از ان حصول ضرر أو تلف في الهيموغلوبين يؤدي إلى تغيير في شكل الخلايا وحجمها . فالخلايا الدمويه المنجليه الناشئه عن تشوه في الهيموغلوبين بسبب الطفرات الوراثيه تفقد الشكل والحجم الطبيعي وتفقد تبعاً لذلك الكثير من

كفاءتها في نقل الغازات . كما تظهر الخلايا العصبيه أشكالا وحجوما خاصة تساهم كثيراً في أداءها لوظيفة نقل الرسائل العصبيه . فالخلايا العصبيه تتميز بسعة حجمها ووجود زوائد كثيره بارزه من جسم الخليه اضافة لوجود نتوء بارز طويل يرتبط مع خلايا عصبيه أخرى تقع بعيدا في موقع آخر، فالخلية العصبيه بهذا الشكل والحجم تستطيع نقل الالاف من الرسائل العصبيه وتستطيع من خلال زوائدها الشجريه أن ترتبط مع الآلاف من محاور الخلايا العصبية الأخرى.

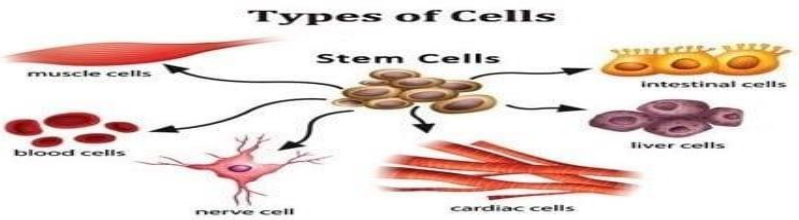
كما تستطيع أيضا من خلال محورها نقل هذه جميعا إلى خلية أخرى في نفس الموقع أو بعيداً عنه. ولو تصورنا عدم وجود الزوائد الشجريه في الخليـه العصبية وبدلاً من ذلك توجد زائده واحده فقط فأن هذه الخليه لا تستطيع الاتصال سوى مع خليه واحدة فقط ويمكن تصور التغيير الكبير الذي سيحصل في ورود الرسائل العصبيه وسرعتها ولا يقتصر الشكل النجمي على الخلايا العصبيه بل يمكن مشاهدته في الخلايا العظميه والخلايا الصبغية . ونظراً لوجود الخلايا العظمية في بيئة صلبه لذلك

فأنها طورت نفسها لتستطيع تبادل المواد الغذائية مع الخلايا المحيطه وتبعاً لنظام التفرعات الذي تتزود به الخلايا العظميه فأن المواد الغذائيه والغازات والفضلات تنتقل وتتحرك من مواقع العظم المختلفه عبر قنيات الخلايا العظمية كما تعتبر الخلايا الخازنة مثل الخلايا الدهنية والبيوض من اكبر الخلايا حجما ويعود ذلك لوجود الكثير من المواد الغذائيه المخزنه في هذه الخلايا . كما يتغير شكل وحجم بعض الخلايا بسبب الوظيفة أيضاً فالخلايا المبطنه للمثانه على سبيل المثال ذات شكل وحجم متغير تبعاً لوجود البول في المثانه . اذ تنضغط خلايا النسيج الانتقالي عند امتلاء المثانه بالبول وتتحول هذه الخلايا الى خلايا صغيره الحجم منضغطه لا تلبث أن تتمدد بأشكال وأحجام مختلفه عن فراغ المثانه وقد يصل حجمها في حاله التمدد الى اكثر من ثلاثة أمثال حجمها في حالة الانضغاط . كما تتغير أشكال وأحجام خلايا مختلفة أخرى كما هو الحال في بعض الخلايا الدموية البيضاء والتي تتحرك بنفس الطريقة التي تتحرك فيها الاميبا حيث يتغير شكل الخلايا هذه وحجمها بتغير توزيع السايتوبلازم وحركته داخل الخلايا.

وهكذا فأن الشكل المغزلي للعضلات الملساء والشكل الاسطواني للعضلات الهيكلية والقلبيه والمغزلي المذيل للحيوانات المنويه والخلايا المهدية في بطانه القصبه الهوائيه والامعاء وقنوات المبايض وغيرها من أشكال الخلايا تخدم وظيفة هذه الخلايا. وقد لاحظنا مما سبق أن بعض الخلايا تتكيف بأشكال متباينه خدمة للوظيفة كما هو الحال في خليه الاميبا وخلايا الدم البيضاء بينما تبقى خلايا أخرى على شكلها العام

ولا تتغير بسبب ثبات وظيفتها كما هو الحال في الخلايا العصبيه والخلايا العضليه وغيرها.

وعلى الرغم من أن عامل الوظيفة ذو أهمية بالغة في تحديد حجم وشكل الخلايا الا ان هناك عوامل أخرى تلعب دوراً إضافياً في ذلك . فالخلايا الجنينية تكون صغيرة الحجم وكذلك الحال في الخلايا الناتجه عن الانقسامات الخلويه المختلفة مقارنة مع حجومها في مرحلة البلوغ ويبدو بأن هناك علاقة مابين حجم السايتوبلازم في الخلايا والحجم السطحي لها وتظهر هذه العلاقه واضحه في المثال السابق ، فالخلايا المنقسمه تتقاسم سيتوبلازمها مع الخلايا الجديده وهكذا تحصل هذه الخلايا على كمية قليلة من السايتوبلازم يساعدها على إتمام نموها ثم زيادته ذلك زيادة في حجمها .



الخلايا حقيقية النواة والبدائية النواة Eukaryotes & Prokaryotes

أن معظم الخلايا التي درست بشكل تفصيلي تحتوي غالباً على نواة و سايتوبلازم كما هو الحال في الخلايا الحيوانيه والنباليه الا أن هناك خلايا أخرى. تفتقد لوجود نواة مميزه واضحه في سايتوبلازمها كما هو الحال في البكتيريا والطحالب الزرقاء المخضرة . سميت الخلايا التي تحتوي على نواة مميزه وواضحه و محاطه بغلاف خاص بها بالخلايا حقيقية النواة بينما تسمى الخلايا التي تفتقد الوجود النواة وتنتشر مادتها الوراثيه في السايتوبلازم دون غشاء بالاحياء بدائيةالنواة .

ولأجل توضيح الفروق الأخرى بين هاتين المجموعتين من الخلايا ستأخذ الخليه الحيوانية كمثال للمجموعه الاولى والخليه البكتيريه كمثال للمجموعة الثانية

التركيب العام للخلية الحقيقية النواة :

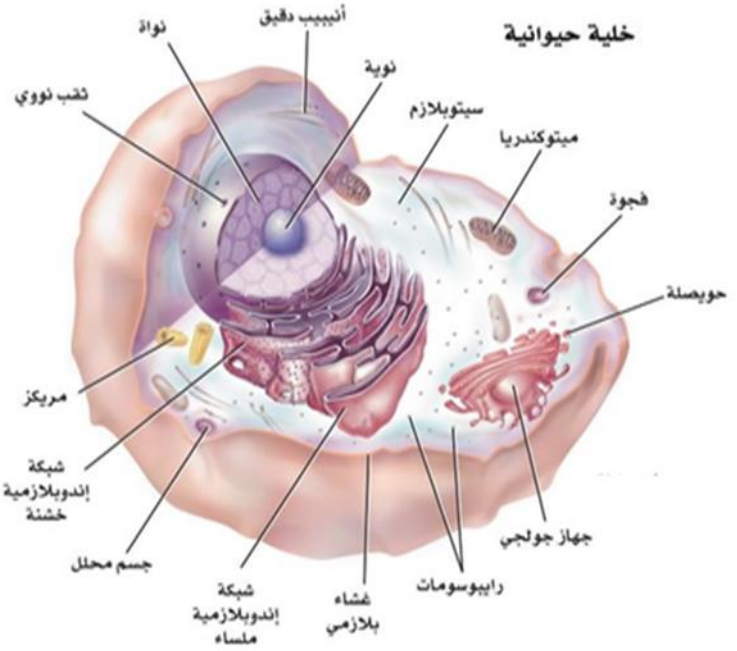
تختلف الخلايا في شكلها وحجمها ويمكن مشاهدة خلايا ذات شكل متغير باستمرار كما هو الحال في الأميبا الحره وبعض خلايا الدم البيضاء كما يمكن وجود خلايا ذات أشكال ثابته كما هو الحال في خلايا الدم الحمراء والخلايا الطلائية والعصبيه والحيوانات المنويه ومعظم خلايا النبات .

ويظهر بأن شكل الخلايا يعتمد أساساً على نوع الوظيفة التي تقوم بها الخلايا ويشكل جزئي الى عوامل أخرى مثل الشد السطحي للخلايا والزوجة السايتوبلازم والضغط الميكانيكي المسلط من الخلايا المجاوره وصلابة غشاء الخليه ووجود تركيبات أنبوبيه دقيقه فيه أو في هيكل

الخلايا عامة . أن تربية الخلايا الدموية البيضاء على سبيل المثال على وسط غذائي سائل يؤدي الى أن تأخذ هذه الخلايا الشكل الدائري بسبب الشد السطحي لوجودها في وسط سائل وهو نفس الشكل الذي توجد فيه في الدم . الا أنها تكون متغيرة الشكل عند وجودها في الانسجه أو بينها.ان الفحوصات المجهرية لهذه الخلايا تظهر أنها مؤلفة من عدد قليل من السطوح وبشكل جزئي الى عوامل أخرى مثل الشد السطحي للخلايا والزوجة السايتوبلازم والضغط الميكانيكي المسلط من الخلايا المجاورة وصلابة غشاء الخلية ووجود تركيبات أنبوبيه دقيقه فيه أو في هيكل الخلايا عامة . أن تربية الخلايا الدموية البيضاء على سبيل المثال على وسط غذائي سائل يؤدي الى أن تأخذ هذه الخلايا الشكل الدائري بسبب الشد السطحي لوجودها في وسط سائل وهو نفس الشكل الذي توجد فيه في الدم . الا أنها تكون متغيرة الشكل عند وجودها في الانسجه أو بينها . ان الفحوصات المجهرية لهذه الخلايا تظهر أنها مؤلفة من عدد قليل من السطوح ، الا ان الخلايا وأغلبها مؤلفة من سطوح متعددة تتراوح ما بين 4 - 14 ضلعاً . ان حجم الخلايا حقيقية النواة ذو مديات مختلفه فبعض الخلايا ظاهره للعين كما هو الحال في بيوض الطيور التي يزيد قطرها على عدد من السنتيمترات الا ان معظم هذه الخلايا مجهري ولا يزيد قطرها على يضعه مايكرمتيرات باستثناء خلايا معينة مثل الخلايا العصبيه. ويظهر بأن حجم الخلايا عند الانسان اكبر كثيراً مما كان يقدر سابقاً وهي تتراوح ما بين 200 _ 15,000 مايكرومتير مكعب .

وبشكل عام فأن حجم الخلايا ثابتا نوعما بالنسبه لنوع معين من الخلايا حيث يظهر بأن الخلايا الكبد أو الكليه مثلاً حجماً متشابها في الفئران والخيول والانسان وأن حجم العضو الذي توجد فيه يعتمد على عدد الخلايا المؤلفه له وليس لحجم خلايا علاقة بذلك .

عند فحص الخلايا حقيقية النواة تحت المجهر فأنه يظهر بأنها تحتوي في الوسط على الأغلب على نواة كرويه أو بيضويه واضحه ومميزه وتحتوي على نويه واحدة أو نويتان . وتفصل النواة عن ما يحيطها بغلاف نووي تظهر النوى في المرحلة البينية غير الانقساميه لا تحتوي على أجسام أو جزيئات داخليه الا أنه عند استعداد الخليه للانقسام تظهر داخلها أجسام طويله يختلف شكلها اعتماداً على المرحلة الانقساميه وتدعى هذه الاجسام بالكروموسومات .



تحتوي الخلايا الحقيقية النواة أيضاً على سائل متجانس يدعى بالسايتوبلازم يحيط بالنواة ويحتوي على أجسام لماعه مختلفة الحجم منها المايتوكوندريا وقطرات الدهون والملح والاصباغ . يظهر جزء السايتوبلازم المحيطي المجاور للغشاء البلازمي الذي يحيط كل خليه بأنه اكثر كثافة بسبب لزوجته العاليه وعدم احتواءه على عضيات ويدعى بالاكتوبلازم Ectoplasm . بينما يكون السايتوبلازم الداخلي اكثر سهولة ويحتوي على معظم العضيات السايتوبلازميه ويدعى بالاندوبلازم Endoplasm تظهر جميع الخلايا حقيقية النواة وغيرها

محاطه بغشاء رقيق يحددها ويحفظ محتوياتها يدعى بالغشاء البلازمي وله وظائف مهمه جداً للخلايا يحاط هذا الغشاء في معظم الخلايا بغلاف أو أكثر من غلاف فالخلايا الحيوانيه تحاط بطبقه رقيقه تمثل هذا الغلاف ولا يمكن مشاهدته بالمجهر الضوئي بسبب رقته البالغه أما الخلايا النباتيه فتظهر جدران قويه تمثل أغلفه لها مؤلفة غالباً من السليلوز وتدعى هذه بجدران الخلايا وهي أسمك بكثير من الطبقات الرقيقه المحيطه بالخلايا الحيوانية . ان فحوصات الجهر الالكتروني أوضحت بأن الخلايا تحتوي على عضيات سايتوبلازميه أخرى لا يمكن مشاهدتها بالجهر الضوئي منها الشبكه الاندوبلازميه والريبوسومات واللايسوسومات وأجسام كولجي وفجوات أضافة للبلاستيدات الموجوده في الخلايا النباتية فقط وقد قدم المجهر الالكتروني معلومات واقره عن التركيب الجزيئي الدقيق للعديد من أجزاء الخلية وساهم ذلك كثيراً في تطوير فهمنا عن الخلايا تحتوي بعض الخلايا الحقيقية النوى على أهداب أو أسواط أو ذيول تستخدم أما للحركه أو الخدمة وظيفة معينة تقوم بها الخلايا كما هو الحال في الخلايا المبطنة للقنوات التنفسيه وقناة المبايض والحيوانات المنويه وغيرها .

تركيب الخلية بدائية النواة :

الخلايا بدائية النواة خلايا أصغر حجماً من الخلايا حقيقية النواة ولا تحتوي على نواة متميزه بسبب عدم وجود غلاف نووي يحيط مادتها الوراثية . لذلك فأن مادتها الوراثية تكون بتماس مباشر مع السايتوبلازم من الناحية التطورية تعتبر الخلايا بدائية النواة الاسلاف القديمة التي

انحدرت منها الخلايا حقيقية النواة وتظهر المتحجرات التي عثر عليها والتي تعود الى اكثر من ثلاثة بلايين سنه مضت خلايا بدائية النواة فقط بينما يعود ظهور الخلايا حقيقية النواة الى حوالي بليون سنة بعد ذلك.

ومع وجود الكثير من الاختلافات بين الخلايا بدائيه وحقيقية النواة فأن هناك العديد من التماثل بينهما وخصوصا على المستوى الجزيئي حيث أن التراكيبها نفس المكونات والمظهر تقريبا أضافة لتشابه وظائف العديد من أجزاء هما وشفراتهما الوراثية .

تعتبر البكتريا أفضل الامثلة على الخلايا بدائية النواة وهي خلايا صغيرة يبلغ طولها حوالي 3 مايكروميتر وعرضها حوالي مايكروميتر واحد لتختلف أشكال البكتريا وحجومها فبعضها كروي وأخرى عصويه وبعضها ذو أشكال حلزونيه أو ذات أشكال خاصه كما تترتب البكتريا بطرق مختلفه مزدوج وأخرى مسبحيه وبعضها يشبه عنقود العنب .

تظهر خلية البكتريا تحت المجهر بأنها مؤلفة من منطقه وسطية كثيفة تنتشر فيها المادة الوراثية المؤلفة من كروموسوم خيطي كثير الطلبات واللغات تدعى هذه المنطقه بالنيوكلويد Nucloid وينتشر حولها السايتوبلازم الذي يحتوي على عدد من الريبوسومات المتعددة تفتقد البكتريا لكثير من العضيات السايتوبلازمية التي تحدثنا عنها في الخلايا حقيقيه النواة مثل المايتوكوندريا والشبكه الاندوبلازميه و جهاز كولجي واللايسوسومات وغيرها ويقوم الغشاء البلازمي بالكثير من الوظائف

التي تقوم بها هذه العضيات كما قد تحتوي بعض أنواع أو سلالات البكتريا على جزيئات DNA حلقية في سايتوبلازمها تدعى بالبلازميدات ذات أهمية كبيره في مناعة البكتريا ضد بعض المضادات الحياتية يختلف عدد البلازميدات في الخليه الواحده ولكنه يتراوح ما بين بلازميد واحد وعدة آلاف منها تحاط خلية البكتريا بغشاء بلازمي مشابه في تركيبه الدقيق لغشاء الخلايا حقيقية النواة الا ان له وظائف أكثر أهمها القيام بأطلاق الطاقة بدلاً من المايتوكوندريا لأحتواءه على العديد من الأنزيمات التنفسية .

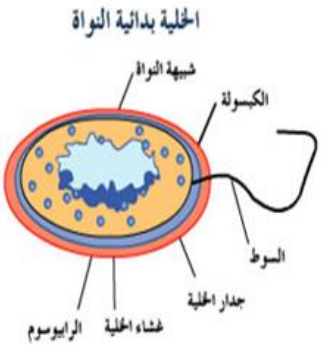
يحاط الغشاء البلازمي في جميع أنواع البكتريا يغلاف آخر هو غلاف الخليه الذي يتألف من بروتين وسكريات متعدده مرتبطه مع البروتينات أو الدهون أضافة المواد أخرى يختلف سمك هذا الغلاف في البكتريا ، ففي البكتريا الموجبة لصبغة جرام يكون الغلاف سميكاً ومؤلف في الغالب من وحدات كربوهيدراتيه - بروتينيه بهيئة طبقات مرتبطه مع بعضها بينما تنحسر هذه الطبقات كثيراً في البكتريا السالبه لصبغة جرام وتبدو معها طبقات أخرى مؤلفة من سكريات دهنيه متعدده ودهون بروتينيه مختلفة . كما قد تظهر طبقات أخرى أضافيه في بعض البكتريا . كما تحتوي البكتريا على سوط واحد أو عدة أسواط وتتوزع في حالة وجود أعداد منها بترتيبات متعددة .

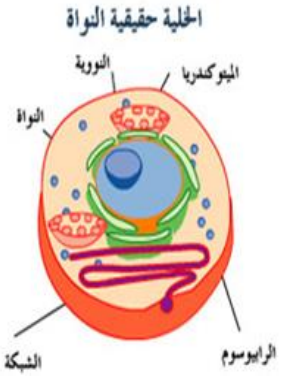
تتكاثر معظم أنواع الخلايا بدائية النواة بالانشطار البسيط او الانقسام المباشر الذي يتم من خلاله أنشطار الخليه الواحده الى خليتين دون

حدوث الكثير من التعقيدات التي تظهر في الانقسام غير المباشر الذي تمر فيه الخلايا حقيقية النواة .

مقارنة بين الخلية بدائية النواة و حقيقية النواة

تركيب الخلية بدائية النواة (غير حقيقية النواة)	تركيب الخلية حقيقية النواة
- المادة الوراثية توجد في وسط الخلية غير محاطة بغشاء نووي	





التركيب الكيميائى للخلية

تختلف الخلايا في نسب مكوناتها الكيميائية حسب نوع الخلية ، و النسيج المكون له ، و عمر الخليو ووظيفتها و الحالة الفسيولوجية لها ... الخ. الا أنه بصفة عامة يمكن اعطاء نسب متوسطة للمكونات الكيميائية للخلية كالأتي:

المكون	النسبة المئوية	أمثلة للصور الموجودة عليها
الماء	90-80	ماء حر – ماء مرتبط
البروتينات	10-7	الألبيومين-الجلوبيولين- الهستامين الخ
الليبيدات	3 -1.5	الزيوت- الدهون- الاستيرودات الشموع فيتامين k،E الليسيثين- الكوليسترول
الكربوهيدرات	2-1	جليكوجين – نشا- سكريات أحادية وثنائية و اليجو
مواد آخري غير عضوية (معادن)	1-0.5	أملاح معادن- فوسفات-بوتاسيوم- صوديوم- كلوريد كربونات الخ

أولا: الــماء

تتراوح نسبة الماء في الخلية بين 80-90 % ،و هو مكون أساسي لبقاء الخلية ، و لقيامها بكافة الأنشطة و الوظائف الرئيسية , و يوجد الماء في صورتين : ماء حر free water ، أو ماء مرتبط bound water ؛ حيث يحيط ببعض الجزيئات أو الأملاح ، و يحافظ الماء علي التوازن الأسموزي داخل الخلية ، كما أنه يعمل كمذيب لمعظم المركبات داخل الخلية و يعتبر وسطا مناسبا لغالبية التفاعلات الحيوية في الخلية بالاضافة الي أنه يعطي الخلية المرونة المطلوبة ، و يحافظ علي شكلها و حجمها و هناك حد أدني لمستوي الماء داخل الخلية تفقد بعده الخلية القدرة علي النشاط و تتوقف عن آداء وظائفها و قد ينتهي الأمر الي موت الخلية تماما.

ثانيا : البروتينات

تشكل البروتينات أعلي نسبة في مكونات الخلية بعد الماء ؛ حيث تصل الي 7 – 10 % و البروتوبلازم بطبيعته عبارة عن معلق غروي من البروتينات. و يدخل البروتين في بناء الخلايا الجديدة ، و تعويض ما يفقد منها ، كما أن البروتين يدخل في تكوين جميع أغشية الخلية ، و هو مكون رئيسي في مادة الأساس بالخلية . و المعروف أن جزئ البروتين يتكون من عدد من الأحماض الأمينية التي ترتبط ببعضها بروابط ببتيدية Peptide bonds.

أنواع البروتينات في الخلية Types of Protein

يمكن تقسيم البروتينات في الخلية 9كما يلي:

(أ) حسب نواتج التحليل المائي Hydrolysis

حيث تستجيب البروتينات للتحليل المائي بالأحماض أو القلويات ، و يمكن تقسيمها طبقا للنواتج النهائية للتحليل المائي الكامل الي ما يأتي:

1- بروتينات بسيطة Simple Proteins

و ينتج عن تحليلها مائيا – أحماض أمينية فقط

2- بروتينات مقترنة Conjugate Proteins

و هي بروتينات ترتبط فيها سلاسل متعدد الببتيد مع مركبات أخري ؛ بحيث ينتج عن التحليل المائي لها مركب آخر غير بروتيني ، بالاضافة الي الأحماض الأمينية. و من أمثلة هذه المجموعة البروتينات الدهنية Lipoproteins ؛ اذ تتكون من بروتين+ ليبيد . و تعتبر هذه المجموعة أساسية في بناء جميع النظم الغشائية للخلية . و من أمثلة البرونينات المقترنة أيضا البروتينات السكرية Glycoproteins .

و من أهم مركبات هذه المجموعة علي الاطلاق البروتينات النووية Nucleoproteins ، و التي يؤدي تحليلها مائيا الي الحصول علي أحماض أمينية + أحماض نووية

Nucleic acids. و هذه الأخيرة تتكون من نوعين :
أحماض نووية ديوكسي ريبوزية DNA Deoxy Ribonuclic acids د ن أ ، و هي تكون المادة الوراثية و تتركز في نواة الخلية ، أما النوع الثاني فهو الأحماض النووية الريبوزية RNA Ribonuclic acids (ر ن أ)، و التي توجد أساسا في السيتوبلازم ، و كلاهما يلعب دورا رئيسيا في حفظ المعلومات الوراثية و التعبير عنها.

(ب) حسب محصلة الشحنات السائدة

1- بروتينات قاعدية basic proteins

و هي التي تزيد فيها الشحنات الموجبة عن السالبة لزيادة الأحماض الأمينية القاعدية بها ، مثل الأرجنين و الليسين، و يكون رقم الأس الهيدروجيني بها pH أكبر من 7 .

2- بروتينات حامضية acidic proteins

حيث تزيد فيها الشحنات السالبة عن الشحنات الموجبة ؛ لزيادة نسبة الأحماض الأمينية الحامضية مثل حامض الاسبارتيك Aspartic acid ، و يكون رقم pH أقل من 7 .

3- بروتينات متعادلة Neutral proteins

و فيها يتساوي عدد الشحنات الموجبة مع الشحنات السالبة ، و يدور رقم pH حول 7 .

(ج) حسب نوع السلسلة في متعدد الببتيد

1- بروتينات ذوات سلاسل مستقيمة

2- بروتينات ذوات سلاسل متفرعة

(د) حسب تتابع الأحماض الأمينية في سلسلة متعدد الببتيد.

و يخضع ذلك لتتابع الشفرات الوراثية في جزئ DNA ، الذي يملي تتابع الأحماض الأمينية في سلسلة متعدد الببتيد . و نتيجة للتوافيق و التباديل الممكنة لهذه الشفرات ينتج عدد لا نهائي من سلاسل متعدد الببتيد ، تختلف كل منها عن الأخري في تتابع الأحماض الأمينية بها.

(هـ) حسب وظيفة البروتين :

1- بروتينات تركيبية Structural proteins

و هذه تدخل في بناء مكونات الخلية و أغشيتها المختلفة .

2- بروتينات تنظيمية Regulatory proteins

و تشمل الانزيمات و بعض الهرمونات التي تتحكم في درجة نشاط الخلية . و في التفاعلات الحيوية التي تتم بها.

3- بروتينات تخزينية Storage proteins

و هذه تتركز في أنسجة تخزين البرونينات ؛ حيث تستخدم كمصدر غذائي .

ثالثا : الليبيدات Lipids

تختلف نسبة الليبيدات في الخلية من 1.5 -3 % ، و هي مكون ضروري من مكونات الخلية ، و تعتبر مادة الأساس في جميع النظم الغشائية في الخلية ، كما أنها 7مصدر غني بالطاقة الحرارية ، و هي توجد في الخلية في صور مختلفة ؛ حيث توجد في صورة زيوت (و هي عادة سائلة عند درجة حرارة الغرفة) ، أو دهون (و هي عادة صلبة عند درجة الحرارة العادية). و تتكون الدهون الحقيقية من خليط من ثلاثي الجليسريد ؛ حيث يرتبط جزئ من كحول الجلسرول بثلاثة جزيئات من الأحماض الدهنية بثلاث روابط استيرية ester bonds.

و قد تكون الأحماض الدهنية الثلاثة من نوع واحد ، الا أنه غالبا ما تكون الأحماض الدهنية المرتبطة بالجلسرول مختلفة . و قد تكون الأحماض الدهنية مشبعة السلسلة الكربونية مثل حامض الاستياريك ، أو غير مشبعة ، مثل حامض الأولييك و اللينوليك .

و يندرج تحت الليبيدات أيضا الهرمونات الاستيرودية ، مثل : هرمونات الجنس (الاستيروجين و الاندروجين) و الكورتيزونات ، و كذلك فيتامين E و فيتامين K ، و الكوليسترول و الليسيثين ، كما تدخل الشموع ضمن الليبيدات .

رابعا: الكربوهيدرات

و هي أحد مصادر الطاقة الرئيسية ، و هي عادة لا تتعدي نسبة 1 -2 % في الخلية ، الا أن لها دورا رئيسيا في بناء مكونات الخلية ؛ و خاصة المنتجات الافرازية ؛ حيث ان عملية اضافة شق كربوهيدراتي (و التي تسمي glycosylation) مهمة جدا في تحديد النشاط النوعي لهذه المنتجات ، كما أن بعض السلاسل السكرية تقوم بدور رئيسي في البروتينات السكرية في تكوين مراكز الاستقبال علي السطح الخارجي للغشاء البلازمي . Receptor sites ، و التي تقوم باستقبال بعض المركبات المهمة علي سطح الغشاء البلازمي ، و توصيل مضمون الرسالة الي داخل الخلية المستهدفة كما سيرد فيما بعد.

خامسا : المواد غير العضوية

و تتميز بوجودها بنسبة ضئيلة عادة في معظم الخلايا (0.5 -1 %) ، الا أن لها دورا كبيرا في تنظيم رقم pH السيتوبلازم في الحدود المطلوبة لنشاط الخلية ، كما أنها تعمل علي حفظ التوازن الآيوني و الكهربي داخل الخلية ، و تشارك في ضبط اسموزية الخلية ، و تشمل عناصر أو مجاميع ، مثل : الصوديوم ، و البوتاسيوم ، و الكالسيوم ، و الفوسفات و الكربونات ، و الكلوريد.... الخ.

تركيب الخليه

الخلية عبارة عن كتلة برتوبلازمية يحيط بها غشاء بلازمي (و جدار خلوي في النبات) و يتميز البروتوبلازم الي سيتوبلازم و نواه ، يسبح في السيتوبلازم العديد من الجسيمات (عضيات) المحاطة بغلاف و آخري غير محاطة بغشاء تمثل الهيكل الخلوي . سنتناول هنا كل منها بالتفصيل.

غشاء الخليه أوالغشاء البلازمى . Plasma Membrane

يحيط بالخلية غشاء حي يعمل كحاجز بينها و بين البيئة المحيطة بها لحماية مكونات الخلية ؛ و يعد بمثابة خط دفاعي للخلية ؛ بحيث تسمح خواصه التركيبية بالتعامل مع المواد و الجزيئات المحيطة به حسب احتياج الخلية ، بما يسمح بمرور جزيئات معينة ، بينما يكون عديم النفاذية بالنسبة للبعض الآخر . و ايضا من داخل الخلية الي خارجها للمحافظة علي ما يقيد الخلية ، و التخلص من الجزيئات الضاره بالخلية.

و ينتشر علي سطح الغشاء البلازمي عدد كبير من المستقبلات التخصصية التي تقوم بالتعرف علي المركبات الحيوية مثل : الهرمونات و التأثيرات العصبية و توصيل مفعولها الي داخل الخلية .

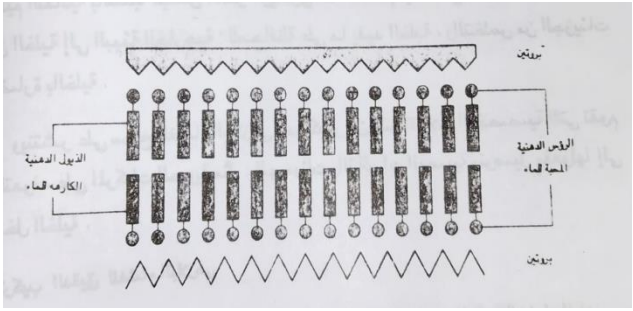
التركيب الدقيق للغشاء البلازمي

هناك محاولات كثيرة بذلت لوصف التركيب الدقيق للغشاء البلازمي ، الا أن هذا التركيب اتضحت معالمه الأولية اتضحت عام 1935 ، عندما أعلن دانيلي Danielli و دافسون Davson عن نموذجهما ؛ حيث قررا أن غشاء الخلية يتكون من طبقة مركزية من الدهن الثنائي الطبقة Lipid bilayer و المغلفة من أعلي و من أسفل بطبقة مستمرة من البروتينات الحبيبية . و من عيوب هذا النموذج أنه فشل في تحديد طبقة الدهن المكونة للغشاء .

نموذج ربروتسون Roertson's Model

استفاد روبرتسون من صور المجهر الالكتروني للغشاء البلازمي، و أعلن عام 1959 عن مفهومه لوحدة الغشاء Unit membrane ؛حيث حدد طبقة الدهن كصفيحة ثنائية الجزيئات bimolecular ؛ بحيث تنتظم الرؤوس القطبية المحبة للماء Hydrophillic باتجاه الخارج ، بينما تكون الأذيال غير القطبية الكارهة للماء Hydrophobic متجهة الي الداخلنحو مركز الطبقة الدهنية. تحدد سمك طبقة الدهن بحوالي 3.5 nm ، و تحاط من أعلي و من أسفل بطبقتين من البروتين المستمر Continuous ، سمك كل منها 2.0 nm مما يعطي سمكا كليا للغشاء مقداره 7.5 nm . يعيب هذا النموذج أنه لم يأخذ في الاعتبار خواص

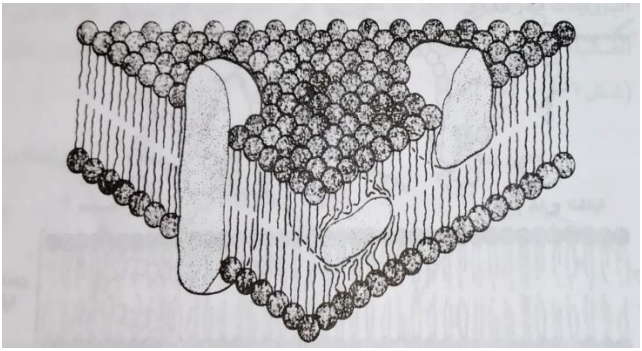
النفاذية و النقل خلال الغشاء و باصراره علي أن طبقة البروتين متصلة و غير مرنة.



نموذج سنجر و نيكلسون Singer and Nicolson

وضع هذان العالمان عام 1972 نموذجا أسمياه نموذج الفسيفساء السائل Fluid Mosaic model ، و قد أخذ في الاعتبار علاقة تركيب الغشاء البلازمي بوظائفه مستعينين في ذلك بالتقدم الذي تم في تقنيات دراسة تركيب ووظائف الخلية. و يتلخص هذا النموذج في أن بروتينات الغشاء البلازمي من النوع الحبيبي globular ، و أنها تتردد بين القطبية و اللاقطبية ، و تكون مغمورة كليا أو جزئيا في طبقة مركزية سائلة من الدهن الثنائي الجزيئات ، و تكون جزيئات البروتين علي شكل وحدات متفرقة و مستقلة، و ليست علي شكل طبقة مستمرة و متصلة ؛ أي ان هذا النموذج يصور البروتينات كجزيئات مطمورة أو سابحة في السائل الدهني ؛ بحيث تسمح خاصيتا الحركة و التركيب الحبيبي لهذه

الجزيئات بالقيام بالتفاعلات اللازمة لاتمام نقل جزيئات معينة خلال الغشاء البلازمي .



و قد أدت مرونة النموذج الي امكان تفسير كثير من الخواص الديناميكية للغشاء ، مثل : التجزئة ، و التشوه، و النمو . و يعد هذا النموذج الأكثر قبولا حتي الآن لشرح التركيب الدقيق للغشاء البلازمي.

وقد وجد أن بروتينات الغشاء البلازمي بصفة عامة اما أن تتخلل الطبقة الدهنية جزئيا أو كليا و يطلق عليها في هذه الحالة بروتينات متكاملة Integral Proteins ، أو قد تكون طافية علي طبقة الدهن دون أن تتخللها بالمرة ، و تسمي البروتينات السطحية أو الخارجية

.Peripheral Proteins

انتقال المواد خلايا أغشية الخلايا :

لكى تبقى أية خلية حية يجب أن يستمر المواد المختلفة بين الخلية ومحيطها الخارجى المعروف باسم السائل بين الخلوى والذى يطلق عليه عادة سائل خارج الخلية وتوقف هذا التبادل معناه موت الخلية . ويتم انتقال المواد المختلفة من وإلى الخلية عبر الغشاء البلازمى المحيط بالخلية والذى يتحكم بشكل فعال فى هذا التبادل. وتعتمد خواص نفاذية الغشاء على تركيب الغشاء نفسة من جهة وعلى خواص المواد النافذة من جهة أخرى.وبصفة عامة يمكن وصف غشاء الخلية بأنه غشاء اختيارى بمعنى أنه يسمح بمرور مواد معينة وبدرجات مختلفة ولا يسمح بمرور مواد أخرى . حيث إن الوظيفة الأساسية للغشاء الخلوى

هى تنظيم مرور المواد بين الخلية والوسط الذى يحيط بها .وهنا تجدر الاشارة إلى بعض النقاط الرئيسية حول علاقة الخلية بالمحيط الخارجى من حيث تركيز المواد .

فى أغلب الأحيان لا تساوى تركيز أية مادة داخل الخلية مع تركيزها خارج الخلية.

يوجد تبادل مستمر بين الخلية وما حولها بتناول معظم المواد ولكن الخلية تبقى فى حالة اتزان ديناميكى طوال الوقت ويفقد هذا الاتزان بسرعة بعد موت الخلية .

قد تتغير خواص نفاذية الغشاء من وقت لآخر إما تحت ظروف فسيولوجية معينة أو لأسباب مرضية.

إن الغشاء البلازمى الذى يحيط بالخلية شديد النفاذية للماء بينما نفاذية الغشاء للمواد المذابة لها درجات متفاوتة . فبعض الجزيئات تستطيع أن تخترق غشاء الخلية بسهولة كبيرة ، فى حين أن بعض المواد الأخرى لا تستطيع العبور خلاله إطلاقا.

وأهم العوامل المحددة نفاذية الغشاء للمواد المذابة هى:

قابلية ذوبان المادة فى مذيبات الدهون .

الوزن الجزيئى للمادة.

الشحنات الكهربائية على الجزئ أو الأيون.

ولوتحدثنا عن طرق انتقال المواد خلايا أغشية الخلايا نجد أن هناك ثلاث طرق

رئيسية هى :

الانتشار

النقل النشط

الابتلاع و الطرد الخلوى

1-الانتشار

الانتشار يعنى انتقال الجزيئات و الأيونات من التركيز الأعلى إلى التركيز الأقل بدون استهلاك الطاقة . ويوجد ثلاث طرق اللانتشار هى :

(أ)الانتشار البسيط

وهذا يعنى انتقال الجزيئات من التركيز الأعلى إلى التركيز الأقل بدون استخدام ناقل بروتينى وأيضا بدون أستهلاك طاقة ، حيث يتم الانتشار إما عن طريق الفتحات الموجودة فى الغشاء الخلوى ، وذلك للمواد القابلة للذوبان فى الماء ويشترط أن يكون حجم هذه الجزيئات أصغر من قطر الفتحات على الغشاء وهذا فى حالة ذوبان هذه الجزيئات فى الدهون مثل الهرمونات الاستيرودية ولقد وجد أن هناك علاقة طردية واضحة بين قابلية ذوبان المادة فى مذيبات الدهون وسهولة انتشارها من خلال أغشية الخلايا .

(ب) الانتشار المسير

الانتشار الميسر هو انتقال الجزيئات التى لا تذوب فى الدهون وأيضا لايستطيع المرور من خلال فتحات الغشاء ؛ ولذا تحتاج إلى مساعدة ناقل بروتينى يكون ضمن بروتينات الغشاء لكى ييسر هذه الجزيئات ذهابا وإيابا عبر الغشاء الخلوى وذلك طبقا لحاجة الخلية . ومن هنا يشترط

وجود مكان لارتباط الجزئ على الناقل ، وبمجرد أن يتم الارتباط بين الجزئ والناقل البروتينى يحدث تغير فى شكل الناقل البروتينى وعندئذ ينتقل الجزئ إلى الناحية الأخرى من الغشاء ؛ ولذا يترك الناقل الذى يعود شكله إلى الوضع الأول لكى يلتقط جزيئات أخرى . ومثال ذلك انتقال جزيئات الفراكتوز من خارج الخلية إلى داخلها.

(ج)الأسموزية

الأسموزية هى حالة خاصة من أنتشار مرتبطة بمرور الماء عبر الغشاء البلازمى الذى هو شديد التفاذية للماء من خلال الثقوب الموجود فية . وبدراسة نفاذية غشاء الخلية ثبت أن هناك باستمرار تدفقا للماء إلى خارج الخلية ولكن فى معظم الأحيان يتساوى تماما التدفق نحو الداخل مع التدفق نحو الخارج بحيث إن صافى تدفق الماء يكون صفرآ . ومعنى هذا أن الخلية فى الحالات الطبيعية فى اتزان مائى مع الوسط المحيط بها ، لكن إذا تعرضت الخلايا إلى محلول أكثر تركيزا من محتوياتها فإنها تفقد كمية من الماء فتنكمش وتصاب بالجفاف . وبالعكس عندما تتعرض الخلايا إلى محلول أقل تركيزآ من محتوياتها فإنها تكتسب كمية من الماء وتنتفخ وقد تنفجر . والقوة التى تدفع الماء إلى الانتقال تسمى الضغط الأسموزى وكلما زاد الفرق فى التركيز بين داخل وخارج الخلية زاد الضغط الأسموزى. والخلايا فى الحالات الطبيعية تكون محاطة فى الجسم بالسائل البينى الذى يكون متساويا أسموزيا مع الخلايا ، وبالتالى فإنها لا تكتسب الماء أو تفقده بكميات ملحوظة .

النقل النشط

يمكن تعريف النقل النشط بأنه انتقال الجزيئات والأيونات من التركيز الأقل إلى التركيز الأعلى أى ما يسمى الأنتقال عكس فرق التركيز وذلك عن طريق ارتباط المواد المنقولة بالبروتين الناقل الموجود على غشاء الخلية باستخدام مصدر للطاقة وهو جزيئات الأدينوزين ثلاثى الفوسفات

ويوجد نوعان من النقل النشط هما :

أ-النقل النشط الأساسى

ب-النقل النشط الثانوى

أ-النقل النشط الأساسى

ومن أمثلة هذا النوع من النقل النشط انتقال ايونات الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم والكلوريد وبعض السكريات الأحادية الأمينية ،حيث إن أى مادة من هذه المواد يتم انتقالها بسهوله من التركيز الأقل إلى التركيز الأعلى فى وجود الناقل الناسب لها على غشاء الخلية . وفيما يلى شرح تفصيلي لانتقال أيونى الصوديوم والبوتاسيوم عكس فرق التركيز ، وهذا ما يعرف باسم مضخة الصوديوم والبوتاسيوم

من المعروف أن تركيز الصوديوم خارج الخلايا أعلى من تركيز داخل الخلايا والعكس بالنسبة للبوتاسيوم حيث يكون تركيزه داخل الخلايا أعلى من تركيزه خارج الخلية عند التعرض لمؤثر ما يحدث العكس حيث ينتقل الصوديوم إلى خارج الخلية وفى نفس الوقت يندفع البوتاسيوم من الخارج إلى الداخل ، وذلك عكس فرق التركيز بالنسبة لكل أيون على حدة ، وتوجد هذه الآلية فى كل خلايا الجسم .

ب- النقل النشط الثانوي

النقل النشط الثانوي هو الذي يستخدم الطاقة المخزنة في الخلية و هذه الطاقة تختلف عن ATP و بالتالي يأتي تمييزها بين نوعي النقل .

تأتي الطاقة المستخدمة بواسطة النقل النشط الثانوي من التدرجات الناتجة عن النقل النشط الأولي ، و يمكن استخدامها لنقل الجزيئات الأخري مقابل تدرج تركيزها علي سبيل المثال ، عندما يزداد تركيز أيونات الصوديوم في الفضاء خارج الخلية ، بسبب تشغيل مضخة الصوديوم و البوتاسيوم، يتولد التدرج الكهروكيميائي عن طريق الاختلاف في تركيز هذا الأيون علي جانبي الغشاء في ظل هذه الظروف ، تميل أيونات الصوديوم الي التحرك علي طول تدرج تركيزها و تعود الي داخل الخلية من خلال البروتينات الناقلة.

الابتلاع و الطرد الخلوي

الالتهام الخلوي Endocytosis

دخول الأجسام الكبيرة والمواد الصلبة إلى داخل الخلية بتكوين انغماد بالغشاء البلازمي يتحول تدريجياً إلى فجوة : ويشمل البلعمة والشرب الخلوي.

الإخراج الخلوي Exocytosis

طرح المواد خارج الخلية بتكوين أكياس خاصة تتحد مع الغشاء البلازمي وقذف محتوياتها خارج الخلية.

عضيـــــات الخلية

الليسوسومات (أجسام الحالة)Lysosomes

وهي عبارة عن أجسام فجوية محددة بغشاء ومتعددة الأشكال والأحجام ، وتتميز باحتوائها على عدد كبير من إنزيمات التحليل المائى، والتى قد تصل إلى أكثر من ٥٠ إنزيماً ، مثل : إنزيمات التحليل المائى للكربوهيدرات، والسكريات ، والدهون ، والبروتينات وغيرها . والوظيفة الأساسية لليسوسومات ، هي القيام بعمليات الهضم داخل الخلية Intracellular digestion ، وتحتاج فى نشاطها إلى وسط حامضى يمكن التعرف على وجود الأجسام الحالة فى الخلية بواسطة طرق الصبغ الهستوكيميائية؛ حيث يعتبر إنزيم الفوسفاتيز الحامضي Acid phosphatase الإنزيم الكشاف الرئيسى لهذه الأجسام الحالة : حيث يتم تحضين النسيج مع مادة التفاعل Substrate بيتا جلسو فوسفات B- glycerophosphate في وجود نترات الرصاص . في وسط حامضي (PH) . يترسب فى أماكن وجود هذا الإنزيم ملح فوسفات الرصاص معطيا لونا بنيا غامقا يمكن رؤيته تحت المجهر الإلكترونى . وبمعاملة هذا التحضير بمحلول مخفف من كبريتيد الأمونيوم يترسب كبريتيد الرصاص ذو اللون الأسود الذي يمكن رؤيته تحت المجهر الضوئي .

تنتشر الليسوسومات في معظم أنسجة الثدييات ، وتزداد أعدادها : بصفة خاصة في الكبد والكلى ، كما تتركز بشكل واضح فى الخلايا البلعمية المنتشرة في الجسم ، إلا أن خلايا الدم الحمراء الناضجة هى الوحيدة

التي تخلو من الليسوسومات . يجب أن تتوفر بعض الخواص المميزة فى العضية السيتوبلازمية ، حتي يمكن أن تسمى "ليسوسوم "

وأهمها :

١- أن يكون محدداً بغشاء ..

٢- أن يحتوى على أكثر من إنزيمى تحليل مائى حامضى.

3- أن يتميز بالكمون الإنزيمي enzyme latensy ؛ أي تأخير إطلاق المحتوى الانزيمي.

أنواع الليسوسومات

تمر الليسوسومات بمراحل عديدة أثناء قيامها بوظائفها ؛ لذلك تطلق عليها مصطلحات ؛ ترتبط بكل مرحلة من هذه المراحل .

1- الليسوسوم الأولى Primary lysosome

و هو الليسوسوم عند بدء انتاجه في الخلية فو قبل مشاركته في أي نشاط فسيولوجي بالخلية ؛ بحث يكون محتواه من الانزيمات كاملا ، و لم يستهلك بعد.

٢- الليسوسوم الثانوى Secondary lysosome

و هو الذي اشترك في نشاط هضمى داخل الخلية، ويمكن تقسيمه إلى زهر الليسوسوم نوعين المختلط Heterolysosome، ويطلق عليه أيضاً فجوة هاضمة Digestive vacuole ، و ينتج عن ذلك اذا اندمج الليسوسوم الأولي مع جسم بلعمى Phagosome it vacuole ، مصدره من خارج الخلية ودخل إليها بعملية التخلاء الداخلي. أما النوع الثاني .. فيطق عليه الليسوسوم الذاتي Autolysosme، أو الفجوة

البلعمية الذاتية Autophagic Vacuole عندما يندمج الليسوسوم الأولى مع مكونات الخلية الداخلية بغرض هضمها.

٣- الأجسام المتبقية Residual Bodies

وهي ما يتبقى من مواد غير مهضومة داخل الغشاء الليسوسومى بعد توقف النشاط الإنزيمي . وقد تبقى هذه الأجسام لمدة طويلة داخل الخلية ؛ مما قد يسبب بعض الأعراض المرضية ؛ نتيجة تراكمها فى الخلايا ، أو قد تلفظ إلى خارج الخلية فيما يعرف بالتخلاء الخارجي.

منشأ الليسوسوم الأولى Formation of Primary Lysosome

عند متابعة منشأ الليسوسوم الأولى .. يجب أن نأخذ فى الاعتبار أصل المكونين الرئيسين له ، وهما : الغشاء المحدد، والمحتوى الإنزيمي. وهناك فرضيتان لمنشأ البسوسوم :

١- من الشبكة الإندوبلازمية الناعمة ؛ حيث يفترض أن إنزيمات التحليل الماني (البروتينات) تتكون أولاً على الشبكة الإندوبلازمية الخشنة ، ثم تنطلق منها دون أن تر في جهاز جولجي لتصل إلى بعض مناطق متخصصة من الشبكة الإندوبلازمية الناعمة حيث يتم فيها تغليف الإنزيمات وإحاطتها بالغشاء الليسوسومي.

-٢- من جهاز جولجي ، وتكون البداية أيضاً من الشبكة الإندوبلازمية الخشنة : حيث تتكون الإنزيمات المطلوبة ، ثم تمر فى شكل حبيبة إفرازية أولية : لتصل إلى السطح المكون من جهاز جولجي : حيث تتم

معالجتها وتغليفها بغشاء ، ثم تنطلق من السطح المطلق لجهاز جواجي على صورة ليسوسوم أولى

وتؤيد معظم الأدلة الفرض الثاني لمنشأ الليسوسوم الأولى

*** مصير الليسوسوم الأولى**

مكوناً يتحرك الليسوسوم الأولى بعد تكوينه في اتجاه الجسم البلعمى : ليندمج معه ؛ . فجوة هاضمة، وتقوم إنزيمات الليسوسوم بالتحليل المائى وهضم مكونات الفجوة ويتحدد مصير هذه الفجوات حسب نوع الخلية والحالة الفسيولوجية لها إلى الآتى :

١- قد تفرغ محتوياتها إلى خارج الخلية بعملية التخلاء الخارجي

-٢- قد تبقى الفجوة وبها محتويات غير مهضومة : لتكون جسما متبقيا خاليا من إنزيمات التحليل المائي؛ حيث تظل في الخلية مدداً غير محددة -

٣- قد يتم التحليل المائى الكامل لجميع مواد الفجوة إلى مواد بسيطة ؛ ذات أوزان جزيئية منخفضة ، وتمر بالانتشار البسيط إلى السيتوبلازم لتستفيد منه الخلية.

يتميز غشاء الليسوسوم ، وكذلك إنزيماته بمقاومتها للتحايل الإنزيمي المائي الذاتي. وقد يعزى ذلك إلى وجود طبقة مبطنة من الداخل من البروتينات السكرية العالية الشحنة : تقوم بوقاية الغشاء من التحليل الذاتي. إلا أن الأمر يختلف في حالة حدوث بعض الأمراض ؛ مما قد ينشأ عنه ضعف فى الغشاء ، وتحلله ذاتياً ، أو تمزقه بحيث تنطلق الإنزيمات إلى سيتوبلازم الخلية ، وتقوم بتحليل مكوناته ويؤدي ذلك في النهاية الي

موت الخلية و تلاشيها، فيما يعرف بالتحلل الذاتي Autolysis: الا أن ذلك قد يحدث في حالات غير مرضية كوسيلة لتمايز الخلايا.

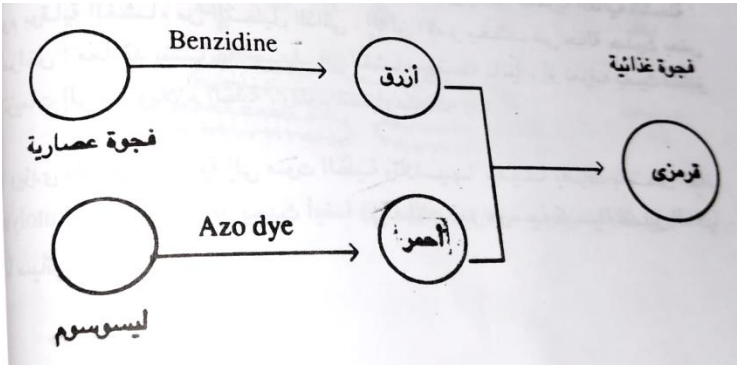
دور الليسوسومات في الهضم داخل الخلية

تقوم الليسومات بدور رئيسى فى عمليات الهضم الداخلى للخلية ، ويطلق على هضم المواد الخارجية المصدر الهضم المختلط Heterophagy . بينما يسمى هضم بعض المكونات الداخلية للخلية نفسها الهضم الذاتى Autophagy ، وهي عملية مهمة في إعادة تشكيل الخلية Remodelling ، أو فى تجدد الخلايا ، أو قد تحدث نتيجة لظروف غير عادية ؛ تمر بها الخلية ، مثل : الإجهاد البينى أو المجاعة .

١- التغذية المختلطة Heterophagy

لابد من حدوث عملية التخلاء الداخلى أولاً : لإدخال المواد الخارجية إلى الخلية لكي يتم هضمها . قد دلت النتائج على أن الجسم البلعمى الناتج من التخلاء الداخلى يندمج مع الليسوسوم ؛ ليكون الفجوة الهاضمة أو الليسوسومات الثانوية وقد تم التثبت من حدوث هذه العملية عندما تم حقن إنزيم البيروكسيديز Peroxidase فى الفئران ، ومتابعة ظهور الإنزيم في الخلايا الأنبوبية للكلى ، وذلك بالصبغ بمادة البنزيدين Benzidine ، فتأخذ لوناً أزرق . وقد تأكد أن الإنزيم قد دخل إلى الخلية بواسطة عملية شرب الخلية . كما استخدمت ، بعد ذلك تقنية الدليلين الكشافين ؛ حيث تم تعليم (تمييز) الليسوسومات هستوكيميائيا بصبغة الآزو ، بينما تم تعليم (تمييز) الفجوات المحتوية على إنزيم البيروكسيديز

بمادة البنزيدين، وقد نتج عن اندماج الفجوة العصارية بالليسوسوم ظهور فجوة بلون قرمزى ؛ نتيجة للمزج بين الدليلين الكشافين كالاتي :



٢- الهضم الذاتي Autophagy

وهي عملية شائعة الحدوث في الخلية ، وتبدأ بعد أن تتكون الفجوات الغذائية الذاتية ؛ نتيجة لإحاطة وتغليف أحد العضيات السيتوبلازمية ، أو أحد المركبات الجزيئية الكبيرة بغشاء ، يندمج الليسوسوم الأولى مع الفجوة الغذائية : التكوين الليسوسوم الثانوى الذاتي ، ويتم هضم العضيه الذاتية داخل الفجوة إلى مكونات بسيطة.

وتعد الفجوة الغذائية الذاتية مسئولة عن أنواع مختلفة من الأنشطة الخلوية ، مثل : معدل التحول والتجدد ، وإعادة تشكيل الخلية ، وانسلاخ الأنسجة Metamorphosis . وكذلك الاستجابة لظروف بيئية قاسية مثل الجفاف أو المجاعة .

من المعروف أن مكونات الخلية (سواء فى ذلك العضيات أم الجزيئات الكبيرة الذائبة) تتميز بمعدل تغير Tumover خاص بكل منها : حيث وجد مثلاً أن الميتوكوندريا في الكبد تكون فيها فترة عمر النصف حوالى ١٠ أيام ، في حين تقدر فترة عمر النصف للخلية نفسها بحوالي ١٥٠ يوما . ويقوم الليسوسوم بدور مهم فى عملية التغير هذه ، كما أن انسلاخ الخلايا وكذلك تمايز بعض الحيوانات البرمائية مثل الضفدع ينطوي على نشاط ليسوسومي من هذا النوع ؛ ففى ذيل الضفدعة (أبى ذنيبة) .. يؤدى التحليل الماني بإنزيمات الليسوسومات إلى تاكل واختفاء الذيل كما سيأتي بالتفصيل .

دور الليسوسومات في الإفراز

تلعب الليسوسومات دوراً بارزاً فى إفراز بعض الهرمونات ، مثل : هرمونات الغدة النخامية ، والغدة الدرقية . ويبدو أن إنزيمات الليسوسوم تعمل داخل الخلية ؛ للمساعدة على تجهيز الهرمونات التى ستنطلق للعمل خارج الخلية وفي الغدة الدرقية Thyroid.. يكون هرمون الثيروكسين Thyroxin مرتبطاً ببروتين الثيروجلوبيولين Thyroglobulin : حيث يكون الهرمون موجوداً بهذه الصورة في حويصلات الغدة . ولكن الهرمون الفعال الذي يظهر في الدم، عندما يتم تنشيط الغدة الدرقية بواسطة هرمون تنشيط الغدة الدرقية (TSH) يكون خاليا من هذا البروتين . تلخيص المراحل التي يمر بها هذا الهرمون بين تخزينه فى الحويصلات وانطلاقه في الدم .

الشبكة الإندوبلازمية Endoplasmic Reticulum

هي نظام غشائي أو أنبوبى يمتد فى السيتوبلازم مكوناً شكلاً شبكيا بحيث يقسم السيتوبلازم إلى حجيرات وفجوات شبه مستقلة : تساعد على الفصل بين الإنزيمات المتخصصة في أماكن تسمح لها بالنشاط الأيضي : حيث تصل إليها مواد التفاعل Substrate في سهولة ويسر، وحتى لا يحدث اختلاط بين هذه التفاعلات : مما قد يؤدى إلى تعارض فى المسارات الأيضية Metabolic Pathways .

ولم يتمكن الباحثون من فحص ودراسة الشبكة الإندوبلازمية مجهرياً ، إلا بعد اكتشاف المجهر الإلكترونى فى أوائل الخمسينات من هذا القرن . وتعتبر الشبكة الإندوبلازمية جزءاً من النظام الفجوى الموجود في الخلية (والذي يشمل جهاز جولجي والميتوكوندريا ، والليسوسومات (حيث يكون كل منها محددا بغشاء داخل الخلية لتكون شبكة مقسمة لها إلى قسمين : قسم سيتوبلازمي، وقسم فجوى : بمعنى أن الأغشية المحيطة بالشبكة الإندوبلازمية يكون لها جانب مواجه للسيتوبلازم ، وجانب آخر مواجه لتجويف الشبكة . وقد تكون الشبكة الاندوبلازمية على اتصال بالغشاء البلازمى من جهة . الغشاء الخارجي ! للغلاف النووى من جهة أخرى .

بفضل هذا النظام الغشائي أمكن تقسيم سيتوبلازم الخلية المميزة النواة بطريقة تسمح لمواد التفاعل بالانتشار السريع إلى الإنزيمات الخاصة بها عند الاحتياج ، كما يمكن توزيع نواتج التفاعلات والتخلص من نفايات الخلية ؛ حتى لا تتراكم وتصبح سامة للخلية .

كما تعد الشبكة الإندوبلازمية الخلية بنظام دوران أو شبكة مواصلات داخلية ؛ تساعد على سرعة نقل نواتج التفاعلات أو الإيعازات الكهروكيميائية أو الهرمونية أو العصبية في أنحاء الخلية .

انواع الشبكة الإندوبلازمية

يمكن تقسيم الشبكة الإندوبلازمية إلى نوعين حسب ارتباط الريبوسومات على سطحها حيث تسمى في هذه الحالة الشبكة الإندوبلازمية الخشنة Rough Endoplasmic Reticulum وعندما تخلو الشبكة الإندوبلازميه من الريبوسومات ... يطلق عليها الشبكة الإند بلازمية الملساء .Smooth Endoplasmic Ret

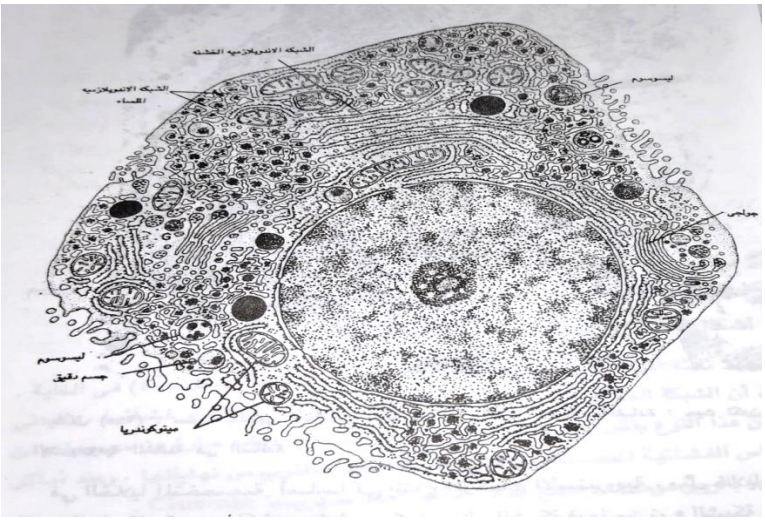
تعتبر الشبكة الخشنة موقع بناء البروتين فى الخلية : خاصة البروتينات الإفرازية والبروتينات الخاصة بأغشية الشبكة نفسها . بينما تدخل الشبكة الملساء في عدد من التفاعلات البيوكيميائية ، بالإضافة إلى التحوير الكيميائى لبعض الجزيئات المنخفضة الوزن الجزيئى . .

وعادة يوجد كل من نوعى الشبكة في الخلية الواحدة ، ولو أن التخصص الوظيفي للخلية يملى زيادة في كثافة نوع على آخر .. فمثلا في خلية الكبد نجد أن كلا من النوعين موجودين نظرا لأن معظم تفاعلات الأيض الوسطية Intermediary Metabolism تم في الكبد . ويتم تقسيم هذه التفاعلات بين نوعى الشبكة الإندوبلازمية لخلية الكبد. من جهة أخرى .. نجد أن الأنواع المختلفة من الخلايا تختلف فيها نسب وجود نوعى الشبكة ، إذ نجد أن الخلايا النشطة فى الإنتاج الغزيز للبروتينات الإفرازية مثل : البنكرياس، أو خلايا البلازما المتخصصة في إنتاج

الأجسام المضادة تسود فيها الشبكة الإندوبلازمية الخشنة : حيث تكون الخلية مزدحمة بأعداد هائلة من هذا جسم النوع من الشبكة ؛ لكي تفى بالمطلوب من البروتينات الإفرازية (على سبيل المثال تنتج خلية البلازما الواحدة أجساما مضادة بمعدل ١٠ آلاف . مضاد في الثانية الواحدة ، ويتكون كل جسم مضاد من ٤ سلاسل ببتيدية بأوزان جزيئية ؛ تتراوح بين ٢٥-٥٥ ألف دالتون لكل منها) .

في الخلايا المتخصصة أساسا في إنتاج المركبات الاستيرودية ، مثل خلايا قشرة الغدة الجار كلوية Adrenalin Cortex ، يكون معظم الشبكة فيها من نوع الشبكة الملساء حيث يتم بناء الكولسترول فى هذا النوع من الشبكة ، بالإضافة إلى حدوث التفاعلات التي تؤدى إلى تعديل الاستيرودات ؛ لتكوين البروجستيرون والكورتيزون . كما تنتشر الشبكة الملساء في الخلايا البينية للخصية.

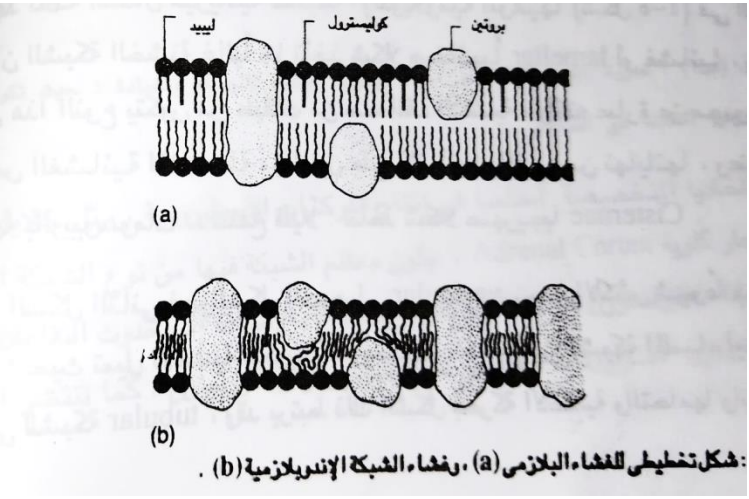
هذا ويعد إنزيم جلوكوز -٦ فوسفاتيز Glucose - Phosphatase هو الإنزيم الكشاف المميز للشبكة الإندوبلازمية فى التفاعلات الهستوكيميائية.



أشكال الشبكة الإندوبلازمية

توجد ثلاثة أشكال فيزيائية للشبكة الإندوبلازمية بنوعيها في الخلية . فنجد أن الشبكة الخشنة غالباً ما تأخذ شكلا صفائحياً lamellar أو غشائيا ، ولا يعني ذلك أن هذا النوع يتكون من طبقات من صحائف الأغشية ، ولكنه عبارة عن مجموعات من الأكياس الغشائية المنضغطة ، والدليل على ذلك أنها بالقرب من نهاياتها ، وعند أماكن اتصالها بالريبوسومات .. تنتفخ قليلاً ؛ لتأخذ شكلا صهريجيا Cistermae. أما الشكل الثاني فهو الشكل الحوصلى vesicular ، وهو الأكثر شيوعاً في الشبكة الملساء ؛ حيث تميل الأغشية لتكوين الحويصلات ، كما يميز الشبكة الملساء أيضا الشكل الأنبوبي للشبكة tubular ، وقد يرتبط ذلك الشكل بحركة الأغشية والتحامها وانقسامها .

يتبع التركيب الفيزيائي لأغشية الشبكة الإندوبلازمية بنوعيها نموذج الفسيفساء السائل المميز للغشاء البلازمي، مع وجود بعض الفروق الدقيقة ؛ حيث نجد أن سمك الغشاء في الشبكة الإندوبلازمية حوالى nm5 ؛ أي إنها أقل سمكا من الغشاء البلازمي (mm7.5) ، وقد يعزى ذلك إلى أن تركيب غشاء الشبكة الإندوبلازمية يحتوى على نسبة أعلى من البروتينات بالنسبة للدهون، وعلى تركيز منخفض من الكوليسترول عما في الغشاء البلازمي . ويؤدى وجود النسبة العالية من البروتينات في الغشاء الإندوبلازمي إلى زيادة درجة ثباته ، وبالتالي إنخفاض فى مرونته عن الغشاء البلازمي .



شكل تخطيطى للغشاء البلازمى (a) ، وغشاء الشبكة الإندوبلازمية (b) .

العلاقة بين الشبكة الإندوبلازمية الخشنة والملساء

بعد على الرغم من الاختلاف الواضح بين وظائف نوعى الشبكة الإندوبلازمية كما سياتي إلا أن الشواهد تدل على أن الشبكة الإندوبلازمية الخشنة هي التي تبدأ في الظهور أولاً ، ثم تشتق منها الشبكة الملساء. وقد ثبت ذلك بتجربة : حقنت فيها مادة الفينوباربيتال **phenoparbital** التي تساعد وتحفز إنتاج وانتشار أغشية الشبكة الإندوبلازمية . ولكن يبدو أن ذلك يحدث على مرحلتين : حيث يتم فى المرحلة الأولى تكاثر من ضمن وظائف الشبكة الملساء أن تشارك فى التفاعلات المؤدية إلى إزالة سمية مادة وانتشار الشبكة الإندوبلازمية الخشنة ، ثم يليها تكاثر وانتشار الشبكة الملساء وحيث إنه الفينوباربيتال .. فإنه من البديهي أن تتكون أولا الإنزيمات المزيلة للسمية ، وهذه بدورها يتم بناؤها على الريبوسومات الموجودة في الشبكة الخشنة : مما يؤيد ظهور الشبكة الخشنة أولا : يليها انتشار الشبكة الملساء ..

موقع ارتباط الريبوسوم بالشبكة الخشنة

يتم بناء البروتينات على كل من الريبوسومات الحرة في السائل الخلوي **Cytosol** . وكذلك على الريبوسومات المرتبطة بالشبكة الإندر بارزمية الخشنة . تنتج الريبوسومات الحرة البروتينات الذائبة في السائل الخلوى ، بينما تختص الريبوسومات المرتبطة بالشبكة بإنتاج البروتينات الإفرازية **Secretory Proteins** ، وكذلك البروتينات المتكاملة للغشاء نفسه.

وقد وجد أن الريبوسومات ترتبط فى العادة أثناء عملية الترجمة (بناء البروتين) بشريط من ر.ن.أ المراسل **mRNA** مكونة ما يسمى

البوليسوم Polysome. والتي قد تكون مرتبطة بالشبكة ، أو قد تكون حرة في السائل الخلوي أثناء إنتاج البروتينات.

يتم ارتباط الريبوسوم بالشبكة الإندوبلازمية بواسطة القطعة الكبيرة Large subunit للريبوسومات . وقد تبين أن هناك بروتينا خاصاً يسمى ريبوفورين Ribophorin ، وهو من البروتينات المتكاملة فى الغشاء الإندوبلازمي، يختص بربط الريبوسوم بغشاء الشبكة و يتم الارتباط مع الريبوفورين من أحد جوانب الريبوسوم، و ليس من مركزه.

وظائف الشبكة الإندوبلازمية الخشنة

ا - بناء البروتين تعد الشبكة الإندوبلازمية الخشنة بما تحتويه من ريبوسومات المركز الرئيسي لإنتاج البروتينات الإفرازية. وبروتينات الأغشية المتكاملة والسطحية.

2-معالجة وتعديل البروتينات

تقوم الشبكة الإندوبلازمية الخشنة بتحوير وتعديل بعض البروتينات الإفرازية الأولية . بحيث تساهم في تحويلها من الصورة الأولية لسلاسل متعدد الببتيد الأولية إلى الصورة المعقدة الثالثية الفعالة Tertiary ، وذلك بإضافة روابط كبريتيدية. كما قد تقوم بعملية إضافة سكريات إلى البروتينات glycosy lation للقيام بوظائف محددة ، ويتم أيضاً بعض التحليل الجزئى لسلاسل متعدد الببتيد ؛ حتى يكون الناتج النهائى الفعال بالطول المناسب لنشاطه . كما يحدث فى بعض الهرمونات : حيث يكون بادئ الهرمون أكثر طولاً من الهرمون النهائي ، ويتم التخلص من الزيادة ببعض الإنزيمات المحللة .

وظائف الشبكة الإندوبلازمية الملساء

1 - تخليق الدهون

إن المسئولية الرئيسية للشبكة المنساء فى بناء الدهون ونقلها ، بالرغم من أن الشبكة الخشنة قد تشارك في هذه الوظيفة.

-٢- تخليق الاستيرودات

حيث يتم بناء الكوليسترول والاسيترودات المختلفة كما يتم تحويلها إلى الهرمونات الاستيرودية الفعالة ، مثل : البروجستيرون ، والكورتيزونات بأنواعها .

٣- إزالة السمية]Detoxification

تتميز خلايا الكبد باحتوائها على نسبة كبيرة من الشبكة الملساء ، وهي تقوم بدور أساسي في إزالة سمية بعض الأدوية والعقاقير وغيرها من السموم الكيميائية مثل المبيدات : حيث تشارك فى التحليل أو فى التعديل الكيميائى للمواد السامة الممتصة خلال الغشاء البلازمي، وتحويلها إلى نواتج غير سامة . إلا أنه فى بعض الأحيان قد تكون هذه النواتج نفسها ذات تأثير ضار ومتلف لخلايا الكبد.

4- إنتاج الصفائح الدموية blood Platelets

حيث تعمل الشبكة الإندوبلازمية الملساء على تجزئة نوع معين من الخلايا في نخاع العظام ، تسمى الخلايا الضخمة النواة Megacaryocyte ؛ حيث تتميز باحتوائها على نواة كبيرة متضاعفة العدد الكروموسومى ، وتقوم الشبكة الملساء باختراق هذه الخلايا العملاقة .. بأن تتخلل حويصلات الشبكة سيتوبلازم الخلية ؛ مما يؤدى

إلى سهولة تقطيعها وتجزئتها إلى الصفائح الدموية، وهى فى ذلك تشبه الثقوب المتخللة لصفحة من طوابع البريد التي تبين خطوط التجزئة .

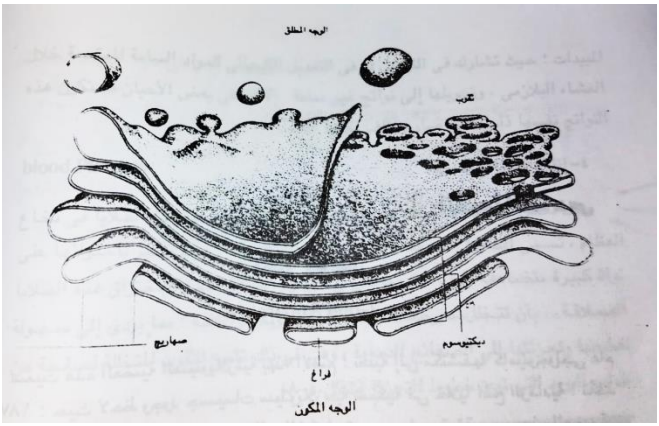
جهاز جولجيGolgi Apparatus

سميت هذه العضية السيتوبلازمية بهذا الاسم : نسبة إلى مكتشفها كاميلو جولجي عام ١٨٧٣؛ حيث لاحظ وجود جسيمات سيتوبلازمية شبكية في خلايا المخ الرمادية : تأخذ صبغة كرومات الفضة بشدة . وقد ظلت الشكوك تحوم حول حقيقة وجود هذه العضية. واعتقد كثير من الباحثين أنها مجرد بقع ناتجة عن أخطاء في الصبغ ، إلى أن أثبتت نتائج الفحص بالمجهر الإلكترونى ، وكذلك التجارب الهستوكيميائية وجود هذا الجهاز بالفعل عام ١٩٦٠ ؛ إذ أمكن التعرف على التركيب الدقيق للجهاز ، وعلى كثير من وظائفه الجهاز . في الخلية ، ومازالت الأبحاث جارية للكشف عن مزيد من الوظائف التي يقوم بها هذا

تركيب ومكونات جهاز جولجي

يختلف شكل جهاز جولجي حسب نوع الخلية ؛ فقد يبدو في بعض الخلايا مندمجاً و محدوداً ، بينما يظهر فى خلايا أخرى شبكيًا وممتدا ، وقد يمثل مكانا محددا ومميزا فوق قمة النواة ، أو قد يحيط بها ، أو يكون منتشرا في السيتوبلازم . وقد يتراوح في العدد ، من جهاز واحد إلى مئات الأجهزة في الخلية الواحدة .

ويمكن افتراض شكل نموذجى تركيبى لجهاز جواجى: حيث يسمى كل كيس مفلطح بالحوصلة أو الصهريج . ويطلق أحياناً على رصة الصفائح إسم الجسيمات الشبكية ، أو الدكتيوسومات **Dictyosomes** وهو مصطلح يطلق على جهاز جولجي باكملة في الخلايا النباتية . وتفصل بين وحدات الدكتيوسوم مسافة قدرها **nm20** ، ويحيط بالجسم الرئيسي (الدكتيوسوم) ، ويرتبط به عدد من الحويصلات والأشكال الأنبوبية المختلفة ، وقد تكون تلك التراكيب الجانبية منفصلة تماماً عن الدكتيوسوم الرئيسي ، ولكنها تقع في مجاله. وقد يظهر عدد من الثقوب المتخللة لجميع صفائح الدكتيوسومات .

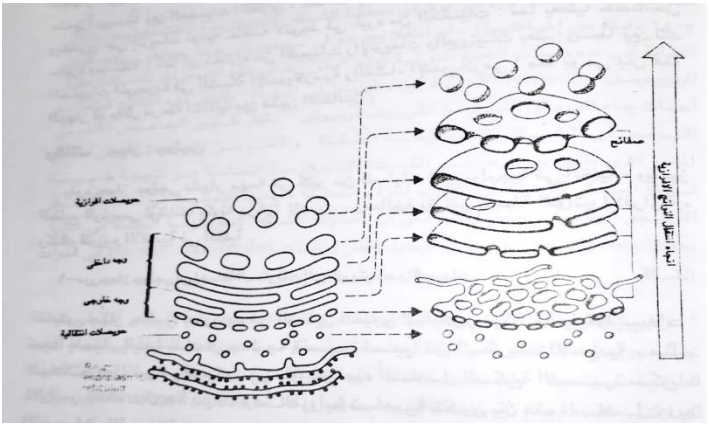


يأخذ الدكتيوسوم شكل رصة من الأطباق ، أو الصحائف التى قد تكون مفلطحة أو عميقة نسبيا حسب نوع الخلية . ولهذه الانحناءات أهمية خاصة في وظائف الجهاز ، ففى الخلايا الإفرازية مثلا يكون جهاز

جولجي بمثابة حلقة اتصال وظيفية مركزية في السلسلة الإفرازية كالآتي:

الحويصلات الإفرازية ← الغشاء الشبكة الإندوبلازمية ← جهاز جولجي . البلازمي . ولجهاز جولجي وجه محدب Convex متجه نحو الشبكة الإندوبلازمية الخشنة ، ويطلق عليه الوجه المكون Forming face ، بينما يكون الوجه المقعر Concave والذي يسمى الوجه المطلق maturer face في اتجاه سطح الخلية .

، وتمر هذه بدورها من خلال الوجه المكون للجهاز ، وتتحرك داخل طبقات أثناء عملية الإفراز .. تنتج الشبكة الإندوبلازمية الخشنة الحبيبات الإفرازية الانتقالية حتى تصل إلى الوجه المطلق ، وتتم أثناء ذلك عملية تركيزها وتجهيزها وتعبئتها : حويصلة إفرازية ناضجة ؛ تتجه إلى المنطقة القمية فى الخلية ، وينتهى بها المطاف إلى الجهاز في سطح الخلية : حيث تطلق بعملية التخلاء الخارجي إلى مجرى الدم.



وتعتبر إنزيمات Glycosyal transferases الإنزيمات الكشافة المميزة لجهاز جولجي في التفاعلات الهستوكيميائية وتوجد هذه الإنزيمات كبروتينات متكاملة داخل أغشية الجهاز ، وليس فى تجاويفه. وبصفة عامة فإن التركيب الكيميائى لجهاز جولجي يعتبر متميزاً ووسطا بين العضيات الأخرى ، كما أنه يأخذ شكلا مميزا ويمكن صبغه انتقائيا ، ويحتوى على إنزيمات نوعيه خاصة لاتوجد فى غيره من العضيات ؛ مما يعطيه خصائص مميزة ومستقلة ، كما أن محتواه من الليبيدات والإنزيمات والبروتينات يعتبر وسطاً بين تلك المحتويات الموجودة فى الشبكة الإندوبلازمية والغشاء الإندوبلازمي ؛ مما يوحي بأن هذا الجهاز قد يمثل مرحلة انتقاليه بين هذين النظامين .

وظائف جهاز جولجي

يقوم جهاز جولجي بأدوار مهمة فى كثير من العمليات الفسيولوجية في الخلية ، ويتميز الطابع الرئيسى لوظائفه بكونه مركزاً لتعديل، ومعالجة وتركيز وتعبئة النواتج الإفرازية ، وكذلك لتوزيع الأغشية في الخلية .

١ - دور جهاز جولجي في إضافة السكريات إلى البروتينات والليبيدات :

يقوم جهاز جولجي بدور مهم فى التخليق الحيوى للجليكوبروتينات والجليكوليبيدات ؛ حيث يضيف إليها سلاسل جانبية قصيرة نسبياً من السكريات الأحادية ، مثل : الجلاكتوز، والمانوز ، والفيوكوز ويطلق على هذه السلاسل السكرية القصيرة سكريات الأوليجو (Oligo Saccharides) وهناك روابط تساهمية تتكون بين هذه السلاسل ، وبين الأحماض الأمينية الطرفية فى سلسلة متعدد الببتيد ؛ بحيث تكون هذه الجليكوبروتينات مهيأة للإفراز ، أو لتصبح جزءاً من الغشاء البلازمي

للخلية ، وتقوم بعملية ربط سكريات الأوليجو بالبروتين إنزيمات خاصة بجهاز جولجى تسمىGlycosyl transferase .
ومن الأمثلة المعروفة فى عملية تسكير البروتينات cosy lationراع .. إنتاج بروتين الثيروجلوبيولين، الذي يرتبط بهرمون الثيروكسين المنتج من الغدة الدرقية ، كما تساهم يضاف إليه اليود ويخزن في الحويصلات الخلايا الفلانية المبطنة لتجويف حوصلات هذه الغدة في إنتاج هذا البروتين ، والذي يضاف اليه اليود و يخزن في الحويصلات.

وقد أظهرت نتائج التصوير بالإشعاع الذاتي Autoradiography ، مع تقنية مطاردة أو متابعه النبض Pulse-Chase technique أنه يمكن تتبع خط سير بعض المركبات المعلمة إشعاعياً ، مثل : الحامض الأميني الليوسين leucine) . وسكر المانوز Mannose . وسكر الجلاكتوز 3) galactose) في مراحل عملية glycoxylation : بهدف تكوين بروتين الثيروجلوبيولين.

٢- التخليق الحيوي للسوائل المخاطية Mucagin faormation

يقوم جهاز جولجي بالتخليق الحيوى للجليكوبروتينات المكبرتة المخاطية التي تفرز بواسطة الخلايا الكاسية golet cells ، في القناة الهضمية ، وهي عادة تحتوى على ، سلاسل سكرية جانبية طويلة نسبيًا ، كما أنه نظراً لخواصها الانزلاقية Slippary فإنها تقوم بعملية التليين lubrication : للمساعدة على مرور الكتلة الغذائية خلال القناة الهضمية.

٣- تخليق جليكوبروتينات الغشاء البلازمي

أثبتت الدراسات في الخلايا العمادية للنسيج الطلاءي للأمعاء أن جليكوبروتينات الغشاء البلازمي يتم تكوينها بمسار مماثل لما يحدث بالنسبة للثيروجلوبيولين و المخاط. و بتعليم الأحماض الأمينية ،و الجلاكتوز و الفيوكوز؛ وجد أن الأحماض الأمينية تظهر مباشرة في الشبكة الاندوبلازمية الخشنة؛ حيث يتم إنتاج سلسلة متعدد الببتيد ، بينما يبدأ ظهور الجلاكتوز و الفيوكوز في جهاز جولجي؛ حيث تتم عملية التسكير للبروتين glycosylation ، ثم تخرج الحويصلات من المطلق لجهاز جولجي ؛ حيث تأخذ طريقها إلي الغشاء البلازمي للخلية.

٤- تركيز النواتج الإفرازية

في بعض أنواع الخلايا المفرزة (خاصة خلايا البنكرياس الخارجية الإفراز ، وخلايا الغدة النخامية الداخلية الإفراز) .. تنشأ حبيبات الإفراز المحتوية على ناتج إفرازي عند الوجه المطلق لجهاز جواجي ؛ حيث يتم تخزينها بأعداد كبيرة فى حبيبات إفرازية بالسيتوبلازم ، إلى أن يتم تحفيزها للإطلاق بعملية التخلاء الخارجى . وفى هذه الأثناء تبدأ حويصلات جواجى فى تركيز ناتج الإفراز قبل تعبئته في حبيبات إفرازية.

والدليل على أن عملية التركيز قد حدثت (من خلال نقل الماء والأيونات عبر ا الحوصلى للجهاز إلى السيتوبلازم (المحيط) أنه قد شوهدت حبيبات الإفراز داخل الحويصلات فى البداية كناتج مكثف معتم جزئيا إلكترونيا

وبمتابعة هذه الحبيبات مع الوقت وجد أن محتوى الحويصلات باكمله قد أصبح معتما الكترونيا، و مغلفا باحكام في الحبيبة الناضجة.

ه- تكوين جدار الخلية النباتية

يقوم جهاز جولجي بدور رئيسي فى تكوين مواد الجدار الخلوي في الخلية النباتية ، أثناء انقسامها ونموها ؛ إذ تتجمع السكريات المتنوعة للشبكة الجديدة المتكونة في جهاز جولجي قبل صبها في صفيحة الجدار الجديدة.

وفي الخلية النباتية المنقسمة ، تتكون صفيحة وسطية بين الخليتين الناتجتين من الانقسام بواسطة حويصلات الجهاز التى تتكثف من مركز الخلية ، وتتجه إلى الخارج في اتجاه الغشاء البلازمي. وتشير الأدلة إلى أن الحويصلات ومحتواها من البكتين pectin والهيميسيليولوز، تنشأ من جهاز جولجي ، وتندمج لتكون الصفيحة الوسطية للخلية النباتية.

٦- إنتاج الليسوسوم الأولى والأكروسوم

يخرج الليسوسوم الأولى من الوجه المطلق لجهاز جولجي ؛ حيث تتم تعبئة وتغليف إنزيماته في غشاء محدد . وقد وجد أن إنزيم الفوسفاتيز الحامضي المميز لليسوسو يكون في البداية مركزاً فى مناطق مرتبطة بالوجه المطلق لجهاز جولجي : مما يؤيد هذه النظرية.

ويشارك جهاز جولجي مشاركة رئيسية فى تكوين الأكروسوم ؛ حيث يقوم الجهاز بتعبئة ونقل إنزيمات التحليل المائى إلى قمة الحيوان المنوي

، كما يساهم في منشأ أغلفة الأكروسوم المتكون . تنمو حبيبة الأكروسوم بمواد مخزونة ؛ يعتقد أن مصدرها جهاز جولجي ، والشبكة الخشنة ، حتى تملأ غطاء رأس الأكروسوم بإنزيمات التحليل المائي. وبالإضافة إلى ذلك ، تساهم أغشية حويصلات جهاز جولجي نفسها في تكوين أغشية الأكروسوم .

٧- حركة الأغشية خلال جهاز جولجي

يفترض في عناصر الأغشية المختلفة فى الخلية سواء أغشية الغشاء البلازمي، أم الإندوبلازمي أنها تمر من الشبكة الإندوبلازمية الخشنة إلى الغشاء البلازمي من خلال جهاز حولجي حيث تتكون الصفائح المثقبة في الوجه المكون لجهاز جولجي ؛ عندما تندمج الحويصلات الانتقالية الآتية من الشبكة الإندوبلازمية في صفيحة متصلة ؛ تتحرك في داخل صهاريج (دكتيوسومات) جهاز جولجي المتراصة كلما زاد بناء البروتينات الغشاءية علي الشبكة ، و تظل في الإنتقال بين الصهاريج؛ متصاعدة إلي أعلي حتي تصل إلى الوجه المطلق؛ فتتم تجزءتها لتكوين حويصلات غشاءية (إفرازية) . و أثناء هذه الرحلة يتحور غشاء الصفيحة ليصبح أقرب إلي شكل الغشاء البلازمي ، بينما تحدث في الوقت نفسه عملية التسكر glycosylation للمواد أثناء انتقالها في صهاريج جهاز جولجي.

الميتوكوندرياMitochondria

في يطلق عليها أحياناً الأجسام السبحية ، أو الفتيلية : نسبة إلى الأشكال التي توجد بها السيتوبلازم ؛ حيث توجد عادة حرة فى مادة الترابط السيتوبلازمية ، وهي تختلف في الشكل من البيضاوى إلى العصوى إلى الفتيلي : حسب العضو الموجودة به الخلية : فهى تميل مثلاً إلى الاستطالة فى خلايا الكبد حيث يبلغ سمكها حوالى در - ١,٠ um وطولها حوالي 3 um ، وهو الشكل الشائع للميتوكوندريا الحرة في السيتوبلازم.

وقد تأخذ الميتوكوندريا أشكالاً محددة فى الأنسجة التى تتطلب تواجد الميتوكوندريا في أماكن أو حجيرات محصورة : حيث يزداد الاحتياج إلى المركبات الغنية بالطاقة التي تنتجها الميتوكوندريا ، مثل : ATP ، كما هو الحال في خلايا العضلة المخططة للقلب . وحول ذيل الحيوان المنوى

تعتبر الميتوكوندريا مسئولة عن إنتاج ATP اللازم ؛ كمصدر للطاقة في الخلية ، كما تعد المسرح الذي تتم فيه عمليات التنفس الهوائى ؛ حيث توجد بمادة الترابط (matrix) للميتوكوندريا جميع إنزيمات دورة كريس للتنفس الهوائى (وتسمى أيضا دورة حامض الستريك ، أو دورة الحامض الثلاثى الكربوكسيل (TCA) . كما أنها تسهم في التخليق الحيوى لبعض البروتينات ؛ نظراً لاحتوائها على الحامض النووى د . ن . أ الخاص بها (DNA) ، وتقوم بدور حيوى فى عملية أكسدة الدهون B-Oxidation

قد توجد الميتوكوندريا حرة فى السيتوبلازم، ومنتشرة فى أماكن عشوائية غير محددة ، كما فى الكبد ، أو قد ترتبط ارتباطاً وثيقاً بمواقع معينة في الخلية ، كما هو الحال في خلايا العضلة المخططة ؛ حيث تقع الميتوكوندريا بين ألياف العضلة.

ومن الأمثلة الواضحة أيضاً لذلك ، الموقع المميز للميتوكوندريا فى ذيل الحيوان المنوي حيث تلتف بإحكام حول ذيل الحيوان المنوى ؛ مما يجعلها ملاصقة للأماكن التي يشتد فيها الاحتياج إلى طاقة ATP.

تختلف الميتوكوندريا في العدد حسب نوع الخلية ودرجة نشاطها الفسيولوجية فيتراوح من صفر إلى آلاف ؛ فمثلاً لا توجد ميتوكوندريا بالمرة فى أحد الطحالب العديمة اللون ، كما قد تحتوى خلايا بعض الحيوانات الأولية ، وبعض السوطيات على ميتوكوندريا وحيدة. وتحتوي خلية الكبد على حوالي ٨٠٠ ـ ١٠٠٠ ميتوكوندريا . وفي الأميبا العملاقة يوجد حوالي نصف مليون ميتوكوندريا.

و يبدو في كثير من الحالات أن هناك علاقة بين أعداد الميتوكوندريا ، و متطلبات الخلية من الطاقة ، إلا أنه في معظم الحالات يكون للإختلاف في التركيب الدقيق للميتوكوندريا دور أهم من عددها في هذا الشأن.

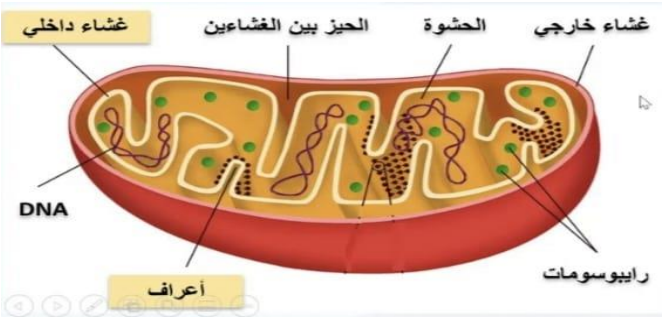
التركيب الدقيق للميتوكوندريا

تتميز الميتوكوندريا بأنها محددة بغشائين لكل منهما خواص الفسيفساء السائل المميز لتركيب الأغشية بصفة عامة . يتميز الغشاء الخارجى بأنه

أملس ومنفذ تماماً للماء وكثير من المواد ، بينما يكون الغشاء الداخلى عديم النفاذية ؛ مما يتطلب بذل طاقة للمساعدة على إدخال بعض المواد من خلاله ؛ لتصل إلى مادة الترابط الداخلية matrix . ويتميز هذا الغشاء بتكوين بروزات أو امتدادات تسمى خملات الميتوكوندريا Cristae mitochondriales ؛ تمتد عادة متعامدة على المحور الطويل للميتوكوندريا . يوجد بين غشائي الميتوكوندريا فراغ بينى ضيق ، كما يوجد في الداخل بين الخملات مادة الترابط الداخلية ، والمعروفة باسم الماتركس Matrix ، وهي تبدو غير متجانسة لاحتوائها على حبيبات وريبوسومات وخيوط من د ن أ توجد فى شكل حلقي .

يختلف تركيب الأعراف أو الخملات اختلافاً كبيراً حسب أنواع الخلايا ، والأشكال الشائعة ، هي : الصفائحية أو الأنبوبية ؛ بحيث تكون الخملات متوازية ومتراصة كما هو الحال في خلايا البنكرياس والكلية: حيث توجد

الخملات متزاحمة ومتراصة .



وترجع الأهمية الوظيفية لهذه الاختلافات فى الخملات إلى أن سطح الغشاء الداخلي تزداد مساحته بدرجات متفاوته حسب درجة تزاحم هذه الخملات الممتدة منها ؛ بحيث يتناسب مع متطلبات النشاط الفسيولوجى للخلية واحتياجاتها من إنزيمات التنفس اللازمة العمليات التمثيل الغذائى (الأيض) ، وما يتطلبه ذلك من إنتاج جزيئات ATP . .

تأخذ الخملات أحياناً شكلا أنبوبيًا ، كما هو الحال فى الحيوانات الأولية Protozoa ، أو كثير من الخلايا المفرزة للاستيرودات فى الثدييات، وفى بعض الأنسجة ؛ مثل تلك الموجودة فى غدة الأدرينال ؛ حيث يتم إنتاج الاستيرودات نجد أن العملات تأخذ شكلاً حويصلياً.

وراثة وانقسام الميتوكوندريا

تركيب ووظيفة mt DNA

يوجد في الميتوكوندريا د . ن . أ خاص بها ، وهو شريط قصير جداً : بالمقارنة بـد . ن . أ . النواة، ويوجد عادة فى شكل حلقى فى الماتركس ، وقد توجد منه عدة نسخ في الميتوكوندريا الواحدة : تتراوح من نسختين إلى ست نسخ ؛ مما يعطى الخلية عدداً إجماليا من mtDNA : قد يصل إلى ٨١٠ أو أكثر. ويتوقف ذلك بالطبع على عدد الميتوكوندريا بالخلية وقد تتشابك حلقات mtDNA في شكل يشبه الجنزير أو السلسلة.

يقوم mtDNA بأدوار مماثلة لـ nDNA (النووى) فى الخلايا المميزة النواة ؛ أي إن باستطاعته نسخ أنواع RNA المختلفة rRNA, RNA,

(mRNA) ؛ كما يمكنه ترجمة mRNA إلى بروتينات داخل الميتوكوندريا.

وعلى الرغم من أن الأدوار تتشابه ، إلا أن النواتج تختلف تماما ؛ إذ يبدو أن الجهاز الوراثي لكل من النواة والميتوكوندريا ، لا ينتج نواتج مشتركة ؛ لذلك نجد أن الجهاز الوراثي في الميتوكوندريا يعتمد بشكل كبير علي الجهاز الوراثي للنواة ، بينما تعتمد الخلية نفسها علي الميتوكوندريا في أداء وظائفها ، و في الحصول علي احتياجاتها من الطاقة.

الريبوسومات Ribosomes

الريبوسومات أجسام صغيرة غير غشائية أكتشفت في بداية القرن التاسع عشر وتظهر مؤلفة من نصفي حلقات غير متساوية القطر يبلغ معدل قطرها بين 17 - 23 نانوميتر ، تنتشر هذه الاجسام في سايتوبلازم جميع أنواع الخلايا أضافة لانتشارها على السطوح الخارجية لاغشية الشبكة الاندوبلازمية الخشنة، كما أنها قد تنتظم على هيئة مسبحة Polysomes أو تجمعات وقد نجدها في البلاستيدات والمايتوكوندريا ، سميت هذه الاجسام بأسماء مختلفة تبعاً لنوع الخلايا التي شوهدت فيها.

ففي الخلايا الغدية تسمى ارجستو لازم Ergistoplasm وفي الخلايا العصبية سميت بأجسام نسل Nissl bodies وفي خلايا أخرى بالاجسام القاعدية Basophilic bodies

لا يعرف كيف يتم بناء الريبوسومات بشكل تفصيلي الا الله من المعروف بأنها تتألف من حامض نووي ريبوزي ريبوسومي rRNA وبروتينات متنوعة تؤلف هذه تحت وحدتين Subunits ترتبطان مع بعضهما بمساعدة أيونات المغنيسيوم وتنفصلان من دون هذه الايونات ..

وجد بأن لريبوسومات الخلايا حقيقية النواة معامل ترسيب يساوي 805 وعند الانفصال تتكون تحت وحدتين من كل ريبوسوم أحداهما كبيره يساوي معامل ترسيبها 608 تحتوي على جزيئتي أحماض نووية ريبوزية 285 و 55 وأخرى صغيرة معامل ترسيبها 405 تحتوي على جزيئة حامض نووي 185

أما بالنسبة لريبوسومات الخلايا بدائية النواة فأن معامل ترسيبها الكلي يبلغ 705 بينما يبلغ معامل ترسيب تحت وحدتها الكبيرة 505 والصغيرة 305 . ونظراً لغزارة مجاميع الفوسفات في تركيب الريبوسومات فأنها محبة للقاعدية. وتصطبغ بسهولة بالاصباغ القاعدية كأزرق الميثلين والتولوين والهيماتوكسلين .

الريبوسومات ببناء جميع أنواع البروتينات اللازمة للخلايا أن تمتلك نظاماً فريداً للبناء مؤلف من أعداد مختلفة من الانزيمات والجزيئات الناقلة والمساعدة . تعتمد عملية بناء البروتينات في الريبوسومات على وجود موقع خاص على السطح الداخلي لتحت وحداتها لارتباط الحامض النووي المرسال ثم ترجمة الشفرات الوراثية المحمولة عليه إلى أحماض أمينية يتم ربطها بشكل متسلسل حسب وروده في الشفرات لانتاج سلاسل

عديد الببتيد. وتساهم في هذه العملية العديد من عوامل نمو سلاسل الببتيد وجزيئات من الحامض النووي الناقل وأنزيمات مختلفة . الترجمة وبناء البروتين :

ان عملية تصنيع كل جزيئة بروتين يتم ادارتها بواسطة الحامض النووي المرسال mRNA . تتضمن هذه العملية عدد من الخطوات التي تتبع استنساخ الحامض النووي المرسال ويمكن وضع هذه الخطوات على شكل مرحلتين هما :

أ. مرحلة انتقال المعلومات Information - transfer وفيها يتم تصميم تتابع الاحماض الامينية اعتماداً على تتابع شفراتها في الحامض النووي المرسال . ٢ . مرحلة العمليات الكيميائية حيث يتم من خلالها ربط الاحماض الامينية مع بعضها ، وتدعى كلا المرحلتين بالترجمة (Translation) ، يتضمن نظام الترجمة اربعة مكونات :

1 - الريبوسومات : وتمثل منضدة العمل التي يتم فيها تصنيع البروتينات . تنتشر الريبوسومات في سايتوبلازم الخلايا بدائية النواة فيما تتركز بكثافة على سطوح اغشية الشبكة الاندوبلازمية في حقيقيات النوى . تحتوي الريبوسومات على الانزيمات الضرورية لتكوين الروابط الببتيدية بين الاحماض الأمينية . وتوف المكان المناسب لارتباط الحامض النووي المرسال .

ب - الحامض النووي الناقل RNA : ان الاحماض الامينية ليست مرتبطة مع شريط الحامض النووي المرسال بل هناك شفرات معينة ضمن الحامض النووي المرسال يتم التعرف عليها ليبدأ بناء سلسلة عديدة الببتيد . ان عملية التعرف علي هذه الشفرات يتم بواسطة مجموعة من الجزيئات التي تدعى بالحامض النووي الناقل . تتمكن هذه الجزيئات من قراءة شفرات الحامض النووي المرسال باستخدام مضاد الشفرة الذي تحمله . تتكامل مضادات الشفرات الوراثية بحيث يقابل كل شفرة وراثية معينة مضاد للشفرة مكمل له .

ج انزيمات تصنيع مركب الحامض النووي الناقل - امينواسيل - (tRNA Synthetases Aminoacyl) : وهي مجموعة من الانزيمات المسؤولة عن ارتباط حامض اميني مع جزيئة حامض نووي ناقل مناسب. يرتبط الحامض الاميني مع جزيئة الحامض النووي الناقل الخاصة به برابطة قوية تنشأ من ارتباط مجموعة الكربوكسيل (COOH) في الحامض الاميني مع مجموعة الهيدروكسيل (OH) في الطرف الثالث من جزيئة الحامض النووي الناقل لانتاج مركب الامينواسيل - الحامض النووي الناقل . يتكون هذا المركب بخطوتين الأولى بتنشيط الحامض الاميني بواسطة الطاقة العالية في الادينوسين ثلاثي الفوسفات (ATP) والثانية بارتباط الحامض الاميني المنشط بجزيئة الحامض النووي الناقل المناسب واطلاق المركب الوسيط الادنين احادي الفوسفات (AMP) . تتم كلنا الخطوتين بوجود الزيم التصنيع مركب الحامض النووي الناقل - امينواسيل.

ان المعقد الكيميائي المتكون من الحامض النووي الناقل والامينواسيل يعمل كوسيط لبناء سلسلة عديد الببتيد حيث يتمكن كل جزيء من هذا المعقد الكيميائي من تمييز الشفرة الصحيحة في الحامض النووي المرسال ليصنع الحامض الاميني في الوضع الصحيح .

د - تأسيس واطالة سلسلة عديد الببتيد : يحتوي كل ريبوسوم على موقعين الاول هو الموقع الببتيدي Piptidy site (P) الذي ترتبط به سلسلة عديد الببتيد النامية والثاني هو موقع الحامض الأميني المنشط (٨) الذي ترتبط به جزيئة الحامض النووي الناقل - امينواسيل الحاملة للحامض الأميني .

ترتبط جزيئات الحامض النووي - امينواسيل بالموقع ٨ اعتماداً على مضاد الشفرة التي يحملها والشفرة الوراثية العمولة على الحامض النووي المرسال . وعلى ذلك فإن جزيئات الحامض النووي الناقل - امينواسيل تتغير بتحرك الشفرات الوراثية للحامض النووي المرسال . وهكذا يتولى ارتباط جزيئات الحامض النووي الناقل امينواسيل مع كل تغيير في الشفرة الوراثية في الموقع A.

وتشابه حركة شفرات الحامض النووي المرسال وجزيئات الحامض النووي الناقل - امينواسيل حركة شريط الطابعة اليدوية فيما تشبه اضافة الحامض النووي الناقل - امينواسيل طبع الحروف لتنتهي العملية بكلمة مفهومة ومرتبطة مع بقية الكلمات لانتاج سطر كتابي يقابل سلسلة عديد الببتيد النامية ، يبدأ بناء البروتين بواسطة بادىء خاص من جزيئة

الحامض النووي الناقل والذي يرمز له بـ (Meth (iony 1 - 1RNAT RNA Imet : كما ترتبط جزيئة الميثونين مع مجموعة اخرى هي مجموعة الفورميل .

الاجسام الدقيقة أو البيروكسيمات :

تشتق هذه الاجسام من الشبكة الاندوبلازمية الملساء ويتم تعبئتها بأنزيمات الاكسدة قبل أنفصالها . يتميز غشاءها بأن له قابليه نفاذية مميزه بحيث يسمح 287

البيروكسي سومات او الاجسام الدقيقة هى تراكيب غشائية دائرية أو بيضوية اكتشفت منذ أوائل الستينات يتراوح قطرها بين 0.15-0.6 مايكرومتر تشابه اللايوسوم الأولى .

الجزيئات كثيره اكبر حجماً من جزيئات السكروز بالمرور خلاله بسهولة . يحتوي مركز هذه الاجسام على أنابيب دقيقة مرتبة بصورة منتظمة ويحاط كل منها بعشرة أنيبوبات أدق ، قد يحتوي المركز أيضاً على تراكيب بلورية متميزة أضافة لحشوة سائلة محببة غزيرة بأنزيمات الاكسدة . يختلف عدد وحجم الاجسام الدقيقة من نوع خلايا الى اخرى ومن عضو الى آخر وتلعب الظروف الغذائية دوراً في ذلك أيضا .

أن اكبر الاجسام الدقيقة حجماً (16) مايكروميتر) يوجد في خلايا الكبد والكلية ويعتقد بأن أغلب الخلايا حقيقية النواة تمتلك مثل هذه الاجسام . كما وجد بأن عدد الاجسام الدقيقة التي توجد في خلايا الخميرة المرباة في

وسط سكري يكون قليلاً مقارنة مع العدد الكبير لهذه الاجسام في خلايا الخميرة المرباة في وسط غنائي غني بالكحول أو الاحماض الدهنية تتشابه الاجسام الدقيقة مع اللايسوسومات في الحجم والشكل لكنهم مختلفتان في التراكيب والوظيفة . أن ليس للاجسام الدقيقة دور في الهضم ولا تحمل في داخلها أنزيمات هاضمة ويتركز دورها على أكسدة المركبات ، لذلك فهي غنية بأنزيمات الاكسدة مثل أنزيم الكاتليز Urate oxidase و Catalase و D-amino acid oxidase

: تحتوي اغلب الاجسام الدقيقة على انزيم الكاتيليز الذي Mim يمثل اكثر من 40% من انزيمات الاكسدة وقد تحتوي ايضاً على انزيم اضافي او اكثر . تقوم الاجسام الدقيقة باستخدام الأوكسجين الجزيئي لازالة الهيدروجين من لا يسوسومي ويلاحظ بأن الاختلاف بينها بعض نواتج تحليل المركبات داخل مظهريا صعب جداً الا من خلال محتوياتها الخلايا وانتاج بيروكسيد ووجود الأنابيب الدقيقة في البيروكسيمات . الهيدروجين H2O2 كخطوة اولى .

وفي الخطوة التالية يستخدم بيروكسيد الهيدروجين لأكسدة أنواع مختلفة من المركبات من ضمنها الفينولات وحامض الفورميك والفورم

$$R + H_2O_2 ____ RH_2 + O_2$$

الليفات والانيبوبات الدقيقة في السايتوبلازم Cytoplasmic Microfilaments and tubules

الليفات الدقيقة Microfilaments :يحتوي معظم سايتوبلازم الخلايا على انواع متعددة من الليفات الدقيقة ذات وظائف مختلفة . وتعتبر الخلايا العضلية وخصوصاً الهيكلية من افضل الخلايا التي درست فيها هذه التركيبات بشكل مفصل ودقيق ، تتم الحركة في العضلات الهيكلية عن طريق نسيج متطور هو النسيج العضلي المؤلف من خلايا Sarconserae تمثل كل منها وحدة تقلصيه تتكرر على طول كل ليف Muscle fiber ويتأزر مع هذا النسيج في أداء الوظيفة النسيج العصبي. تتألف العضلة الهيكلية من حزم من العضلات يفصل كل منها عن الآخر غمد Perimysum . تتألف كل حزمة عضلية من ليف عضلية متعددة Muscle liber يفصل كل منها عن الآخر غمد آخر يدعى بعمد الليفة -Endo mysium وتحاط العضلة جميعها بغمد رئيسي هو غمد العضلة Epimysium - ان فحص الليفة العضلية مجهريا يوضح بانها مخططة بمناطق فاتحة اللون واخرى غامقة . وتتحدد كل وحدة تقلصية (ساركومير) بخطوط تدعى بخطوط -2 لقد وجد بأن كل ليفة عضلية مؤلفة من العديد من الليفات العضلية الدقيقة Myolibrils وتتألف هذه من خيوط عضلية دقيقة جداً Myofilaments . أن مقاطع حزم الخيوط العضلية المفحوصة بالمجهر تبين بان هناك نوعين من الخيوط هما خيوط المايوسين Myosin السميكة التي يتراوح عرضها 12 - 15 ناتوميتر و 130 نانوميتر طولاً

وتمتد في المناطق الغامقة من العضلة التي يرمز لها بالحرف A وخيوط الاكتين Actine الدقيقة الممتدة في المناطق الفاتحة التي يرمز لها بالحرف I وقليلا في المنطقة الغامقة.

الانيبوبات الدقيقة Microtubules

وهي عناصر غير غشائية طويلة غير متفرعة أنبوبية ذات قطر حوالي 30 نانوميتر تنتشر في جميع انواع الخلايا. توجد الانيبوبات الدقيقة اما على صورة منظمة جداً كما هو الحال في قاعدة الاهداب Axoneme والمريكزات او الاجسام المركزية -Centrioles أو تنتشر في السايتوبلازم بالقرب من بعض العضيات السايتوبلازمية وفي محاور وتشعبات الخلايا العصبية المؤلفة للجهاز العصبي المركزي . كما توجد بالقرب من الاغشية البلازمية وخصوصاً مناطق التبادل الخلوي . توضح المقاطع العرضية لنماذج الخلايا بأن كل انيبوب دقيق مؤلف من ثلاثة عشر تحت وحدة بروتينية تدعى بالتيوبيولين Tubulin ذات وزن جزيئي 120,000 لكل منها . لقد بينت الفحوصات الكيميائية لهذه التحت وحدات بأنها مؤلفة من نوعين من البروتينات الانيبوبية هما الفا وبيتا . تتكون الانيبوبات الدقيقة في الخلايا عن طريق البلمرة الذاتية لبروتينات

التيوبيولين. كما يمكن ان تختفي من الخلايا عن طريق حل نفسها بأزالة البلمرة من تحت وحداتها وتفكيك مكوناتها.

تؤلف الانيبوبات الدقيقة الهيكل الرئيسي للاهداب والاسواط حيث تترتب بطريقة مميزة مكونة تسعة أنابيب مزدوجة محيطية تحيط بزوج مركزي

وتمتد هذه الازواج الأنبوبية على طول الاهداب ابتداً من قاعدتها . لقد تم دراسة تنظيم الانيبوبات الدقيقة في الاهداب بشكل مفصل وقد وجد بأن في كل زوج أنيبوبي هناك أنيبوب كامل القطر مؤلف من ثلاثة عشر تحت وحده بروتينية تسمى Subfiber - A ترتبط مع أنيبوب غير مكتمل القطر يتألف من أحدى عشر تحت وحدة بروتينية تسمى Subfibre B . تمتد من الانيبوبات الكاملة القطر زوائد زوجية تتجه نحو الانيبويات غير مكتمل القطر. تتألف هذه الزوائد من عدة جزيئات من بروتين الدينين Dyaeiz ذو نشاط أنزيمي لتوليد الطاقة ATPase

ترتبط أزواج الانيسويت دقيقة نايفة لهيكل الهدي محيطياً بزوائد تدعى Linkes وترتبط شعاعياً مع زوج الانيبوبات المركزية بروابط أضافية تدعى Spokes عددها تسعة روابط. أضافة للروابط الشعاعية ترتبط الانيبوبات المركزية برابطة دائرية تسمى بالغلاف المركزي Central heath . تمتد الروابط والسبوكات والغلاف المركزي على طول الانيبوبات المؤلفة لهيكل الهدب . يعتقد بأن لزوج الانيبوبات المركزية دوراً مهماً في حركة الهدب حيث تختفي هذه الانيبوبات في الاهداب التي لا تستخدم في الحركة . لا يعرف الكثير حول دور الانيبويات في حركة الاهداب الا انه يعتقد بأن الاهداب تحتاج إلى الطاقة التي يتم توليدها باستخدام نشاط ATPase لبروتين الداينين والى ايونات الكالسيوم . ويعتقد بأن الانيبوبات الدقيقة تمتلك مرونة كافية بحيث تستجيب للطاقة المتولدة مع التداخل الايوني وبمساعدة الغشاء البلازمي لاحداث الحركة .

أضافة لوجود الانيبوبات الدقيقة في الاهداب فأنها تؤلف العناصر اللازمة للمغزل الانقسامي Misotic spindle حيث تتولد في منطقة المريكزات او الاجسام المركزية لتكوين الاقطاب الانقسامية . ولا تلبث هذه الانيبوبات ان تمتد لترتبط مع كروما يتدات الكروموسومات او عابرة منتصف الخلية باتجاه الاقطاب.

لقد وجد بأن المواد الكيميائية الموقفة للانقسام الخلوي مثل مادة الكولجسين Colchicine تتداخل مع بروتينات التيوبولين في الاقطاب مما يؤدي الى تدمير الانبوبات الدقيقة للمغزل وإيقاف الانقسام الخلوي . يتحدد موقع مغازل الانقسام الخلوي بواسطة زوج من التراكيب الانبيوبية الدقيقة المسماة بالمريكزات Centerioles التي تظهر في موقع سايتوبلازمي مميز يدعى Cytocentrum بالقرب من النواة وجهاز كولجي .

يتألف كل مريكز من تسعة تجمعات ثلاثية من الانيبوبات الدقيقة تشكل دائرة . تترتب هذه التجمعات بشكل منحرف على بعضها ولا تظهر تراكيب أضافية في مركزها باستثناء شريط قصير لل DNA

في بداية الانقسام الخلوي تبتعد المريكزات عن بعضها وتتحرك نحو أقطاب المغزل وعند حركتها فرقة العديد من الانيبوبات الدقيقة وبعد اختفاء غشاء النواة وتكثف الكروموسومات تتولد أعداد أخرى من الانيبويات الدقيقة التي تؤلف الياف الغزل يرتبط بعضها مع كروماتيدات الكروموسومات وفيمواقع ارتباط هذه الكروماتيدات Kinetochores أو

Centromeres . ويبدو بأن للانيبوبات الدقيقة التي تؤلف اليافه المغزل أهمية كبيرة في فصل كروميدات الكروموسومات عن بعضها وسحبها نحو أقطاب الخلية .

وظائف الانيبوبات الدقيقة :

1 - نظراً لانتشارها في معظم الخلايا للملك فأن لها دوراً في توفير الدعامة الهيكلية التي تعطي الخلايا شكلها المعروف

. 2 - بسبب وجودها بالقرب من الغشاء البلازمي فأنها توفر مطاطية تساعد غشاء البلازما على مقاومة الشد الناتج عن الضغط الازموزي لمكونات الخلية الداخلي وربما تساعده أيضاً في تنظيم حركة المواد .

3 - لها أهمية بالغة في حركة بعض الخلايا بسبب تأليفها لمحتوى الاهداب والاسواط المستخدمة - كما أنها تمثل وسائل الحركة للخلايا النامية في المزارع النسيجية.

لها دور كبير في الانقسام الخلوي حيث تمثل الانيبوبات الدقيقة أقطاب الانقسام والمغزل واليافه . و تساهم كثيراً في فصل كروماتيدات الكروموسومات لإنجاز الانقسام وإتمامه .

النـــــواة

تتميز جميع خلايا الاحياء الحقيقية النواة - بأستثناء كريات الدم الحمراء عند لانسان وكذلك صفائحه الدمويه - باحتواءها على نواة متميزة واضحة.

تشغل النوالة عادة موقعاً مركزياً في الخلايا يتيح لها إدارة الفعاليات الأيضيه صورة كفوءة ولكن يمكن مشاهدتها في أحد أقطاب الخليه أو على الحافات اخلية لبعض الخلايا ويتحكم في ذلك وجود فجوات عديده أو فجوة كبيره كما هو الحال في الخلايا الدهنية حيث يكون السايتوبلازم والنواة على حافات الخلايا . اما في الخلايا العضليه الهيكليه والقلبيه فأن النوى تقع بالقرب من الاغشيه بلازميه بسبب وجود الالياف العضليه الكثير في سايتوبلازمها يغلب الشكل الكروي على نوى معظم الخلايا ولكن يمكن أن تشاهد شكال أخرى فمثلاً في خلايا العضلات الملساء والخلايا الطلاليه المبطنه لامعاء وغيرها تكون النوى على شكل بيضوي فيما تكون على هيئات مفصصه في خلايا الدم البيضاء. كما قد تأخذ أشكالاً حويصليه ومتكتله وكلويه . تمتلك معظم الخلايا نواة مفرده . الا أن بعض الخلايا تحتوي على كثر من ذلك فبعض الخلايا الكبديه لبعض اللبائن تحتوي على نواتين متشابه . كما يوجد مثل هذه النوى في خلايا أحياء أخرى مثل خلايا الامعاء الوسطى في حشرات . وقد تكون النواتين غير متشابهه كما هو الحال في نوى الابتدائيات مثل براميسيوم مع أن بعض هذه الأحياء عديدة النوى . وقد يبلغ عدد النوى في بعض الخلايا

حداً كبيراً مش ما هو موجود في خلايا العضلات الهيكليه الذي قد يصل الى 100 نواة . أن تعدد النوى في بعض الخلايا قد يقترن مع مرحلة معينه من مراحل تطور الخلايا حيث لا تلبث هذه أن تفقد معظم نواها وتحتفظ بنواة واحدة . وغالباً ما يكون تعدد النوى قاصراً على المراحل الجنينية . يتراوح حجم النواة بين 253 مايكرومتر وبسبب الطبيعية القاعدية لها لوجود الاحماض النووية والبروتينات الهستونيه فأنها تصطيح باللون الأحمر.

الغلاف النووي Nuclear envelope :

تفصل النواة عن السايتوبلازم بغلاف نووي Nuclear envelope مؤلف من عشائين غير مستمرين هما الغشاء النووي الخارجي Outer nuclear membrane دي يواجه سطحه الخارجي السايتوبلازم والغشاء النووي الداخلي Inner nuclear membrane

الذي يواجه سطحه الداخلي العصير النووي Nuclear sap . يظهر سطح الغلاف النووي المواجه للسايتوبلازم عند فحصه بالجهر الالكتروني خشناً ويحتوي على ريبوسومات وخصوصاً في المناطق القريبة من مواقع أرتباط لغلاف النووي مع الشبكه الاندوبلازمية الخشنة. يبلغ سمك الغلاف النووي حوالي 40 نانوميتر بينما يبلغ سمك كل من مشائيه حوالي 106 نانوميتر ويفصل بينهما فراغ ضيق هو الفراغ حول النووي Perinuclear space أو الصهريج Cistema يبلغ عرضه 15_25 نانوميتر . تشابه الأغشية النووية في تركيبها

الأغشية البلازما والشبكه الاندوبلازمية الا أنهما يختلفان في نسبة أنواع الدهون مثل الدهون النخاعيه التي تكون منخفضه في الأغشية النوويه والليسشين الذي يمثل نسبة مرتفعه في هذه الاغشيه بينما تتقارب نسب المركبات الأخرى تقريباً .

يتميز الغشاء النووي الداخلي بأنه اكثر تجانساً من الغشاء الخارجي وذلك لامتلاك سطحه الداخلي على حبيبات دقيقه متجانسة التوزيع تظهر على هيئة طبقه يتراوح سمكها بين 15 50 نانوميتر عند الفحص بالمجـهـر الالكتروني . ويعتقد بأنها مؤلفة من مواد غير بروتينية لعدم تأثرها بأنزيمات هضم البروتينات مثل الببسين والبروتينيز . تدعى هذه الطبقه بالصفيحه الداخليه أو الليفيه Fibrous lamina وترتبط بشده مع تجمعات من الكروماتين النووي . الاغشية النويه المؤلفة للغلاف النووي غير مستمره وتتحد في مواقع عديده حول النواة تاركه فراغات تساعد على بقاء أتصال بين العصير النووي والسايتوبلازم تدعى هذه الفراغات بالثقوب النوويه Nuclear pores .

تحتوي النواة في داخلها على سائل نووي Karyoplasm أو Nuclear sap يمثل محلول غروي نصف شفاف يحتوي بداخله على المادة الكروماتينية وبعض الحبيبات الصغيره والبروتينات ويعمل كوسط لانتشار التوائج الأيضية والجزيئات العضوية الكبيرة .

النويات Nucleoli

توجد بداخل النواة توبات Nucleoli قتل مناطق كثيفة كروية أو مستديره أو بمنضوية وقد تكون خيطيه أو غير منتظمه في الخلايا الهرمة . ترتبط النوبات بكروموسومات معينه فكل نواة تحتوي عادة على نويه واحده لكل مجموعة أحادية من الكروموسومات ومع ذلك فأن بعض الخلايا لا تحتوي على نوبات تكون النوبات غنية بالحامض النووي الريبوزي RNA والبروتينات ولكنها خالية من الـ DNA مع أن الكروماتين يخترق مواقع مختلفة من النويات .كما لا تحاط النويات باغشيه تبين صور المجهر الالكتروني أن النوبات تحتوي على أعداد كبيره من الجزيئات الكروية يبلغ قطرها 250 أنكستروم تقريباً ترتبط مع بعضها بخيط دقيق مؤلفة خيطاً حبيبياً قد يلتف لتكوين تلافيف لولبية أو طيات متداخلة تشابه كرة خيوط مفككه. ويظهر التحليل الهستوكيميائي بأن هذه الخيوط هي في الواقع ألياف دقيقه مؤلفة في الريبونيوكليوبروتين Ribonucleoproteins تتماسك مع عضها لتأليف الخيط النوبي Nucleolonema يساعدها في ذلك بروتينات غير متبلوره كما يظهر التحليل أن أغلب الحامض النووي الريبوزي RNA الموجود في النوية يرتبط مع الاجسام الحبيبية في شبكه الخيوط.

ان للنويات أهمية كبيرة حيث يظهر بأن الخلايا او الاجنة) التي تفتقر للنويات لا تعيش طويلاً والخلايا التي تنقسم بالانقسام الميتوزي لا يكتمل أنقسامها بدون انوية أن هناك غموضاً حول الدور الوظيفي للنوبات الا أن هناك عدداً من الأدلة التي تربط هذه الاجسام مع بناء البروتينات

والاحماض النووية الريبوزيه الريبوسوميه والمرساله . ويعتقد بأنها تعمل على بناء الريبوسومات الخلويه و إطلاقها عبر العصير النووي الى السايتوبلازم، كما يعتقد بأن الاجسام الحبيبية داخل النويات هي ريبوسومات نشيطة تعمل على بناء البروتينات وإستخدام جزيئاتالحامض النووي المرسال لهذا الغرض. ولذلك فإن النويات موقع ارتباط بين النواة والسايتوبلازم حيث ثبت بأن هناك موادا منتجه في النويات تذهب باتجاه السايتوبلازم عبر) النواة وعلى هيئه كريات دقيقه يبلغ قطرها حوالي 20 نانوميتر المقد شوهدت هذه الكريات على هيئة كتل من الحبيبات ممتده من النوية والغلاف النووي وخارجه وتبين من الفحوصات بأنها غنية بالبروتينات النوويه RNP وتتحد مع الشبكه الاندوبلازميه الخشنه والمايتوكوندريا ويعتقد بأن هذه المنتجات لها علاقة في تكوين الصفائح الحلقيه التي يمكن مشاهدتها في بعض الخلايا.

الكروماتين Chromatin :

اضافة للمكونات السابقة فأن نوى الخلايا لمثلاً بعصير نووي يحتوي على الكروماتين النووي الذي يظهر على هيئة شبكه دقيقة غير منتظمه تتوزع في النوى . إلا أن التحليل الكيميائي والجهري الدقيق أوضح بأن الكروماتين النووي اكثر تعقيداً مما يعتقد .

يظهر الكروماتين في نوى خلايا الطور البيتي على هيئة بقع أو كتل مختلفة المساحة يتوزع بطرق مختلفة داخل النواة . بينت الفحوصات الهستو كيميائيه والجهرية بان كتل الكرومانين تختلف في كثافتها وان

هناك كتلاً ذات كثافة عالية تصطبغ بشده وكتلاً اقل كثافة ذات قدرة اصطباغية خفيفة مع صبغة فولجين . تختلف طريقة توزيع كتل الكروماتين في النواة من نوع خلية إلى أخرى ولكنه في الاغلب توزيع متجانس يظهر انتظاماً دقيقا . الا ان بعض نوى خلايا الابتدائيات يظهر بأنها تحتوي على تجمعين للكروماتين يتوزعان على جانبي النواة ويرتبطان مع بعضهما بواسطة حزمة وسطية ولا تلبث هذه التجمعات ان تختفي بعد فترة لتحل محلها شبكة كروماتينية حبيبية تختلف في كثافتها . في نوى الخلايا اللمفاوية يظهر الكروماتين متوزعاً على هيئة كتل محيطية واخرى مركزية تكون هذه غالباً ذات كثافة عالية وشديدة الاصطباغ مع وجود نسبة بسيطة مركزية من الكروماتين الاقل كثافة . وقد اطلق على الكروماتين الكثيف بالكروماتين المتباين Hetro Chromatin وعلى الكروماتين الاقل كثافة بالكروماتين الحقيقي Euchromatin .

تظهر فحوصات المجهر الالكتروني التي اجريت على نماذج محضرة بالحفر والتجميد او يتفجير النوى فوق سطوح خاصة بان كتل الكروماتين مؤلفة من شبكة معقدة متصلة من الالياف الانبوبية الدقيقة ذات اقطار تتراوح ما بين 104 نانوميتر يحتوي بعضها على تفرعات دقيقة جانبية وقد تحتوي بعض النماذج وخصوصاً تلك التي تعود للاوليات على لوالب خيطية دقيقة تختلف كثافتها من منطقة الى اخرى وقد تظهر هذه اللوالب علي هيئة تجمعات دقيقه في مواقع معينة.

الكروموسومات Chromosomes

تختفي الشبكة الكروماتينيه التي سبق مشاهدتها في نوى الخلايا في نطور البيني عندما تدخل هذه الخلايا المراحل الانقساميه ويظهر بدلاً عنها جسام رفيعه طويله حبيبيه مستقلة تلتف على بعضها ، ويختلف عددها تبعاً نوع الكائن المأخوذه منه الخلايا . تدعى هذه الاجسام الطويلة بالصبغيات و الكروموسومات Chromosomes . ويبدو بأن الياف شبكه الكروماتين تتوزع على الكروموسومات بحيث يحتفظ كل كروموسوم بجزء من الكروماتين . وبالنظر لاختلاف طول الكروموسومات فأن كمية الكروماتين الموجود فيها مختلف أيضاً . يزداد وضوح الكروموسومات بتغلظها عند دخولها إلى أطوار أو مراحل الانقسام الخلوي، ويظهر من فحوصات المجهر الالكتروني والفحوصات الهستو كيميائيه للكروموسومات بأنها مؤلفة من قلب بروتيني لاهستوني يمثل سقالة Nonhistons Scaffold ترتب حولها الكروماتين على هيئة تجمعات من الحلقات الشعاعية التي تتوزع على طول السقالة مما يعطي الكروموسومات عند فحصها بالمجهر اللكتروني بقوة عالية مظهراً يشابه الياف القطن الدقيقة .

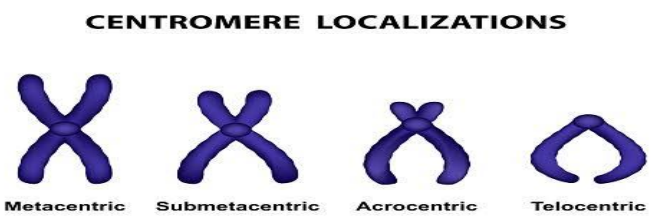
تختلف كثافة هذه التجمعات من موقع على الكروموسوم الى آخر . ففي المواقع التي تمثل الكروماتين المتباين تكون هذه التجمعات متقاربة أضافة لوجود كثافة عاليه من النيوكليوسومات فيها مما يعطيها كثافه عاليه في حين نقل كثافة هذه التجمعات في مواقع الكروماتين الحقيقي . ويمكن مشاهدة توزيع نوعي الكروماتين في الكروموسومات بعد صبغها

بطريقة تحزم G أو C(C Gor C-Bandding) وفحصها بالجهر الضوئي حيث تظهر مواقع الكروماتين المتباين على هيئة حزم غامقة الاصطباغ بينما تظهر مواقع الكروماتين الحقيقي على هيئة حزم فاتحة اللون .

عند بداية الطور التمهيدي Prophase تظهر الكروموسومات على هيئة مزدوجة مؤلفة من زوج من الاجسام المستديرة الطويلة (كروماتيدات Chromatids) ترتبط مع بعضها بواسطه قطعة مركزية Centromere .

يختلف موقع قطعة الاتصال بين . الكروماتيدات في الكروموسومات فبعضها يكون وسطي آن الموقع Metacentric بحيث تكون أذرع الكروماتيدات متساوية الطول . وقد تكون منطقة الاتصال على مسافة قصيره من وسط الكروموسوم Submetacentric

تحصل للكروموسومات العديد من المتغيرات الفيزيائية أثناء عملية الانقسام الخلوي .



وظائف النواة

عبر تمثل النواة مركز تنظيم النشاط الحيوي للخلايا بسبب احتواءها على المادة الوراثية . ولأهمية هذا الدور فأن هناك أتصالاً وثيقاً بين النواة والسايتوبلازم وقد تم أيضاح بعض أوجه هذا الاتصال : التبادل النووي - السايتوبلازمي من خلال النشاط الايضي للغلاف النووي والثقوب النووية والارتباط مع الشبكة الاندوبلازمية وغيره . يتم من خلال ذلك امرار الاوامر الازمة لبناء الانزيمات والبروتينات وتوجيه أيض الخليه بأجمعه، تحتوي النواة لأجل القيام بمهامها بأنواع مختلفة من الانزيمات النوويه وقد أوضحت الابحاث التي أجريت على نوى الخلايا بأستخدام النظائر المشعه بأن البلازما النوويه غنية بأنواع من هذه الانزيمات مثل أنزيمات تضاعف الحامض النووي DNA Polymerases - DNA وأنزيمات بناء الاحماض النوويه الريبوزية RNA Polymerases - RNA وأنزيمات محطمه RNase DNase وأنزيمات طاقه ATPase وأنزيمات لاحمه Ligases وأخرى مثل (Gyrases Topoisomerasws) و Helicases و. Singls strand bindingP وبروتينات متنوعة أخرى وأشكال من النيوكيلوتيدات .

ويظهر من ذلك بأن الوظائف الرئيسيه التي يمكن الحديث عنها بغياب المعلومات عن دور النواة في توجيه الايض والسيطره عليه هي بناء الاحماض النووية DNA و RNA.

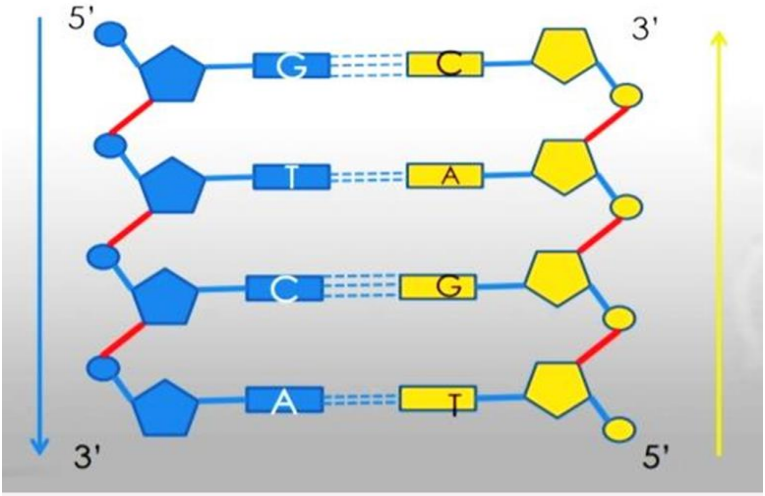
تضاعف الحامض النووي DNA replication DNA :

الحامض النووي الريبوزي منقوص الاكسجين هو عبارة عن جزيئات مكونه من وحدات متكررة (polymers) (البوليمرجزيئة تحتوي على وحدات متكررة تدعى بالنيوكليوتيدات تتألف هذه من سكر خماسي الكربون ومجموعة فوسفور واربعة قواعد نيتروجينيه اثنان من هذه القواعد هما من البار مبدينات (Pyrimidins) والتي تحتوي على حلقة بنزين واحدة وهما الثايمين (Thymine) والسايتوسين (Cytosin) . اما القاعدتان النتروجيتان الاخريان فهما من البيورينات (Purines) التي تحتوي على حلقتي بنزين وهما الأدنين (Adenin) والجوانين

(Guanine) .

كما ان هناك اشكال محورة من هذه القواعد وبكمية قليلة في بعض الاحياء عندما ترتبط القاعدة النيتروجينية مع السكر الريبوزي منقوص الأكسجين (dooxyribose) فانها تكون مركباً يدعى بالنيوكليوسايد (nucleoside) وعند ارتباط سكر النيوكليوسايد مع مجموعة الفوسفور

يتكون ما يدعى بالنيوكليوتايد (nucleotide) .



ونظراً لوجود اربعة قواعد نيتروجينية فان الحامض النووي يحتوي على أربعة انواع من النيوكليوتيدات وهي الـ :

deoxyadenylic acid) الذي ينتج من ارتباط الادنين deoxygunnylic acid) الذي ينتج من ارتباط الجوانين . - (thymidylic acid) الذي ينتج من ارتباط الثايمين . (deoxy cytidylic acid الذي ينتج من ارتباط السايتوسين.

ان الاختلاف الوحيد بين هذه النيوكليوتيدات هو في ارتباط القاعدة النيتروجينة مع السكر كما يطلق على هذه النيوكليوتيدات التسميات التالية:

(Monophasphate -5

d _ AMP) deoxyadenosine")

(Monophasphate -5

d_GMP)deoxygnansine)

(Monophasphate --5

d_TMP) deoxythymine")

(Monophasphate -5

d _ CMP) dcoxycytosine")

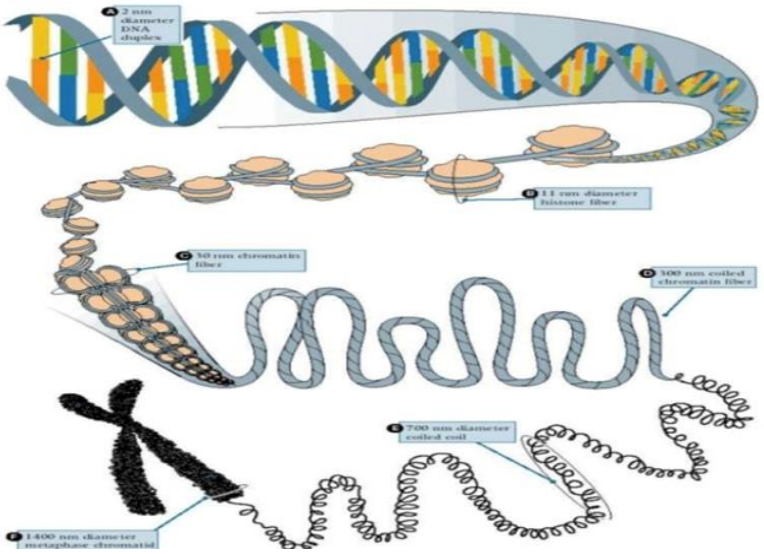
ترتبط هذه النيوكليوتيدات في الحامض النووي لتكوين شريط متعدد النيوكليوتيدات حيث ان المجموعة الفوسفورية المرتبطة مع ذرة الكربون الخامسة لسكر النيوكليوتيد ترتبط مع ذرة الكربون الثالثه للسكر في النيوكليوتيد الاخر تدعى الروابط بين الفسفور والسكر بروابط الفسفور ثنائي الاستر (phosphodiester bands) . ان اتجاهات ارتباط ذرة الكربون الخامسة للسكر في النيوكليوتيد مع ذرة الكربون الثالثة

للنيوكليوتيد آخر تستمر على طول الشريط - 5 - 3 - 5 مما يولد قطبية (polarity) معينة تعتبر مهمة جداً في التضاعف والوظيفة الوراثية . ويلاحظ من اتجاهات الارتباط بان المجموعة النهائية لكل شريط متعدد النيوكليوتيد هي مجموعة 5 فوسفوريل (5) phosphoryl)) حيث ترتبط ذرة الكربون الخامسة لنيوكليوتيد مع مجموعة الفوسفور لتكوين هذه النهاية فيما تقع مجوعة -3 هيدروكسيل (3_OH) hydroxyi) في النهاية الثالثة . تترتب نهايات شريطي الحامض النووي باتجاهات متعاكسة حيث يبدأ الشريط الاول بالنهاية الخامسة لينتهي بالنهاية الثالثة بينما يبدأ الشريط الثاني بالنهاية المجاورة لبداية لشريط الاول بالنهاية الثالثة لينتهي بالنهاية الخامسة وهو ما يطلق عليه التوازي المتضاد (Antiparallel). وهذا يدل على أن القواعد النيتروجينية في الشريط الأول بالجاء معاكس لا تجاء القواعد في الشريط الثاني.

تم التعرف على التركيب الكيميائي للحامض النووي منذ نهاية العقد الثالث ومطلع العقد الخامس من هذا القرن حيث ساعدت تقنيات الكيمياء الحيوية في الكشف عن تركيبها الكيميائي فقد اتاحت تقنية الترحيل الورقي (Chromoto graphy) التي استخدمت عام 1940 والتي استخدمت في تحليل بوليميرات البروتينات فرصة لتحليل الحامض النووي . اثبت من خلالها العالم تشار جاف عام 1949 حقائق اخرى غير معروفة عن الحامض النووي اهمها ان النيوكليوتيدات لا تختلف فقط في القواعد النيتروجينية بل ان نسبة هذه القواعد مختلفة ايضاً .وان هذه النسبة تختلف من حامض نووي لنوع معين في الاحياء الى آخر كما انه

في عام 1950 استخدم الجهر الالكتروني لدراسة الحامض النووي ووجد بانه جزيئة غير اعتيادية مؤلفة في وحدات تمتد إلى الالاف من الانكستروماتويبلغ سمكها 20 أنكستروم . اتاحت هذه الدراسة الفرصة امام الباحثين في الخوض عميقاً في كنه الحامض النووي. واظهرت صور اشعة اكس أخذت لبلورة حامض نووي بين عام 1950 - 1952 من قبل فرانكلين وجوسلنك روزيلند بان الحامض النووي عبارة عن حلزون مزدوج أو ثلاثي الاشرطة . وفي عام 1952 اكتشف علماء الكيمياء العضوية في جامعة كامبرج بان النيوكليوتيدات المؤلفة للحامض النووي ترتبط مع بعضها بواسطة روابط فوسفات ثنائية الاستر مشكلة العمود الفقري. توجت هذه المعلومات جميعاً بنظرية نموذج الحلزون المزدوج التي وضعها واطن وكريك عام 1953 والتي اثبتت بان الحامض النووي هو عبارة عن شريطين يتحلزنان مع بعضهما وتترتب النيوكليوتيدات في هذا النموذج بطريقة خاصة تسمح بتوفير الخصائص المهمه اللازمة

باعتباره المادة الوراثية .



ان عملية تضاعف الحامض النووي هي ببساطة ان يصبح فيها كل شريط منفصل من الشرطة الحلزون كقالب لتصنيع نسخة جديدة من الشريط . تحتاج هذه العملية العظيم روابط الهيدروجين الموجودة بين القواعد لفصل الشريطين عن بعضهما وتوفر الينيوكليوتيدات الاربعة لغرض ربطها لتشكيل ازواج مع الشريط الأصلي (القالب) . ان الروابط الهيدروجينية التي تربط شريطي الحامض النووي ذات نوعية خاصة لكنها ضعيفة وسهلة الكسر بواسطة العديد من العوامل . هذه الروابط

تتكون بشكل آلي عند توفر ظروف معينة ولكن في ظروف الخلية فان عملية تحطيم وبناء تلك الروابط يخضع للعديد من الانزيمات والبروتينات.

وعند ثلاثم نيوكليوتيدات حرة مع اقرب نيوكليوتيدات أبوية مناسبة (من شريط القالب) (وكأن يكون A مع T او C مع G) فان النيوكليوتيدات الحرة تترتب بطريقة يتم معها ربط مكوناتها مع السكر والفوسفات مع تلك الموجودة في الشريط الابوي. وهكذا يستمر ربط النيوكليوتيدات الحرة على طول الشريط الابوي حتى اكتمال الشريط الجديد. ويقال عن مثل هذا التضاعف بانه تضاعف شبه محافظ (Semiconservative replication) أي أن شريط واحد ابوي يبقى دائماً مع كل مزدوج حلزونى جديد .

شخص العالم أرثر كورتبرج (Komberg - 1980) عدداً من القواعد الأساسية التي تسيطر على عملية تضاعف الحامض النووي في اي نظام حياتي وهذه القواعد هي :1 - ان عملية التضاعف هي عملية شبه محافظة . 2- ان كلا من شريطي الحامض النووي تتضاعف عن طريق اضافة النيوكليوتيدات من النهاية الخامسة الى النهاية الثالثة 3 - -3 - تضاعف الحامض النووي يحدث بشكل مستمر (continuous) في احد الاشرطة الذي يدعى الدال (Leading strand) بينما يكون منقطعاً في الشريط الثاني الذي يدعى بشريط التحميل (Lagging strand) .

4 - ان عملية التضاعف في قطع صغيرة تحتاج لبدئها قطعة من الحامض النووي تعمل كبادئة (Primer) لعملية التضاعف . 5 - ان التضاعف

يبدأ من موقع معين يدعى بالاصل (Origin) وقد تحتوي جزئية الحامض النووي على موقع اصل واحد او اكثر .

6 - يبدأ التضاعف من موقع الاصل باتجاه واحد او اتجاهين وهو الغالب.

ان كل واحد من هذه القواعد الاساسية جاء من خلال جملة ابحاث عملية اجريت خلال الاربعين سنة الماضية وذلك ابتداءً من افتراض واطسن وكريك والقاضي بان كل شريطين من الشرطة مزدوجة الحامض النووي تعمل كقالب لتضاعف شريط جديد لتنتهي العملية بزوج جديد من الاشرطة. التضاعف شبـه المحافظ استناداً الى نظرية الحلزون المزدوج هو ان اشرطة الحلزون تنفصل عن بعضها حيث يقوم كل شريط مفرد بدور قالب لبناء نسخة متممة شبيهة تماماً لنسخة القالب او الشريط الابوي . تنتهي هذه العملية بتكوين زوجين من الاشرطة المزدوجة . يحتوي كل زوج على شريط ابوي وشريط جديد مماثل له . اثبتت التجارب العملية التي اجريت لمعرفة تضاعف الحامض النووي حصول مثل هذا النوع من التضاعف في جميع الاحياء . تم اثبات وجود التضاعف شبه المحافظ في حقيقيات النوى من قبل العلماء تايلور وودز وهاك عام 1957 (Taylor & Woods & Hughes) قام هؤلاء العلماء بتنمية القمم النامية الجذور الباقلاء Vica faba على وسط غذائي يحتوي على الثايميدين الموسم او المعلم نظير الهيدروجين الثالث (Tritium) - H3 ولفتره أقل من دورة خلوية (85 ساعات) ، حيث ان الثايميدين موجود فقط في الحامض النووي فانه من السهولة عندئذ تعقب وتشخيص موقع الثايميدين على صبغيات خلايا القمم النامية وذلك من خلال تعقب النشاط

الاشعاعي للثايميدين على الصبغيات من خلال شريط فوتغرافي حساس للاشعاعات التي يبعثها نظير الهيدروجين الثالث (3) .

بعد تعليم الخلايا بالثايميدين المشع تنقل القمم النامية للجذور بعد غسلها بالماء جيدا الى وسط غذائي يحتوي على التاييدين الاعتيادي ومادة الكولسين

Coliechcine[مادة كيميائية تعرقل تكوين خيوط المغزل مما يمنع الصبغيات الشقيقة من الدخول في الطور الانفصالي (Anaphase) ومن ثم الحصول على خلايا ذات صبغيات مكررة في دورة خلوية واحدة (6) صبغيات ثنائيه الكروماتيدات] ويسمح للخلايا بالنمو في هذا الوسط لدورة خلوية واحدة (Cycle of doubling) . تنقل بعدها الخلايا الى شرائح زجاجية نظيفة معقمة حيث يتم تثبيت الخلايا بواسطة مزيج من الحامض Glacial Acetic acid) (حامض الخليك الثلجي) وكحول الايثانول . تغطى طبقة الخلايا بعدها بطبقة من الهلام الفوتوغرافي الحساس للاشعاعات القصيره المنبعثة من ذرات نظير الهيدروجين الثالث بعد تحميض الشرائح الزجاجية المغطاه بالهلام فانه يتم مشاهدة موقع الشاهيدين للمعلم بنظير الهيدروجين الثالث بواسطة المجهر على شكل بقع قضية.

أثبتت نتائج الفحص المجهري لهذه الشرائح الزجاجية بأن البقع الفضية موجود على طول كروماتيدة واحدة في حين تختفي على الكروماتيدة الأخت الثانية . ان هذه النتائج اثبتت بان الكروماتيده الحاوية على البقع

الفضية قد جاءت من الخليه الابوية الأولى التي تم تنميتها على وسط غذائي حاوي على الثايميدين المعلم بنظير الهيدروجين الثالث اما الكروماتيده الثانيه فقد جاءت من التضاعف شبه المحافظ للكروماتيده الأبوية حيث كان انقسام الخلية الابوية في وسط غذائي يحتوي على الثايميدين عادي .

الاستنساخ Transcription:

على الرغم من ان عملية بناء الحامض النووي RNA لا تختلف من الناحية الكيميائية عن بناء الحامض النووي DNA حيث ان كلا العمليتين تتضمنان اضافة نيوكليوتيدات لبناء شريط الحامض النووي مع الاختلاف في بعض التفاصيل. الا انهما يختلفان على مستوى الوظيفة .

فعملية التضاعف تتضمن نقل دقيق وامين للمعلومات الوراثية بينما تتضمن عملية الاستنساخ نسخ تلك المعلومات لاجل تعبير المورثات عن نفسها وتلك اكثر تعقيداً . ان معظم معلوماتنا حول تعبير الموثات جاءت من دراسات قراءة تتابع الحامض النووي DNA والبروتينات التي تنظم الاستنساخ وخصوصاً انزيمات بلمرة الحامض النووي RNA.

يتم السيطرة على عملية الاستنساخ من قبل ثلاثة الزيمات بلمرة نووية مختلفة. تدعي هذه الانزيمات بانزيم بلمرة الحامض النووي الريبوزي الأول RNA Polymerase I وانزيم البلمرة الثاني (RNA Polymerase (II وانزيم البلمرة الثالث (RNA Polymerase III). يمكن تمييز هذه الانزيمات عن بعضها من خلال موقعها الخلوي

حيث يقع انزيم البلمرة الأول في النوبة (Nucleous) بينما يقع انزيم البلمرة الثاني والثالث في الجدار النووي. كما تختلف وظيفة كل منهما حيث يكون الانزيم الاول مسؤولاً عن استنساخ الحامض النووي الرابيوسومي (5) . (1) (RNA : وحدة سائبرج التي تستند الى معامل الترسيب في الطرد المركزي وتستخدم لوصف الحامض النووي (RNA) ، والانزيم الثاني يكون مسؤولاً عن استنساخ الحامض النووي الرائيوسومي 55 والحامض النووي الناقل (RNA) كما يمكن تمييز هذه الانزيمات الثلاثة من خلال حساسيتها المضادات حياتية معينة .

استنساخ الحامض النووي المرسال (m (RNA):

ان الاحماض الامينية ليست متاصراً مع الحامض النووي DNA بل ان هناك خطوة وسطية تعمل على ترتيب الاحماض الامينية في سلسلة عديد الببتيد وكما هو منظم في تتابع الحامض النووي DNA المورثات) . تبدأ هذه الخطوة بانفصال شرطة الحامض النووي DNA عن بعضها البعض في الموقع المراد استنساخه . تبدأ بعدها عملية الاستنساخ في شريط مفرد واحد من مزدوج الحامض النووي DNA يدعى بالشريط المشفر او الشريط الحساس DNA coding or sense strand) لتنتهي بتكوين حامض نووي يمتلك نفس تتابع القواعد في شريط الحامض النووي الحساس. و يستخدم الشريط المشفر فقط في عملية الاستنساخ لانه يحتوي علي معظم موروثات الكائن بينما يحمل الشريط الثاني الذي يدعي بالشريط الحساس (Anstissense strand) بعض الموروثات.

يتكون الهجين (DNA) (RNA) نتيجة تماثل في تتابع القواعد النيتروجينية في كل من شريطي الحامض النووي DNA والحامض النووي RNA . ان حصول الهجين يؤكد بان الحامض النووي RNA في الهجين هو مستنسة من شريط الحامض النووي DNA المرتبط معه . ان تحليل مزيج الهجين لك من الشريط الخفيف والثقيل باستخدام محلول فوتوغرافي حساس جد اثبت بان طبقة الشريط الثقيل هي الطبقة التي كونت الهجين لوجود نسبة كبيرة من الاشعاع الناتج من نظير الهيدروجين 187 المرتبط مع الحامض النووي RNA بينما كانت طبقة الشريط الخفيف لا تحتوي الا على نسبة ضئيلة جداً من النشاط الاشعاعي، أكدت نتائج هذا التحليل بأن الشريط الثقيل هو في حقيقة الامر الشريط الفعال في عملية استنساخ الحامض النووي RNA وهو ما يطلق عليه بالشريط المشفر او الشريط الحساس . في بعض الرواشح والمايتوكوندريا والبلاستيدات وجد بان هناك بعض للمورثات المشفرة موجودة على الشريط غير الحساس (1) في مثل هذه الحالة فان الاستنساخ يحصل في كلا الشريطين .

وفي جميع الاحوال فان الاستنساخ يتم بالجاه 53 على طول القالب حيث تضاف النيوكليوتيدات الجديدة الى النهاية الثالثة بما ان اشرطة الحامض النووي DNA متعاكسة كما ان اتجاه الاستنساخ لتكوين الحامض النووي RNA يكون من النهاية الخامسة 5 الى النهاية الثالثة 3 فان تردد المورث يجب ان يبدأ من النهاية -3 ان ذلك مهم جداً عند مقارنة

تتابع قواعد الاحماض النووية (RNA DNA مع سلسلة عديد الببتيد الناتجة.

تحتوي النهاية الخامسة للحامض النووي على قواعد متممة لقواعد اخرى في النهاية الثالثة للحامض النووي الرائيوسومي في الربيوسوم . تساعد هذه على ارتباط الحامض النووي المرسال مع الريبوسوم لاجل الترجمة . استنساخ الحامض النووي الرايبوزي الريبوسومي (RNA) : ان احدى اكبر جزيئات الحامض النووي الرايبوزي التي لها اهمية في تصنيع البروتين هي جزيئة الحامض النووي الريبوسومي حيث تتألف جزيئة هذا الحامض من عدة الاف من النيوكليوتيدات مقارنة مع 70 - 80 نيوكليوتيد تؤلف الحامض النووي الناقل فيما يختلف طول الحامض النووي المرسال اعتماداً على طول التتابعات المشفرة وغير المشفره فيه. فمثلاً ان الحامض النووي المرسال الخاص بمورث زلال البيض والذي يتألف من 1872 نيوكليوتيد فانه لا يساوي الا نصف طول اطول جزيئات الحامض النووي الريبوسومي، أن الطريقة التقليدية لوصف ومعرفة نوع جزيئات الحامض النووي الريبوزي والريبوسومي هو إستناداً إلى معامال ترسيبها (Sedimentation cofficient) والذي يسمى بوحدة سافيرج Svelbreg unit ويرمز لها بـ (S) . تحسب هذه المعاملات من ترسب هذه الجزيئات في الطرد المركزي المدرج سكري (Sucrose - gradient) ويمكن وصف الريبوسومات وتحت الوحدات الريبوسومية باستخدام قيمة (S) ان كل ريبوسوم يتألف من تحت وحدتين غير متساوية وهما تحت الوحده 50S وتحت 30S كما هو الحال عليه في

الاحياء بدائية النوى ولهما القيمه 70S . اما الريبوسوم في الاحياء حقيقية النوى فانه ذو قيمة 80S ويتألف من تحت الوحدات 405,605

وبما ان الهيئة والوزن الجزيئي هما العوامل المهمة لتحديد الترسيب فان قيمة (S) لكلا تحت الوحدتين هو اكبر من قيمة (S) للريبوسوم في ترسيب اختباري . لذلك فان طول الحامض النووي الرائبوسومي 16S لا ينعكس على قيمة (S) له . وفي كلا الاحياء بدائية النوى وحقيقية النوى فان عملية الاستنساخ تؤدي الى تكوين جزئية حامض نووي ريبوسومي طويلة تدعى بالحامض النووي الريبوسومي الأولي . ويقوم أنزيم بالمسرة الحامض النووي الرايبوزي باستنساخ الحامض الريبوسومي 28S – 18S فيما يقوم انزيم البلمرة الثالث باستنساخ الحامض النووي الريبوسومي 5S.

الانقســـــام الخـــلوي Cell Division

انقسام الخلية

إن المظهر الأساسى لانقسام الخلية هو تضاعف مادة الجينات على الكروموسومات (الحامض النووى –الدنا) وهذا التضاعف يتم بعملية تعرف باسم التناسخ (التضاعف) وبعد هذه العملية سوف يكون على كل كرموسوم ضعف العدد من العوامل الوراثية نتيجة تناسخ جزء الدنا أى سوف يتحول كل كرموسومات إلى كروماتيدتن . وعندما يتم انفصال الكروماتيدات يتكون ضعف العدد الأصلى من الكروموسومات وبذلك يسهل انقسام الخلية . وهناك نوعان من انقسام الخلية هما الأنقسام غير المباشر والأنقسام الاختزالى .

الانقسام غير المباشر (الميتوزى)

يتم هذا النوع من الانقسام بين الخلايا الجسدية ويتميز بالتضاعف الدقيق للمادة الوراثية بظاهرة التناسخ ، كما ينقسم السيتوبلازم ألى نصفين متساويين ومن هنا فإن أهمية الانقسام غير المباشر هو انقسام غير المباشر هو انفصال المادة الوراثية المستنسخة عن المادة الوراثية الأصلية وبذلك تتكون خليتان متطابقتان تماما ، وبكل واحدة منهما نفس العدد الأصلى من الكروموسومات (أى العدد الزوجى من الكروموسومات)

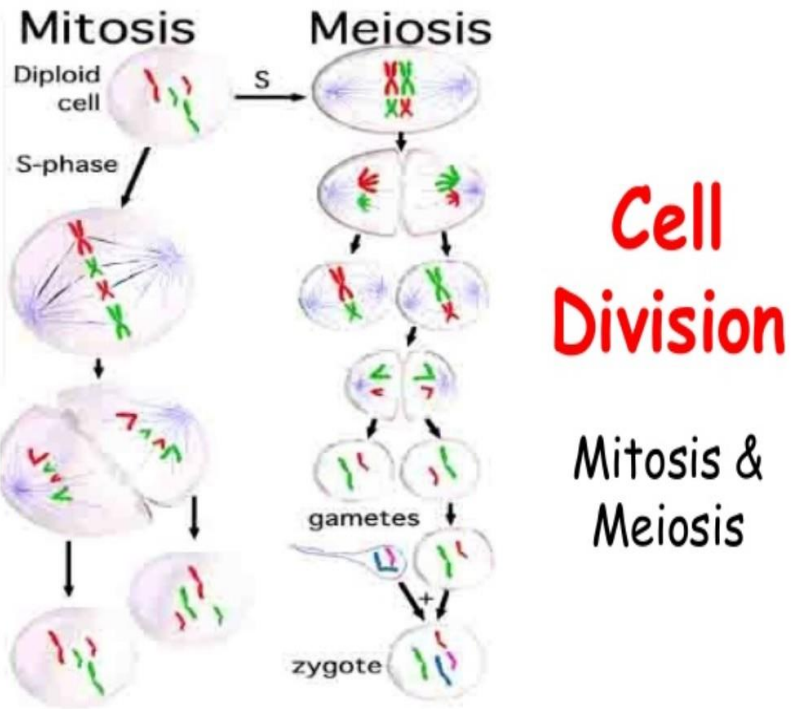
وقبل أن تدخل الخلية فى عملية الانقسام وهى الفتره ما بين انقسامين (مرحلة بينية) تكون مادة الكروماتين موزعة داخل النواة مكونة الشبكة الكروماتينية .وتتم عملية الانقسام غير المباشر على أربع مراحل هى :

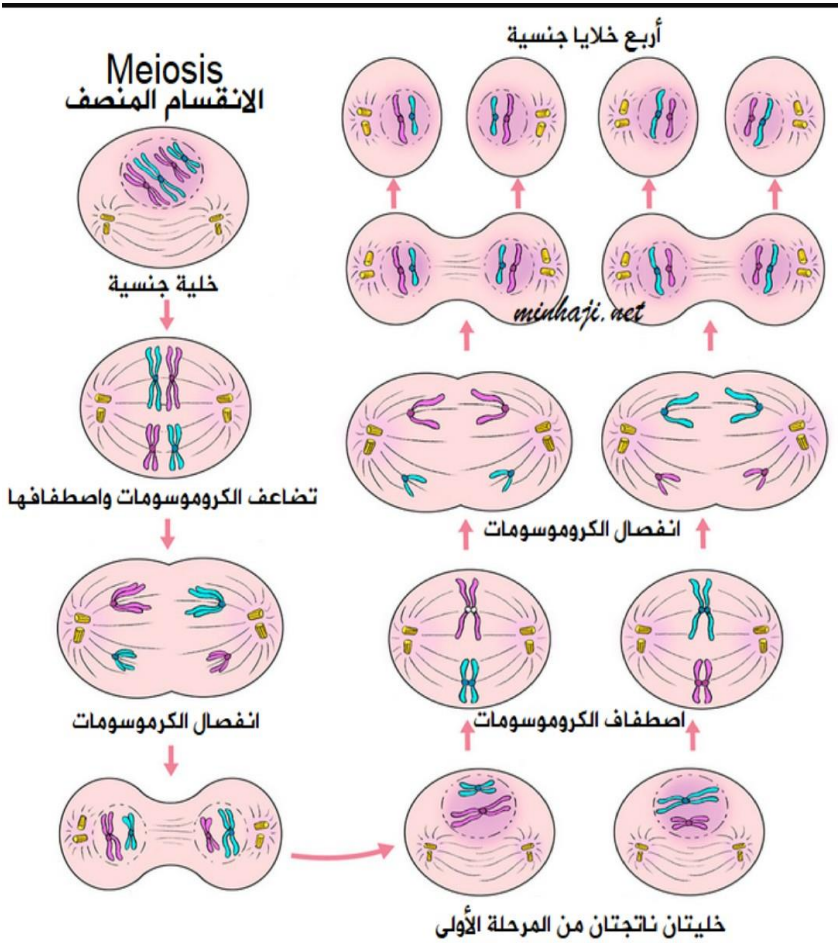
1-المرحلة التمهيدية

2-المرحلةالاستوائية

3-المرحلة الانفصالية

4-المرحلة النهائية




Meiosis
الانقسام المنصف
خلية جنسية
تضاعف الكروموسومات واصطفافها
انفصال الكرموسومات
أربع خلايا جنسية
minhaji.net
انفصال الكروموسومات
اصطفاف الكروموسومات
خليتان ناتجتان من المرحلة الأولى

1-المرحلة التمهيدية:

تبدأ هذه المرحلة بتحول الشبكة الكروماتينية إلى خيوط والتى ما تلبث أن تنفصل عن بعضها مكونة الكروسومات والتى تظهر بوضوح داخل النواة على هيئة تراكيب تشبه العصى .بعد ذلك تتضاعف كمية المادةالوراثية بعملية التناسخ معنى هذا أن المرحلة التمهيدية تبدأ بظهور كل كروموسوم مكونا مكونا من نصفين من الكروماتيدات يرتبطان معا فى نقطة محددة تسمى السنترومير (النقطة المركزية) . وخلال هذا تحدث تغيرات واضحة فى السيتوبلازم خيوط مغزلية ،حيث ينقسم الجسم المركزى إلى إثنين ثم يتجه كل نصف إلى طرف من الخلية . ثم تظهر فى السيتوبلازم خيوط مغزلية ، حيث تكون مرتبطة بالجسمين المركزيين وتتجه إلى منتصف الخلية مكونة تركيبا يشبة النجمة يسمى الإستر. ثم تبدأ النوية فى الأختفاء تدريجيا حيث يتصل محتوياتها بأحد الكروماتيدات، وأخيرا يبدأ الغلاف النووى فى التحلل والأختفاء .

2-المرحلة الاستوائية :

فى هذه المرحلة تتحرك كل الكروموسومات (أزواج الكروماتيدات)إلى منتصف الخلية حيث تصطف على الخط المنصف للخلية والمعروف باسم القرص الاستوائى ، ويتسع الجهاز المغزلى ليحتل الجزء الأكبر من الخلية وتكون الكروموسومات مرتبطة

بواسطة السنترومیرات إلى الخیوط الغزلیة ، والفترة الزمنیة لهذه المرحلة القصیرة .

3-المرحلة الأنفصالیة

خلال هذه المرحلة یتم انقسام أو انشقاق كل كروموسوم إلى كروماتیدین ، ومن هنا تتكون مجموعتان من الكروماتیدات أو ما تسمى بالكروموسومات البنود حیث تتحرك كل مجموعة من هذه الكروموسومات إلى أحد طرفى الخلیة ؛ وهذا یعنى أن مجموعتین متشابهتین تماما من الكروموسومات تجمعتا فى قطبى الخلیة ؛ولذا فإن كل خلیة صغیرة ناتجة ، سوف تحتوى على نفس العدد الأصلى من الكروموسومات . وهذا له أهمیة كبیرة فى الحفاظ على المادة الوراثیة فى كل خلیة جدیدة تتكون من الانقسام.

4-المرحلة النهائیة :

فى هذه المرحلة النهائیة من عملیة الانقسام تختفى الخیوطالمغزلیة وتصبح الكروموسومات طویلة ورفیعة ،ثم یبدأ ظهور الغشاء النووى حول كل مجموعة من الكروموسومات ویعاد بناء النویة داخل كل نواة جدیدة . وفى تلك الأثناء ینقسم السیتوبلازم إلى جزءین متساویین حیث یبدأ ظهور تخصر بین النواتین عند الخط النصف للخلیة الأم ، ومن هنا تكون قد انقسمت الخلیة الأم إلى خلیتین ینفصلان عن بعضهما ، وكل خلیة منهما لها نفس العدد الزوجى من الكروموسومات ،ونفس كمیة المادة الوراثیة الموجودة

فة الخلية الأم . وعلى ذلك يمكن القو أن المرحلة النهائية تعتبر حالة عكسية للمرحلة التمهيدية ، وهنا تصل الخليتان الجديداتان إلى المرحلة أو الطور المسمى ما بين الانقسام (الطور البينى) وفية تزداد أنشطة الخلايا إلى الدرجة القصوى حيث تتغذى وتكبر لتصبح بعد فترة وجيزة شبيهة بالخلية الأم هنا يمكن أن تدخل فى مراحل الانقسام.

الأنقسام الاختزالى (الميوزى)

هذا النوع من الانقسام يحدث فى الخلايا التناسلية عند تكوين الحيوانات المنوية فى الخصية والبويضات فى المبيض. وأهم ما يميزه هو أختزال العدد الأصلى (الثنائى)من الكروموسومات إلى نصف العدد . وعندما يتم الأخصاب تتحد نواة الحيوان المنوى مع نواة البويضة فيتكون الزيجوت الذى تحتوى نواتة على العدد الزوجى من الكروموسومات ؛ولذا فإن أهمية الانقسام الاختزالى تمكن فى اختزال عدد الكروموسومات إلى النصف حتى يمكن المحافظة على العدد الاصلى فى خلايا كل نوع من الكائنات ، معنى ذلك أن هذاالنوع من الانقسام يحفظ عدد الكروموسومات ثابتا فى النوع الواحد لتتكون دائما مخلوقات تشبة الابوين .

والانقسام الاختزالى يتم على مرحلتين

الانقسام الاختزالى الاول

وأهم ما يميز هذه المرحلة هو عبور أو انتقال بعض الصفات الوراثية بين الكروموسومات المتشابهه مع اختزال عدد من الكروموسومات إلى النصف.

الانقسام الاختزالى الثانى

ويمكن اعتباره انقساما غير مباشر ، غير أن الخلية التى تبدأ هذه المرحلة تكون محتوية على نصف العدد الاصلى من الكروموسومات .

الانقسام الاختزالى الاول (الميوزى الأول)

ويشمل المرحلة التمهيدية الاولى والمرحلة الاستوائية الاولى والمرحلة الانفصالية الاولى والمرحلة النهائية الاولى .

المرحلة التمهيدية الاولى

هذه المرحلة معقدة للغاية وفيها يظهر العدد الزوجى للكروموسومات وكل كروموسوم يتكون من زوج من الكروماتيدات المتماثلة.

تتقارب الكروموسومات المتشابة بعضها إلى بعض حيث إن هذه الكروموسومات المتشابة تكون متساوية فى الحجم والشكل وأيضا فيما تحمله من صفات وراثية ثم تتشابك وتلتف حول بعضها ومن هنا تكون ما يعرف باسم وحدات الكروموسومات التكافئة

-وبعد إتمام تقابل جينات كل كروموسوم مع جينات الكروموسوم المتشابه تقصرالكروموسومات وتغلظ فى السمك ويظهر بوضوح أن كل وحدة من الكروموسومات المتكافئة تتكون من أربع كروماتيدات ؛ولذا يطلق عليها اسم رباعيات

عندئذ تلتصق خيوط الكروماتيدات الاربعة فى عدة مناطق تسمى بنقاط التشابك وعندها يتم تبادل الجينات وتعرف هذه العملية بالعبور ، وعندئذ يكون قد حدث تغير أو تعديل أو تبديل فى بعض الجينات لاثنين من الكروماتيدات الاربعة ، والاثنان الاخران لا يحدث بهما أى تغيير . بعد إتمام عملية العبور تنفصل الكروموسومات المتشابهه وتبدأ النوية فى الاختفاء ويذوب الغلاف النووى وتتكون والخيوط المغزلية.

المرحلة الاستوائية الاولى

تبدأ الكروموسومات التشابهه فى ترتيب نفسهافى منتصف الخلية فيما يعرف باسم القرص الاستوائى وتتشابك مع الخيوط المغزلية بواسطة السنتروميرات.

المرحلة الانفصالية الاولى

فى هذه المرحلة يتحرك كل كروموسوم من الكروموسومين المتشابهين إلى قطب من أقطاب الخلية. وهنا تجدر الاشارة إلى عدم أنقسام السنترومير حيث ما زال كل كروموسوم يتكون من كروماتيدين.

المرحلة النهائيه الاولى

عندئذ تتجمع الكروموسومات عند قطبى الخلية ويتخصر السيتوبلازم لتنقسم الخلية الاصلية إلى خليتين ، وكل واحدة منهما تحتوى على نصف العدد الاصلى من الكروموسومات والتى تحاط بغلاف النواة .

الانقسام الاختزالى الثانى

يمكن أن يبدأهذا الانقسام بعد الانقسام الاختزالى الاول المباشر بدون مرور الخلية فى المرحلة ما بين الانقسامين ، وينقسم إلى المرحلة التمهيدية الثانية والمرحلة الاستوائية الثانية والمرحلة الانفصالية الثانية والمرحلة النهائية الثانية .

المرحلة التمهيدية الثانية والمرحلة الاستوائية الثانية

كل خلية من الخلايا الناتجة من الانقسام الاختزالى الاول والتى تحتوى نصف عدد الكروموسومات تبدأ فى الانقسام بالطريقة غير المباشر حيث تظهر الخيوط المغزلية وتستنسخ جزيئات الدنا المكونة للجينات ثم يختفى غلاف النواة وترتب الكروموسومات فى القرص الاستوائى ، وهنا يبدأ انفسام السنترومیرات لأول مرة فى الانقسام الاختزالى حيث تنفصل الكروماتيدات عن بعضها ، وهذه الكروماتيدات تكون مختلفة فى بعض الاجزاء نتيجة حدوث عملية العبور والتى اشرنا إليها فى المرحلة التمهيدية الاولى

المرحلة الانفصالية الثانية والنهائية الثانية

تتحرك الكروماتيدات النتماثلة والمختلفة فى بعض الجينات إلى قضبى الخلية وينقسم السيتوبلازم وينتج عن ذلك خليتين كل

واحدة منهما تحتوى على نصف العدد الاصلى من الكروموسومات والذى يحاط بغلاف النواه .

وعلى ذلك فالمحصلة النهائية بعد مرحلتي الانقسام الاختزالى هى تكوين أربع خلايا كل واحدة تحتوى على نصف عدد الكروموسومات الموجودة فى الخلية الأم التى بدأت الانقسام الاختزالى.

المـــراجـــع

1- عبد الحسين الفيصل (2000): الخلية التركيب الدقيق و الوظائف. الأهلية للنشر و التوزيع ، المملكة الأردنية الهاشمية عمان وسط البلد . ص ب : 7772 عمان / الأردن.

2- فتحي محمد عبد التواب (2014): بيولوجيا و وراثة الخلية . الطبعة الثانية . 9- 017 – 258- 977 ISBN الدار العربية للنشر و التوزيع ، مدينة نصر القاهرة.

3- محمد أحمد البنهاوي ، اميل شنودة دميان، عبد العظيم عبد الله شلبي و محمد أمين رشدي (1995 م) " علم الحيوان" دار المعارف -1119 كورنيش النيل – القاهرة – ج. م. ع.

4- محمد اسماعيل محمد ، حلمي ميخائيل بشاي ،يحي السعيد العاصي ، مني شرقاوي علي و تغريد عبد الرحمن حسن (2002 م) "أساسيات علم الحيوان" دار الفكر العربي – مدينة نصر – القاهرة – ج . م. ع

.